

**“MINI FÁBRICAS: LAS LEVADURAS Y SU IMPORTANCIA
EN LAS FERMENTACIONES INDUSTRIALES”
“MINI FACTORIES: YEASTS AND THEIR IMPORTANCE IN
INDUSTRIAL FERMENTATIONS “**

Etzael Alexis Mendoza¹

García y Elda Dilena Barrientos Gamez².

Licenciatura en Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, CU, Puebla, PUE, C.P. 72570

c eldad.barrientosgamez@viep.com.mx

Licenciatura en Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, CU, Puebla, PUE, C.P. 72570

c eldad.barrientosgamez@viep.com.mx

Resumen

En el presente trabajo se muestra un pequeño vistazo acerca de las levaduras, desde como antiguamente fueron descubiertas gracias a un momento azaroso y como en la actualidad se han convertido en especies de interés en el ámbito biotecnológico, siendo utilizadas en amplios procesos industriales, desde la fabricación de alimentos y bebidas, hasta como su uso se ha innovado hasta ser utilizadas en la formación de biodiesel, biorremediación y el ámbito farmacéutico.

Palabras claves: Levaduras, fermentaciones industriales, innovaciones, aplicaciones biotecnológicas

Abstract

This paper shows a brief overview of yeasts, from how they were discovered in the past thanks to a random moment and how they have now become species of interest in the biotechnological field, being used in a wide range of industrial processes, from the manufacture of food and beverages, as their use has been innovated to be used in the formation of biodiesel, bioremediation and pharmaceuticals.

Keywords: yeasts, industrial fermentations, innovations, biotechnological applications

Antecedentes

Las levaduras son organismos eucariotas con diversidad en tamaño, forma y color. Son hongos unicelulares y microorganismos heterótrofos, ya que obtienen su energía de materia orgánica disponible en el ambiente que están habitando, generalmente sus células son ovaladas. “Son mayores que las bacterias, y su diámetro puede alcanzar un máximo de entre cuatro y cinco μm ”. Se reproducen por fisión binaria o gemación y algunas pueden ser dimórficas o bifásicas y crecen como micelio bajo condiciones ambientales especiales. (fig 1)

Toleran un rango de pH entre 3 y 10, pero les resulta favorable un medio ligeramente ácido con un pH entre 4,5 a 6,5” (Suarez, et al 2016).

Entre los constituyentes macromoleculares de las levaduras podemos encontrar proteínas (entre el 40 y el 50 % de su peso seco), glicoproteínas, polisacáridos, polifosfatos, lípidos, ácidos nucleicos y buena calidad en función de su perfil de aminoácidos esenciales.

“Su pared celular está compuesta de entre 15 y 25 % de la masa seca de la célula y sus principales componentes son polisacáridos (80-90 %), esencialmente glucanos y mananos, con una menor contribución de quitina, además de proteínas y lípidos” (Reyes 2019).

Las levaduras más estudiadas son cepas provenientes de las especies: *Saccharomyces cerevisiae* (levadura panadera comercial), *Kluyveromyces fragilis* y *Candida utilis*, son consideradas como aptas para el consumo humano o GRAS (por las siglas en inglés de Generally Recognized As Safe) (Suárez. et al. 2016). Las levaduras tienen características metabólicas particulares y novedosas, que las convierten en fuentes potenciales de compuestos de origen natural por lo que se han convertido en un organismo clave en la innovación de los procesos biotecnológicos ya que aunado a las aplicaciones tradicionales como ya se ha mencionado en la industria alimentaria y de bebidas, estos microorganismos comienzan a ser empleados cada vez en más áreas ya que son de fácil manejo a nivel laboratorio y a escala industrial. La biomasa de levadura en la industria alimenticia es considerada una magnífica fuente de producción de otros compuestos con interés industrial, esto gracias a su alto valor nutricional siendo una fuente para la obtención tanto de compuestos químicos de origen natural que ayudarán a sustituir gradualmente a los que se obtienen por métodos químicos tradicionales, estos últimos cabe mencionar de alto costo e impacto en el ambiente, aportando al desarrollo de biotecnologías. También se han propuesto estudios para la selección de cepas que originen productos fermentados con características deseadas, e incluso se han establecido algunas técnicas para poder seleccionar cepas que efectúen fermentaciones de manera más rápida y eficiente.

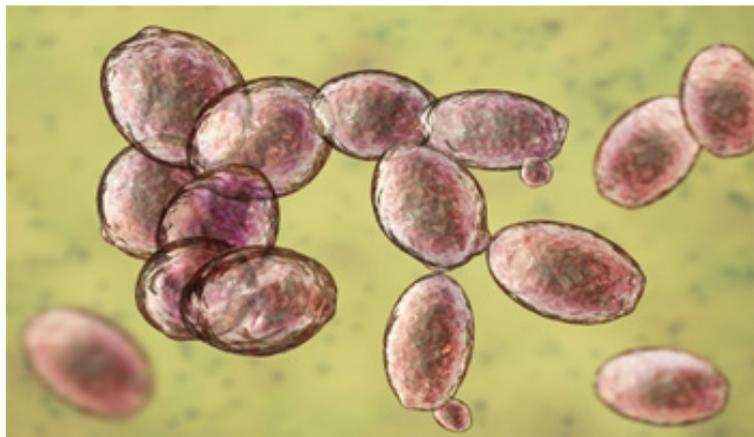


Figura 1: Morfología de levadura

La biotecnología es una herramienta importante para el desarrollo y que aunado a otras tecnologías estudia procesos no convencionales para el aprovechamiento de recursos naturales así como residuos agroindustriales y generar productos de interés en la industria alimentaria, agrícola o de servicios (Bustos, 2008).

Introducción

Levadura es el nombre que comúnmente se utiliza para llamar al grupo de microorganismos, los cuales son hongos microscópicos que habitualmente son unicelulares, estas resultan ser las responsables de la descomposición de azúcares e hidratos de carbono en procesos que son conocidos como fermentaciones (fig 2). Las levaduras fueron los primeros microorganismos en ser utilizados y aunque parezca increíble su descubrimiento fue en la antigüedad por cuestiones del azar y comenzaron a ser utilizadas por las culturas antiguas en la elaboración de bebidas como la cerveza, el vino y en alimentos como el pan, siendo un factor clave en la historia de la alimentación humana, las levaduras se pueden encontrar como parte de la biodiversidad, en los ambientes naturales incluso hasta en los ambientes con condiciones extremas.

En la actualidad estos organismos son empleados a nivel industrial para la elaboración de alimentos, bebidas y fármacos. Y gracias a los nuevos conocimientos sobre ingeniería genética y las ciencias ómicas prometen utilizar estos microorganismos como modelo de generación desde alimentos probióticos, productos farmacéuticos como proteínas recombinantes hasta combustibles y productos químicos, proponiendo a las levaduras como el caballo de troya elegido para la producciones industriales, inclusive presentan una alternativa en la biorremediación. No nos debe extrañar que dentro de poco tiempo este tipo de organismos esten liderando las ramas industriales de muchos sectores.

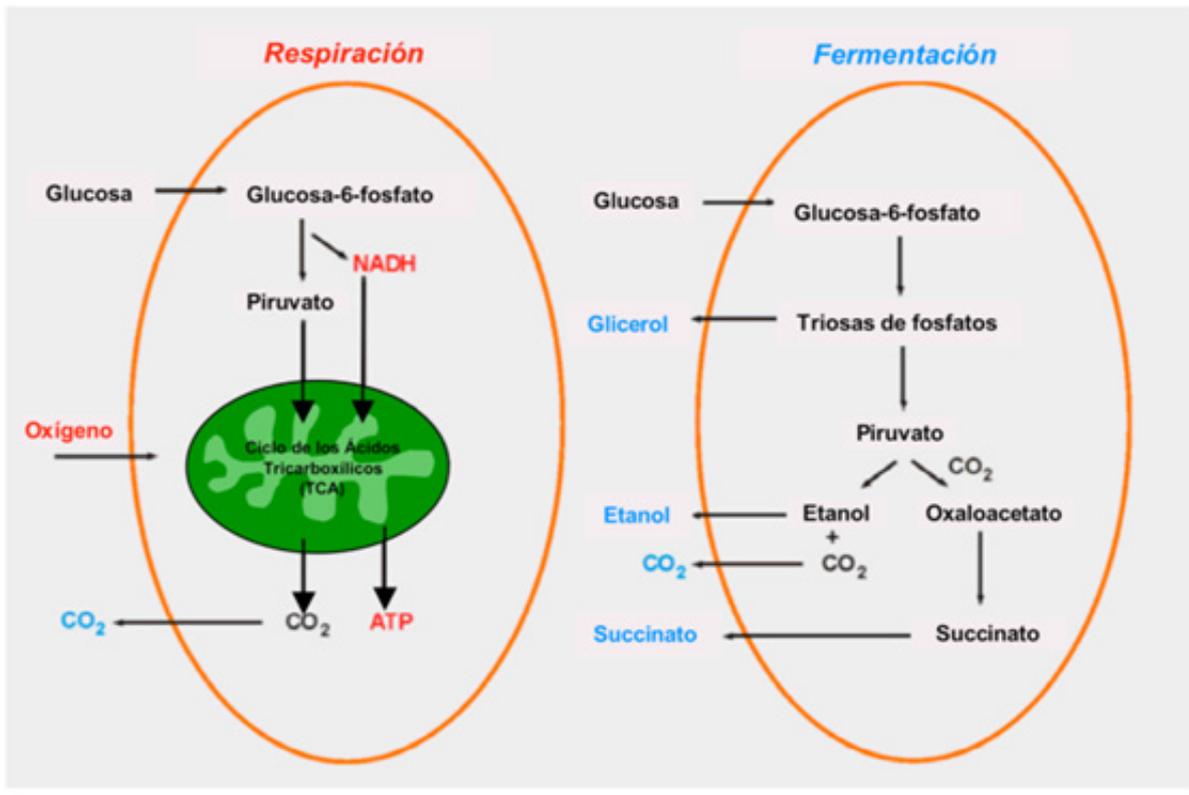


Fig. 2: Metabolismo respiratorio y fermentativo de la levadura (De los Santos,2010)

En la historia de la innovación tecnológica se puede ver que está ligada fuertemente a la comprensión de la biología fundamental, las innovaciones que surgieron posteriormente dependen de la modificación de las rutas bioquímicas, esto basándose en principios genéticos, apoyándose de disciplinas como biología molecular, celular e ingeniería genética y se estima que los próximos grandes avances probablemente sean de la comprensión a nivel “sistemas” de la organización de las células que emerge de la genómica computacional.

El primer proyecto de secuenciación del genoma completo eucariota fue de *Saccharomyces cerevisiae* “Las levaduras han liderado el camino con el modelo computacional más preciso del metabolismo de la célula eucariota logrado hasta la fecha” (Herrgard et al 2008) convirtiéndolo a estos organismos en una alternativa biotecnológica, trayendo consigo importantes innovaciones; Una de ellas y podríamos decir la más importante fue logro de la transformación genética en el uso de levaduras modificadas para poder satisfacer la demanda de producción de fármacos, alimentos y biocombustibles de segunda generación.

A continuación mencionaremos algunas de las aplicaciones e industrias que ocupan levaduras como vector para la obtención de productos y el por que se han posicionado como el organismo favorito de la industria de las fermentaciones.

Industria alimenticia

El primer uso dado a las levaduras fue para la generación de alimentos fermentados, a lo largo de la historia se han ocupado en la elaboración de pan y bebidas fermentadas como el vino, cerveza en

el caso específico de México el pulque y el tepache, por mencionar algunos, las personas en estos tiempos conocían de manera empírica las fermentaciones de diversos alimentos pero no fue hasta que en 1857, Louis Pasteur analizó y comprendió el proceso de fermentación y fue en ese momento donde empieza la trayectoria del uso e innovaciones de estos organismos diferentes industrias. Para la industria alimenticia empezó con la producción de estos alimentos de manera más grande, en volúmenes industriales, con el uso de biorreactores y conociendo la especificidad de las cepas empleadas se podía dar un mejor medio para que éstas hicieran su trabajo de fermentar azúcares, como se mencionó antes el primer genoma secuenciado de una célula eucariota fue el de *Saccharomyces cerevisiae* que se dio a conocer el 24 de abril de 1996. Este descubrimiento ayudó a comprender cómo es que funciona esta levadura a nivel molecular y bioquímico, dando un paso a la siguiente etapa de la evolución del uso de levaduras, la edición genética. En la actualidad y gracias al conocimiento de su genoma se ha podido modificar cepas para la generación de los alimentos antes mencionados pero con mayores rendimientos, reduciendo costos tanto de producción como de consumo, otra innovación en la industria de alimentos es la obtención de productos probióticos y prebióticos, estos están constituidos por microorganismos viables, los cuales están comprobados que tienen una actividad inmunoestimulante su consumo regular contribuye a mejorar la microbiota intestinal, también conocida como flora intestinal. Algunos de estos alimentos ya los podemos encontrar en los mercados para el consumo humano como vinagres, pan y quesos por otro lado también son utilizadas en animales de granja, los animales que son tratados con probióticos han presentado un mejor estado sanitario, también mejoran los procesos de la fisiología digestiva, las especies de levaduras comúnmente utilizadas como probióticos son: *Saccharomyces boulardii*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces lactis* y *Kluyveromyces fragilis*.

De igual forma los extractos de levadura se utilizan en la industria principalmente como saborizantes.

Industria farmacéutica

Gracias a una mejor comprensión del funcionamiento de estos organismos, las cepas de levadura se han utilizado para la obtención de metabolitos y sustancias de interés, en 1978 Genentech logra sintetizar la insulina humana, esta hormona con la ayuda de la bacteria *Escherichia Coli* y gracias a esto abrirá una puerta para que millones de personas con diabetes pudieran tener una mayor esperanza de vida.

Y aunque el primer microorganismo empleado para esto no fue una levadura con el paso del tiempo se emplearían las levaduras gracias a su maquinaria que puede hacer transformaciones postraduccionales. Estas innovaciones farmacéuticas se han logrado gracias a las tecnologías de ingeniería genética y han convertido a las levaduras en los vehículos favoritos para la producción de vacunas recombinantes. Un ejemplo de estas innovaciones es la vacuna contra la hepatitis B que ha sido producida en *S. cerevisiae* durante algún tiempo, así como la vacuna contra el virus del papiloma humano (VPH) con el fin de proteger contra el cáncer de cuello uterino.

Pichia Pastoris es una de las favoritas por los científicos para la producción de proteínas terapéuticas, tanto por su capacidad de secreción de proteínas como por la densidad celular que alcanza en los fermentadores industriales.

Otro de los usos de las levaduras en la industria farmacéutica es la síntesis de productos enzimáticos como terapias de reemplazo enzimático, en la actualidad ya existen terapias que ayudan a patologías como la enfermedad de Gaucher, Fraby y Pompe.

El panorama gracias a la ingeniería genética y de proteínas prometen que en un futuro se amplíen estas rutas metabólicas y bioquímicas para la generación de productos que sean híbridos de compuestos producidos por otras especies e inclusive la posibilidad de sintetizar compuestos totalmente nuevos con efectos benéficos para la salud ya sea de humanos o animales.

Otra innovación que se tiene como propósito fines farmacéuticos es la producción de nanopartículas, varias investigaciones han estimado que las levaduras pueden sintetizar nanopartículas de base orgánica e inorgánica, esto dándole un enfoque novedoso se podrían emplear levaduras para la producción de nanopartículas y nanoestructuras a través de sus enzimas reductoras de forma intracelular o extracelular, trayendo consigo nuevas aplicación de administración de fármacos, biosensores, propiedades antimicrobianas, antifúngicas y cancerígenas, proponiendo nuevas maneras de combatir enfermedades y patologías.

Industria Ganadera

Los rumiantes tienen la característica de tener la capacidad para alimentarse de pasto o forraje, esta característica está basada en la posibilidad de degradar los hidratos de carbono estructurales de forraje como es la celulosa, la hemicelulosa y la pectina, las cuales son poco digeribles para especies que son monogástricas, la degradación de este alimento se realiza mayormente por digestión fermentativa y no por las enzimas digestivas, este tipo de procesos fermentativos son realizados por diferentes tipos de microorganismos que se encuentran en su estómago, es por esa razón que debe tener presente que en la alimentación de estos rumiantes también se alimenta a estos microorganismos ya que estos aportan las proteínas que estos animales requieren diariamente, es por eso que hoy en día en la industria ganadera se busca reemplazar el uso de antibióticos en la producción animal, por lo que se buscan alternativas que no afecten los rendimientos de la producción ganadera, por lo que hace tiempo las levaduras seco activas se han agregado a los piensos de animales como aditivos, ya que estas son estabilizadoras de la flora intestinal, pero estudios recientes han demostrado que las levaduras vivas son las que ofrecen un mayor beneficio que las anteriormente mencionadas, el interés en el uso de las levaduras como alimento de animales, se debe a la alta disponibilidad de los residuos de la levadura que es proveniente de otros procesos, mayormente de la producción de alcohol y por los altos costos del alimento convencional, la levadura

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es catalogada de gran interés para la alimentación de los rumiantes ya que esta produce una mejora en estos, puesto que los cultivos de levaduras se componen por cepas seleccionadas con gran actividad metabólica y un sustrato que va a aportar todos los nutrientes necesarios para la hidratación, activación metabólica y su multiplicación fuera del rumen, utilizando este tipo de levaduras aportan metabolitos lo que favorece el desarrollo en los rumiantes.

Industria Biocombustibles

Las levaduras son capaces de utilizar el azúcar disponible en el medio para producir alcoholes (Fig. 3). Actualmente se están buscando alternativas para el uso de combustibles fósiles que sean más amigables con el medio ambiente y que tengan un rendimiento similar o mejor a los derivados de estos. La producción de bioetanol de segunda generación busca utilizar componentes no alimentarios de plantas de cultivos, por ejemplo la paja de trigo, los cuales se consideran desperdicio. Para lograr esto se busca un organismo que pueda descomponer el material lignocelulósico, cabe mencionar que la lignocelulosa es el material más abundante en nuestro planeta, se refiere a la materia seca vegetal, y esta se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina, cuyas proporciones en las plantas varían de la siguiente manera: 20-55% de celulosa, 16-85% de hemicelulosa y de 15 a 40% de lignina complejo de las paredes vegetales (Zamarruga, 2012). Estudios recientes han visto que el metabolismo de algunas levaduras podría modificarse para superar un inhibidor de la fermentación presentes en los sustratos lignocelulósicos (Ácido acético). Los procesos de las levaduras eficientes para la producción de biocombustibles requerirán el desarrollo de cepas que canalizan el flujo de carbono hacia el producto deseado.

Este tipo de combustibles no solo dan una alternativa a los combustibles fósiles que actualmente se utilizan, sino que también dan una solución a los desechos producidos por la industria agroindustrial y agrícola, los biocombustibles de segunda generación son fabricados a partir de biomasa, derivada de materiales vegetales como pueden ser residuos agrícolas o material vegetal de desecho de cultivos que su principal objetivo era la alimentación tanto humana como de ganado y que ya han cumplido su propósito alimentario, considerándose como un desecho. El aprovechamiento de los residuos orgánicos procedentes de industrias agroindustriales, convirtiéndose así en opción más viable en comparación de la obtención, refinamiento y uso de combustibles fósiles.

Un ejemplo en la obtención de biocombustibles es la producción de etanol empleando diferentes levaduras y haciendo uso de residuos de otras grandes industrias como lo es el bagazo de la caña de azúcar como sustrato, este procedimiento está considerada como una alternativa industrial excelente por la amplia disponibilidad de la materia prima que sería los residuos de la producción de azúcar.

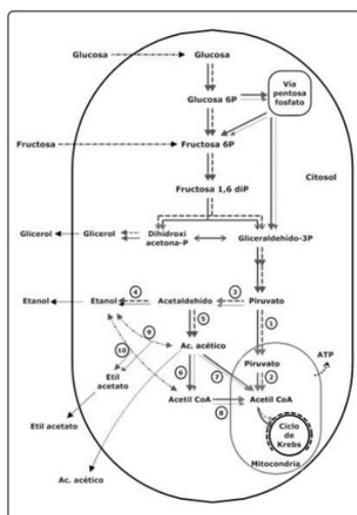


Fig. 3 metabolismo de las levaduras (Waldir, 2011)

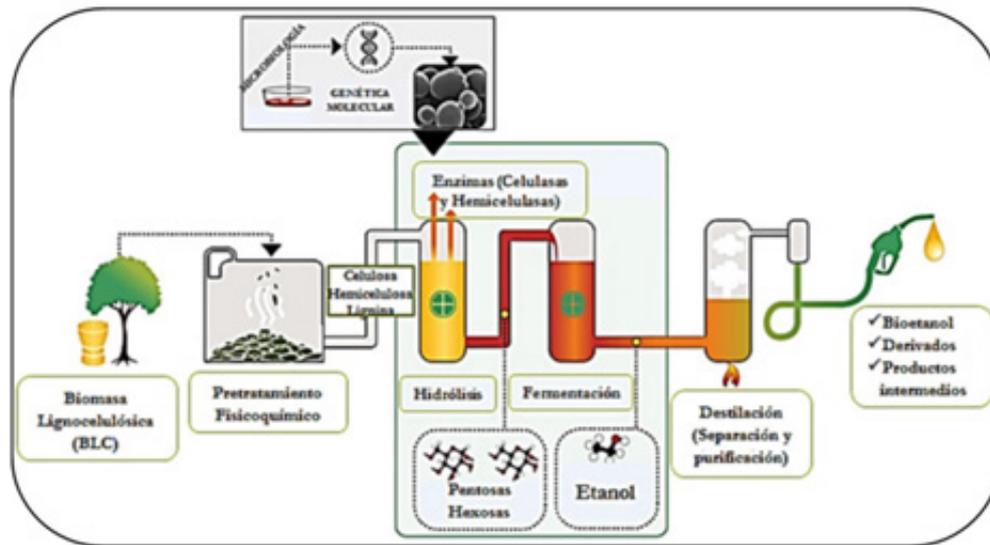


Fig. 4 Esquema de la producción de bioetanol de segunda generación a partir d residuos lignocelulósicos. (Gurdo, Nicolas 2016)

Otra de las innovaciones en esta rama son los aceites microbianos, existen organismos oleaginosos que son capaces de producir aceites. La gran mayoría de estos organismos son pertenecientes al reino fungi y para ser más exactos son levaduras como los géneros de: Candida, Lipomyces, Rhodospiridium. Algunas de estas levaduras se consideran como el chasis más adecuado para la producción de bioaceites gracias a su capacidad de producción y por su fácil cultivo en biorreactores. Los aceites microbianos presentan una alternativa sostenible de productos químicos y combustibles, y al igual que los biocombustibles de segunda generación estos utilizan desechos orgánicos como sustrato de la fermentación también por lo cual también es una solución para el tratado de desechos y desperdicios de industrias como la agroindustrial.

Industria de proteínas recombinantes

En la biotecnología de proteínas se involucra el aislamiento, producción y mejoramiento de algunas de las propiedades que biológicamente contienen proteínas específicas que son obtenidas de diversas fuentes de origen natural como por ejemplo, plantas, animales o hasta microorganismos para ser empleadas en diversas aplicaciones.

El papel importante en este tipo de procesos es la tecnología de ADN recombinante ya que gracias a que es posible la modificación de genes se ha hecho realidad producir grandes cantidades de estas proteínas, de las cuales muchas veces se encuentran en concentraciones muy bajas en su ambiente natural

El desarrollo de la tecnología de ADN recombinante junto con el avance en la optimización de bioprocesos con organismos recombinantes logra ofrecer una gran gama de posibilidades para la producción de proteínas nativas o ya sea también modificadas con nuevas o mejora de sus propiedades,

Aproximadamente hace 40 años se descubrió que algunas levaduras tienen la habilidad de utilizar el metanol como única fuente de carbono y energía, por esa razón el interés en el uso de levaduras ha aumentado para la producción de biomasa y proteínas para alimentación animal. La Compañía de petróleo Phillips y el Instituto de Biotecnología de Salk en La Jolla se dieron a la tarea de desarrollar herramientas para la producción de proteínas recombinantes en levaduras como por ejemplo *Pichia pastoris*.

Lo que inicialmente comenzó con la necesidad de transformar el metanol una fuente proteica para ser utilizada en alimentos animales, terminó siendo una herramienta de la biotecnología para el modelo y producción de proteínas recombinantes. La expresión de proteínas en levaduras por tecnología del ADN recombinante crece a gran escala, el primer biofármaco expresado en levaduras aprobado por la FDA fue Kalbitor en 2009 utilizado para el tratamiento del angioedema la cual es una enfermedad hereditaria.

Los sistemas de expresión de proteínas recombinantes que están basados en las levaduras han demostrado ser una fuente muy eficiente y sobre todo económica de proteínas de eucariotas superiores de interés industrial o académica, las levaduras logran ofrecer ambientes totalmente apto para que las proteínas eucarióticas logren el plegamiento, de igual manera logran llevar a cabo modificaciones postraduccionales y están pueden secretar las proteínas recombinantes al medio donde estas se encuentran cultivadas, además este tipo de microorganismos al ser unicelulares son de fácil manipulación y de un rápido crecimiento.

De igual manera las enzimas industriales que se expresan en levaduras se han demostrado que logran ser más estables.

Panorama a futuro de las levaduras

Sin duda las levaduras son el organismo modelo fundamental en las fermentaciones industriales, su importancia y aplicación radica en su capacidad de poder utilizar los elementos del medio que las rodea para generar productos de interés, la biotecnología ha sido la herramienta con la cual hemos podido obtener un mayor provecho de su metabolismo e inclusive hemos podido dirigirlo a manera más provechosa. El potencial de uso de estos fantásticos microorganismos está a la alza gracias a nuevos conocimientos de su función a nivel molecular; A medida que se secuencian más y más genomas de levaduras se hace posible definir con mayor precisión lo que puede describirse como “el genoma mínimo de la levadura” ofreciendo un potencial para desarrollar enfoques más específicos y controlables para lograr nuevas aplicaciones biotecnológicas, logrando posicionar a las levaduras de ser usadas como herramientas de investigación médica para reducir la necesidad de experimentación con animales, utilizando a las levaduras como un equipo de prueba viviente para la identificación de parámetros del metabolismo humano y determinar cómo cambian estos en estados de enfermedad. Para poder lograr esto los componentes de las levaduras de vías y sistemas específicos (principalmente enzimas) serían reemplazados por secuencias codificantes de sus equivalentes humanos bajo el control del promotor ortólogo de las levaduras. (N. Roberts et. al. 2011)

Conclusión

Queda claro que las levaduras son las favoritas para la industria de la fermentación, nuevas especies se suman significativamente al conocimiento general de la diversidad filogenética de la levadura y, por lo tanto, al “conjunto de genes” disponible para la explotación, nuevas tecnologías y técnicas en este campo están en auge gracias a disciplinas como la biotecnología, el potencial de desarrollo e innovación es algo que entusiasma. Es un buen momento para ser biotecnólogo.

Agradecimientos

Agradecemos a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por facilitarnos el aprendizaje a través de los mejores docentes que se encuentran en la licenciatura en biotecnología, de igual manera le agradecemos al Doctor Enrique Gonzales Vergara por brindarnos el conocimiento y el apoyo necesario para lograr este proyecto.

Y por último pero no menos importante agradecemos a Ternure68 por las risas y buenos momentos pasados mientras se realizaba la redacción de este artículo.

Referencias

- Ribeiro, F. H., Moreira, L. M. C., Porto, B. A. A., Angela, M., Amaral, A. M., Neves, M. J., & Rosa, C. A. (2022). Neutron activation analysis of cadmium bioremediation by yeast isolated from the fermentation of cachaca. *Iaea.org*. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:40103884
- Kulagina, N., Besseau, S., Godon, C., Goldman, G. H., Papon, N., & Courdavault, V. (2021). Yeasts as Biopharmaceutical Production Platforms. *Frontiers in Fungal Biology*, 2. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2021.733492>
- Llamas, M., Magdalena, J. A., González-Fernández, C., & Tomás-Pejó, E. (2019). Volatile fatty acids as novel building blocks for oil-based chemistry via oleaginous yeast fermentation. *Biotechnology and Bioengineering*, 117(1), 238–250. <https://doi.org/10.1002/bit.27180>
- Yüzgeç, U., Türker, M., & Hocalar, A. (2009). On-line evolutionary optimization of an industrial fed-batch yeast fermentation process. *ISA Transactions*, 48(1), 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2008.09.001>
- SKALICKOVA, S., BARON, M., & SOCHOR, J. (2017). Nanoparticles Biosynthesized by Yeast: A Review of their application. *Kvasny Prumysl*, 63(6), 290–292. <https://doi.org/10.18832/kp201727>
- Maicas, S. (2020). The Role of Yeasts in Fermentation Processes. *Microorganisms*, 8(8), 1142. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081142>
- Roberts, I. N., & Oliver, S. G. (2010). The yin and yang of yeast: biodiversity research and systems biology as complementary forces driving innovation in biotechnology. *Biotechnology Letters*, 33(3), 477–487. <https://doi.org/10.1007/s10529-010-0482-7>
- Madhavan, A., Arun, K. B., Sindhu, R., Krishnamoorthy, J., Reshmy, R., Sirohi, R., Pugazhendi, A., Awasthi, M. K., Szakacs, G., & Binod, P. (2021). Customized yeast cell factories for biopharmaceuticals: from cell engineering to process scale up. *Microbial Cell Factories*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01617-z>

Fidan, O., & Zhan, J. (2015). Recent advances in engineering yeast for pharmaceutical protein production. *RSC Advances*, 5(105), 86665–86674. <https://doi.org/10.1039/c5ra13003d>

Mejía-Barajas, J. A., Montoya-Pérez, R., Cortés-Rojo, C., & Saavedra-Molina, A. (2016). Levaduras Termotolerantes: Aplicaciones Industriales, Estrés Oxidativo y Respuesta Antioxidante. *Información Tecnológica*, 27(4), 03-16. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642016000400002>

Suárez-Machín, C; Garrido-Carralero, N; Guevara-Rodríguez, C. Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. *Revisión bibliográfica ICIDCA*. (2016), <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223148420004.pdf>

Otero, Miguel & Guerrero, Isabel & Wagner, Jorge & Cabello, Agustín & Sceni, Paula & García Gutiérrez, Roxana & Soriano, Jorge & Tomasini, Araceli & Saura, Gustavo & Almazán, Oscar. (2011).

Las levaduras y sus derivados como ingredientes en la industria de alimentos. *Biotecnología Aplicada*. https://www.researchgate.net/publication/262757545_Las_levaduras_y_sus_derivados_como_ingredientes_en_la_industria_de_alimentos

Pérez Leonard, et al. Beneficios de las levaduras vivas en la obtención de productos con actividad probiótica ICIDCA. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, (2007), Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120666005.pdf>

De García, V., Rosa, M., & De Van Broock, G. (2014). HABITANTES MICROSCÓPICOS DE LOS GLACIARES LEVADURAS. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/11651/CONICET_Digital_Nro.12956.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rambla, C., & Cabello Balbín, M. (2007). ICIDCA. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114967001.pdf>

Janer, F. (2019). Modulation of the ruminal microbiota of lactating animals with active yeast cultures and their fresh metabolites. *Albéitar*, (No.223), 52–54. Retrieved from [https://cab.biblioteca-buap.elogim.com/cabdirect/abstract/20203022197?q=\(levaduras\)](https://cab.biblioteca-buap.elogim.com/cabdirect/abstract/20203022197?q=(levaduras))

Gauthier, M., Soler, P., J. B. M., Fernandez, J., & Sancho, J. (2018). Reduction of antibiotics in the feed of lactating lambs with live yeast SC 1077 and a formula of yeast derivatives. *XLIII Congreso Nacional Y XIX Congreso Internacional de La Sociedad Española de Ovinotecnia Y Caprinotecnia (SEOC)*, Zaragoza, España, 19-21 de Septiembre de 2018, 589–594. Retrieved from [https://cab.bibliotecabuap.elogim.com/cabdirect/abstract/20210294265?q=\(levaduras\)](https://cab.bibliotecabuap.elogim.com/cabdirect/abstract/20210294265?q=(levaduras))

García-Suárez, José, & Zumalacárregui-de-Cárdenas, Lourdes, & Santana-Vázquez, Zeila (2021). Usos de la levadura *Pichia pastoris* en la producción de proteínas recombinantes. *VacciMonitor*, 30(3), 153-163. [fecha de Consulta 4 de Mayo de 2022]. ISSN: 1025-0298. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203468846007>

González-Leos, Adrián; Del Angel-Del Angel, José Alfredo; González-Castillo, José Luis; Rodrí-

guez-Durán, Nadia; Bustos-Vázquez, Guadalupe (2017). Evaluación de levaduras nativas productoras de etanol presentes en el bagazo de caña de azúcar. CienciaUAT. <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441949672006.pdf>

Curdo, Nicolas. (2016). Mejoramiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* Y138 por ingeniería evolutiva para la producción de bioetanol de segunda generación. https://www.researchgate.net/publication/303234696_Mejoramiento_de_la_levadura_Saccharomyces_cerevisiae_Y138_por_ingenieria_evolutiva_para_la_produccion_de_bioetanol_de_segunda_generacion

Existencias: Efecto de los pretratamientos hidrotérmicos en la composición química y la sacarificación del bagazo de *Agave tequilana*. (2012). Umad.edu.mx. <https://descubridor.umad.edu.mx/vufind/Record/cicy1003-676>

Estela-Escalante, W., Rychtera, M., Melzoch, K., Hatta-Sakoda, B., Ludeña-Cervantes, Z., Sarmiento-Casavilca, V., & Chaquilla-Quilca, G. (2022). Actividad fermentativa de *Saccharomyces ludwigii* y evaluación de la síntesis de compuestos de importancia sensorial durante la fermentación de jugo de manzana. *TIP. Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 14(1), 12–23. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2011000100002

Guerrero-Olazarán, M., Cab-Barrera, E., Galán-Wong, L., Viader-Salvadó, J., Cruz Suárez, L., Rique Marie, D., ... González, M. (2004). *Biología de Proteínas Recombinantes para la Aplicación en Acuicultura* (pp. 16–19). Retrieved from https://www.uanl.mx/utillerias/nutricion_acuicola/VII/archivos/23MarthaGuerrero.pdf

Suárez-Machín, Caridad; Guevara-Rodríguez, Carmen Amarilys. (2017). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* en la alimentación de rumiantes. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251004.pdf>

Científica, Y., Tecnológica, A., Javier, F., De, P., Santos, Lina, D., ... Ruiz. (2010.). INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN “Título de la tesis” Tesis que presenta. Retrieved from <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/687/3/TMIPICYTP4F32010.pdf>