

La modificación genética de la levadura y su efecto en la industria mexicana

Genetic modification of yeast and its effect on the Mexican industry

David Andrés Ayala Jerónimo

Universidad Virtual CNCI, consejo_academico@cncivirtual.mx

Fecha de recepción: 26/09/2023

Fecha de aceptación del artículo: 07/12/2023



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.10745>

Cómo citar: Ayala Jerónimo, D. A. (2023). La modificación genética de la levadura y su efecto en la industria mexicana. Avances Investigación en ingeniería, 20(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.10745>

Resumen

La modificación genética de organismos como la levadura, ha sido un campo de investigación en constante desarrollo en las últimas décadas, ya que el ejercicio de modificación es una técnica para manipular genéticamente a las células de levadura y se utiliza en un sinfín de productos alimenticios y bebidas, esto con la intención de modificar el sabor de algunos productos como el pan, cerveza, vino, entre otros. En este sentido, la modificación genética de la levadura se vuelve relevante para la industria alimentaria ya que puede afectar la calidad y cantidad de estos productos, así como también mejorar su eficiencia y rentabilidad. En consecuencia, el presente trabajo es desarrollado con el objetivo de conocer los efectos de la modificación genética de la levadura en la producción de alimentos y bebidas, presentando diversos ejemplos de éxito y necesidades según el proceso de producción, así como tomando en cuenta las ventajas y desventajas que se tiene el modificar un microorganismo.

Palabras clave: biotecnología, industria alimentaria, ingeniería, levadura, modificación genética

Abstract

Genetic modification of organisms, such as yeast, has been a constantly developing field of research in the past few decades. The modification exercise is a method of genetically manipulating yeast cells and is applied to a multitude of food and beverage products to alter the flavor of items like bread, beer, wine, among others. In this sense, genetic modification of yeast is significant to the food industry because it influences the quality and quantity of products, as well as enhances their efficiency and profitability. Consequently, this study aims to explore the impact of genetic modification of yeast on the production of food and beverages. It provides several examples of successful implementations and identifies specific needs depending on the production process. Additionally, this research will consider the advantages and disadvantages of modifying microorganisms to enhance production.

Keywords: Biotechnology, Engineering, Food industry, Genetic modification, Yeast

1. Introducción

México, una nación que se ha distinguido por su riqueza gastronómica y tradiciones ancestrales, se encuentra actualmente en un punto de confluencia entre lo tradicional y lo moderno. Las técnicas antiguas de producción que han dado origen a alimentos vitales para la nutrición de pueblos mexicanos como el pan, el vino, el pulque, el tequila, entre otros, hoy en día conviven con tecnologías avanzadas que prometen optimizar y revolucionar estas tradiciones.

En el origen de esta revolución se encuentra la biotecnología y su principal herramienta: la modificación genética. Así mismo, la levadura se vuelve relevante como principal microorganismo que sirve para alimentar los procesos fermentativos, y ahora se encuentra en el foco de las investigaciones genéticas y sus potenciales aplicaciones en la industria alimentaria.

Desde los tiempos prehispánicos, la levadura ha sido fundamental en la dieta y economía de México. Sin embargo, en el mundo actual, donde la demanda de producción y la competencia internacional se ha incrementado por cuestiones ambientales, existe una necesidad importante de mejorar la eficiencia y diversificar la oferta. Aquí es donde la modificación genética encuentra su rol como una promesa de optimización. En el caso de la levadura, esto podría traducirse en cepas que fermenten más rápido, que sean más resistentes a condiciones adversas o que produzcan sabores y texturas específicas.

Por lo tanto, este artículo se trabaja mediante una investigación y un análisis crítico de distintas fuentes para contrastar las características de distintas cepas y el efecto que tienen en el producto final, y de esta manera concluir, de acuerdo con los resultados, los beneficios sobre las industrias que utilizan la modificación de levadura.

2. Marco teórico

2.1. Generalidades de la levadura

En la actualidad, el uso de la ingeniería genética ha impactado no solo en los conocimientos, sino también en la innovación de prácticas de los seres humanos, los procesos de empresas y algunos otros compuestos. Esto como resultado de la acción de transmitir genes o información genética de una especie a otra [1].

En este sentido, y como resultado de las múltiples aportaciones que ha realizado este tipo de ingeniería al ámbito académico – científico, ha sido fundamental atender ciertas necesidades específicas para el beneficio de la misma ingeniería y los seres humanos. Por esto, es conveniente situar la disciplina de la biotecnología como objetivo para optimizar los bienes y procesos que sean de relevancia para el ser humano [2], además de que es una alternativa para la producción de microorganismos vivos [3]. Es por esto por lo que la biotecnología se vuelve relevante, pues se define como el empleo de aspectos biológicos como organismos, procesos y sistemas que permiten la modificación de algún producto o especie, de forma que sea posible desarrollar microorganismos con fines específicos [4].

Por lo tanto, dicha ciencia busca manipular de manera natural tanto a los organismos como sus procesos, con la finalidad de resolver problemas de producción [5]. Al respecto, es posible situar la aplicación de la levadura como un interés por su estudio y desarrollo [6], ya que tanto su elaboración como implementación, desde hace algunos años, se ha visto influenciada por la ingeniería genética.

Aunado a lo anterior, el uso de la levadura en la industria se remonta a varios siglos atrás, especialmente en la producción de pan, vino y cerveza. Por ello, es posible entender la levadura como un microorganismo que se utiliza comúnmente en la producción

de alimentos fermentados, lo que permite, por ejemplo, que el pan se eleve y que la cerveza y el vino adquieran su sabor y aroma característicos.

En la industria alimentaria, la levadura también se utiliza para la producción de otros alimentos fermentados como el yogur, el queso, la salsa de soya, así como suplementos alimenticios y fuente de proteínas y vitaminas [7]. Lo anterior se concibe como una biodiversidad al tener múltiples especies de microorganismos que trascienden desde la industria alimentaria, agricultura, compuestos químicos, combustibles, farmacología, entre otros [8].

Como parte de la diversidad mencionada, es conveniente situar algunas de las levaduras más relevantes para el consumo humano; algunas de las especies son: *Saccharomyces cerevisiae* (levadura panadera comercial), *Kluyveromyces fragilis* y *Candida utilis* [7], así como también la *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium* [8]. En este sentido, es evidente que la modificación genética permite obtener una variedad de levaduras, cada una con ciertas particularidades en la industria alimentaria, así como una eficiencia distinta entre sus procesos. Lo anterior tiene relación directa con el uso de diversas enzimas para proveer una mayor duración de los productos de anaquel, lo que permite que la industria alimentaria ahorre tiempos y recursos para la venta. Además, no se tienen que usar conservadores adicionales en los alimentos, por lo que además de reducir la necesidad de estos también permite mejorar los aportes nutricionales.

A causa de lo anterior, la modificación genética de la levadura ha sido un tema de interés en la industria debido a sus posibles beneficios en la producción de múltiples productos. Un ejemplo de lo anterior es el reciente estudio publicado por la revista 'Synthetic and systems biotechnology' [9], donde la modificación genética de la levadura ha demostrado mejorar la producción

de etanol, componente químico también conocido como alcohol etílico [10], el cual se obtiene de la fermentación de productos, que aumentan su eficiencia, más que todo en las levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae* [11]. Dicha especie es utilizada de manera especial en procesos industriales como en la fabricación del pan o la cerveza; por ello es esencial que al fermentarse le sea posible soportar cambios de acidez y presencia de alcohol [12].

Sin embargo, algunos investigadores han planteado preocupaciones sobre los posibles efectos negativos de la modificación genética de la levadura en la calidad y el sabor de la cerveza. Un estudio publicado en la revista *European Food Research and Technology* [13], indica que la modificación genética puede afectar la calidad sensorial de la cerveza y su aceptabilidad entre los consumidores. Incluso las levaduras comerciales no son buscadas por cerveceros artesanales debido a que los productos de alcohol obtenidos no tienen un toque personal y simplemente estandarizan las características sensoriales de las cervezas, lo que demuestra una carencia en la innovación al no tener aromas o sabores distintivos a aquellas cervezas tradicionales producidas con las levaduras modificadas y su fermentación [14]. Tanto las levaduras modificadas como las nativas (no modificadas genéticamente) producen enzimas que pueden afectar el sabor y aroma en la cerveza.

Por lo tanto, las levaduras desempeñan un papel crucial en los cambios de aroma y sabor de los productos, lo que se convierte en un factor fundamental de tener en cuenta para que la levadura sea seleccionada al momento de pensar en la modificación genética [15].

No obstante, el funcionamiento de la levadura en la industria alimentaria se ve afectado principalmente por propiedades fisicoquímicas como la temperatura, el pH, la presión osmótica, el contenido de

alcohol (en el caso de la producción de cerveza) y la tolerancia al dióxido de azufre. El mejor rango de temperatura de funcionamiento de este microorganismo es de 25 a 30 °C [16], aunque al subir la temperatura también sube su actividad enzimática al promover la producción de la sacarificación y fermentación, pero si llega a un rango de 38 a 55°C la levadura muere celularmente; además, es necesario mencionar que la producción de aroma se incrementa a temperaturas bajas [17].

Por otro lado, en la producción panadera los altos niveles de azúcar pueden alterar la presión osmótica lo cual causa que en la célula del microorganismo haya una descompensación en concentración de agua, lo que genera que la pared celular se separe y provoque su muerte o algún crecimiento mínimo. Estos métodos se han aplicado a panes que usan levadura en su proceso de fabricación y en otros alimentos fermentados [16]. Igualmente, la levadura consume azúcar para posteriormente producir dióxido de carbono y el aroma particular del pan, mientras que en la producción de pan fermentado se usa la sal para incrementar la resistencia al crecimiento bacteriano y, en consecuencia, aumentar su vida de anaquel; sin embargo, este incremento en salinidad también afecta al funcionamiento de la levadura.

Entonces, la ingeniería genética, a través de múltiples tecnologías [18] y con ayuda de algunos otros factores y elementos afines, posibilita la mejora de las propiedades fisicoquímicas de productos o alimentos.

Un ejemplo de lo anterior es el cambio de tolerancia que en ocasiones se realiza a la levadura, de manera que esta sea capaz de tolerar un mayor porcentaje de sacarosa y así ser resistente a la influencia fisicoquímica mencionada anteriormente [19].

Particularmente, en el caso de la levadura en la cerveza, su elaboración comprende desde la fermentación del zumo o mosto

de la cebada o de otros granos, dependiendo del tipo de cerveza que se quiera producir [21]. Por otro lado, la levadura para la fermentación en el pan tiene un rol vital para la fabricación por la generación de gas que imprime olores y sabores a la masa.

Así mismo, en un estudio hecho en México sobre la producción panadera, se encontró que la levadura agregada al trigo cultivado junto con una mezcla de enzimas genera un producto fortalecido en fenoles que hacen que el pan tenga una mayor capacidad antioxidante [22].

2.2. Producción de la levadura en México

En México, la producción de levadura comenzó en la década de 1940 con la empresa Fleischmann, y desde entonces ha habido un crecimiento constante tanto en su producción como en su uso. Por consiguiente, e independientemente de su especie, las levaduras tienen una amplia aplicación en la biotecnología, además de que son los microorganismos más utilizados en la industria mexicana [6].

Diversos expertos señalan que en la actualidad México es uno de los principales productores y consumidores de levadura en América Latina [20], ya que esta juega un papel crucial en la fermentación de diversos productos, y su modificación genética permite la producción de cepas mejoradas con las propiedades deseables, además de mayor tolerancia a condiciones de estrés, clima, mejor eficiencia en la fermentación, producción de compuestos específicos, entre otros.

Estas mejoras podrían conducir a una mayor calidad de los productos finales, un aumento en la productividad y una reducción en los costos de producción, así como contribuir a la búsqueda de soluciones sostenibles en la industria mexicana con las herramientas de modificación genética. Por ejemplo, se podrían desarrollar cepas de levadura modificadas genéticamente

que sean capaces de utilizar subproductos o residuos agroindustriales como sustratos de fermentación. Esto no solo ayudaría a reducir la cantidad de residuos generados por la industria, sino que también abriría nuevas oportunidades para la producción de alimentos y bebidas más sostenibles, al igual que otorgar un impacto positivo en la seguridad alimentaria al reducir la necesidad de pesticidas, herbicidas y mejorar la resistencia de la levadura a los contaminantes ambientales.

En América Central y México, los agricultores se han visto afectados por el cambio climático al tener un impacto directo en la producción y estabilidad de cultivos de granos, situación que se espera no cambie e inclusive siga incrementando negativamente sobre los cultivos [23].

En la producción panadera de México, por lo tanto, es necesario depender de la ingeniería genética para tener levaduras que puedan fermentar en condiciones hostiles y con mayor rapidez para aprovechar los cultivos y obtener los productos más rápido, para ayudar así a los agricultores a conseguir los elementos para su subsistencia económica.

En lo que respecta, México es un país líder en las industrias cerveceras y de alimentos por lo que el rol que tiene la levadura y su modificación es importante; inclusive se ha encontrado información que permite poner a México como uno de los principales productores de levadura, tomando relevancia ante los obstáculos que productores y agricultores se encuentran con respecto al calentamiento global y de sembradíos en general.

3. Metodología

El presente trabajo se desarrolla bajo un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, por lo que fue posible examinar minuciosamente el fenómeno de estudio previsto con

el fin de determinar su esencia y, a partir de ello, formular interpretaciones acerca de lo estipulado por otros autores de manera previa.

La revisión de las referencias bibliográficas implica un análisis de la gran cantidad de datos; por lo tanto, parte del proceso analítico involucra abstraer y reducir la información consultada. En este sentido, es común que un trabajo de investigación desarrollado bajo este tipo de metodología pueda ser empleado y desarrollado en otras disciplinas científicas, como el caso de la ingeniería [24].

Sin duda, la metodología cualitativa es tanto un arte como una ciencia pues sin ella los hallazgos científicos podrían parecer más ficción que investigación, serían estériles y carecerían de creatividad. La investigación científica implica el pensamiento crítico que exige al investigador: a) ser escéptico respecto a las suposiciones sobre los datos, b) tener cuidado al aplicar teorías previamente desarrolladas, y c) estar dispuesto a cuestionar e interrogarse acerca de la interpretación de los datos.

La evaluación crítica de las fuentes seleccionadas fue fundamental para garantizar la calidad del estudio, de los resultados obtenidos y de la relevancia de la información bajo un enfoque determinado a la situación industrial de la levadura en México para proporcionar relevancia geográfica al proyecto.

A raíz de la evaluación, se sintetizaron los resultados para poder mostrar la información encontrada y crear una discusión comprensiva del impacto directo que tiene la modificación genética en los procesos, mediante la realización del análisis y discusión alrededor de los resultados obtenidos.

En esta etapa se compararon los resultados de cada estudio para discutir las similitudes y diferencias encontradas, así como las implicaciones de los resultados para la

industria panadera y cervecera mexicana, ello con el fin de plantear posibles líneas de investigación que pudieran apoyar al crecimiento del conocimiento de estas técnicas.

4. Discusión

Es necesario resaltar que, al menos para la producción alimenticia, se han presentado evidentes innovaciones en el uso de la ingeniería genética como resultado de los acontecimientos que actualmente nos rodean.

En México, el uso de la levadura modificada lleva en la industria alimentaria desde los inicios culturales de los productos cerveceros y de alimentos como el pan, por lo que una modificación a su funcionamiento se encuentra dentro de los parámetros naturales que se tienen sobre la evolución de los microorganismos. Sin embargo, es indispensable que se consideren en su proceso de producción elementos que les permitan a los alimentos y bebidas resistir a factores un poco más extremos como los ambientales.

En este sentido, se ha vuelto relevante el uso de la modificación genética para la transformación de algún producto o especie en particular [4]. Esto como resultado del deseo del hombre por manipular ciertos elementos de forma más “natural”.

Por esta razón, es conveniente situar la modificación genética de la levadura en la industria alimentaria, pues este componente permite que los productos adquieran un sabor y aromas característicos de las marcas comerciales, como es el caso de la cerveza, el pan, queso, yogurt, entre otros.

Entonces, es evidente que la levadura en conjunto con las modificaciones genéticas pertinentes, pueden promover una mejora funcional en la producción de bebidas y alimentos en el contexto mexicano y global.

Sin embargo, a pesar de la diversidad de especies que existen en relación con la levadura, fue conveniente situar la *Saccharomyces cerevisiae* como una de las más relevantes para el consumo humano [7].

De manera general, se ha comprobado por diversos autores que el ejercicio de llevar a cabo este tipo de levadura en conjunto con el uso de enzimas adecuadas, trae consigo diversas ventajas en la elaboración de los productos alimenticios como la mejora de las características y capacidades de los productos, la prolongación de su vida en anaquel, hasta la mejora del etanol, pues este químico se vincula con la fermentación de la levadura.

No obstante, se encontró que hay cierta preocupación sobre la modificación genética en la industria cervecera debido a una afectación sobre el sabor de la cerveza, aunque el rol primordial que tiene la levadura hace que la mejora del microorganismo sea necesaria para su correcto funcionamiento en numerosas condiciones fisicoquímicas.

5. Conclusión

La modificación genética de la levadura ha despertado un gran interés en la industria alimentaria, donde diversos estudios han demostrado que este tipo de modificación genética puede mejorar la producción de etanol y aumentar la eficiencia en la fermentación de la masa de pan. Por lo tanto, el uso de algunas enzimas en particular junto con una levadura, pueden extender la vida útil del alimento o bebida, así como también reducir la necesidad de conservadores y mantener su frescura y sabor durante períodos prolongados de almacenamiento.

Esto no solo representa ahorros de tiempo y recursos para la industria alimentaria, sino que también puede contribuir a ofrecer productos más nutritivos a los consumidores.

Por otra parte, es necesario tener en cuenta las preocupaciones planteadas por algunos investigadores en relación con la modificación genética de la levadura y su impacto en la calidad y el sabor de los alimentos, pues diversos estudios han señalado que la modificación genética puede afectar la calidad sensorial de la cerveza o el sabor característico del pan, lo que afectaría su aceptabilidad entre los consumidores. Esto a raíz de que la levadura es un organismo vivo y sensible a las condiciones del entorno, por lo que pueden experimentar cambios en su desempeño y perfil.

En último término, se debe resaltar que una de las debilidades de la investigación fue la falta de información proveída de levaduras comerciales, esto ante la secrecía de las patentes de empresas multinacionales productoras de este tipo de levaduras. Sin embargo, en contraparte se tuvo como

fortaleza el hecho de que tanto la ingeniería genética como la biotecnología tienen un auge en el aspecto de investigación y desarrollo, por lo que la información que se pudo encontrar es relevante y actual para el estudio. De este modo, se percibe como necesario el que se siga analizando sobre las líneas de investigación anteriormente mencionadas.

Agradecimientos

Agradezco a la Lic. Yanette Cisneros por su orientación y apoyo constante a lo largo de esta investigación. Su conocimiento y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. También estoy agradecido con el equipo de la Universidad Virtual CNCI, que me ha proporcionado las herramientas y el ambiente propicio para llevar a cabo este proyecto.

Referencias bibliográficas

- [1] CIIDEPT, Microbiología en la escuela primaria. Curso de capacitación para docentes. Tucumán, Argentina: CERELA, 2015. [Online]. Available: <https://www.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/2015/09/microbiologia-en-la-escuela-primaria-CIIDEPT-2015.pdf>
- [2] ¿Qué es la biotecnología?, FUSADES, Dec. 08, 2020. [Online]. Available: <https://fusades.org/contenido/que-es-la-biotecnologia>
- [3] D. Núñez, “Estrategias para la producción biotecnológica de xilitol a partir de hidrolizados lignocelulósicos mediante modificación genética de una cepa industrial de *saccharomyces cerevisiae*,” M. S. tesis, Bt. A, Univ. Oviedo, Oviedo, España, 2017. [Online]. Available: https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43790/TFM_Daniel-Nu%c3%bl%e7Diaz.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [4] “Tesoro de la UNESCO”, unesco.org. <https://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/page/concept619#:~:text=Empleo%20de%20organismos%2C%20procesos%20o> (accessed Aug. 08, 2023).
- [5] E. J. DaSilva, “The Colours of Biotechnology: Science, Development and Humankind,” *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 7, no. 3, pp. 01–02, Dec. 2004. [Online]. Available: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-34582004000300001
- [6] J. A. Mejía, R. Montoya, C. Cortés, and A. Saavedra, “Levaduras Termotolerantes: Aplicaciones Industriales, Estrés Oxidativo y Respuesta Anti-oxidante,” *Información tecnológica*, vol. 27, no. 4, pp. 03-16, 2016, doi: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642016000400002>.
- [7] C. Suárez-Machín, N. A. Garrido-Carralero, and C. A. Guevara-Rodríguez, “Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica,” *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar*, vol. 50, no. 1, pp. 20–28, 2016, Accessed: Aug. 07, 2021. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223148420004>
- [8] O. L. Ostos, S. Rosas, J. González, “Aplicaciones biotecnológicas de los microorganismos”. *Revista Nova*, Colombia, pp. 129-163. 2019. [Online]. Available. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702019000100129
- [9] A. C. A. van Aalst, S. C. de Valk, W. M. van Gulik, M. L. A. Jansen, J. T. Pronk, and R. Mans, “Pathway engineering strategies for improved product yield in yeast-based industrial ethanol production,” *Synthetic and Systems Biotechnology*, vol. 7, no. 1, pp. 554–566, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2021.12.010>.
- [10] “Etanol.” Real Academia Española. RAE.es. 2022. <https://dle.rae.es/etanol?m=form>
- [11] “Alcohol”. Real Academia Española. RAE.es. 2022. <https://dle.rae.es/alcohol#GZkB9eL>
- [12] S. Mathewson. “Levadura y fermentación”. Journey to Forever. [journeytoforever.org](https://journeytoforever.org/es/biocombustibles/produccion-casera-etanol/levadura-fermentacion.cgi). <https://journeytoforever.org/es/biocombustibles/produccion-casera-etanol/levadura-fermentacion.cgi> (accessed Aug. 08, 2023).
- [13] M. Quiroga. “Levadura: el ingrediente mágico de la cerveza.” *Forbes México*. Forbes.com.mx. Aug. 02, 2016. <https://www.forbes.com.mx/levadura-ingrediente-magico-la-cerveza/>
- [13] A. Astola, E. Durán - Guerrero, Ana Belén Díaz, C. Lasanta, and R. Castro, “Impact of the genetic improvement of fermenting yeasts on the organoleptic properties of beer,” *European Food Research and Technology*, pp. 1677-1687, 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04251-8>.
- [14] J. Molinet and F. A. Cubillos, “Wild Yeast for the Future: Exploring the Use of Wild Strains for Wine and Beer Fermentation,” *Frontiers in Genetics*, vol. 11, 2020, doi: <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.589350>.
- [15] N. Mannise, C. Schinca, E. Boido, F. C. Bonomi, and K. M. Rolando, “Aplicación industrial de levaduras nativas para la producción de cervezas artesanales,” *INNOTEC*, no. 24, pp. e605–e605, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.26461/24.01>.
- [16] S. Lu et al., “Yeast engineering technologies and their applications to the food industry,” *Food Biotechnology*, vol. 35, no. 3, pp. 252–271, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1080/08905436.2021.1942037>.
- [17] C.-J. Huang, M.-Y. Lu, Y.-W. Chang, and W.-H. Li, “Experimental Evolution of Yeast for High-Temperature Tolerance,” *Molecular Biology and Evolution*, vol. 35, no. 8, pp. 1823-1839, Apr. 2018, doi: <https://doi.org/10.1093/molbev/msy077>.
- [18] S. Jin, B. Clark, S. Kuznesof, X. Lin, and L. J. Frewer, “Synthetic biology applied in the agri-food sector: Public perceptions, attitudes and

- implications for future studies," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 91, pp. 454–466, Sep. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.025>.
- [19] N. Zhou et al., "Kazachstania gamospora and Wickerhamomyces subpelliculosus : Two alternative baker's yeasts in the modern bakery," *International Journal of Food Microbiology*, vol. 250, pp. 45–58, Jun. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.03.013>.
- [20] "Levadura | OEC," OEC - The Observatory of Economic Complexity. <https://oec.world/es/profile/hs/yeastAmero> (accessed Aug. 09, 2023).
- [21] J. A. Burini, J. I. Eizaguirre, C. Loviso, and D. Libkind, "Levaduras no convencionales como herramientas de innovación y diferenciación en la producción de cerveza," *Revista Argentina de Microbiología*, vol. 53, no. 4, pp. 359–377, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2021.01.003>.
- [22] M. F. Amaya Villalva et al., "Bioprocessing of wheat (*Triticum aestivum* cv. Kronstad) bran from Northwest Mexico: effects on ferulic acid bioaccessibility in breads," *CyTA - Journal of Food*, vol. 16, no. 1, pp. 570–579, Jan. 2018, doi: <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1440007>.
- [23] C. I. Donatti, C. A. Harvey, M. R. Martínez-Rodríguez, R. Vignola, and C. M. Rodríguez, "Vulnerability of smallholder farmers to climate change in Central America and Mexico: current knowledge and research gaps," *Climate and Development*, vol. 11, no. 3, pp. 264–286, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1442796>.
- [24] S. B. Calva, *La teoría fundamentada: una metodología cualitativa*, 1st ed. México: Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2016.

