



AGAVES SILVESTRES Y CULTIVADOS EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE MEZCAL EN SOLA DE VEGA, OAXACA, MÉXICO†

[WILD AND CULTIVATED AGAVES USED IN THE ELABORATION OF MESCAL IN SOLA DE VEGA, OAXACA, MEXICO]

Raymundo Martínez Jiménez^{1*}, Jaime Ruiz-Vega²,
Magdaleno Caballero Caballero², María Eugenia Silva Rivera² and
José Luis Montes Bernabé²

¹Consultor Independiente, Domicilio conocido, San Sebastián de las Grutas, Villa Sola de Vega, Oaxaca. CP 71418. Email: raymundomj@hotmail.com

²Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. (IPN, CIIDIR UNIDAD OAXACA). Hornos 1003 Colonia Nochebuena Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca CP 71230, México.

*Corresponding author

RESUMEN

Para determinar las especies de agaves más empleadas para la elaboración de mezcal artesanal, así como sus atributos productivos y disponibilidad, se realizaron entrevistas con productores y se obtuvo una matriz de jerarquización. Los agaves con mayores puntajes fueron “arroqueño” (*Agave americana* L. var. *oaxacensis* Gentry); “espadín” y “coyote” (*A. angustifolia* Haw y *A. americana* L.) con rendimientos altos, demanda en el mercado, arraigo entre los productores, pero escasos en la región. En un segundo grupo se ubicó el maguey “tobalá” (*Agave potatorum* Zucc), el más emblemático culturalmente hablando, con alta demanda en la región, pero con un rendimiento bajo, además se encuentra solamente en estado silvestre, por lo que ya es escaso. En el último grupo se encontraron los agaves: “mexicano” (*Agave aff. Rodacantha* Trel), “barril” (*Agave rhodacantha* Trel), “jabalí” y “tobasiche” (*Agave karwinskii* Zucc.). El maguey coyote (*Agave americana* L.) fue el que más rendimiento de mezcal produjo con 17.78 ml/kg/año, mientras que el maguey jabalí (*Agave kerchovei* Lem) fue el de menor rendimiento con 6.16 ml/kg/año; el espadín (*Agave angustifolia* Haw) quedó en una posición intermedia. Los agaves que tuvieron un rendimiento bajo, con tamaño pequeño de piña, con mediano arraigo y precio bajo de mezcal, fueron generalmente ocupados por los productores no certificados como relleno para completar los lotes de producción.

Palabras clave: Comercialización; eficiencia; diagnóstico; indicadores; rendimiento.

SUMMARY

To determine the species of agaves most used for the elaboration of artisanal mescal, as well as their productive attributes and availability, interviews with producers were conducted and a ranking matrix was obtained. The agaves with greater scores were: “arroqueño” (*Agave americana* L. var. *oaxacensis* Gentry); the “espadín” and the “coyote” (*A. angustifolia* Haw and *A. americana* L.) all with high yields, demand in the market, rooting among the producers, but scarce in the region. In a second group there was located the maguey “tobalá” (*Agave potatorum* Zucc) the most emblematic culturally speaking, with high demand in the region, but with a low yield; besides it is only found in the wild, so it is already scarce. In the last block the agaves found: were “mexicano” (*Agave aff. rodacantha*), “barril” (*Agave rhodacantha* Trel), “jabalí” and tobasiche (*Agave karwinskii* Zucc.). The maguey coyote (*Agave americana* L.) had the highest yield of mescal with 17.78 ml / kg / year, the maguey jabalí (*Agave kerchovei* Lem) had the lowest yield with 6.16 ml / kg / year, while the espadín (*Agave angustifolia* Haw) was in an intermediate position. The agaves that had a low yield, small boll size and medium local rooting were generally used by non-certified producers as fillings to complete production lots.

Keywords: Marketing; efficiency; diagnosis; indicators; productivity.

INTRODUCCIÓN

Los magueyes fueron de las primeras plantas aprovechadas por los pobladores de Mesoamérica; el uso y manejo de los magueyes hizo de México su centro de domesticación y diversificación mediante la

selección humana, pues los escogían por sus fibras, el aguamiel o las altas cantidades de azúcares que les proporcionaba; posteriormente al tallo y bases de las hojas cocidos se les denominaría *mexcalli* (García-Mendoza, 2007). También se ha utilizado el maguey en forma de barreras vivas para la conservación de los

† Submitted November 28, 2018 – Accepted May 21, 2019. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462

suelos; especialmente en terrenos accidentados y lomeríos usados para trabajos de agricultura y pastoreo, pues el maguey protege los suelos contra degradaciones físicas y químicas (Ramos-Sánchez *et al.*, 2014).

De manera oficial, el mezcal es una bebida alcohólica destilada obtenida por la fermentación (en la mayoría de los casos artesanal) y posterior destilación del jugo de agave cocido, cuenta con Denominación de Origen y con producción regulada por la NOM-070-SCFI-1994 (Álvarez-Ainza *et al.*, 2017). Se involucra a siete entidades federativas consideradas en la Denominación de Origen Mezcal: Oaxaca, Guerrero, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Guanajuato y Tamaulipas. Oaxaca destaca por el número de especies utilizadas, por su extenso padrón de productores de maguey y de mezcal, por sus altos volúmenes de producción y por la presencia de su mezcal en los mercados regional, nacional e internacional (OEIDRUS Oaxaca, 2011). Con el sistema producto Maguey-Mezcal a nivel nacional se produjeron 1, 451 718 litros de mezcal en 2014, el 90 % del producto se elaboró en Oaxaca y se envasó el 48.7 % de los 1, 157, 420 litros de mezcal que se exportaron a 42 países (CRM, 2016).

Oaxaca es el estado más rico en agaváceas de México, cuenta con 58 especies, 13 de las cuales son endémicas; algunas de ellas proveen la materia prima para la elaboración de los mezcales (García-Mendoza, 2004). La zona denominada "región del mezcal", en el estado de Oaxaca, comprende los municipios de Sola de Vega, Miahuatlán, Yautepec, Santiago Matatlán, Tlacolula, Ocotlán, Ejutla y Zimatlán, en donde se concentra el mayor número de especies de magueyes, envasadoras de mezcal, y sobre todo la mayor vocación y el arraigo de la actividad entre la población (Illsey-Granich *et al.*, 2009). En un inicio la Norma Oficial Mexicana del mezcal (DOF, 1993; Illsey-Granich, 2009), permitió solamente cinco especies de agave para su elaboración (NOM NMX-V-8-1993-SCFI), 1. *Agave angustifolia* Haw, 2. *Agave esperima* Jacobi, 3. *Agave weberi* Cela, 4. *Agave potatorum* Zucc y 5. *Agave salmiana* Otto ex Salm. Actualmente, en cada una de las Entidades con Denominación de Origen, se produce mezcal con variedades y especies de agave distintivas de la zona, las cuales están validadas por la Norma Oficial Mexicana (DOF, 1994; Illsey-Granich, 2009).

En Oaxaca la elaboración de mezcal involucra ocho especies de agaves cultivados y 17 silvestres, la mayor producción se da en la "región del mezcal" de los Valles Centrales y Sierra Sur (García-Mendoza, 2004), donde se encuentra Villa Sola de Vega (CNEM, 1988). Para elaborar mezcal, en Villa Sola de Vega se emplean especies cultivadas como: maguey espadín (*Agave angustifolia*), domesticadas como: sierra negra,

arroqueño (*Agave americana* var. *oaxacensis*), cirial, barril, bicuixe, tobasiche (*Agave karwinskii*). Silvestres como: mexicano (*Agave rhodacantha*), jabalí (*Agave convallis*), tepeztate (*Agave marmorata*) y la más importante en la región, el maguey tobalá (*Agave potatorum*) (Palma-Cruz, 1991; Espinosa-Paz *et al.*, 2002; Ángeles-Carreño, 2010; García-Mendoza, 2012).

La elaboración de mezcal con especies nativas de agave cultivadas por los productores ha incorporado elementos de identidad cultural y revalorización de la diversidad biológica, se ha desarrollado una cultura de los mezcales similar a la de los vinos de origen, con una producción diferenciada y única realizada a pequeña escala, amigable con el medioambiente, que proyecta la dinámica social y cultural del territorio productor (Illsey-Granich *et al.*, 2009). En cuanto al total de plantas de maguey, Villa Sola de Vega ocupa el tercer lugar, después de Tlacolula y Yautepec. Sin embargo, por porcentaje de la población dedicada a la siembra de maguey y producción de mezcal, ocupa el cuarto lugar, siendo superado por Ejutla (Palma *et al.*, 2016).

Así también, el arraigo socioeconómico y cultural que tiene hacia la producción de mezcal hace que Villa Sola de Vega tenga importancia económica, ecológica y cultural muy alta, ya que cuenta con 136 localidades, 18 dedicadas a producir maguey-mezcal. Existen 64 fábricas de mezcal, de las cuáles, 26 de ellas destilan en olla de barro, 23 en alambique de cobre y 15 en tambo de lámina. Este proceso se considera artesanal ya que demanda en su mayor parte mano de obra familiar o cooperativa y genera bajos rendimientos en comparación con otras regiones mezcateras (Ríos-Colín *et al.*, 2016).

La alta demanda de agaves silvestres para elaborar este destilado tradicional ha generado una fuerte presión en las plantaciones y poblaciones de agaves, reflejándose en un problema de escasez. La investigación sobre distribución y uso de los agaves en el municipio de Villa Sola de Vega es escasa; contar con este tipo de información permitirá generar herramientas de análisis que a su vez faciliten la toma de decisiones para la conservación y aprovechamiento de la biodiversidad de agaves y fortalecer la agroindustria mezcatera en la región. Finalmente, con la presente investigación se contribuirá a la conservación de las especies o variedades de agaves empleados en la elaboración de mezcal en el municipio de Villa Sola de Vega.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en el municipio de Villa Sola de Vega, pertenece al Distrito Político Número 23 Sola de Vega de la región Sierra Sur del estado de Oaxaca (CNEM. 1988) y se encuentra ubicado

geográficamente entre los paralelos 16°16' y 16°52' de latitud norte; los meridianos 96°51' y 97°17' de longitud oeste; altitud entre 700 y 3 000 m. Los climas predominantes son templado subhúmedo con lluvias en verano y semicálido subhúmedo con lluvias en verano y templado húmedo con abundantes lluvias en verano. El rango de temperatura es de 12 – 26°C y el rango de precipitación es de 600-2500 mm (INEGI, 2010).

Tamaño de muestra

Se calculó del tamaño de la muestra, con el tamaño de la población a muestrear conocido, con la aplicación de la siguiente fórmula (FBN, 2015):

$$N = \frac{(k^2 * p * N)}{e^2 * (N - 1) + (k^2 * p * q)}$$

Dónde:

N= tamaño de la población o universo a encuestar.

k= nivel de confianza de que futuros experimentos produzcan los mismos resultados.

e= error de muestreo establecido.

p= proporción de individuos que poseen en la población la característica en estudio.

q= proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es 1-p.

n= tamaño de la muestra.

Con N = 21, k al 95 % (1.96), e = 0.05 p = 0.99, q = 0.01 y se obtuvo un tamaño de muestra de 9 productores, considerado el tamaño mínimo de muestra a emplear.

Base de datos

De acuerdo con la información histórica de los registros de producción de lotes certificados del Consejo Regulador del Mezcal (CRM, 2016), se constituyó una base de datos de los productores certificados en el municipio de Villa Sola de Vega, en dichos registros se especificaba la especie o variedad de agave empleada en los diferentes lotes de producción. Se visitó a los 21 productores reportados con certificación ante el Consejo Regulador del Mezcal (CRM) y se acordó realizar el seguimiento a los lotes de producción de 11 de ellos con base en su disponibilidad a participar (52 % de la población); al encuestar 11 se cumplía con el mínimo requerido y se incentivaba la participación al no despreciar participantes. Se capturaron sus bitácoras de producción y se realizaron entrevistas estructuradas (Rojas, 2013) para obtener información de los agaves empleados en la elaboración de mezcal, sobre su escasez, su contenido de azúcares reductores totales, su precio en el mercado, y el rendimiento expresado en

kilogramos de agave/litro de mezcal, así como de la eficiencia productiva de los once productores. Para la validación de las especies y variedades mencionadas por los agricultores, se utilizaron fotografías (Espinosa-Paz *et al.*, 2002) y claves taxonómicas (Palma-Cruz, 1991; García-Mendoza, 2011).

Con la información recabada de las bitácoras de producción y encuestas a productores certificados del municipio se elaboró una matriz de valoración de los agaves empleados en la elaboración de mezcal en el municipio de Villa Sola de Vega. Se consideraron aspectos productivos (rendimiento, contenido de azúcares, litros producidos por piña), aspectos del desarrollo de la planta (peso de una piña expresado en kg/piña, tiempo de madurez), aspectos económicos (precio del mezcal, demanda), importancia arraigo cultural (fuerte y recurrente tendencia a practicar costumbres y ritos propios de la región) y aspectos ecológicos (existencia en estado silvestre). Los agaves con reporte de cultivados y con presencia silvestre se consideraron cultivados/silvestres.

Los productores, de acuerdo con la NMX-V-006-NORMEX-2013 (DOF, 2014), determinaron los azúcares reductores totales (ART) por medio la metodología de Lane-Eynon (COMERCAM, 2013), donde se realiza la extracción del jugo de la piña sin cocer, se somete a hidrólisis ácida y posteriormente se determinan los ART por titulación. Se consideraron en total 10 criterios de decisión, de tal forma que la máxima calificación que pudiera tener un agave fuera 100 y la mínima 10. Se empleó la escala de 1, 5 y 10 para bajo medio y alto respectivamente para todas las variables, excepto para la de Silvestre/cultivado donde silvestre = 10, semi-cultivado = 5 y cultivado = 1. Los datos fueron procesados y analizados mediante el software MiniTab Express ver. 1.3, realizando la Prueba de Levene ($P < 0.05$) para homogeneidad de varianzas, comparando los valores medios por la diferencia mínima significativa de Fisher ($P < 0.05$) una vez realizado el ANOVA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Especies y taxones empleadas para la elaboración de mezcal

Los 11 productores encuestados reconocieron utilizar 7 especies, 6 taxones y 5 variedades de agave empleadas en la elaboración de mezcal. Del total, 6 fueron cultivadas, 6 silvestres y 6 silvestres/cultivadas y una cultivada/silvestre (Tabla 1). Sin embargo, la especie *A. angustifolia*, catalogada en el último grupo por los productores, es más cultivada que silvestre, pero todavía se localiza en estado silvestre en algunas zonas remotas.

Tabla 1. Magueyes empleados para la elaboración de mezcal en el municipio de Villa Sola de Vega.

N	Nombre Común	Nombre Científico	Silvestre/Cultivado
1	Maguey tobalá	<i>Agave potatorum</i>	Silvestre
2	Maguey espadín	<i>Agave angustifolia</i>	Cultivado/Silvestre
3	Maguey arroqueño	<i>Agave americana</i> var. <i>oaxacensis</i>	Silvestre/Cultivado
4	Maguey sierrudo o sierra negra	<i>Agave americana</i> var. <i>americana</i>	Cultivado
5	Maguey coyote	<i>Agave americana</i>	Cultivado
6	Maguey mexicano; mexicano penca larga o mexicano amarillo	<i>Agave rhodacantha</i> .	Silvestre/Cultivado
7	Maguey mexicano azul o penca angosta	<i>Agave aff. tequilana</i>	Silvestre/Cultivado
8	Maguey mexicano reyisto o royisto	<i>Agave aff. rhodacantha</i>	Cultivado
9	Maguey mexicanito	<i>Agave</i> sp.	Silvestre
10	Maguey tobaciche o barril verde	<i>Agave karwinskii</i>	Silvestre/Cultivado
11	Maguey barril	<i>Agave karwinskii</i>	Silvestre/Cultivado
12	Maguey barril chino o chino	<i>Agave aff. karwinskii</i>	Cultivado
13	Maguey verde o chino verde	<i>Agave</i> sp.	Cultivado
14	Maguey jabalí	<i>Agave kerchovei</i>	Silvestre
15	Maguey tepeztate	<i>Agave marmorata</i>	Silvestre
16	Maguey blanco	<i>Agave americana</i>	Silvestre
17	Maguey de pulque	<i>Agave americana</i>	Silvestre
18	Maguey de pita o espadín sin espinas	<i>Agave aff. angustifolia</i>	Cultivado

En total se identificaron 7 especies de agaves, dato que concuerda con la investigación de Espinosa-Paz *et al.* (2002), en la que mencionan al Distrito Político de Sola de Vega, como el más diverso en cuanto a especies de agaves empleados para la elaboración de mezcal. De acuerdo con García-Mendoza, *et al.* (2004), Oaxaca cuenta con 13 especies endémicas de agaváceas, más dos variedades; lo cual coloca a la entidad como la principal en México por su riqueza de especies. En Oaxaca se utilizan 26 taxones y la tecnología para su uso es muy diversa: por enriado, majado, horneado y desfibrado en seco se obtienen fibras de agave para la elaboración de textiles (Palma-Cruz, 2000). Sin embargo, de las 11 especies, solamente 8 se emplearon regularmente en la elaboración del mezcal dada su mayor disponibilidad. De acuerdo a García-Mendoza (2018), hoy se sabe que, de las 38 especies presentes en Oaxaca, 10 son utilizadas de manera tradicional para la obtención de bebidas destiladas.

Valoración de agaves empleados en la elaboración de mezcal

En el Tabla 2 se tienen los valores de 10 indicadores cualitativos generados para calificar la importancia de las especies de maguey empleadas para la elaboración de mezcal en el municipio de Villa Sola de Vega. Según el puntaje total acumulado, los agaves empleados para la elaboración de mezcal artesanal con mejores atributos fueron: arroqueño (85), espadín (72) y coyote (72), todos con rendimientos altos, alto contenido de ART, buena demanda en el mercado, arraigo entre los productores y con problemas de escasez en la región; sin embargo, el espadín tuvo el

menor precio de mercado y coyote el menor arraigo cultural. Otro maguey con poco arraigo fue el jabalí, el cual al igual que coyote tuvo un alto precio de venta del mezcal y un largo periodo a madurez. De acuerdo con Yescas-Arreola *et al.* (2016) el arroqueño (*Agave americana* var. *oaxacensis*) es una especie silvestre que se utiliza para elaborar mezcal, la cual es una actividad estratégica para la economía del estado de Oaxaca, México. Sus poblaciones son escasas, pequeñas y fragmentadas, se encuentran en lugares aislados y han sido disminuidas considerablemente, al grado de no aparecer oficialmente en las cifras de producción del Consejo Regulador del Mezcal (CRM, 2015). Los productores la aprecian por el tamaño de su tallo de más de 100 kg y su contenido de azúcares, por lo que es una necesidad imperante generar un esquema de propagación que asegure a los productores contar con suficiente materia prima de esta especie en un lapso menor que el que implica el esquema tradicional.

En un segundo grupo se encuentra el maguey tobalá (72), es el más emblemático culturalmente hablando y con mayor demanda en la región, pero con un rendimiento bajo, y poco contenido de ART, sólo se encuentra en estado silvestre, su piña es tamaño pequeño (peso menor a 10 kg en promedio, de acuerdo con Velasco *et al.*, 2009) y existe alta escasez de este agave en el municipio. Sin embargo, el mezcal derivado del agave tobalá (*Agave potatorum*) tiene un alto arraigo en las costumbres locales, su sabor es muy apreciado por productores y consumidores (Martínez-Ramírez *et al.*, 2013) y se puede cotizar hasta tres veces más caro que el obtenido de otros magueyes (Sánchez-López, 2005).

Tabla 2. Matriz de valoración de agaves empleados en la elaboración de mezcal en el municipio de Villa Sola de Vega y escalas utilizadas.

Magüey	Rendimiento (kg/l)	Azúcares Reductores Totales (%)	kg/ piña	Años para madurar	Precio de venta l/piña	Escasez	Demanda	Importancia cultural	Silvestre/ cultivado	Total
Arroqueño	10*	10	10	5	10	10	10	10	5	90
Espadín	10	10	10	5	1	10	10	10	1	77
Coyote	10	10	10	10	10	10	5	1	1	77
Tobalá	1	5	1	10	10	1	10	10	10	68
Mexicano	5	10	5	1	5	5	5	5	5	51
Barril	5	5	5	1	5	5	5	5	5	46
Tobasiche	1	1	5	1	5	5	5	5	10	43
Jabalí	1	1	1	10	10	1	1	1	10	37

*Se empleó la escala de 1, 5 y 10 para bajo medio y alto respectivamente para todas las variables, excepto para la de Silvestre/cultivado donde silvestre = 10, semi-cultivado = 5 y cultivado = 1.

En el último grupo se encuentran los agaves mexicanos, barril, tobasiche y jabalí, todos tienen un rendimiento bajo en comparación con arroqueño, espadín y coyote, el tamaño de su piña es mediano, presentan poco arraigo entre los productores ya que generalmente son utilizados como relleno para completar lotes de producción por productores no certificados. De este grupo, el mexicano tiene alto contenido de ART, mientras que el magüey barril tarda mucho en madurar (García-Mendoza, 2018) y tiene valores medios de todos los demás indicadores; el magüey tobasiche tiene bajo rendimiento y es cultivado, aunque aún existen individuos en estado silvestre; jabalí rinde poco, es muy escaso y silvestre, pero su tiempo de crecimiento es corto y tiene alto precio.

Entre los más escasos se tuvieron a arroqueño, coyote y tobalá; sin embargo, coyote tiene bajo arraigo cultural y aunque se cultiva, es de los menos utilizados (Ríos-Coliín *et al.*, 2016). En cambio, tobalá es principalmente recolectado y arroqueño es cultivado. La alta demanda de tobalá podría ponerlo en una situación de especie amenazada.

De acuerdo a la última modificación de la Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010), se encuentran enlistadas en alguna de las categorías de riesgo 18 especies del género *Agave* pero ninguna se reporta en Villa Sola de Vega. Espinosa-Paz *et al.* (2002), no mencionan a esta especie en su listado de especies en riesgo de extinción, lo que habla de la fuerte presión que en los últimos

años ha generado la producción de mezcal a las poblaciones de agaves silvestres.

En la conservación de las especies hay que considerar no solamente la riqueza y los endemismos, sino también otros factores de diversidad como rareza, diversidad filogenética, riesgo de extinción, diversidad de grupos taxonómicos y patrones biogeográficos (Tambutti-Allende, 2002). En Oaxaca todas las especies endémicas de agaves, se encuentran en alguna categoría de rareza, como *Agave guiengola* que se distribuye exclusivamente en el cerro del mismo nombre en el Istmo de Tehuantepec y se encuentra en la categoría de especie amenazada (A) (García-Mendoza *et al.*, 2004; DOF, 2010); y *Agave nizandensis*, especie microendémica de algunos cerros calizos de la selva baja caducifolia en el Istmo de Tehuantepec que está en la categoría de peligro de extinción (P) (Palma-Cruz, 1991; Pérez-García, *et al.*, 2001; DOF, 2010).

Valoración cuantitativa de los agaves empleados para elaborar mezcal

Tomando como base 6 indicadores cuantitativos, se generó una matriz multicriterio en la que se valoraron las especies de agave (Tabla 3). La producción de mezcal obtenida por kg de magüey (kg/l) fue la más baja para jabalí, intermedia para tobalá y mexicano y la más alta para las cinco especies restantes. En cuanto al rendimiento medio expresado en litros de mezcal por planta o piña (l/piña), los magüeyes arroqueño, espadín y coyote fueron los de mayor producción. Sin

embargo, tomando en cuenta su ciclo (datos no aparecen en tabla 3), el maguey coyote (*Agave americana*) fue el más rendidor, dado su menor tiempo a madurez, al producir 0.883 l/piña/año, contrastando con los 0.089 l/piña/año del maguey tobalá (*A. potatorum*) que fue el de menor rendimiento. Expresado en términos de kg de maguey utilizado y ciclo (datos no aparecen en tabla 3), el maguey coyote produjo 17.78 ml/kg/año, mientras que el maguey jabalí fue el de menor rendimiento con 6.16 ml/kg/año. De acuerdo con la prueba de Levene ($P < 0.05$), las varianzas de las 6 variables fueron homogéneas.

La producción no relacionó directamente con el contenido de azúcares reductores totales, ya que barril y tobasiche tuvieron contenidos intermedios de ART y producción similar a espadín y coyote con rendimientos iguales, pero con alto contenido de ART. Los agaves barril y tobasiche presentaron un contenido de ART cercano a 20 %, pero probablemente por su alto contenido de fibra, los azúcares no pudieron ser asimilados por las levaduras nativas en la fermentación, por ello su rendimiento bajo en la producción mezcal. Se han reportado contenidos de azúcares de 22-32 % en agaves maduros (Durán *et al.*, 1998). En otro estudio las plantas adultas de *A. angustifolia* y *A. karwinskii* los ART fueron del 21.16 % y 27.29 %, respectivamente (Cruz-García *et al.*, 2013).

Finalmente se encuentran los magueyes jabalí y tóbala, los que tuvieron piñas con los pesos más pequeños (14.33 y 9.27 kg respectivamente) y contenidos de ART bajos (inferiores al 20 %), por ello su rendimiento fue menor a un litro de mezcal por piña de agave. Después de jabalí, el tobalá fue el que menos mezcal

produjo por kg de agave. Según datos de Vera-Guzmán *et al.* (2009), la productividad mayor de etanol en el mosto de *A. angustifolia* (0.446 g L⁻¹ h⁻¹) con respecto a la del *A. potatorum* (0.593 g L⁻¹ h⁻¹), puede ser explicada por diferencias en las concentraciones de azúcares reductores totales y de nitrógeno.

El precio por litro de mezcal de las especies de agave analizadas varió entre \$ 66.67 y \$ 210.00 M. N. a fines de 2016, con espadín ubicado como el más barato y tobalá como el más caro. Estos precios han incrementado hasta en un 100 % para fines de 2018.

CONCLUSIONES

Se identificaron 7 especies, 6 taxones y 5 variedades de agave empleados para la elaboración de mezcal en el municipio de Villa Sola de Vega, de los cuales seis fueron silvestres, seis cultivadas/silvestres y seis cultivadas. De acuerdo a la matriz de valoración, las especies con mejores atributos fueron *Agave potatorum* (maguey tobalá), *Agave americana* var. *oaxacensis* (maguey arroqueño), y *Agave angustifolia* (maguey espadín). Con base en las encuestas, las especies tobalá, jabalí y coyote tuvieron el mayor precio de mercado, por lo cual debe impulsarse su siembra para aumentar los ingresos del campesino magueyero. Existe un potencial importante considerable por la diversidad de agaves mezcaleros con que cuenta el municipio, pero existe un riesgo alto de perder las especies silvestres tobalá, jabalí y tobasiche de no generarse acciones concretas de manejo para su conservación. Se sugiere apoyar el establecimiento de viveros comunitarios para estas especies.

Tabla 3. Valores de indicadores cuantitativos de los agaves empleados en la elaboración de mezcal en el municipio de Villa Sola de Vega.

Magüey	Producción (kg/l)	Rendimiento Medio (l/piña)	Azúcares Reductores Totales (%)	Peso por piña(kg)	Madurez (años)	Precio de venta (\$ MN)
Arroqueño	9.88 ^a	5.55 ^a	24.60 ^a	55.00 ^a	7.00 ^b	145.00 ^b
Espadín	9.16 ^a	5.30 ^a	25.50 ^a	47.67 ^b	7.00 ^b	66.67 ^d
Coyote	10.60 ^a	4.71 ^a	25.87 ^a	49.67 ^a	5.33 ^a	123.33 ^c
Tobalá	16.57 ^b	0.57 ^c	20.10 ^b	9.27 ^f	6.33 ^a	210.00 ^a
Mexicano	13.04 ^b	2.70 ^b	26.17 ^a	35.13 ^d	12.00 ^c	86.67 ^d
Barril	11.74 ^a	3.02 ^b	19.20 ^b	35.39 ^c	12.00 ^c	80.00 ^d
Tobasiche	12.53 ^a	2.01 ^b	18.40 ^b	25.27 ^e	13.00 ^c	76.67 ^d
Jabalí	21.77 ^c	0.66 ^c	14.67 ^c	14.33 ^f	6.33 ^a	160.00 ^b
Media	13.16	3.07	21.81	33.97	8.63	118.54
Desv. Est	4.15	1.92	4.20	16.36	3.08	50.98

^{a-d} Comparación de medias por el método LSD de Fisher (Letras iguales, significan medias estadísticamente iguales)

Agradecimientos

Al CONACYT por su apoyo beca para los estudios de maestría de Raymundo Martínez Jiménez y especialmente a los productores que de manera desinteresada proporcionaron la información, sin la cual este estudio no hubiera sido posible.

REFERENCIAS

- Álvarez-Ainza, M., Arellano-Plaza, M., De la Torre-González, F.J., Gallardo-Valdez, J., García-Barrón, S.E., García-Galaz, A., Gschaedler-Mathis, A., Herrera-López, E.J. López-Miranda, J., Páez-Lerma, J.B., Rentería-Martínez, O., Rodríguez-González, E., Soto-Cruz, N.O., Larralde-Corona, C.P. 2017. Bebidas tradicionales y nuevas alternativas. Sección II. Bebidas destiladas de agave. In: AGARED (ed.). Panorama del aprovechamiento de los Agaves en México. Primera Edición Electrónica 2017. CONACYT, CIATEJ, AGARED, México. Pp. 166-214. ISBN: 978-607-97548-5-3. https://www.researchgate.net/profile/Rafael_Guzman-Mendoza/publication/319549654_Los_Agaves/links/59b2c56a458515a5b48d258a/Los-Agaves.pdf (consultado diciembre de 2017).
- Ángeles-Carreño, G.C. 2010. De la biodiversidad al monocultivo: efectos del monocultivo de *Agave angustifolia* en el estado de Oaxaca. En: Ávila Romero, L. E. y G. Pardini (ed.). Patrimonio Natural y Territorio. 1ª. Ed. Pp. 95-11. ISBN-13: 978-84-694-0102-6 N° Registro: 11/8832. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2010f/862/efectos%20del%20monocultivo%20de%20agave%20angustifolia%20en%20el%20estado%20de%20Oaxaca.htm> (consultado diciembre de 2016).
- COMERCAM. 2013. Laboratorio de calidad, Método de ensayo - Determinación de azúcares Reductores Directos y Totales Método de volumétrico de Lane-Eynon Fecha de emisión: 2013-05-28 Fecha de revisión: 2013-05-28 Revisión No. 01 Clave: MOE-AR-05. Disponible en: https://www.academia.edu/17168744/MOE-AR-05_AZUCARES_REDUCTORES_DIRECTOS_Y_TOTALES?auto=download (consultado enero de 2017).
- CNEM. 1988. Los Municipios de Oaxaca, "Enciclopedia de los Municipios de México". Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Estudios Municipales, Gobierno del Estado de Oaxaca, Talleres Gráficos de la Nación, México, D.F. Disponible en: <http://www.municipios.mx/oaxaca/villa-solade-vega/> (consultado enero de 2016).
- CRM. 2015. Informe de actividades. Disponible en: http://mimezcal.com/mimezcal-ligas/mimezcal_CRM_informe_2015.pdf (consultado agosto de 2016).
- CRM. 2016. Informe 2015 de Actividades Consejo Directivo 2012-2016 Consejo Regulador del Mezcal, Oaxaca, México. 80 pp. Disponible en: <http://www.crm.org.mx/VIRTUAL/INFORME2016/> (consultado junio 2016).
- Cruz-García, H., Enríquez-del Valle, J.R., Velasco-Velasco, V.A., Ruiz-Luna, J., Campos-Ángeles, G.V., Aquino-García, D.E. 2013. Nutrimientos y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw y *Agave karwinskii* Zucc. Revista mexicana de ciencias agrícolas 4: 1161-1173. Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/2631/263128353008/> (consultado febrero 2015).
- DOF. 1993. Declaratoria de vigencia de la norma NMX-V-8-1993-SCFI- Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4783134&fecha=10/09/1993 (consultado enero de 2016).
- DOF. 1994. Resolución mediante la cual se otorga la protección prevista a la denominación de origen Mezcal, para ser aplicada a la bebida alcohólica del mismo nombre. 28 de noviembre de 1994, México, D.F. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4768551&fecha=28/11/1994 (consultado enero de 2016).
- DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. México. Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 78 pp. Disponible en: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf (consultado abril de 2016).
- DOF. 2014. Declaratoria de vigencia de las normas mexicanas NMX-V-004-NORMEX-2013, NMX-V-011-NORMEX-2013, NMX-V-013-NORMEX-2013, NMX-V-005-NORMEX-2013, NMX-V-006-NORMEX-2013, NMX-K-387-NORMEX-2013, NMX-

- F-321-NORMEX-2013 y NMX-F-CC-22002-1-NORMEX-IMNC-2013. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5330533&fecha=23/01/2014 (consultado enero de 2016).
- Durán, J., Franco, R., Antonio, V., Jarquín, H. 1998. Diseño de una planta productora de mezcal. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México, D. F. 130 pp.
- Espinosa-Paz, H., Arredondo, C., Cano, M.A., Canseco, A.M., Vázquez, F. 2002. La materia prima para producir el mezcal oaxaqueño: Catálogo de la diversidad de agaves. INIFAP, SAGARPA, Folleto técnico No. 2, Oaxaca, México. 74 pp. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3160> (consultado mayo, 2017)
- FBN. 2015. FeedBack Networks, Herramientas online, ¿Cómo calcular la muestra correcta? Disponible en: <http://www.feedbacknetworks.com/> (consultado octubre, 2015).
- García-Mendoza, A.J. 2004. Integración del conocimiento florístico del estado. En: García-Mendoza, A.J., M.J. Ordóñez, M. J., Briones-Salas, M. A. (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Pp. 305-325. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wild Life Fund, México
- García-Mendoza, A.J. 2004. Agaváceas. En: García-Mendoza, A.J., M.J. Ordóñez, M. J., Briones-Salas, M. A. (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Pp: 159-169. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wild Life Fund, México.
- García-Mendoza, A.J. 2007. Los Agaves de México. Ciencias-Universidad Nacional Autónoma de México 14 (87): 14-23. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/644/64408704.pdf> (consultado enero de 2016).
- García-Mendoza, A.J. 2011. Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán Agavaceae. Fascículo 88. Jardín Botánico Instituto de Biología UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. 102 pp. Disponible en: http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras_tehuacan/2012/F88_Agav.pdf (consultado marzo de 2016).
- García-Mendoza, A. 2012. México, país de magueyes. La Jornada, 53. Suplemento La Jornada del campo. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2012/02/18/cam-pais.htm> (consultado enero de 2016).
- García-Mendoza, A.J. 2018. Mapa de Agave: Mezcales y biodiversidad. Boletín UNAM-DGCS-045, Ciudad Universitaria. Disponible en: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_045.html (consultado junio 2015).
- Illey-Granich, C., Giovannucci, D., Bautista, C. 2009. La dinámica territorial de la zona mezcalera de Oaxaca. Entre la cultura y el comercio. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. Grupo de Estudios Ambientales, A. C. 37 pp. Disponible en: https://www.rimisp.org/wp-content/uploads/2013/03/22_rimisp_Cardum_en.pdf (consultado marzo de 2015).
- Illesley-Granich, C. 2009. The Case of Mexico. In: Giovanucci, D., T. Josling, W. Kerr, B. O'Connor and M. T. Yeung (Ed.). Guide to Geographic Indications for Developing Countries. Pp: 183-196. Linking Products and their Origins. International Trade Centre, Geneva. Disponible en: https://www.origingi.com/images/stories/PDFs/English/E-Library/geographical_indications.pdf (consultado abril de 2015).
- INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Villa Sola de Vega Oaxaca, Clave geoestadística 20277. México. 10 pp. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20277.pdf (consultado abril de 2015).
- Martínez-Ramírez, S., Trinidad, A., Bautista, G., Pedro, E.C. 2013. Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. Revista Fitotecnia Mexicana 36(4): 387-393. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/261223328_Crecimiento_de_plantulas_de_dos_especies_de_mezcal_en_funcion_del_tipo_de_suelo_y_nivel_de_fertilizacion (consultado abril de 2017).
- OEIDRUS Oaxaca (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Oaxaca). 2011. Maguey Mezcal. Regiones productoras de Oaxaca 2011. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable, Gobierno del Estado de Oaxaca, México. 91 pp. Disponible en:

- <http://www.oedrus-oaxaca.gob.mx/pdf/11Maguey2011.pdf> (consultado agosto de 2017).
- Palma-Cruz., F.J. 1991. El género *Agave* L. y su distribución en el estado de Oaxaca. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales "Iztacala"-UNAM. México, D. F. 161 pp. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Felipe_Palma_Cruz3/publication/279516532_El_genero_Agave_L_y_su_distribucion_en_el_estado_de_Oaxaca/links/5594563808ae793d137985f5/El-genero-Agave-L-y-su-distribucion-en-el-estado-de-Oaxaca.pdf (consultado agosto de 2016).
- Palma-Cruz, F.J. 2000. Agaves productores de fibras duras en el estado de Oaxaca, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México (66): 93-102. DOI: 10.17129/botsci.1615 <http://www.botanicalsciences.com.mx/index.php/botanicalSciences/article/viewFile/1615/1265>
- Palma-Cruz, F., Pérez, P., Meza, V. 2016. Diagnóstico de la Cadena de Valor Mezcal en las Regiones de Oaxaca. COPLADE Oaxaca. 83 pp. Disponible en: <http://www.coplade.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2017/04/Perfiles/AnexosPerfiles/6.%20CV%20MEZCAL.pdf> (consultado agosto de 2016).
- Pérez-García, E., Meave, J., Gallardo, C. 2001. Vegetación y flora de la región de Nizanda, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Acta Botánica Mexicana (56):19-88. Disponible en: <http://abm.ojs.inecol.mx/index.php/abm/article/view/879> (consultado septiembre de 2016).
- Ramos-Sánchez. O.J., Reyes, R.G., Ramos, A.O. 2014. Desarrollo sustentable en Villa Sola de Vega, Oaxaca. Revista Mexicana de Agronegocios, Sexta Época. Año XVIII. Vol. 34. Pp. 729-739. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/141/14131514008.pdf> (consultado septiembre de 2015).
- Ríos-Colín, A.C., Caballero, M., Ruiz, J. 2016. Caracterización del sistema productivo maguey mezcal con enfoque de agroecosistema en Sola de Vega, Oaxaca. XV Congreso Internacional y XXI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, México. Memoria de Resúmenes Revista Mexicana de Agroecosistemas. Vol. 3 (Suplemento). p. 831. ISSN: 2007-9559
- Rojas, S.R. 2013. Guía para realizar investigaciones sociales. Editorial Plaza y Valdez, México DF, 38ª EDICIÓN, 440 pp. Disponible en: <https://raulrojasoriano.com/cuallitlanezi/wp-content/themes/raulrojasoriano/assets/libros/guia-realizar-investigaciones-sociales-rojasoriano.pdf> (consultado octubre 2016).
- Sánchez-López, A. 2005. Oaxaca tierra del maguey y mezcal. Instituto Tecnológico de Oaxaca. Segunda edición. 235 pp.
- Tambutti-Allende, M.I. 2002. Diversidad del género *Agave* en México: una síntesis para su conservación. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 53 pp.
- Vera-Guzmán, A.M., Santiago, G.P., López, M.G. 2009. Compuestos volátiles aromáticos generados durante la elaboración de mezcal de *Agave angustifolia* y *Agave potatorum*. Revista Fitotecnia Mexicana 32(4): 273-279. Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/610/61011789003/> (consultado diciembre 2017).
- Yescas-Arreola, E., Campos, G.V., Enríquez, J.R., Velasco, V.A., Rodríguez, G., Ruiz, J. 2016. Aclimatación de *Agave americana* var. *oaxacensis* obtenidas in vitro. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.7 (4): 911-922. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000400911&script=sci_arttext (consultado octubre 2017)
- Velasco B.E., M.C., Zamora-Martínez, H. Espinosa P., C. Sampayo B.F., Moreno, S. 2009. Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderables: Agaves Mezcaleros. Manual Técnico Núm. 3. CENID-COMEF. INIFAP, México, D. F. México, 60 p.