

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/316883938>

Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación 1

Chapter · May 2017

CITATION

1

READS

1,559

12 authors, including:



Patricia Colunga-GarcíaMarín

Investigadora Independiente

119 PUBLICATIONS 1,239 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Ignacio Torres-García

Universidad Nacional Autónoma de México

48 PUBLICATIONS 479 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Alejandro Casas

Universidad Nacional Autónoma de México

254 PUBLICATIONS 4,416 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Carmen Julia Figueredo Urbina

Autonomous University of Hidalgo

23 PUBLICATIONS 81 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Evolving agroecological diversity: from organisms to landscape management and culture production [View project](#)



Bacterial assemblages associated with corals of the Tropical Eastern Pacific [View project](#)

Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación¹

Patricia Colunga-GarcíaMarín; Ignacio Torres-García; Alejandro Casas,
Carmen J. Figueredo Urbina; Selene Rangel-Landa; América Delgado-Lemus;
Ofelia Vargas; Dánae Cabrera-Toledo; Daniel Zizumbo-Villarreal;
Aguirre-Dugua Xitlali; Luis E. Eguiarte; Guadalupe Carrillo-Galván

Resumen

Las prácticas de aprovechamiento y manejo humano de plantas, como la domesticación, pueden tener efectos evolutivos sobre las mismas. Para Darwin, las plantas y animales domesticados fueron fundamentales en la construcción de su teoría y en la actualidad siguen siendo objeto de estudio sobre biología evolutiva. La domesticación es un proceso evolutivo continuo de selección artificial por humanos que puede determinar divergencias entre poblaciones silvestres y cultivadas. Al conjunto de rasgos, o características, que diferencia a las plantas domesticadas de sus ancestros silvestres se le conoce como síndrome de domesticación, y estos rasgos, al estar sometidos a fuerzas selectivas similares, constituyen una expresión de convergencia evolutiva. Estas tendencias han sido documentadas en decenas de especies domesticadas, así como en sus parientes silvestres; entre ellas se encuentra el caso del árbol de las maravillas: los agaves.

Los agaves han sido de mucha importancia para las culturas indígenas americanas debido a los diversos usos que se le han dado desde hace, aproximadamente, 10 000 años; razón por la cual decenas de ellos han llegado a domesticarse, y aún en la actualidad encontramos vigentes muchas prácticas de manejo, uso y domesticación. Presentamos una revisión de distintos casos de estudios con agaves, con el propósito de documentar las consecuencias y evidencias etno-botánicas, morfológicas, ecológicas y genéticas que ha tenido la interacción humano-agaves en el continente americano. Documentamos las distintas características de los síndromes de domesticación, así como los usos del agave destacando los más actuales y la problemática asociada a ella. Identificamos cuatro principales usos: 1) alimento, 2) fibra, 3) bebidas sin fermentar y fermentadas, y 4) bebidas destiladas, siendo esta última la de mayor importancia actual. Además, se documentaron las características del síndrome de domesticación en cada caso. Existen

¹ Dedicado a Catarina Illsley Granich. Amiga entrañable que, con amor y alegría, trabajó incansablemente a favor de los mezcaleros artesanales tradicionales de México y el patrimonio biológico y cultural que nos han legado. Gran ejemplo.

22 categorías de usos con más de 100 especies empleadas actualmente. Los agaves son manejados *in situ* y *ex situ* en distintos agroecosistemas como monocultivo y cultivos tradicionales en sistemas agroforestales. Las evidencias revisadas aquí nos llevan a plantear que, dependiendo de los propósitos o móviles de selección, las características del síndrome de domesticación pueden variar. Los sistemas agroforestales tradicionales exhibieron importantes características que los ubican como sistemas que permiten salvaguardar estos recursos genéticos. La extracción de poblaciones silvestres sin planes de manejo sustentable parece tener consecuencias demográficas y genéticas que amenazan la permanencia de las especies. Las huellas fenotípicas y genéticas de selección humana relacionadas con un conjunto de usos particulares no han sido estudiadas, por lo que es necesario contribuir al conocimiento de estos usos y continuar la documentación de la relación humano-agave.

Palabras clave: agaves, domesticación, magueyes, manejo forestal, Mesoamérica, mezcal, recursos forestales no maderables.

Introducción

Las plantas del género *Agave* L. son emblemáticas de Mesoamérica, región cultural conformada durante el período prehispánico (Kirchhoff, 1943), y que ha sido reconocida como un centro primario de origen de agricultura y domesticación de plantas (Harlan, 1975; Hawkes, 1983; Vavilov, 1992). En esta área, los pobladores han desarrollado y mantenido un núcleo de alta diversidad de cultivos de los cuales actualmente depende parte importante de la humanidad. Siendo una de las principales cunas mundiales de agricultura, Mesoamérica cuenta con una profunda tradición de domesticación de plantas de por lo menos 10 000 años (Flannery, 1986; MacNeish, 1992).

Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal (1993) y Casas *et al.* (2007, 2014) coinciden en plantear que, debido a la resistencia cultural de sus pueblos nativos, sus sistemas agroalimentarios conservan dos características clave por las que Mesoamérica sigue siendo un centro dinámico de diversificación de recursos bióticos, principalmente plantas, a través de domesticación: 1) el mantenimiento de complejos poblacionales de plantas bajo diferentes intensidades de manejo, los cuales pueden corresponder a distintos grados de domesticación, y 2) la conservación de altos niveles de diversidad a todos estos niveles de manejo y domesticación. Ejemplos de diversificación y domesticación bajo manejo y selección tradicional, en los que pueden observarse estas dos características clave, han sido descritos por Colunga-GarcíaMarín *et al.* (1986) para el caso de los nopales (*Opuntia* L. spp.), por Zizumbo-Villarreal *et al.* (2005) para el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y por Casas y colaboradores para distintas especies de cactáceas columnares, leguminosas (*Leucaena* Benth. spp.), diferentes especies de quelites y de árboles domesticados (Casas *et al.*, 1997, 1999a, 1999b, 2007, 2015a, 2015b; Blancas *et al.*, 2010, 2013; Otero-Arnaiz *et al.*, 2005; Parra *et al.*, 2010).

En este capítulo presentamos una revisión de evidencias etnobotánicas, morfológicas y genéticas de tres casos que ilustran, para siete especies del género *Agave* (Asparagaceae: Agavaoideae, APGIII, 2009), las dos características claves de las prácticas tradicionales mesoamericanas de domesticación mencionadas arriba.

Primeramente, revisamos la antigüedad y características históricas de lo que Gentry (1982) denominó la simbiosis entre humanos y agaves, presentando una síntesis de los cuatro grandes síndromes de domesticación que pueden reconocerse en este grupo de plantas como resultado de tan larga historia de interacción, así como de los móviles de selección relacionados con sus cuatro usos más importantes: alimento, fibra, bebidas sin fermentación (aguamiel) y fermentadas (pulque), y bebidas destiladas (mezcales). Después abordamos específicamente el caso de los agaves con los que se realiza la producción de los mezcales, debido a que la producción de estas bebidas es actualmente el móvil más importante del uso, selección y cultivo de un gran número de especies en México. En segundo lugar, revisamos las evidencias etnobotánicas, morfológicas y genéticas de los tres casos abordados en torno a una pregunta central: ¿Cuál ha sido el efecto de la interacción entre humanos y agaves en la diferenciación y diversificación morfológica y genética de las especies estudiadas? Finalmente, presentamos un panorama general de la problemática de los agaves mezcaleros en México, discutimos las implicaciones de nuestros hallazgos y las de los proyectos de interacción entre la sociedad, las instituciones científicas y las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales para poner en marcha estrategias de manejo sustentable de estos recursos bioculturales. Ponemos énfasis en el hecho de que el mantenimiento de la cultura de los pueblos mesoamericanos, de alto aprecio y fomento de la diversidad de sus plantas domesticadas, es central para enfrentar los grandes cambios ambientales y culturales que se viven actualmente a escala mundial, y que se han denominado “cambio global” (Vitousek, 1994) en sus dimensiones ecológicas y sociales.

Interacción humano-agaves en Mesoamérica y síndromes de domesticación

Agave es un género que, de manera natural, solo se distribuye en el área comprendida entre el sur de los Estados Unidos de América y el norte de Sudamérica, abarcando Colombia, Venezuela y las islas del Caribe; siendo México su centro geográfico de origen y diversidad (Gentry, 1982). El 75% de las especies de este género crecen en México y 57% de ellas son endémicas. Crecen prácticamente en todo su territorio, pero son especies clave y especialmente representativas de sus ecosistemas áridos y semiáridos (García-Mendoza, 2011).

Además de ser su centro geográfico de origen y diversidad, México es también su centro de diversificación bajo aprovechamiento, manejo y selección humana, y como Gentry (1982) sostuvo: “fue aquí, en donde la gran diversidad genética de un género rico en usos potenciales cayó en manos de los pueblos que desarrollaron el principal centro de agricultura de las Américas”.

Las investigaciones arqueológicas indican que la interacción entre humanos y agaves en Mesoamérica se inició desde la prehistoria, hace por lo menos 11 000 años (Smith Jr., 1967; McNeish, 1967; Flannery, 1986; Smith Jr., 1986). Los seres humanos que poblaron el actual territorio de México asaban y horneaban tallos, bases foliares y pedúnculos de la inflorescencia de agave para consumirlos como alimento. A lo largo de estos milenios los agaves han sido usados de múltiples formas por los pueblos mesoamericanos, de modo que a la

fecha hemos registrado más de 22 categorías de uso (Tabla 1) y alrededor de 40 usos específicos, los cuales abarcan prácticamente todas las partes estructurales de los agaves (Colunga-GarcíaMarín y May-Pat, 1993).

Los principales usos de los agaves han estado relacionados con sus características biológicas más distintivas: 1) Almacenamiento de carbohidratos en los tallos, bases de las hojas y savia de la inflorescencia al final de su ciclo reproductivo. Los agaves son plantas rosetófilas, perennes y monocárpicas, es decir, se reproducen sexualmente, solo una vez, al final de su existencia. Esto ocurre, usualmente, después de un período de crecimiento entre cinco y veinticinco años o más, dependiendo de la especie y del ambiente en el que vive. Excepto en unas pocas formas caulescentes, el tallo es grueso y abreviado. Este, junto con las bases de las hojas imbricadas en espiral, forma una masa fibrosa que actúa como estructura de reserva rica en carbohidratos, los cuales son utilizados de forma natural por la planta para el desarrollo de la inflorescencia. La translocación de recursos de esta masa fibrosa a la inflorescencia ocurre acompañada, en muchas especies, del flujo abundante de una savia también rica en carbohidratos. 2) Hojas fibrosas, con saponinas y armadas. Sus hojas poseen dientes laterales y una espina terminal, pero además contienen una alta concentración de saponinas, que son metabolitos secundarios tóxicos e irritantes para los humanos y otros animales. 3) Estructura de roseta y sistema amplio de raíces superficiales. Tienen un sistema de raíces superficiales muy extendido que, junto con su forma de rosetas, les permite captar agua de forma eficiente en ambientes de poca precipitación y retener suelo en pendientes elevadas. Muchas especies son capaces de propagarse vegetativamente a través de estolones, hijuelos axilares, hijuelos basales o bulbillos: característica que les permite formar manchones clonales y que ha sido aprovechada por los seres humanos para propagar fenotipos deseables (Gentry, 1982; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2015b).

Las prácticas de aprovechamiento y manejo humano de plantas, como la domesticación, pueden tener efectos evolutivos sobre las mismas. La domesticación es un proceso por el cual las poblaciones de plantas experimentan una serie de cambios fenotípicos y genotípicos, que suelen ser graduales y continuos, como consecuencia de la reproducción diferencial de los individuos favorecidos por los seres humanos, elección humana o selección artificial según Darwin (1859). Este favorecimiento puede ser consciente o inconsciente, y ocurre en relación con la adecuación fenotípica de estos genotipos a las necesidades, preferencias y prácticas de uso y manejo de los grupos humanos que los utilizan (Darwin, 1859; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 1993; Gepts, 2004; Pickersgill, 2007; Casas *et al.*, 2007; Casas *et al.*, 2014, 2015a, 2015b). Al conjunto de rasgos, o características, que diferencia a las plantas domesticadas de sus ancestros silvestres, se le conoce como síndrome de domesticación. Estos rasgos, al estar sometidos a fuerzas selectivas similares, constituyen una expresión de convergencia evolutiva.

La larga interacción entre los grupos humanos y los agaves en Mesoamérica ha dejado huellas morfológicas, fisiológicas y genéticas relacionadas con los propósitos o móviles que han tenido los humanos para usarlos, manejarlos y seleccionarlos. Estas huellas o características conforman diferentes síndromes de domesticación. Proponemos que para los agaves son cuatro síndromes que están ligados a sus usos más importantes: alimento, fibra, bebidas con o sin fermentación (aguamiel y pulque) y bebidas destiladas (mezcales).

Debido a que los agaves son usados de forma muy variada entre los pueblos mesoamericanos, y que muchas especies tienen una distribución geográfica amplia, al estudiar los síndromes o tendencias de domesticación de cada especie o variedad podemos encontrar que: 1) su síndrome de domesticación refleja la interacción que sus diferentes usos han tenido en las presiones de selección que los humanos han ejercido históricamente sobre ella, 2) en una misma región geográfico-cultural coexisten variedades de una misma especie con síndromes de domesticación diferentes, ya que han sido seleccionadas para usos distintos, y 3) a lo largo de la distribución geográfica de una especie existen síndromes diferentes de domesticación, según el contexto ecológico y cultural en el que han sido usadas, manejadas y seleccionadas. Este aspecto se puede ejemplificar especialmente con el caso de *Agave angustifolia* Haw., la especie de *Agave* con la distribución más amplia, objeto de una gama extensa de usos y probablemente el ancestro silvestre de varias especies cultivadas (Gentry, 1982; García-Mendoza *et al.*, 1993).

Revisaremos ahora tres de los síndromes o tendencias de domesticación que proponemos, discutiéndolos en relación con tres de sus usos principales e ilustrándolos en la Figura 11.1. El síndrome que ha resultado de su uso para mezcales lo analizaremos en una sección aparte.

1. Alimento. En este caso las características seleccionadas han sido el tamaño, la concentración de carbohidratos, y el sabor del tallo y del pedúnculo de la inflorescencia. Estas estructuras morfológicas se aprovechan cuando las plantas, hacia el final de su ciclo de vida, concentran en ellas una gran cantidad de energía (carbohidratos) para el desarrollo de las estructuras reproductivas. La gente corta el pedúnculo de la inflorescencia antes del desarrollo de las flores –es decir, castra a la planta–, lo utiliza, y deja el resto de la planta *in situ* durante meses o años, hasta que los carbohidratos, que de otra forma se hubieran usado para la producción de flores y néctar, alcanzan su máxima concentración en el tallo. Es entonces cuando les cortan las hojas (la base foliar queda prendida al tallo) y lo cosechan. A esta estructura le llaman “piña” o “cabeza” por su similitud a la infrutescencia de *Ananas comosus* (L.) Merr. Tanto los pedúnculos como las cabezas, asados u horneados bajo tierra, han sido ampliamente utilizados como alimento desde hace al menos 11,000 años tanto en Mesoamérica (Smith, 1967) como en la región cultural denominada Aridoamérica, ya que con el uso del fuego son fácilmente convertidos en un alimento muy dulce, con palatabilidad y digerible. Las características de los carbohidratos complejos (fructanos) que contienen han sido caracterizados y bautizados como agavinas por López *et al.* (2003). Se conocen alrededor de 60 especies empleadas para este uso y cerca de 12 presentan claros signos de domesticación. (*v. gr.* *Agave tequilana* F. A. C. Weber, *A. americana* var. *oaxacensis* Gentry, *A. angustifolia*; Gentry, 1982; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2015a). Este síndrome de domesticación está compuesto por: a) gigantismo en las partes usadas (cabezas y pedúnculos), y b) mayor concentración de carbohidratos (azúcares) en ellas.
2. Fibra. Para este uso, las características seleccionadas han sido la longitud y ancho de las hojas, la cantidad y resistencia de las fibras que contienen, y su calidad en relación al uso para el que se seleccionen. La utilización de las hojas de agaves por su fibra es tan antiguo e importante como el alimenticio. Hay evidencias arqueológicas de este apro-

vechamiento de al menos hace 9000 años antes del presente (A.P.) (King, 1986). Este uso probablemente se desarrolló, inicialmente, con la misma técnica arcaica: el asado al fuego. Existen alrededor de 48 especies que se emplean para este uso y alrededor de 12 presentan claros signos de domesticación (v. gr. *Agave fourcroydes* Lem., *A. sisalana* Perrine, *A. angustifolia*) (Gentry, 1982; Colunga-GarcíaMarín, 2003; Colunga-GarcíaMarín et al. 2007). Con las fibras se elaboran costales, sogas y cordeles, herramientas de trabajo que fueron muy importantes en México hasta los años cincuenta cuando empezaron a sustituirse con plásticos. En la época prehispánica, las fibras de agave se usaban incluso para elaborar vestimentas, ya fuera solas o combinadas con algodón (Kelly, 1944; Coggins y Shane III, 1989; García-Martínez, 1987; Benz et al., 2006). Este síndrome de domesticación está compuesto por: a) gigantismo en la parte usada (hojas), y b) mayor proporción de fibra en ellas.

3. Savia comestible, para elaborar bebidas sin fermentar (aguamiel) o fermentadas (pulque). Para este apartado, las características seleccionadas han sido la cantidad y calidad de la savia, lo cual se logra seleccionando un mayor tamaño de la roseta y savia con mayor contenido de azúcares y propiedades organolépticas deseables. El aprovechamiento de la savia que fluye del tronco al pedúnculo floral es también un uso muy antiguo, pero las evidencias materiales de su utilización son relativamente más recientes, de hace unos 3500 años A.P. (Parsons et al., 1990). A esta savia se le llama "aguamiel" por su dulzor, y una vez fermentada se le conoce como *pulque*. Existen alrededor de 18 especies en el país que se emplean para este uso y cerca de 10 especies cultivadas presentan evidentes signos de domesticación, (*Agave salmiana* var. *salmiana* Otto ex Salm-Dyck, *A. atrovirens* var. *mirabilis* (Trel.) Gentry, *A. mapisaga* Trel.) (Gentry, 1982; Colunga-GarcíaMarín et al., 2007; Alfaro-Rojas et al., 2007; Mora-López et al., 2011). El pulque llegó a ser muy apreciado en todos los círculos sociales de México, pero su abasto comenzó a disminuir dramáticamente en el período posterior a la Revolución Mexicana cuando las grandes haciendas pulqueras fueron sujetas al reparto agrario (Álvarez, 2015). Posteriormente, con la expansión de la industria cervecera, después de la década de los cincuenta, su comercio decayó aún más (Álvarez, 2015). Este síndrome está compuesto por: a) mayor cantidad de savia, y b) gigantismo en toda la planta.

Aunado a las características que conforman los tres aspectos del síndrome de domesticación referidos anteriormente, las culturas que han aprovechado los agaves también han dirigido la selección hacia: 1) variantes con dientes más pequeños y espaciados, característica que los hace menos peligrosos para su manipulación durante sus diversas formas de aprovechamiento y cosecha, 2) variantes con concentraciones bajas de saponinas, y, en el caso de especies de reproducción vegetativa, hacia 3) variantes con mayor producción de propágulos (Colunga-GarcíaMarín, 1998; Colunga-García Marín et al., 2007; Vargas-Ponce et al., 2007; Figueredo et al., 2014; Torres et al., 2015b).

Una de las prácticas de importancia agroecológica fundamental en el sistema agrícola mesoamericano ha sido el empleo de los agaves para conformar cercos vivos y para reforzar bordos de terrazas en terrenos con alta pendiente, plantándolos en hileras en sentido perpendicular a ella. Estas prácticas también ayudan a evitar la depredación de los cultivos

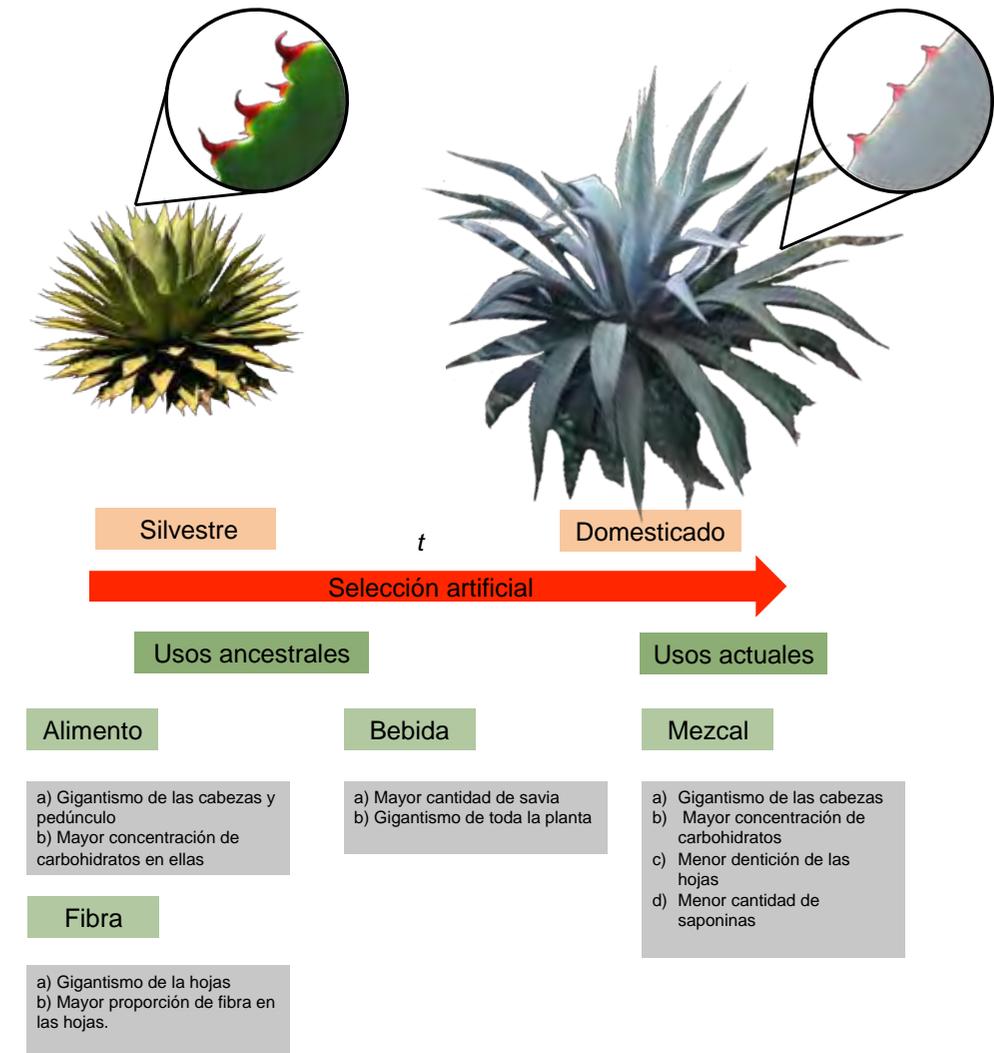


Figura 11.1. Esquema de los síndromes de domesticación en especies de agaves, distinguiendo entre los usos ancestrales y actuales, y las características distintivas para cada caso. Se tomó como referencia las especies *A. inaequidens* silvestre y *A. hookeri* domesticado (Diseño: I. Torres y C. J. Figueredo, Fotos: Ignacio Torres-García)

por parte de venados y pecaríes, así como para retener el suelo y la humedad. Los registros arqueológicos de este uso son de al menos 1000 años de antigüedad (García-Payón, 1979). La importancia de este aprovechamiento se acrecentó con la introducción del ganado por parte de los colonizadores europeos hace cerca de 500 años. En este tiempo, los cercos vivos se convirtieron en una estrategia fundamental de los pueblos nativos para proteger

sus cultivos y compaginar la actividad agrícola con la ganadera (Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007; Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2013). Para este uso las variedades más apreciadas son aquellas que tienen mayor dentición, lo cual es contradictorio con una de las características en la que coinciden los cuatro síndromes de domesticación que aquí se proponen. Por lo tanto, es posible encontrar variedades para las que la mayor dentición es parte de su síndrome de domesticación (Carillo-Galván, 2011) como lo discutiremos más adelante en uno de los casos analizados.

Otras categorías de uso han sido también de gran importancia para los pueblos originarios (Tabla 11.1). Las huellas fenotípicas de selección humana relacionada con estos usos no han sido estudiadas, pero podría ser muy interesante. Tal es el caso de la posible selección de variedades con escapos florales robustos para la construcción de viviendas en áreas como los valles de Tehuacán y del Mezquital en México, en donde las viviendas de los pueblos tradicionales tienen como componentes principales las hojas y los escapos de varias especies (*A. salmiana*, *A. marmorata* Roehl., *A. potatorum* Zucc., entre otras). En amplias áreas andinas, *Agave americana* L. es de los pocos recursos que brindan material para la construcción y, por lo tanto, una de las especies más utilizadas con este propósito.

Hoy en día, cerca de 107 taxa del género *Agave* son ampliamente usados en México, en donde reciben 570 nombres diferentes en 26 idiomas nativos, además del español (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007).

Existen varias aplicaciones modernas de los agaves, como son la extracción de saponinas precursoras de esteroides como el cortisol (Gentry, 1982; Debnath *et al.*, 2010). También el uso de los carbohidratos de sus tallos y la lignocelulosa de sus hojas para producir biocombustibles como el etanol (Borland *et al.*, 2009; Somerville *et al.*, 2010). Así como el potencial uso farmacéutico de las agavinas para la prevención o manejo de enfermedades o padecimientos como el sobrepeso, el síndrome metabólico, la obesidad, la diabetes y la osteoporosis (López y Urías-Silva, 2007).

Entre las especies más usadas destacan *Agave americana*, *A. angustifolia*, *A. fourcroydes*, *A. salmiana*, *A. sisalana* y otras que han sido menos documentadas como *A. mapisaga* y *A. hookeri* Jacobi. Estas especies fueron y aún siguen siendo altamente valoradas en México. Después de la llegada de los conquistadores europeos a América, su uso y cultivo se extendió hacia África, Asia y Europa (Gentry, 1982). Especies como *A. sisalana* han sido muy importantes económicamente en países como Tanzania, India, Brasil y China para la extracción y comercio de sus fibras (Gentry, 1982).

En el presente, el móvil más importante de uso, cultivo y selección de especies de *Agave* en México es el de la producción de las bebidas destiladas genérica y tradicionalmente llamadas “mezcales”, pero con otros nombres regionales como “tuxca”, “raicilla”, “bacanora” o “tequila”, siendo este último el más famoso. El tequila es un mezcal con Denominación de Origen desde 1975. Según la Norma Oficial Mexicana que lo rige (NOM-006; Secretaría de Economía, 2012b), solo puede producirse a partir de la variedad azul de la especie *A. tequilana*, pero puede producirse en cinco estados de la República Mexicana, y no solo en el Valle de Tequila, Jalisco, de donde obtuvo su fama y su nombre.

Tabla 11.1. Categorías de uso generales de las especies de agaves en México, especificando la parte de la planta que es empleada para cada propósito (Revisión I. Torres y S. Rangel-Landa).

Categorías de uso	Parte utilizada
1. Alimenticio	Tallo, bases foliares, escapo, savia, botones florales
2. Bebida destilada	Tallo, bases foliares, savia fermentada
3. Bebida fermentada	Savia extraída del tallo
4. Medicina humana	Hojas, savia, destilado
5. Medicina veterinaria	Hojas, savia, destilado
6. Aislante y condimento (barbacoa)	Hojas, cutícula
7. Material de construcción	Hojas, escapo, fibras
8. Cerca viva	Planta completa
9. Retención del suelo	Planta completa
10. Obtención de utensilios	Espinas, escapo, hojas
11. Ornato	Planta completa, escapos y flores
12. Forraje	Hojas, escapo y botones florales
13. Combustible	Hojas, tallos y escapo seco
14. Elaboración de papel	Hojas
15. Obtención de fibras	Hojas
16. Jabón (Saponinas)	Hojas
17. Carnada para cacería	Escapo, flores
18. Delimitación de terrenos	Plantas completas
19. Obtención de insectos comestibles	Plantas completas, hojas
20. Elaboración de artesanías	Hojas, escapos
21. Ceremonial	Individuos completos, escapos, destilado
22. Juguetes	Hoja, escapos, espinas

El mezcal: origen y evolución

La palabra “mezcal” proviene del náhuatl, la lengua hablada por los aztecas, y significa “agave cocido” (Gran Diccionario Náhuatl, 2016). En México, esta palabra tiene tres acepciones: 1) las plantas de *Agave* usadas para cocer sus cabezas como alimento; 2) el alimento obtenido de la cocción bajo tierra de sus cabezas, y 3) la bebida que se obtiene de destilar los jugos y fibras fermentadas (mostos) obtenidos de las cabezas cocidas de los agaves. La acepción más conocida es la de las bebidas destiladas de *Agave*, y es en ese sentido en el que usamos aquí el término. En este caso el término hace una referencia clara a la materia prima usada y a su uso más antiguo, el alimenticio, a partir del cual se desarrolló su aprovechamiento para bebidas fermentadas y destiladas.

El área en la que al arribo de los españoles se horneaban tradicionalmente cabezas de agave para alimento humano fue llamada por Henry Bruman (1940, 2000) "La gran región cultural del mezcal" (Fig. 11.2). En esta área, Bruman señaló que los agaves como alimento probablemente fueron: 1) el elemento más difundido de la dieta nativa antes del desarrollo de la agricultura, 2) fundamentales en todas las regiones de Mesoamérica y sur de Aridoamérica, excepto en las tierras bajas tropicales, y 3) la base primordial sobre la cual se superpusieron, más tarde, los recursos alimenticios cultivados en Mesoamérica.



A partir de este uso, el horneado de cabezas de agaves para bebidas fermentadas y destiladas pudo haberse iniciado. El área con una cultura de horneado de agaves para bebidas fermentadas se denominó por el mismo autor como la región cultural del "Vino-Mezcal". Dentro de esta área describió cinco sub-áreas según la importancia relativa de otras bebidas alcohólicas. En una de ellas las bebidas predominantes eran, justamente, las de agave y las de jocote o ciruela nativa (*Spondias* L. spp.). El valle de Tequila, en honor del cual la bebida recibe su nombre, se encuentra en las cercanías de esta área (Figura 11.2). Colindando con esta, hacia

el centro de México, se encuentra el área de predominio del pulque, bebida fermentada de agave que podría haber sido descubierta junto a su uso alimenticio, ya que es posible que los humanos, al cortar el pedúnculo floral para usarlo como alimento, hayan observado y probado la savia que fluía de la planta.

Pero ¿cómo y cuándo pudo iniciarse la destilación de los fermentos (mostos) de agave? La fermentación es un proceso natural descubierto y empleado por todas las culturas humanas, pero la destilación no lo es, y no ha sido descubierta o inventada por todos los pueblos. En el caso de los agaves, el destilado más común ha sido el del mosto, también llamado tepache o tuba, obtenido de los jugos extraídos de las cabezas horneadas, pero también puede destilarse la savia fermentada de la inflorescencia: el pulque.

Para la región del "Vino-Mezcal", existe una descripción inequívoca de que la población indígena de la Costa y de la Sierra de Nayarit preparaba esta bebida hace ya más de 400 años a partir de los mostos obtenidos de las cabezas de agave horneadas (de Arregui, 1612, en Zizumbo-Villarreal y Colunga-GarcíaMarín, 2007). Para la región que en la actualidad es el sur del estado de Jalisco hay una descripción de 1579 acerca de sus usos prehispánicos, entre los que se incluye la elaboración de "vino" (Relación de Zapotitlán, 1579 en Zizumbo-Villarreal y Colunga-GarcíaMarín, 2007), palabra que los españoles usaban de forma ambigua para diferentes bebidas alcohólicas, tanto fermentadas como destiladas.

Aunque la invención prehispánica de los destilados de *Agave* permanece controversial, Zizumbo-Villarreal *et al.* (2009a) han presentado evidencias que fortalecen la hipótesis de su elaboración en la región del "Vino-Mezcal" desde hace 3500 años, probablemente con fines ceremoniales y usándose un tipo de vasija que se habría desarrollado

Figura 11.2. Regiones culturales de producción de bebidas alcohólicas en México, modificado a partir del mapa propuesto por Bruman (1940). Se indica la gran área cultural en la que los agaves han sido usados como alimentos y bebidas fermentadas. Se indican las localidades de los tres casos de estudio mencionadas en el capítulo (Diseño S. Rangel-Landa).

a partir de las ollas de cerámica usadas para cocinar frijoles. Por su parte, Serra-Puche y Lazcano-Arce (2016), también han encontrado evidencia que indica que en Tlaxcala pudo haberse producido mezcal en el 300 a. C, también con fines ceremoniales.

Habiéndose originado los mezcales a partir del uso alimenticio de los agaves, y evolucionado con la selección de características similares, su síndrome de domesticación incluye muchas de las características de los tres síndromes principales en agaves (Figura 11.1). Está compuesto por: a) gigantismo de la parte usada (cabezas) y b) mayor concentración de carbohidratos en ellas, así como c) menor dentición de las hojas y d) menor cantidad de saponinas para favorecer la cosecha. Por otra parte, es posible que del uso de los agaves para la producción de bebidas fermentadas y destiladas haya surgido una presión selectiva hacia asociaciones exitosas de microorganismos con los mostos (las huellas que dejaron estas presiones selectivas no ha sido estudiadas hasta ahora).

La revisión de la literatura indica que en México son usados actualmente 56 taxones del género *Agave* para la producción de mezcal en 26 de las entidades federativas, hay que tener en cuenta que el empleo de algunos taxones es muy reciente para este uso, como es el caso de *A. fourcroydes*, mientras que la mayoría han sido aprovechados de manera tradicional (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2015a). Esto representa un tercio de todas las especies que crecen en el país y abarcan prácticamente todo su territorio. Estas especies, además, según Colunga-GarcíaMarín *et al.* (2007), podrían contar con al menos 250 variedades tradicionales; producto de su aprovechamiento, manejo y selección bajo distintas condiciones ambientales y culturales a lo largo de los milenios en los que ha ocurrido la interacción humano-agaves. Esta diversidad biológica no tiene par en el mundo de las bebidas alcohólicas.

Sabemos muy poco de la evolución bajo manejo y selección tradicional de los 56 taxones con que se produce mezcal en México. Aparentemente, solo 12 de ellas son cultivadas y presentan claros signos de domesticación, 11 tienen un manejo incipiente y 37 son aprovechadas de poblaciones silvestres (Torres *et al.*, 2015a). De igual forma, aún es necesario revisar la taxonomía de muchas de estas especies, así como caracterizar sus variedades (Apéndice 1).

Consecuencias del manejo y domesticación de los agaves en Mesoamérica: casos de estudio

Agave angustifolia, *A. tequilana* y *A. rhodacantha* Trel en Jalisco y Colima.

El primer caso que revisaremos son los estudios realizados dentro de la porción central del área cultural del “Mezcal-Jocote”, en donde Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal (2007) plantearon la hipótesis de que ahí, por su historia y condiciones ecológicas, debía ubicarse un núcleo importante de diversificación de agaves bajo manejo y selección artificial tradicional (Fig. 2).

La aproximación de estudio en este caso, que incluye a *A. angustifolia*, *A. rhodacantha* Trel. y *A. tequilana* (Figura 11.3 A, F y G), ha sido multidisciplinaria al emplear la arqueología, etno-

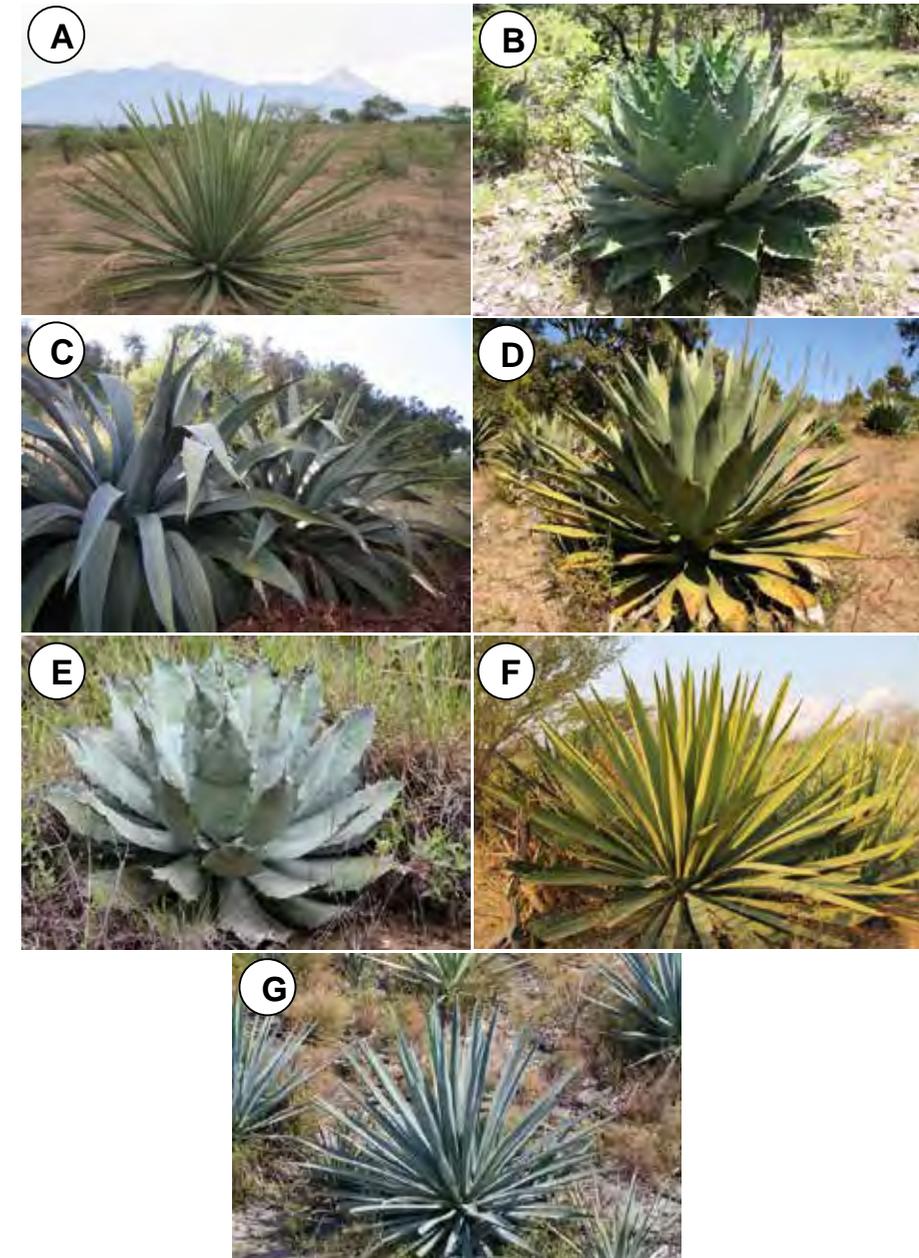


Figura 11.3. Especies de agaves de los tres casos de estudios indicados en este capítulo. A) *Agave angustifolia* cultivado; B) *A. cupreata* silvestre; C) *A. hookeri* en cerca viva; D) *A. inaequidens* silvestre en bosques de pino encino; E) *A. potatorum* silvestre (Foto A. Delgado-Lemus); F) *A. rhodacantha* cultivado (Foto C. Lucio); G) *A. tequilana* (Fotos: I. Torres, excepto E y F).

historia, etnobotánica, agroecología, morfología y genética, en un área que va de la costa del estado de Colima al Valle de Tequila en el estado de Jalisco. Los pueblos prehispánicos de esta zona dejaron numerosas evidencias arqueológicas de la importancia de los agaves como fuente de alimento y fibra, y algunas evidencias que sugieren su importancia en la obtención de bebidas alcohólicas (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2009b).

Las estribaciones de los volcanes de Colima son algunas de las regiones en donde se refugió la población nativa de la zona estudiada después de la conquista española, y que hasta hace veinte años aún se encontraba relativamente aislada. En esta región, la elaboración actual de mezcal tradicional, llamado localmente “vino-mezcal” o simplemente “vino”, se basa en la tecnología prehispánica de horneado de las cabezas bajo tierra, la fermentación

de sus jugos y bagazo en pozos subterráneos cavados en la roca, “pozos de peña”, así como en la separación del alcohol con el destilador de tipo asiático que fue introducido a la región hace unos cuatrocientos años (Fig. 11.4). Este proceso se basa, a su vez, en una tradición agroalimentaria prehispánica de miles de años de antigüedad, en la que los agaves han estado integrados de manera central y continua hasta el presente (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2012, 2014). Esto sugiere fuertemente que la diversidad de variedades locales usadas hoy en día, incluyendo al agave azul, es el resultado de miles de años de selección humana (Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007).

Esta región es el área en donde Vargas-Ponce *et al.* (2007) encontraron la mayor riqueza de variantes reconocidas tradicionalmente por los agricultores: 40 de 44 (Figura 11.5) y agriculto-



Figura 11.4. Procesos de elaboración del vino-mezcal en Zapotitlán de Vadillo, Jalisco. A) Cocimiento bajo tierra de las cabezas de agave llamadas “mezcal” (Foto: G. Carrillo), B) Mezcal fermentado conocido como tuba para elaborar vino-mezcal, C) Destilación de la tuba (Foto: P. Colunga-GarcíaMarín), D) Corroboración del grado alcohólico del vino-mezcal (Foto: I. Torres).



Figura 11.5. Cultivares tradicionales de Agave del sur de Jalisco (Fotos: O. Vargas-Ponce).

res cultivando 10 y hasta 33 variedades tradicionales de *Agave* presentes en una sola parcela, cultivadas en el agroecosistema complejo conocido como milpa, basado en maíz, frijol y calabaza, y que incluye también el manejo de ganado o en mezcaleras (Figura 11.6 A y B). El sistema de aprovechamiento y manejo de los agaves en esta zona, además de incluir a la milpa y las mezcaleras, también comprende poblaciones silvestres, toleradas y fomentadas. Las plantas de agave son propagadas generalmente de forma vegetativa, pero ocasionalmente también lo son usando plántulas nacidas de semillas, toleradas o fomentadas *in situ*, o producidas en viveros para cultivo *ex situ* en cercos vivos, bordos y terrazas asociados al cultivo de milpa y a la producción de ganado (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2013).

En contraste, en los alrededores del valle de Tequila, solo se encontraron cinco variedades tradicionales: el agave azul, dominando el área, cuya especie solo se conoce bajo cultivo, y cuatro variedades que prácticamente desaparecieron con la expansión agroindustrial del agave azul, considerado un clon debido a la práctica agronómica de propagación exclusivamente asexual de esta variedad y a su baja fertilidad (Escobar-Guzmán *et al.*, 2008).

Vargas-Ponce *et al.* (2007, 2009) encontraron que la riqueza de variantes de *Agave* cultivadas tradicionalmente en la región es el resultado de las siguientes acciones continuas: 1) mantenimiento y mejoramiento de variedades regionales antiguas, y adaptación de variedades de otras regiones: ambas con huellas morfológicas del proceso de domesticación; 2) introducción y mejoramiento de germoplasma silvestre, seleccionado por el mismo agricultor o por otros, hace uno o muchos ciclos de cultivo; 3) tolerancia y fomento de plantas silvestres que crecen dentro de las parcelas, y 4) cultivo en cercos vivos, bordos y terrazas.

La mayor parte del germoplasma encontrado pertenece al complejo *Agave angustifolia*, acervo biológico del que posiblemente se domesticó y originó *A. tequilana* var. *azul*. También se encontraron poblaciones silvestres y cultivadas de *A. rhodacantha* y posibles híbridos de ellas, lo que concuerda con la opinión de Gentry (1982) de que pueden formar complejos genéticos. Dos de las variedades tradicionales, una de cada especie, han sido muy importantes como cercos vivos y fuente de fibra (Vargas-Ponce *et al.*, 2007; Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2013). Algunas de las variantes utilizadas, al parecer las más modernas, están siendo seleccionadas por la suavidad de sus fibras, característica deseable al momento de la molienda, facilitando así esta parte fundamental del proceso de elaboración del "vino-mezcal" (Macario Partida, comunicación personal).

La riqueza de variantes en las parcelas es favorecida por los agricultores como una estrategia que les permite: 1) producción continua de plantas maduras, ya que las variedades tienen ciclos de vida de diferente duración; 2) diversidad de sabores, adaptada al gusto tradicional por mezcales elaborados con mezclas de diferentes especies y variedades de *Agave*; 3) menor ataque de depredadores y enfermedades, lo que evita el uso de herbicidas e insecticidas, y permite su asociación con los cultivos tradicionales alimenticios (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2013).

La diversidad y la estructura genética del sistema tradicional y el de su contraparte, el sistema agroindustrial del tequila, se investigó analizando 37 poblaciones con 69 loci ISSR (*Inter Simple Sequence Repeats*), un marcador genético dominante, empleando tres estimadores de diversidad (Vargas-Ponce *et al.*, 2009). Este estudio indicó que las variedades tradicionales de *A. angustifolia* tienen una elevada diversidad genética ($H_{BT} = 0.442$), similar o incluso mayor a la que

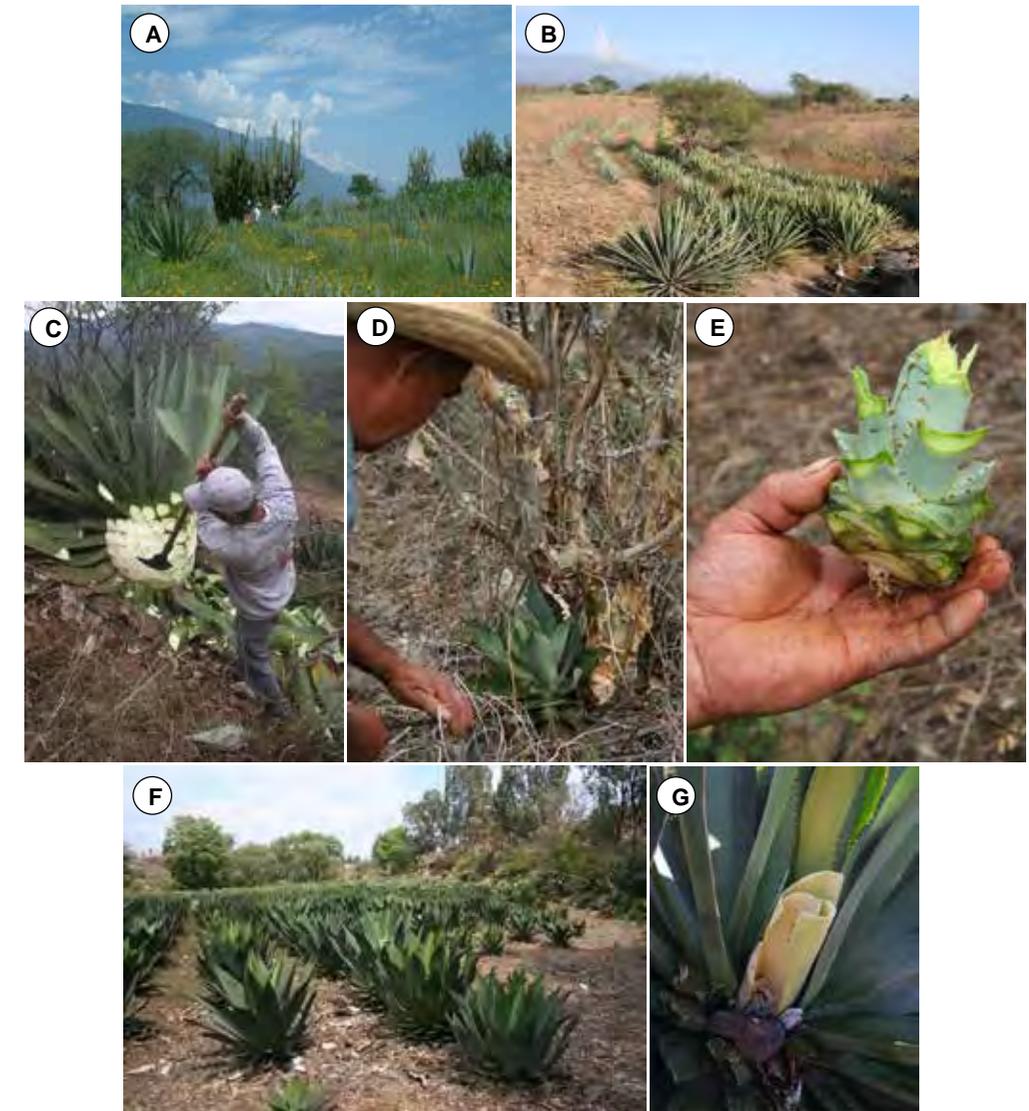


Figura 11.6. A y B) Agroecosistemas tradicionales o mezcaleras del sur de Jalisco (Foto A: P. Colunga.GarcíaMarín y B: I. Torres), C) *Agave inaequidens* silvestres siendo cortado para la producción de mezcal; D y E) Manejo *ex situ* de *A. inaequidens*, extracción de plántulas silvestres para el cultivo en huertas en la región de Sahuayo, Michoacán, F) Cultivos de *A. inaequidens*, G) *A. hookeri* con perforación en el meristemo central para la extracción de savia; (Fotos: I. Torres).

se encuentra en las poblaciones silvestres de esta especie ($H_{BT} = 0.428$). El agave tequilero (*A. tequilana* var. *azul*), en contraste, tiene 73% menos diversidad ($H_{BT} = 0.118$). El análisis a nivel de

parcelas mostró la misma tendencia de contraste entre las parcelas manejadas tradicionalmente y las de producción agroindustrial de tequila con base en el clon agave azul. Un caso aun más drástico de pérdida de diversidad genética, por efecto de las plantaciones agroindustriales, fue encontrado por Colunga-GarcíaMarín *et al.* (1999) para el caso del henequén (*A. fourcroydes*).

La evaluación de la diferenciación, o estructura genética, de los tres acervos manejados por los agricultores tradicionales mostró que las poblaciones silvestres no son muy diferentes entre sí ($F_{ST} = 0.179$), pero esta diferenciación es mucho mayor cuando se comparan con las formas de agave toleradas o fomentadas ($F_{ST} = 0.333$) y aun mayor en las variedades tradicionales cultivadas ($F_{ST} = 0.360$). Entonces, existe una mayor diferenciación o estructura genética poblacional conforme aumenta la intensidad del manejo y selección humana. Esto probablemente esté relacionado con una disminución del flujo génico entre poblaciones, asociado a la disminución de la propagación sexual (basada en semillas) y un incremento de la asexual (basada en hijuelos y bulbilos) conforme se intensifica su manejo.

A través del análisis de la variación morfológica de las 22 variedades mezcaleras cultivadas incluidas en este estudio (Vargas-Ponce *et al.*, 2007), se evidenció que el síndrome o tendencia de domesticación preponderante está relacionado con una mayor producción del producto deseado y una mayor facilidad de manejo y procesamiento. Comprende las siguientes características: 1) gigantismo de tallo y hojas, lo cual incluye un mayor tamaño de la cabeza, que es donde se acumulan los azúcares y 2) disminución del índice de dentición. Por su parte, la exploración etnobotánica mostró que son más frecuentes las variantes que la gente considera que tienen: 3) una buena concentración de azúcares, ideal para la producción de mezcal, 4) alta capacidad de producción de hijuelos, 5) un ciclo de vida más corto (entre seis a ocho años), y 6) menor cantidad de saponinas. En los agroecosistemas mezcaleros del sur de Jalisco hay un manifiesto gradiente de variación en las características que incluye su síndrome de domesticación, esto debido a la diversidad de variantes que se mantienen en cultivo y a que históricamente varias de ellas se han usado con tres propósitos: materia prima para la producción de mezcal, fibra y cercas vivas.

Carrillo-Galván (2011) realizó un estudio etnobotánico y morfológico detallado de dos de estas variedades, el ixtero verde (*A. angustifolia*) y el ixtilero amarillo (*A. rhodacantha*) (Figura 11.3 F), las cuales históricamente han sido las más importantes por su fibra (*ixtle* en náhuatl), pero también han sido usadas para la elaboración de mezcal y para constituir cercos vivos. El síndrome de domesticación de ambas variedades incluye: 1) gigantismo en hojas y cabezas, 2) mayor fibrosidad en hojas y 3) mayor longevidad. Sin embargo, mientras que el ixtero verde tiene como cuarta característica una menor dentición, en contraste, el ixtilero amarillo presenta una mayor dentición. Lo anterior es explicado por esta autora por el hecho de que el ixtilero verde ha sido la variedad más apreciada en la región para el uso de su fibra, por lo que se ha seleccionado con una menor dentición que permite un manejo más fácil de las hojas al momento de su cosecha. La casi desaparición de la tradición ixtilera, debido a la introducción del plástico, ha traído consigo la disminución del cultivo de esta variedad llevándola casi a su total extinción. El síndrome de esta variedad coincide con el encontrado por Colunga-GarcíaMarín *et al.* (1996) para el henequén (*A. fourcroydes*), el cual fue domesticado por los mayas de la Península de Yucatán para la producción de fibra. Por otra parte, la mayor dentición del

ixtilero amarillo es explicada por Carrillo-Galván (2011) por el hecho de que ha sido la variedad preferida como cerco vivo, puesto que esta característica es fundamental para evitar el paso de ganado y personas a los cultivos. Aunque el aprovechamiento de la fibra de los agaves ha declinado, actualmente el ixtero amarillo es una variedad muy abundante en la región por su uso con triple propósito. Además de utilizarse como cerco vivo es el preferido para la obtención de mezcal, ya que es la variedad que le da el sabor y olor distintivo a los mezcales de la región (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2011; Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2013).

Es importante señalar que, al inicio de estos estudios, hace trece años la producción de mezcal en las estribaciones de los volcanes de Colima no respondía aún a la moda del mezcal que existe hoy día en México, sino a un mercado regional en el cual tienen prestigio y tradición desde hace cientos de años. En el estado de Colima esta variedad es muy apreciada y llamada popularmente “tuxca” por producirse tradicionalmente en las márgenes del río Tuxcacuesco.

Agave inaequidens y *A. hookeri* en Michoacán

Nuestro segundo caso de estudio se encuentra en lo que Bruman (1940) llamó la subárea cultural del “Pulque”, contigua a la del “Mezcal-Jocote” (Figura 11.2). Esta área se distingue porque el pulque era la bebida predominante a la llegada de los españoles, aunque también se producían bebidas fermentadas a partir del mezcal cocido y el jocote. Aquí revisaremos los estudios realizados recientemente en *Agave inaequidens* Koch. (Figura 11.3 D) y *A. hookeri* (Figura 11.3 C) por Figueredo *et al.* (2014, 2015a, 2015b) y Torres *et al.* (2015b, 2016) en el estado de Michoacán (Figura 11.2).

Agave inaequidens es una especie multipropósito de importancia cultural de la que se han documentado 16 categorías de uso y alrededor de 34 usos específicos. Sus aprovechamientos ancestrales más importantes, pero que paulatinamente han caído en desuso en gran parte de las comunidades donde tuvieron cierto auge, son la extracción de fibras para la elaboración de cordelería (Valenzuela-Zapata *et al.*, 2011), la savia de la inflorescencia para elaborar pulque y la cocción de su pedúnculo floral como alimento. La especie es comúnmente conocida como maguey alto o bruto, este último nombre se debe al alto contenido de saponinas y cristales de oxalato de calcio en la savia de sus hojas, por lo cual es cáustica y produce dermatitis de contacto a los humanos.

Torres *et al.* (2015b, 2016) encontraron que actualmente en Michoacán esta especie es usada principalmente para la elaboración de mezcal, y que con este fin su aprovechamiento ocurre en un gradiente de intensidad de manejo que incluye cerca de 13 prácticas distintas. Este gradiente abarca tres formas principales de manejo: 1) la simple extracción de poblaciones silvestres sin ningún tipo de acciones intencionadas dirigidas a su conservación (Figura 11.6 C); 2) el manejo *in situ* de estas poblaciones que puede incluir: a) la tolerancia de individuos de distintos tamaños –lo cual ha tenido ciertas repercusiones, como se discutirá más adelante– cuando se desmonta el bosque con la intención de que produzcan y liberen semillas; b) recolección y dispersión de semillas en sitios propicios para su germinación y establecimiento, y el trasplante de plantas jóvenes de origen vegetativo o sexual a sitios con más posibilidades de éxito (Figura 11.6 D y E); c) reintroducción de plántulas crecidas en viveros y d) la suspensión

de la cosecha por dos años o más; y 3) su cultivo *ex situ*, en parcelas, huertos o cercas vivas (Figura 11.6 F). Las cercas vivas se construyen a través del trasplante esporádico de plantas juveniles silvestres. Los cultivos actualmente se establecen con plántulas crecidas en vivero a partir de semillas recolectadas de las poblaciones silvestres, en monocultivo y por lo general usando agroquímicos. El cultivo en parcelas es una práctica relativamente nueva, de no más de veinticinco años, de acuerdo con entrevistas a los productores locales. Desconocemos la posibilidad de un manejo bajo cultivo y selección artificial más antiguo (la revisión de fuentes históricas podría ser reveladoras en este sentido).

La gente reconoce actualmente diez variantes morfológicas silvestres de *A. inaequidens* de acuerdo con la forma y coloración de las hojas, así como por el tamaño y forma de los dientes. Estos caracteres, sin embargo, no son un factor relevante al momento de elegir las para elaborar mezcal. Por lo general, son las plantas de mayor vigor las que se seleccionan para introducir las al cultivo *ex situ* (Figueredo *et al.*, 2014) y la mayoría de los manejadores toleran *in situ* los individuos reproductivos de menor tamaño. Este hecho ha determinado una selección direccional histórica que ha favorecido la reproducción y establecimiento *in situ* de fenotipos de menor tamaño, es decir, que el tamaño promedio de los individuos ha sido progresivamente cada vez más pequeño. Estos fenotipos pequeños proveen menor cantidad de materia prima para la elaboración de mezcal, determinando así que los manejadores tengan que extraer *in situ* una mayor cantidad de individuos que en el pasado. Consecuentemente, los individuos tolerados producen una menor cantidad de semillas. Evidencia de estos hechos es el testimonio de múltiples manejadores, los cuales hacen referencia al gran tamaño de los agaves que cosechaban hace 30 años y que actualmente es sumamente raro encontrarlos.

El análisis de la diversidad genética de *A. inaequidens* llevado a cabo por Figueredo *et al.* (2015) incluyó 16 poblaciones de las tres categorías de manejo, empleando como marcador molecular diez loci microsatelitales (SSR: *Simple Sequence Repeats*) que son marcadores co-dominantes. Se encontraron altos niveles de diversidad genética ($H_e = 0.707$), sin diferencias significativas entre categorías de manejo (silvestres $H_e = 0.704$, manejo *in situ* $H_e = 0.733$, cultivo *ex situ* $H_e = 0.698$). No obstante, se encontró una diferenciación o estructura genética moderada entre las poblaciones ($F_{ST} = 0.112$). Estos resultados se explican debido a los mecanismos naturales de flujo génico mediado por murciélagos nectarívoros y otros organismos que transportan el polen a grandes distancias (León, 2013). Así también por el manejo dinámico de los propágulos por parte de los productores de mezcal, puesto que sus cultivos los conforman con base en propágulos de distintas fuentes silvestres, es decir, el manejo contribuye al flujo génico entre distintas poblaciones regionales. Estos resultados, en conjunto, nos sugieren que esta especie se encuentra en una fase incipiente de domesticación, puesto que existen elevados niveles de diversidad morfológica y genética, pocas divergencias de las poblaciones y un elevado flujo de genes entre ellas, en parte natural y en parte artificial.

Aun cuando se encontraron elevados niveles de diversidad genética poblacional en la especie, los autores consideran que algunas poblaciones están en riesgo por su sobre explotación para producir mezcal y la forma en que se manejan, puesto que algunas poblaciones tienen bajos tamaños poblacionales, baja diversidad genética y baja talla de los adultos (Figueredo *et al.*, 2014, 2015a, 2015b; Torres *et al.*, 2015b, 2016).

Agave hookeri es otra especie conocida solamente bajo cultivo, con la cual se produce pulque en esta región (Figura 11.6 G), aunque esta práctica ha disminuido notablemente. En la actualidad aún se encuentra cultivada como cerca viva en algunos poblados de la Meseta Purépecha en Michoacán, pero es progresivamente escaso. Debido a su similitud morfológica con *A. inaequidens*, Gentry (1982) planteó que esta especie es su ancestro silvestre más probable. Actualmente es posible encontrar cercas vivas donde están mezclados individuos de *A. inaequidens* y *A. hookeri* con la posibilidad de entrecruzamiento entre ellos, tal y como lo registró Gentry (1982) hace algunas décadas. Además de su uso para producir aguamiel y pulque, prevalece su uso como cerca viva, ornamental y para producir fibras, aunque existe una pérdida de interés y de conocimiento de esta última práctica. Existe una disminución de sus plantaciones e incluso se le ha sustituido por otras especies pulqueras reconocidas de otras zonas de México, tales como *A. salmiana* y *A. mapisaga*.

La gente de la región usa el término purépecha *akamba* para referirse a los magueyes. Distinguen dos tipos: el *toro akamba* o *negro*, que se encuentra en el monte, o silvestre, y que corresponde a *A. inaequidens* y *vaca akamba* o blanco, que se encuentra generalmente como cerca viva y es *A. hookeri*. La distinción de estos dos tipos está asociada a la condición cáustica y a las diferencias en el patrón de dentición. Debido a esto, en otras regiones el *A. hookeri* es denominado maguey manso, justamente como reconocimiento de la menor dentición como de su menor contenido de saponinas que lo hacen menos cáustico. Ambas son características que la gente reconoce en sus prácticas de manejo.

A diferencia de lo registrado en *A. inaequidens*, en el caso de *A. hookeri* se evidenció que las plantas exhiben el síndrome de domesticación, con individuos de gran tamaño y menor dentición (Figura 11.1), además de bajos niveles de diversidad genética ($H_e = 0.496$) y elevada estructura poblacional ($F_{ST} = 0.280$). Las consecuencias del proceso de domesticación en esta especie están asociadas a las prácticas de propagación de los cultivos. Luego de la extracción de aguamiel y pulque, de los remanentes de los individuos sin meristemo principal emergen hijuelos de meristemas axilares y son estos los que se utilizan para conformar los nuevos cultivos. La reproducción sexual es baja debido a la remoción de las inflorescencias o quiote para extraer pulque. En cambio, la propagación vegetativa es alta en los cultivos, lo que determina una mayor uniformidad morfológica entre individuos así como una pérdida de variantes alélicas. Estos hechos determinan asimismo mayor probabilidad de fijación de ciertos genotipos, limitaciones al flujo de genes y, consecuentemente, una diferenciación más pronunciada entre poblaciones.

Lamentablemente *A. hookeri* es una especie pulquera que desde nuestra perspectiva, se encuentra en peligro de desaparecer principalmente por el desinterés de las generaciones actuales por mantener su cultivo. Así también, por el cambio de uso de suelo donde las cultivan, y porque el consumo de pulque también ha disminuido de manera generalizada en estas comunidades.

Para otras especies pulqueras, como es el caso de *A. mapisaga* y *A. salmiana* del nororiente del estado de México, estudios con marcadores ISSR también han reportado diversidad genética baja ($H_e = 0.28$), además de muy bajo flujo de genes entre las poblaciones ($Nm = 0.24$, Alfaro-Rojas *et al.*, 2007).

Agave potatorum en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y *A. cupreata* en Michoacán y Guerrero

Nuestro tercer caso de estudio también se encuentra en la subregión del “Pulque”, y se trata de las investigaciones realizadas por Torres *et al.* (2013, 2015a, 2016), Delgado-Lemus *et al.* (2014a, 2014b) y Félix-Valdez *et al.* (2015) sobre *Agave potatorum* Zucc. (Figura 11.3 G) en el valle de Tehuacán-Cuicatlán que se encuentra en los estados de Oaxaca y Puebla (Figura 11.2).

Los resultados de Torres *et al.* (2013, 2015a, 2016) y Delgado-Lemus *et al.* (2014a, 2014b) indican que en el área de estudio *A. potatorum* es una especie altamente vulnerable, esto a pesar de que *A. potatorum* crece en una zona en la que los estudios arqueológicos han demostrado una interacción entre humanos y agaves desde hace aproximadamente 12 000 años. También, a pesar de que este agave ha sido una especie multipropósito de gran importancia económica y cultural para la que existe un amplio conocimiento ecológico tradicional. Los autores de los trabajos referidos consideran que su alta vulnerabilidad se debe a que: 1) no ha sido domesticada y su manejo es apenas incipiente; 2) tiene una distribución restringida; 3) solo se reproduce sexualmente, y 4) en algunas regiones específicas sus poblaciones están siendo sobre explotadas para producir mezcal y no existen acciones importantes para su conservación a futuro. Aunque se han producido mezcales localmente desde hace unos cien años, hace apenas unos diez que los pobladores han iniciado prácticas de manejo incipiente de conservación del recurso (Torres *et al.*, 2013).

Félix-Valdez *et al.* (2015) realizaron una comparación de la diversidad y estructura genética de poblaciones silvestres sometidas a extracción, poblaciones no sometidas, y plantas crecidas en dos viveros usadas para reforestar áreas en explotación. Estas últimas procedían de semillas obtenidas de poblaciones silvestres circundantes. Sus resultados, con base en el análisis de 12 poblaciones y siete loci de microsatélites, mostraron que la categoría de silvestres sin extracción resulta la más diversa ($H_T = 0.870$), pero no presenta diferencias significativas con las poblaciones de otros estatus de manejo: silvestres bajo extracción ($H_T = 0.720$) y poblaciones cultivadas en viveros ($H_T = 0.690$).

Félix-Valdez *et al.* (2015) consideran que estos resultados deben tomarse con cautela. El hecho de que no haya diferencias significativas en la diversidad genética entre las categorías de manejo, solamente sugiere que el aprovechamiento no ha tenido consecuencias sobre la diversidad genética de las poblaciones. Sin embargo, otros aspectos poblacionales sí se han visto afectados, por ejemplo, la extracción sistemática de plantas ha llevado a una baja densidad de individuos reproductivos, lo cual afecta la probabilidad de visita de los polinizadores. Esta especie, depende casi por completo de la reproducción sexual, ya que no presenta propagación vegetativa. Esto, aunado a la poca distancia observada de dispersión de las semillas, ha llevado a una diferenciación o estructuración genética alta de sus poblaciones ($\phi_{PR} = 0.36$), mucho más de la que se espera en plantas con características de historia de vida similar, incluyendo a sus congéneres. Los autores consideran, además, que el escaso flujo genético que se observa entre las poblaciones, todas ellas con valores significativos de endogamia en todos los loci ($F_{IS} = 0.25 - 0.31$), está comprometiendo la viabilidad de las poblaciones de *A. potatorum* en esta región.

Es importante destacar que, aunque las poblaciones estudiadas están relativamente cercanas unas de otras (entre tres y 20 km de distancia), la estructura es alta. Este rango de distancias es corto en relación con los polinizadores principales: los murciélagos *Leptonycteris yerbabuenae* Martínez & Villa, los cuales pueden viajar hasta 100 km en una noche. Ello indica que la dispersión de semillas y su establecimiento se encuentran sometidos a presiones selectivas altas (Rangel-Landa *et al.*, 2015).

Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Aguirre-Dugua y Eguiarte (2013) y Scheinvar (2008) con ISSRs para *A. potatorum*, así como para su pariente cercano *A. cupreata* Trel. et Berger (Figura 11.3 D), una especie que cuenta con una distribución más amplia en los estados de Guerrero y Michoacán. Estos autores detectaron altos niveles de diversidad genética en ambas especies ($He = 0.30-0.31$ y $0.32-0.36$, en *A. potatorum* y *A. cupreata*, respectivamente), lo cual consideran que refleja los patrones históricos de retención de diversidad genética dentro de las poblaciones. Lo anterior, asociado a sus largos ciclos de vida y altos niveles de polinización cruzada a corta y larga distancia mediada por murciélagos (lo cual permite un flujo génico elevado). Aunque estos valores también sugieren un manejo apropiado por parte de los productores, los autores consideran, de manera similar a lo encontrado por Félix-Valdez *et al.* (2015), que la amenaza de extinción de estas especies permanece debido a la sobre-extracción de individuos reproductivos adultos. Esto ha afectado notoriamente la tasa de crecimiento poblacional (λ) por la disminución en la cantidad de semillas disponibles para la regeneración de las poblaciones (Torres *et al.*, 2013, 2015a). También reduce la probabilidad de visita de los polinizadores debido a la poca oferta de recursos nectaríferos. La reducción de visitas de polinizadores implicaría una disminución en el flujo genético entre poblaciones y mayores tasas de endogamia (Estrella, 2008). Esto afectaría a largo plazo la adecuación de estas poblaciones que dependen enteramente de las semillas para su permanencia (como ya se mencionó, no producen hijuelos ni bulbillos).

Afortunadamente, los niveles de diversidad que existen actualmente en estas poblaciones representan una base firme sobre la cual se pueden establecer programas de manejo basados en la regeneración natural y en la reforestación. Scheinvar (2008) encontró que la diversidad genética de los viveros de *A. cupreata* basados en la recolección de semillas a nivel local ($He = 0.32$) es representativa de la diversidad de las poblaciones silvestres, lo cual señala el potencial de esta estrategia en la conservación de los recursos genéticos de estas especies en el largo plazo.

El estudio de la domesticación y manejo: su aporte a la construcción de alternativas para el aprovechamiento actual de los magueyes

A pesar de toda la evidencia histórica y científica relacionada a la amplia distribución en México de las especies de agaves mezcaleras y su uso tradicional desde hace miles de años, la Denominación de Origen Mezcal (DOM) y la Norma Oficial Mexicana asociada a ella (NOM-070) (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial 1994) únicamente reconocen algunos municipios de solo nueve de las 26 entidades federativas en donde se ha reportado la elaboración tradicional de mezcal. Irónicamente, también están excluidos los productores de

los estados de Jalisco y Tlaxcala, en donde se han encontrado evidencias que indican que su elaboración puede datar de hace milenios (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2009a; Serra-Puche y Lazcano-Arce, 2016).

Los productores excluidos no pueden llamar a sus bebidas “mezcal”, aunque sean mezcales. Deben llamarlas, hasta hoy, “destilado de agave”; con lo que el Estado Mexicano los priva del uso de una denominación histórica que les pertenece. Pero el despojo ha tratado de ir más lejos, buscando disminuir sus posibilidades de competencia en el mercado nacional e internacional, dominados por grandes empresas transnacionales. Han tratado de prohibirles el uso de la palabra *Agave* en la información comercial al consumidor, para evitar que los pueda identificar como lo que son: destilados de *Agave* que tradicionalmente se llaman “mezcales” en México. En 2011, la Secretaría de Economía (SE) junto con la Cámara Nacional de la Industria Tequilera (CNIT), el Consejo Regulador del Mezcal (COMERCAM) y el Consejo Regulador del Tequila (CRT) presentaron el proyecto de NOM-186 (Secretaría de Economía, 2012a), que pretendía, entre otras cosas, obligarlos a llamarse “destilados de agavácea” y prohibirles su elaboración usando el 100% de azúcares de agaves, como es su tradición. De forma simultánea, y para completar las medidas propuestas en la NOM-186, el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) presentó el proyecto de declarar el término *Agave* como una marca registrada de uso exclusivo de los productores de las DO tequila, mezcal y bacanora (IMPI, 2011), violando la legislación nacional e internacional en materia de propiedad intelectual.

En virtud de que dichas propuestas no fueron aprobadas, los mismos actores están proponiendo actualmente el proyecto de NOM-199 (Secretaría de Economía, 2015a) para llamar *komitl* (término que significa olla en náhuatl) a los mezcales que se producen fuera de la DOM, un nombre sin ningún reconocimiento ni arraigo cultural. En la detallada búsqueda de especies y nombres comunes asociados a la producción de mezcales en México hecha por Colunga-GarcíaMarín *et al.* (2007) y Torres *et al.* (2015a), en la que se encontraron 767 nombres comunes, no se encontró ninguna referencia a este término. Adicionalmente, la NOM-199 pretende prohibirles informar al consumidor las variedades de agaves usadas si estas están consideradas en alguna DO. Esto es contrario a la información científica que indica que la distribución de las especies y variedades de *Agave*, y la de su uso para elaborar mezcales tradicionales, son más amplias que lo reconocido por la DOM y no son históricamente privativas de ella (CONABIO, 2006; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007). De forma paralela, el Consejo Regulador del Mezcal ha hecho una nueva propuesta de NOM-070 (Secretaría de Economía, 2015b) en la que se autocensurarán de usar en el etiquetado del término 100% *Agave* y lo sustituirán por 100% maguey, esto claramente para favorecer a los productores tequileros y en detrimento de los consumidores.

¿Qué implicaciones tienen nuestros hallazgos para el futuro de los agaves como recursos genéticos? Pensamos que los casos revisados representan dos situaciones contrastantes con un denominador común.

Por un lado, dentro de la región cultural del Mezcal-Jocote, encontramos un núcleo antiguo y continuo de diversificación de agaves en el que se manejan tanto variedades domesticadas antiguas como variedades en proceso de domesticación y poblaciones toleradas, fomentadas y silvestres. Esto, dentro de una estrategia que a los agricultores les ha permitido mantener alta

diversidad y un proceso dinámico de selección y adaptación a un ambiente ecológico y cultural cambiante. No obstante, este núcleo se encuentra amenazado por el éxito de la agroindustria del tequila, que está poniendo en riesgo la existencia tanto de las variedades domesticadas como la de las poblaciones silvestres a través de: 1) la expansión del cultivo del clon agave azul; 2) la extracción desmedida de poblaciones silvestres de agaves en las épocas periódicas de escasez del agave azul cultivado, y 3) las estrategias legales ya descritas para desplazarlas del mercado. En el valle de Tequila, el desarrollo de esta agroindustria ya fue la causa de la desaparición de las otras variedades con las que se producía tradicionalmente la bebida (Valenzuela-Zapata y Nabhan, 2003; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007).

Algo semejante, pero de consecuencias aun mayores, ocurrió a principios del siglo XX en la Península de Yucatán, cuando, con fines agroindustriales, se expandió el monocultivo de una sola de las variedades de henequén (*A. fourcroydes*) aprovechadas para la obtención de fibras, desapareciendo las otras que fueron seleccionadas por los mayas en la época prehispánica (Colunga-GarcíaMarín, 2003).

La demanda que ha generado la moda de los mezcales artesanales tradicionales en México está ayudando a los productores del sur de Jalisco a mantener sus variedades y su sistema de cultivo. Sin embargo, está pendiente fortalecer esta tendencia y, sobre todo, restaurar las poblaciones silvestres, ya muy mermadas, y de las cuales el sistema depende para mantener diversidad genética a largo plazo.

Para el caso de *A. inaequidens*, *A. hookeri*, *A. potatorum* y *A. cupreata*, tenemos una situación contrastante, ya que ha sido justamente la moda del mezcal la que ha ocasionado la sobre-explotación y decremento de las poblaciones silvestres. En cambio, tienen muy pocos años los esfuerzos de conservarlas a través del manejo de las poblaciones silvestres y su cultivo.

Es así como patrones culturales de demanda han determinado el florecimiento y auge de estas bebidas y por ende su manejo, cultivo y extracción, pero también su decaimiento e incluso desaparición. Si no se aplican acciones de manejo inmediatas dirigidas a su conservación, se ponen en peligro tanto el recurso como la actividad misma. Afortunadamente, como han señalado Torres *et al.* (2015b), estas experiencias incipientes de manejo y cultivo son expresiones del profundo y antiguo conocimiento y uso tradicional de estas especies, y tienen alto potencial para que, con base en ellas, se desarrollen estrategias de manejo sustentable.

Este último aspecto es justamente el denominador común de las situaciones contrastantes analizadas: en ambas regiones y complejos de especies encontramos la amenaza de los sistemas de comercialización masiva, pero en ambas existe la fortaleza de un profundo y antiguo conocimiento y uso tradicional de las especies involucradas como base de su aprovechamiento, así como la motivación para innovar en las tecnologías de manejo.

Es por ello que una alternativa para enfrentar la amenaza de los sistemas de comercialización masiva y sobreexplotación, que llevan a la homogenización genética y cultural, es promover el intercambio de experiencias de uso y manejo de los recursos de agave entre productores tradicionales de diferentes regiones. Con ello se puede lograr un manejo campesino de los recursos genéticos de *Agave* bajo la tradición mesoamericana de mantener diversidad y núcleos

dinámicos de domesticación. De esta manera se podrían enfrentar las presiones de las agroindustrias del tequila y del mezcal, que están llevando a la erosión de los recursos silvestres y cultivados, y con ello a la erosión de la cultura que los sustenta y que, a la vez, resulta de ellos.

Esto es precisamente lo que Catarina Illsley Granich, desde el Grupo de Estudios Ambientales (GEA) propuso e inició a partir del proyecto de largo plazo que dirigió con productores de mezcal de *Agave cupreata* en el estado de Guerrero (Illsley *et al.*, 2007). Su objetivo principal era fortalecer el manejo campesino como una estrategia esencial para la conservación, recuperación y manejo sostenible de estos recursos genéticos. El Laboratorio de Manejo y Evolución de Recursos Genéticos (MARGEN) del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, junto con GEA, están dando continuidad a estas ideas (Casas *et al.*, 2016). A principios del 2015 se llevó a cabo un importante intercambio de experiencias entre distintas regiones mezcateras del país en el marco de la primera Reunión Nacional de Manejadores de Maguey Forestal (Torres, 2015c).

En dicha reunión confluyeron productores de los Estados de Guerrero, Jalisco, Michoacán, San Luis Potosí y Oaxaca con el objetivo principal de dar a conocer a los productores de los distintos estados el proyecto impulsado por Catarina Illsley expresado en el manejo forestal comunitario de *A. cupreata*. Otro objetivo fue conocer las ventajas socio-ambientales del manejo *in situ* en pro de la conservación de la diversidad biológica y los servicios ambientales que este provee. Finalmente, explorar una manera legítima de poder reconocer u otorgar un distintivo “verde” que ostente la botella de mezcal, el cual pudiera verse redituado en el desarrollo de las comunidades poseedoras de este tipo de manejo. En este espacio, cada región mezcatera compartió las distintas maneras de aprovechar y manejar sus agaves. En dicha reunión se acordó la creación de la Red Nacional de Manejadores de Maguey Forestal (RNMMF), la cual es una iniciativa que tiene como objetivos: 1) propiciar los intercambios de conocimiento campesino, 2) acercar a la academia a la documentación y resolución de problemas desde la visión comunitaria, y 3) seguir visualizando la mejor manera de poder otorgar este distintivo “verde” a las comunidades que decidan adoptar este tipo de manejo. Dicha iniciativa sigue en construcción, los intercambios campesinos se encuentran vigentes (ya se han llevado a cabo cuatro en distintas zonas mezcateras del país), y en proceso de fortalecer su perspectiva en un movimiento civil que incorpore temáticas de manejo y gestión de mercados, todos los cuales serán fundamentales para el desarrollo de estrategias de manejo sustentable de los recursos analizados.

Otra alternativa muy importante para enfrentar la amenaza que significan tanto la comercialización masiva como la situación legal de los mezcales artesanales tradicionales sobre su existencia y el patrimonio biocultural que representan, será la organización de productores, académicos, consumidores y comercializadores para enfrentar legalmente, a nivel nacional e internacional, a la DOM. Como ya mencionamos, esta DO es discriminatoria para una buena parte de los pueblos nativos y mestizos que han mantenido viva esta tradición, central de la cultura agroalimentaria de Mesoamérica y por tanto Patrimonio Cultural Material e Inmaterial de nuestro país (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2010). Es necesario conjuntar toda la experiencia disponible para plantear no una DOM como existe ahora, sino diversas DO que representen verdaderas indicaciones geográficas que distingan los mezcales de las diferentes regiones bioculturales por sus variedades distintivas, formas de cultivo y de elaboración.

Una situación legal no excluyente, sino una que reconozca la diversidad biocultural de los mezcales de México, será un incentivo para que siga floreciendo un patrimonio biocultural de una riqueza sin par en el mundo de las bebidas alcohólicas. A partir de su aprovechamiento respetuoso podrán beneficiarse múltiples sectores económicos.

Se trata de una lucha en la que los principales protagonistas que ejercen presiones hostiles son, por un lado, las grandes industrias tequileras y mezcateras, varias de ellas ya transnacionales. Por el otro lado, el gobierno federal y los gobiernos regionales que se ajustan a las demandas de los requerimientos comerciales de tales empresas y de los intermediarios irresponsables que buscan abaratar el producto empobreciendo su calidad o adulterándolo. En contraparte, en esta lucha los productores y las organizaciones civiles que los acompañan tienen un papel central para lograr objetivos de aprovechamiento sustentable, pues son los principales actores del proceso productivo y la gestión de mercados justos. Los académicos tienen mucho que aportar con sus investigaciones etnobotánicas, ecológicas y sociales que contribuyen a resolver problemas técnicos para el aprovechamiento sustentable y mejores condiciones económicas para los productores. De manera particular y muy importante, los consumidores conscientes resultan clave en la cadena de producción y valor. Reconocer el valor real de los mezcales artesanales, su consumo y el pago justo resulta fundamental, sin ello el sistema carece de un futuro sustentable.

Conclusiones

Las evidencias discutidas en este capítulo indican que en México aún se conserva una gran diversidad de recursos genéticos de agave bajo aprovechamiento, manejo, y selección tradicional, y que esta diversidad es el producto de una relación milenaria de las culturas mesoamericanas con estas plantas, bajo una racionalidad centrada en el uso múltiple, el mantenimiento de complejos poblacionales bajo diferentes intensidades de manejo y la conservación de altos niveles de diversidad en cada una de ellas.

Como producto de esta racionalidad, podemos encontrar para una misma especie, variedades con diferentes grados de domesticación: desde aquellas en las que se observan huellas morfológicas incipientes de su selección, hasta aquellas que ya han perdido su capacidad de sobrevivir y reproducirse en estado silvestre. Este es el caso de *A. angustifolia* bajo manejo y selección tradicional. De esta especie encontramos el aprovechamiento de poblaciones silvestres, toleradas y fomentadas, de variedades con signos incipientes de domesticación, de variedades con huellas claras de domesticación, como el ixtero verde discutido en este capítulo, e incluso de especies derivadas de ella, como el agave azul (*A. tequilana* var. *azul*). Esta última, al igual que el henequén (*A. fourcroydes*), también derivado de *A. angustifolia*, solo se encuentran bajo cultivo y tienen una capacidad muy reducida de reproducción sexual. Hasta principios del siglo XX, estas dos especies aún formaban parte de complejos varietales con alta diversidad morfológica, pero su manejo intensivo bajo esquemas agroindustriales hizo de ellas casos extremos de disminución de diversidad genética por sobre explotación de una sola variedad.

Las evidencias etnobotánicas y morfológicas de los estudios de caso mostrados nos llevan a plantear que, dependiendo de los propósitos o móviles de selección, las características del

síndrome de domesticación pueden variar. No obstante, podemos mencionar cuatro características o rasgos que son comunes a todas las especies bajo el proceso de domesticación: 1) aumento del tamaño de la estructura morfológica usada, 2) mayor producción del producto deseado (carbohidratos en la cabeza y pedúnculo, savia de la inflorescencia, fibra en las hojas), 3) menor dentición y 4) menor cantidad de saponinas.

Las poblaciones estudiadas de *A. inaequidens*, *A. cupreata* y *A. potatorum* tienen pocos años de ser usadas, cultivadas y seleccionadas para la producción de mezcal y aún exhiben elevados niveles de diversidad genética, flujo de genes y baja estructura poblacional. Esto se debe, probablemente, a que aún no transcurre el tiempo evolutivo necesario para la fijación de caracteres a nivel genético y observar consecuencias del proceso de selección humana. De igual forma, pudimos evidenciar que el manejo de estas poblaciones en agroecosistemas tradicionales contribuye al mantenimiento de la diversidad, por lo que este tipo de manejo debe ser incluido en estrategias de aprovechamiento sustentable y conservación de estos recursos genéticos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que existen casos de sobre explotación de algunas poblaciones y se empieza a evidenciar consecuencias negativas de este aprovechamiento, como es el hecho de la disminución de la diversidad genética, de los tamaños efectivos de la población y del flujo de genes.

Para la especie pulquera (*A. hookeri*), mencionada en este capítulo, sí se evidenciaron consecuencias claras de la domesticación, debido a la fijación de fenotipos gigantes, pérdida de diversidad y mayor estructura poblacional. También se ha registrado pérdida de tradición de uso hacia esta práctica, lo cual amenaza la permanencia de estas especies.

México cuenta con una gran diversidad tanto de agaves como de otras tantas especies útiles para la sociedad. Para salvaguardar estos recursos genéticos necesitamos tener un conocimiento detallado de ellos. A pesar de los esfuerzos de investigación ya realizados en esta temática, las huellas fenotípicas y genéticas de selección humana relacionadas con un conjunto de usos particulares no han sido estudiadas, por lo que es necesario contribuir al conocimiento de estos usos y continuar la documentación de la relación humano-agave.

Bibliografía

- Aguirre-Dugua, X. y L. E. Eguiarte, 2013. Genetic diversity, conservation and sustainable use of wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* extracted for mezcal production in Mexico. *Journal of Arid Environments*, 90: 36–44.
- Alfaro-Rojas, G., J. P. Legaría-Solano, J. E. Rodríguez-Pérez, 2007. Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (*Agave* spp.) del nororiente del Estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(1): 1-12.
- Álvarez, G., 2015. *Del maguey al vaso: el manejo del pulque en las pulquerías del Distrito Federal y en las localidades abastecedoras*. Tesis de Licenciatura. Licenciatura en Ciencias Ambientales, ENES, UNAM Morelia, Michoacán.
- APG III (The Angiosperm Phylogeny Group), 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161:105-121.
- Benz, B. F., L. López-Mestas y J. Ramos-Vega, 2006. Organic offerings, paper, and fibres from the Huitzilapa shaft tomb, Jalisco, Mexico. *Ancient Mesoamerica*, 17: 283-296.
- Blancas, J., A. Casas, D. Pérez-Salicrup, J. Caballero y E. Vega, 2013. Ecological and sociocultural factors influencing plant management in Náhuatl communities of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9: 39.
- Blancas, J., A. Casas, S. Rangel-Landa, I. Torres, E. Pérez-Negrón, L. Solís, A.I. Moreno, A. Delgado, F. Parra, Y. Arellanes, J. Caballero, L. Cortés, R. Lira y P. Dávila, 2010. Plant management in the Tehuacán-Cuicatlan Valley. *Economic Botany*, 64(4): 287-302.
- Borland, A. M., H. Griffiths, J. Hartwell y J. A. C. Smith, 2009. Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. *Journal of Experimental Botany*, 60: 2879-2896.
- Bruman, H. J., 1940. *Aboriginal Drink Areas of New Spain*. Ph.D. Dissertation. Universidad de California, Berkeley.
- Bruman, H.J. 2000. *Alcohol in Ancient Mexico*. The University of Utah Press. Utah.
- Carrillo-Galván, M. G., 2011. *Domesticación de Agaves productores de Fibra en el Centro-Occidente de México: una aproximación etnobotánica y morfológica*. Tesis maestría en Ciencias Biológicas Opción Recursos Naturales. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. 124 pp.
- Casas, A., F. Parra, J. Blancas, 2015a. Evolution of humans and by humans. En: Albuquerque, U. P. Medeiros, P. y Casas, A. (Eds.). *Evolutionary ethnobiology*. Springer, The Netherlands: pp. 21-36.
- Casas, A., F. Parra, S. Rangel, S. Guillén, J. Blancas y C. J. Figueredo. Evolutionary ecology and ethnobiology. 2015b. Albuquerque, U.P. Medeiros, P. y Casas, A. (Eds.). *Evolutionary ethnobiology*. Springer. The Netherlands: pp. 37-57.
- Casas, A., R. Lira, I. Torres, A. Delgado, A. I. Moreno-Calles, S. Rangel-Landa, J. Blancas C. Larios, L. Solís, E. Pérez-Negrón, M. Vallejo, F. Parra, B. Farfán-Heredia, Y. Arellanes y N. Campos, 2016 Ethnobotany for Sustainable Ecosystem Management: A Regional Perspective in the Tehuacán Valley. En Lira, R., a. Casas, J. Blancas (Eds.). *Ethnobotany of Mexico. Interactions of people and plants in Mesoamerica*. Springer: pp. 560.
- Casas, A., A. Camou, S. Rangel-Landa, L. Solís, I. Torres, A. Delgado-Lemus, A.I. Moreno Calles, M. Vallejo, S. Guillén, J.J. Blancas, F. Parra, X. Aguirre, B. Farfán-Heredia y Y. Arellanes, 2014. Manejo tradicional de biodiversidad de y ecosistemas en Mesoamérica: El Valle de Tehuacán. *Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública*, 6(2): 23-44.
- Casas, A., A. Otero-Arnaiz, E. Pérez-Negrón y A. Valiente-Banuet, 2007. *In situ* management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*, 100(5): 1101-1115.
- Casas, A., A. Valiente-Banuet, A. Rojas-Martínez y P. Dávila, 1999a. Reproductive biology and the process of domestication of the columnar cactus *Stenocereus stellatus* in Central Mexico. *American Journal of Botany*, 86: 534-542.
- Casas, A., J. Caballero, A. Valiente-Banuet, J. A. Soriano y P. Dávila, 1999b. Morphological variation and the process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in Central Mexico. *American Journal of Botany*, 86: 522-533.
- Casas, A., J. Caballero, C. Mapes y S. Zárate, 1997. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México (Botanical Sciences)*, 61: 31-47.
- Casas, A., A. Otero-Arnaiz, E. Peréz-Negrón, A. Valiente-Banuet, 2007. *In situ* management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*, 100: 1101-1115.
- Coggins, C. C., y Shane III, O. C. ,1989. *El Cenote de los sacrificios*. Tesoros mayas extraídos del Cenote Sagrado de Chichén Itzá, México.
- Colunga-GarcíaMarín, P., 1998. Origen, variación y tendencias evolutivas del henequén (*Agave fourcroydes* Lem.). *Boletín de la Sociedad Botánica de México (Sección Perspectivas)*, 62: 109-128.
- Colunga-GarcíaMarín, P., 2003. The domestication of henequén (*Agave fourcroydes* Lem.). In: A. Gómez-Pompa, M. F. Allen, S. L. Fedick y J. J. Jiménez-Osornio (eds.). *The Lowland Maya Area. Three Millennia at the Human-Wildland Interface*. The Haworth Press Inc., Binghamton, NY, pp. 439 – 446.
- Colunga-GarcíaMarín, P. y D. Zizumbo-Villarreal, 2007. Tequila and other Agave spirits from west-central Mexico: current germplasm diversity, conservation and origin. *Biodiversity and Conservation*, 16 (6): 1653-1667.

- Colunga-GarcíaMarín, P. y D. Zizumbo-Villarreal, 1993. La evolución de las plantas bajo selección artificial y manejo agrícola. En: Leff, E. y J. Carabias (Eds.). *Cultura y Manejo Sustentable de los Recursos Naturales*. Vol. I. CIH-UNAM. Miguel Ángel Porrúa. México. pp. 123-163.
- Colunga-GarcíaMarín, P. y F. May-Pat. 1993. *Agave studies in Yucatan, Mexico I. Past and present germplasm diversity and uses*. *Economic Botany*, 47 (3): 312-327.
- Colunga-GarcíaMarín, P., D. Zizumbo-Villarreal A. García-Mendoza, C. Illsley-Granich, C. Pérez-Ricárdez, E. Quintanar-Guadarrama y M. Serra-Puche, 2010. Mezcales artesanales tradicionales de México: Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad. En: *Mezcal, arte tradicional*. Revista-Libro Artes de México, Número 98. Julio. México D.F.
- Colunga-GarcíaMarín, P., D. Zizumbo-Villarreal y J. Martínez-Torres, 2007. Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a la protección legal y conservación de su diversidad biológica y cultural. En: Colunga-García Marín, P., A. Larqué Saavedra, L. Eguarte y D. Zizumbo-Villarreal (Eds.), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. CICY-CONACYT-CONABIO-INE. pp 229-248 + Anexo xxi-xxxviii.
- Colunga-GarcíaMarín, P., E. Estrada-Loera y F. May-Pat, 1996. Patterns of morphological variation, diversity and domestication of wild and cultivated populations of *Agave* in Yucatan, Mexico. *American Journal of Botany*, 83(8): 1069-1082.
- Colunga-GarcíaMarín, P., E. Hernández-Xolocotzi y A. Castillo-Morales, 1986. Variación morfológica, manejo agrícola y grados de domesticación de *Opuntia* spp. en el Bajío Guanajuatense. *Agrociencia* 65: 7-49.
- Colunga-GarcíaMarín, P., G. Carrillo-Galván, D. Zizumbo-Villarreal y O. Vargas-Ponce. 2011. *Agaves ixterlos del Sur de Jalisco*. Centro de Investigación Científica de Yucatán. pp. 117.
- Colunga-GarcíaMarín, P., J. Coello-Coello, L. Eguarte y D. Piñero, 1999. Isozymatic variation and phylogenetic relations between henequén *Agave fourcroydes* Lem. and its wild ancestor *A. angustifolia* Haw. *American Journal of Botany*, 86 (1): 115-123.
- CONABIO, 2006. *Mezcales y diversidad*. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Darwin, C., 1859. *The origins of species by means in natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*. Wiley, London.
- Debnath, M., M., Pandey, R., S. Sharma, P. Thakur y P. Lal, 2010. Biotechnological intervention of *Agave sisalana*: A unique fiber yielding plant with medicinal property. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(3):177-187.
- Delgado-Lemus A., A. Casas y O. Téllez, 2014b. Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacan Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10: 63.
- Delgado-Lemus A., I. Torre, J. Blancas, A. Casas, 2014a. Vulnerability and risk management of *Agave* species in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10: 53.
- Escobar-Guzmán, R. E., F. Zamudio-Hernández, K. Gil Vega y J. Simpson, 2008. Seed production and gametophyte formation in *Agave tequilana* and *Agave americana*. *Botany*, 86(11): 1343-1353.
- Estrella, P., 2008. *Efecto de la explotación humana en la biología de la polinización de Agave salmiana y Agave potatorum en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Tesis de Maestría PCB UNAM.
- Félix-Valdez, L. I., O. Vargas-Ponce, D. Cabrera-Toledo, A. Casas, A. Cibrian-Jaramillo y L. de la Cruz-Larios, 2016. Effects of traditional management for mescal production on the diversity and genetic structure of *Agave potatorum* (Asparagaceae) in central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63 (7): 1255-1271, DOI 10.1007/s10722-015-0315-6.
- Figueredo, C., 2015b. *Domesticación y divergencias morfológicas y genéticas entre poblaciones silvestres y cultivadas de Agave inaequidens y A. hookeri*. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas, PCB, UNAM, Morelia, Michoacán 131 pp.
- Figueredo, C. J., A. Casas, P. Colunga, A. González y J. Nassar, 2014. Morphological variation, management and domestication of 'maguey alto' (*Agave inaequidens*) and 'maguey manso' (*A. hookeri*) in Michoacán, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10: 66.
- Figueredo, C., A. Casas, A. González-Rodríguez, J. Nassar, P. Colunga-GarcíaMarín y V. Rocha, 2015a. Genetic structure of coexisting wild and managed agave populations: implications for the evolution of plants under domestication. *AoB Plants* doi: 0.1093/aobpla/plv114.
- Flannery, K. (Ed.), 1986. *Guilá Naquitz*. Academic Press. New York.
- García-Martínez, B., 1987. *Los pueblos de la sierra. El poder y el espacio entre los indios del norte de Puebla hasta 1700*. El Colegio de México, México.
- García-Mendoza, A. J., 2011. *Agavaceae. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Instituto de Biología, UNAM. D. F, México. 88: pp. 95.
- García-Mendoza, A., P. Colunga-GarcíaMarín y R. Bye, 1993. *Los usos del Agave angustifolia Haw., ancestro silvestre del henequén en su área de distribución geográfica*. En: Memorias de la Conferencia Nacional sobre el Henequén y la Zona Henequenera de Yucatán. P. Peniche R. y F. Santamaría B. (comp.). pp 92-112 Gob.Edo.Yuc.-UADY-CONACYT-INIFAP. Mérida, Yucatán.
- García-Payón, 1979. *La zona arqueológica de Tecaxic-Calixtlahuaca y los matlatzincas: etnología y arqueología (textos de la segunda parte)*, edición de Wanda Tommasi de Magrella y Leonardo Manrique Castañeda. Toluca: Biblioteca Enciclopédica del Estado de México, tomo 30.
- Gentry, S., 1982. *Agaves of continental North America*. The University of Arizona Press. EUA.
- Gepts, P., 2004. Crop Domestication as a Long-term Selection Experiment. *Plant Breeding*, 24: 1-44.
- Harlan, J., 1975. *Crops and man. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America*. Madison, Wisconsin.
- Hawkes, J. G., 1983. *The diversity of crop plants*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA.
- Illsley, C., E. Vega, I. Pisanty, A. Tlacotempa, P. García, P. Morales, G. Rivera, J. García, V. Jiménez, F. Castro y M. Calzada, 2007. Maguey papalote: hacia el manejo campesino sustentable de un recurso colectivo en el trópico seco de Guerrero, México. En: P. Colunga-GarcíaMarín, L. Eguarte, A. Larqué, and D. Zizumbo-Villarreal. (Eds). *En lo ancestral hay futuro: Del tequila, los mezcales y otros agaves*. México: CICY-CONACYT-CONABIO-INE: pp. 319-338.
- IMPI, 2011 *Declaratoria por la que se regula el uso de la marca Agave en Tequila, Mezcal y Bacanora*. <http://www.cofemersimr.gob.mx/mirs/24458>
- Kelly, I. 1944. Kelly, I. 1944. Ixtle weaving at Chiquilistlan, Jalisco. *Notes in Middle American Archaeology and Ethnology*, 42: 106-112.
- King, Mary Elizabeth, 1986. Pre-ceramic Cordage and Basketry from Guilá Naquitz. En: Flannery K. V. (Ed.) *Guilá Naquitz: Archaic Foraging and Early Agriculture in Oaxaca, Mexico*. Academic Press, New York, pp. 157-161.
- Kirchhoff, P. 1943. Mesoamérica: Sus límites geográficos, composición étnica y caracteres culturales. *Acta Americana*, 1: 92-107.
- León, A., 2013. *Aspectos de la fenología, visitantes florales y polinización de Agave inaequidens Koch. ssp. inaequidens (Agavaceae) en el Estado de Michoacán*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- López, M. G. y J. E. Urias-Silvas, 2007. *Agave fructans as prebiotics*. Recent Advances in Fructooligosaccharides Research, 2007: ISBN: 81-308-0146-9 Editors: Shiomu Norio, Benkeblia Nouredine and Onodera Shuichi. Research Signpost 37/661 (2), Fort P.O., Trivandrum-695 023, Kerala, India.
- López, M. G., N. A. Mancilla-Margalli y G. Mendoza-Díaz, 2003. Molecular structures of fructans from *Agave tequilana* Weber azul. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 7835-7840.
- MacNeish, R. S., 1992. *The origins of agriculture and settled life*. Oklahoma University Press.
- Mora-López, J., L. Reyes-Agüer, J. A. Flores-Flores, J. L. Peña-Valdivia, C. Beatriz y J. R. Aguirre-Rivera, 2011. Variación morfológica y humanización de la sección Salmianae del género *Agave*. *Agrociencia*, 45(4): 465-477.
- Otero-Arnaiz, A., A. Casas, J. L. Hamrick y J. Cruse, 2005. Genetic variation and evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) under domestication in the Tehuacán Valley, Central Mexico analyzed by microsatellite polymorphism. *Molecular Ecology*, 14(6): 1603-1611.
- Parra, F., A. Casas, J. Peñaloza-Ramírez, A. C. Cortés-Palomec, V. Rocha-Ramírez y A. González-Rodríguez, 2010. Evolution under domestication: Ongoing artificial selection and divergence of wild and managed *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) populations in the Tehuacán Valley, Mexico. *Annals of Botany*, 106: 483-496.
- Parsons, J. R., M. H. Parsons, S. L. Dunavan y M. H. Parsons, 1990. *Maguey utilization in highland central Mexico: an archaeological ethnography (No. 82)*. Ann Arbor: Museum of Anthropology, University of Michigan.
- Pickersgill, B., 2007. Domestication of plants in the Americas: Insights from mendelian and molecular genetics. *Annals of Botany*, 100: 925-940.
- Rangel-Landa S., P. Dávila y A. Casas, 2015. Facilitation of *Agave potatorum*: An ecological approach for assisted population recovery. *Forest Ecology and Management*, 347: 57-74.
- Scheinvar, E., 2008. *Genética de poblaciones silvestres y cultivadas de dos especies mezcaleras Agave cupreata y Agave potatorum*. Tesis de maestría, Instituto de Ecología, UNAM, pp. 105.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1994. *Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1994. bebidas alcohólicas. mezcal. especificaciones*. Diario Oficial de la Federación. México D.F. 17 de agosto.
- Secretaría de Economía, 2012a. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-186-SCFI-2012. *Bebidas alcohólicas-Bebidas alcohólicas elaboradas a partir de agave-Especificaciones, métodos de prueba e información comercial*. Diario Oficial de la Federación. 5 de julio.
- Secretaría de Economía, 2012b. *Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-2012, Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones*. Diario Oficial de la Federación. México D.F. 13 de diciembre
- Secretaría de Economía, 2015a. *Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-199-SCFI-2015, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación. México D.F. 29 de febrero.
- Secretaría de Economía, 2015b. *Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-070-SCFI-2015, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones*. Diario Oficial de la Federación. México D.F. 4 de marzo.
- Serra-Puche, M. C. y J. C. Lazcano-Arce, 2016. *El Mezcal, una bebida prehispánica. Estudios etnoarqueológicos*. Instituto de Investigaciones Antropológicas. UNAM.
- Smith Jr. y C. E., 1967. Plant remains. En: Byers D. (Ed.). *The prehistory of the Tehuacán Valley, Vol. 1: Environment and subsistence*. University of Texas Pres, Austin. pp. 220-525.
- Smith Jr., C. E., 1986. Pre-ceramic plant remains from Guilá Naquitz. En: Flannery, K.V. (Ed.) *Guilá Naquitz. Archaic Foraging and early Agriculture in Oaxaca, México*. Academic Press. New York, pp. 265-301.
- Somerville, C, H. Youngs, C. Taylor, S. C. Davis y S. P. Long, 2010. Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science*, (329): 790-792.
- Torres, I., 2015c. *Informe de la Reunión Nacional de Manejadores de Maguey Forestal*. México D.F. GEA, A.C., F.W.S. IIES.

- Torres, I., 2016. *Aprovechamiento de Agaves Mezcaleros en el centro de México: Una aproximación socio-ecológica para su manejo sustentable*. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas, UNAM, Morelia, Michoacán, pp. 183.
- Torres, I., A. Casas, A. Delgado-Lemus y S. Rangel-Landa, 2013. Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México: Aportes etnobiológicos y ecológicos para su manejo sustentable. *Zonas Áridas*, 15 (1): 92-109.
- Torres, I., A. Casas, E. Vega, M. Martínez-Ramos, A. Delgado-Lemus, 2015a. Population dynamics and sustainable management of mesquite agaves in central Mexico: *Agave potatorum* in the Tehuacán-Cuicatlan Valley. *Economic Botany*, 69(1): 26-41.
- Torres, I., J. Blancas, A. León y A. Casas, 2015b. TEK, local perceptions of risk, and diversity of management practices of *Agave inaequidens* in Michoacán, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11: 61.
- Universidad Nacional Autónoma de México. 2012. *Gran Diccionario Náhuatl* [en línea]. Disponible en la Web <http://www.gdn.unam.mx>. [ref del 11 de Mayo de 2016].
- Valenzuela-Zapata AG, Lopez-Muraira I, Gaytán MS. 2011. Traditional Knowledge, *Agave inaequidens* (Koch) Conservation, and the Charro Lariat Artisans of San Miguel Cuyutlán, Mexico. *Ethnobiology Letters*, 2: 72-80.
- Valenzuela-Zapata, A. G. y G. P., Nabham, 2003. *Tequila: a natural and cultural history*. Tucson University Press. EUA.
- Vargas-Ponce, O., D. Zizumbo-Villarreal y P. Colunga-GarcíaMarín, 2007. *In situ* diversity and maintenance of traditional *Agave* landraces used in spirits production in West-Central Mexico. *Economic Botany*, 61(4): 362-375.
- Vargas-Ponce, O., D. Zizumbo-Villarreal, J. Martínez-Castillo, J. Coello-Coello y P. Colunga-GarcíaMarín, 2009. Diversity and structure of landraces of *Agave* grown for spirits under traditional agriculture: a comparison with wild populations of *A. angustifolia* (Agavaceae) and commercial plantations of *A. tequilana*. *American Journal of Botany*, 96: 448-457.
- Vavilov, N. I., 1992. *Origin and geography of cultivated plants*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vitousek, P. M., 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*, 75(7): 1861-1876.
- Zizumbo-Villarreal, D. y P. Colunga-GarcíaMarín, 2007. La introducción de la destilación y el origen de los mezcales en el occidente de México. pp. 85-112. En: Colunga-García Marín, P., A. Larqué Saavedra, L. Eguiarte y D. Zizumbo-Villarreal (Eds.), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. CICY-CONACYT-CONABIO-INE. ISBN: 978-968-6532-18-0. 452 pp
- Zizumbo-Villarreal, D., A. Flores-Silva y P. Colunga-GarcíaMarín, 2012. The Archaic Diet in Mesoamerica: Incentive for Milpa Development and Species Domestication. *Economic Botany*, 66 (4): 328-343.
- Zizumbo-Villarreal, D., A. Flores-Silva y P. Colunga-GarcíaMarín, 2014. The food system during the formative period in West Mesoamerica. *Economic Botany*, 68 (1): 67-84.
- Zizumbo-Villarreal, D., F. González-Zozaya, A. Olay-Barrientos, L. Almendros-López, P. Flores-Pérez y P. Colunga-GarcíaMarín, 2009a. Distillation in Western Mesoamerica Before European Contact. *Economic Botany*, 63(4): 413-426.
- Zizumbo-Villarreal, D., F. González-Zozaya, A. Olay-Barrientos, R. Platas-Ruiz, M. Cuevas-Sagardi, L. Almendros-López, y P. Colunga-GarcíaMarín, 2009b. Archaeological Evidence of the Cultural Importance of *Agave* spp. in Pre-Hispanic Colima, Mexico. *Economic Botany*, 63(3): 288-302
- Zizumbo-Villarreal, D., O. Vargas-Ponce, J. J. Rosales-Adame y P. Colunga GarcíaMarín. 2013. Sustainability of the traditional management of *Agave* genetic resources in the elaboration of mezcal and tequila spirits in western Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60: 33-47.
- Zizumbo-Villarreal, D., P. Colunga-GarcíaMarín, E. Payró de la Cruz, P. Delgado-Valerio, y P. Gepts, 2005. Population Structure and Evolutionary Dynamics of Wild-Weedy-Domesticated Complexes of Common Bean in a Mesoamerican Region. *Crop Science*, 45(3): 1073-1083.

Apéndice 1. Especies de *Agave* usadas como alimento, aguamiel y/o bebidas fermentadas, bebidas destiladas y fibra. La última columna señala las especies que presentan claros signos de domesticación.

Especie	Alimento	Aguamiel y/o bebidas fermentadas	Bebidas destiladas	Fibra	Domesticada
<i>Agave aktites</i> Gentry	X				
<i>Agave albopilosa</i> I.Cabral, Villarreal & A.E.Estrada				X	
<i>Agave americana</i> L.	X	X	X	X	X
<i>Agave americana</i> var. <i>expansa</i> (Jacobi) Gentry	X			X	
<i>Agave americana</i> L. var. <i>marginata</i> Trel.		X			
<i>Agave americana</i> L. subsp. <i>protoamericana</i> Gentry		X	X		
<i>Agave americana</i> L. var. <i>oaxacencis</i> Gentry	X	X	X	X	X
<i>Agave angustiarum</i> Trel.			X	X	
<i>Agave applanata</i> Lem. ex Jacobi	X	X		X	
<i>Agave asperrima</i> Jacobi		X	X	X	
<i>Agave asperrima</i> subsp. <i>potosiensis</i> (Gentry) B.Ullrich	X	X		X	
<i>Agave atrovirens</i> Karw. ex Salm-Dyck	X	X	X	X	X
<i>Agave aurea</i> Brandegee					X
<i>Agave bovicornuta</i> Gentry		X	X	X	
<i>Agave bracteosa</i> S. Watson ex Engelm.					X
<i>Agave capensis</i> Gentry	X				
<i>Agave cantala</i> (Haw.) Roxb. ex Salm-Dyck			X	X	
<i>Agave cerulata</i> Trel.	X	X	X	X	
<i>Agave cerulata</i> subsp. <i>dentiens</i> (Trel.) Gentry	X	X		X	
<i>Agave chiapensis</i> Jacobi	X				
<i>Agave chrysantha</i> Peebles	X				X
<i>Agave chrysoglossa</i> I.M.Johnst.	X				
<i>Agave colorata</i> Gentry	X	X			
<i>Agave cupreata</i> Trel. & A.Berger	X	X	X		
<i>Agave deserti</i> Engelm.	X	X			X

Especie	Alimento	Agumiel y/o bebidas fermentadas	Bebidas destiladas	Fibra	Domesticada
<i>Agave deserti</i> var. <i>pringlei</i> (Engelm. ex Baker) W.C.Hodgs. & Reveal	X				
<i>Agave deserti</i> var. <i>simplex</i> (Gentry) W.C.Hodgs. & Reveal	X				
<i>Agave desmettiana</i> Jacobi		X	X		X
<i>Agave durangensis</i> Gentry	X		X	X	
<i>Agave felgeri</i> Gentry	X				
<i>Agave filifera</i> Salm-Dyck				X	
<i>Agave fortiflora</i> Gentry	X	X			
<i>Agave fourcroydes</i> Lem.	X	X	X*	X	X
<i>Agave funkiana</i> K.Koch & C.D.Bouché				X	
<i>Agave geminiflora</i> (Tagl.) Ker Gawl.				X	
<i>Agave gentry</i> B. Ullrich		X		X	
<i>Agave gigantensis</i> Gentry			X		
<i>Agave guadalajarana</i> Trel.			X		
<i>Agave hookeri</i> Jacobi	X	X	X		X
<i>Agave horrida</i> Lem. ex Jacobi	X		X	X	
<i>Agave inaequidens</i> Koch subsp. <i>Inaequidens</i> Koch	X	X	X	X	
<i>Agave jaiboli</i> Gentry	X		X	X	
<i>Agave karwinskii</i> Zucc.	X	X	X	X	X
<i>Agave kerchovei</i> Lem.	X	X	X	X	
<i>Agave kewensis</i> Jacobi	X				
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	X	X	X	X	
<i>Agave macroacantha</i> Zucc.		X	X	X	
<i>Agave mapisaga</i> Trel.	X	X	X	X	X
<i>Agave margaritae</i> Brandegee			X		
<i>Agave marmorata</i> Roezl	X	X	X	X	
<i>Agave maximiliana</i> Baker	X	X	X		
<i>Agave maximiliana</i> var. <i>katharinae</i> (A.Berger) Gentry	X	X			
<i>Agave mitis</i> Mart.	X			X	

Especie	Alimento	Agumiel y/o bebidas fermentadas	Bebidas destiladas	Fibra	Domesticada
<i>Agave montana</i> Villarreal		X		X	
<i>Agave montium-sancticaroli</i> Garcia-Mend.	X		X		
<i>Agave multiflifera</i> Gentry	X	X	X	X	
<i>Agave murpheyi</i> Gibson	X		X	X	
<i>Agave nussaviorum</i> García-Mend.	X		X		
<i>Agave ocahui</i> Gentry				X	
<i>Agave ortgiesiana</i> (Baker) Trel.				X	
<i>Agave ovatifolia</i> G.D.Starr & Villarreal				X	
<i>Agave palmeri</i> Engelm.	X		X	X	
<i>Agave parrasana</i> A.Berger				X	
<i>Agave parryi</i> Engelm.		X	X	X	
<i>Agave parviflora</i> Torr.	X				
<i>Agave peacockii</i> Croucher	X	X	X	X	
<i>Agave pelona</i> Gentry	X		X		
<i>Agave polianthiflora</i> Gentry	X	X			
<i>Agave potatorum</i> Zucc.	X		X		
<i>Agave rhodacantha</i> Trel.			X	X	X
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	X	X	X	X	X
<i>Agave salmiana</i> subsp. <i>crassispina</i> (Trel.) Gentry	X	X	X	X	
<i>Agave salmiana</i> var. <i>angustifolia</i> A.Berger		X			
<i>Agave salmiana</i> var. <i>ferox</i> (K.Koch) Gentry	X	X	X	X	
<i>Agave schidigera</i> Lem.				X	
<i>Agave schottii</i> Engelm.	X	X			
<i>Agave seemanniana</i> Jacobi	X		X		
<i>Agave shawii</i> Engelm.	X		X		
<i>Agave shrevei</i> Gentry	X	X	X		
<i>Agave shrevei</i> subsp. <i>magna</i> Gentry		X	X		
<i>Agave sisalana</i> Perrine			X*	X	X

Especie	Alimento	Aguamiel y/o bebidas fermentadas	Bebidas destiladas	Fibra	Domesticada
<i>Agave sobria</i> Brandegees	X		X		
<i>Agave striata</i> Zucc.		X		X	
<i>Agave striata</i> subsp. <i>falcata</i> (Engelm.) Gentry				X	
<i>Agave stricta</i> Salm-Dyck				X	
<i>Agave subsimplex</i> Trel.	X				
<i>Agave tequilana</i> F.A.C.Weber	X	X	X	X	X
<i>Agave thomasiae</i> Trel.				X	
<i>Agave titanota</i> Gentry			X		
<i>Agave triangularis</i> Jacobi	X			X	
<i>Agave univittata</i> Haw.			X	X	
<i>Agave valenciana</i> Cházaro & A. Vázquez			X		
<i>Agave vera-cruz</i> Mill.	X		X		
<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore			X	X	
<i>Agave vilmoriniana</i> A. Berger	X	X		X	
<i>Agave vivipara</i> L.	X	X	X	X	
<i>Agave vivipara</i> var. <i>deweyana</i> (Trel.) P.I. Forst.				X	
<i>Agave weberi</i> J.F.Cels ex J. Poiss.		X	X	X	
<i>Agave wocomahi</i> Gentry	X	X	X	X	
<i>Agave xylonachanta</i> Salm-Dyck	X			X	
<i>Agave yuccifolia</i> DC. ex Redouté				X	
<i>Agave zebra</i> Gentry	X		X		

*Uso muy reciente

Fuentes:

Caballero J. y L. Cortes. 1982-2016. Base de Datos Etnobotánicas de Plantas de México (BADEPLAM). Jardín Botánico, IB-UNAM, México.
 Colunga-GarcíaMarín, P., D. Zizumbo-Villarreal y J. Martínez-Torres. 2007. Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a la protección legal y conservación de su diversidad biológica y cultural. pp. 229-248 + Anexo xxi-xxxviii. En: P. Colunga-García Marín, A. Larqué Saavedra, L. Eguiarte y D. Zizumbo-Villarreal (eds), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. CICY-CONACYT-CONABIO-INE.

Torres I., A. Casas, E. Vega, M. Martínez-Ramos y A. Delgado-Lemus. 2015. Population dynamics and sustainable management of mescal agaves in central Mexico: *Agave potatorum* in the Tehuacán-Cuicatlan Valley. *Economic Botany*, 69:26-41.

The Plant List 2013. *The Plant List: A working list of all plant species Version 1.1* (en línea, disponible en <http://www.theplantlist.org>). Consultado en mayo de 2016).