

El agave y sus productos

A.S. Castro-Díaz* y J.A. Guerrero-Beltrán

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.

RESUMEN

El agave es una planta nativa de México, monocárpica, ya que florece una vez en su vida y posteriormente muere. El agave, comúnmente conocido como maguey, ha brindado innumerables beneficios y productos al hombre. Uno de ellos es el tequila, el cual es una bebida alcohólica que se obtiene por fermentación y destilación de los azúcares reductores (agavinas) del *Agave tequilana* Weber variedad azul, cuyo proceso de elaboración tiene Denominación de Origen "Tequila" (DOT), y es conocido tanto en el mercado nacional como en el internacional. El pulque, producto de la fermentación a temperatura ambiente del aguamiel, fue la primera bebida de baja graduación alcohólica conocida en México; no es tan popular como lo fue en otra época, pero actualmente trata de recuperar el mercado como producto envasado en lata. El mezcal y los llamados "gusanos de maguey" también se obtienen de esta planta y estos últimos son muy cotizados en gastronomía. El objetivo de este artículo es mostrar la importancia del agave, así como la de los productos que a partir de él se obtienen, algunos de los cuales son reconocidos internacionalmente.

Palabras clave: agave, tequila, mezcal, aguamiel, pulque.

ABSTRACT

The agave is a native plant of Mexico, is monocarpic because it blooms once in its life cycle. The agave is commonly known as maguey and has provided countless benefits and products to man, one of them is Tequila, an alcoholic beverage obtained by fermentation and distillation of *Agave tequilana* Weber variedad azul sugars (agavinas) and whose manufacturing process is Origin Designation "Tequila" (DOT), and is well known both nationally and internationally. The pulque fermentation product of mead, at room temperature, was the first low alcohol drink in Mexico, it is not as popular as it was in another time, but nowadays efforts have been done to recover the market as a can product. Mezcal and larvae are also obtained from this plant and the latter are highly prized in gastronomy. The aim of this article is to show the importance of the agave, as well as products from it are obtained, some of which are internationally recognized.

Keywords: agave, tequila, mead, pulque.

* Programa de Maestría
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126
Fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica:
alfredo.castrodz@udlap.mx

Introducción

México es un lugar que por sus características climáticas cuenta con una gran variedad de agaves, particularmente en la Meseta Central, y muchas de ellas son endémicas. Hay 26 estados de la República Mexicana en los que actualmente se cultiva agave. Éste se utiliza principalmente para la producción de tequila (*A. tequilana* Weber variedad azul), mezcal (*Agave salmiana*), pulque (principalmente de *Salmiana*), y para la obtención de larvas (conocidas como gusanos de maguey); éstas últimas son muy apreciadas en gastronomía.

Cabe señalar que el pulque es una bebida que se obtiene por fermentación del aguamiel del maguey, que tuvo auge comercial durante las épocas prehispánica y colonial de México, por ser un producto rentable; sin embargo, es muy poco conocido por las actuales generaciones. Hoy en día, para hacer al pulque más agradable, debido a que tiene un sabor y olor *sui generis*, se mezcla con frutas o vegetales, regulando su dulzor.

El objetivo de este artículo es mostrar la importancia del agave, así como la de los productos que de él se obtienen, algunos de los cuales son reconocidos internacionalmente.

Revisión bibliográfica

1. El agave

El agave, mejor conocido como maguey (Lappe-Oliveras, Moreno-Terrazas, Arrison-Gabiño y Herrera-Suarez, 2008), es originario de México; se encuentra desde 34° latitud norte, hasta 60° latitud sur (García-Herrera, Méndez-Gallegos y Talavera-Magaña, 2010). Esto hace que en México se encuentre el 75% de las especies de agave que crecen en el continente americano, un 55% de las cuales son endémicas (García-Herrera *et al.*, 2010; Gentry, 1982) hace un resumen de taxones del agave, en el cual se encuentran dos géneros *Litsea* y *Agave*, el primero con 54 especies y el segundo con 82. A su vez, al subgénero agave lo integran 12 secciones, 82 especies, 21 subespecies y 23 variedades, dando un total de 197 taxones.

El maguey es una planta monocárpica, ya que florece solamente una vez en su vida y posteriormente muere. La forma que adquiere con sus hojas (pencas) es como una roseta; sus pencas son verdes, gruesas y carnosas, y terminan con una punta afilada. Debido a su estructura e interacción con el medio, esta planta puede adaptarse a condiciones muy adversas como cerros pedregosos y laderas o montañas de gran altitud (García-Herrera *et al.*, 2010), así como también a llanos y lu-

gares planos. Los climas que más le favorecen son el árido y el semiárido; es característico encontrar agaves en estas zonas. Debido a que los agaves están expuestos a cambios ambientales adversos, han desarrollado mecanismos bioquímicos y biofísicos a nivel celular y estructural para poder sobrevivir.

En los agaves, la membrana cuticular es el mecanismo de protección más importante por funcionar como una interface con el exterior (Bernardino-Nicanor, Mora-Escobedo, Montañez-Soto, Filardo-Kerstup y González, Cruz, 2012). También estas plantas poseen mecanismos que les permiten adaptarse al frío o la sequía; en este último caso hay una mayor eficiencia en la utilización del agua para las funciones vitales. En cuanto al suelo, se encuentra en condiciones de pH neutro a ligeramente alcalino (García-Herrera *et al.*, 2010). Estas condiciones parecen dar al agave las características idóneas para sus funciones vitales. La reproducción de los agaves cultivados es principalmente asexual (García-Herrera *et al.*, 2010), por medio de hijos del rizoma de la planta, y sexual en el caso de los que crecen de manera silvestre, ya que sus flores son polinizadas por los insectos; este tipo de reproducción da mayor resistencia genética a la planta.

La domesticación de las especies de agave ha contribuido a la evolución de estas plantas, dándoles variaciones fisiológicas y morfológicas a nivel local, nacional e internacional. Prueba de esto se puede observar en la sección *Salmiana* del género *Agave* (Mora-López, Reyes-Aguirre, Flores-Flores, Peña-Valdivia y Aguirre-Rivera, 2011) que es una de las que más cambios ha registrado, ya que ha desarrollado mayor tamaño en la roseta y ha reducido sus estructuras de protección mecánica. La especie con mayor grado de domesticación fue la encontrada en linderos de cultivos agrícolas, el *A. mapisaga*, con dientes pequeños y rosetas grandes. La menos domesticada, como el *A. macroculmis*, se caracteriza por tener plantas pequeñas con espinas y dientes grandes.

Los estados de la República Mexicana en los que se cultiva el agave son: Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California Sur, Coahuila, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán y Zacatecas (SIAP, 2013). El total de hectáreas sembradas de agave en México en el año 2012 fue de 137,625.27, las cuales muestran una reducción gradual del 24.21% con respecto al año 2008, en el cual hubo 181,575.15 hectáreas. También cabe destacar que para el año 2012 hubo más hectáreas cosechadas de agave (19,876.09) que en 2008 (19,032.14) pero con una reducción del 6.06% de toneladas en la producción en ese año (Tabla I).

Tabla I. Superficie sembrada, producción y precio de agave

Año	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/Ha)	Precio medio rural (\$/ton)
2008	181,575.15	19,032.14	1,795,078.20	94.32	1,476.05
2009	165,475.10	15,321.47	1,197,943.03	78.19	1,086.32
2010	162,388.89	15,880.20	1,246,790.13	78.51	1,013.21
2011	165,310.38	19,731.10	1,703,852.61	86.35	1,132.30
2012	137,625.27	19,876.07	1,686,337.41	84.84	1,258.54

Fuente: SIAP (2013).

Tabla II. Superficie sembrada (Ha) de *Agave tequilana* Weber variedad azul en México

Año	2008	2009	2010	2011	2012
Jalisco	121,146.25	107,700.12	100,316.30	94,086.09	82,775.95
Nayarit	9,745.03	9,215.03	7,840.03	12,401.56	7,549.13
Guanajuato	6,506.99	7,633.99	15,419.99	14,324.99	13,784.00
Tamaulipas	9,934.43	9,921.42	9,872.42	12,586.16	9,057.31
Michoacán	8,363.11	7,083.37	7,277.01	6,298.13	5,028.20

Fuente: SIAP (2013).

2. Productos del agave

2.1 Tequila

El tequila es una bebida alcohólica regional, obtenida por destilación de mostos de *Agave tequilana* Weber variedad azul. Los mostos pueden ser enriquecidos con otros azúcares en una proporción no mayor de 49% de azúcares reductores totales. El tequila se debe procesar en las instalaciones de la fábrica de un productor autorizado, la cual debe estar ubicada en el territorio comprendido en La Declaración General de Protección a la Denominación de Origen "Tequila" (DOT). El proceso se rige por la Norma Oficial Mexicana 006 SCFI-2012 Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones.

El 13 de abril de 1978 se otorgó el certificado de origen del tequila, en el *Registre Internacional des appellations D'origine* de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual en Génova, Suiza. La Denominación de Origen "Tequila" (DOT) comprende 181 municipios de cinco estados de la República Mexicana los cuales son: Jalisco con sus 125 municipios, Nayarit con 8, Guanajuato con 7, Tamaulipas con 11 y Michoacán con 30 (Consejo Regulador del Tequila, 2013). Solamente en estos 181 municipios se puede utilizar como materia prima el *Agave tequilana* Weber variedad azul, para producir tequila (Mellado-Mójica y López-Pérez, 2013).

Según el SIAP (2013), el estado de Jalisco es el que ha tenido más hectáreas sembradas de *A. tequilana* (Tabla II), lo cual representa un promedio de 72.51% del total nacional en los últimos 5 años, muy por arriba de los cuatro estados restantes. En 2012, Guanajuato le siguió a Jalisco con tan sólo 11.66%, que representó la mayor producción de agave para este estado. Cabe señalar que en el año 2008, Guanajuato era el estado con menor número de hectáreas sembradas de *A. tequilana* (solamente el 4.18% del total).

México tiene el uso exclusivo de la palabra "tequila", la cual se utiliza para nombrar a las bebidas alcohólicas que se producen con *A. tequilana* Weber variedad azul, creciendo exclusivamente en la demarcación que se rige bajo la normatividad vigente. Esta especie de agave, es de hojas de forma lanceolada, largas y fibrosas, de color azul debido a la cantidad de ceras que contiene (Academia Mexicana del Tequila, 2000).

La piña del agave tequilero es la materia prima para la elaboración de tequila. Cada piña tiene un peso de entre 30 y 70 kg, pero se pueden encontrar hasta de 150 kg. La concentración de azúcares de la piña se encuentra entre el 16% y el 28%, a diferencia de la de las hojas que está entre el 3.3% y 16.1% en peso fresco, dependiendo de la edad de la planta y el tamaño de la hoja (Montañez-Soto, Venegas-González y Vivar-Vera, 2011). Las piñas y las hojas del *A. tequilana* Weber

Tabla III. Categoría, clase y maduración del tequila.

Categoría	Porcentaje	Clase para cada categoría	Maduración
Tequila	100% de azúcares	Blanco plata	Menor a dos meses
100% de agave ⁽¹⁾	de <i>A. tequilana</i>		
	Weber variedad azul	Joven u oro ⁽²⁾	Al menos dos meses
Tequila	51% de azúcares de <i>A. tequilana</i>	Reposado Añejo	Mayor a tres meses
	y hasta 49% de otros	Extra añejo	Mayor a tres años
	azúcares reductores		

1: También conocido como. "100% de agave", "100% puro de agave", "100% agave", o "100% puro agave", al final de las cuales se puede añadir la palabra "azul".

2: Mezcla de tequila blanco con tequila reposado y/o añejo y/o extra añejo.

Adaptado de: NOM-006-SCFI-2012

variedad azul, tienen carbohidratos de reserva que de no ser extraídos, son utilizados por la planta para la salida del escapo floral. Las piñas de esta variedad de agave tienen un alto contenido de fructanos, los cuales son estructuras complejas que se sintetizan a partir de sacarosa y se clasifican en inulinas y levanas, también conocidas como agavinas (Montañez-Soto *et al.*, 2011).

El tequila se obtiene utilizando una planta de agave madura de 10 años, edad a la cual tiene el mayor porcentaje de azúcares. Para el Consejo Regulador del Tequila, las operaciones unitarias para la producción de esta bebida son las siguientes: la planta se jima eliminando todas las pencas de la piña; se cuece en autoclaves durante 12 horas y si es en horno de mampostería, el cocimiento puede durar hasta 48 horas, para convertir la inulina en azúcares como fructosa y sacarosa, que son fácilmente fermentables. Posteriormente, la piña ya cocida se muele y para extraer la mayor cantidad de azúcares de la fibra, se aplica agua a presión. En la fermentación las mieles de agave deben estar en un mínimo de 51% y dependiendo del tipo de tequila, se podrán adicionar hasta el 49% de mieles de azúcar estándar, piloncillo, melaza, glucosa o fructosa. La fermentación se realiza a temperatura ambiente (en invierno puede durar 24 h) hasta que el mosto ya no tiene movimiento. Posteriormente se destila, obteniéndose el tequila y vinazas (desecho). La destilación se realiza en dos etapas, una llamada destrozamiento y la otra rectificación; en esta última se obtiene un producto de mayor pureza (Consejo Regulador del Tequila, 2013)

De acuerdo al porcentaje de azúcares que se adicionaron para la fermentación, el tequila se puede clasificar en dos

categorías: 100% de agave, que es producto del proceso de fermentación y destilación de mieles de *A. tequilana* Weber variedad azul, producido y embotellado por un productor autorizado dentro de la demarcación de origen, y tequila producto de la fermentación y destilado de mieles de *A. tequilana* Weber variedad azul, al que en el mosto previo a la fermentación se adicionó otro tipo de azúcares en una proporción no mayor al 49% (NOM-006-SCFI-2012).

El tequila también se clasifica dependiendo de las características adquiridas en la destilación y el tiempo de maduración (Tabla III). Cabe señalar que el sabor del tequila puede ser suavizado (abocado), agregando un porcentaje no mayor al 1% de uno o más de los siguientes ingredientes: color caramelo, extracto de roble o encino natural, glicerina y jarabe a base de azúcar, exceptuando el tequila blanco plata. La NOM-006-SCFI-2012 también establece que no se permiten las mezclas en frío y para ajustar al contenido alcohólico comercial, se debe utilizar agua de dilución, la cual puede ser potable, destilada o desmineralizada (NOM-006-SCFI-2012)

2.2 Mezcal

El mezcal es una bebida tradicional de México, alcohólica, de origen mexicano, producto de la fermentación de los azúcares extraídos de la piña cocinada de diferentes agaves como el *A. salmiana* (Verdugo *et al.*, 2011) y *A. angustifolia*, *A. esperri-ma*, *A. weberi* y *A. potatorum* entre otros (Molina-Guerrero *et al.*, 2007). La planta, para poder ser utilizada en la producción de mezcal, debe tener una madurez fisiológica de entre 7 y 12 años (García-Herrera *et al.*, 2010).

El proceso para la elaboración del mezcal es artesanal y es

muy similar al del tequila, con la diferencia de que no es tecnificado y se pueden utilizar varias especies de agave para su elaboración. Las operaciones unitarias se resumen en: recolección de la materia prima, cocimiento de la piña, molienda de la piña cocida, doble fermentación, destilación en alambiques de cobre, y maduración en algunos casos. El cocimiento de las piñas del agave tiene la función de hidrolizar a los fructanos, obteniendo azúcares simples como fructosa. Estos azúcares son fermentados de manera natural, en periodos que van de 1 a 2 días. Las levaduras que fermentan los azúcares son de diferentes géneros. Verdugo *et al.* (2012) encontraron en el *Agave salmiana* 192 colonias de levaduras, de las que identificaron: *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus*, *Clavispora lusitanae*, *Saccharomyces exiguus*, *Torulaspota delbrueckii*, *Zygosaccharomyces bailii*, *Pichia kluyveri* y *Candida ethanolica*, entre otras. Estas levaduras convierten los azúcares a etanol en una proporción de 0.39 g/g en la primera fermentación y un valor similar en la segunda. Para Molina-Guerrero *et al.* (2007), la destilación se realiza cuando el mosto contiene de 3 a 6% v/v de etanol, obteniendo mezcal blanco o joven.

Cabe señalar que una característica de esta bebida es que su sabor y olor los adquiere en el cocinado de la piña, la fermentación de azúcares y el destilado, considerando que algunos otros sabores y olores los tiene de manera natural el agave. Molina-Guerrero *et al.* (2007) encontraron 85 componentes que se agruparon por su naturaleza química en acetales, ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas, aldehídos, ésteres, fenoles y terpenos, siendo los más abundantes los alcoholes, ésteres y ácidos. Vera, López y Chávez-Servia, (2012) encontraron, en la elaboración de mezcal a partir de *A. angustifolia* Haw, compuestos volátiles como acetato de etilo, etanol, metanol, 3-metil-1-butanol, propanol, 2-metil-1-propanol y ácido acético, con diferencias de una estación a otra. Con respecto a la adición de sulfato de amonio para reducir el tiempo de fermentación, se afecta la producción de etanol, propanol y butanol, pero disminuye la cantidad de metanol, acetato de etilo y la producción de ácido acético, por lo que es más recomendable adicionar sulfato de amonio en otoño que en primavera (Vera *et al.*, 2012).

2.3 Pulque

El pulque es una bebida ancestral, blanca, lechosa y viscosa, con sabor y olor fuerte a maguey, de baja graduación alcohólica, menor al 6% (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008), que se obtiene por lotes, la cual tuvo gran auge y control por los aztecas en el siglo XIII (Chellapandian, Larios, Sánchez, González y

López-Munguía, 1998). Los aztecas distinguían diferentes tipos de pulque: “metoctli” o vino de agave, “iztacoctli” o vino blanco, y “teoctli” o ceremonial o vino dios. Para Lappe-Oliveras *et al.* (2008) la palabra “pulque” se deriva de la palabra “poliuhquiocli”, con la cual se designaba al pulque descompuesto de sabor y olor desagradable. Los españoles utilizaban la palabra “pulque” para designar a esta bebida recién elaborada. Con la caída del imperio azteca el pulque perdió su importancia religiosa, pero se siguió consumiendo por su importancia nutricional, inclusive como sustituto de agua.

Hoy en día se consume escasamente, pero se hacen esfuerzos por revivir si no su auge, sí su consumo. De su venta en pulquerías que eran antihigiénicas y malolientes, pasó a ser consumido en restaurantes, donde es considerado una bebida gourmet. Inclusive desde 2009, la empresa “Productos Naturales de Agave, S. A. de C. V”. , en Nanacamilpa, Tlaxcala, exporta pulque natural y de sabores en latas a Estados Unidos y Alemania (Servín, 2009).

2.3.1 Agave pulquero

Según el SIAP (2013), los estados de México que cultivan agave pulquero son: Coahuila, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Puebla, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz. Jalisco no solamente produce agave para la elaboración de tequila sino que también produce agave pulquero. Michoacán también es un estado que produce agave para pulque, ya que de sus 112 municipios, solamente 30 pertenecen al DOT.

La savia (aguamiel) que se obtiene de varias especies de agave, se utiliza para la elaboración de pulque. Para Mora-López *et al.* (2011) los siguientes taxones de la sección *Salmianae* son utilizados principalmente para producir aguamiel: *Agave macroculmis*, *A. mapisaga*, *A. mapisaga* var. *lisa*, *A. salmiana*, *A. angustifolia*, *A. ferox*, *A. salmiana* subsp. *crassispirina* y *A. tecta*. Ramírez-Higuera. (2010), incluye otras variedades para la producción de aguamiel como: *A. atrovirens* Karw, *A. hookeri*, *A. americana*. Así como también para el Estado de México incluye: *A. teometl* Zucc., *A. weberi* Cels., *A. altissima* Jacobi., *A. compliala* Trel., *A. gracillispina* Englem., *A. malliflua* Trel. y *A. mapisaga* Trel.

Cabe resaltar que el *Agave salmiana* var. *salmiana* le da un sabor fuerte al pulque obtenido, lo cual agrada a los consumidores (Mora-López *et al.*, 2011).

2.3.2 Preparación del agave

El proceso para la obtención del aguamiel comienza con la preparación del agave, el cual debe ser un maguey adulto (8 a 10 años). Al agave se le realiza el “capado o capazón”, que consis-

te en cortar todas las pencas tiernas del centro (cogollo), para evitar la floración y que el escape floral aproveche los azúcares de la planta. De dos a tres meses después (añejado del agave) se realiza la “picazón”, que consiste en formar un cajete en la base de la piña, y finalmente en las dos semanas subsecuentes el cajete se raspa (ruptura de vasos capilares) nuevamente, hasta formar un cuenco más profundo para que se acumule por exudación la savia del maguey. El cambio de coloración de rojo a amarillo oscuro de las bases de las pencas del agave indica que la producción de aguamiel se ha iniciado. En el proceso de maduración el contenido de azúcares en la savia (aguamiel) aumenta de 7 a 14% (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008).

2.3.3 “Tlachicado”

El aguamiel (savia) obtenido del agave, es un líquido translúcido, amarillento (o turbio), ácido, ligeramente espeso con olor a hierba (fresco). Está constituido principalmente por agua y azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa), proteínas, gomas y sales minerales (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008). La normatividad mexicana (NMX-V-022-1972 SECOFI-1972) distingue dos tipos de aguamiel. El Tipo I corresponde al de mejor calidad por estar más claro y con un contenido de azúcares más alto y el Tipo II que incluye a los demás tipos de aguamiel.

“Tlachicar” es el proceso mediante el cual se recoge el aguamiel por succión con un “acocote”, el cual es un calabazo alargado que se utiliza para extraer el aguamiel del agave. También se utiliza un instrumento que tiene la misma función o una taza cafetera, dependiendo de qué tan alto o pequeño sea el agave. El volumen de aguamiel en el cajete aumenta paulatinamente con respecto al tiempo. Ortíz-Basurto *et al.* (2008) encontraron que se puede recoger al inicio de la producción de aguamiel desde 0.4 litros por planta por día y aumentar a 4 o 6 litros por planta por día los primeros dos meses y luego va disminuyendo hasta obtener 0.4 litros por planta por día hacia el final de la producción, la cual puede durar de 4 a 6 meses. La recolección de aguamiel se realiza dos veces al día, tapando el cajete con las mismas hojas del maguey. Cada agave tiene una producción total de 500 a 1000 litros. Gentry, 1982; Tovar, Olivos y Gutiérrez, 2008 reportan para el *A. atrovirens* y el *A. salmiana*, hasta 1,500 litros durante su periodo de producción. El aguamiel se almacena en recipientes como castañas de madera u odres, los cuales se transportan hasta los tinacales de fermentación.

Debido a que el aguamiel utilizado para la obtención del pulque es rico en factores de crecimiento en un medio acuoso, representa un sustrato favorable para diferentes microorga-

nismos que pueden proceder del agave, del acocote, de insectos y del polvo, ya que el agave se encuentra a la intemperie. Esta población heterogénea de microorganismos es la que da inicio a una serie de fermentaciones consecutivas que son: láctica, alcohólica y acética (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008).

2.3.4 Obtención del pulque

El pulque resulta de la fermentación del aguamiel con microorganismos autóctonos, de los cuales se han identificado más de 50 géneros dependiendo del tipo de agave utilizado (Cervantes-Contreras y Pedrosa-Rodríguez, 2007). Para la producción del pulque, la fermentación de aguamiel se inicia en el maguey, continuando su proceso natural en los tinacales (tinajas de fermentación).

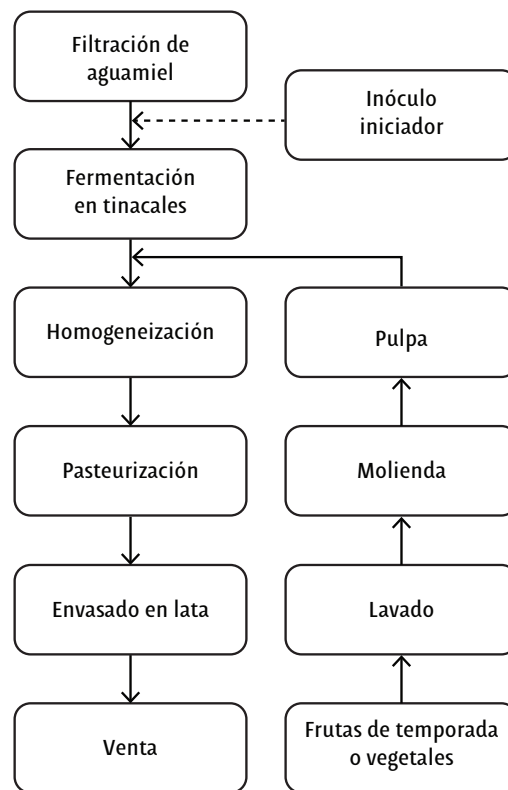
Debido a la transformación bioquímica por la acción microbiana que sufre la savia, ésta se vuelve un medio propicio para el crecimiento de diferentes microorganismos como bacterias productoras de ácido láctico (*Leuconostoc*, especies de *Lactobacillus* homo y heterofermentativas), levaduras (*Saccharomyces* y otras) y *Zymomonas mobilis* subsp. *Mobilis*, que convierten los azúcares en alcohol y otros productos. La savia también contiene bacterias productoras de dextranos (*Leuconostoc* subsp.), bacterias productoras de ácido acético (*Acetobacter* subsp.) y microorganismos corruptores.

Para una fermentación más rápida del aguamiel, se puede acelerar el proceso adicionando una cantidad variable de pulque ya fermentado (semilla), que corresponde al pulque Tipo I, al igual que las primeras fermentaciones, ya que aquí se establece un equilibrio bioquímico entre sustrato fermentable y microorganismos básicos.

El tiempo de fermentación para obtener pulque es variable, ya que se puede producir dulce o fuerte, dependiendo del tiempo de fermentación, el cual puede ser de 12 a 48 horas a 25 °C (Cervantes-Contreras y Pedrosa-Rodríguez, 2007) o a temperatura ambiente, que es como se produce en el medio rural. Este proceso es muy delicado, ya que de no tener cuidado con la inocuidad en las diferentes fases, se puede inhibir a los microorganismos mesófilos.

El pulque después de adquirir sus características (grado alcohólico, viscosidad ideal, sabor y olor), debe ser comercializado, ya que es un producto perecedero con vida de anaquel de 1 a 3 días (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008). También se puede resaltar su sabor agregando frutas o vegetales y envasarlo en lata, que es como se comercializa a otros países. En la figura 1 se presenta un diagrama sobre el proceso de elaboración del pulque curado.

Fig. 1. Diagrama de bloques del proceso de producción de pulque curado



3. Otros productos del agave

3.1 Gusano rojo (*Hypopta agavis B*)

El *Agave salmiana* está relacionado al gusano rojo, llamado “chinicuil”, “tecol” o simplemente gusano rojo de maguey, el cual es una plaga de éste, ya que se alimenta de los tejidos de las diferentes partes del maguey. Este gusano es larva de la palomilla *Comadia redtenbacheri* Hammerschmidt (Lepidoptera: cossidae) y vive como huésped en el maguey, hasta completar su ciclo de vida que es de ocho meses a un año (Llenderal-Cázares, De los Santos-Posadas, Almanza-Valenzuela, Nieto-Hernández y Castillejos-Cruz, 2010) o de cinco meses si el agave está en invernadero. Sus siete estadios larvales los pasa en el cuello o raíz de la piña del maguey, la cual puede contener de 15 a 30 larvas (García-Herrera *et al.*, 2010). La colecta de los gusanos se realiza a mano, principalmente en el mes de septiembre. Cabe resaltar que los adultos permanecen con vida solamente de 3 a 5 días, por tener un aparato bucal no evo-

lucionado que no les permite alimentarse fuera de la planta.

Las larvas del agave se han comido siempre, pero últimamente han adquirido auge en la gastronomía mexicana. El gusano rojo contiene siete aminoácidos esenciales y un valor energético de 607.9 kcal/100 g (Llenderal-Cázares *et al.*, 2010), el cual es uno de los más elevados para insectos comestibles. El “chinicuil” se encuentra y comercializa en los estados de la Mesa Central, Oaxaca, San Luis Potosí y Chiapas.

3.2 Gusano blanco (*Acentrocneme hesperiaris*)

El gusano blanco de maguey es un insecto con un alto valor alimenticio que se encuentra en las pencas, las cuales al contenerlo tienden a marchitarse. En México, como en Estados Unidos de América y Europa, es muy apreciado. Los estados en los cuales se encuentra y comercializa son Durango, Zacatecas, Aguascalientes y los de la Mesa Central de México (García-Herrera *et al.*, 2010). Su recolección es en los meses de mayo a junio. Se pueden conservar en refrigeración por varios meses.

3.3 Mixiote

El mixiote es un platillo de origen prehispánico que para su elaboración utiliza la membrana cuticular de la hoja del agave, la cual es el medio de protección y defensa más importante para la planta. Cabe mencionar que los agaves producen en las hojas tres formas de cristales de oxalato de calcio (drusas, estiloides y rafidios), los cuales se detectan principalmente en las primeras etapas del desarrollo de las plantas jóvenes (sexto año), ya que posteriormente sólo se encuentran las drusas en la membrana cuticular. Los cristales de oxalato de calcio actúan como mecanismos de protección contra insectos y animales forrajeros (Bernardino-Nicanor *et al.*, 2012); en el ser humano causan dermatitis. La función biológica de los cristales en la planta es dar alta turgencia y ser una forma de almacenamiento de calcio y ácido oxálico.

Es importante considerar que el retiro de la cutícula del agave es destructiva para la planta, ya que le ocasiona la muerte por deshidratación y pérdida de superficie para realizar procesos fotosintéticos (José y García, 2000). El estado de Hidalgo es el único reportado por el SIAP (2013) como productor de mixiote (23 Ha sembradas). La actividad debe ser realizada en cultivos controlados ya que de no ser así, se propiciaría la extinción del magüey.

3.4 Jarabe de agave

Según la Norma Mexicana NMX-FF- 110- SCFI-2008, el jarabe de agave es la sustancia dulce proveniente de la hidrólisis de los oligosacáridos del agave, a la cual se le puede añadir color y sabor, pero no almidones, melazas, glucosa, dextrosa, fructosa u otros azúcares de origen diferente al agave. La normatividad describe tres tipos de jarabe que son: jarabe de agave, jarabe de agave 100% (o jarabe 100% de agave), el cual no debe tener mezclas de diferentes tipos de agaves, y el jarabe "orgánico", que debe cumplir con los requisitos establecidos en la Ley de Productos Orgánicos (2006), en la cual se establece que sólo los productos que cumplan con esta ley podrán ser identificados con el término "orgánico", prohibiendo la utilización de productos de síntesis química.

Mellado-Mójica y López Pérez (2013) observaron que el jarabe de *A. tequilana* Weber variedad azul presenta una gran gama de tonalidades (0.017 - 0.961 a 560 nm), por lo que la tonalidad no es una variable adecuada para identificarlo. Los jarabes de *A. tequilana* contienen abundancia de fructosa (mayor a 500 mg/g) y ausencia de sacarosa. Algunos dependiendo de la región de procedencia, contienen trazas de fructooligosacáridos (cetosa y nistosa) formados en la hidrólisis de los fructanos al elaborar el jarabe.

Conclusiones

El agave es una planta nativa de México que ha brindado innumerables beneficios al hombre como ninguna otra planta. Muchos productos que a partir de ella se obtienen, están posicionados a nivel mundial como el tequila, cuyo proceso de elaboración ha adquirido Denominación de Origen Tequila (DOT) reconociendo la identidad y calidad de este producto mexicano. El mezcal y el pulque son bebidas ancestrales que se siguen elaborando de manera tradicional, éste último tratando de recuperar el auge de otro tiempo. Esta planta también sirve de hospedero para larvas que son muy apreciadas tanto en la gastronomía nacional como en la internacional. Por lo tanto el agave es una planta de gran importancia socioeconómica para México.

Agradecimiento

Alfredo Salvador Castro-Díaz agradece al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) y a la Universidad Tecnológica de Tecamachalco (UTT), por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo en los estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Academia Mexicana del Tequila A. C. (2000). Información obtenida el 9 de noviembre de 2013 de <http://www.acamextequila.com.mx/amt3/elagave.html>.
- Bernardino-Nicanor, A., Mora-Escobedo, R., Montañez-Soto, J., Filardo-Kerstupp, S. y González-Cruz, L. (2012). Microstructural differences in *Agave atrovirens* karw leaves and pine by age effect. *African Journal of Agricultural Research*, 7(24), 3550-3559.
- Cervantes-Contreras M. y Pedrosa-Rodríguez A. M. (2007). El pulque: características microbiológicas y contenido alcohólico mediante espectroscopía raman. *Nova Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 5, 101-212.
- Chellapandian, M., Larios C., Sánchez-González, M. y López-Munguía, A. (1998). Production and properties of a dextran sucrose from *Leuconostoc mesenteroides* IBT-PG isolated from pulque a traditional Aztec alcoholic beverage. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 21, 51-56.
- Consejo Regulador del Tequila. (2013). Información obtenida el 10 de noviembre de 2013 de <http://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/>.

- García-Herrera, E., Méndez-Gallegos, S. y Talavera-Magaña, D. (2010). El género *Agave* spp. En México principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *RESPLYN*. Edición especial. 5, 109-127
- Gentry, H. S. (1982). *Agaves of continental North America*, Tucson Arizona, U.S.A. The University of Arizona press.
- José, R. y García E. (2000). Remoción cuticular ("mixiote") y desarrollo foliar en los agaves pulqueros (*Agave salmiana* y *A. mapisaga*). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 66, 73-79.
- Lappe-Oliveras, P., Moreno-Terrazas, R., Arrison-Gabiño, J. y Herrera-Suárez, T. (2008). Yeasts associated with the production of mexican alcoholic non distilled and distilled agave beverages. *FEMS Yeast Research*, 8(7), 1035-52.
- Ley de productos orgánicos. (2006). Información obtenida el 9 de noviembre de 2012, en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPO.pdf>
- Llanderal-Cazares, C., De los Santos-Posadas, H. M., Almanza-Valenzuela I., Nieto-Hernández, R. y Castillejos-Cruz, C. (2010). Establecimiento del gusano rojo en plantas de maguey en invernadero. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(1), 25-31.
- Mellado-Mójica, E. y López-Pérez, M. (2013). Análisis comparativo entre jarabe de agave azul (*Agave tequilana* Weber bar. Azul) y otros jarbes naturales. *Agrociencia*, 47, 233-244.
- Molina-Guerrero, J., Botello-Álvarez, J., Estrada-Baltazar, A., Navarrete-Bolaños, J., Jiménez-Islas, H., Cárdenas-Manríquez, M. y Rico-Martínez, R. (2007). Compuestos volátiles en el mezcal. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6(1), 41-50.
- Montañez-Soto, J., Venegas-González, J. y Vivar-Vera, M. (2011). Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del *Agave tequilana* Weber azul. *Bioagro*, 23(3), 199-206.
- Mora-López, J., Reyes-Aguirre A., Flores-Flores, J., Peña-Valdivia, B. y Aguirre-Rivera, R. (2011). Variación morfológica y humanización de la sección Salmianae del género *Agave*. *Agrociencia*, 45, 465-477.
- Norma Mexicana NMX-V-022-1972 "aguamiel" "hidromiel". Información obtenida el 10 de noviembre de 2013 de <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-V-022-1972.PDF>.
- Norma Mexicana NMX-FF-110-SCFI-2008 Alimentos jarabe de agave 100%- especificaciones y métodos de prueba. Información obtenida el 10 de noviembre de 2013 de <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2007/proy-nmx-ff-110-scfi-2008.pdf>.
- Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-2012. Bebidas alcohólicas tequila-especificaciones. Diario Oficial. Información obtenida el 10 de noviembre de 2013 de http://www.diario-o.com/dof/2012/12/13/seeco_13dic12.pdf.
- Ortiz-Basurto, R., Pourcelly, G., Doco, T., Williams, P., Dornier, M. y Pierre Belleville, M-P. (2008). Analysis of the main components of the aguamiel produced by the maguey-pulquero (*Agave mapisaga*) throughout the harvest period. *Agricultural and Food Chemistry*, 56, 3682-3687.
- Ramírez-Higuera, A. (2010). Evaluación del efecto prebiótico del aguamiel de maguey (*Agave salmiana*) en *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Tesis de maestría no publicada. Instituto Politécnico Nacional. México. D.F.
- Servín, J. (2009). Puro corazón de maguey. El Universal. Información obtenida el 10 de noviembre de 2013, de <http://www.eluniversal.com.mx/articulos/56568.html>.
- SIAP. 2013. Anuario estadístico de la producción agrícola. 350 Información obtenida el 16 de octubre de 2013 de http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350
- Tovar, R., Olivos, M. y Gutierrez M. (2008). Pulque and alcoholic drink from rural Mexico contains Phytase. It's in vitro effects on corn tortilla. *Plant Foods Human Nutrition*, 63(4), 189-192.
- Vera, A., López, M. y Chávez-Servia, J. (2012). Chemical composition and volatile compounds in the artisanal fermentation of mezcal in Oaxaca, México. *Biotechnology*, 11(78), 14344-14353.
- Verdugo, A., Segura, L., Kirchmayr, M., Ramírez, A. González, A., Coria, R. y Gschaedler, A. (2011). Yeast communities associated with artisanal mezcal fermentation from *Agave salmiana*. *Antonie van Leeuwenhaek*, 100(4), 497-506.