

Importancia de las levaduras no-*Saccharomyces* durante la fermentación de bebidas alcohólicas

Non-*Saccharomyces* yeast importance during fermentation of alcoholic beverages

Aarón Casas Acevedo¹, Cristóbal Noé Aguilar González¹, Heliodoro De la Garza Toledo², Jesús Antonio Morlett Chávez³, Didier Montet⁴, Raúl Rodríguez Herrera^{1*}

Casas Acevedo, A., Aguilar González, C. N., De la Garza Toledo, H., Morlett Chávez, J. A., Montet, D., Rodríguez Herrera, R. Importancia de las levaduras no-*Saccharomyces* durante la fermentación de bebidas alcohólicas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 65: 73-79, mayo-agosto 2015.

RESUMEN

Durante la fermentación de bebidas alcohólicas intervienen principalmente levaduras del género *Saccharomyces*. Sin embargo, existen otros géneros de levaduras que también participan en los procesos fermentativos, y rara vez son tomados en cuenta, estas son las levaduras denominadas no-*Saccharomyces*, entre las que destacan: *Kloeckera apiculata*, *Hanseniaspora uvarum*, *Rhodotorula glutinis*, *Rhodotorula mucilaginosa*, entre otras; las cuales mediante la producción de congénicos, enzimas y proteínas pueden enriquecer organoléptica y nutricionalmente las bebidas alcohólicas, lo que ayudaría a satisfacer el paladar de los consumidores más exigentes.

ABSTRACT

Saccharomyces are the main yeasts involved during alcoholic beverages fermentation. However, there are other yeasts known as non-*Saccharomyces*, which

Palabras clave: etanol, glicerol, fermento, congénicos, carbohidratos.

Keywords: ethanol, glycerol, ferment, congeners, carbohydrates.

Recibido: 3 de marzo de 2014, aceptado: 22 de agosto de 2014

¹ Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila.

² Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

³ Laboratorio de Análisis Clínicos y Diagnóstico Molecular, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila.

⁴ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

* Autor para correspondencia: rrh961@hotmail.com

also participate during the fermentation, but they are rarely considered as active participants in these processes. The most important non-*Saccharomyces* yeasts are *Kloeckera apiculata*, *Hanseniaspora uvarum*, *Rhodotorula glutinis*, *Rhodotorula mucilaginosa* among others. Non-*Saccharomyces* yeasts may enrich organoleptic and nutritionally alcoholic beverages through production of congeneric metabolites, enzymes and proteins, which could increase the acceptance level of the most demanding consumers.

INTRODUCCIÓN

Para que las bebidas y alimentos sean fermentados debe haber una proliferación de microorganismos que consuman los carbohidratos presentes en la materia prima, y utilicen esos carbohidratos como fuente de energía, para generar diferentes metabolitos como: etanol, metanol, glicerol, entre otros; aunque hay que mencionar que también existe otro tipo de fermentación menos empleada, la cual es denominada maceración carbónica, que consiste en madurar el fruto, principalmente uva, en una atmósfera de CO₂, de esta manera el fruto inicia el proceso fermentativo desde su interior (Flanzy, 2003).

Existen bebidas fermentadas como la cerveza, la sidra y el vino, entre otras; y bebidas que además de ser fermentadas son destiladas; dentro de las cuales destacan tequila, ron y whisky. La fermentación no es exclusiva de bebidas alcohólicas, en la elaboración de muchos alimentos se usa este proceso con el fin de transformar alguna característica poco agradable o incrementar alguna con mayor grado de aceptación para el consumidor (Vicent Vela et al.,

2006). El objetivo de la presente revisión es describir la participación de levaduras no-*Saccharomyces*, así como algunos de sus metabolitos producidos durante la elaboración de bebidas alcohólicas fermentadas.

Principales tipos de bebidas fermentadas

La bebida alcohólica fermentada más importante a nivel mundial es la cerveza, obtenida de la fermentación de cebada y malta, que puede alcanzar un grado alcohólico de 3° a 7°. Dicha fermentación es llevada a cabo por levaduras del género *Saccharomyces*. El vino resulta del proceso de fermentación de la uva y se lleva a cabo en dos etapas: la primera consiste en la obtención del mosto —resultante de la maceración de uvas—, este después se fermenta por *Saccharomyces cerevisiae* y levaduras nativas, que se encuentran presentes en la superficie de la uva que fue macerada, así se obtiene un grado alcohólico que oscila entre 7° y 20° (Vicent Vela et al., 2006).

La sidra se obtiene a partir de manzanas trituradas, las cuales son fermentadas por *S. cerevisiae*, producto de esta fermentación se puede alcanzar un grado alcohólico de 9° en esta bebida. Pueden obtenerse sidras dulces si el proceso fermentativo se interrumpe, lo que evita la fermentación de los azúcares en su totalidad y sidras gaseosas, en donde el dióxido de carbono puede ser natural o inyectado. Esta bebida es embotellada y sometida a pasteurización, lo que garantiza un periodo de vida más largo, permite su comercialización y exportación (García et al., 2004).

Las principales bebidas alcohólicas fermentadas y destiladas a nivel mundial son el ron, el whisky, el tequila, el sotol, entre otros. El ron es generado por la fermentación alcohólica de los residuos de caña, que quedan después de la cristalización del azúcar. Esta fermentación se realiza por *S. cerevisiae* en un tiempo aproximado de 5 días, y posteriormente en la destilación se pueden alcanzar temperaturas entre 55° y 65 °C (Vicent Vela et al., 2006). El whisky es obtenido a partir de la fermentación de la cebada realizada por *S. cerevisiae*, es madurado en barricas de roble y puede alcanzar concentraciones de alcohol que van de 40° a 43°. El tequila se obtiene de la fermentación y destilación de mostos de *Agave tequilana*, y puede alcanzar un grado alcohólico entre 35° y 55°. Para la elaboración del tequila, los carbohidratos de las piñas de agave son previamente hidrolizados o cocidos, y posteriormente fermentados por *S. cerevisiae* (De León et al., 2006).

El sotol es una bebida destilada con un consumo regional en el norte de México, es obtenida de la cocción y fermentación del pseudotallo de la planta *Dasyliirion* spp., estudios recientes demostraron que la fermentación es realizada por levaduras no-*Saccharomyces*. El sotol ya fermentado puede dividirse en sotol blanco, el cual es diluido con agua de dilución; sotol joven, mezcla de sotol blanco; sotol reposado, que es dejado dos meses en recipientes de madera, y sotol añejo, que madura durante unos años en barricas de roble. El sotol alcanza grados alcohólicos de 35° a 55° (Enríquez y Acevedo, 2012).

Para la elaboración de bebidas artesanales como sotol, pulque y algunos tipos de tequila (Tabla 1) se utilizan materias primas que son de fácil acceso para los productores, de esta manera se invierte lo menos posible con el fin de obtener el máximo de ganancias, ya que los precios de las bebidas autóctonas son sumamente bajos. En general, las bebidas fermentadas pueden alcanzar en promedio una concentración de alcohol que oscila entre 3.5° y 14° (v/v), mientras que las destiladas alcanzan una concentración de 35% a 55% (v/v) (Garza et al., 2008). En ambos tipos de bebidas pueden intervenir diferentes géneros de levaduras.

Características generales de *S. cerevisiae*

S. cerevisiae es la levadura más empleada en pro-

Tabla 1. Microorganismos presentes en los procesos de fermentación de algunas bebidas alcohólicas

Bebida fermentada	Microorganismo	Referencia
Cerveza (no destilado)	<i>S. cerevisiae</i>	(Vicent Vela et al., 2006)
Tequila (destilado)	<i>S. cerevisiae</i>	(Bautista et al., 2001)
Vino (no destilado)	<i>S. cerevisiae</i> , <i>K. apiculata</i> , <i>Hanseniaspora</i> , <i>T. delbruekii</i> , <i>T. stellata</i> , <i>M. pulcherrima</i> , <i>C. famata</i> , <i>K. corticis</i> , <i>Z. bailii</i> , <i>Z. rouxii</i>	(García et al., 2004)
Sotol (destilado)	<i>C. albidus</i> , <i>R. mucilaginoso</i> , <i>C. lusitaniae</i> , <i>Pichia</i> sp.	(Garza et al., 2008)
Pulque (no destilado)	<i>T. aquamellis</i> , <i>A. acetii</i> , <i>B. terres</i> , <i>M. luteus</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Sarcina</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Streptococcus</i>	(Lappe et al., 2008)

cesos industriales donde se requiere tener control de la fermentación, aunque también tiene importancia en diversas fermentaciones espontáneas, en donde aproximadamente después de 4 días es la especie predominante (Flanzy, 2003). Esta levadura se caracteriza por tener alto poder fermentativo, aunque posee baja capacidad de producir compuestos secundarios, que son los que brindan características organolépticas a las bebidas y alimentos fermentados. Las condiciones de cultivo afectan la producción de compuestos secundarios en *S. cerevisiae* (Rojas et al., 2001), la cual produce bajos niveles de ésteres de acetato en condiciones aeróbicas, mientras que otras levaduras no-*Saccharomyces*, como por ejemplo, *Hanseniaspora guilliermondii* y *Pichia anomala* producen altas cantidades de acetato de 2-feniletilo y acetatoisoamilico, respectivamente. Las modificaciones por el humano de las condiciones de cultivo de *S. cerevisiae* han hecho que esta levadura se adapte haciendo cambios en su genoma. Se ha detectado diferente número de copias de genes entre especies de *Saccharomyces*, estas variaciones en el número de copias fueron observadas en familias de genes subtelméricos que están relacionadas con funciones metabólicas como homeostasis celular, interacciones célula a célula y transporte de solutos (Ibáñez et al., 2014).

S. cerevisiae fermenta los carbohidratos de seis carbonos y posee un alto grado de tolerancia al etanol, ya que cuenta con una pared celular rígida que oscila entre 100-200 nm de grosor constituida mayormente por mánanos y glucanos (Figura 1) (Hidalgo, 2003). Además de la pared celular, la membrana plasmática le ayuda a tolerar concentraciones altas de etanol. La membrana plasmática está constituida mayormente por fosfolípidos tales como: fosfatidil-etanolamina, fatidil-colina, cardiolipina y fosfatidil-serian, y su permeabilidad está directamente relacionada a la composición y al acomodo fosfolipídico que posee (Vaughan y Martini, 1995).

Existen otros factores que también influyen en la tolerancia alcohólica de la levadura, como la temperatura y el oxígeno; si la temperatura aumenta, la tolerancia alcohólica de la levadura disminuirá, debido a la perturbación que sufren los fosfolípidos que conforman la membrana; por otra parte, si existe un déficit de oxígeno disponible en el mosto, la levadura no producirá suficientes esteroides y ácidos grasos de cadena insaturada que forman parte de la pared celular y como resultado el microorganismo

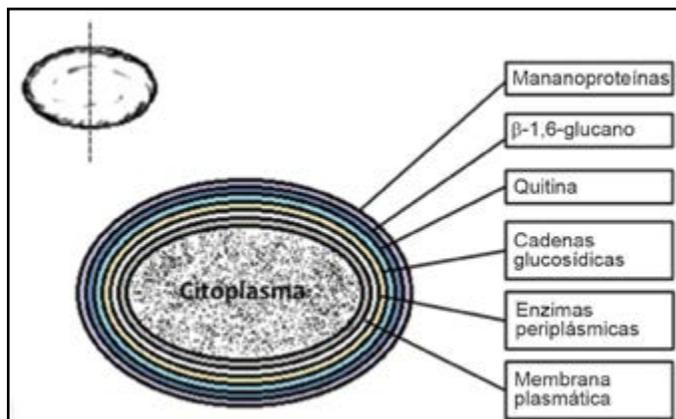


Figura 1. Características morfológicas y bioquímicas que ayudan a *S. cerevisiae* a tolerar altas concentraciones de etanol. Imagen de Aarón Casas Acevedo.

tendrá una pared celular débil, incapaz de tolerar cambios osmóticos y concentraciones elevadas de etanol (Déak y Beuchat, 1996).

Otra característica importante de *Saccharomyces* es la tolerancia a SO_2 , que se emplea como inhibidor de otras levaduras y bacterias en los procesos de fermentación controlada durante la elaboración de bebidas alcohólicas, debido a que el crecimiento de una microbiota no deseada puede interferir en las características organolépticas de las bebidas (Nally et al., 2005).

Principales características que aportan las levaduras no-*Saccharomyces* a las bebidas alcohólicas fermentadas

Algunas de las características de mayor relevancia en cualquier tipo de fermentación son el aroma y sabor, que estarán estrictamente relacionados con la materia prima a fermentar, y las especies de levaduras que realizan la fermentación. Los aromas y sabores son el resultado de los diferentes metabolitos de desecho que produce cada cepa; dentro de estos metabolitos se encuentran compuestos azufrados, ésteres (acetato de etilo, acetato de isoamilo y acetato de metilo), ácidos orgánicos (butírico, fórmico, propiónico), carbonilos (acetona, acetaldehído), alcoholes (butanol, sec-butanol, iso-butanol), entre otros (Enríquez y Acevedo, 2012).

Las levaduras producen los alcoholes superiores a través del catabolismo de aminoácidos usando la vía Ehrlich que requiere de tres actividades enzimáticas para convertir aminoácidos aromáticos, aminoácidos de cadena ramificada y metionina en

alcoholes superiores. Esta vía depende al menos en parte del factor de transcripción *aro80* que regula a los genes *aro9* y *aro10* (Ravasio et al., 2014).

A los compuestos químicos relacionados con el sabor y aroma de la bebida se les denomina congenéricos y tienen la peculiaridad de encontrarse en muy bajas concentraciones, comparados con el etanol producido. Debido a que los congenéricos se encuentran en muy bajas cantidades, el aroma y sabor de la bebida no son percibidos por el consumidor común. Sin embargo, existen bebidas alcohólicas que son apreciadas por la presencia de algunos congenéricos en particular. La calidad de la bebida alcohólica *yakjun* de Corea está relacionada con la presencia de etil-capronato y alcohol isoamílico (Choi et al., 2013).

Los factores que pueden afectar la producción de congenéricos son la temperatura, fermentaciones intermedias, tipo de carbohidratos y materia vegetal a fermentar (García et al., 2004). Investigaciones recientes se han enfocado en la producción de aromas y sabores naturales utilizando levaduras, dado que hay reportes que indican que un incremento en la actividad de la enzima β -galactosidasa en la levadura se correlaciona con la formación de un olor a rosas, y que los sabores a plátano y a flores se han correlacionado con la formación de alcohol isoamil y amino-feniletanol (respectivamente) (Ravasio et al., 2014). Otra característica importante es que la respiración de azúcares por levaduras no-*Saccharomyces* podría bajar los niveles de alcohol en bebidas, dentro de las que destacan *Metschnikowia pulcherrima* y dos especies de *Kluyveromyces* (Quirós et al., 2014).

Principales levaduras no-*Saccharomyces* y metabolitos secundarios que aportan a las bebidas

Los procesos de fermentación espontánea están mediados principalmente por levaduras no-*Saccharomyces*, y la especie de levadura que interviene en este proceso depende de la concentración etanólica del fermento y de la composición del sustrato. Por ejemplo, al inicio de la fermentación espontánea de la uva predominan especies como *K. apiculata*, *Candida stellata*, *Candida pulcherrima* y *Candida colliculosa* (Jolly et al., 2003), mientras que como avanza la fermentación espontánea son varias las especies de levadura involucradas. En la producción de bebidas fermentadas en Nigeria se aislaron las levaduras *S. cerevisiae*, *C. colliculosa*, *Candida utilis*, *Candida magnolia*, *R. mucilaginoso*, *Trichosporon asahii*, *Candida pelliculosa* y *Cryptococcus albidus* (Jimoh et al., 2012). Una perspectiva de cómo van interviniendo las levaduras en una fermentación y los metabolitos que producen se presenta en la Tabla 2.

Al inicio del proceso de fermentación se detectan levaduras con baja resistencia etanólica, una de ellas es *K. apiculata*, que crece principalmente en fermentos con alta concentración de glucosa, produce elevadas concentraciones de glicerol pero bajas concentraciones de acetato de amilo y etanol, debido a un déficit de la enzima acetil-CoA sintetasa (Vicent Vela et al., 2006). La producción de glicerol se debe a un proceso de amortiguación de las reacciones redox intracelulares, convirtiendo el excedente de NADH₂ producido durante la glucólisis en NAD⁺. En condiciones de estrés (baja concentración de oxígeno) es llevada a cabo la fermentación alcohólica, lo que genera etanol y otros compuestos de importancia sensorial en la bebida como: glicerol, ácido acé-

Tabla 2. Presencia de levaduras no-*Saccharomyces* durante la fermentación espontánea de bebidas alcohólicas y metabolitos que aportan a las bebidas

Día de fermentación	No- <i>Saccharomyces</i>	Metabolito	Referencia
2	<i>K. apiculata</i> , <i>C. stellata</i> , <i>C. famata</i>	Glicerol (cuerpo a la bebida), acetato de amilo (olor a plátano)	(Jimoh et al., 2012)
4	<i>H. uvarum</i>	2-feniletanol , 3-metil-butanol (aroma a rosas)	(Escalante et al., 2012)
6	<i>R. glutinis</i>	Monoterpenos (aroma a flores)	(Martínez et al., 2006)
8	<i>Clavispora lusitanae</i>	Ésteres (olor a fruta), Glicerol (cuerpo a la bebida)	(Garza et al., 2008)
10	<i>Kluyveromyces marxianus</i>	Proteínas , endopoligalacturonasa , inulinasas (aporte nutricional)	(Jeng et al., 2011)

tico, ésteres, acetoínas, 1-propanol e isopropanol. Los principales factores que afectan el desarrollo de *K. apiculata* son: el pH, temperatura y la concentración de etanol, la cual no debe exceder el 6% v/v (Waldir et al., 2012).

H. uvarum es capaz de tolerar altas concentraciones de azúcares, se puede encontrar durante los primeros 5 días de la fermentación espontánea de bebidas alcohólicas. Posee un rendimiento fermentativo bajo debido a que presenta altos niveles de enzimas que intervienen en la respiración, pero bajos niveles de enzimas fermentativas; es sensible a la variación de oxígeno, en condiciones aerobias el piruvato es metabolizado por la vía piruvato deshidrogenasa hasta acetil-CoA, que lo oxida y produce pequeñas cantidades de etanol, y algunos compuestos relacionados al sabor como: 2-metil-propanol, 3-metil-butanol, 2-metil-butanol, 2-feniletanol y glicerol, este último compuesto brinda un sabor dulce y da cuerpo a la bebida fermentada (Escalante et al., 2012).

R. glutinis es muy utilizada en biotecnología, estudios recientes han empleado esta levadura para la obtención de monoterpenos, que provienen de los frutos usados como sustratos para la fermentación alcohólica; de esta manera, las bebidas alcohólicas fermentadas por *R. glutinis* poseen una cantidad considerable de monoterpenos, mismos que ayudan a prevenir enfermedades, generalmente del tracto respiratorio (Martínez et al., 2006).

Los géneros *Pichia*, *Candida famata* y *Candida kefir* se consideran contaminantes en fermentaciones controladas, son las responsables de formar un velo blanco en la superficie del fermento, producen una cantidad aceptable de compuestos secundarios (glicerol entre otros) que pueden ser percibidos al ingerir las bebidas alcohólicas fermentadas, lo que da una sensación de complejidad y mayor volumen (Escalante et al., 2011; Dias et al., 2012).

Clavispora forma parte de la microbiota nativa de los frutos, presenta baja tolerancia al etanol, durante la fermentación de vinos es capaz de producir bajas cantidades de glicerol y brinda una bebida de consistencia suave. Estos microorganismos se han encontrado presentes durante la fermentación intermedia de sotol, lo cual sugiere que estas levaduras puedan tener una tolerancia etanólica de nivel medio (Garza et al., 2008; Enríquez y Acevedo, 2012).

Kluyveromyces marxianus es una levadura muy versátil que compite en la capacidad fermentativa con *Saccharomyces*, también es usada en la industria alimentaria dado que puede fermentar en temperaturas mayores a 45 °C; es por ello que se le considera una levadura termotolerante (Sanorn et al., 2008). *K. marxianus* puede desarrollarse en fermentos con baja concentración de azúcares y generar una serie de compuestos de importancia, tales como: endopoligalacturonasa, que reduce la viscosidad de zumos de frutos procesados, inulinasa que producen fructosa y β -glucosidasa a partir de inulina.

La β -glucosidasa participa en la hidrólisis de materiales celulósicos al actuar en los enlaces β -1,4 liberando moléculas de glucosa que posteriormente son utilizadas como fuente de energía (Jeng et al., 2011). Con estas y otras características, esta levadura aporta compuestos importantes al fermento, aumentando la calidad nutricional de la bebida alcohólica (Graciano et al., 2008).

Selección de levaduras no-*Saccharomyces*

No todas las levaduras no-*Saccharomyces* producen

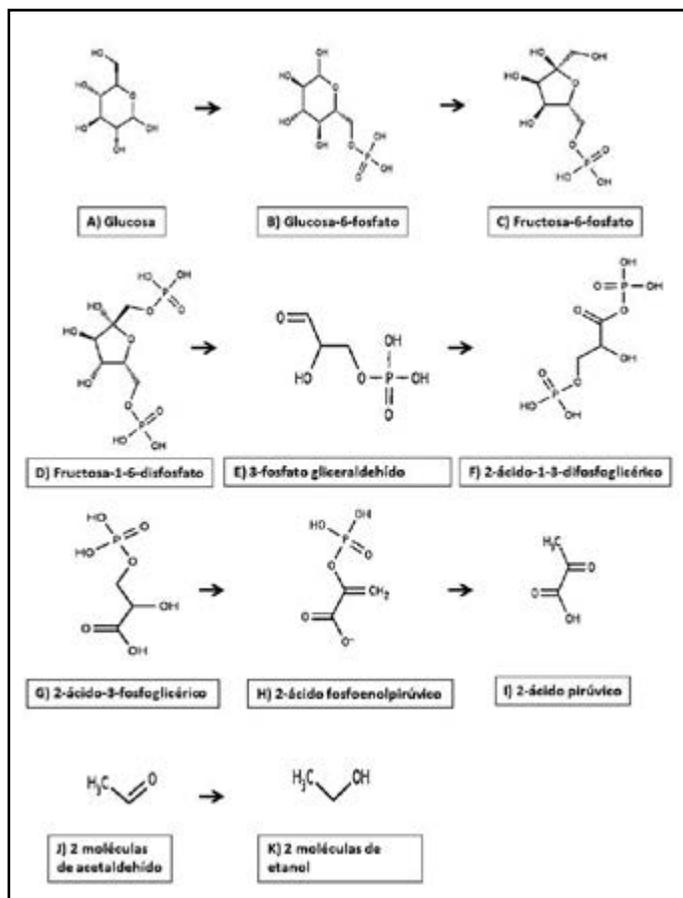


Figura 2. Fermentación alcohólica. Imagen de Aarón Casas Acevedo.

las mismas propiedades organolépticas en las bebidas alcohólicas, por ejemplo *C. stellata* y *Torulasporea delbrueckii* afectan positivamente el sabor y aroma de las bebidas, mientras que las levaduras apiculatas producen subproductos negativos como el acetato de etilo. Por tanto, la selección de no-*Saccharomyces* es esencial para optimizar el bouquet de las bebidas alcohólicas (Ciani y Maccarelli, 1997).

Existen ciertos parámetros para determinar la importancia de una cepa de levadura en una fermentación: esta debe tener alto potencial para fermentar carbohidratos, producir congenéricos (mezcla compleja de metabolitos generalmente volátiles, producidos por las levaduras en muy bajas concentraciones pertenecientes a ésteres, carbonilos y alcoholes de alto peso molecular) (Santillana y García, 1998), debe ser capaz de tolerar altas temperaturas, cambios osmóticos y flocular, que consiste en transformaciones de la pared celular, lo que ocasiona que se unan las células levaduriformes al desplazarse hacia la superficie o fondo del fermento (García et al., 2004).

Si se basa en estas características, las levaduras presentes en una fermentación alcohólica pueden dividirse en cuatro tipos: en primer lugar, se encuentran levaduras que no tienen la capacidad de flocular; en segundo lugar, aquellas que floculan y se desplazan al fondo del fermento (están relacionadas con la producción de dióxido de carbono); en tercer lugar, las levaduras que floculan y se desplazan al fondo, sin generar dióxido de carbono y, finalmente, las levaduras que floculan a principios de la fermentación alcohólica (Olsson y Hahn, 1993; Hahn et al., 2001).

Debido a la importancia de las levaduras no-*Saccharomyces* en el sabor y aroma final de las be-

bidas (Esteve et al., 1998), se han realizado estudios con co-fermentaciones simultáneas y secuenciales usando diferentes cepas de levaduras, por ejemplo: *S. cerevisiae* con una no-*Saccharomyces* (Ravasio et al., 2014). Algunas de estas últimas levaduras pudieran no completar la fermentación, como por ejemplo *Candida*, *Pichia*, *Kluyveromyces*, *Torulasporea*, etc., pero incrementan la complejidad sensorial de las bebidas (Tataridis et al., 2013). La dinámica poblacional de estas levaduras durante la fermentación se ha estudiado haciendo cortes a fragmentos amplificados de las regiones como NTS y NTS de su genoma (Capace et al., 2009).

CONCLUSIONES

Las levaduras no-*Saccharomyces* forman parte de un consorcio fundamental en la fermentación de bebidas alcohólicas, ya que son estas las responsables de aportar la mayoría de las características organolépticas a los fermentos, los cuales en la mayoría de los casos enriquecen el aroma y/o sabor de las bebidas alcohólicas. Además de los metabolitos secundarios producidos por estas levaduras, son benéficos para la salud del consumidor. Por otra parte, al manipular la cantidad y género de levaduras no-*Saccharomyces* durante la fermentación se pueden producir bebidas alcohólicas con parámetros de calidad de aroma y sabor que cumplan con las expectativas del consumidor más exigente.

Agradecimientos

Este estudio recibió financiamiento de la Universidad Autónoma de Coahuila. ACA agradece al CONACYT-México por el apoyo financiero recibido para la realización de estudios de posgrado.

LITERATURA CITADA

- BAUTISTA, M. et al. El Agave *tequilana* Weber y la producción de tequila. *Acta Universitaria*, 11(2), 2001.
- CAPACE, A. et al. Restriction analysis of rDNA regions to differentiate non-*Saccharomyces* wine species in mixed cultures. *Journal of Engineering and Technology Research*, 1(4): 68-71, 2009.
- CHOI, J. H. et al. Isolation of aromatic yeasts (non-*Saccharomyces cerevisiae*) from Korean traditional nuruks and identification of fermentation characteristics. *Agricultural Sciences*, 4(5): 136-140, 2013.
- CIANI, M. y MACCARELLI, F. Oenological properties of non-*Saccharomyces* yeasts associated with wine-making. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 14(2): 199-203, 1997.
- DÉAK, T. y BEUCHAT, L. R. *Handbook of Food Spoilage Yeasts*. Florida: CRC Press, 210, 1996.
- DE LEÓN, A. et al. Characterization of Volatile Compounds of Mezcal, an Ethnic Alcoholic Beverage Obtained from Agave salmiana. *Agricultural and Food Chemistry*, 54(4): 1337-1341, 2006.

- DIAS, A. et al. Effect of the spontaneous fermentation and the ageing on the chemo-sensory quality of Brazilian organic cachaca. *Ciencia Rural, Santa Maria*, 42(5): 918-925, 2012.
- ENRÍQUEZ, M. y ACEVEDO, A. *Identificación molecular de levaduras presentes durante la fermentación de Sotol*. Gómez Palacio: Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas, 42-43, 2012.
- ESCALANTE, E. et al. Estudio de la actividad fermentativa de *Hansenula anomala* y producción de compuestos químicos de importancia sensorial. *Revista Peruana de Biología*, 18(3): 325-334, 2011.
- ESCALANTE, W. et al. Actividad fermentativa de *Hanseniaspora uvarum* y su importancia en la producción de bebidas fermentadas. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 31(1): 57-63, 2012.
- ESTEVE, B. et al. The role of non-*Saccharomyces* yeasts in industrial wine making. *International Microbiology*, 1(2): 143-148, 1998.
- FLANZY, F. *Fundamentos Científicos y Tecnológicos*. 2 ed., España: Mundi-Prensa, 699, 2003.
- GARCÍA, G. et al. *Biología Alimentaria*. México, D.F.: Limusa, 263-311, 2004.
- GARZA, H. et al. Production of a Mexican alcoholic beverage sotol. *Research Journal of Biological Sciences*, 3(6): 566-571, 2008.
- GRACIANO, G. et al. The yeast *Kluyveromyces marxianus* and its biotechnological potential. *Applied and Microbiological Biotechnology*, 79(3): 339-354, 2008.
- HAHN, H. et al. Metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for xylose utilization. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 73(1): 53-84, 2001.
- HIDALGO, T. J. *Tratado de Enología*. España: Mundi-Prensa, 478-494, 2003.
- IBÁÑEZ, C. et al. Comparative genomic analysis of *Saccharomyces cerevisiae* yeasts isolated from fermentations of traditional beverages unveils different adaptive strategies. *International Journal of Food Microbiology*, 171(1): 129-135, 2014.
- JENG, W. Y. et al. Structural and functional analysis of three β -glucosidases from bacterium *Clostridium cellulovorans*, fungus *Trichoderma reesei* and termite *Neotermes koshunensis*. *Journal of Structural Biology*, 173(1): 46-56, 2011.
- JIMOH, S. O. et al. Characteristics and diversity of yeast in locally fermented beverages sold in Nigeria. *World Journal of Engineering and Pure and Applied Sciences*, 2(2): 40-44, 2012.
- JOLLY, N. P. et al. The effect of non-*Saccharomyces* yeasts on fermentation and wine quality. *South African Journal for Enology and Viticulture*, 24(2): 55-62, 2003.
- LAPPE, P. et al. Yeasts associated with the production of Mexican alcoholic nondistilled and distilled Agave beverages. *Federation of European Microbiological Societies*, 8(7): 1037-1052, 2008.
- MARTÍNEZ, C. et al. Production of *Rhodotorula glutinis*: a yeast that secretes α -L-arabinofuranosidase. *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(4): 4-7, 2006.
- NALLY, M. C. et al. Comportamiento de una cepa salvaje de *Saccharomyces cerevisiae* killer y su isogénica sensible respecto de diferentes fuentes de nitrógeno en cultivos mixtos. *Revista Argentina de Microbiología*, 37(2): 73-77, 2005.
- OLSSON, L. y HAHN, H. Fermentative performance of bacteria and yeasts in lignocellulose hydrolysates. *Process Biochemistry*, 28(4): 249-257, 1993.
- QUIRÓS, M. et al. Selection of non-*Saccharomyces* yeast strains for reducing alcohol levels in wine by sugar respiration. *International Journal of Food Microbiology*, 181(1): 85-91, 2014.
- RAVASIO, D. et al. An indirect assay for volatile compound production in yeast strains. *Scientific Reports*, 4(3707): 1-4, 2014.
- ROJAS, V. et al. Studies on acetate ester production by non-*Saccharomyces* wine yeasts. *International Journal of Food Microbiology*, 70(3): 283-289, 2001.
- SANORN, N. et al. High-temperature ethanol fermentation and transformation with linear DNA in the thermotolerant yeast *Kluyveromyces marxianus* DMKU3-1042. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(24): 7514-7521, 2008.
- SANTILLANA, M. C. y GARCÍA, M. Biosíntesis de congenéricos durante las fermentaciones alcohólicas. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 40(1): 109-119, 1998.
- TATARIDIS, P. et al. Use of non-*Saccharomyces Torulaspora delbrueckii* yeast strains in winemaking and brewing. *Matica Srpska Journal for Natural Sciences*, 124(2): 415-426, 2013.
- VAUGHAN, M. y MARTINI, A. Facts, myths and legends on the prime industrial microorganism. *Journal of Industrial Microbiology*, 14(6): 514-522, 1995.
- VICENT VELA, M. et al. *Química Industrial Orgánica*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 69-81, 2006.
- WALDIR, D. et al. Influencia de la aireación en la actividad fermentativa de *Kloeckera apiculata* durante la fermentación de jugo de manzana. *Acta Biológica Colombiana*, 17(2): 309-322, 2012.