

Levaduras no convencionales: un valioso recurso para la innovación de la cerveza

Melissa López-Velázquez¹, Yuriria Santoyo-Paez² Luis Ernesto Fuentes Ramírez²
 Licenciatura en Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas¹

Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas del Instituto de Ciencias
 201527966@viep.com.mx yuriria.santoyopaez@viep.com.mx

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Resumen

201527966@viep.com.mx
 yuriria.santoyopaez@viep.com.mx

Abstract

Las levaduras convencionales del género *Saccharomyces* han sido de las más utilizadas y descritas en la industria e investigación hasta hoy en día, se conocía de su existencia desde hace miles de años y su historia se describió en los procesos de elaboración de cerveza, vino y panadería entre otros. La industria de la cervecería siempre ha estado dominada por *Saccharomyces*. Sin embargo, la búsqueda de nuevos compuestos organolépticos ha tomado importancia, principalmente con el auge de la cervecería artesanal y su constante interés en la creación de nuevos perfiles. El uso de las levaduras no convencionales se muestra como una puerta de innovación a considerar, debido a que estas pueden proporcionar compuestos organolépticos necesarios para propósitos cerveceros. Se conoce de la utilidad de levaduras no convencionales para la elaboración de bebidas endémicas en diferentes regiones del mundo. Estas bebidas se elaboran con recursos del entorno, que al tener condiciones y microorganismos específicos da lugar a fermentos con perfiles organolépticos únicos y distintivos. En el caso de México se realizan pocas investigaciones para la búsqueda específica de levaduras no convencionales que posean un potencial fermentativo. Las investigaciones dirigidas a estos microorganismos se empiezan a utilizar como una herramienta para la innovación en la industria y mejorar competencias. Esto permite marcar una diferencia en el mercado y al mismo tiempo ofrecer un producto novedoso al público que disfruta de esta bebida antigua, una de las más populares y consumidas a nivel mundial.

Palabras clave: levadura, no- *Saccharomyces*, metabolitos secundarios.

Conventional yeasts of the genus *Saccharomyces* have been the most used and described in industry and research until today, their existence was known for thousands of years, and their history was described in the processes of making beer, wine, and bakery among others. The brewery industry has always been dominated by *Saccharomyces*. However, the search for new organoleptic compounds has taken on importance, mainly with the rise of the craft brewery and its constant interest in the creation of new profiles. The use of unconventional yeasts is shown as an innovation door to consider, since they can provide organoleptic compounds necessary for brewing purposes. It is known for the utility of unconventional yeasts for the elaboration of endemic beverages in different regions of the world. These drinks are made with resources from the environment, which, having specific conditions and microorganisms, give rise to ferments with unique and distinctive organoleptic profiles. In the case of Mexico, little research is carried out to specifically search for unconventional yeasts that have fermentative potential. Research directed at these microorganisms is beginning to be used as a tool for innovation in the industry and improving skills. This makes it possible to make a difference in the market and at the same time offer a new product to the public that enjoys this ancient drink, one of the most popular and consumed worldwide.

Keywords: yeast, non-*Saccharomyces*, secondary metabolites.

Introducción

Las levaduras se han utilizado por varios milenios antes y después de Cristo, tanto de manera empírica como científica, principalmente como agentes de fermentación para producir alimentos y bebidas, lo cual resultó en una relación simbiótica con el ser humano, en la relación perfecta. Esta relación fue ampliamente aprovechada en la elaboración de productos para la alimentación, ya que confería a dichos productos, nuevos olores y sabores completamente desconocidos y agradables (Dashko, 2014). Una de las primeras bebidas fermentadas elaboradas por el ser humano fue la cerveza (Molinet y Cubillos, 2020), creada por simple error que gradualmente paso al éxito por medio de ensayos, más errores y lo principal el conocimiento del proceso. En 1516 se adopta la ley de la Pureza Alemana o también llamada Reinheitsgebot, donde se establece que los ingredientes para elaborar una cerveza eran únicamente: agua, cebada y lúpulo. A partir del S.XIX se reconoció el cuarto integrante de la ley y responsable del proceso de fermentación: la levadura (Narziss, 1984).

En la producción de cerveza las levaduras pertenecientes al género *Saccharomyces* son las más conocidas, podríamos llamarla la estrella de las fermentaciones y no sólo de cerveza, sino de otras bebidas alcohólicas como el vino y destilados, en especial *S. cerevisiae*, las especie más abundante y dominante (Gallone et al., 2018), que por intuición se fue seleccionando durante generaciones, en diferentes culturas y con distintas materias primas, se cree que la selección se llevó a cabo al utilizar los mismos instrumentos o sedimento de procesos anteriores. Esto trajo como consecuencia la selección de un pool genético de levaduras domesticadas (Basso et al., 2016).



Figura 1. *Saccharomyces* sp.
Adaptado de *Saccharomyces* sp. isolation and comparison of yeast growth between *Saccharomyces* sp. and *Saccharomyces cerevisiae* for papaya wine fermentation por Minh, 2014, International Journal of Multidisciplinary Research and Development

Saccharomyces industriales

El describir el género *Saccharomyces* desde varios aspectos como su taxonomía, metabolismo, estructura (véase Figura 1), y función es fundamental para entender cómo llevan a cabo los procesos de fermentación en la elaboración de cerveza. La levadura es un organismo eucariota unicelular, se pueden encontrar en diferentes ambientes como: frutas o materia orgánica de donde aprovechan los nutrientes necesarios para su desarrollo (Pires y Brányik, 2015). El género *Saccharomyces* está conformado por 8 especies que son *S. cerevisiae* y *S. uvarum* pueden encontrarse domesticadas y silvestres, las siguientes *S. arborícola*, *S. eubayanus*, *S. jurei*, *S. kudriavzevii*, *S. mikata* y *S. paradoxus*, son especies puramente silvestres. *S. pastorianus* y *S. bayanus* se encuentran solo ligadas a ambientes cerveceros. (Alsammar, 2020).

Camino a la domesticación de las levaduras

Investigaciones como la de Gallone y colaboradores, en su estudio del 2016, nos muestra una comparación entre levaduras de la industria de alimentos y levaduras del ambiente silvestre, dando como resultado que existen diferencias genéticas entre estos dos grupos que fueron separados por el hombre para explotar la capacidad de esta levadura común de panadería *Saccharomyces cerevisiae*, mediante un ambiente artificial se favorecieron condiciones por ejemplo: la disponibilidad de azúcar en altas concentraciones con el fin de convertir azúcares en etanol, también se buscó la acentuación de los rasgos deseables para los productos, como: compuestos aromáticos y de sabor (Gallone et al., 2016). Se ha vuelto fácil de manejar ya que perdieron el contacto con sus nichos naturales para abrir paso a la domesticación (Gallone et al., 2018), este género se caracteriza por su incapacidad de utilizar nitratos del medio, así como de poder fermentar un amplio espectro de azúcares, también por la mayor eficiencia en la conversión de azúcares y su tolerancia a concentraciones elevadas de etanol y SO₂, por ello, se considera el género fermentativo por excelencia (Suárez et al., 2016).

Fermentación: el corazón de la cerveza

Bioquímicamente la fermentación es un proceso que tiene como objetivo producir energía a partir de moléculas orgánicas, mismas que pueden fungir como donadores o aceptores finales de electrones, por otro lado, en microbiología industrial, la fermentación es un proceso por el cual un cultivo de microorganismos realiza una transformación de compuestos, dando origen a productos de interés.

El proceso de fermentación ocurre cuando se tienen un medio rico en azúcares y condiciones anaerobias (Maicas, 2020), empezando por la ruptura de una molécula de glucosa mediante la ruta del glucólisis para la producción de dos moléculas de piruvato, posteriormente, se lleva a cabo la descarboxilación obteniendo acetaldehído y CO₂ por la actividad de la enzima piruvato descarboxilasa (Pdc). Para la formación del etanol ocurre una reducción del acetaldehído mediante la actividad del alcohol deshidrogenasa (Adh 1) (Pires y Brányik, 2015). También juegan un papel importante la biosíntesis de moléculas orgánicas que conceden a una cerveza su carácter distintivo y de las cuales se hablará en apartados subsecuentes.

Tipos de fermentación

Existen dos tipos de fermentación: la fermentación alta produce cervezas tipo ale, se denomina así principalmente por la actividad de floculación de las levaduras, las cuales se ubican en la superficie del mosto y formación de espuma, en la Figura 2 del lado izquierdo se representa un biorreactor con la levadura ubicada en la parte superior, propio de las fermentaciones altas. El proceso es llevado a cabo por la especie de *Saccharomyces cerevisiae* que trabaja en un rango de temperaturas entre los 18°C y 24°C, resultando en una fermentación rápida, en un tiempo de 5 a 7 días (Basso et al., 2016). Las levaduras Lager son utilizadas para la fermentación baja, la actividad de floculación se realiza en la parte baja del tanque, son fermentaciones lentas, hasta dos semanas, en la Figura 2 del lado derecho se observa la ubicación de la levadura en la parte baja del biorreactor. *Saccharomyces pastorianus*, es la cepa responsable del proceso de fermentación baja, ellos son híbridos naturales aneuploides entre *S. cerevisiae* y no *cerevisiae*, *S. eubayanus* la cual es una criotolerancia (Bolat et al., 2013, Baker et al., 2015).



Figura 2. Posición de la levadura en la fermentación alta y baja.
Adaptado de Marcas de cerveza de <https://marcasdecerveza.com/como-hacer-cerveza/>

Estrellas en ascenso: No - Saccharomyces

Existen dos tipos de fermentación: la fermentación La búsqueda de productos innovadores con características organolépticas nuevas al paladar del consumidor y también impulsado por el auge de las cervezas artesanales y han generado el surgimiento de nuevas técnicas de producción y, sobre todo, el uso de levaduras no convencionales denominadas como No-Saccharomyces. Estas levaduras han estado presentes en las fermentaciones a lo largo de la historia humana, particularmente las de carácter espontáneo, las más conocidas “Lambic” y “Coolship”, presentan puntos importantes por sobre Saccharomyces, producen mayor cantidad de metabolitos volátiles durante la fermentación y al ser autóctonas o estar naturalmente presentes son regionalmente representativas, lo que resulta en un producto que refleja un carácter organoléptico peculiar y muy diferente a cualquier otro estilo de cerveza, estos son atributos destacables para generar un plus en la cerveza (Borren y Tian, 2020), contienen varios genes que les permiten realizar actividades metabólicas singulares, secretan enzimas al medio como: esterases, glucosidasas, lipasas, proteasas y celulasas (Lambrechts y Pretorius, 2000).

Brettanomyces/ Dekkera

La primera levadura diferente del género *Saccharomyces* en ser descubierta, y que actualmente sigue siendo la más usada por los cerveceros, fue *Brettanomyces/Dekkera* (véase Figura 3) un microorganismo que pasó de ser considerado como responsables del deterioro para la fermentación, a convertirse en un elemento valioso para dicho proceso. Las cepas *Dekkera/Brettanomyces* aportan caracteres afrutados y florales a las cervezas debido a que producen grandes cantidades de ésteres etílicos: acetato de etilo y lactato de etilo (Steensels et al., 2015). Durante la fase de maduración de la fermentación, la actividad de las enzimas esterasa, β -glucosidasa y α -glucosidasa generan cambios drásticos en la bebida, en consecuencia, se obtiene una cerveza fuertemente atenuada. *Brettanomyces bruxellensis*, *Brettanomyces custersii* y *Brettanomyces anomalus*, son considerados indeseables en la mayoría de los procesos ya que aportan sabores desagradables, principalmente compuestos fenólicos altamente volátiles 4-etilguayacol y 4-etilfenol, sin embargo, en estilos de cerveza adecuados puede causar un impacto positivo (Bokulich et al., 2013), tal es el caso de la cerveza lambic belga y en cervezas frutales mejora el sabor.

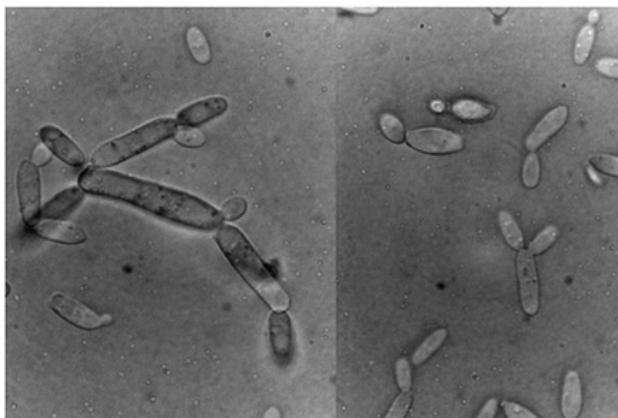


Figura 3. *Dekkera bruxellensis* Y879 (CBS 2499) en medio mínimo. Adaptado de The wine and beer yeast *Dekkera bruxellensis* por Schifferdecker et al., 2014.

Torulaspóra delbrueckii

Fue la primera levadura No-*Saccharomyces* en ser comercializada para la producción de vino, y se ha observado que le confiere sabores afrutados, su alta tolerancia a glúcidos le permite ser utilizada en mezclas de levaduras con alto contenido de estas macromoléculas (véase Figura 4). En estudios recientes se identificó que es capaz de fermentar glucosa, fructosa y sacarosa, esta última no es comúnmente degradada por las levaduras *Saccharomyces* debido a que no cuentan con las enzimas necesarias. También se encontró que una cepa de *T. delbrueckii* tiene la maquinaria para fermentar la maltosa y maltotriosa, los azúcares de mayor abundancia en el mosto. Los sabores y olores a frutas que otorga al producto final se deben a su incapacidad de descarboxilar el ácido cumárico, ácido cinámico o ácido ferúlico, permitiendo que estos se expresen (Michel et al., 2016).

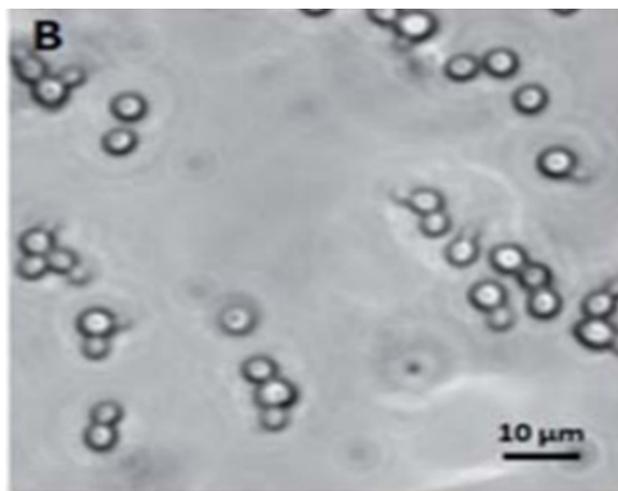


Figura 4. *T. delbrueckii* JK08. Adaptado de Characterization and application of *Torulaspóra delbrueckii* JK08 and *Pichia anomala* JK04 as baker's yeasts. Por Kang, 2015.

Kluyveromyces marxianus Pichia kluyveri

Es una de las levaduras más versátiles ya que su capacidad fermentativa es similar al género *Saccharomyces* y esto favorece su uso para la producción tanto de bebidas alcohólicas como de alimentos. Se le considera un organismo termotolerante dado que puede trabajar en temperaturas mayores a 45 °C, puede metabolizar una amplia gama de fuentes de carbono, incluyendo glúcidos menos convencionales como lactosa, xilosa, arabinosa e inulina y esto se mantiene hasta los 45°C (Pilap et al., 2018), Puede participar de fermentaciones con bajas concentraciones de azúcares y expresa enzimas como la inulinasa que produce fructosa y endopoligalacturonasa, la cual interactúa con los frutos reduciendo su viscosidad. Siendo su principal aporte a la cerveza de carácter nutricional debido a las proteínas que genera (Casas Acevedo et al., 2015).

Es la más estudiada y la única disponible comercialmente en el mercado de la levadura en la actualidad, aunque es una levadura no tan versátil, ya que solo es capaz de fermentar la glucosa del mosto cervecero, sin embargo, el interés en esta es debido a que produce altas concentraciones de compuestos de éster, entre los que destacan el acetato de isoamilo, que genera aromas a plátano, y acetato de etilo (Basso et al., 2016), y en vino mejora la composición de compuestos aromáticos como tioles, terpenos y ésteres afrutados (Vicente et al., 2021). Se ha demostrado también que es una levadura productora de cervezas con bajo contenido de alcohol y sin alcohol (De Souza et al., 2019), a pesar de esto, puede asemejar el perfil de una cerveza estándar de alrededor de 4-6 % de alcohol y conservar los sabores otorgados por la levadura (Cerveceros de México, 2017).

Candida tropicalis

Un caso interesante es el de *Candida tropicalis*, un microorganismo considerado como un patógeno oportunista, lo cual es un factor que considerar si se desea usar en la producción de cerveza. Esta levadura puede fermentar glucosa, sacarosa y maltosa, algunos de los principales glúcidos que están presentes en el mosto (Michel, 2016). A través de fermentaciones experimentales realizadas con esta levadura se encontró que es capaz de realizar el proceso a temperaturas altas y con un pH de alrededor de 5 (N'Guessan et al., 2010). En comparación con otras levaduras No-Saccharomyces, *C. tropicalis* no produce compuestos que confieran aroma y sabor a la cerveza o lo hace en muy bajas cantidades, además no genera gran volumen de etanol (Allou-se-Boraud et al., 2015).

Actualmente se han descubierto un gran número de levaduras no convencionales que destacan por los metabolitos que producen y su gran capacidad de adaptación al medio. En la tabla 1 se enlistan las levaduras No-Saccharomyces descritas hasta el momento, así como algunas de las propiedades que las hacen de interés para la producción de bebidas alcohólicas.

Levaduras	Propiedades que aporta
<i>Torulaspota delbrueckii</i>	Reduce las concentraciones de ésteres etílicos comunes y aumenta la concentración de lactonas y ésteres menos conocidos, da como resultado aroma a frutos secos / pastelería.
<i>Cyberindnera saturnus</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> , <i>Wickerhamomyces subellipulosus</i> , <i>Wickerhamomyces anomalus</i>	Acetato de amilo, acetato de etilo, acetato de isobutilo generación de aroma y sabor a plátano, pera, frutas, solvente. Producen cerveza baja en calorías
<i>Pichia anomala</i> , <i>Pichia fermentans</i> , <i>Pichia kudriavzevii</i> , y <i>Hanseniaspora quilliermondii</i> , <i>Pichia kluyveri</i>	Producción de un perfil de sabor específico, principalmente enriquecido en ésteres volátiles y / o alcoholes superiores. Niveles altos de acetato de etilo y bajos de acetato de isoamilo. Producción de cantidades muy altas de acetato de isoamilo y acetato de etilo, puede mejorar el perfil frutal (plátano)
<i>Kluyveromyces thermotolerans</i> , <i>Metschnikowia pulcherrima</i>	Ayudan a aumentar las concentraciones de tioles volátiles deseables en bebidas alcohólicas Mayor concentración de ésteres etílicos, terpenos y alcoholes superiores. Acidez volátil reducida.
<i>Brettanomyces ssp.</i>	Producción de ácidos grasos caprílico y capríco y sus ésteres etílicos
<i>Starmerella bacillaris</i>	Mejoramiento de sabores: bergamota, violeta y rosa de roca, notas frutales con cítricas
<i>Zygorulaspota florentina</i>	Producción significativa de butirato de etilo, acetato de etilo y aumento significativo en algunos contenidos de alcoholes superiores
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	Potencialización del sabor por la actividad β -glucosidasa que tiene preferencia catalítica por los glicósidos 'afrutados y florales' de compuestos bencénicos y norisoprenoides C13.
<i>Issatchenkia orientalis</i> , <i>Issatchenkia terricola</i>	Producción de altos niveles de β -glucosidasa, enzima que catalizan la liberación de los aglicones activos aromáticos volátiles. Perfiles de sabor más intenso
<i>Candida magnolia</i> , <i>Candida inconspicua</i> , <i>Candida melibiosica</i> , <i>Candida humilis</i> , <i>Candida kuwiiensis</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>Candida etchellsii</i> , <i>Candida zemplinina</i> , <i>Candida diversa</i>	Mayor concentración de acetato de etilo, terpenos y glicerol que proporciona un sabor dulce. Resultados de éster mixtos. Mayor complejidad aromática en general. Carácter fructofílico

Tabla 1.- Propiedades organolépticas de levaduras No- Saccharomyces. Recopilación propia (Borren et al., 2020, Canónico et al., 2019, Holt et al., 2018, Hu et al., 2016, Teixeira et al., 2015)

El potencial de levaduras no convencionales en México

La diversidad de levaduras en una región en específico se influencia por los recursos cercanos que los microorganismos diferentes o similares *Saccharomyces* (No-*Saccharomyces*) aprovechan, también están determinadas por el clima y demás condiciones que favorecen su estancia en un lugar (Borren et al., 2020). Partiendo de lo antes mencionado, sabemos que México cuenta con gran potencial que nos ofrece sus recursos naturales, la diversidad biológica de estos microorganismos es amplia y apenas estamos fijando nuestras metas en ellas, por el rumbo de las tendencias en producción de cerveza las levaduras No-*Saccharomyces* requieren más interés para aprovechar los beneficios que involucran. La participación de diversos microorganismos logra hacer de una bebida una experiencia única, podemos aprender de los estudios mencionados y visualizar el campo de oportunidad en la investigación para el ámbito cervecero, el nuevo conocimiento de los microorganismos No-*Saccharomyces* y se puede emplear para aprovechar sus características, y aumentar la diversidad y complejidad de olores y sabores que tanto se demanda en la actualidad, para el desarrollo bebidas alcohólicas propias de país.

Investigaciones realizadas en México

La búsqueda de especies No-Saccharomyces arrojaron una mayor evidencia de sus virtudes, Santiago Urbina y colaboradores 2016 reportaron la identificación de levaduras en la fermentación savia extraída de la palma de coyol (*Acrocomia aculeata*) para realizar la taberna el cual es un vino tradicional de Chiapas, las levaduras encontradas fueron: *Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora guilliermondii*, *Candida tropicalis*, *Candida intermedia*, *Meyerozyma guilliermondii*, *Kazachstania unispora*, *Kazachstania exigua*, *Pichia kluyveri*, *Pichia kudriavzevii*, *Candida akabanensis*, *Candida blattae* y *Trichosporon moniliforme*, de las cuales *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia kudriavzevii* y *Hanseniaspora guilliermondii* se encontraban en mayor medida, concluyendo que las especies No-Saccharomyces, proveen de su carácter a esta bebida y cada una tiene una razón de ser y lleva a cabo una función específica en el proceso de la bebida (Santiago Urbina et al., 2016).

Por otro lado, en los destilados como la bacanora, bebida regional elaborada en el Estado de Sonora, México, realizada de manera artesanal a partir de *Agave angustifolia* Haw (Álvarez Ainza et al., 2009), en los últimos años se ha buscado innovar por medio de levaduras no convencionales imitando el camino de los vinos que recientemente le abre paso con mucha cautela a estos microorganismos en sus fermentaciones (Padilla et al., 2016).

Conclusión

Generalmente las levaduras No- *Saccharomyces* que se reportan para la elaboración de cerveza, así como en los trabajos de investigación son descartadas por constituir promotoras débiles de la fermentación. Las levaduras diferentes a *Saccharomyces* que dan gran aporte a la cerveza artesanal, son especies que merecen atención en el ámbito de investigación, manteniendo la visión en la innovación de este producto, ya que representa un gran interés comercial tanto en México como en el mundo. En el marco global, es importante integrar, mantener y explotar colecciones de levaduras No- *Saccharomyces* endémicas para la industria cervecera.

Los autores declaramos que no existen conflictos de interés.

Referencias

- Allouse-Boraud, W. A. M., N'Guessan, F. K., Djeni, T., N' D., Hiligsmann, S., M., D. K., and Delvigne, F. (2015) Fermentation profile of *Saccharomyces cerevisiae* and *Candida tropicalis* as starter cultures on barley malt medium, *J. Food Sci. Technol.* 8, 5236–5242.
- Alsammar, H., & Delneri, D. (2020). An update on the diversity, ecology and biogeography of the *Saccharomyces* genus. *FEMS yeast research*, 20(3), foaa013. <https://doi.org/10.1093/femsyr/foaa013>
- Álvarez Ainsa Maritza Lizeth, Zamora Quiñonez Karina Alejandra y Acedo Félix Evelia. (2009). Perspectivas para el uso de levaduras nativas durante la elaboración de bacanora. Vol. 52, Nos. 1-2 January - March 2009 April - June 2009 pp. 58 – 63.
- Baker, E., Wang, B., Bellora, N., Peris, D., Hulfactor, A. B., Koshalek, J. A., Adams, M., Libkind, D., & Hittinger, C. T. (2015). The Genome Sequence of *Saccharomyces eubayanus* and the Domestication of Lager-Brewing Yeasts. *Molecular biology and evolution*, 32(11), 2818–2831. <https://doi.org/10.1093/molbev/msv168>
- Basso, R. F., Alcarde, A. R., & Portugal, C. B. (2016). Could non-*Saccharomyces* yeasts contribute on innovative brewing fermentations?. *Food Research International*, 86, 112-120.
- Bokulich, N. A., & Bamforth, C. W. (2013). The microbiology of malting and brewing. *Microbiology and molecular biology reviews: MMBR*, 77(2), 157–172. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00060-12>
- Bolat, I., Romagnoli, G., Zhu, F., Pronk, J. T., & Daran, J. M. (2013). Functional analysis and transcriptional regulation of two orthologs of ARO10, encoding broad-substrate-specificity 2-oxo-acid decarboxylases, in the brewing yeast *Saccharomyces pastorianus* CBS1483. *FEMS yeast research*, 13(6), 505–517. <https://doi.org/10.1111/1567-1364.12051>
- Borren, E., & Tian, B. (2020). The Important Contribution of Non-*Saccharomyces* Yeasts to the Aroma Complexity of Wine: A Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(1), 13. <https://doi.org/10.3390/foods10010013>
- Canonico, L., Galli, E., Ciani, E., Comitini, F., & Ciani, M. (2019). Exploitation of Three Non-Conventional Yeast Species in the Brewing Process. *Microorganisms*, 7(1), 11. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7010011>
- Casas Acevedo, A., Aguilar González, C. N., De la Garza Toledo, H., Morlett Chávez, J. A., Montet, D., & Rodríguez Herrera, R. (2015). Importancia de las levaduras no-*Saccharomyces* durante la fermentación de bebidas alcohólicas. *Investigación y ciencia de la universidad autónoma de Aguascalientes*, (65), 73-79.
- Cerveceros de México. (2017). Estado de la agroindustria cervecera en México. <https://cervecerosdemexico.com/estado-de-la-industria/>.
- Dashko, S., Zhou, N., Compagno, C., & Piškur, J. (2014). Why, when, and how did yeast evolve alcoholic fermentation? *FEMS yeast research*, 14(6), 826–832. <https://doi.org/10.1111/1567-1364.12161>
- De Souza Varize, C., Christofoleti-Furlan, R. M., Muynarsk, E. D. S. M., de Melo Pereira, G. V., Lopes, L. D., & Basso, L. C. (2019). Biotechnological applications of nonconventional yeasts. In *Yeasts in Biotechnology*. IntechOpen.

Gallone, B., Mertens, S., Gordon, J. L., Maere, S., Verstrepen, K. J., & Steensels, J. (2018). Origins, evolution, domestication, and diversity of *Saccharomyces* beer yeasts. *Current opinion in biotechnology*, 49, 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.08.005>

Gallone, B., Steensels, J., Prahl, T., Soriaga, L., Saels, V., Herrera-Malaver, B., Merlevede, A., Roncoroni, M., Voordeckers, K., Miraglia, L., Teiling, C., Steffy, B., Taylor, M., Schwartz, A., Richardson, T., White, C., Baele, G., Maere, S., & Verstrepen, K. J. (2016). Domestication and Divergence of *Saccharomyces cerevisiae* Beer Yeasts. *Cell*, 166(6), 1397–1410.e16. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.020>

Holt, S., Mukherjee, V., Lievens, B., Verstrepen, K. J., & Thevelein, J. M. (2018). Bioflavoring by non-conventional yeasts in sequential beer fermentations. *Food microbiology*, 72, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.11.008>

Hu, K., Zhu, X. L., Mu, H., Ma, Y., Ullah, N., & Tao, Y. S. (2016). A novel extracellular glycosidase activity from *Rhodotorula mucilaginosa*: its application potential in wine aroma enhancement. *Letters in applied microbiology*, 62(2), 169–176. <https://doi.org/10.1111/lam.12527>

Lambrechts M., Pretorius I. (2000). Yeast and its importance to wine aroma-a review. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* doi: 10.21548/21-1-3560.

Maicas S. (2020). The Role of Yeasts in Fermentation Processes. *Microorganisms*, 8(8), 1142. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081142>

Michel M., Kopecká, J., Meier-Dörnberg, T., Zarnkow, M., Jacob, F., & Hutzler, M. (2016). Screening for new brewing yeasts in the non-*Saccharomyces* sector with *Torulaspora delbrueckii* as model. *Yeast*, 33(4), 129-144.
Molinet, J., & Cubillos, F. A. (2020). Wild Yeast for the Future: Exploring the Use of Wild Strains for Wine and Beer Fermentation. *Frontiers in genetics*, 11, 589350. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.589350>

N'Guessan, F. K., N'Dri, D. Y., Camara, F., and Djè, M. K. (2010) *Saccharomyces cerevisiae* and *Candida tropicalis* as starter cultures for the alcoholic fermentation of tchapalo, a traditional sorghum beer, *World J. Microbiol. Biotechnol.* 26, 693–699.

Narziss, L. (1984). The German beer law. *Journal of the Institute of Brewing*, 90(6), 351-358.

Padilla, B., Gil, J. V., & Manzanares, P. (2016). Past and Future of Non-*Saccharomyces* Yeasts: From Spoilage Microorganisms to Biotechnological Tools for Improving Wine Aroma Complexity. *Frontiers in microbiology*, 7, 411. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00411>

Pilap, W., Thanonkeo, S., Klanrit, P., & Thanonkeo, P. (2018). The potential of the newly isolated thermotolerant *Kluyveromyces marxianus* for high-temperature ethanol production using sweet sorghum juice. *3 Biotech*, 8(2), 126. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1161-y>

Pires Eduardo y Tomás Brányik. (2015). *Biochemistry of Beer Fermentation*. SpringerBriefs in Biochemistry and Molecular Biology. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. DOI 10.1007/978-3-319-15189-2

Santiago Urbina Jorge A., Nolasco Cancino Hipócrates, Hernández Osorio Luis A., Ruiz Terán Francisco. (2016). Población de levaduras asociadas a la fermentación de taberna. Meeting of Biotechnology & Bioengineering 2016. ISSN: 2617-3409, <http://www.bio.edu.mx/smbbo> 33 IO05.

Steensels, J., Daenen, L., Malcorps, P., Derdelinckx, G., Verachtert, H., & Verstrepen, K. J. (2015). Brettanomyces yeasts—From spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations. *International journal of food microbiology*, 206, 24-38.

Suárez-Machín C, Garrido-Carralero NA. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. *Revisión bibliográfica. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar.*

Teixeira, A., Caldeira, I., & Duarte, F. L. (2015). Molecular and oenological characterization of Touriga Nacional non-*Saccharomyces* yeasts. *Journal of applied microbiology*, 118(3), 658–671. <https://doi.org/10.1111/jam.12727>

Vicente, J., Calderón, F., Santos, A., Marquina, D., & Benito, S. (2021). High Potential of *Pichia kluyveri* and Other *Pichia* Species in Wine Technology. *International journal of molecular sciences*, 22(3), 1196. <https://doi.org/10.3390/ijms22031196>