

Perspectivas para el uso de levaduras nativas durante la elaboración de bacanora

Maritza Lizeth Álvarez-Ainza,* Karina Alejandra Zamora-Quirón,* Evelia Acedo-Félix*

RESUMEN. El bacanora es una bebida regional elaborada en el Estado de Sonora, México de manera artesanal a partir de *Agave angustifolia* Haw, sus cabezas son cocidas, molidas y después sometidas a fermentación alcohólica, de manera natural, para finalmente realizarse una doble destilación y obtener un producto con un contenido de alcohol que oscila entre 40 y 55 °GL. Se revisaron investigaciones de bebidas alcohólicas fermentadas, como vino, tequila y mezcal. De acuerdo a las conclusiones de los autores, es de importancia conocer los compuestos volátiles que constituyen una bebida, para seleccionar aquellas levaduras que mantengan su identidad. Los resultados mostrados por la investigación con levaduras autóctonas seleccionadas de vino, fundamentan la recomendación para escoger levaduras para la producción de el bacanora, pues esto permitirá una mejor calidad y homogeneidad de la bebida.

Palabras clave: Bacanora, levaduras, fermentación alcohólica.

ABSTRACT. Bacanora is a typical Mexican alcoholic beverage manufactured in Sonora State by artisan process, obtained from *Agave angustifolia* Haw. The heads of agave are cooking, ground, and fermented by natural fermentation and finally the fermented juice of agave is distilled to obtain a product with 45-50° GL of alcohol contain. Some investigations related to alcoholic beverages like wines, tequila and mezcal were analyzed. Authors conclude that is very important know the volatile compounds to make a selection of wild yeast that support the identity of each beverage. The studies using local yeast selected in wine are really spirited to use this yeast in the manufacture of bacanora, which can be used to obtain a better quality and homogeneity of the beverages.

Key words: Bacanora, yeast, alcoholic fermentation.

INTRODUCCIÓN

El bacanora, se define como: «bebida alcohólica regional del Estado de Sonora, México, obtenida por destilación y rectificación de mostos, preparados directa y originalmente con los azúcares extraídos de la molienda de las cabezas de *Agave angustifolia* Haw, hidrolizadas por cocimiento y sometidas a fermentación alcohólica con levaduras. El bacanora es un líquido que según su tipo es incoloro o amarillento, cuando es madurado en recipientes de madera de roble o encino, o cuando se aboque sin maduración», según la Norma Oficial Mexicana publicada en el año 2005. Actualmente, el proceso de fermentación de el bacanora se realiza de manera natural, donde los productores no agregan inóculo de levadura. Estudios en diversas bebidas enfocados principalmente a la fermentación, proporcionan una abundancia de conocimientos del proceso de elaboración. El vino es una de las bebidas más estudiadas, donde se ha determinado que contiene una amplia diversidad de compuestos, la mayoría de los cuales son producidos por las levaduras existentes en

los mostos; las más abundantes son las levaduras nativas, las que dan sus propiedades organolépticas a los distintos vinos aun cuando se utilice un inóculo microbiano específico (Esteve-Zarzoso et al, 2001; Querol et al, 2003; NOM-168-SCFI-2004). El resultado de estos trabajos fundamenta la recomendación para seleccionar levaduras nativas para la producción de bacanora, como se hace con otras bebidas, lo que permitiría alcanzar una mejor calidad y homogeneidad en el producto final.

BACANORA

Proceso de elaboración de bacanora

El bacanora ha sido elaborado desde hace más de 300 años de manera artesanal. Es uno de los destilados de agave importantes de México. Actualmente la zona tradicional de producción de bacanora incluye 35 municipios situados dentro del Área de la Denominación de Origen Bacanora (ADOB), que comprende: Bacanora, Sahuaripa, Arivechi, Soyopa, San Javier, Cumpas, Moctezuma, San Pedro de la Cueva, Tepache, Divisaderos, Granados, Huásabas, Villa Hidalgo, Bacadéhua-chi, Nácori Chico, Huachineras, Villa Pesqueira, Aconchi, San Felipe de Jesús, Huépac, Banámichi, Rayón, Baviácora, Opodepe, Arizpe, Rosario, Quiriego, Suaqui Grande, Ónavas, Yécora, Álamos, San Miguel de Horcasitas, Ures, Mazatán y La Colorada (Moreno 1998; Núñez, 2001; Yáñez, 2003; de la Cruz, 2003; NOM-168-SCFI-2004).

*

La elaboración de el bacanora tradicional o artesanal se realiza con agave silvestre por cocción o «tatemala» de la piña de agave en hornos subterráneos rudimentarios, recubiertos con piedra volcánica, que son cubiertos con lámina de metal y tierra para evitar la salida de calor, para hidrolizar los carbohidratos de reserva que contiene la piña: los fructanos como los fructooligosacáridos y la inulina, que su mayor parte se convierte en fructosa (97%) y en menor proporción en glucosa (3%), según la estructura de inulina contenida en alta concentración en *A.e angustifolia* (García et al, 2007). Seguida de una molienda con hacha, mazos o palos de madera, y posteriormente la fermentación en barriles rudimentarios con capacidad de 200 litros, o bien, en barrancas: hoyos subterráneos, recubiertos de cemento rústico, donde se deja reposar por 7 o más días, según la temperatura ambiental. Al fermento se le realiza una primera destilación o desflemado, en barriles metálicos, calentados con leña de mezquite, para lo que se utiliza un sombrero y serpentina de cobre, rudimentarios. Una vez que se hierve el barril se cubre y se sella con lodo, para evitar fuga de vapores; al terminar se desecha el bagazo y el producto se somete a una segunda destilación, de la que se obtienen tres porciones: cabezas, medios y colas, las que al mezclarse generan un producto con un contenido de alcohol que oscila entre los 35° y los 55° Gay Lussac (GL) (Núñez, 2001).

La principal diferencia que existe entre las bebidas destiladas de agave mexicanas como el tequila, mezcal, sotol y bacanora es que provienen de diversas especies de agaves; todas se elaboran o se realizan alguna vez de manera artesanal. En el tequila para su elaboración se usan herramientas más sofisticadas y mayor cantidad de materia prima, para alcanzar una calidad uniforme de la bebida, donde las diferentes etapas están determinadas por las características específicas de cada una, como en la fermentación, que es de suma importancia, donde se vigilan con detalle la concentración de los componentes y el inóculo de levaduras; en cambio, en el bacanora todo se hace empíricamente a cálculo del vinatero (Bautista-Justo, 2001).

LEVADURAS

Las levaduras son hongos unicelulares microscópicos sencillos que se reproducen por gemación o fisión; este grupo comprende 46 géneros y alrededor de 462 especies (TOWMSG, 2007). Son microorganismos cosmopolitas conocidos como los agentes de la fermentación. Antes se creía que sólo *Saccharomyces cerevisiae* participaba en la fermentación y producción de bebidas alcohólicas. Actualmente se sabe que los diferentes géneros de levaduras no *Saccharomyces* participan en el proceso, principalmente en su inicio, lo que influye en las propiedades organolépticas de las bebidas alcohólicas (Bourgeois y Larpent, 1995; Fra-

zier y Weathoff, 1998). Las levaduras tienen necesidades en lo que se refiere a nutrición y temperatura, nutrición del ambiente en que viven, tienen ciclos reproductivos cortos, lo que hace que el inicio de la fermentación sea rápida, pero así como se multiplican mueren fácilmente por la carencia de alguna de sus necesidades fisiológica vitales (Querol et al, 1992a; Querol et al, 1992b; Steinkraus, 1997).

El metabolismo fermentativo de las levaduras de manera habitual genera alcoholes superiores, aldehídos, ácidos grasos, ésteres y compuestos azufrados e incluso fenólicos y algunos forman terpenos. Su fisiología obviamente está condicionada por factores fisicoquímicos durante la fermentación, dependiente de sus propiedades genéticas. Estos compuestos aparecen principalmente como metabolitos secundarios durante la fermentación glicerol-pirúvica, particularmente los alcoholes, ésteres y ácidos volátiles. Diversos estudios en vino, cerveza, whisky, coñac y ron sugieren que las diferencias en los componentes del sabor se atribuyen a la actividad biológica de los diferentes géneros y cepas de levaduras usadas en los respectivos tipos de fermentación (Suárez, 2002; Fachine et al, 2005).

Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es uno de los procesos más importante para la síntesis de los compuestos de aroma. Bioquímicamente es compleja para convertir azúcares fermentables en energía, en etanol y CO₂ por la vía metabólica conocida como Embden-Meyerhof. La fermentación alcohólica es la base de la vinificación, sin embargo, su importancia no radica únicamente en la generación de etanol a partir de los azúcares, sino que durante la fermentación se forman una amplia diversidad de metabolitos secundarios que influyen en la calidad y tipo de cada bebida alcohólica (Esteve-Zarzoso et al, 1999; Mathews y van Holde, 2000; Wondra y Berovic, 2001; Combina et al, 2003; Querol et al, 2003; Romano et al, 2003).

En el vino se reporta que la mayoría de los aldehídos son sintetizados en la primera fase por oxigenación y una extendida prefermentación. En esta etapa el acetaldehído es producido como consecuencia de la ausencia de la enzima alcohol deshidrogenasa en las levaduras, que reducen el acetaldehído en etanol. Los acetales, así como varias cetonas, dicetonas e hidroxicetonas son sintetizadas de este acetaldehído. La segunda etapa es empleada para generar acetales y cetales; en esta fase se intensifica la temperatura y la acidez. En los vinos, los alcoholes superiores se forman de la transaminación de aminoácidos, descarboxilación y reducción particularmente de los cetoácidos, por la ruta del metabolismo de Ehrlich. Los alcoholes superiores son cuantitativamente la mayoría de las sustancias aromáticas en el vino. Como parte de la calidad del vino existe también

un alto número de ácidos grasos esterificados, de la primera fase de la fermentación (Wondra y Berovic, 2001).

Las fermentaciones alcohólicas espontáneas involucran en su primera etapa la producción de los compuestos de aroma, por los denominados géneros de levaduras no-*Saccharomyces* como lo son *Kloeckera* spp, *Hanseniospora* spp, *Candida* spp, *Pichia* spp, *Zygosaccharomyces* spp, *Shizosaccharomyces* spp, *Torulaspora* spp, *Hansenula* spp y *Metschnikowia* spp. Estos géneros y especies se reportan como productoras de importantes cantidades de algunos compuestos, con efecto en la calidad sensorial de vinos. Estas levaduras crecen durante los primeros días (4-6), después mueren por su intolerancia a las altas concentraciones de etanol por arriba del 6%. Sin embargo, los géneros y cepas de no-*Saccharomyces* generan sabores deseables e indeseables en el mosto fermentado. *Hansanospora* spp y *Pichia* spp, promueven la esterificación de varios alcoholes como etanol, geraniol, alcohol isoamilico y 2-feniletanol, incrementan así los ésteres con aroma a fruta; estas cepas y géneros silvestres son más útiles en la síntesis de compuestos volátiles. Un estudio realizado por Migorance-Cazorla et al (2003) observaron que una cepa de *P. fermentans* incrementó la concentración de alcoholes superiores y acetato de etilo, lo que le dio al vino una mayor calidad sensorial en comparación con cepas no-*Saccharomyces* evaluadas.

En la mayoría de las bebidas alcohólicas, los compuestos responsables del olor y el sabor son los volátiles. En los vinos los alcoholes y los ésteres son cualitativamente los más importantes, sin embargo su impacto en el aroma no es el mismo. Los alcoholes son compuestos que individualmente no tienen un olor marcado, pero cuando están diluidos refuerzan el aroma. Los ésteres contribuyen fuertemente al aroma frutal de vinos jóvenes, en especial los ésteres de ácidos grasos de cadena corta. La capacidad de generar alcoholes superiores es una propiedad de todas las levaduras, pero la cantidad varía en función del género, de la especie y de la cepa. Como se ha mencionado, existen numerosos investigaciones sobre vino donde se han detectado más de 650 compuestos y la mayor parte de los cuales se genera en la fermentación (Suárez, 2002).

Bioquímica de la fermentación alcohólica

Se ha visto que una etapa clave en la fermentación por las levaduras es el transporte de los azúcares, ya que su concentración interna se mantiene baja comparada con la externa, lo que limita la fermentación. Esto se ha reportado en estudios de la producción de vinos, particularmente con *S. cerevisiae*, donde se inhibe el transporte de los azúcares; en consecuencia, espontáneamente se interrumpe la fermentación; dada la importancia del proceso, se han realizado investigaciones para entender el mecanismo de transporte.

Se ha demostrado la existencia de genes que codifican para la síntesis de proteínas transportadoras en *S. cerevisiae*: 20 genes principalmente de transportadores de glucosa y fructosa. Estos transportadores tienen diferente afinidad por los azúcares, que hace que el transporte sea variable. En otros géneros y especies de levaduras se han encontrado transportadores parecidos a los de *S. cerevisiae* y otros específicos. Posterior al transporte de los azúcares sencillos fermentables, se realiza la glucólisis, la que es catalizada por la acción consecutiva de 10 enzimas que permiten obtener piruvato a partir de glucosa o fructosa. Posteriormente, el piruvato es convertido a etanol a través de la fermentación alcohólica, una reacción con un solo intermediario, el acetaldehído, el que es convertido a etanol por la enzima alcohol deshidrogenasa (ADH). En *Saccharomyces* se conocen 4 deshidrogenasas dependientes de NAD o NADP :ADH I, ADH II, ADH III y ADH IV, las primeras dos son constitutivas, la ADH I transforma el acetaldehído a alcohol y la ADH II realiza la reacción inversa, la función de las demás no está bien definida (Mathews y Van Holde, 2000; Gschaedler et al, 2004).

Entre los compuestos que se forman están las grandes familias de alcoholes superiores, carbonilos como los aldehídos, los ésteres, los ácidos orgánicos, las grasas y los compuestos con azufre. Es importante comentar que los géneros de levaduras *Saccharomyces* y no-*Saccharomyces* involucradas en la fermentación, tienen metabolismo semejante y generan los mismos compuestos, pero la capacidad de sintetizar cada uno de éstos está más desarrollada en algunos géneros y especies que en otros. Los alcoholes superiores son aquellos con más de dos átomos de carbono, y excluyen entonces al metanol y el etanol. Las levaduras sintetizan estos alcoholes por la descarboxilación de los cetoácidos, seguida de una reducción del aldehído al alcohol correspondiente. Los cetoácidos se sintetizan por dos vías: catabólica, a partir de los aminoácidos, o anabólica, a partir de los azúcares del ambiente; ambas vías actúan simultáneamente durante la fermentación. La contribución relativa de cada vía depende del nivel y la composición de nitrógeno asimilable, así como de la oxigenación, la temperatura, y de la concentración de ácidos grasos y ácido pantoténico. Los principales alcoholes superiores son: el isobutanol, 3-metil-butanol, 2-feniletanol e isobutanol. Los aldehídos se forman principalmente durante la fase fermentativa por la descarboxilación de cetoácidos; destacan el acetaldehído relacionado con la actividad de la piruvato descarboxilasa, dependiente de la levadura, y de los nutrientes, ya que su falta de viabilidad, provoca la acumulación de aldehídos, porque la fermentación queda incompleta y se detiene a nivel de aldehído. Las cetonas generalmente se forman del catabolismo de aminoácidos que depende de las levaduras; en bebidas, las cetonas son en su mayoría dicetona, se sintetizan por descarboxilación oxida-

tiva de ácidos acetohidroxidos que excretan las levaduras. La mayor cetona en bebidas alcohólicas es la diacetil, que se forma a partir del acetolactato, generado por el metabolismo de dos aminoácidos: la valina y la leucina. Las levaduras no generan acetales: se sintetizan a partir de los aldehídos, los cuales son reactivos, y de los alcoholes, que se liberan de dos moléculas de alcohol y un aldehído. Los ésteres se sintetizan a partir de un alcohol y un ácido (orgánico o graso); cuando éstos reaccionan el proceso es lento y reversible; son producidos por las levaduras mediante la esterificación enzimática entre los alcoholes libres y los ácidos carboxílicos en forma activa como la acil-CoA; el más abundante es el acetato de etilo. Los ácidos orgánicos derivan del metabolismo intermediario, de la vía del ácido pirúvico: acetato, malato, succinato y citrato; otros provienen del metabolismo de los ácidos grasos, en particular el malonil-CoA y su acumulación depende de la rapidez de la fermentación. Los compuestos azufrados no son sintetizados por las levaduras, algunos derivan de aminoácidos como la cisteína y la metionina; los principales son el dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno (Mathews y Van Holde, 2000; Gschaedler et al, 2004).

PARTICIPACIÓN DE LEVADURAS DURANTE LA FERMENTACIÓN DE DIFERENTES BEBIDAS

En algunos estudios se reporta que para que una fermentación tenga éxito son indispensables materias primas de alta calidad, que proporcionen a las levaduras los nutrimentos necesarios para su crecimiento óptimo. En la industria tequilera se paga menos dinero a los vendedores de piñas de agave cuando están inmaduras o su contenido de azúcares no es el adecuado. En el agave azul se sabe que contiene principalmente agua: 60%, inulina: 24%, fibras: 11%, azúcares reductores: 1.5%, proteínas: 0.02% y cenizas: 2.7% (Lanchenmeier et al, 2006; CIATEJ, 2004; Bautista-Justo, 2001; Muñoz et al, 2005). Recientemente, con el trabajo de Moreno (2006) se reportó que *A. angustifolia* contiene 42.43% de azúcares reductores totales, que incluyen la inulina; y los azúcares reductores no provenientes de la inulina, con estos datos se podría pensar que se tendrían mayores rendimientos/kilo de cabezas de *A. angustifolia* que con el agave azul, por lo que habría que analizar a detalle estos datos para optimizar al máximo la producción de bacanora, lo que actualmente no ocurre. Los reportes de diversos resultados del análisis en la fermentación de vino y en el aguardiente han sido de un valor, ya que bebidas alcohólicas son similares y lo que cambia es la fuente de azúcares fermentable; en el proceso, la etapa más importante en la elaboración de cualquier bebida, es el papel de las levaduras, pues son las responsables de la síntesis de la mayor parte de los compuestos que les dan las propiedades únicas a cada

bebida; el bouquet (Fleet et al, 1984; Pataro et al, 2000). En vinos se reporta que al incorporar sulfato antes de iniciar la fermentación se inhibe la diversidad bacteriana, y si se usan cultivos iniciadores también se impide el crecimiento de las levaduras nativas, lo que ayuda a la implantación de la que se desea, se conduzca la fermentación, así como la incorporación de compuestos con nitrógeno en cierta etapa del proceso, lo que evita que la fermentación se detenga y que el metabolismo de la levadura sea la síntesis de metabolitos secundarios, que formen compuestos de sabor y aroma (Arrizón y Gschedler, 2002; Táboas et al, 2002; Gschaedler et al, 2004).

El uso de levaduras comerciales durante la fermentación es efectiva para los productores de vino, lo que les ha ayudado a homogeneizar la calidad de los vinos en las diferentes vendimias. La mayoría de los géneros de cepas de levaduras empleadas industrialmente pertenecen al género *Saccharomyces* y la especie común es *S. cerevisiae*, ya que posee un alto potencial fermentativo en diferentes ambientes. Según Querol et al, (2003) se adapta fácilmente a distintas actividades a las que se somete en la domesticación; según estos autores, *S. cerevisiae* posee un alto polimorfismo en sus cromosomas provenientes de vinaterías españolas.

En numerosos países se utilizan levaduras comerciales en la elaboración de bebidas con excelentes resultados, con productos de buena calidad y uniformes, en comparación con las bebidas de fermentación natural. Sin embargo, en vinos se reporta que el uso de alguna levadura comercial no garantiza que sea la única que realiza la fermentación, pero sí ayuda a la implantación de las levaduras al inicio del proceso, porque inhiben la actividad de bacterias contaminantes; por lo anterior, es más efectivo emplear cultivos puros de levaduras que procedan de una zona vitivinícola específica e incluso de la misma vinatería donde se pretenden colocar, conocidas como levaduras locales seleccionadas (Mas et al, 2002); éstas son nativas del área, están adaptadas a las condiciones climáticas de la zona, a la materia prima, y son responsables, al menos parcialmente, de las propiedades únicas de la bebida alcohólica.

Para seleccionar levaduras nativas de una zona, el primer paso es conocer la microbiota autóctona del área y/o vinatería, donde se confirme que son cepas de *S. cerevisiae* que dominen en las fermentaciones alcohólicas; de ahí se preseleccionan aquellas que intervengan en la mayor parte de la fermentación, principalmente al final y que cumplan con las características enológicas deseadas según la clase de bebida. Por lo tanto, la selección de la cepa adecuada para cada tipo de fermentación es una estrategia importante para garantizar una fermentación correcta, así como para mejorar las propiedades deseables del producto final, ya que los diferentes géneros de levaduras forman compuestos que dan un toque de distinción a la bebida, ya sea por los tipos

y concentración de compuestos que contienen tales como: alcoholes superiores, ésteres, glicerol, etc. (Esteve-Zazorso et al, 2001; Mas et al, 2002; Querol et al, 2003).

Wondra y Berovic et al, (2001), reportaron que diferentes cepas de *S. cerevisiae* generan los mismos compuestos: 14 alcoholes superiores, 4 ácidos grasos de alto peso molecular y 14 ésteres; sin embargo, a concentración variable, de 29 cepas de *S. cerevisiae* evaluadas, una produjo un vino excelente y 10 cepas sólo vinos buenos. En bebidas destiladas tres alcoholes superiores: el 2-metilpropanol, 2-metilbutanol y 3-metilbutanol juegan un papel importante por su olor penetrante, que se detecta fácilmente. Been y Peppard (1996) detectaron en tequila 22 alcoholes superiores diferentes; respecto a su concentración, los más importantes, fueron los alcoholes isoamílicos: 2 y 3 metilbutanol; el propanol el metilpropanol, el isopropanol y el butanol; también encontraron 8 aldehídos; destacó: el acetaldehído y 47 ésteres, predominando el acetato de etilo. Ledauphin et al, (2004) en un estudio con 331, identificaron estos compuestos en calvados y coñac; de esos 331, 162 se consideraron como trazas, de los que 39 fueron comunes para ambas bebidas, 30 fueron específicos del coñac y sólo 93 se encontraron en los calvados. León Rodríguez et al, (2006) analizaron varios tipos de mezcales elaborados a partir de *A. salmiana*, donde se identificaron 37 compuestos, 9 se clasificaron como los más comunes, ahí incluyeron los alcoholes saturados, acetato de etilo, etil-2-hidroxipropionato y ácido acético; estos compuestos existen también en tequila y otras bebidas alcohólicas, sin embargo el mezcal contiene compuestos únicos como: el limoneno y el pentilbutanoato, utilizados para la autenticación de esta bebida, producida únicamente con *A. salmiana*. Lachenmeier et al, (2006) evaluaron algunos compuestos volátiles de diversas bebidas destiladas de agave mexicana tequila, mezcal, sotol y bacanora y concluyen que las bebidas varían en un amplio rango en su composición. Donde el tequila muestra diferencias en la concentración de: metanol, 2,3-metil-1-butanol y 2-pentiletanol pero con baja cantidad en los tequilas que no son 100% agave; el mezcal no mostró diferencias entre los parámetros evaluados, mientras que el sotol contiene alta concentración de nitrato y baja de 2,3-metil-1-butanol el bacanora se caracterizó por una elevada concentración de acetaldehído y baja de lactato de etilo. Según estos mismos autores, se reportan marcadas diferencias genéticas en los géneros de levaduras aisladas de bebidas de agave mexicana; en el tequila que regularmente se elabora industrialmente se usan cepas de levaduras, que son importantes porque tienen influencia en la concentración de alcoholes superiores generados con el etanol. Se ha reportado que las cepas nativas de levaduras aisladas de tequila producen elevada concentración de compuestos como alcohol isoamílico e isobutanol comparada con los géneros de levaduras de panadería.

Molina-Guerrero et al, (2007), identificaron 85 compuestos en mezcal, de los cuales 30 se reportan como constituyentes en otras bebidas alcohólicas. De estos compuestos, el 76% coincide con los encontrados en el tequila. Según Been y Peppard (1996), en el tequila los compuestos más abundantes que se detectan son los alcoholes; sin embargo, en el trabajo de Molina-Guerrero et al, (2007) se reporta mayor concentración de ésteres, ácidos orgánicos y acetales, así como una amplia variabilidad en la composición química, lo que significa que el mezcal es una bebida con rasgos característicos de las distintas especies de agave y de los procesos tradicionales locales empleados en su elaboración. En el trabajo de Romano et al, (1998) se sugiere una selección de levaduras, en base a la generación de metabolitos secundarios y la estabilidad que tienen en las diferentes etapas de fermentación en la producción de vinos.

La alta variabilidad de las bebidas de agave tiene que ver con la variedad empleada en su fabricación; por ejemplo en el mezcal usan distintas clases de agave porque existe tanta diversidad entre los tipos de mezcal; además la elaboración es artesanal, como en el sotol y el bacanora, lo que posiblemente no sucede con las que provienen de un sola clase de agave. En el tequila y algunos tipos de mezcal se usan levaduras comerciales sin seleccionar de alguna destilería, puesto que con levaduras nativas seleccionadas podría mejorarse la producción y la calidad de estas bebidas. En el de bacanora, los productores no inoculan para su elaboración artesanal ningún tipo de levadura. Actualmente no existen trabajos publicados sobre los géneros de levaduras involucradas en la elaboración de el bacanora, sin embargo, en el laboratorio de Microbiología Molecular del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., se evalúa la participación de cepas nativas durante la fermentación de el bacanora.

CONCLUSIÓN

El estado del arte de la literatura revisada muestra que recientemente se ha incrementado el uso de levaduras nativas seleccionadas para la elaboración industrial de vinos, lo que es de vital importancia para conocer los compuestos volátiles que constituyen una bebida, y seleccionar aquellas levaduras que mantengan la identidad de la bebida. Las investigaciones realizadas con esas levaduras en el vino, son realmente alentadoras para la selección de levaduras nativas, que sean empleadas en la elaboración de bebidas alcohólicas, para alcanzar su mejor calidad y homogeneidad. En el bacanora con su reciente auge y tendencia a la industrialización, el utilizar levaduras locales seleccionadas estimulará una mayor eficiencia en la etapa de fermentación y un producto de buena calidad.

REFERENCIAS

1. Arrizon J. y Gschaedler A. 2002. Increasing fermentation efficiency at high sugar concentrations by supplementing and additional source of nitrogen during the exponential phase of the tequila fermentation process. *Can J Microbiol* 48, 965-970.
2. Bautista-Justo, M., García-Oropeza L., Barboza-Corona J. E. y Parra-Negrete L. A. 2001. El agave tequilana Weber y la producción de tequila. Universidad de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11: 26-34.
3. Bourgeois, C. y Larpent, J. 1995. Microbiología Alimentaria. Vol. 2 Fermentaciones Alimentarias. España. Ed. Acribia, S. A, pp. 19-33.
4. Been, M. y Peppard, L. T. 1996. Characterization of tequila flavor by instrumental and sensory analysis. *J Agric Food Chem* 44: 557-566.
5. García, P., Guzmán V. y López M. 2007. Fructanos del agave. La tecnología, del campo de experimentación a la parcela del productor. Ed. Agroproduce, pp. 20-22.
6. Gschaedler, M., Ramírez, C., Díaz, M., Herrera, L., Arellano, P. Arizón G. y Pinal Z. 2004. Fermentación etapa clave en la elaboración de tequila, capítulo 4. En Ciencia y Tecnología del Tequila Avances y Perspectivas. En: Gschaedler MAC (ed) Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco, A.C. Guadalajara, Jalisco, México pp. 62-120.
7. Combina, M., Elia A., Mercado L., Catania C., Ganga A. y Martínez C. 2005. Dynamics of indigenous yeast populations during spontaneous fermentation of wines from Mendoza, Argentina. *Int J Food Microbiol* 99: 237-243.
8. De la Cruz, C. 2003. Sembrar maguey y producir Bacanora en el rancho. *PATROCIPES. Rev Rancho* 11: 22-23.
9. De León-Rodríguez A., González-Hernández L., Barba de la Rosa A. P., Escalante-Minakata P. y López M. G. 2006. Characterization of volatile compounds of Mezcal, an ethnic alcoholic beverage obtained from *Agave Salmiana*. *J Agric Food Chem* 54: 1337-1341.
10. Esteve-Zarzoso, B., Peris-Torán M., García-Maiquez E., Uruburu F. y Querol A. 2001. Yeast populations dynamics during the fermentation and biological aging of sherry wines. *Appl Environ Microbiol* 67(5): 2056-2061.
11. Esteve-Zarzoso, B., Belloch C., Uruburu F. y Querol A. 1999. Identification of yeast by RFLP analysis of the 5.8S gene and the two ribosomal internal transcribed spacers. *Int J Syst Bacteriol* 49: 329-337.
12. Fachine, D., Pizarro J. y Rossini M. 2005. Analysis of the secondary compounds produced by *Saccharomyces cerevisiae* and wild yeast strains during the production of Cachaca. *Braz J Microbiol* 36:70-74.
13. Fleet, G., Lafon-Lafourcade S. y Ribereau-Gayon P. 1984. Evolution of yeast and lactic acid bacteria during fermentation and storage of Bordeaux wines. *Appl Environ Microbiol* 48: 1034-1038.
14. Frazier, W. y D., Westhoff. 1998. Microbiología de los Alimentos. España. Ed. Acribia, S. A, pp: 174-175.
15. Lachenmeier, D., Sohnius, E. M., Atting, R. y López, M. 2006. Quantification of selected volatile constituents and anions in Mexican agave spirits (Tequila, Mezcal, Sotol, Bacanora). *J Agric Chem* 54: 3911-3915.
16. Ledauphin, J., Saint-Clair, V., Lablanquie, O., Guichard, H., Fournier, N., Guichard, E. y Barillier, D. 2004. Identification of trace volatile compounds in freshly distilled calvados and cognac using preparative separations coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *J Agric Food Chem* 52:5124-5134.
17. Mas, A., Torija, M., Beltrán, G., Novo, M., Hierro, N., Poblet, M., Rozés, N., y Guillamón, J. (2002). Selección de levaduras. *Tecnol Vino. Fermentos*. Accesado en: octubre de 2004. Disponible en: <http://www.alcion.es>
18. Mathews, C. y Van Holde, K. 2000. Bioquímica. 2ª ed. España: McGraw-Hill Interamericana, pp: 495-511.
19. Mignorance-Carzola, L., Clemente-Jiménez, J., Martínez-Rodríguez, S., Las Heras-Vázquez, V., y Rodríguez-Vico, F. 2003. Contribution of different natural yeast to the aroma of two alcoholic beverages. *World J Microbiol Biotechnol* 19: 297-304.
20. Molina Guerero, J. A., Botello Álvarez, J. E., Estrada Baltazar, A., Navarrete Bolaños, J. L. Jiménez Islas, H., Cárdenas Manríquez, M., y Rico Martínez, R. 2007. Compuestos volátiles en el Mezcal. *Rev Mex Ing Quím* 6; 41-50.
21. Moreno, S. 1998. Agave angustifolia. El bacanora desde su origen hasta nuestros días. Una bebida sonorense con calidad internacional. Instituto del medio ambiente y el desarrollo de Sonora (Imades). *Rev Entorno* 2: 3-5.
22. Moreno, S. 2006. Variabilidad, citogenética, molecular, morfológica y contenido de azúcares reductores totales en poblaciones silvestres de *Agave angustifolia*. Trabajo de Tesis de Doctorado (inédita Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Coordinación de Ciencia de los Alimentos de Origen Vegetal. Hermosillo, Sonora, México.
23. Muñoz, R., Wrobel, R. y Wrobel, K. 2005. Determination of aldehydes in tequila by High-performance liquid chromatography with 2,4-dinitrophenylhydrazine derivatization. *Eur Food Res Technol* 221: 798-802.
24. NOM-168-SCTI-2004. Norma Oficial Mexicana NOM-168-SCTI-2004, Bebidas alcohólicas-Bacanora- especificaciones de elaboración, envasado y etiquetado. Diario oficial miércoles 14 de diciembre, 2005. 1ª Sección, pp. 37-49.
25. Núñez, L. 2001. La producción de mezcal Bacanora. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C, pp.226
26. Pataro, C., Guerra, J., Petrillo-Peixoto, M., Mendonca-Hagler, L., Linardi, V., y Rosa, C. 2000. Yeast communities and genetic polymorphism of *Saccharomyces cerevisiae* strains with artisan fermentation in Brazil. *J Appl Microbiol* 89: 24-31.
26. Querol, A., Huerta, T., Barrio, E. y Ramón, D. 1992a. Dry strains for use in fermentation of alicante wine: selection and DNA patterns. *J Food Science* 57: 183-186
28. Querol, A., E. Barrio, T. Huerta y D. Ramón. 1992b. Molecular monitoring of wine fermentations conducted by active dry yeast strains. *Appl Environ Microbiol* 58: 2948-2953.
29. Querol, A., Fernandez-Espinar, M., del Olmo, M. y Barrio, E. 2003. Adaptive evolution of wine yeast. *Int J Food Microbiol* 8 () 3-10.
30. Romano, P., Paraggio, M. y Turbanti, L. 1998. Stability in By-products formation as a strain selection tool of *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast. *J Appl Microbiol* 84: 336-341.
31. Romano, P., Fiore, C., Paraggio, M., Caraso M. y Capece, A. 2003. Function of yeast species and strains in wine flavor. *Int J Food Microbiol* 86: 169-180.
32. Steinkraus, K. 1997. Classification of fermented foods: worldwide review of household fermentation techniques. *Food Control* 8(5/6): 311-317.
33. Suárez, J. 2002. Análisis sensorial (vino). Impacto de levaduras y bacterias en los aromas vínicos fermentativos. Consultado en internet: <http://www.percepnet.com/documenta/Cs0203.pdf>
34. Táboas, R., Maceiras, R., Cancela M., y Alvarez, E. 2002. Study of the alcoholic fermentation in wine "Albariño" influence of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* and SO₂. *Elect J Environ Agric Food Chem* 1(2):1579-4377
35. TOWMSG, 2007. The Official Webside of the Mycoses Study Group. www.doctorfungus.org
36. Wondra, M. y Berovic, M. 2001. Analyses of aroma components of Chardonnay wine fermented by different yeast strains. *Food Technol Biotechnol* 39(2):141-148.
37. Yáñez, G. 2003. El maguey de Bacanora (*Agave angustifolia*). Instituto del medio ambiente y el desarrollo de Sonora (Imades). *Rev Entorno* 11; 5-8.

Correspondencia:

Evelia Acedo-Félix

Coordinación de Ciencia de los Alimentos.
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo,
A. C. Carretera a la Victoria Km 0.6. 83000,
Hermosillo, Sonora, México.