

Aplicación industrial de levaduras nativas para la producción de cervezas artesanales

Industrial application of native yeasts for the production of craft beers

Aplicação industrial de leveduras nativas para a produção de cervejas artesanais

 **NARA MANNISE** (1)

 **CECILIA SCHINCA** (1)

 **EDUARDO BOIDO** (1)

 **FRANCISCO CARRAU** (1)

 **KARINA MEDINA** (1)

(1) Área de Enología y Biotecnología de Fermentaciones, Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Química, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

RECIBIDO: 12/11/2021 → APROBADO: 15/7/2022 ✉ kmedina@fq.edu.uy

RESUMEN

Se realizó la aplicación y la caracterización cervecera industrial de dos cepas nativas de origen enológico pertenecientes a la especie *Saccharomyces cerevisiae* (Sc 00/30 y Sc 00/35), previamente seleccionadas para cerveza a escala de laboratorio, por su capacidad fermentativa, su actividad β -glicosidasa, y sus buenas características sensoriales en mostos cerveceros. Se llevaron a cabo elaboraciones de cerveza del estilo Belgian Specialty Ale en las instalaciones de una cervecería artesanal. Las inoculaciones se realizaron en mostos de cebada malteada dispuestos en barricas de roble de 225 litros. Los datos fisicoquímicos y sensoriales obtenidos están dentro de los rangos esperados para las cervezas de este estilo, destacándose la cepa Sc 00/30 por su menor valor de acidez volátil y mayor complejidad sensorial, con una diversidad de notas frutales, fundamentalmente manzana y pera. Los descriptores sensoriales encontrados vuelven a estas cepas interesantes para la elaboración de cervezas de estilos belgas (Belgian Golden Strong Ale), de trigo (German Wheat Beer y Weissbier), ahumadas (Rachbier) y frutales. Las pruebas a escala piloto reprodujeron los resultados obtenidos previamente en el laboratorio, por lo que la utilización de estas cepas *Saccharomyces cerevisiae* nativas provenientes de la industria enológica constituyen una herramienta de diferenciación productiva que disminuye la uniformización de sabores y aromas producido por las levaduras comerciales, y que podría posibilitar a futuro la obtención de cervezas con identidad uruguaya.

Palabras clave: *Saccharomyces cerevisiae*, fermentación, aromas, caracterización sensorial, escalado industrial.

ABSTRACT

Two native wine *Saccharomyces cerevisiae* strains (Sc 00/30 and Sc 00/35), previously selected at brewing laboratory scale, for their fermentative capacity, β -glycosidase activity, and good sensory characteristics in brewing musts, were applied and characterized for industrial brewing. Belgian Specialty Ale style beers were brewed at a craft brewery. Inoculations were carried out on malted barley musts in 225-litre oak barrels. The physicochemical and sensory data obtained are within the expected ranges for beers of this style, with the Sc 00/30 strain standing out for its lower volatile acidity value and improved sensory complexity, with a greater diversity of fruity notes, mainly apple and pear. The sensory descriptors found make them interesting strains for the production of Belgian style beers (Belgian Golden Strong Ale), wheat beers (German Wheat Beer, Weissbier), smoked beers (Rachbier) and fruit beers. The pilot scale tests reproduced the results obtained in the laboratory, so that the use of wine native *Saccharomyces cerevisiae* strains provide a brewing differentiation factor which decreases the standardization of flavours and aromas produced by commercial yeasts, making possible the obtention of beers with a Uruguayan identity in the future.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*, fermentation, aromas, sensory profile, industrial scale-up.

RESUMO

Duas estirpes nativas de *Saccharomyces cerevisiae* (Sc 00/30 e Sc 00/35) de origem enológica, previamente seleccionadas para cerveja à escala laboratorial, pela sua capacidade fermentativa, actividade β -glicosidase e boas características sensoriais nos mostos cervejeiros, foram aplicadas e caracterizadas para o fabrico de cerveja industrial. Cervejas belgas estilo Ale da especialidade foram fabricadas numa cervejaria artesanal. Inoculações foram realizadas em mostos de cevada maltada em barris de carvalho de 225 litros. Os dados físico-químicos e sensoriais obtidos estão dentro das gamas esperadas para cervejas deste estilo, destacando-se a estirpe Sc 00/30 pelo seu menor valor de acidez volátil e maior complexidade sensorial, com uma maior diversidade de notas frutadas, principalmente de maçã e pêra. Os descritores sensoriais encontrados tornam-nos cepas interessantes para a produção de cervejas estilo belga (Golden Strong Ale belga), cervejas de trigo (cerveja de trigo alemã, Weissbier), cervejas fumadas (Rachbier) e cervejas de fruta. Os testes à escala piloto reproduziram os resultados obtidos no laboratório, de modo que a utilização destas estirpes nativas de *Saccharomyces cerevisiae* da industria enológica constitui um instrumento de diferenciação produtiva que diminui a uniformidade dos sabores e aromas produzidos pelas leveduras comerciais, e que permitirá obter no futuro cervejas com uma identidade uruguaia.

Palavras-chave: *Saccharomyces cerevisiae*, fermentação, aromas, caracterização sensorial, escalada industrial.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, *Saccharomyces pastorianus* o *Saccharomyces carlsbergensis*, un híbrido entre *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces eubayanus* (Martini y Martini, 1987), ha sido la levadura utilizada para fermentaciones de cervezas tipo Lager, las cuales representan casi el 90% de las cervezas disponibles en el mercado internacional (Varela, 2016). Por su parte, *Saccharomyces cerevisiae* es la levadura más comúnmente utilizada para la elaboración de cervezas tipo Ale, las que representan el 5% de la oferta mundial (Varela, 2016). El porcentaje restante abarca a las cervezas obtenidas por fermentaciones espontáneas y cultivos mixtos entre levaduras nativas y bacterias (Petruzzi, et al., 2016). Tanto para cervezas Lager como Ale, *Saccharomyces* es el género tradicional de la industria cervecera fundamentalmente por su eficiente capacidad fermentativa, y su alta tolerancia al etanol y a factores medioambientales adversos (Aslankoohi, et al., 2016).

En este sentido, durante la fermentación alcohólica las levaduras transforman los azúcares del mosto en etanol y anhídrido carbónico, produciendo y/o modificando una gran diversidad de compuestos aromáticos presentes en la malta y el lúpulo. Estos compuestos determinan en gran medida la calidad cervecera final, contribuyendo al perfil del aroma y el sabor. Los grupos de compuestos volátiles predominantes en las cervezas son los alcoholes superiores (Pires, et al., 2014), ésteres (Verstrepen, et al., 2003), aldehídos (Vanderhaegen, et al., 2003) y ácidos orgánicos (Ravasio, et al., 2018). La producción de la mayoría de ellos, por parte de las levaduras autóctonas, constituye gran parte del potencial microbiológico cervecero a desarrollar para enriquecer los productos finales de la fermentación (Pires, et al., 2014; Pretorius y Lambrechts, 2000).

Las fermentaciones que ocurren sin inocular ningún microorganismo son conocidas como fermentaciones naturales o espontáneas. Este proceso involucra la participación de diferentes levaduras *Saccharomyces* y no-*Saccharomyces* nativas. Este tipo de levaduras son mencionadas como nativas, indígenas o salvajes principalmente en procesos que no son estériles, como ocurre en la producción de cerveza, vino o sidra (Varela, 2016; Varela, et al., 2009).

Las levaduras nativas, tanto de *Saccharomyces* como de otras especies, se han ido retirando de diferentes entornos alrededor del mundo (Cubillos, et al., 2019). Antiguamente eran consideradas por los cerveceros como levaduras “no deseadas” (Hough, 1990; Kunze, 2006), pero este concepto ha ido cambiando con el tiempo, fundamentalmente en los últimos 5 años. Existe abundante literatura respecto a los cambios positivos o ventajas que se han obtenido por el uso de levaduras nativas en la elaboración de vinos, y en el último tiempo han aumentado las investigaciones relacionadas a la utilización de levaduras nativas en cervezas (Pires, et al., 2014; Michel, et al., 2016; Basso, et al., 2016; Varela, 2016; Burini, et al., 2021).

Por otro lado, las fermentaciones con levaduras comerciales son cada vez menos buscadas por las cervecerías artesanales debido a que generan productos uniformes carentes de innovación, produciendo una simplificación de los procesos y estandarización sensorial de las cervezas obtenidas (Molinet y Cubillos, 2020). Esto último es justamente lo que los consumidores actuales tienden a rechazar ya que buscan la aparición de nuevos aromas y sabores que complejicen las bebidas fermentadas y generen nuevas experiencias sensoriales (Gibson, et al., 2020; Burini, et al., 2021).

Vale destacar que tanto *Saccharomyces* como no-*Saccharomyces* excretan enzimas extracelulares (Ganga y Martínez, 2003; Jolly, et al., 2014), las cuales pueden llegar a generar un impacto sensorial sobre el aroma y el sabor. Por ejemplo, para vinos se han reportado varias especies de levaduras con una importante contribución en la composición aromática del producto final debido a la liberación de compuestos aromáticos glicosidados al medio (Pérez, et al., 2011; Swangkeaw, et al., 2009). Estas enzimas interactúan con los precursores aromáticos del mosto, volviéndolos activos aromáticamente e impactando en el aroma y sabor de las bebidas fermentadas. Por esta razón, entre otras, las levaduras pueden generar impacto en el llamado fenotipo del aroma y sabor, lo que constituye un factor importante y diferencial a la hora de seleccionar levaduras (Medina, et al. 2013; Carrau, et al., 2015).

En este contexto, el aislamiento, la selección y la caracterización aromática de cepas nativas de levaduras resulta una herramienta clave para el desarrollo de cervezas innovadoras que escapen al portafolio tradicional.

Basados en la biodiversidad de levaduras nativas y en lo expuesto anteriormente, se realizó la aplicación y caracterización industrial a escala piloto de dos cepas nativas *Saccharomyces cerevisiae* (Sc 00/30 y Sc 00/35), previamente seleccionadas a escala de laboratorio, por su capacidad fermentativa, elevada actividad β -glicosidasa y buenas características sensoriales (Pérez, et al., 2011; Larroque, 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepas de levaduras

Se realizaron elaboraciones por duplicado en las instalaciones de una cervecería artesanal nacional, inoculándose las cepas *Saccharomyces cerevisiae* Sc 00/30 y Sc 00/35, ambas aisladas de uvas previamente seleccionadas para vinos (Pérez, et al., 2011) y posteriormente caracterizadas a escala de laboratorio para cervezas (Larroque, 2020). Fueron mantenidas en medio de cultivo YEPM (10 g/L de extracto de levadura, 10 g/L de peptona, 20 g/L de maltosa y 20 g/L de agar) y conservadas en un freezer a -75 °C, con solución de glicerol al 20%.

Elaboración a escala piloto

Las elaboraciones se llevaron adelante en una cervecería artesanal de reconocida trayectoria en Uruguay. Se realizaron por duplicado en mostos de cebada malteada dispuestos en barricas de roble americano, con un volumen de producción de 225 litros. Se utilizó un tamaño de inóculo de 1×10^7 cel/mL. El estilo de cerveza elaborado fue Belgian Specialty Ale por tratarse de un estilo que permite una mayor innovación, ya sea en el proceso productivo y/o en las materias primas, de acuerdo con la guía de estilos Beer Judge Certification Program (BJCP) (Beer Judge Certification Program, 2015).

Análisis fisicoquímico

Para cada una de las muestras se determinó el grado alcohólico, la acidez total, la acidez volátil y el pH, de acuerdo con las técnicas analíticas de la European Brewery Convention (European Brewery Convention, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d).

Análisis sensorial

Una vez finalizado el proceso de fermentación y de maduración de las cervezas, se procedió a la realización del análisis sensorial. Se llevó a cabo con un panel de jueces nacionales certificados por BJCP, quienes realizaron el perfil sensorial descriptivo completo de las muestras de acuerdo con los procedimientos de Analytica EBC (European Brewery Convention, 2019e).

Análisis estadístico

Los datos fisicoquímicos obtenidos se procesaron por análisis de varianza. El análisis estadístico se realizó utilizando el software Statistica (StatSoft Inc., 2004).

RESULTADOS

Los resultados correspondientes al seguimiento y a la evolución de la fermentación alcohólica se muestran en la Figura 1, donde se observa la disminución de la densidad del mosto conforme avanza la fermentación alcohólica. En la cepa Sc 00/30 se registró una disminución de la densidad similar a lo largo de los siete días. Sin embargo, el comportamiento de la cepa Sc 00/35 fue diferente, presentando una caída abrupta entre los días 2 y 3, pasando de un valor de 1058 a otro de 1031. El valor luego se mantuvo relativamente estable con una pequeña disminución a 1025 en el día 4, cuando continuó con igual comportamiento que la cepa Sc 00/30. Ambas fermentaciones comenzaron con una densidad inicial de 1075 y alcanzaron una densidad final de $1014,5 \pm 0,5$ en Sc 00/30 y de $1015 \pm 1,0$ en Sc 00/35. Esto representó una atenuación del 66% y 67% respectivamente.

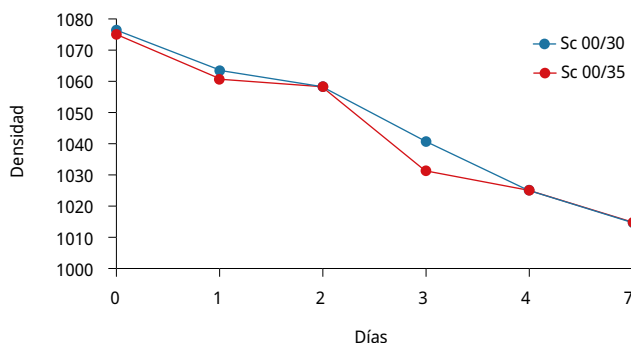


FIGURA 1. Seguimiento de la fermentación alcohólica.

En cuanto a los datos fisicoquímicos básicos de control (Tabla 1), no se observó una diferencia significativa entre las cepas para ninguno de los parámetros estudiados. No obstante, la cerveza elaborada con la cepa Sc 00/35 presentó valores mayores de acidez, fundamentalmente en el parámetro de acidez volátil, lo que también se vio reflejado en una disminución del pH comparativamente con la cepa Sc 00/30.

TABLA 1. Datos fisicoquímicos básicos de control para cada una de las cervezas obtenidas.

	Sc 00/30	Sc 00/35
Etanol (% v/v)	5,55 ± 0,05	5,60 ± 0,20
Acidez total (% m/m ácido acético)	0,13 ± 0,00	0,15 ± 0,01
Acidez volátil (% m/m ácido acético)	0,046 ± 0,001	0,064 ± 0,005
pH	4,36 ± 0,08	4,25 ± 0,03

En lo que respecta a la evaluación sensorial (Figura 2), en ambas cepas se encontraron aromas frutales, destacándose en la cepa Sc 00/30 notas descriptivas de manzana y pera, y en Sc 00/35 compota de manzana. En ambos casos, los evaluadores detectaron descriptores como madera, vainilla y caramelo, los cuales seguramente provienen de las barricas de roble.

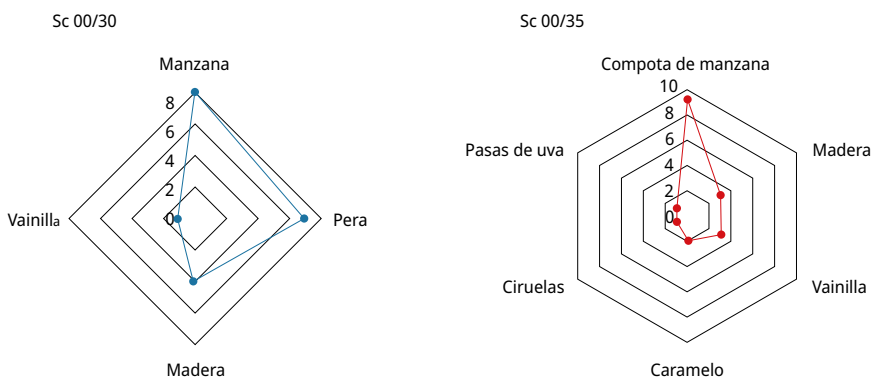


FIGURA 2. Evaluación sensorial de las cervezas obtenidas a escala industrial.

DISCUSIÓN

Los datos obtenidos están dentro de los rangos esperados para las cervezas del estilo Belgian Specialty Ale (Beer Judge Certification Program, 2015), destacándose la cepa Sc 00/30 por su menor valor de acidez volátil y mayor complejidad sensorial. Estos resultados confirmaron los reportes recientes de Postigo y otros (2021), demostrando la capacidad de las cepas *Saccharomyces cerevisiae* de origen enológico para su utilización con fines cerveceros.

Los descriptores frutales encontrados en este estudio confirmaron algunos de los resultados obtenidos por Larroque y otros (2021) a escala de laboratorio, donde se habían reportado descriptores frutales para la cepa Sc 00/30, y frutales y caramelo para la cepa Sc 00/35. En dicho trabajo previo de nuestro grupo también se habían reportado compuestos tales como acetato de isoamil, el cual se asocia a descriptores frutales (banana), y acetato-2-feniletilo, asociado con descriptores de manzana, rosa y miel. También se había reportado para ambas cepas la producción de octanoato de etilo con descriptores frutales y dulces y una concentración mayor a su umbral de percepción en cerveza (2 µg/L) (Meilgaard, 1975), encontrándose un valor de 95 UA (unidades de aroma) (Larroque, 2020).

Los compuestos mencionados vuelven a estas dos cepas interesantes para la elaboración de cervezas de estilos belgas (Belgian Golden Strong Ale), de trigo (German Wheat Beer y Weissbier), ahumadas (Rachbier) y frutales.

Las pruebas a escala piloto reprodujeron los resultados obtenidos en el laboratorio, por lo que es posible concluir que la utilización de las cepas *Saccharomyces cerevisiae* nativas constituye una herramienta de diferenciación productiva que según se estima permitirá una futura obtención de cervezas con identidad nacional. Será necesario continuar profundizando en el estudio de la dinámica poblacional a escala industrial de la cepa Sc 00/30, de manera de evaluar la prevalencia poblacional y su protagonismo fermentativo dado el ambiente de alta diversidad que existe a nivel de las cervecerías, producto de la microflora comercial a nivel de fábrica (Cocolin, et al., 2011; Canonico, et al., 2014). En línea con lo anterior, también será necesario un abordaje repetitivo de la cepa Sc 00/30 a escala productiva con miras a su posible domesticación industrial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del proyecto CSIC 1506 y PEDECIBA. Por otro lado, agradecen a la cervecería Malafama por ceder sus instalaciones para la realización del estudio.

REFERENCIAS

- Aslankoohi, E., Herrera-Malaver, B., Rezaei, M.N., Steensels, J., Courtin, C.M. y Verstrepen, K.J., 2016. Non-conventional yeast strains increase the aroma complexity of bread. En: *PLoS One*, 11, pp.1–18. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165126>
- Basso, R.F., Alcarde, A.R. y Portugal, C.B., 2016. Could non-*Saccharomyces* yeasts contribute on innovative brewing fermentations? En: *Food Res. Int.*, 86, pp.112–120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.002>
- Beer Judge Certification Program, 2015. *Guía de estilos de cerveza 2015* [En línea]. Minnesota: BJCP. [Consulta: 12 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.thebeertimes.com/wp-content/uploads/2017/08/2015_Guidelines_Beer_Espa%C3%B1ol-final.pdf

- Burini, J., Eizaguirre, J.I., Loviso, C. y Libkind, D., 2021. Non-conventional yeasts as tools for innovation and differentiation in brewing. En: *OSF Preprints*.
DOI: <https://doi.org/10.31219/osf.io/tn3c5>
- Canonico, L., Comitini, F. y Ciani, M., 2014. Dominance and influence of selected *Saccharomyces cerevisiae* strains on the analytical profile of craft beer refermentation. En: *J. Inst. Brew.*, 20(3), pp.262-267. DOI: <https://doi.org/10.1002/jib.133>
- Carrau, F., Gaggero, C. y Aguilar, P.S., 2015. Yeast diversity and native vigor for flavor phenotypes. En: *Trends Biotechnol.*, 33(3), pp.148-154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2014.12.009>
- Cocolin, L., Campolongo, S., Gorra, R., Rolle, L. y Rantsiou, K., 2011. *Saccharomyces cerevisiae* biodiversity during the brewing process of an artisanal beer: A preliminary study. En: *J. Inst. Brew.*, 117(3), pp.352-358. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00479.x>
- Cubillos, F.A., Gibson, B., Grijalva-Vallejos, N., Krogerus, K. y Nikulin, J., 2019. Bioprospecting for brewers: Exploiting natural diversity for naturally diverse beers. En: *Yeast*, 36(6), pp.383-398. DOI: <https://doi.org/10.1002/yea.3380>
- European Brewery Convention, 2019a. *Analytica-EBC* [En línea]. Grundwerk: Hans Carl Getranke. Método 9.2.1 - Alcohol in Beer by Distillation. [Consulta: 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://brewup.eu/ebc-analytica/>
- European Brewery Convention, 2019b. *Analytica-EBC* [En línea]. Grundwerk: Hans Carl Getranke. Método 9.34 - Lactic Acid in Beer: Enzymatic Method. [Consulta: 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://brewup.eu/ebc-analytica/>
- European Brewery Convention, 2019c. *Analytica-EBC* [En línea]. Grundwerk: Hans Carl Getranke. Método 9.2.5 - Correction of Volatile Acidity. [Consulta: 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://brewup.eu/ebc-analytica/>
- European Brewery Convention, 2019d. *Analytica-EBC* [En línea]. Grundwerk: Hans Carl Getranke. Método 9.35 - pH of Beer. [Consulta: 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://brewup.eu/ebc-analytica/>
- European Brewery Convention, 2019e. *Analytica-EBC* [En línea]. Grundwerk: Hans Carl Getranke. Método 13.10 Sensory Analysis: Description Analysis. [Consulta: 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://brewup.eu/ebc-analytica/>
- Ganga, M.A. y Martínez, C., 2003. Effect of wine yeast monoculture practice on the biodiversity of non-*Saccharomyces* yeasts. En: *J. App. Microbiol.*, 96(1), pp.76-83. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02080.x>
- Gibson, B., Dahabieh, M., Krogerus, K., Jouhten, P., Magalhães, F., Pereira, R. y Vidgren, V., 2020. Adaptive laboratory evolution of ale and lager yeasts for improved brewing efficiency and beer quality. En: *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 11(1), pp.23-44. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051715>
- Hough, J.S., 1990. *Biología de la cerveza y de la malta*. Zaragoza: Editorial ACRIBIA, S.A
- Jolly, N.P., Varela, C. y Pretorius, I.S., 2014. Not your ordinary yeast: non-*Saccharomyces* yeasts in wine production uncovered. En: *FEMS Yeast Res.*, 14(2), pp. 215-237. DOI: <https://doi.org/10.1111/1567-1364.12111>
- Kunze, W., 2006. *Tecnología para cerveceros y malteros*. Berlin: VLB Berlin. ISBN: 978-3-921690-54-3

- Larroque, M.N., 2020. *Selección de levaduras nativas para la elaboración de cervezas artesanales*. Montevideo: Facultad de Química. (Tesis de Doctorado).
- Larroque, M., Carrau, F., Fariña, L., Boido, E., Dellacassa, E. y Medina, K., 2021. Effect of *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* native yeasts on beer aroma compounds. En: *International J. Food Microbiol.*, 337, 108953. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108953>
- Martini, A.V. y Martini, A., 1987. Three newly delimited species of *Saccharomyces sensu stricto*. A Van Leeuw. En: *J. Microb.*, 53, pp.77-84. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00419503>
- Medina, K., Boido, E., Fariña, L., Gioia, O., Gómez, M.E., Barquet, M., Gaggero, C., Dellacassa, E. y Carrau, F., 2013. Increased flavour diversity of Chardonnay wines by spontaneous fermentation and co-fermentation with *Hanseniaspora vineae*. En: *Food Chem.*, 141(3), pp.2513-2521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.056>
- Meilgaard, 1975. Flavor chemistry of beer. Part II: flavour and threshold of 239 aroma volatiles. En: *MBAA TQ.*, 12(3), pp.151-168.
- Michel, M., Meier-Dörnberg, T., Jacob, F., Methner, F.J., Wagner, R.S. y Hutzler, M., 2016. Review: Pure non-*Saccharomyces* starter cultures for beer fermentation with a focus on secondary metabolites and practical applications. En: *J. Inst. Brew.*, 122(4), pp.569-587. DOI: <https://doi.org/10.1002/jib.381>
- Molinet, J. y Cubillos, F.A., 2020. Wild yeast for the future: exploring the use of wild strains for wine and beer fermentation. En: *Front. Genet.* DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.589350>
- Pérez, G., Fariña, L., Barquet, M., Boido, E., Gaggero, C., Dellacassa, E. y Carrau, F., 2011. A quick screening method to identify β -glucosidase activity in native wine yeast strains: application of Esculin Glycerol Agar (EGA) medium. En: *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 27, pp.47-55. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0425-4>
- Petruzzi, L., Rosaria Corbo, M., Sinigaglia, M. y Bevilacqua, A., 2016. Brewer's yeast in controlled and uncontrolled fermentations, with a focus on novel, nonconventional, and superior strains. En: *Food Rev. Int.*, 32, pp.341-363. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1075211>
- Pires, E.J., Teixeira, J.A., Branyik, T. y Vicente, A.A., 2014. Yeast: the soul of beer's aroma - a review of flavour-active esters and higher alcohols produced by the brewing yeast. En: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 98, pp.1937-1949. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5470-0>
- Postigo, V., García, M., Cabellos, J.M. y Arroyo, T., 2021. Wine *Saccharomyces* yeasts for beer fermentation. En: *Fermentation*, 7(4), pp.290. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation7040290>
- Pretorius, I.S. y Lambrechts, M.G., 2000. Yeast and its importance to wine aroma: a review. En: *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 21(1), pp.97-129. DOI: <https://doi.org/10.21548/21-1-3560>
- Ravasio, D., Carlin, S., Boekhout, T., Groenewald, M., Vrhovsek, U., Walther, A. y Wendland, J., 2018. Adding flavor to beverages with non-conventional yeasts. En: *Fermentation*, 4(1), pp.15. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation4010015>
- StatSoft Inc., 2004. *Electronic statistics textbook*. Vers.7. Tulsa: StatSoft Inc.

- Swangkeaw, J., Vichitphan, S., Butzke, C.E. y Vichitphan, K., 2009. The characterization of a novel *Pichia anomala* β -glucosidase with potentially aroma-enhancing capabilities in wine. En: *Ann. Microbiol.*, 59, pp.335. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03178336>
- Vanderhaegen, B., Neven, H., Coghe, S., Verstreppe, K., Derdelinckx, G. y Verachtert, H., 2003. Bioflavoring and beer refermentation. En: *App. Microbiol. Biotechnol.*, 62, pp.140-150. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1340-5>
- Varela, C., 2016. The impact of non-*Saccharomyces* yeasts in the production of alcoholic beverages. En: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 100, pp.9861-9874. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7941-6>
- Varela, C., Siebert, T., Cozzolino, D., Rose, L., McLean, H. y Henschke, P.A., 2009. Discovering a chemical basis for differentiating wines made by fermentation with "wild" indigenous and inoculated yeasts: Role of yeast volatile compounds. En: *Aust. J. Grape Wine Res.*, 15, pp.238-248. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00054.x>
- Verstreppe, K., Derdelinckx, G., Dufour, J., Winderickx, J., Thevelein, J., Pretorius, I. y Delvaux, F., 2003. Flavor-active esters: Adding fruitiness to beer. En: *J Biosci. Bioeng.*, 96(2), pp.110-118. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(03\)90112-5](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(03)90112-5)