

# EL *Agave tequilana* Weber Y LA PRODUCCIÓN DE TEQUILA

Bautista-Justo M.\*, L. García-Oropeza\*, J. E. Barboza-Corona\* y L. A. Parra-Negrete\*.

## RESUMEN

El tequila es una de las bebidas más famosas a nivel nacional y mundial. Se obtiene de la planta *Agave tequilana* Weber, mejor conocido como Agave azul. La parte de la planta que es utilizada para la elaboración del tequila es la piña. Una vez que las piñas son cortadas, se llevan a un horno en donde se realiza la operación del cocimiento; éste tiene la finalidad de degradar los azúcares complejos presentes en la piña en azúcares simples para que puedan ser utilizados por la levadura en la operación de fermentación. El principal carbohidrato complejo presente en el agave es la inulina, el cual es un polímero de fructosa con un residuo terminal de glucosa. Cuando la inulina se degrada por la acción de la acidez del jugo y del calor en el cocimiento, se obtienen principalmente fructosa y glucosa. En seguida, se muelen las piñas para extraer el jugo que es colocado en tinajas y es inoculado con un cultivo de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, responsable de la fermentación de los azúcares presentes en el jugo. Después el fermentado se destila, para obtener etanol y vinazas (mezcla de levaduras muertas, azúcares no fermentables y minerales). El tequila puede ser envasado inmediatamente después de la destilación o puede añejarse en barricas de madera, las que le confieren las características de sabor y color.

## ABSTRACT

Tequila is one of the most famous drinks on a national and worldwide level. It is obtained from the *Agave tequilana* Weber plant, better known as Agave Azul. The part of the plant used for making tequila is the core. Once the cores are cut, they are taken away to an oven where a cooking operation is made, this with the object of degrading the complex sugars of the core into simple sugars that can be used as yeasts in the fermentation process. The principal complex carbohydrate present in agave is inulin, which is a polymeric fructose with a terminal glucose residue. When the inulin is degraded by action of the juice's acidity and the heat of cooking, fructose and glucose are obtained. Next, the cores are milled to extract the juice which is placed in vats and inoculated with a yeast culture of *Saccharomyces cerevisiae*, responsible for the fermentation of the sugars present in the juice. After fermentation, the juice is distilled to obtain ethanol and vinazes (a mixture of dead yeasts, non-fermentable sugars, and minerals). Tequila can be bottled immediately after distillation or it can be aged in the wooden casks which confer characteristic flavor and color to tequila.

**Palabras clave:** *Agave tequilana* Weber; tequila; producción.

**Key words:** *Agave tequilana* Weber; tequila; production.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los aguardientes más famosos en México y a nivel mundial es el tequila, cuyo consumo se ha incrementado en los últimos años (Guzmán, 1997). En 1992, la exportación de tequila de México a Estados

Unidos fue de aproximadamente cuatro millones de litros y actualmente se exporta a otros 70 países (Nobel, 1998). Sin embargo, en 1999 se produjeron 190 millones 600 mil 997 litros de tequila y las exportaciones superaron los 97 millones 335 mil litros (Consejo Regulador del Tequila, 2000). El tequila se obtiene de la fer-

\* Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato, Km. 9 Carretera Irapuato-Silao, A. P. 311 C. P. 36500 Irapuato, Gto.

Recibido: 10 de Noviembre de 2000

Aceptado: 21 de Mayo de 2001

mentación y destilación del jugo de piña de la especie *Agave tequilana* Weber var. azul. De otras especies de agave se obtienen otras bebidas fermentadas como el pulque, el sotol y el bacanora (Arrazola, 1969 ; Rico, 1995).

El género *Agave* es una monocotiledónea, económicamente muy importante y cuenta con 136 especies. Algunas de ellas eran consumidas por los antiguos habitantes de México siendo apetecibles por su alto contenido de azúcar (Nobel, 1998). El *Agave tequilana* Weber es una planta xerófila (que crece en zonas áridas y cálidas) de hojas color azul-verdoso, delgadas y casi planas; mide aproximadamente 1.25 m de largo y 10 cm de ancho y tiene una espina terminal de color rojo oscuro de 2 cm (Granados, 1993).

En una hectárea de cultivo se tienen aproximadamente de 2,500 a 2,800 plantas que dependiendo del clima alcanzan su madurez en un período de seis a diez años (Guzmán, 1997). Los terrenos más aptos para su cultivo son los resacos, de tipo arcilloso, ricos en sílice de color rojizo, altos y pedregosos (Luna, 1991 citado por Morales, 1997).

A la llegada de los españoles a México en 1519, el pulque era la única bebida alcohólica que se conocía. Una vez que introdujeron el proceso de destilación surgieron bebidas de alto grado alcohólico obtenidas del agave a las que

originalmente llamaron "vino de agave" o "vino de mezcal", de donde posteriormente surgió el tequila (López, 1999). Según la historia, en 1750 los Amatitecos, vecinos de Amatitán, Jal. (que se encuentra a 15 km de Tequila, Jal.), cocieron la piña del maguey, la molieron y fermentaron su jugo, para destilarlo en ollas, obteniendo así un líquido con alta concentración alcohólica, llamado mezcal, que en náhuatl significa "cocimiento de Maguey". En la población de Tequila, Jalisco, esta misma bebida fue destilada usando alambiques, obteniéndose así el Tequila que hasta hoy conocemos (Rico, 1995).

Para que la bebida destilada producida del agave azul pueda ser llamada Tequila, tiene que ser producida en un área delimitada geográficamente, como es el caso del Champagne y el Cognac (Guzmán, 1997). El 13 de octubre de 1977 en el Diario Oficial de la Federación, se estableció que sólo las empresas destiladoras del estado de Jalisco, pueden utilizar el nombre de tequila para su producto (Rico, 1995 y Norma Oficial Mexicana, 1998). Actualmente se ha permitido que dicha denominación también pueda ser usada por 44 municipios de los estados de Guanajuato, Nayarit y Michoacán (Guzmán, 1997).

## TIPOS DE TEQUILA

En el mercado existen una gran variedad de marcas de tequila, algunas con un reconocido prestigio y otras nuevas de dudosa calidad. El tequila se clasifica en dos tipos, de acuerdo a su elaboración: tequila 100% de agave, es en el que se usan exclusivamente los azúcares del *Agave tequilana* Weber var. azul para su producción; y el tequila, al que se le adicionan hasta un 49% de otros azúcares que no son de agave como glucosa, piloncillo o sacarosa (Pinal y Gschaedler, 1998).

Según sus características, el tequila se clasifica en cuatro tipos: Tequila Blanco,



Tequila Joven Abocado, Tequila Reposado y Tequila Añejo (Pinal y Gschaedler, 1998).

Debido al auge que ha tenido el tequila en los últimos 30 años tanto a nivel nacional como internacional, la Industria Tequilera debe cumplir las normas que en 1997 se publicaron en el Diario Oficial de la Federación bajo el título: NOM-006-SCFI-1994, BEBIDAS ALCOHÓLICAS-TEQUILA-ESPECIFICACIONES.

El Consejo Regulador del Tequila, A.C. [Productores de Tequila, Productores de Agave, Envasadores, Distribuidores, la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), la Dirección General de Normas (DGN) y la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO)], es un organismo que surgió con la finalidad de normalizar, verificar y certificar la calidad del tequila en todos los niveles y exigir por parte de los mercados internacionales el reconocimiento a la denominación de origen (Garduño, 1998).

## PROCESO DE PRODUCCIÓN DE TEQUILA

En la producción del tequila se sigue utilizando un proceso muy tradicional, razón por la cual la calidad, en muchas ocasiones, puede variar. La fabricación del tequila involucra los siguientes pasos:

### 1. Recepción de materia prima

Después de la cosecha, las piñas se transportan en camiones a las industrias que antes de ingresarlas realizan un muestreo de cada carga para determinar la cantidad de azúcares reductores (fructosa y glucosa) que contienen, mediante la cual se establece el precio. Aunque se paga por kg de agave el precio se castiga cuando su contenido de azúcares es muy bajo. La calidad de las piñas es alta cuando presentan de 25 a 30 % en peso de azúcares (Granados, 1993; Téllez, 1998). El

peso de las cabezas oscila entre 25 y 45 kg (Nobel, 1998).

### 2. Cocimiento

Este se realiza en hornos de paredes de ladrillo cuando el proceso es tradicional permaneciendo las piñas durante 36 a 48 horas; si se utilizan autoclaves, el tiempo se puede reducir de ocho a doce horas. La piña o cabeza contiene un jugo ácido, rico en carbohidratos, que mediante la cocción se convierte en un jugo con alta concentración de azúcares fermentables. Las piñas pueden ser cocidas enteras o cortarse en fragmentos. El residuo que queda al final, se conoce como "mieles amargas" y es aprovechado para tierras de cultivo (Rico, 1995; Guzmán, 1997). Es importante mencionar que el residuo es muy ácido y es recomendable usarlo en tierras de cultivo que tengan pH básicos. Lo ideal es que el residuo se trate en una fosa antes de desecharlo.



### 3. Molienda

El jugo de la piña cocida se extrae mediante el desgarramiento de la pulpa con una máquina desgarradora de naranjas y luego es prensada en molinos de rodillos, añadiendo un poco de agua, lo que facilita la extracción de los azúcares. El proceso de molienda puede ser también

una adaptación del de la industria cañera. El jugo obtenido es llamado "mosto" y pasa enseñada a las tinas de fermentación. El bagazo que queda es usado para elaborar ladrillos o relleno de tapicería (Rico, 1995; Guzmán, 1997).

#### 4. Fermentación

La fermentación puede ser espontánea sin agregar ningún inóculo o bien puede llevarse a cabo en tinas de fermentación, que contienen el jugo que se ajusta entre 10 y 12 °Bx, se enriquece con nitrógeno (urea o sulfato de amonio) y se inocula una cepa de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que es la responsable de que los azúcares se transformen en gas carbónico y alcohol. Esta operación dura de 2 a 7 días a una temperatura de 25 a 30 °C y se concluye cuando se han agotado los azúcares. El final de la fermentación se establece en un punto de equilibrio entre la cantidad de levadura que se ha desarrollado, el contenido de azúcar y la producción de alcohol. La solución obtenida es llamada "mosto muerto" (Rico, 1995; Guzmán, 1997).

#### 5. Destilación

Se efectúa en alambiques de cobre, mediante un sistema de destilación que se conoce como destrozamiento, donde se separan las vinazas, que son el medio agotado en el alcohol y que contienen todos los sólidos (levaduras muertas, azúcares no fermentables y minerales) y otros componentes como aldehídos y cetonas, obteniéndose un alcohol de baja graduación. Después se realiza una segunda destilación llamada "rectificación" la cual concentra el alcohol etílico y lo purifica de otros alcoholes. En esta etapa se obtienen dos fracciones: "cabezas y colas". Con la rectificación se separan los compuestos más volátiles que el etanol, principalmente el metanol, nocivo para el ser humano. En las "colas" se separan los compuestos de peso molecular más elevado que el etanol, encontrándose varios alcoholes que se conocen como "aceite de fusel". Con estas operaciones

se obtiene un tequila de 45 a 50 °GL (Rico, 1995; Guzmán, 1997).

El tequila obtenido en este paso puede envasarse inmediatamente dando lugar al tequila blanco o pasar a la etapa de añejamiento (Rico, 1995; Guzmán, 1997).

#### 6. Añejamiento

La finalidad del añejamiento es conferirle al tequila el color y buquet (aroma y sabor) característico. El tequila se deposita en barricas de roble blanco o encino, en donde permanece de cinco meses a tres años. Finalmente, se ajusta el contenido alcohólico a 38-40 °G.L. y es filtrado para separar algunas partículas provenientes de las barricas (Rico, 1995; Guzmán, 1997).

## LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

El etanol o alcohol etílico ( $C_2H_5OH$ ), se ha producido en grandes cantidades por siglos y ha sido asociado con las bebidas alcohólicas. El empleo de levaduras para producir bebidas alcohólicas es un proceso muy antiguo. La mayoría de los jugos de frutas se fermentan por la acción de levaduras silvestres que están presentes en la fruta. De estas fermentaciones naturales, se han aislado algunas levaduras y debido a esto la producción de bebidas alcohólicas es una gran industria en todo el mundo (Madigan *et al.*, 1997). México cuenta con varias empresas dedicadas a ese rubro; entre las más importantes se encuentran las que producen cerveza y tequila.

Para la obtención del tequila es necesario llevar a cabo un proceso de fermentación de los jugos extraídos de las piñas del agave. La fermentación es un proceso biológico anaeróbico donde los azúcares simples, como la glucosa y fructosa, son transformados a etanol y dióxido de carbono por acción de las levaduras (Voet, 1995). Las levaduras son microorganismos eucariontes que cuando se encuentran en un

medio rico en azúcares, proliferan y producen grandes cantidades de alcohol y CO<sub>2</sub> (Madigan *et al.*, 1997).

La ruta bioquímica más común para la fermentación de la glucosa es la glucólisis o también conocida como ruta de Embden-Meyerhof. La glucólisis puede dividirse en tres etapas principales y varias reacciones enzimáticas (Madigan *et al.*, 1997).

En la primera etapa de la glucólisis, se forma el gliceraldehído 3-fosfato. En la segunda etapa ocurre una reacción de oxidación-reducción, se producen enlaces fosfato de alta energía en forma de ATP y se forman dos moléculas de piruvato. En la última etapa (Fermentación) se presenta otra reacción de oxidación-reducción y se forman los productos de la fermentación: etanol y CO<sub>2</sub> (Madigan *et al.*, 1997).

## FERMENTACIÓN DE AZÚCARES PRESENTES EN EL AGAVE

El sustrato presente en el agave, que es utilizado por la levadura para producir el tequila es la inulina. La inulina (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> · H<sub>2</sub>O es un compuesto parecido al almidón formado por unidades de fructosa y constituye una de las materias primas de reserva de las piñas del agave que no es directamente fermentable, pero que se transforma en fructosa y glucosa por hidrólisis ácida durante la cocción (Morales, 1997; Quiróz y Gómez, 1999).

Una etapa importante en la producción del tequila y la base para la fermentación de los azúcares presentes en el agave, es el cocimiento de las piñas. La hidrólisis de los polisacáridos, es una etapa previa importante en la utilización de estos azúcares en los procesos fermentativos. El método empleado en la industria tequilera para la hidrólisis de la inulina es el cocimiento con el que también se caramelizan los azúcares y se generan algunos componentes que contribuyen al aroma y sabor del tequila. Es un método químico, econó-

mico y rápido que involucra temperaturas desde 90 °C hasta 121 °C y un medio ácido, porque el pH del agave se encuentra alrededor de 4.5. Durante este paso suceden varios cambios químicos en la materia prima que permiten la fermentación y que por consiguiente influyen en las características sensoriales del tequila. Sin embargo, no siempre estos cambios son benéficos y cuando no existe un control estricto en el cocimiento y en la calidad de la materia prima, se producen algunos compuestos no deseables tales como: enoles, furfural e hidroximetilfurfural, entre otros (Télez, 1998).

La ruta metabólica que dirige el proceso de fermentación de los azúcares del jarabe del agave es la Embden-Meyerhof. En el jugo se encuentran algunos azúcares como glucosa, sacarosa y principalmente fructosa que entrarían a la glucólisis para producir gliceraldehído 3-fosfato como producto y poder continuar con las reacciones siguientes.

Se sabe que en más del 50% de las fábricas, el proceso de fermentación se desarrolla con las levaduras silvestres presentes en el jugo del agave. En algunas otras se utilizan levaduras para panificación, de vinificación o aisladas del mismo mosto (Pinal y Gschaedler, 1998). Se tiene conocimiento que para la producción de cerveza y en muy pocos casos para la del tequila, se usa una cepa de *Saccharomyces cerevisiae* que es llamada "killer". Las levaduras aniquilantes ("killer"), también conocidas como zimocidas, secretan una toxina de naturaleza proteica o glicoproteica que es letal para levaduras sensibles, ya que alteran la integridad de la membrana celular, provocando una inhibición del transporte activo de varios nutrientes. Las levaduras que producen esta toxina son resistentes a ella (Estrada *et al.*, 1996). La razón por la que se emplea este tipo de levadura, es para evitar que existan contaminaciones de otro tipo de levaduras que puedan producir un tequila con características sensoriales diferentes a las obtenidas con la cepa que se inoculó inicialmente.

## SÍNTESIS DE COMPUESTOS QUE INTERVIENEN EN LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL TEQUILA

El tequila es una mezcla que tiene como principales compuestos al etanol y al agua, además de varios compuestos volátiles que le proporcionan diferentes características de aroma y sabor (Estarrón, 1998). En la etapa del cocimiento de las piñas de agave, además de hidrolizar la inulina, algunos azúcares son caramelizados y se producen ciertos compuestos que contribuyen al aroma y sabor del tequila (Téllez, 1998). Mancilla y col. (1999) reportan algunos compuestos de la reacción de Maillard que encontraron en la piña del *Agave tequilana* Weber, después de cocerla a 100 °C por al menos 36 horas en hornos de ladrillo y son los siguientes: 5-hidroximetilfurfural, 2-metil ester ácido furoico, 3-ácido furoico, alcohol furfurílico, 2(5H)-furanona, 5-acetoximetil 2-furfural, 1,2-dihidro-4-metil-3,6-pirazinadiona, 3-5-dihidroxi-2-metil-4(H)-piran-4-ona, 6-metil-3(2H)-piridazinona, 2,3-dihidro-3,5-dihidroxi-6-metil-4(H)-piran-4-ona y derivados de ester etil alanina. Durante la etapa de fermentación, por acción de las levaduras se generan los alcoholes y una gran cantidad de compuestos sensoriales que pueden clasificarse en seis categorías: alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas, compuestos que contienen azufre y ácidos orgánicos. Los compuestos que requieren mayor atención durante la fermentación, por ser los compuestos predominantes (detectados por cromatografía), son los alcoholes superiores como el isoamílico e isobutílico y el metanol, que no deben de rebasar los 400 y 300 mg/100 ml. de alcohol anhidro, respectivamente en el producto terminado, según la norma oficial NOM-006-SCFI-1994. Algunos factores que influyen en la formación de estos compuestos son: la composición del mosto, la temperatura, la cepa de levadura, la cantidad de inóculo, la aireación y el dióxido de carbono (Pinal y Gschaedler, 1998).

Vallejo y González-Córdoba (1999), identificaron 17 compuestos volátiles en el tequila, principalmente alcoholes, ésteres y cetonas. Entre estos se encuentran el Etanol, 1-Propanol, 3-Metil-1-butanol, Etil hexanoato, Metil octanoato, Metil decanoato, 2-Buten-1-ona, Etil decanoato, 3-Metil butil octanoato, Metil dodecanoato; Butil decanoato, Etil dodecanoato, 3-Metil-util-decanoato, Etil tetradecanoato, 2-Fenil etil octanoato, 3-Hexanona y Etil hexadecanoato.

Una etapa que influye también en las características sensoriales del tequila es el añejamiento, ya que algunos compuestos aromáticos y taninos de la madera de los barriles, son comunicados al tequila (Morales, 1997).

## PROBLEMAS DEL PROCESAMIENTO QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL TEQUILA

La producción de tequila, en la mayoría de las tequileras, se lleva a cabo con un proceso muy rudimentario, que ha sido empleado desde hace mucho tiempo y casi no ha sufrido modificaciones. Debido a que no se tiene control sobre las variables que pueden afectar directamente la calidad del producto final, en varias ocasiones se obtienen altibajos en la misma.

Son varios los factores que intervienen en la calidad del producto final: Materia prima, cocimiento, fermentación, destilación y añejamiento.

### 1. Materia prima

Para que un proceso fermentativo tenga éxito es indispensable utilizar materias primas de alta calidad, que proporcionen a las levaduras todos los nutrimentos para su crecimiento óptimo.

Desde que la planta de agave es sembrada, se requiere de muchos cuidados para que tenga las características necesarias para poder obte-

ner un buen tequila. La composición de la tierra y las condiciones ambientales (humedad y temperatura), el riego, las enfermedades y plagas, influyen directamente en la composición química del agave y posteriormente esto repercute en la calidad del tequila. Otro factor importante es la edad de la planta, ésta debe cortarse cuando haya alcanzado la madurez necesaria para ofrecer una alta concentración de azúcares en la piña. La cantidad de carbohidratos, principalmente de azúcares reductores, presentes en la piña, es de vital importancia, ya que ellos son los que van a fermentarse para obtener el etanol. La miel del agave también contiene vitaminas, minerales y aminoácidos que sirven como factores de crecimiento para las levaduras.

Cuando se usa urea o sulfato de amonio como fuentes de nitrógeno, éstos deberán contener un grado de pureza que cumpla con las siguientes especificaciones: Para la urea la cantidad mínima de nitrógeno total debe ser del 46 %, con un máximo de humedad del 0.7 %. Con respecto al sulfato de amonio, debe ser libre de ácido (ej.  $H_2SO_4$ ) con un máximo del 0.5 %, la cantidad máxima de metales pesados (determinados por plomo), arsénico y humedad de 30 ppm, 0.7 ppm y 0.5 %, respectivamente, mientras que la cantidad mínima de nitrógeno de amonio será del 21 %.

## 2. Cocimiento

En esta etapa es muy importante tener el control de variables como la temperatura y la acidez. Si la temperatura es más baja que la necesaria para el rompimiento de la inulina, al no degradarse este compuesto, no podrá ser utilizado por la levadura para producir etanol. Por otra parte, se presenta la reacción de Maillard o caramelización y esto representa una gran pérdida de azúcares reductores, bajando el rendimiento en el proceso e induciendo a la formación de compuestos de degradación como los enoles, furfural e hidroximetil furfural y que pueden alterar la eficiencia en la fermentación. En el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

(CIATEJ), Téllez (1998) ha realizado estudios para evaluar la influencia del cocimiento en la aparición del metanol y de productos de la caramelización, empleando temperaturas de 121 °C. En este estudio se observó que durante la etapa de cocimiento del agave se genera metanol y que esto se debe principalmente a la demetilación de las pectinas del agave por las temperaturas altas y los pH ácidos. La presencia de metanol es un problema para los productores de tequila 100% agave, debido a que los valores que ellos obtienen en el producto final, generalmente suelen estar entre 270 y 280 mg/100 ml de alcohol anhidro, que está muy cercano al límite superior de la norma.

## 3. Fermentación

Para tener una fermentación adecuada es necesario contar con buenas condiciones de anaerobiosis, sustrato suficiente para la levadura, utilizar siempre las mismas cepas de levadura adecuadas para la producción y evitar las contaminaciones por otros microorganismos que pueden producir sustancias no deseadas; controlar durante el proceso las condiciones óptimas de temperatura y tiempo para obtener la mayor cantidad de etanol. El paso del metabolismo aeróbico a anaeróbico es crucial y debe tenerse especial cuidado de eliminar el aire de los fermentadores. Puede haber problemas en la fermentación cuando la concentración de azúcares en el mosto es insuficiente, si hay baja concentración de alcohol o cuando existe contaminación por otras levaduras y bacterias. Este último punto es muy importante en el proceso de fermentación del tequila que utiliza tinajas abiertas, debido a que en el polvo que cae sobre el caldo fermentado podría haber organismos contaminantes.

## 4. Destilación

Baduí (1988) define la destilación como “ la separación de una mezcla líquida por vaporización selectiva y parcial de la misma; la fracción vaporizada se condensa y se recupera como líquido ”. En este paso es muy importante esta-

blecer el punto en el cual se debe de hacer el corte de la fracción de destilado (cabezas), que es la que se obtiene en los primeros minutos y es indeseable debido a su composición química; estos compuestos podrían originar cambios sensoriales en el producto. También es importante mencionar que cada empresa cuenta con un sistema de destilación particular lo cual da como resultado que el tequila obtenido cuente con diferencias en el sabor y aroma, aunque se utilice la misma materia prima.

La destilación juega un papel muy importante en la calidad sensorial del tequila y por lo tanto es necesario controlar las variables que intervienen en el proceso (temperatura, tiempo y los cortes del destilado) con un sistema automatizado, dando un mayor rendimiento como ventaja adicional.

Un punto muy importante que no se puede pasar por alto, es que en este paso se elimina la mayor parte del metanol que se ha generado en las etapas anteriores. El metanol es muy peligroso para la salud del hombre y tiene una Dosis Letal: de 100 a 250 ml (Baduí, 1988), por lo que existe un límite máximo que la norma NOM-Tequila exige (30-300 mg/100 mL referidos a alcohol anhidro).

## 5. Añejamiento

Son dos los principales factores que intervienen en las modificaciones de la calidad del tequila durante el añejamiento: las barricas donde se alberga al tequila y el tiempo de añejamiento.

El material con el que están hechas las barricas interviene directamente en la calidad sensorial del tequila, ya que la madera proporciona algunas sustancias que hacen que el tequila cambie de color, olor y sabor. Así que, si se emplean barricas de roble se tendrán unas características diferentes a las que se obtendrán si se usan de encino. Se ha notado también que si se usan barricas nuevas, el tequila tiene otras características que las que presenta usando barricas viejas o usadas por mayor tiempo.

También es importante el tiempo que se guarda el tequila en ellas, porque el sabor, olor y color varían con el tiempo de añejamiento.

## CONTROL DEL PROCESO Y MONITOREO

Cualquier proceso microbiano debe ser monitoreado para asegurarse de que se está realizando adecuadamente. En la mayoría de los casos es necesario no solamente medir el crecimiento de la levadura y formación del producto, sino también controlar otros factores como el pH, temperatura y concentración de biomasa y producto.

Las computadoras juegan un papel muy importante en el control de la fermentación durante el crecimiento y formación de productos a gran escala. Desafortunadamente, aún existen mitos en la fabricación del tequila en México, predominando el proceso artesanal; esto impide la modernización de varias plantas para obtener una calidad uniforme del producto.

## REFERENCIAS

- Arrazola, D. F. de M. (1969). *Estudio del Contenido de Azúcares en la Piña del Agave tequilana*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Puebla, México pp. 1-37.
- Baduí, D. S. (1988). *Diccionario de Tecnología de los Alimentos*. Ed. Alhambra. México, D. F pp. 42 y 100.
- Consejo Regulador del Tequila. (2000). Consultado en Internet: <http://www.crt.org.mx>
- Estarrón, E. M. (1998). La Calidad Aromática de las Bebidas Alcohólicas: Estudios Realizados en el Tequila. *Bebidas Mexicanas* 7(1) 23-25.
- Estrada, G. A., M. García G. y L. Gómez R. (1996). Levaduras Aniquilantes (Zimocidas) y su Importancia en la Producción de Cerveza. *Bebidas Mexicanas* 5(3) 4-8.
- Garduño, A. (1998). Consejo Regulador del Tequila. *Bebidas Mexicanas* 7(1) 58-59.



- Granados, S. D. (1993). *Los Agaves en México*. Universidad Autónoma de Chapingo. México pp. 102, 108, 112 y 113.
- Guzmán, P. M. (1997). Aguardientes de México: Tequila, Mezcal, Charanda, Bacanora, Sotol. *Bebidas Mexicanas* 6(4) 37-40.
- López, J. H. (1999). La Industria del Mezcal y el aprovechamiento del Maguey. *Agricultura* 10(61) 6.
- Madigan, T. M., J. M. Martinko and J. Parker. (1997). *Biology of Microorganisms*. Eighth Edition. Prentice Hall. U.S.A. pp. 126-129 y 458.
- Mancilla-Margalli. N. A., M. L. Martínez y M. G. López. (1999). Maillard compounds generated during thermal process of *Agave tequilana* L. Weber var. azul. Consultado en internet: <http://www.confex2.com/ift/99annual/abstracts/3839.htm>
- Morales, M. O. (1997). *Caracterización General del Proceso de Producción de la Tequilera Corralejo S. A. de C. V., ubicada en el Municipio de Pénjamo, Gto.* Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chapingo pp. 5 y 22.
- Nobel, P. S. (1998). *Los Incomparables Agaves y Cactus*. 1a. Edición en español. Editorial Trillas, S. A. de C. V. México, D. F pp. 37, 39, 46-49.
- Norma Oficial Mexicana - Tequila. (1998). Actualización de la Normativa Vigente Sobre el Tequila. *Bebidas Mexicanas* 7(1) 38-44.
- Pinal, Z. L. y A. Gschaedler M. (1998). La Etapa de Fermentación y la Generación de Compuestos Organolépticos. *Bebidas Mexicanas* 7(1) 10-12.
- Quiroz, M. J. y J. V. Gómez. R. (1999). La producción de Mezcal en Oaxaca. *Bebidas Mexicanas* 8(1) 15-20.
- Rico, B. F. (1995). El Tequila, una Bebida Mexicana de Fama Internacional. *Bebidas Mexicanas* 4(1) 14.
- Téllez, M. P. (1998). El Cocimiento, una Etapa Importante en la Producción del Tequila. *Bebidas Mexicanas* 7(1) 19-20.
- Vallejo, C. B. y A. F. González-Córdova. (1999). Identificación de los Compuestos Volátiles del Tequila. *Bebidas Mexicanas* 8(4) 12-17.
- Voet, D. and J. G. Voet. (1995). *Biochemistry*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A. pp. 444.