

Composición química, pretratamiento, almacenamiento, esterilización y usos de la melaza como sustrato en fermentaciones: Una revisión global

Chemical composition, pretreatment, storage, sterilisation and uses of molasses as a substrate in fermentations: A global review

Amaury Pérez-Sánchez ^{1,*}, Niurca González-Ibarra ², Rutdali María Segura-Silva ³ y Diana Deisy Alcalá-Galiano-Morell ⁴.

¹ Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey, Cuba, Camagüey; <https://orcid.org/0000-0002-0819-6760>, amaury.perez84@gmail.com

² Dirección de Biotecnología, Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio, Cuba, La Habana; <https://orcid.org/0000-0003-3415-6241>, niurca.gonzalez@cenpalab.cu

³ Departamento de Investigación-Desarrollo, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Camagüey, Cuba, Camagüey; <https://orcid.org/0000-0003-2821-154X>, ruthdaly.segura@cigb.edu.cu

⁴ Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey, Cuba, Camagüey; <https://orcid.org/0000-0002-3081-8837>, diana.galiano@reduc.edu.cu

* Correspondencia: amaury.perez84@gmail.com

 <https://doi.org/10.70881/hnj/v3/n2/59>

Cita: Pérez-Sánchez, A., González-Ibarra, N., Segura-Silva, R. M., & Alcalá-Galiano-Morell, D. D. (2025). Composición química, pretratamiento, almacenamiento, esterilización y usos de la melaza como sustrato en fermentaciones: Una revisión global. *Horizon Nexus Journal*, 3(2), 36-89. <https://doi.org/10.70881/hnj/v3/n2/59>

Recibido: 12/02/2025

Revisado: 20/04/2025

Aceptado: 25/04/2025

Publicado: 30/04/2025



Copyright: © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Resumen: La melaza es un subproducto de la industria azucarera que contiene 40-60% (m/m) de azúcares. A lo largo de la última década se han producido biocombustibles, polisacáridos, oligosacáridos, ácidos orgánicos y enzimas a partir de la melaza mediante la ruta fermentativa, lo cual le imparten un conjunto de aplicaciones importantes en las industrias de alimentos, farmacéuticas y biotecnológicas. Sin embargo, debido a su difícil manejo en cuanto al almacenamiento, esterilización, empaque y transportación, la explotación y aprovechamiento comercial de la melaza aún no ha sido del todo aplicado a escala industrial para obtener bioproductos de alto valor agregado. Para una mejor comprensión de las aplicaciones de la melaza a escala industrial, resulta necesario comprender y conocer exhaustivamente cuál ha sido su empleo como sustrato para producir bioproductos, composición físico-química, métodos de pretratamiento aplicados a escala de laboratorio, condiciones de almacenamiento y la propuesta de procesos de esterilización a gran escala, los cuales no han sido tratados y resumidos en detalle hasta la fecha. En esta revisión se generalizan y discuten todas estas temáticas mediante la consulta de varias referencias bibliográficas actualizadas, con el fin de establecer una guía confiable, sistematizada y actualizada acerca de estos tópicos.

Palabras clave: melaza de caña de azúcar; fermentación; microorganismos; bioproductos; aprovechamiento.

Abstract: Molasses is a by-product of the sugar industry that contains 40-60% (m/m) of sugars. Over the last decade, biofuels, polysaccharides, oligosaccharides, organic acids and enzymes have been produced from molasses through the fermentative route, which gives it a set of important applications in the food, pharmaceutical and biotechnological industries. However, due to its difficult handling in terms of storage, sterilization, packaging and transportation, the exploitation and commercial use of molasses has not yet been fully applied at an industrial scale to obtain high value-added bioproducts. For a better understanding of the applications of molasses at an industrial scale, it is necessary to comprehend and know thoroughly what has been its use as a substrate to produce bioproducts, physicochemical composition, pretreatment methods applied at laboratory scale, storage conditions and the proposal of large-scale sterilization processes, which have not been treated and summarized in detail to date. In this review, all these topics are generalized and discussed by consulting several updated bibliographic references, in order to establish a reliable, systematized and updated guide on these subjects.

Keywords: sugarcane molasses; fermentation; microorganisms; bioproducts; exploitation.

1. Introducción

La caña de azúcar ha sido ampliamente explorada por parte de la industria biotecnológica debido a su abundancia y bajo costo de producción en regiones tropicales, tales como Brasil e India, acoplada con la composición química relativamente simple del jugo. Estando compuesta principalmente por sacarosa, el jugo de la caña de azúcar es procesado como la materia prima principal en las plantas productoras de azúcar, generando melaza como uno de los subproductos principales en el proceso (Bento et al., 2020).

La melaza es el producto después que el azúcar ha sido removido por cristalización. El azúcar de caña se produce mediante el calentamiento del jugo obtenido al moler la caña. Este jugo es entonces clarificado por filtración con cal para precipitar la fibra y el lodo. La lechada obtenida es entonces evaporada para concentrar el azúcar y permitir que cristalice. El sirope que contiene estos cristales es centrifugado para separar los cristales del sirope residual. Este primer residuo, el cual aún tiene un elevado contenido de azúcar, es referido como "Melaza A". El proceso es repetido para rendir más azúcar y las melazas subsiguientes B, C o aún D. Las fábricas de azúcar normalmente evaporan y centrifugan un máximo de tres veces, aunque el número de tratamientos dependerá de la economía de mercado. Obviamente la cristalización sucesiva reduce la cantidad de azúcar presente en la melaza y disminuye su valor como sustrato fermentable en la producción de alcohol y otros productos. La cristalización repetida también tiende a degradar los azúcares de la melaza en compuestos no fermentables (Jacques et al., 2003).

Como regla general, mientras mayor sea el número de etapas de reciclaje que se aplique a la melaza, más pobre será su calidad como materia prima para realizar procesos fermentativos (Lino et al., 2018). De esta manera, la melaza de caña de azúcar puede reprocesarse para incrementar la extracción de los cristales de azúcar, resultando en una relación elevada sal/azúcar y una calidad más pobre de la melaza final para aplicaciones industriales posteriores (Eliodório et al., 2023). En general, la producción de 1 t de azúcar crudo está acompañada por la generación de 0,38 t de melaza, la cual

es muy difícil de desechar debido a sus características de composición compleja, pobre fluidez y elevada viscosidad, la cual está relacionada con el tipo de proceso de refinación de azúcar aplicado y las variedades de la planta (Zhang et al., 2021).

De esta manera, la melaza de caña de azúcar presenta una composición mineral similar al jugo de caña y aun así contiene una elevada concentración de sacarosa no cristalizada y sus unidades de azúcar monoméricos, glucosa y fructosa (Bento et al., 2020). La utilización de melaza de caña de azúcar para efectuar procesos de fermentación es uno de los procesos químicos más antiguos conocidos por los humanos (Khoja et al., 2018).

Como producto subsidiario de la industria azucarera, contiene aproximadamente 50% de azúcares fermentables (sacarosa, glucosa y fructosa), proteínas, vitaminas y elementos trazas que pueden ser directamente metabolizados por medio de la fermentación microbiana. Esto conlleva a que no necesite operaciones adicionales que incrementen significativamente el costo de la biosíntesis tales como hidrólisis química o enzimática, lo cual ha ocasionado su uso como materia prima de bajo costo (Wang et al., 2021).

Constituye la fuente de sacarosa más utilizada para la producción de bioetanol, ya que se puede utilizar para la fermentación sin modificación (Zaghloul et al., 2021), es un sustrato barato fácilmente disponible y listo para su conversión con un pretratamiento limitado en comparación con materiales lignocelulósicos, ya que todos los azúcares están presentes en una forma fermentable fácil (El-Gendy et al., 2013), convirtiéndolo en un sustrato adecuado también para la producción de ron (Khoja et al., 2018). En la actualidad se emplea a escala industrial como materia prima en la producción de bioetanol, butanol, ácido cítrico y ácido láctico, entre otros (Elidório et al., 2023), y también como alimento animal (Vidra et al., 2017), por tanto, las fábricas de azúcar integradas y co-localizadas con destilerías de etanol pueden emplear la melaza como materia prima para la producción de bioetanol en conjunto con el consumo de jugo crudo directamente de los molinos (Botros et al., 2012).

A lo largo de las últimas décadas, la melaza de caña de azúcar ha sido empleada como edulcorante sustituto del azúcar y considerado ingrediente en varios productos alimenticios. Se sabe que la melaza mejora el crecimiento microbiano en animales rumiantes lo cual promueve la digestión de nitrógeno no-proteínico y fibra, lo cual hace que sea empleada a nivel mundial como alimento para ganado (Jamir et al., 2021).

En Egipto, la melaza de caña de azúcar es una materia prima tradicional para las destilerías de etanol, mientras que alrededor del 90% de la producción de bioetanol en este país se realiza utilizando la melaza de caña de azúcar como sustrato (Zaghloul et al., 2021). En Tailandia la melaza de caña de azúcar se produce a un volumen de aproximadamente 3 500 000 TM/año (Thanapornsinn et al., 2022). En Paquistán la melaza de caña de azúcar constituye la materia prima principal en las destilerías para producir etanol, en donde el proceso de producción está bien establecido con 7-8% (v/v) de producción de etanol a partir de melaza diluida (15-16%) (Arshad et al., 2017). Estos autores sugieren la aplicación de la tecnología de fermentación de gravedad muy alta para la industria alcoholera, ya que se ahorra una elevada cantidad de agua con un rendimiento de alcohol superior, lo cual necesita menores consumos de energía, menor costo capital, mayor eficiencia de producción y también es libre de contaminación

bacteriana. En la India la producción de etanol utiliza casi exclusivamente la melaza de caña de azúcar, produciendo 190 L de melaza (50-55% de azúcar) por cada tonelada de azúcar producida, mientras que una tonelada de melaza produce 280 L de etanol (Jayaraman et al., 2017). En Indonesia la melaza se emplea mayormente como materia prima para la producción de glutamato monosódico, aunque se ha considerado su aprovechamiento para producir bioetanol (Kartini & Dhokhikah, 2018). En Brasil la melaza juega un papel único e impacta significativamente en los costos de la biorefinerías basadas en la caña de azúcar para producir bioetanol, en donde la producción de bioetanol está acoplada tradicionalmente con las industrias productoras de azúcar, permitiendo así la producción de biocombustible a partir de un mosto compuesto por jugo y/o melaza de caña de azúcar. La producción acoplada permite una mayor flexibilidad y decrece los riesgos comerciales asociados con la fluctuación de precios del azúcar y etanol. Aun así, ésta afecta también el medio de fermentación o mosto (Elidório et al., 2023). En México el empleo de la melaza está dirigido fundamentalmente a la producción de etanol y como alimento animal (Méndez-Romero et al., 2023).

Como subproducto de la ruta industrial de procesamiento de azúcar, la melaza de caña de azúcar puede contener un número de inhibidores orgánicos e inorgánicos para ciertos microorganismos que son generados durante las operaciones de calentamiento y tratamiento de la caña de azúcar dentro de la planta productora de azúcar, aparte de los problemas relacionados con su salinidad y osmolaridad que complican el desarrollo y despliegue de nuevas cepas industriales para procesar la melaza como materia prima (Bento et al., 2020).

De acuerdo con Lino et al. (2018) a pesar de su uso extensivo en diferentes bioprocesos, la utilización eficiente de la melaza por parte de fábricas de células microbianas no puede darse por sentado. Ciertamente, la melaza puede ser inhibitoria para varios organismos debido a su salinidad, osmolaridad (Scoma et al., 2017) y la presencia de elementos tóxicos inhibidores de fermentación (Nishida et al., 2004; Atfield, 1997; Basso et al., 2008; Teclu et al., 2009). Estos factores, acoplados con tensiones relacionadas con el proceso productivo (Della-Bianca & Gombert, 2013), toxicidad del producto (Baeyens et al., 2015), estrés de temperatura (Azhar et al., 2017), toxicidad del metabolismo de bacterias contaminantes (Basso et al., 2014), y competencia por los nutrientes (Thomas et al., 2001), complican el diseño de nuevas cepas industriales que emplean la melaza como materia prima (Abreu-Cavalheiro & Monteiro, 2013).

La bioconversión de la melaza de caña de azúcar en bioproductos de valor agregado no solo ayuda a reducir la contaminación ambiental y la generación de residuos, sino que además crea beneficios económicos importantes. De esta manera, para una mejor aplicación, explotación y manejo de la melaza resulta necesario comprender exhaustivamente cuál es el estatus actual de investigación de la melaza con respecto a su empleo como sustrato para la producción de bioproductos por la ruta fermentativa, su composición físico-química típica, los procesos de pretratamiento aplicados para ser empleada como sustrato en bioprocesos, las condiciones de almacenamiento y las tendencias actuales para su almacenamiento seguro, así como las operaciones unitarias diseñadas, sugeridas y evaluadas para esterilizar la melaza a escala industrial, lo cual para conocimiento de los autores de este trabajo no han sido previamente tratadas con este nivel de detalle. En base a los antecedentes abordados, en el presente

artículo se presentan todas estas temáticas, con el fin de crear una guía de consulta verídica, confiable y plausible que permita actualizar al lector vinculado y relacionado fundamentalmente con la industrias azucarera, biotecnológica y química, así como los ingenieros químicos, azucareros, biotecnológicos e industriales, acerca de estos tópicos y presentar su estado y condición actual en la literatura científica moderna.

2. Materiales y Métodos

Este estudio se dividió en tres fases, las cuales están relacionadas con el análisis bibliométrico de los tópicos que se tendrán en cuenta para elaborar el artículo, los cuales son:

- Evidencias bibliográficas relacionadas con el estudio y evaluación de la melaza de caña de azúcar como sustrato para producir compuestos químicos por la ruta fermentativa bajo diversas escalas productivas.
- Composición química de la melaza de caña de azúcar, incluyendo la propuesta de medios sintéticos para imitar su composición.
- Procesos de pretratamiento aplicados a la melaza de caña de azúcar antes de ser empleada como sustrato en procesos fermentativos.
- Condiciones de almacenamiento.
- Operaciones y equipamiento propuestos para esterilizar la melaza a escala industrial.

Para desarrollar todos estos tópicos de investigación, la metodología PRISMA (en inglés: *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) fue aplicada hasta la Fase 3 con el objetivo lograr una evaluación rápida, eficiente y transparente de los artículos científicos recopilados (Chicaiza-Ortiz et al., 2024). Este método PRISMA complementa el análisis sistemático y metódico, y toma en cuenta frases de búsqueda investigativas específicas para examinar el contenido y métodos aplicados por los investigadores y científicos con respecto a la temática objeto de estudio. Para efectuar la búsqueda y recopilación de los documentos, se hizo uso de artículos publicados bajo ciertas bases de datos tales como Scielo, Scopus y Web of Science, y editoriales tales como Springer, MDPI y Taylor and Francis Group, con el fin de verificar la evolución, actualidad y progresiones de la investigación científica basada en los tópicos a tratar en este trabajo. Este proceso fue realizado entre enero y febrero de 2025 y rindió 112 documentos, todos en idioma inglés.

3. Resultados y discusión

3.1. Utilización de la melaza como sustrato para producir compuestos químicos por la ruta fermentativa

Mediante la aplicación de tecnologías modernas, la melaza puede transformarse teóricamente en varios productos de valor agregado. Sin embargo, en la práctica actual solamente unos pocos productos son comercialmente viables y por tanto algunas plantas industriales están operando en diferentes países para producir solamente estos productos (Jamir et al., 2021).

Tomando en cuenta su elevado contenido de carbohidratos y precio razonablemente bajo, la melaza de caña de azúcar está siendo examinada en detalle para convertirla en un sustrato excepcional para la fermentación, ya que puede suministrar significativamente un sustento para el crecimiento de células de levadura, y producir así varios productos tales como etanol, butanol, ácido láctico, ácido cítrico, levadura panadera, proteína unicelular, etc. (Jamir et al., 2021).

La melaza a 80 °Brix no fermenta sin diluir ya que los azúcares y sales ejercen una presión osmótica muy elevada. Resulta necesario por tanto diluir la melaza hasta 25 °Brix o menos. La levadura no comenzará a fermentar rápidamente por encima de este punto, y pudiera desarrollarse contaminación antes que la levadura se establezca debido a que la melaza está cargada con bacterias contaminantes. Valores de °Brix de alrededor de 25 constituye la más alta presión osmótica que la levadura podrá tolerar para comenzar la fermentación. Una forma de incrementar el contenido de etanol en una fermentación alcohólica consiste en la alimentación incrementada. Después que la fermentación ha estado ocurriendo por varias horas y el mosto ha alcanzado los 15 o 16 °Brix, se agrega melaza adicional a 40 °Brix para llevar la concentración hasta 20 °Brix, y esta mezcla resultante es fermentada. Esto permite que la levadura se establezca rápidamente (Jacques et al., 2003).

La melaza de caña de azúcar se ha evaluado, estudiado e investigado como sustrato para producir diferentes compuestos químicos por la ruta fermentativa. En la Tabla 1 se muestra una compilación de los diferentes usos de la melaza de caña de azúcar como sustrato para producir varios productos, indicando los microorganismos usados y la referencia bibliográfica consultada.

Tabla 1

Aprovechamiento de la melaza de caña de azúcar como sustrato para producir compuestos químicos.

Compuesto químico	Microorganismo	Referencia
Ácido cítrico	<i>Aspergillus niger</i>	Almakki et al. (2019)
Ácido láctico	<i>Lactobacillus casei</i> <i>Lactobacillus</i> sp. MKT878	Vidra et al. (2017)
Etanol	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Fleischmann)	Santos et al. (2024)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i> <i>S. cerevisiae</i> F514 <i>S. cerevisiae</i> ATCC4095 <i>Candida kefir</i> EMCC77	Botros et al. (2012)
Etanol	<i>Candida tropicalis</i> EMCC2 <i>Kluyveromyces marxianus</i> NRRL1109 <i>Pichia stipites</i> DSM3651 <i>Zymomonas mobilis</i> ATCC31823	Zaghloul et al. (2021)
Etanol	<i>Z. mobilis</i>	Khoja et al. (2018)
Etanol	Suspension de levaduras	Rani et al. (2024)
Etanol	<i>Z. mobilis</i> <i>S. cerevisiae</i>	Khoja et al. (2015)
Butanol	<i>Clostridium beijerinckii</i> TISTR1461	Thanapornsinn et al. (2018)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i>	Nehra et al. (2021)

Biodiesel microbiano	<i>Mucor circinelloides</i> URM 4182	Bento et al. (2020)
Ácido cítrico	<i>A. niger</i>	Marlinda et al. (2019)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i> Y-39	El-Gendy et al. (2013)
Invertasa fúngica	<i>A. niger</i> GH1	Veana et al. (2014)
Etanol	<i>Z. mobilis</i>	Doelle y Doelle (1990)
Butanol	<i>C. beijerinckii</i> TISTR 1461	Thanapornsini et al. (2022)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i> F-514	Zohri et al. (2022)
Etanol	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> TB3	Garing et al. (2018)
Etanol	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> HBY3	
Etanol	<i>Kluyveromyces marxianus</i> var. <i>marxianus</i>	Gough et al. (1996)
Ácido cítrico	<i>Candida parapsilosis</i> NH-3	El-Gamal et al. (2018)
Biodiesel microbiano	<i>Rhodotorula kratochvilovae</i> SY89	Jiru et al. (2018)
Etanol	<i>Meyerozyma caribbica</i> MJTm3	Hawaz et al. (2023)
Transglutaminasa microbiana	<i>Streptoverticillium ladakanum</i> NRRL 3191	Portilla et al. (2017)
Goma xantán	<i>Xanthomonas campestris</i>	Zakeri et al. (2015)
Celulosa	<i>Gluconacetobacter intermedius</i> SNT-1	Tyagi y Suresh (2016)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i> TA2 <i>Wickerhamomyces anomalus</i> HCJ2F-19	Hawaz et al. (2024)
Etanol	<i>Lactiplantibacillus casei</i> E1 modificada de la cepa salvaje <i>L. casei</i> 12A	Wang et al. (2021)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i>	Arshad et al. (2017)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i> <i>Schizosaccharomyces pombe</i>	Jayaraman et al. (2017)
Etanol	<i>A. niger</i> y <i>Trichoderma viride</i> para la hidrólisis de la melaza de caña de azúcar.	Kartini y Dhokhikah (2018)
Etanol	Consorcio <i>S. cerevisiae</i> - <i>Pichia stipitis</i> para la fermentación alcohólica	
Lacasa	<i>Pycnoporus sanguineus</i>	Marim et al. (2016)
Lacasa	<i>Levadura seca instantánea</i>	Wardani et al. (2023)
Exopolisacáridos (levano)	<i>Suhomyces kilbournensis</i>	González-Torres et al. (2024)
Ácido cítrico	<i>A. niger</i>	Bakhiet y Al-Mokhtar (2015)
Hidrógeno y metano mediante digestión anaerobia	-	Park et al. (2010)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i>	Gasmalla et al. (2012)
Etanol	Levadura Torula	Sharma et al. (2018)
Etanol	Levadura seca instantánea	Raharja et al. (2019)
Ácido cítrico	<i>A. niger</i>	Ashraf et al. (2015)
Etanol	<i>K. marxianus</i> NRRL8554, <i>S. cerevisiae</i> O-14 y <i>Z. mobilis</i> ATCC 10988	Sadik y Halema (2014)
Butanol	<i>C. beijerinckii</i> TISTR 1461	Wechgama et al. (2017)
Biopesticida	<i>Bacillus thuringiensis</i> subespecie <i>kurstaki</i> HD-1	Yapo et al. (2020)

Acetona-Butanol- Etanol	<i>Clostridium saccharobutylicum</i> DSM 13864	Ni et al. (2012)
Ácido láctico	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> Uc-3	Dumbrepatil et al. (2008)
Ácido cítrico	<i>A. niger</i> GCBT7	Ali et al. (2002)
Cultivo de microorganismos	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> cepas EHA105 y GV3301	Watthanasakphuban et al. (2023)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i> AXAZ-1	Kopsahelis et al. (2012)
Líquido extracelular con actividad antimicrobiana	<i>Nocardia</i> sp cepa V1	Mawarda et al. (2018)
Probiótico	<i>Lactobacillus paracasei</i> ssp. <i>paracasei</i> F19	Acosta-Piantini et al. (2023)
Ácido láctico	Consorcio micrbiano CEE-DL15 compuesto por: <i>Clostridium sensustricto</i> (57,29%) <i>Escherichia</i> (34,22%) <i>Enterococcus</i> (5,32%)	Sun et al. (2019)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i>	Arshad et al. (2008)
Hidrógeno en un reactor anaeróbico de fermentación de flujo continuo	-	Ren et al. (2006)
Polihidroxibutirato	<i>Enterobacter</i> sp. SEL2 y <i>Enterobacteriaceae bacterium</i> sp. PFW1	Naheed et al. (2012)
Etanol	Levaduras aisladas de jugo de dátil y uvas	Rahman et al. (2013)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i> cepas PE-2 y CAT-1	Barbosa et al. (2016)
Levadura panadera	-	Malik (2016)
Etanol	<i>S. cerevisiae</i> Y17	Rasmey et al. (2018)
Invertasa celular	<i>Cladosporium herbarum</i> ER-25	Taskin et al. (2016)
Lípidos ricos en ácido linoleico	<i>Galactomyces geotrichum</i> TS61	Altun et al. (2020)

Ponce et al. (2015) reporta que la melaza de caña de azúcar es la principal materia prima considerada para producir etanol, sin embargo, debido a la fuerte inhibición por etanol se tiene que diluir esta melaza en aras de mantener la concentración de etanol en el caldo por debajo del límite de toxicidad al final de la fermentación. De esta manera se consumen grandes volúmenes de agua en el proceso fermentativo, trayendo consigo elevados costos de separación y diseño de planta (ya que se hace necesario utilizar equipos más grandes). Una vía para solucionar estos problemas es acoplar la fermentación con una técnica de remoción de producto continua tales como un proceso de fermentación de *gas stripping* in situ, la cual es una técnica simple y barata que consiste básicamente en un fermentador, un condensador y una bomba para circular los gases con el fin de remover continuamente inhibidores volátiles. Esta técnica puede reducir la acumulación de etanol y retardar la inhibición por producto, así como también obtener elevadas cargas de fermentación de azúcar y mayores rendimientos de fermentación. Estos autores refieren que el *gas stripping* es un proceso de separación químico donde compuestos químicos objetivo son removidos de una solución acuosa

mediante el burbujeo de gas desde el fondo del fermentador. La transferencia de masa ocurre en la interface de las fases vapor/líquido, en la cual los compuestos objetivos volatilizan más rápido que el agua a separar. Debido a su bajo costo, operación simple y biocompatibilidad, el *gas stripping* ha sido evaluado en diferentes procesos biotecnológicos.

Un sistema de *gas stripping* aplicado en una fermentación utilizando melaza de caña de azúcar como sustrato para producir butanol por parte de *Clostridium beijerinckii* TISTR 1461 también fue investigado en (Wechgama et al., 2017), en donde los caudales de gas y agente de enfriamiento (etanol al 95%) fueron controlados en 1,0 L/min usando bombas peristálticas. La temperatura del agente de enfriamiento fue mantenida en – 8 °C. El proceso de *gas stripping* en este estudio fue iniciado cuando el valor de pH fue el menor (12 h) durante la fermentación, que es el punto de cambio entre las fases de acidogénesis y solventogénesis, y constituye el punto de ruptura de *C. beijerinckii* TISTR 1461.

Para Altun et al. (2020) el uso de la melaza de caña de azúcar como sustrato en medios de cultivo microbianos contribuye tanto a reducir los costos operacionales del proceso productivo implementado y soluciona efectivamente el problema de la contaminación medioambiental.

3.2. Composición química de la melaza de caña de azúcar

La melaza es un subproducto de la industria azucarera que contiene aproximadamente 50 % (m/m) de azúcares totales, presenta un color carmelita oscuro con un olor fuerte característico y una elevada Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), con concentraciones de estos parámetros de aproximadamente 60 000 mg/L y 25 000 mg/L, respectivamente (Vidra et al., 2017).

Botros et al. (2012) reporta que la melaza está compuesta por sacarosa, glucosa y fructosa a una concentración total de carbohidrato de 45-60 % (m/v), indicando que el contenido de azúcares fermentables de la melaza varía inversamente con la pureza del azúcar crudo producido en la fábrica. Estos autores establecen además que la melaza de caña de azúcar tiene menos sacarosa y más azúcar invertido, y menor contenido de nitrógeno y rafinosa, color más intenso y más capacidad *buffer*.

La composición y calidad final de la melaza puede variar significativamente entre un lote y otro, presentan diferentes concentraciones de nutrientes (p. ej. minerales, sacarosa, fructosa, vitaminas, ácidos grasos, etc.) y compuestos tóxicos (p. ej. aluminio y sulfitos) y compuestos formados debido a la degradación térmica del azúcar. Consecuentemente, las cepas microbianas industriales son seleccionadas por su robustez y adaptabilidad en las condiciones estresantes impuestas a lo largo de los bioprocesos industriales, incluyendo aquellas limitaciones y restricciones atribuidas a la calidad de la materia prima usada para la preparación del medio de fermentación. Esta variabilidad, y la dificultad de obtener materias primas industriales, constituyen obstáculos que impactan la reproducibilidad y la aplicabilidad de los resultados desde diferentes grupos que desarrollan nuevas cepas y bioprocesos basados en sustratos de consumo tales como la melaza (Lino et al., 2018).

De acuerdo con González-Torres et al. (2024), la melaza de caña de azúcar puede tener composiciones químicas diferentes en dependencia del tipo de planta, condiciones del área de cultivo, madurez de la planta y nivel de procesamiento del jugo.

La concentración de la melaza es normalmente medida en grados Brix, la cual es una medida de cuál sería el contenido de azúcar de un líquido si todos los sólidos disueltos y suspendidos fueran azúcar. Expresado de otra manera, es el contenido de azúcar de una solución azucarada con la misma gravedad específica de la muestra. Por tanto, una melaza de 80 °Brix tiene una gravedad específica de 1,416, la cual es la misma que una solución de azúcar conteniendo 80% de azúcar en peso (Jacques et al., 2003).

Hawaz et al. (2024) indican que la melaza de caña de azúcar contiene 60% de sacarosa que es hidrolizada para rendir glucosa y fructosa durante el proceso de fermentación, y que esta melaza contiene minerales tales como calcio: 150-2000 mg/L, potasio: 300-12000 mg/L y magnesio: 80-3900 mg/L, aunque también refiere que la elevada concentración de estos minerales inhibe la actividad enzimática, específicamente la invertasa que convierte la sacarosa en azúcares reductores.

De forma similar, Gough et al. (1996) plantean que, en la melaza de caña de azúcar, los azúcares residuales totales pueden contabilizar 50-60% (m/v), de los cuales el 60% es sacarosa. En adición a la sacarosa existen tanto componentes promotores del crecimiento como inhibidores (p. ej. hidroximetilfurfural, hexanol y heptanol).

Botros et al. (2012) utilizaron melaza de caña de azúcar proveniente de una fábrica de azúcar de Egipto para estudiar la producción de bioetanol, la cual presentó la siguiente composición: agua: 80,7%, sólidos solubles: 19,3%, azúcar total: 49,2%, nitrógeno total: 0,6%, sustancias minerales: 6,1%, mientras que el pH fue de 7,4.

Zaghloul et al. (2021) utilizaron dos tipos de melaza de caña de azúcar provenientes de la fábrica El Hawamdía (Melaza 1 en Tabla 2) y fábrica Cairo (Melaza 2 en Tabla 2) respectivamente, con el fin de estudiar la producción de bioetanol por parte de seis levaduras y una bacteria. En la Tabla 2 se muestra la composición química de estos dos tipos de melaza de caña de azúcar:

Tabla 2

Composición de la melaza de caña de azúcar utilizada en Zaghloul et al. (2021) para producir bioetanol.

Componente	Melaza 1	Melaza 2
Proteína total (%)	6,01	11,44
Azúcar total (mg/mL)	3,57	4,46
Carbono orgánico (%)	47,56	42,98
Fosforo total (%)	0,12	0,012
Cenizas (%)	14,74	-
Mn (mg/kg)	13,13	15,86
Cr (mg/kg)	0,76	3,38
Cu (mg/kg)	8,8	7,93
Ni (mg/kg)	1,91	7,52
Fe (mg/kg)	345,3	366,46

Bento et al. (2020) utilizaron melaza de caña de azúcar como sustrato para la producción de biodiesel microbiano por parte de *Mucor circinelloides* URM 4182. Esta melaza presentó la composición mostrada en la Tabla 3.

Tabla 3

Composición de la melaza de caña de azúcar empleada en Bento et al. (2020) para la producción de biodiesel microbiano.

Parámetro	Valor
Azúcares totales (%)	59,68
Sacarosa (% m/m)	39,9
Fructosa (% m/m)	7,5
Glucosa (% m/m)	5,5
pH	5,7
Potasio (mg/kg)	25 570
Magnesio (mg/kg)	4150
Sodio (mg/kg)	119
Hierro (mg/kg)	62
Manganeso (mg/kg)	28
Calcio (mg/kg)	11,45
Sulfito (mg/kg)	< 10
Zinc (mg/kg)	6,2
Cobre (mg/kg)	3,6
Cobalto (mg/kg)	1,5

Veana et al. (2014) evaluaron dos muestras de melaza de caña de azúcar para la producción de invertasa fúngica mediante *Aspergillus niger* GH1, la primera adquirida comercialmente en México (de origen desconocido) y la segunda proporcionada por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, la cual se originó en el central azucarero Uruguay en Cuba, en la zafra 2009-2010. Estas melazas fueron caracterizadas mediante la determinación de los contenidos de azúcares reductores y totales usando la técnica de Lane-Eynon, el contenido de nitrógeno mediante la técnica Kjendhal y el contenido de fósforo empleando la técnica del metavanedato de amonio. Una vez que las dos melazas fueron caracterizadas, se seleccionó la mejor de estas dos y se realizó un balance de nutrientes de acuerdo con el medio de cultivo Czpek-Dox con la siguiente composición en g/L: NaNO₃ (7,65); KH₂PO₄ (3,04); MgSO₄·7H₂O (1,52); KCl (1,52); y sacarosa de 25 g/L, suministrada por la melaza. La Tabla 4 muestra la composición química de las dos melazas empleadas en este estudio.

Tabla 4

Composición química de las melazas empleadas en Veana et al. (2014).

Melaza	Azúcares totales (%)	Azúcares reductores libres (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)
México	51,63 ± 1,56	18,15 ± 0,30	0,28 ± 0,05	0,17 ± 0,01
Cuba	50,58 ± 0,86	12,31 ± 1,11	0,43 ± 0,01	0,14 ± 0,02

Doelle y Doelle (1990) emplearon dos tipos de melaza, clasificadas en Australia como melaza B y melaza C, en donde, según estos autores, la melaza B presentó una concentración de azúcares totales promedio de 48-50% (m/v), la cual es equivalente a un valor de 67-70% (m/m), mientras que la melaza C tuvo una concentración de azúcares menor de aproximadamente 35-42% (m/v), la cual es equivalente a 55-60% (m/m).

Thanapornsinn et al. (2022) utilizaron melaza de caña de azúcar conteniendo 80 °Brix como sustrato para la producción de butanol, la cual fue obtenida en una fábrica de azúcar de Tailandia. Esta melaza tuvo la composición mostrada en la Tabla 5.

Tabla 5

Composición de la melaza de caña de azúcar empleada en Thanapornsinn et al. (2022) para producir butanol.

Composición	Concentración	
	Valor	UM
Proteína	6,77	g/100 mL
Fosforo	483,19	mg/L
Potasio	28133,60	mg/L
Sodio	1405,29	mg/L
Calcio	8110,65	mg/L
Magnesio	4498,04	mg/L
Hierro	150,74	mg/L
Manganeso	79,90	mg/L
Cobre	0,25	mg/L
Zinc	29,93	mg/L
Molibdeno	0,10	mg/L
Níquel	10,81	mg/L
Boro	44,78	mg/L
Cobalto	2,57	mg/L
Azufre	5214,58	mg/L
Sacarosa	445,60	g/L
Glucosa	128,20	g/L
Fructosa	99,46	g/L

Zohri et al. (2022) evaluaron el empleo de melaza para producir etanol mediante *Saccharomyces cerevisiae* F-51, la cual provino de diferentes fábricas de azúcar egipcias. La Tabla 6 muestra la composición de estas muestras de melaza.

Tabla 6

Análisis fisicoquímico de algunas muestras de melaza de caña de azúcar obtenidas en diferentes fábricas de azúcar egipcias al comienzo de la temporada de molienda Zohri et al. (2022).

Parámetro	Fábrica			
	Nagh Hamadi	Kous	Edfu	Deshna
pH	5,4	5,6	5,4	5,5
Gravedad específica	1,43	1,39	1,41	1,45
Brix	86,85	86,91	85,65	86,95
Azúcar total (%)	52,57	48,9	52,00	52,22
Azúcares no fermentables (%)	4,20	4,40	4,50	4,40
Azúcares fermentables totales (%)	48,37	44,6	47,50	47,82
Ceniza (%)	10,63	12,39	11,03	10,53

Jiru et al. (2018) determinaron el contenido de glucosa, fructosa y sacarosa en una melaza de caña de azúcar obtenida en una fábrica de azúcar instalada en Etiopía. La composición de estos azúcares en esta melaza se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7*Composición de azúcares en la melaza de caña de azúcar utilizada en Jiru et al. (2018).*

Azúcares	Composición en la melaza de caña de azúcar (%)
Fructosa	21,05
Glucosa	15,94
Sacarosa	1,29
Total	38,28

Del mismo modo, Hawaz et al. (2024) utilizaron una melaza proveniente de una fábrica de azúcar en Etiopía como sustrato para estudiar la producción de bioetanol, la cual presentó la siguiente composición fisicoquímica: contenido total de sólidos de 75% (m/v); contenido de sólidos orgánicos de 66% (m/v); contenido de sólidos inorgánicos de 12% (m/v), y un contenido total de azúcar de 54% (m/v) [sacarosa: 32% (m/v); fructosa: 10% (m/v) y glucosa: 8% (m/v)].

Igualmente, Park et al. (2010) usaron una melaza de caña de azúcar proveniente de una planta de azúcar en Corea del Sur como sustrato para estudiar la producción de hidrógeno y metano de forma secuencial, la cual presentó la composición mostrada en la Tabla 8.

Tabla 8*Características de la melaza empleada como sustrato en Park et al. (2010).*

	Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
Sólido	Sólidos totales	578,0 g/L	pH	4,3
	Sólidos volátiles	501,2 g/L	Contenido agua	27,7 % (m/m)
	Sólidos fijos	76,8 g/L	Carbohidrato	614 g/kg
	Sólidos suspendidos totales	11,6 g/L	Alcalinidad	5,9 g/L
	Sólidos suspendidos volátiles	7,2 g/L	TCOD _{Cr}	1082,2 g/L
	Sólidos suspendidos fijos	4,4 g/L	SCOD _{Cr}	1032,4 g/L
Azúcares	Glucosa	169 g/kg	Nitrógeno total	37,8 g/L
	Sacarosa	87 g/kg	PO ₄ ³⁻	0,59 g/L
	Fructosa	264 g/kg	SO ₄ ²⁻	26,4 g/L

En Gasmalla et al. (2012) se estudió el empleo de una melaza a de caña de azúcar generada en una fábrica de azúcar de Sudán para la producción de etanol. La melaza empleada en este trabajo presentó la composición química mostrada en la Tabla 9.

Tabla 9*Composición química de la melaza de caña de azúcar reportada en Gasmalla et al. (2012) (en base a peso húmedo).*

Parámetro	Media (m/v)
Brix	84 ± 2,51
Azúcares reductores (%)	17 ± 2,0
Sacarosa (%)	32 ± 3,51
Azúcares totales (%)	49 ± 5,50
Ceniza (%)	12,69 ± 0,26
pH	5,8 ± 0,35

En Sharma et al. (2018) se utilizó una melaza de caña de azúcar producida en una fábrica de azúcar instalada en la India, para estudiar la producción de etanol por parte de levadura *Torula*, la cual presentó la composición química mostrada en la Tabla 10.

Tabla 10*Composición de la melaza de caña de azúcar estudiada en Sharma et al. (2018).*

Parámetro	Valor
Contenido de agua (%)	20,2
Contenido de sólidos solubles (%)	79,8
Azúcar total (%)	53,7
Contenido de nitrógeno total (%)	0,5
Minerales (%)	6,2
pH	6

Jayaraman et al. (2017) consideraron una melaza de caña de azúcar para evaluar su uso como sustrato en la producción de etanol usando *Saccharomyces cerevisiae* y *Schizosaccharomyces pombe*, la cual presentó la siguiente composición química: azúcares reductores totales: 46,61 %, azúcares no fermentables: 4,27% y azúcares fermentables: 42,34%.

De igual forma, Raharja et al. (2019) investigaron el empleo de una melaza cruda obtenida en una fábrica de azúcar de Indonesia como sustrato para la producción de bioetanol mediante una levadura seca instantánea. En este trabajo la melaza fue o no pretratada con ácido sulfúrico (96,1%), en donde la Tabla 11 muestra una comparación de los parámetros físico-químicos de la melaza tanto cruda como no pretratada o pretratada con ácido sulfúrico.

Tabla 11*Características de la melaza de caña de azúcar evaluada en Raharja et al. (2019).*

Parámetro	Melaza cruda	Melaza (sin tratamiento)	Melaza (con tratamiento)
Sólidos solubles totales (°Brix)	80,100 ± 0,900	42	44
Azúcar total (%)	57,010 ± 0,470	41,60 ± 0,47	43,99 ± 0,80
Azúcar reductor (%)	20,480 ± 0,380	14,58 ± 0,30	15,51 ± 0,28
Ceniza total (%)	7,460 ± 0,050	5,47 ± 0,04	3,31 ± 0,08
Mineral (Ca) (%)	0,600 ± 0,002	0,08 ± 0,01	0,02

Ashraf et al. (2015) refieren que la composición de una melaza de caña de azúcar depende de factores climáticos, variedad, madurez de la caña, así como también de las condiciones de procesamiento. De esta manera, pueden encontrarse variaciones considerables en el contenido de nutrientes, sabor, color y viscosidad en la melaza. Estos autores analizaron una melaza de caña de azúcar proveniente de una fábrica de azúcar instalada en Paquistán, con el fin de emplearla como sustrato para producir ácido cítrico mediante *Aspergillus niger*, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12*Análisis típico de nutrientes de la melaza de caña de azúcar utilizada en Ashraf et al. (2015).*

Componentes	Rango de concentración (g/L)
Agua	170 – 250

Sacarosa	300 – 400
Dextrosa (glucosa)	40,0 – 90,0
Levulosa (fructosa)	50,0 – 120,0
Contenido de ceniza	70,0 – 150
Compuestos nitrogenados	20,0 – 60,0
Compuestos no nitrogenados	20,0 – 80,0
Ceras, esteroides y fosfolípidos	1,0 – 10,0

En Sadik y Halema (2014) se evaluó el empleo de una melaza de caña de azúcar generada en una planta de producción de azúcar en Egipto, conteniendo 50% de azúcares fermentables y 80% de sólidos totales, así como también la composición química mostrada en la Tabla 13.

Tabla 13

Composición de la melaza de caña de azúcar utilizada en Sadik y Halema (2014).

Parámetro	Valor
Nitrógeno (%)	0,20
Fósforo (%)	0,27
Potasio (%)	0,11
Materia orgánica (%)	15,2

De la misma manera, Wechgama et al. (2017) analizaron el empleo de una melaza de caña de azúcar (80 °Brix de sólidos solubles totales) adquirida al Instituto de Investigación Científica y Tecnológica de Tailandia, para estudiar la producción de butanol por parte de *Clostridium beijerinckii* TISTR 1461. La composición de esta melaza fue analizada, cuyos resultados se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14

Composición química de la melaza de caña de azúcar empleada en Wechgama et al. (2017).

Composición	Concentración	
	Valor	UM
Proteína	6,40	g/100 mL
Fosforo	694,17	mg/L
Potasio	33 540,70	mg/L
Sodio	574,49	mg/L
Calcio	12 085,36	mg/L
Magnesio	5 733,75	mg/L
Hierro	152,44	mg/L
Manganeso	108,99	mg/L
Cobre	1,54	mg/L
Zinc	1,13	mg/L
Molibdeno	0,35	mg/L
Níquel	1,92	mg/L
Boro	3,10	mg/L
Cobalto	0,86	mg/L
Azufre	1 036,00	mg/L
Sacarosa	364,46	g/L
Glucosa	103,69	g/L
Fructosa	123,99	g/L

En Yapo et al. (2020) se evaluó el uso de melaza de caña de azúcar generada en una fábrica de azúcar en Costa de Marfil como sustrato para la producción de biopesticida a partir de *Bacillus thuringiensis* subespecie *kurstaki* HD-1, en donde la composición de

esta melaza fue determinada con respecto a varios parámetros, los cuales se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Características físicas y químicas de la melaza de caña de azúcar utilizada en Yapo et al. (2020).

Parámetro	Valor
pH	5,1
Carbono total (m/kg)	564 000
Nitrógeno total (mg/kg)	46 300
Fosforo total (mg/kg)	580
Relación carbono/nitrógeno	12,8
Calcio (mg/kg)	97,2
Potasio (mg/kg)	79,7
Magnesio (mg/kg)	74,0
Sodio (mg/kg)	51,2
Cobre (mg/kg)	114,1
Hierro (mg/kg)	108,2
Manganeso (mg/kg)	142,1
Zinc (mg/kg)	17,7

Ni et al. (2012) investigaron el uso de una melaza de caña de azúcar proveniente de una fábrica de azúcar instalada en China, como sustrato para la producción de acetona-butanol-etanol mediante *Clostridium saccharobutylicum* DSM 13864 aplicando tanto cultivo batch como semicontinuo (*fed-batch*). Esta melaza tuvo la siguiente composición: sacarosa 30% (m/m); glucosa 3,2% (m/m); fructosa 10,8% (m/m), otros carbohidratos 2,5% (m/m); ceniza 9,6% (m/m); iones metálicos 8,9% (m/m), sal 4,6% (m/m); proteína cruda 4,6% (m/m); grasa cruda 0,06% (m/m).

Zohri et al. (2022) evaluaron la utilización de una melaza de caña de azúcar proveniente de cuatro fábricas de azúcar egipcias, para su empleo como sustrato en la producción de bioetanol utilizando el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* F-514. En la Tabla 16 se muestra la composición fisicoquímica de estas melazas de caña de azúcar colectadas en las cuatro fábricas de azúcar, así como también de la muestra mezclada de las melazas colectadas.

Tabla 16

Composición fisico-química de las muestras de melaza de caña de azúcar analizadas en Zohri et al. (2022) colectadas en cuatro fábricas de azúcar egipcias y la muestra mezclada.

Fábrica de azúcar	Parámetros				
	pH	Azúcar total (%)	Azúcares fermentables totales (%)	Azúcares no fermentables (%)	Ceniza (%)
NH	5,3	52,60	48,30	4,3	10,63
Kous	5,6	46,91	42,11	4,8	12,39
Edfu	5,4	51,90	47,50	4,4	11,03
Deshna	5,5	52,12	47,82	4,3	10,53
Muestra mezclada	5,2	51,40	47,20	4,2	10,90

Asimismo, Zohri et al. (2022) también se analizaron estas cuatro muestras de melaza de caña de azúcar provenientes de cuatro fábricas de azúcar egipcias diferentes, así como también la de la muestra mezclada, con respecto a la concentración de metales pesados y calcio. La Tabla 17 muestra esta composición de metales pesados y calcio para las cuatro melazas y la muestra mezclada.

Tabla 17

Concentraciones de algunos metales pesados y calcio involucrados en la melaza de caña de azúcar analizada en Zohri et al. (2022).

Elemento	Fábrica de azúcar				
	Edfu	NH	Deshna	Kous	Muestra mezclada
Calcio (%)	6,8	8,20	4,40	6,30	6,60
Cobre (ppm)	18,7	18,40	21,70	14,90	18,70
Níquel (ppm)	1,22	1,63	1,82	1,85	1,60
Hierro (ppm)	91,00	82,00	206,00	63,00	115,00
Cadmio (ppm)	0,78	0,64	0,80	0,82	0,74
Zinc (ppm)	22,00	22,00	22,00	23,00	22,00
Plomo (ppm)	6,64	7,36	6,64	9,46	6,40

De igual manera, Watthanasakphuban et al. (2023) realizaron el pretratamiento de una melaza de caña de azúcar cruda obtenida en una fábrica de azúcar del Nordeste de Tailandia, mediante tres métodos, para ser empleada como sustrato para el estudio de la producción de *Agrobacterium tumefaciens* por la ruta fermentativa. La Tabla 18 muestra los parámetros medidos tanto a esta melaza cruda como a la melaza obtenida mediante los tres tratamientos. Resulta válido puntualizar que estos tres tratamientos aplicados fueron 1) con ácido sulfúrico (AS), 2) con fosfato tricálcico (FT), y 3) con fosfato tricálcico combinado con ácido sulfúrico (AS-FT).

Tabla 18

Concentración de iones minerales y azúcar total en la melaza de caña de azúcar antes y después de varios métodos de pretratamiento reportada en Watthanasakphuban et al. (2023).

Minerales	UM	Melaza	AS	FT	AS-FT
Azúcar total	g/100 g	57,5	45,2	53,4	50,8
Ceniza	g/100 g	7,7	3,8	4,3	3,8
Sulfato ceniza	g/100 g	9,0	4,9	5,9	4,1
Calcio	mg/kg	7 173,5	589,5	3 029,8	589,4
Magnesio	mg/kg	2 949,2	2 121,8	2 163,6	2 087,6
Potasio	mg/kg	9 530,5	9 449,4	9 692,3	9 665,5
Nitrógeno	g/kg	0,085	0,016	0,011	0,036

Ren et al. (2006) evaluaron una melaza de caña de azúcar generada en una refinería de azúcar de China como sustrato para la producción de hidrógeno por la ruta fermentativa, en un reactor de lodo activado anaerobio a escala piloto. La melaza empleada (conteniendo 53% de azúcares) fue diluida en agua hasta cierto valor de la tasa de carga (3,11-85,57 kg DQO/m³ reactor/día). Esta melaza fue analizada para determinar su composición química, la cual se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19

Composición química de la melaza normal evaluada como sustrato en Ren et al. 2006) para la producción de biohidrógeno.

Componente	Valor (% m/m)	Componente	Valor (% m/m)
Materiales secos	78-85	MgO	0,01-0,1
Azúcar total	48-58	K ₂ O	2,2-4,5
TOC	28-34	SiO ₂	0,1-0,5
TKN	0,2-2,8	Al ₂ O ₃	0,05-0,06
P ₂ O ₅	0,02-0,07	Fe ₂ O ₃	0,001-0,02
CaO	0,15-0,8	Ceniza	4-8

En Jacques et al. (2003) se establece la composición típica de una melaza de caña de azúcar, la cual se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20

Composición química de una melaza de caña de azúcar según Jacques et al. (2003).

Parámetro	Rango de valores típicos (%)
Azúcares totales	45-55
Sacarosa	25-35
Azúcares reductores	20-35
pH	5-5,5
Ceniza	10,-16
Materia orgánica no azúcar	10,-12
Almidón/polisacáridos	0,5%
Calcio	0,4-0,8
Sodio	0,1-0,4
Potasio	1,5-5,0
Magnesio	0,05-0,98
Fosforo	0,03-0,1
Azufre	0,3-0,8
Biotina	1,2-3,2
Ácido fólico	0,04
Riboflavina	2,5
Cobre	2,2-38
Manganeso	4,0-300
Zinc	4-48

En Rasmey et al. (2018) se analizó la composición de una melaza de caña de azúcar adquirida en una fábrica de azúcar de Egipto, para su empleo como sustrato en la producción de etanol por parte de *Saccharomyces cerevisiae* Y17. En la Tabla 21 se muestra la composición de esta melaza.

Tabla 21

Composición de la melaza de caña de azúcar estudiada como sustrato en Rasmey et al. (2018).

Parámetro	Valor
Contenido de agua (%)	20
Cenizas (%)	11
Azúcar total (%)	52
Nitrógeno total (%)	3,4
Sustancias minerales (%)	6,2

pH

5,2

Jamir et al. (2021) reportan que una melaza de caña de azúcar tendrá la composición de la melaza presentada en la Tabla 22.

Tabla 22

Composición general de la melaza reportada por Jamir et al. (2021).

Composición	Rango (%)
Sacarosa	29-40
Agua	17-25
Glucosa	4-14
Ceniza	7-15
Potasio	4-50,83
Calcio	0,8-15
Magnesio	1-14
Sodio	0,09-9
Proteína	0,5-4,5
Sulfatos	2,24-9,91
Aminoácidos	0,3-1,5
Ácidos no nitrogenados	1,5-8
Cera, esteroides	0,1-1
Biotina	0,1-2 ppm, 0,36 mg/kg
Riboflavina	1-6 ppm, 1,8 mg/kg

La composición de la melaza es uno de los factores críticos que afectan el empleo de ésta en procesos fermentativos debido a factores tales como estrés osmótico, actividades enzimáticas y limitaciones ocasionadas por la inhibición por sustrato.

3.2.1. Medios sintéticos para imitar y simular la composición química de la melaza de caña de azúcar

Para simplificar el flujo de trabajo e incrementar la reproducibilidad de los experimentos, los medios sintéticos son óptimos para los experimentos a escala de laboratorio y la elucidación de las rutas metabólicas/función genética. Desafortunadamente, los medios comúnmente disponibles actualmente (p. ej. YPD, LB y MRS) replican pobremente la realidad industrial de los medios de fermentación de la melaza de caña de azúcar. Un medio sintético con una composición similar a aquella encontrada en los medios industriales pudiera cerrar ese lazo abierto entre los datos de laboratorio y los industriales, mejorando los esfuerzos encaminados al desarrollo de cepas. Un medio sintético con una composición conocida también tiene la ventaja clara de permitir a los investigadores el estudio del impacto directo de ciertos nutrientes en el metabolismo del microorganismo para las condiciones de crecimiento aplicadas, y también para estudiar la influencia de estos nutrientes dados en las condiciones relacionadas con el proceso (p. ej., diferentes regímenes de alimentación) permitiendo así la mejora de los bioprocesos establecidos (Lino et al., 2018).

Eliodório et al. (2023) indican que un medio sintético de melaza completamente definido pudiera mejorar el control y reproducibilidad de experimentos conduciendo a un mejor entendimiento de los parámetros que impactan la fermentación, indicando también que los medios comunes usados en el laboratorio (p. ej. YNB, YPD) no pueden imitar las

condiciones industriales de forma apropiada, especialmente en el caso de la melaza de caña de azúcar. Por esta razón, se han dedicado esfuerzos para intentar formular medios sintéticos, definidos químicamente o complejos, con el fin de simular sustratos industriales tales como hidrolizados lignocelulósicos y la propia melaza de caña de azúcar.

Igualmente, Lino et al. (2018) desarrollaron un medio de cultivo simple, fácilmente reproducible y semidefinido, denominado *melaza sintética*, la cual se asemeja a la melaza de caña de azúcar empleada como medio de fermentación. En la Tabla 23 se muestra la melaza sintética propuesta por estos autores, con el objetivo de obtener una composición química final similar a aquella observada en las muestras reales de melaza de caña de azúcar.

Tabla 23

Composición y concentración de nutrientes de la melaza sintética propuesta en Lino et al. (2018).

Categoría	Nutriente	Concentración (g/L)
Fuente de carbono	Sacarosa	144
	Glucosa	18
	Fructosa	18
Fuente de nitrógeno	Peptona	4,9
	(NH ₄) ₂ SO ₄	0,1
	(NH ₄) ₂ HPO ₄ ·4H ₂ O	1,42
Ácidos orgánicos	Ácido trans-aconítico	2
	Ácido L-málico	1
	Ácido cítrico	0,01
Sales minerales	NaCl	0,5
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	1,002
	CaCl ₂ ·2H ₂ O	0,06712
	KCl	0,012
	MnSO ₄ ·H ₂ O	0,0004
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,0004
	FeCl ₃ ·6H ₂ O	0,017
	Na ₂ MoO ₄ ·H ₂ O	0,031
	KI	0,012
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,0004
H ₃ BO ₃	0,0005	
Vitaminas	Inositol	0,01
	Ácido nicotínico	0,01
	Pantotenato de calcio	0,001
	Biotina	0,00001
	Hidrocloruro de piridoxina	0,00004
	Hidrocloruro de tiamina	0,00004
	Ácido para-aminobenzoico	0,002
Ergosterol	2 mL	

En la siguiente tabla (Tabla 24) se muestra una comparación entre la melaza de caña de azúcar promedio (20 °Brix) y la composición de la melaza sintética propuesta por Lino et al. (2018).

Tabla 24

Comparación de la composición química entre la melaza de caña de azúcar y la melaza sintética reportada en Lino et al. (2018) (en % m/v).

Parámetro	Melaza de caña de azúcar	Melaza sintética
C/N	57 - 209	180
N	0,13 - 0,5	0,1
P	0,01 - 0,05	0,05
K	0,6 - 1,8	0,001
Mg	0,01 - 0,04	0,01
Ca	0,02 - 0,06	0,002
Ácido trans-aconítico	0,1 - 0,7	0,2
Ácido L-málico	0,04 - 0,014	0,1
Ácido cítrico	0,006 - 0,07	0,001

En este estudio Lino et al. (2018) tanto la melaza de caña de azúcar como la melaza sintética fueron empleadas para estudiar la producción de etanol a escala de laboratorio tomando en cuenta el proceso de producción de etanol brasileño como modelo, demostrando una excelente reproducibilidad del desempeño de la fermentación usando las cepas de levadura Ethanol Red[®] de Fermentis (Lesaffre, Marcq-en-Baroeul, Francia); *Saccharomyces cerevisiae* PE-2 y la cepa de laboratorio CEN.PK102-5B productora de YFP.

Eliodório et al. (2023) desarrollaron un medio completamente definido que imita la melaza de caña de azúcar, denominado 25Mol, el cual fue construido basado en una formulación semidefinida publicada con anterioridad. Este medio sintético fue preparado convenientemente a partir de algunas soluciones: fuente de carbono, fuente de nitrógeno, nitrógeno inorgánico, ácidos orgánicos, elementos trazas, vitaminas, magnesio más potasio, y calcio. Estos autores validaron la receta 25Mol en un modelo de biorefinería de caña de azúcar, comparando la fisiología de *Saccharomyces cerevisiae* en medios basados en melaza real, demostrando la flexibilidad del medio sintético al investigar la influencia de la disponibilidad del nitrógeno en el rendimiento de etanol durante la fermentación. El medio sintético propuesto por estos autores pudo reproducir satisfactoriamente la fisiología de *S. cerevisiae* obtenida en la melaza industrial, así como también se recomienda ser empleado para investigar la influencia de nutrientes relevantes, y componentes tóxicos, en el rendimiento del bioproceso. La Tabla 25 muestra la composición del medio sintético de melaza propuesto por estos autores.

Tabla 25

Composición del medio de melaza de caña de azúcar completamente definido propuesto por Eliodório et al. (2023).

Categoría	Compuesto	Concentración
Fuente de carbono (g/L)	Sacarosa	160
	Glucosa	20
	Fructosa	20
Fuentes de nitrógeno orgánico (g/L)	Glutamina	4,15
	Ácido aspártico	1,5
	Asparraguina	1,42
Fuente de nitrógeno inorgánico (g/L)	(NH ₄) ₂ HPO ₄	1,00
Ácidos orgánicos (g/L)	Ácido trans-aconítico	2,00
	Ácido L-málico	1,00

	Ácido cítrico	0,01
	KOH	1,96
Elementos traza (mg/L)	EDTA.Na ₂	150,00
	CaCl ₂ .2H ₂ O	45,00
	MnCl ₂ .4H ₂ O	10,00
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	45,00
	CuSO ₄ .5H ₂ O	3,00
	KI	1,00
	CoCl ₂ .6H ₂ O	3,00
	H ₃ BO ₃	10,00
	FeSO ₄ .7H ₂ O	30,00
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	4,00
Vitaminas (mg/L)	Inositol	25,00
	Ácido nicotínico	1,00
	Pantotenato de calcio	1,00
	Biotina	0,05
	Hidrocloruro de piridoxina	1,00
	Hidrocloruro de tiamina	1,00
Magnesio y potasio (g/L)	Ácido para-aminobenzoico	0,20
	K ₂ SO ₄	5
Calcio (g/L)	MgSO ₄ .7H ₂ O	10
	CaCl ₂ .2H ₂ O	0,5

3.3. Procesos de pretratamiento de la melaza antes de ser utilizada como sustrato en fermentaciones

Según Rani et al. (2024), el ácido sulfúrico se emplea para convertir las sales de calcio contenidas en la melaza en sales de sulfato de calcio, debido a que el calcio actúa como agente inhibidor durante la fermentación de la melaza por parte de levadura. Estos autores también indican que el ácido sulfúrico también decrece el pH del medio de fermentación, lo cual controla la contaminación bacteriana. Lo anterior concuerda con lo reportado por Hawaz et al. (2024), en donde se establece que la descalcificación con ácido sulfúrico constituye un método de pretratamiento que puede disminuir los niveles de mineral en la melaza de caña de azúcar, particularmente calcio.

La fermentación alcohólica está sujeta a la inhibición por producto. La máxima concentración de etanol bajo la cual el crecimiento celular cesa es 100 g/L, mientras que para concentraciones de 105 g/L, la producción de etanol por parte de *Saccharomyces cerevisiae* es detenida completamente. De esta manera, para lograr la conversión completa de azúcares, la fermentación tiene que ser realizada en una solución de azúcar relativamente diluida (15 – 16% m/v). Por tanto, la melaza de caña de azúcar (con un promedio de azúcares de 52% m/m), la cual constituye la principal materia prima para producir etanol por la ruta fermentativa en varios países, necesita ser diluida (acondicionada) antes de ser fermentada. Tales procedimientos incrementan los costos en las operaciones de procesamiento posterior de la industria alcohólica (evaporación, centrifugación y destilación), por lo que la reducción de la carga en los equipos de eliminación de agua pudiera favorecer un menor gasto de energía en estos (Ponce et al., 2015).

Para Acosta-Piantini et al. (2023) el tratamiento de la melaza de caña de azúcar incluye cuatro etapas principales – dilución, centrifugación, hidrólisis ácida y neutralización –

con dos objetivos: reducir impurezas y metales pesados en suspensión y transformar la sacarosa de esta materia prima en glucosa y fructosa.

Bhatti et al. (2019) afirman que la melaza empleada como sustrato en la industria del etanol deberá ser tratada antes de ser empleada en los prefermentadores; el agua de dilución tiene que estar limpia y esterilizada mediante filtración; el aire usado en los prefermentadores deberá estar filtrado; el °Brix, pH y temperatura tiene que ser controlados como requerimiento esencial de calidad del proceso; mientras que los químicos y nutrientes usados en los prefermentadores tienen que poseer buena calidad. Estos autores también recomiendan que los prefermentadores sean esterilizados, limpiados y lavados antes de la inoculación de la levadura para que esta crezca saludable y permita así producir una elevada cantidad de etanol.

Wardani et al. (2023) aplicaron un pretratamiento con ácido sulfúrico concentrado (denominado descalcificación) para reducir los niveles de calcio en la melaza de caña de azúcar, con el fin de ser empleada como sustrato para la producción de etanol en cultivo *fed-batch* por parte de levadura seca instantánea comercial. Estos autores indican que se reconoce hoy en día la influencia de los iones calcio en la producción de etanol utilizando melaza de caña de azúcar por parte de levadura, ya que puede inhibir la actividad enzimática de la invertasa, aludiendo que un proceso de pretratamiento con ácido sulfúrico reduce la cantidad de calcio, ceniza y otras impurezas en la melaza. También indican que la presencia de iones metálicos tales como cobre y potasio pueden inhibir la actividad de la enzima invertasa secretada por la levadura para convertir la sacarosa en azúcares reductores. En la Tabla 26 se muestran las características de una melaza de caña de azúcar con y sin tratamiento con ácido sulfúrico reportada por estos autores.

Tabla 26

Características de una melaza de caña de azúcar antes y después de un tratamiento con ácido sulfúrico, estudiada en Wardani et al. (2023).

Parámetro	Sin tratamiento	Con tratamiento
Sólidos solubles totales (°Brix)	80,5 ± 0,5	44,5 ± 0,5
Azúcar total (%)	54,08 ± 0,16	45,64 ± 0,10
Azúcar reductor (%)	19,69 ± 0,17	15,44 ± 0,11
Ceniza total	7,46 ± 0,03	4,19 ± 0,03
Mineral (calcio) (%)	0,64 ± 0,15	0,02 ± 0,20

La Tabla 26 indica que el valor de todos los parámetros medidos en la melaza pretratada con ácido fueron menores que aquellos de la melaza no pretratada. Es significativa la reducción de los iones calcio entre ambas melazas, lo cual ocurre debido a que los iones SO_4^{2-} provenientes del ácido sulfúrico se enlazarán con los iones positivos del metal presente en la muestra para formar depósitos de sales de calcio.

Vidra et al. (2017) sugieren que pudiera ser necesario la realización de pre tratamientos adicionales con ácido sulfúrico, fosfato tricálcico, ferrocianuro de potasio y EDTA para mejorar la eficiencia de la fermentación, debido a que la melaza contiene bajas concentraciones de metales pesados (hierro, zinc, cobre, manganeso, aluminio) e iones alcalinos (magnesio, calcio), que pudieran inhibir el crecimiento celular, afectar el pH del medio, e inactivar las enzimas asociadas con la formación de producto. Estos autores recomiendan la posterior purificación de la melaza, sin embargo, también establecen

que esto pudiera incrementar los costos de fermentación debido al pretratamiento de esta compleja materia prima.

Ni et al. (2012) argumentan que el pretratamiento de la melaza de caña de azúcar es necesario para eliminar algunos de los componentes inhibitorios, tales como materiales coloidales, y otros materiales suspendidos, los cuales pudieran afectar el crecimiento de los microorganismos deseados.

La Tabla 27 muestra un compendio bibliográfico de los diferentes pretratamientos realizados a la melaza de caña de azúcar cruda antes de emplearla como sustrato en estudios fermentativos realizados mayormente a escala de laboratorio.

Tabla 27

Diferentes pretratamientos aplicados a melaza de caña de azúcar cruda para ser empleada como sustrato en fermentaciones mayormente a escala de laboratorio.

Pretratamiento	Compuesto producido	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza hasta 50% (v/v) - Calentamiento de la mezcla diluida hasta ebullición. - Enfriamiento para que ocurra la sedimentación de material insoluble. - Separación de los sedimentos por decantación. - La melaza resultante fue centrifugada a 5 000g por 10 min para remover materia insoluble adicional. - El sobrenadante fue separado del <i>pellet</i>, y el <i>pellet</i> fue descartado mientras que el sobrenadante fue usado como medio de cultivo. 	Biodiesel microbiano mediante la levadura oleaginoso <i>Rhodotorula kratochvilovae</i> SY89.	Jiru et al. (2018)
<ul style="list-style-type: none"> - Calentamiento de la melaza en autoclave por 1 h para inhibir la ocurrencia de fermentaciones indeseables debido a contaminación microbiana. - Filtración de la solución resultante mediante papel de filtro. - Acidificación mediante ácido sulfúrico 1N para descomponer los azúcares complejos en azúcares simples. - Neutralización de la solución acidificada resultante mediante hidróxido de calcio. - Filtración para eliminar impurezas. - Ajuste del pH de la solución filtrada para eliminar impurezas mediante hidróxido de potasio. 	Ácido cítrico utilizando <i>A. niger</i> .	Almakki et al. (2019)
<ul style="list-style-type: none"> - Esterilización en autoclave a 121 °C por 20 min. 	Ácido láctico mediante <i>L. casei</i> y <i>Lactobacillus</i> sp. MKT878.	Vidra et al. (2017)

<ul style="list-style-type: none"> - Acidificación de la melaza esterilizada hasta pH de 2,5 mediante ácido sulfúrico. - Adición de enzima invertasa (Merck, Art. 7686, actividad: 200 U/mg a pH = 4,5 y 25 °C; dosis: 100 mg/L) para que ocurra la inversión enzimática de la sacarosa en fructosa y glucosa, por 30 min a pH de 4,5. - Esterilización. - Ajuste de pH hasta 6,5 mediante solución de hidróxido de sodio al 20%. 		
<ul style="list-style-type: none"> - Preparación del inóculo: Dilución de 800 g de levadura en 10 L de melaza a 5 °Brix, suplementado con 1 g/L de sulfato de amonio. - Preparación del mosto de fermentación: Dilución de la melaza en agua hasta los 25 °Brix. - Ajuste del pH del mosto diluido usando ácido sulfúrico. <p>En este estudio no se aplicaron procedimientos de esterilización con el fin de reflejar las prácticas industriales comunes donde la esterilización es típicamente omitida durante la producción comercial de etanol</p>	<p>Etanol mediante la levadura comercial <i>S. cerevisiae</i> (<i>Fleischmann</i>).</p>	<p>Santos et al. (2024)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Ajuste del pH de la melaza con 20% de azúcares totales hasta 3,0 mediante ácido sulfúrico 0,5M. - Reposo de la solución resultante por 24 h. - Centrifugación a 5 000 g por 15 min. - Tratamiento del sobrenadante obtenido en la centrifugación con carbón activado 3% mediante la agitación de la mezcla por 1h. - Filtración de la mezcla resultante con papel de filtro <i>Whatman</i> No. 1. Este pre tratamiento fue repetido de tres a cuatro veces hasta que la solución obtenida estuviera incolora y diera una lectura de absorbancia a 490 nm. 	<p>Etanol mediante <i>S. cerevisiae</i>.</p>	<p>S. Botros et al. (2012)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Adición de 0,5 L de agua destilada a 1 L de melaza. - Adición de 0,001% de ácido sulfúrico concentrado. - Ajuste del valor de pH hasta 4,0 usando HCl al 0,1 N. 	<p>Etanol mediante: <i>S. cerevisiae</i> F514, <i>S. cerevisiae</i> ATCC4095, <i>C. kefir</i> EMCC77, <i>C. tropicalis</i> EMCC2, <i>K. marxianus</i> NRRL1109,</p>	<p>Zaghloul et al. (2021)</p>

<ul style="list-style-type: none"> - Calentamiento de la mezcla resultante en un baño térmico hasta ebullición. - Enfriamiento hasta temperatura ambiente. - Almacenamiento en un refrigerador toda la noche. - Centrifugación a 3 000 rpm por 15 min. - Colecta del sobrenadante. - La preparación del medio de cultivo de fermentación se realizó de la siguiente manera: 250 mL de melaza pretratada, 3 g de extracto de levadura y 0,1 g de urea fueron diluidos en 750 mL de agua destilada. A continuación, a alrededor de 50 mL de medio de cultivo se le ajustó el pH hasta el valor de 6,0 con hidróxido de sodio 1M, y luego se esterilizó a 121 °C por 15 min en autoclave, para luego enfriar el medio estéril e inocularlo con 5 mL del cultivo microbiano en crecimiento 	<p><i>P. stipites</i> DSM3651 y <i>Z. mobilis</i> ATCC31823.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza. - Pretratamiento de la melaza diluida con 0,20 mL de ácido sulfúrico concentrado. - Suplementación de la mezcla acidificada resultante con 0,11 g de urea. 	<p>Etanol por parte de una suspensión de células de levaduras.</p>	<p>Rani et al. (2024)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - La melaza (con contenido de azúcar total de 50 g/L) fue suplementada con 6 g/L de levadura agotada seca (como suplemento de nitrógeno) y 6,6 g/L de carbonato de calcio. - Dilución con agua destilada hasta completar 1,2 L. - Esterilización de la melaza diluida a 110 °C por 40 min. - Ajuste del pH de fermentación hasta 6,5 mediante la adición de hidróxido de sodio 8 N. 	<p>Butanol mediante <i>C. beijerinckii</i> TISTR1461.</p>	<p>Thanapornsini et al. (2018)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Esterilización de la melaza a 121 °C por 20 min. - Ajuste de la concentración (15, 20 y 25%) con agua destilada. - Ajuste del pH (5, 6 y 7). 	<p>Etanol mediante <i>S. cerevisiae</i> Y-39.</p>	<p>El-Gendy et al. (2013)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza hasta alcanzar la concentración adecuada de azúcar. - Empleo directo de la melaza diluida en las fermentaciones 	<p>Etanol mediante <i>Z. mobilis</i>.</p>	<p>Doelle y Doelle (1990)</p>

<p>sumergidas <i>batch</i> sin tratamiento térmico, esterilización o la adición de nutrientes.</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza hasta 50 g/L de concentración de azúcar total utilizando agua destilada. - Adición de 6 g/L de levadura agotada seca. - Esterilización en autoclave a 110 °C por 28 min. - Ajuste del pH del medio estéril hasta 6,5 mediante la adición de hidróxido de sodio 8 N. 	<p>Butanol mediante C. <i>beijerinckii</i> TISTR 1461.</p>	<p>Thanapornsin et al. (2022)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza hasta 20, 15 y 5 °Brix utilizando agua destilada. - Adición de las siguientes sales a la melaza diluida: KH₂PO₄ (0,14% m/v), MgSO₄ (0,025% m/v) y (NH₄)₂SO₄ (0,1% m/v). - Esterilización del medio de cultivo resultante en autoclave a 121 °C y 15 lb/pulg² por 15 min 	<p>Etanol mediante S. <i>cerevisiae</i> TB3.</p>	<p>Garing et al. (2018)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza en agua destilada hasta alcanzar las concentraciones deseadas (10-50 %). - Se aplicaron tres métodos de pretratamiento: <ol style="list-style-type: none"> 1. Ácido sulfúrico: El pH de la solución de melaza fue ajustado hasta 3,0 con ácido sulfúrico 1 N. El líquido resultante fue dejado en reposo por 24 h y entonces centrifugado a 5000 g por 15 min. El pH del sobrenadante fue ajustado hasta 5,5 con hidróxido de sodio 10 N y la solución resultante esterilizada a 121 °C por 15 min. 2. Ferrocianuro de potasio y ácido etilen-diamin-tetra-acético (EDTA): El pH de la solución de melaza fue ajustado hasta 5,5 con ácido clorhídrico 5 N y calentado hasta 100 °C por 15 min. El líquido aún caliente fue tratado con 1 ppm de ferrocianuro de potasio o EDTA para favorecer la precipitación de metales pesados. Se dejó reposar la mezcla resultante por 24 h a temperatura ambiente y luego se centrifugó a 5 000 g por 20 min, utilizando el sobrenadante resultante para las corridas de fermentación. 	<p>Ácido cítrico a partir de <i>Candida parapsilosis</i> NH-3.</p>	<p>El-Gamal et al. (2018)</p>

3. Carbón activado: Se trató la melaza con carbón activado por tres horas y la filtración se realizó por duplicado.

Todos estos pre-tratamientos fueron usados con una concentración de la melaza del 20%. El pH de la melaza pretratada fue ajustado a 4,5 y agregado al medio de sal mineral antes de ser esterilizado en autoclave a 121 °C por 20 min.

- Dilución de la melaza usando agua de grifo hasta 20 °Brix.
- La solución diluida resultante fue centrifugada a 10 000 g por 15 min a 4 °C.

Esterilización del sobrenadante en autoclave a 121 °C por 15 min.

Nota: Esta centrifugación previa de todos los medios es importante con el objetivo de remover cualquier precipitado sólido potencial antes de ser esterilizada en autoclave.

- Pretratamiento de la melaza con ácido sulfúrico 99,8%.

- Calentamiento de la melaza acidificada hasta 90 °C por 2 h.

- Dilución de la melaza hasta obtener el °Brix deseado (8, 10 y 12 °Brix) con agua destilada.

- Adición de fosfato de di-amonio a la melaza diluida.

Homogenización con agitador magnético hasta concentración óptima de 4 g/L.

- Ajuste del pH usando ácido sulfúrico 99,8%.

Esterilización en autoclave a 121 °C por 15 min.

- El medio tratado fue dejado reposar durante la noche bajo flujo laminar para su decantación.

- La suspensión superior clarificada del mosto fue entonces vertida cuidadosamente hacia un recipiente de fermentación estéril bajo un gabinete de seguridad.

- Empleo de una melaza con la siguiente composición: sacarosa, 609 g/L; glucosa, 116 g/L y fructosa, 158 g/L.

- La melaza fue mezclada con glicerol y caseinato de sodio.

- La mezcla resultante fue esterilizada a 121 °C por 20 min.

Etanol bajo el proceso de producción de etanol establecido en Brasil.

Lino et al. (2018)

Etanol a partir del microorganismo *Meyerozyma caribbica* MJTm3.

Hawaz et al. (2023)

Transglutaminasa microbiana mediante *Streptovercillium ladakanum* NRRL 3191.

Portilla et al. (2017)

<ul style="list-style-type: none"> - Se estudió la melaza con tres concentraciones: 30, 60 y 90 g/L. - La melaza fue mezclada con KH_2PO_4 (5g/L), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.2 g/L), ácido cítrico (2g/L), H_3BO_3 (0.006g/l), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0.002 g/L), CaCO_3 (0.02 g/L) y Glutamato (2 g/L) para obtener el medio de cultivo de fermentación. - El medio de cultivo resultante esterilizado por 20 min a 121 °C. - Ajuste del pH del medio hasta 7. 	<p>Goma xantano mediante <i>X. campestris</i>.</p>	<p>Zakeri et al. (2015)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza cruda 5 veces con agua destilada. - Centrifugación de la melaza diluida a 4 709 g por 20 min. - El sobrenadante obtenido fue sujeto a los siguientes dos tratamientos para remover los inhibidores de crecimiento y metabólicos: 1) tratamiento térmico y 2) tratamiento ácido-calor. <p>Tratamiento térmico: El sobrenadante fue calentado hasta 120 °C por 20 min, se dejó en reposo toda la noche a temperatura ambiente, y a continuación se centrifugó.</p> <p>Tratamiento ácido-calor: El pH de la solución de melaza fue ajustado hasta 3,0 con ácido sulfúrico 4 N, calentado hasta 120 °C por 20 min, se dejó en reposo a temperatura ambiente, y finalmente se centrifugó.</p>	<p>Celulosa mediante <i>Gluconacetobacter intermedius</i> SNT-1.</p>	<p>Tyagi y Suresh (2016)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - La mezcla de melaza proveniente de la fábrica de azúcar fue mantenida a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) en recipientes herméticos antes de ser usada. - Dilución de la melaza con agua destilada hasta la concentración fijada en el experimento de 8, 10 y 12 °Brix para la propagación celular, y de 30 °Brix para la fermentación. - Acidificación de la melaza diluida con ácido sulfúrico concentrado al 99,8% hasta pH de 4,6. - Calentamiento de la mezcla resultante hasta 90 °C por 2 horas. - Reposo toda la noche a temperatura ambiente. - Adición de 2 g/L de fosfato de diamonio a la solución 	<p>Etanol mediante la co-fermentación simultánea de dos microorganismos: <i>S. cerevisiae</i> TA2 and <i>W. anomalus</i> HCJ2F-19.</p>	<p>Hawaz et al. (2024)</p>

- Homogenización de la mezcla utilizando un agitador magnético. Ajuste del pH hasta 4,6 por medio de ácido sulfúrico.

- Esterilización de la solución pretratada en autoclave a 121 °C por 15 min.

- La solución esterilizada fue dejada en reposo en un gabinete de seguridad para favorecer la sedimentación de lodos, cenizas y otras partículas. La suspensión clarificada superior fue entonces empleada como medio de cultivo en los experimentos fermentativos.

- Dilución de la melaza. Etanol mediante Arshad et al. (2017)

- Sedimentación de la melaza diluida en tanques del tipo fondo cónico especialmente diseñados para la remoción de lodos y otros materiales particulados. fermentaciones de gravedad muy alta utilizando una cepa mutante de *S. cerevisiae* a escala industrial.

- Adición de hexametáfosfato de sodio a la melaza diluida y sedimentada.

- Ajuste del pH hasta 4,0-4,5 con ácido sulfúrico comercial.

- Ajuste del °Brix del sustrato hasta 32, 36 y 40 en donde los contenidos de azúcares fueron 21%, 24% y 27% (m/v) respectivamente, en la melaza pretratada.

- El medio de cultivo consistió Lacasa mediante Marim et al. (2016)

(aparte de la melaza de caña) en: *Pycnoporus sanguineus*.
 KH_2PO_4 (1 g/L), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,5 g/L), y $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,01 g/L).

- Adición de extracto de levadura o urea como las fuentes de nitrógeno hasta que la concentración final de nitrógeno de 2,4 g/L fue alcanzada en el medio de cultivo.

- Adición de la melaza en cantidad suficiente para obtener una concentración final de 10 g/L de azúcares totales.

- El medio de cultivo (100 mL) fue esterilizado en autoclave a 121 °C por 20 min, excepto para la solución de urea que fue filtrada en un filtro poroso de 0,22 μm y agregada luego al medio de cultivo.

- Enfriamiento hasta temperatura ambiente del medio de cultivo estéril.

- Inoculación del medio de cultivo estéril y frío con tres discos de agar

<p>extracto malta de 6 mm de diámetro conteniendo micelio, y mantenido a 28 °C por 12 días en lo oscuro.</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza con agua en una relación 1:1 con un pH inicial de 5,1. - Acidificación con una solución concentrada de ácido sulfúrico (96,1%) hasta que el pH de la melaza diluida alcanzó un valor de 3,9. - Calentamiento de la solución diluida y acidificada hasta 95 °C por 10 min. - Remoción de los precipitados formados mediante filtración. - Ajuste del pH de la melaza pretratada hasta 5,0-5,5 mediante hidróxido de sodio. - Ajuste de la concentración de azúcar mediante la adición de agua para obtener concentraciones de azúcar de 20, 25 y 30 °Brix. - Adición de extracto de levadura (0,1% m/v) y peptona (0,1% m/v). - Esterilización en autoclave a 121 °C por 15 min. 	<p>Etanol por parte de levadura seca instantánea comercial en un cultivo <i>fed-batch</i>.</p>	<p>Wardani et al. (2023)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza con agua destilada estéril hasta alcanzar una cantidad de melaza de 20, 30, 40, 50 y 60%. <p>Esterilización de la melaza diluida en autoclave a 115 °C por 10 min.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Enfriamiento hasta temperatura ambiente. - Inoculación del cultivo puro fúngico a la melaza diluida y esterilizada. 	<p>Ácido cítrico por parte de <i>A. niger</i>.</p>	<p>Bakhiet y Al-Mokhtar (2015)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza 40 veces con agua destilada y desionizada. - Adición de hidrocloreto de L-cisteína monohidratada a la melaza diluida. - Como resultado la melaza diluida utilizada como medio de cultivo presentó alrededor de 28 g/L de DQO, 900 mg/L de nitrógeno total y 15 mg/L de fosfato. - El medio resultante fue empleado como influente para el reactor hidrogénico (primera etapa) después de ser purgado con nitrógeno gaseoso por 10 min para lograr condiciones anaerobias estrictas. 	<p>Hidrógeno y metano por medio de un proceso anaerobio secuencial de dos etapas.</p>	<p>Park et al. (2010)</p>

- El efluente del reactor hidrogénico fue empleado como influente en el reactor metanogénico (segunda etapa) después de ajustar su pH hasta 7 con una solución de hidróxido de sodio 5 N.

Melaza pretratada:

- Dilución de la melaza cruda en agua de grifo a una relación 1:1 con un pH inicial de 5,2.
- Acidificación con ácido sulfúrico (96,1%) hasta pH de 3,9.
- Calentamiento de la melaza acidificada hasta 95 °C por 10 min.
- Reposo toda la noche a temperatura ambiente.
- Remoción por filtración de los precipitados formados durante el reposo.
- Dilución de la melaza pretratada hasta una concentración de azúcar de 20, 25 y 30%.
- Adición de nutrientes, incluyendo extracto de levadura (0,1% m/v) y peptona (0,1% m/v) para obtener el medio de cultivo.
- Esterilización del medio de cultivo resultante en autoclave a 121 °C por 15 min.

Etanol mediante levadura seca instantánea utilizando melaza tanto pretratada como no pretratada.

Raharja et al. (2019)

Melaza no pretratada:

- Dilución de la melaza cruda con agua de grifo en una proporción 1:1 con un pH inicial de 5,2, para alcanzar una concentración de azúcar de 20, 25 y 30%.
- Adición de extracto de levadura (0,1% m/v) y peptona (0,1% m/v) a cada melaza diluida.
- La solución obtenida fue esterilizada en autoclave por 121 °C y 15 min.

El pretratamiento fue realizado con tres ácidos diferentes (ácido sulfúrico, ácido nítrico y ácido clorhídrico), variando sus niveles de concentración en 0,5; 1,0; 1,5 y 2,0 N.

- Dilución de 15 mL de melaza cruda en 100 mL de agua destilada.
- Acidificación de la melaza diluida con 5,0 mL del ácido correspondiente (sulfúrico, nítrico o clorhídrico).

Ácido cítrico utilizando *A. niger* NG-4.

Ashraf et al. (2015)

- Calentamiento a 90 ± 2 °C por 1 h en baño térmico.
- Enfriamiento hasta temperatura ambiente.
- Neutralización del medio resultante con óxido de calcio.
- Reposo toda la noche.

Este pretratamiento resultó en la formación de dos capas, la capa superior (sobrenadante) de color negro brillante y la capa inferior (sedimento) de color amarillo parduzco debido a la presencia de metales traza.

- Dilución del sobrenadante colectado hasta la concentración de azúcar deseada.
- Vertimiento de la melaza pretratada y clarificada (conteniendo 150 g/L de azúcar a un pH de 6,0) en frascos cónicos, los cuales fueron sellados con tapones de algodón.
- Esterilización en autoclave de la melaza pretratada contenida en estos frascos a 15,0 lb/pulg² de presión por 15 min.

<ul style="list-style-type: none"> - Adición de 3 mL de ácido sulfúrico concentrado en 1 kg de melaza mezclada con 1 000 mL de agua destilada, hasta alcanzar pH de 3,5. - Calentamiento de la mezcla resultante en baño térmico hasta ebullición, manteniendo en ebullición por 30 min. - Enfriamiento hasta temperatura ambiente. - Dilución con agua destilada hasta alcanzar los 2 000 mL. - Reposo de la melaza diluida en un refrigerador toda la noche. - Centrifugación de la melaza enfriada. - Esterilización a 121 °C por 15 min. <p>NOTA: La concentración final de azúcar fue de 25 %.</p>	Etanol mediante tres tipos de microorganismos: <i>Kluyveromyces marxianus</i> NRRL8554, <i>S. cerevisiae</i> O-14 y <i>Z. mobilis</i> ATCC 10988, suplementada con permeado de suero de leche.	Sadik y Halema (2014)
--	--	-----------------------

<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza con agua destilada hasta alcanzar las concentraciones de azúcar deseadas por el diseño de experimentos. - Adición de urea. - El medio resultante (750 mL) fue transferido a frascos de 1 L sellados. 	Butanol por parte de <i>C. beijerinckii</i> TISTR 1461.	Wechgama et al. (2017)
--	---	------------------------

<ul style="list-style-type: none"> - Esterilización de los frascos a 110 °C por 28 min. 		
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza en agua destilada caliente (60 °C). - La mezcla diluida resultante fue puesta en un plato rotatorio para su homogenización. - Esterilización en baño térmico a 80 °C por 15 min con el fin de prevenir que los azúcares se caramelicen y liberen vapores tóxicos en presencia de fosfato. - Ajuste del pH de la melaza estéril a 7,0 utilizando una solución de hidróxido de sodio 1N. 	<p>Biopesticida por parte de <i>B. thuringiensis</i> subespecie <i>kurstaki</i> HD-1.</p>	<p>Yapo et al. (2020)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Adición de 3 L de agua de grifo a 7 L de melaza cruda. - Acidificación hasta pH = 3,5 con ácido sulfúrico 5M. - Calentamiento de la mezcla resultante en un baño térmico a 60 °C por 2 h. - Centrifugación de la mezcla a 10 800 g por 15 min. - Colecta del sobrenadante y su dilución antes de ser empleado como sustrato de fermentación. - A este sobrenadante diluido conteniendo un 6% (m/m) de melaza se le ajusto el pH hasta 6,5 utilizando hidróxido de sodio saturado. - Esterilización en autoclave a 121 °C por 20 min. 	<p>Acetona-butanol-etanol mediante <i>Clostridium saccharobutylicum</i> DSM 13864 en cultivo <i>batch</i> y semicontinuo.</p>	<p>Ni et al. (2012)</p>
<p>Se utilizó una melaza de caña de azúcar hidrolizada como sustrato, con la siguiente composición: sacarosa (31%), glucosa (9,5%), fructosa (10%) y nitrógeno (0,95%). El pretratamiento (hidrolización) consistió en los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adición de 1 mL de ácido sulfúrico 20% a 100 mL de la solución de melaza. - Calentamiento de la mezcla acidificada en un baño térmico hasta ebullición por 20 min. - Ajuste del pH hasta 6,5 con hidróxido de potasio 4,0M. - Esterilización. <p>NOTA: Esta melaza pretratada presentó entre 46 y 48% de azúcares reductores</p>	<p>Ácido láctico por parte de una cepa mutante, <i>Lactobacillus delbrueckii</i> Uc-3.</p>	<p>Dumbrepatil et al. (2008)</p>

<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza hasta alcanzar un 25% de contenido de azúcar. - Adición de 35 mL/L de ácido sulfúrico 1N a la melaza diluida. - Ebullición de la melaza acidificada resultante por 30 min. - Enfriamiento de la melaza caliente. - Neutralización con una solución acuosa de óxido de calcio. - Puesta en reposo toda la noche para favorecer su clarificación. - El líquido claro del sobrenadante fue diluido hasta alcanzar un 15% de nivel de azúcar. 	<p>Ácido cítrico mediante <i>Aspergillus niger</i> aplicando cultivo <i>batch</i> sumergido.</p>	<p>Ali et al. (2022)</p>
<p>En este estudio los pretratamientos aplicados a la melaza fueron los siguientes: 1) centrifugación; 2) calentamiento; 3) ácido sulfúrico y 4) ácido fosfórico.</p> <p>Pretratamiento por centrifugación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dilución de la melaza hasta la concentración deseada de azúcares fermentables (18%). - Centrifugación a 8 000 rpm por 15 min. - La melaza centrifugada fue fermentada. <p>Pretratamiento por calentamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Calentamiento de la melaza centrifugada hasta 90 °C por 2 h. - Enfriamiento hasta temperatura ambiente. - La melaza enfriada fue fermentada. <p>Pretratamiento con ácido sulfúrico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La melaza centrifugada y calentada fue tratada con una concentración de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5% de ácido sulfúrico 98%. - La melaza acidificada fue finalmente fermentada. <p>Pretratamiento con ácido fosfórico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La melaza centrifugada y calentada fue tratada con ácido fosfórico con una concentración de 0,1; 0,2 y 0,3%. - La melaza acidificada fue finalmente fermentada. 	<p>Etanol mediante <i>S. cerevisiae</i> F-514.</p>	<p>S. Zohri et al. (2022)</p>
<p>La melaza utilizada en este estudio tuvo una concentración de 8,7 g/L y</p>	<p>Cultivo de <i>Agrobacterium</i>.</p>	<p>de Watthanasakphuban et al. (2023)</p>

una concentración de nitrógeno de 2,4 g/L.

- Dilución 1,5 veces con agua desionizada.

A la melaza diluida se le aplicaron tres métodos de pretratamiento:

- Pretratamiento con ácido sulfúrico:

A la melaza diluida se le ajustó el pH hasta 3,0 usando una solución de ácido sulfúrico concentrado (95-97%) y se incubó por 1 hora en un baño térmico a 70 °C.

- Pretratamiento con fosfato tricálcico: La melaza diluida fue pretratada con 2 % (m/v) de fosfato tricálcico y esterilizada a continuación en autoclave a 105 °C por 5 min.

- Pretratamiento con fosfato tricálcico y ácido sulfúrico: A la melaza final obtenida en el pretratamiento con fosfato tricálcico se le ajustó el pH hasta 3,0 usando ácido sulfúrico concentrado y se incubó a 70 °C por 1 hora.

Todas las melazas obtenidas en los tres pretratamientos fueron enfriadas hasta temperatura ambiente, y el sedimento fue removido mediante centrifugación a 5 000 g por 10 min. A la melaza pretratada se le ajustó el pH hasta 7,0 usando hidróxido de sodio 2N antes de medirle varios parámetros físico-químicos. Estas muestras pretratadas de melaza fueron almacenadas a -20 °C o diluidas con agua destilada para obtener la concentración deseada, y posteriormente esterilizadas en autoclave a 121 °C por 20 min antes de ser usada como sustrato de fermentación.

- Dilución de la melaza cruda con agua hasta alcanzar una concentración de azúcar de 115 kg/m³.

- Esterilización de la melaza diluida a 120 °C por 15 min.

NOTA: en este estudio se evaluaron dos tipos de bioreactores, el primero denominado Torre de Lecho Fijo Multietapa y el segundo denominado Reactor de Lecho Empacado

Etanol en cultivo continuo mediante *S. cerevisiae* AXAZ-1 inmovilizada en afrecho cervicero.

Kopsahelis et al. (2012)

<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de 500 g de melaza con 500 mL de agua destilada. - Centrifugación de la mezcla diluida resultante a 7 000 rpm por 15 min. - El sobrenadante obtenido en la centrifugación fue colectado y mezclado con 3 mL de $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$. - Calentamiento de la solución resultante a 70 °C por 30 min. - Reposo y enfriamiento de la solución por toda la noche. - Centrifugación de la mezcla a 7 000 rpm por 15 min. - El sobrenadante de centrifugación fue colectado y utilizado como medio de cultivo de fermentación. 	<p>Líquido extracelular con actividad antimicrobiana a partir de la fermentación de <i>Nocardia</i> sp cepa V1.</p>	<p>Mawarda et al. (2018)</p>
<p>La melaza cruda utilizada en este estudio tuvo un contenido de sacarosa de 28,71% (m/v), de fructosa de 10,35% (m/v) y de glucosa de 3,77% (m/v). Esta melaza fue pretratada con ácido de acuerdo con el método descrito en Dumbrepatil et al. (2008), mientras que también fue usada directamente sin pretratamiento en los experimentos de fermentación <i>batch</i> y semicontinuo</p>	<p>Ácido láctico mediante un consorcio microbiano consistente en <i>Clostridium sensustricto</i> (57,29%), <i>Escherichia</i> (34,22%), y <i>Enterococcus</i> (5,32%).</p>	<p>Sun et al. (2019)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de 250 g de melaza en agua hasta un volumen final de 1 L. - Adición de 10 g de urea y 0,30 mL de ácido sulfúrico concentrado. - Calentamiento de la mezcla resultante hasta ebullición. - Reposo y enfriamiento por 2 h de la mezcla caliente. - Esterilización en autoclave de la mezcla enfriada y reposada. 	<p>Etanol por parte de levaduras aisladas de jugo de dátil y uvas.</p>	<p>Rahman et al. (2013)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Dilución de 1 kg de melaza con 86,7% de azúcar total y pH 6,4 en 1 000 mL de agua de grifo. - Acidificación de la melaza diluida con 2 mL de ácido sulfúrico concentrado. - Calentamiento de la mezcla acidificada en baño térmico hasta ebullición durante 30 min. - Enfriamiento hasta temperatura ambiente. - Dilución de la mezcla enfriada hasta 2 000 mL. - Sedimentación de la mezcla diluida. 	<p>Levadura panadera.</p>	<p>Malik (2016)</p>

- Filtración de la solución clarificada.
Centrifugación.

- Dilución con agua destilada para preparar una mezcla de melaza diluida con 18% de concentración de azúcares. Etanol mediante S. Rasmey et al. (2018) *Cerevisiae* Y17.

- Ajuste del pH hasta 4,5 usando ácido sulfúrico concentrado.

- calentamiento de la melaza diluida y acidificada hasta 95 °C en un baño térmico por 15 min.

- Sedimentación de la melaza diluida caliente por un tiempo de 2 h.

- El sobrenadante clarificado fue transferido hacia los frascos de fermentación.

- Dilución de 250 g de melaza a 80 °Brix hasta 15 °Brix usando agua. Etanol mediante una Fadh et al. (2018) suspensión de levadura.

- La melaza diluida fue transferida hacia dos botellas de 1 000 mL (botella 1 y botella 2).

Botella 1.

- La melaza diluida contenida en la botella 1 fue acidificada con ácido sulfúrico hasta alcanzar pH de 5,0.

- La melaza acidificada fue calentada hasta 70 °C por 30 min.

- La melaza caliente fue vertida en un cilindro y se dejó enfriar por 60 horas.

- Los 250 mL de sobrenadante superior fueron colectados y vertidos en una botella de 400 mL (Fermentador 1).

Botella 2.

- De la melaza diluida contenida en la segunda botella se tomaron 250 mL y se vertieron en una botella de 4100 mL directamente sin ningún tratamiento térmico.

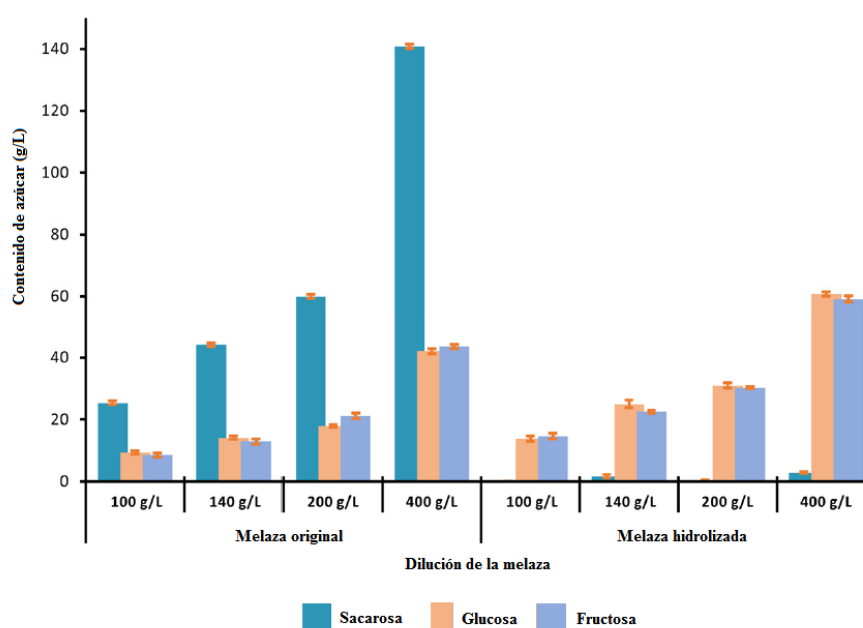
- Ajuste de su pH con ácido sulfúrico hasta alcanzar un valor de 5,0 (Fermentador 2).

De forma similar, Acosta-Piantini et al. (2023) evaluaron el empleo de una melaza de caña de azúcar, proveniente de una compañía productora de ron instalada en República Dominicana, como sustrato para la producción en masa del probiótico *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* F19 en donde después de analizar su composición se decidió efectuar el pretratamiento con hidrólisis ácida para incrementar el contenido de glucosa y fructosa. Para ello, primeramente, se diluyó la melaza cruda, la cual tenía una elevada viscosidad que afectó su centrifugación e hidrólisis directa bajo las condiciones

requeridas, en agua bajo diferentes tasas de dilución, a saber: 100, 140, 200, and 400 g melaza/L. La solución diluida de la melaza fue centrifugada a 8 000 g a 15 °C por 15 min. Posteriormente, a temperatura ambiente, el pH fue ajustado con una solución de hidróxido de sodio al 20% hasta los valores de 6,5 y 8,5 seleccionados basados en experimentos preliminares. Luego, se agregó ácido sulfúrico en solución a 5 M bajo agitación constante, y a continuación se calentó y mantuvo en 60 °C por 2 h. Finalmente el residuo sólido fue separado. La Figura 1 presenta los resultados de la hidrólisis de la melaza a pH 8,5, con centrifugación, la cual fue la más favorable para la hidrolización de la sacarosa.

Figura 1

Contenido de azúcar (g/L) en la melaza cruda original y la hidrolizada con centrifugación previa, ajuste del pH a 8,5 y posterior hidrolización.



Fuente: Adaptado de Acosta-Piantini et al. (2023)

Finalmente, en Arshad et al. (2008) se efectuó la optimización de las variables de proceso para reducir la síntesis de subproductos y mejorar la formación de etanol durante la fermentación de melaza por la levadura *S. cerevisiae* en un fermentador de 300 m³ e incrementar la recuperación del etanol (95%) durante la destilación en columnas industriales. Esta melaza fue obtenida de una planta productora de azúcar en Paquistán. En la etapa de preparación del inóculo, el tanque de inóculo (recipiente de 1 m³) conteniendo la melaza diluida con agua de grifo hasta 8-9 °Brix y suplementada con urea (2 kg) y ácido fosfórico (500 mL) disponibles comercialmente como las fuentes principales de nitrógeno y fósforo, además de ácido sulfúrico para ajustar el pH y como la fuente de azufre, fue esterilizada con vapor de agua vivo a 121 °C por 30 min. A continuación, la melaza esterilizada fue enfriada hasta 30 °C con agua de enfriamiento, y luego fue inoculada con 1 kg de levadura instantánea en este recipiente de 1 m³. Después de 8-9 horas de crecimiento a 30 ± 1 °C, el inóculo fue transferido hacia el próximo fermentador (10 m³) el cual contiene melaza (8-9 °Brix) previamente esterilizada según el método que se describió con anterioridad. Este cultivo fue transferido hacia el

siguiente fermentador (60 m^3) controlando la temperatura de fermentación en $30 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Los fermentadores de escala industrial (3) para los tres experimentos de fermentación al mismo tiempo fueron esterilizados con vapor de agua vivo por 1 hora y enfriados hasta $30 \text{ }^\circ\text{C}$. El inóculo de los fermentadores de 60 m^3 (cuatro en número) fue transferido a los tres fermentadores industriales de 300 m^3 de capacidad de trabajo cuando el conteo celular fue de 300×10^6 células por mL, y luego se alimentó la melaza diluida de diferentes $^\circ\text{Brix}$ o de $^\circ\text{Brix}$ conocidos a una tasa de alimentación del mosto de $15 \text{ m}^3/\text{h}$ (el nivel de incremento del fermentador fue de $5\%/h$). La adición de la melaza fue detenida después de 20 h, en donde en esta etapa (llamada etapa de fermentación) no se agregaron nutrientes, ya que solamente la urea y ácido fosfórico no consumidas en las etapas fermentativas anteriores fueron suficientes para rendir el mayor rendimiento de etanol. La temperatura de la fermentación fue mantenida en $30\text{-}32 \text{ }^\circ\text{C}$ pasando agua de enfriamiento a través de los intercambiadores de calor de placas. Después de 10 horas adicionales (tiempo total: 30 h), la fermentación fue completada y el mosto de fermentación de los fermentadores fue transferido hasta el tanque para proceder a su destilación.

3.4. Condiciones de almacenamiento

La melaza es generalmente muy estable y puede almacenarse por largos periodos de tiempo si se maneja apropiadamente. El diseño apropiado y el control de la temperatura son importantes de implementar en tanques de almacenamiento de melaza. Puede ser almacenada tanto en tanques de acero o tanques de concreto subterráneos, ambos son muy satisfactorios, sin embargo, es críticamente importante que la melaza sea mantenida por encima de los $70 \text{ }^\circ\text{Brix}$. Esto significa que debe evitarse que caiga lluvia y estar libre de cualquier condensación dentro del recipiente de almacenamiento. El almacenamiento debe estar bien ventilado. Si la melaza recibe y colecta humedad aun en pequeñas cantidades en la superficie, entonces florecerán los hongos y otros microorganismos mantenidos a raya por el elevado contenido de azúcar de la melaza (Jacques et al., 2003).

El almacenamiento inadecuado de melaza puede traer consigo el deterioro de los azúcares fermentables, en donde las altas temperaturas de almacenamiento (desde $45 \text{ }^\circ\text{C}$) pueden promover la descomposición de la melaza. La prevención de reacciones de descomposición repentinas puede ser posible logrando que los tanques de almacenamiento estén adecuadamente equipados (dispositivos de circulación, equipamiento de ventilación y sistema de termómetro remoto) de tal manera que la temperatura pueda ser comprobada y regulada, y que el calor sea retirado cuando el incremento de la temperatura despierte preocupación (Zohri et al., 2022).

La descomposición de la melaza puede explicarse mediante dos teorías. Una teoría es basada en la reacción entre la cal y los azúcares reductores, en donde se establece que bajo una temperatura adecuada, la descomposición acompañada de la formación de espuma con la producción de dióxido de carbono representa una continuación de la reacción entre los azúcares reductores en la melaza y las sustancias orgánicas inestables, las cuales se hayan formado previamente durante el proceso de purificación a partir del exceso de cal presente. La otra teoría es basada en la reacción entre los aminoácidos y los azúcares reductores, lo cual conduce a la formación de melanoidina vía N-glucósidos, lo cual está acompañado de la evolución de gas, especialmente dióxido de carbono. Esta reacción se conoce como la reacción de *Maillard*, la cual es la

base de que el 15-50% del contenido de nitrógeno total de la melaza de caña de azúcar esté presente en una forma que no pueda ser asimilada por las levaduras. Sin embargo, es también posible que ambas teorías se apliquen y conjuguen para explicar el fenómeno de la descomposición de la melaza (Zohri et al., 2022).

La reacción de los azúcares reductores y los aminoácidos, así como los procesos metabólicos de organismos osmofílicos, pueden influir en el decrecimiento gradual del contenido de azúcar y azúcar invertida mientras que la melaza esté almacenada. La extensión del deterioro está relacionada con numerosas circunstancias que rodean el caso particular. La probada hidrólisis de la sacarosa y la pérdida demostrada de azúcar total en estudios de laboratorio muestran que la alteración gradual en la composición de la melaza, mientras que esta almacenada, no es debida solamente a reacciones químicas, sino que estos cambios son el resultado de la actividad de microorganismos. La pérdida de sacarosa, azúcares reductores y azúcar total está acompañada invariablemente por un incremento de sustrato reductor no fermentable. Ordinariamente, el incremento de este último es más rápido durante los primeros dos meses de almacenamiento (Zohri et al., 2022).

Thanapornsinn et al. (2018) emplearon melaza de caña de azúcar como sustrato para efectuar la producción de butanol por la ruta fermentativa empleando *Clostridium beijerinckii* TISTR1461 en Tailandia. Estos autores almacenaron la melaza en cámara fría a - 20 °C para prevenir el crecimiento de microorganismos antes de ser empleada como sustrato en sus estudios fermentativos.

Asimismo, en El-Gendy et al. (2013) se almacenó la melaza de caña de azúcar generada en una planta de producción de azúcar en Giza, Egipto a - 4 °C hasta su empleo como sustrato para la producción de bioetanol.

De la misma manera, en Thanapornsinn et al. (2022) se utilizó melaza de caña de azúcar para producir butanol mediante *Clostridium beijerinckii* TISTR 1461 bajo condiciones anaeróbicas en bioreactores de columna. En este estudio la melaza fue almacenada a - 20 °C para protegerla del crecimiento bacteriano antes de su empleo en las corridas experimentales.

Zohri et al. (2022) concluyeron que la temperatura adecuada de almacenamiento de la melaza no debe superar los 40 °C para mantener la calidad de la melaza y evitar su deterioro por el calor. También se estableció en este estudio que las elevadas temperaturas de almacenamiento (desde 45 °C) en adición con la cantidad de melaza y la longitud del periodo de almacenamiento indudablemente juegan un papel importante en la descomposición de la melaza, por tanto, se recomendó que esta deba almacenarse en equipamiento adecuado, bajo una temperatura apropiada y por periodos de tiempo no prolongados.

Gough et al. (1996) utilizaron una melaza originada en Guatemala con el fin de estudiar la producción de etanol por la ruta fermentativa mediante *Kluyveromyces marxianus* var. *marxianus*, en donde la melaza empleada fue almacenada en bidones a temperatura ambiente.

Del mismo modo, Wechgama et al. (2017) emplearon una melaza de caña de azúcar obtenida de una fábrica de azúcar en Tailandia para estudiar la producción de butanol.

En este estudio, la melaza fue mantenida a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para protegerla contra la contaminación microbiana antes de ser empleada como sustrato.

Rasmey et al. (2018) transfirieron una melaza proveniente de una fábrica de azúcar egipcia hacia botellas plásticas esterilizadas y se almacenaron a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Según informa Jacques et al. (2003), durante el procesamiento en la refinería de azúcar, así como también debido a su manejo, el aire es atrapado en la melaza. En adición, se desarrolla dióxido de carbono durante la degradación de la melaza. Las burbujas de dióxido de carbono emergen muy lentamente en la melaza, significando que la densidad a varios niveles en el tanque de almacenamiento será muy diferente. Esto hace imposible calcularla con precisión a partir de una muestra de melaza tomada en un punto simple en el tanque y una medida de la altura del líquido para decir exactamente cuanta melaza está presente en el tanque.

Bajo condiciones de calentamiento extremas, la melaza puede descomponerse completamente. De vez en cuando pueden ocurrir eventualidades, particularmente en países tropicales productores de azúcar, lo cual trae consigo la destrucción completa de grandes cantidades de melaza. Cuando la melaza es calentada la descomposición que ocurre es exotérmica, y por tanto se genera calor. Si el calor generado por medio de la descomposición no puede escapar por algún punto de los tanques de almacenamiento lo suficientemente rápido, entonces la temperatura se incrementa aún más y la tasa de reacción se vuelve más rápida hasta que al final la melaza puede ser eyectada desde el tanque con la formación de vapor de agua o en casos extremos se convertirá en melaza chamuscada (Zohri et al., 2022).

Aunque no es posible precisar el nivel de calor requerido para empezar la descomposición destructiva, a cualquier temperatura por encima de los $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ existe siempre la posibilidad real de descomposición térmica. De esta manera, independientemente del mecanismo de descomposición prevaleciente es de suma importancia mantener la temperatura de la melaza almacenada por debajo de los $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ para lograr su almacenamiento seguro (Zohri et al., 2022).

Igualmente, Jacques et al. (2003) aconseja mantener la temperatura de la melaza por debajo de los $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ para reducir la degradación térmica. Si se va a calentar la melaza en un tanque es recomendable usar un sistema de agua caliente en serpentín en lugar de vapor de agua. El calentamiento deberá realizarse suavemente para evitar calentamiento puntual. Tres horas a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ puede reducir el contenido de azúcar entre 10 y 15%. A $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ la pérdida de azúcar se incrementa hasta 25-35%.

Del mismo modo, Reheem et al. (2021) evaluaron las características de calidad de una melaza de caña egipcia almacenada en cuatro tipos diferentes de materiales de empaque (frasco de vidrio, jarra de cerámica, frasco de plástico y recipiente de hojalata) bajo diferentes períodos de tiempo a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se obtuvo como resultado que mientras mayor sea el tiempo de almacenamiento mayor será la tasa de cambio de las propiedades fisicoquímicas medidas (densidad óptica (a 420 nm), acidez, viscosidad y contenido total de fenol), especialmente cuando la temperatura de almacenamiento se incrementa. Los materiales de empaque más apropiados para almacenar la melaza resultaron el frasco de vidrio y la jarra de cerámica, debido posiblemente a la actividad o interacción inerte del material de empaque con las moléculas químicas de la melaza.

En este estudio también se recomienda que se controle la temperatura de almacenamiento de la melaza.

Bhatti et al. (2019) refieren que el almacenamiento de la melaza por un largo período de tiempo tiene un profundo efecto en el contenido de azúcar ya que este se disipa fácilmente con el paso del tiempo. Las bacterias ácido láctica y butíricas presentes en la melaza ocasionan fermentación, lo cual da lugar a la conversión de las moléculas de la sacarosa en polímeros de sacarosa de cadena larga (dextranos). Esto resulta en un incremento de la cantidad de azúcar no fermentable, lo cual es objetable en la melaza ya que afecta la fermentación posterior y reduce la producción de alcohol. La melaza almacenada contendrá lodos debido a la fermentación, este sedimento influirá en la actividad de la levadura, así como también en la eficiencia de fermentación. Los polímeros de dextrano pueden servir de inhibidores de enzimas mediante el bloqueo de los sitios activos, no permitiendo que la sacarosa/glucosa se convierta en glucosa/etanol, lo cual reduce la eficiencia del proceso fermentativo o la recuperación del alcohol. Estos autores recomiendan lo siguiente: 1) la melaza debe ser enfriada y mezclada después de la etapa de centrifugación del proceso de fabricación de azúcar para evitar la caramelización del azúcar; 2) la melaza tiene que almacenarse por un mes antes de ser empleada como sustrato en la fermentación alcohólica ya que la melaza fresca es difícil de fermentar debido a que tiene una elevada tendencia a la formación de espuma, capacidad de tamponamiento y lodos suspendidos; 3) no debe establecer contacto con agua de lluvia, esto es, tiene que almacenarse en tanques de acero y no en estanques abiertos; y 4) la melaza no debe almacenarse por más de 6 meses ya que esto reduce la concentración de azúcares fermentables.

3.5. Propuesta de operaciones y equipamiento para la esterilización de la melaza a escala industrial

Los estudios microbiológicos realizados revelan la contaminación de la melaza con varias especies de microorganismos. Durante el proceso de fermentación, estos microorganismos contaminantes no solo compiten con la levadura por sustrato, sino que dan lugar a la formación de floculación indeseable de levadura y son frecuentemente culpados por un alto nivel de pérdidas encontradas en el proceso de producción (Nolasco & Massaguer, 2007).

En Pillai et al. (2011) se estudió la diversidad microbiana en la melaza residual de la industria azucarera y se aislaron cinco especies de bacteria, seis especies de hongos pertenecientes a los géneros *A. niger*, *A. terrus*, *A. flavus*, *Penicillium* sp., *Fusarium* sp. y *Rhizopus* sp.

En Nolasco y Massaguer (2007) se indicó que la melaza de caña de azúcar sostiene una microbiota diversa predominantemente formada por bacterias Gram positiva tales como *Lactobacillus* sp. y *Bacillus* sp., incluyendo el formador de esporas termo-resistente *Bacillus stearothermophilus*, el cual abarca el 6,9% de la microflora contaminante y demostró actividad antimicrobiana contra la levadura panadera (*S. cerevisiae*).

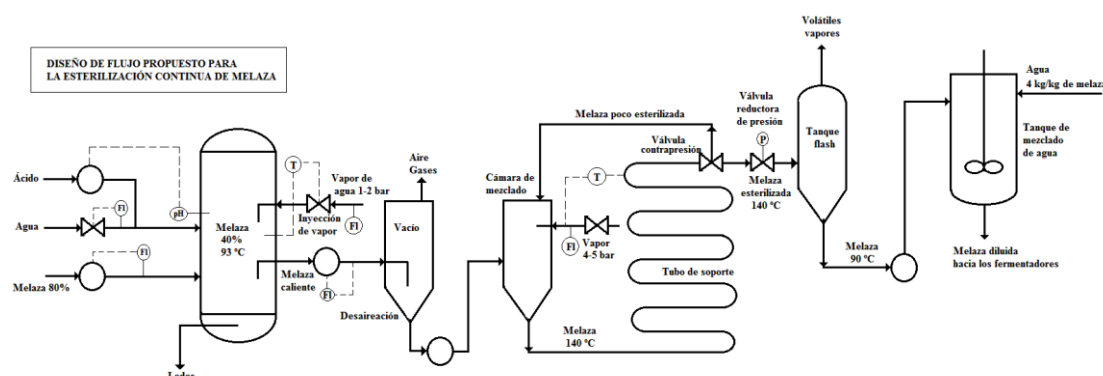
Como ejemplo de esterilización de la melaza a escala industrial podemos mencionar la industria de la levadura panadera, la cual es una de las más antiguas e importantes en Egipto, en donde la melaza es el sustrato más empleado para su producción debido a

su contenido y presencia de azúcares fermentables y otros nutrientes necesarios para el crecimiento y producción de la levadura. Para asegurar la seguridad de la levadura panadera producida a escala industrial, la melaza es diluida hasta 40% Brix, acidificada con ácido fosfórico, calentada por inyección de vapor de agua directo hasta 90-95 °C, agitada por 2 h y la melaza clarificada es separada, enfriada hasta 40-45 °C, diluida aún más y bombeada hacia los tanques de fermentación. La industria de levadura panadera moderna mundial ha incluido un tratamiento térmico a mayor temperatura ($T > 130$ °C) para la melaza clarificada con el objetivo de asegurar la inactivación de las esporas de *B. stearothermophilus* antes de alimentarla a los tanques de fermentación (Salem et al., 2017).

Salem et al. (2017) estudiaron la cinética de muerte térmica de *Geobacillus* (formalmente *Bacillus*) *stearothermophilus* aislada de una melaza egipcia y establecieron un régimen de tratamiento térmico adicional para la melaza antes de alimentarla a los tanques de fermentación bajo las condiciones operacionales de la producción de levadura panadera en Egipto. Basado en la información obtenida en este estudio, estos autores propusieron un diseño de flujo para la esterilización continua de la melaza de caña de azúcar utilizada como sustrato en la producción de levadura panadera en las fábricas egipcias, el cual incluye operaciones de dilución, acidificación/clarificación mediante ácido fosfórico, calentamiento mediante inyección directa de vapor de agua, reposo, sifoneo y desaireación de la melaza clarificada, esterilización mediante inyección de vapor de agua directo, circulación mediante un tubo de soporte (*holding tube*), enfriamiento en un tanque *flash* al vacío, dilución y finalmente bombeo hacia los fermentadores (Figura 2). En Salem et al. (2017) se pueden encontrar una descripción e información más exhaustiva y detallada de esta propuesta de proceso de esterilización de melaza a escala industrial.

Figura 2

Diseño de flujo propuesto por Salem et al. (2017) para la esterilización continua de la melaza de caña de azúcar bajo las condiciones operacionales aplicadas en la producción de levadura panadera.



Fuente: Adaptado de Salem et al. (2017)

Reed y Nagodawithana (1991) indicaron que la melaza de caña de azúcar utilizada como sustrato para producir levadura panadera puede ser esterilizada mediante las siguientes operaciones: dilución hasta 30-40 °Brix, ajuste de pH mediante acidificación con ácido sulfúrico hasta pH 5, centrifugación para remover los sólidos insolubles,

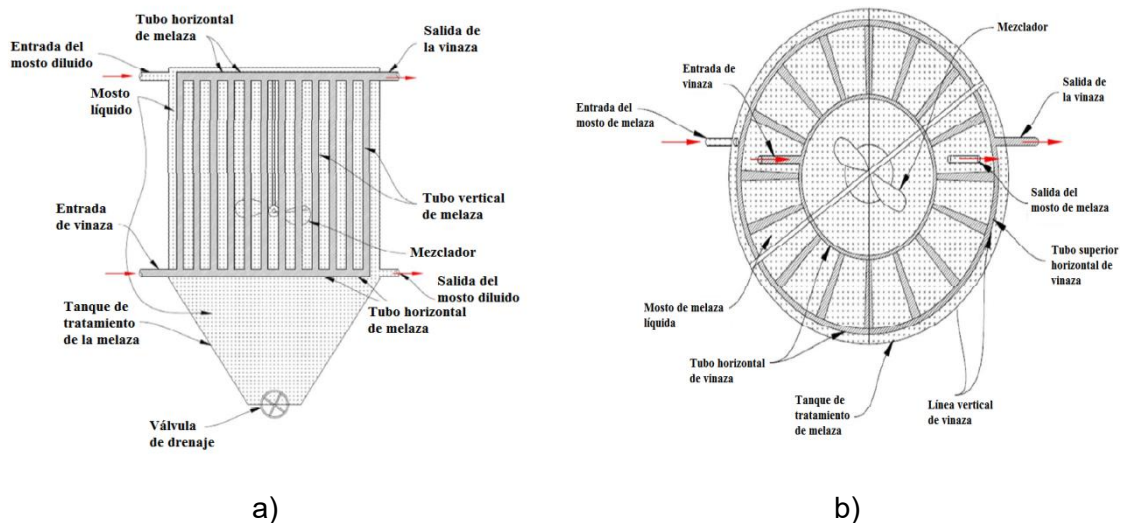
precalentamiento hasta 95 °C en un intercambiador de calor, calentamiento hasta 140-145 °C en 1 segundo, y se mantiene en este rango de temperatura por 4 segundos, y finalmente enfriamiento mediante *flasheo* en un tanque de almacenamiento de mosto. Según estos autores, resulta importante que el mosto de la melaza no sea calentado excesivamente o almacenado caliente por períodos prolongados, ya que el calor conduce a la caramelización y pérdida de azúcares fermentables.

Fadl et al. (2018) inventaron una propuesta de método de esterilización, enfriamiento y purificación de la melaza diluida mediante el empleo de la vinaza para el calentamiento y la “cerveza” (mosto fermentado obtenido al finalizar la fermentación conteniendo alrededor de 10% de etanol) para el enfriamiento en aras de reducir el gasto energético. Esta unidad de esterilización propuesta fue diseñada en forma de un tanque cilíndrico que tiene una base cónica conteniendo varios tubos longitudinales en el interior y un equipo de mezclado para la distribución de calor. Después del calentamiento, el mosto es transferido hacia la unidad de enfriamiento (la cual es similar a la unidad de calentamiento en términos de diseño, pero difiere solamente en que se emplea cerveza como agente de intercambio de calor) con el propósito del enfriar el mosto y favorecer la precipitación de sales, lodos e impurezas (Figura 3). Con este diseño se logran dos objetivos, el enfriamiento del mosto de melaza libre de costo y el precalentamiento parcial de la cerveza como paso previo antes de ser destilada en la columna de destilación.

Figura 3

Diseño de la unidad propuesta por Fadl et al. (2018) para el calentamiento (utilizando vinaza) y enfriamiento (utilizando mosto fermentado) de la melaza diluida antes de ser enviada a los fermentadores.

- a) Sección transversal.
- b) Vista superior.



Fuente: Adaptado de Fadl et al. (2018)

Con el incremento de la eficiencia de la industria azucarera en cuanto a la extracción de azúcar, la melaza remanente para su uso en las operaciones de

fermentación/destilación se está volviendo cada vez más pobre en calidad. Algunas plantas encuentran la necesidad de esterilizar y clarificar la melaza antes de proceder a fermentar, mientras que otras plantas emplean dextranasa para asegurar una máxima extracción de cualquier azúcar que esté presente. Esto se logra mediante la dilución de la melaza hasta aproximadamente 40 °Brix, para luego calentarla. Las gomas y otros sólidos suspendidos se desprenden de la solución diluida. Seguido del calentamiento hasta la temperatura de pasteurización por un tiempo apropiado la melaza es enfriada y enviada hacia la etapa de fermentación. La desventaja de este proceso es el gasto de energía requerido, así como también cierta pérdida de azúcar (Jacques et al., 2003).

4. Conclusiones

La melaza, el principal subproducto de la producción de azúcar junto con el bagazo, contiene una cantidad considerable de nutrientes, compuestos químicos diversos y antioxidantes, los cuales enfatizan y sugieren su empleo como sustrato para la producción de compuestos de valor agregado por la ruta fermentativa.

En este trabajo se realiza una revisión bibliográfica exhaustiva aplicando la metodología PRISMA, para resumir y presentar varios tópicos relacionados con el uso de la melaza como sustrato en fermentaciones, su composición química, métodos de almacenamiento y esterilización a escala industrial. La bibliografía consultada indica que la melaza ha sido estudiada extensivamente como sustrato para estudiar la producción de un amplio rango de compuestos químicos (alcoholes, ácidos orgánicos, biopesticidas, enzimas, etc.) por la ruta fermentativa. Se verifica además que la melaza está compuesta por azúcares, vitaminas, minerales y proteínas, cenizas y agua, entre otros componentes, lo cual depende de factores agrícolas e industriales como variedad de caña, grado de madurez, clima, condiciones de cultivo, tipo de corte, eficiencia industrial, entre otros. También sugiere que se aplican diferentes pretratamientos de la melaza antes de usarla a escala de laboratorio como sustrato en procesos fermentativos, los cuales involucran mayormente dilución, adición de ácidos (fundamentalmente ácido sulfúrico) o compuestos químicos (fosfato tricálcico), calentamiento, reposo o sedimentación/centrifugación y esterilización en autoclave del sobrenadante. Igualmente, se aconseja que la temperatura de la melaza almacenada no debe superar los 45-50 °C para evitar su degradación; que la temperatura de almacenamiento de la melaza en el interior de tanques tiene que monitorearse y controlarse con rigor; que la melaza no deba establecer contacto con agua de lluvia; que no debe almacenarse por más de 6 meses en tanques, que los mejores recipientes para almacenarla son el frasco de vidrio y la jarra de cerámica a pequeña escala, que puede ser almacenada tanto en tanques de acero o tanques de concreto subterráneos, y que la melaza almacenada tenga más de 70 °Brix para evitar la proliferación de microorganismos contaminantes. Por último, se resumen varios procesos y equipamiento propuestos para esterilizar la melaza a escala industrial antes de su uso como sustrato en fermentaciones.

El establecimiento de las plantas de bioconversión de la melaza y biorefinerías a escala industrial anexas a las fábricas productoras de azúcar pudiera ser una estrategia eficaz para reducir los costos de producción e incrementar su productividad y rentabilidad. Su empleo como sustrato para obtener bioproductos de alto valor agregado debe continuarse estudiando y evaluando desde el punto de vista técnico-económico, con el

fin de incrementar y expandir su rango de aplicación como materia prima valiosa en varios procesos que conlleven fermentación. El contenido expuesto en este trabajo puede ser empleado como guía de consulta para efectuar futuras investigaciones relacionadas con los tópicos que aborda, siendo los potenciales beneficiarios los especialistas, ingenieros y tecnólogos en las ramas de la química, ingeniería química e industrial, biotecnología y farmacéutica, los cuales tengan como objetivo profundizar, analizar e investigar acerca del uso de la melaza como sustrato para generar productos de alto valor agregado, tanto establecidos como novedosos, mediante fermentación.

Contribución de los autores: Conceptualización, AP-S. y NG-I.; metodología, AP-S. y RMS-S.; software, AP-S.; validación, AP-S. y NG-I.; análisis formal, AP-S.; investigación, AP-S., NG-I., RMS-S. y DDA-G-M.; recursos, AP-S. y DDA-G-M.; redacción del borrador original, RMS-S. y DDA-G-M.; redacción, revisión y edición, AP-S. NG-I. y RMS-S. y DDA-G-M.; visualización, NG-I. y RMS-S.; supervisión, AP-S. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación no ha recibido financiación externa

Agradecimientos: Los autores agradecen al Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio y el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Camagüey por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación.

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: amaury.perez84@gmail.com

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Referencias Bibliográficas

Abreu-Cavalheiro, A., & Monteiro, G. (2013). Solving ethanol production problems with genetically modified yeast strains. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44(3), 665-671. <https://doi.org/10.1590/s1517-83822013000300001>

Acosta-Piantini, E., Rodríguez-Díez, E., Chavarri, M., López-de-Armentia, I., Villaran, M. C., & Lombraña, J. I. (2023). Preparation of Hydrolyzed Sugarcane Molasses as a Low-Cost Medium for the Mass Production of Probiotic *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* F19. *Separations*, 10, 33. <https://doi.org/10.3390/separations10010033>

Ali, S., Ikram-ul-Haq, Qadeer, M. A., & Iqbal, J. (2002). Production of citric acid by *Aspergillus niger* using cane molasses in a stirred fermentor. *Electronic Journal of Biotechnology*, 5(3), 258-271. <https://www.scielo.cl/pdf/ejb/v5n3/a10.pdf>

Almakki, A., Mirghani, M. E. S., & Kabbashi, N. A. (2019). Production of citric acid from sugarcane molasses by *Aspergillus niger* using submerged fermentation. *Biological and Natural Resources Engineering Journal*, 2(1), 47-55.

Altun, R., Esim, N., Aykutoglu, G., Baltaci, M. O., Adiguzel, A., & Taskin, M. (2020). Production of linoleic acid-rich lipids in molasses-based medium by oleaginous fungus *Galactomyces geotrichum* TS61. *Journal of Food Processing and Preservation*, 00, e14518. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14518>

Arshad, M., Hussain, T., Iqbal, M., & Abbas, M. (2017). Enhanced ethanol production at commercial scale from molasses using high gravity technology by mutant *S. cerevisiae*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48, 403-409. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2017.02.003>

- Arshad, M., Khan, Z. M., Khalil-ur-Rehman, Shah, F. A., & Rajoka, M. I. (2008). Optimization of process variables for minimization of byproduct formation during fermentation of blackstrap molasses to ethanol at industrial scale. *Letters in Applied Microbiology*, 47, 410-414. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2008.02446.x>
- Ashraf, S., Ali, S., & Ikram-ul-Haq. (2015). Acidic pre-treatment of sugarcane molasses for citric acid production by *Aspergillus niger* NG-4. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(6), 584-595. <https://www.ijcmas.com/vol-4-6/Shazia%20Ashraf,%20et%20al.pdf>
- Attfield, P. (1997). Stress tolerance: The key to effective strains of industrial baker's yeast. *Nature Biotechnology*, 15(13), 1351-1357. <https://doi.org/10.1038/nbt1297-1351>
- Azhar, S. H. M., Abdulla, R., Jambo, S. A., Marbawi, H., Gansau, J. A., Faik, A. A. M., & Rodrigues, K. F. (2017). Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 10, 52-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.03.003>
- Baeyens, J., Kang, Q., Appels, L., Dewil, R., Lv, Y., & Tan, T. (2015). Challenges and opportunities in improving the production of bio-ethanol. *Progress in Energy and Combustion Science*, 47, 60-88. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2014.10.003>
- Bakhiet, S. E. A., & Al-Mokhtar, E. A. I. (2015). Production of Citric Acid by *Aspergillus niger* Using Sugarcane Molasses as Substrate. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 8(3), 211-215. <https://jbs.hu.edu.jo/files/v8n3/Paper%20Number%208m.pdf>
- Barbosa, H. S., Silveira, E. d. A., Miranda, M., & Ernandes, J. R. (2016). Efficient very-high-gravity fermentation of sugarcane molasses by industrial yeast strains. *Journal of the Institute of Brewing*, 122, 329-333. <https://doi.org/10.1002/jib.317>
- Basso, L. C., Amorim, H. V. d., Oliveira, A. J. d., & Lopes, M. L. (2008). Yeast selection for fuel ethanol production in Brazil. *FEMS Yeast Research*, 8(7), 1155-1163. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00428.x>
- Basso, T. O., Gomes, F. S., Lopes, M. L., Amorim, H. V. d., Eggleston, G., & Basso, L. C. (2014). Homo- and heterofermentative lactobacilli differently affect sugarcane-based fuel ethanol fermentation. *Antonie van Leeuwenhoek*, 105(1), 169-177. <https://doi.org/10.1007/s10482-013-0063-6>
- Bento, H. B. S., Carvalho, A. K. F., Reis, C. E. R., & Castro, H. F. D. (2020). Single cell oil production and modification for fuel and food applications: Assessing the potential of sugarcane molasses as culture medium for filamentous fungus. *Industrial Crops & Products*, 145, 112141. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112141>
- Bhatti, Z. A., Rajput, M.-U.-H., Maitlo, G., Solangi, Z. A., & Shaikh, G. S. (2019). Impact of Storage Time, Rain and Quality of Molasses in the Production of Bioethanol. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 38(4). <https://doi.org/10.22581/muet1982.1904.14>
- Botros, H. W., Ahmed, A. S., Farag, S. S., & Hassan, I. A. (2012). Study on Ethanol Production from Sugar Cane Molasses by Using Irradiated *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Rad. Res. Appl. Sci.*, 5(2), 153-164. <https://inis.iaea.org/records/7v36w-cs651>
- Chicaiza-Ortiz, C., Peñafiel-Arcos, P., Herrera-Feijoo, R. J., Ma, W., Logroño, W., Tian, H., & Yuan, W. (2024). Waste-to-Energy technologies for municipal solid waste management: Bibliometric review, life cycle assessment, and energy potential case study. *Journal of Cleaner Production*, 480, 143993. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143993>

- Della-Bianca, B. E., & Gombert, A. K. (2013). Stress tolerance and growth physiology of yeast strains from the Brazilian fuel ethanol industry. *Antonie van Leeuwenhoek*, 104(6), 1083-1095. <https://doi.org/10.1007/s10482-013-0030-2>
- Doelle, M. B., & Doelle, H. W. (1990). Sugar-cane molasses fermentation by *Zymomonas mobilis*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 33, 31-35. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00170565>
- Dumbrepatil, A., Adsul, M., Chaudhari, S., Khire, J., & Gokhale, D. (2008). Utilization of Molasses Sugar for Lactic Acid Production by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *delbrueckii* Mutant Uc-3 in Batch Fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(1), 333-335. <https://doi.org/10.1128/AEM.01595-07>
- El-Gamal, M. S., Desouky, S. E.-S., Abdel-Rahman, M. A., & Khattab, A.-R. M. (2018). High-Temperature Citric Acid Production from Sugar Cane Molasses using A Newly Isolated Thermotolerant Yeast Strain, *Candida parapsilosis* NH-3. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 5(7), 187-211. <http://dx.doi.org/10.22192/ijarbs.2018.05.07.015>
- El-Gendy, N. S., Madian, H. R., & Amr, S. S. A. (2013). Design and Optimization of a Process for Sugarcane Molasses Fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* Using Response Surface Methodology. *International Journal of Microbiology*, 2013, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/815631>
- Eliodório, K. P., Cunha, G. C. d. G. e., Lino, F. S. d. O., Sommer, M. O. A., Gombert, A. K., Giudici, R., & Basso, T. O. (2023). Physiology of *Saccharomyces cerevisiae* during growth on industrial sugar cane molasses can be reproduced in a tailor-made defined synthetic medium. *Scientific Reports*, 13, 10567. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37618-8>
- Fadl, K. S. H., Abbashar, O. E. S. A. A., & Musa, A. (2018). Utilization of Mash Treatment Unit for Sterilization and Clarification of Final Molasses in Ethanol Plant. *International Journal of Photochemistry and Photobiology*, 2(2), 49-57. <https://doi.org/10.11648/j.ijpp.20180202.12>
- Garing, C. L., Abrigo, C. S., Pajares, I. G., & Elegado, F. B. (2018). Ethanol Fermentation Performance of Acid-Tolerant *Saccharomyces cerevisiae* TB3 in Sugarcane Molasses. *Philippine Journal of Crop Science, Special Issue December 2018*, 87-94. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20230191485>
- Gasmalla, M. A. A., Yang, R., Nikoo, M., & Man, S. (2012). Production of Ethanol from Sudanese Sugar Cane Molasses and Evaluation of Its Quality. *Journal of Food Processing and Technology*, 3(7), 163. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000163>
- González-Torres, M., Hernández-Rosas, F., Pacheco, N., Salinas-Ruiz, J., Herrera-Corredor, J. A., & Hernández-Martínez, R. (2024). Levan Production by *Suhomyces kilbournensis* Using Sugarcane Molasses as a Carbon Source in Submerged Fermentation. *Molecules*, 29, 1105. <https://doi.org/10.3390/molecules29051105>
- Gough, S., Flynn, O., Hack, C. J., & Marchant, R. (1996). Fermentation of molasses using a thermotolerant yeast, *Kluyveromyces marxianus* IMB3: simplex optimisation of media supplements. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 46, 187-190. <https://link.springer.com/article/10.1007/s002530050803>
- Hawaz, E., Tafesse, M., Tesfaye, A., Kiros, S., Beyene, D., Kebede, G., . Boekhout, T., Groenwald, M., Theelen, B., Degefe, A., Degu, S., Admasu, A., Hunde, B., & Muleta, D. (2023). Optimization of bioethanol production from sugarcane molasses by the response surface methodology using *Meyerozyma caribbica* isolate MJTm3. *Annals of Microbiology*, 73, 2. <https://doi.org/10.1186/s13213-022-01706-3>

Hawaz, E., Tafesse, M., Tesfaye, A., Kiros, S., Beyene, D., Kebede, G., Boekhout, T., Groenwald, M., Theelen, B., Degefe, A., Degu, S., Admasu, A., Hunde, B., & Muleta, D. (2024). Bioethanol production from sugarcane molasses by cofermentation of *Saccharomyces cerevisiae* isolate TA2 and *Wickerhamomyces anomalus* isolate HCJ2F19. *Annals of Microbiology*, 74, 13. <https://doi.org/10.1186/s13213-024-01757-8>

Jacques, K. A., Lyons, T. P., & Kelsall, D. R. (2003). *The Alcohol Textbook (4th ed.)*. Nottingham, Nottingham University Press.

Jamir, L., Kumar, V., Kaur, J., Kumar, S., & Singh, H. (2021). Composition, valorization and therapeutical potential of molasses: a critical review. *Environmental Technology Review*, 10(1), 131-142. <https://doi.org/10.1080/21622515.2021.1892203>

Jayaraman, P., Alex, A. M. A. L., Harikrishnan, S., Vinoth, S., & Logambal, R. (2017). Evaluation of Ethanol Production using Various Carbon Substrates by *Sacharomyces cerevisiae* and *Schizosacharomyces bombe*. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 11(3), 1469-1478. <http://dx.doi.org/10.22207/JPAM.11.3.31>

Jiru, T. M., Steyn, L., Pohl, C., & Abate, D. (2018). Production of single cell oil from cane molasses by *Rhodotorula kratochvilovae* (syn, *Rhodosporidium kratochvilovae*) SY89 as a biodiesel feedstock. *Chemistry Central Journal*, 12(91), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0457-7>

Kartini, A. M., & Dhokhikah, Y. (2018). Bioethanol Production from Sugarcane Molasses with Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) Method using *Saccaromyces cerevisiae*-*Pichia stipitis* Consortium. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 207, 012061. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/207/1/012061>

Khoja, A. H., Ali, E., Zafar, K., Ansari, A. A., Nawar, A., Qayyum, M., & Janjua, H. A. (2015). Comparative study of bioethanol production from sugarcane molasses by using *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces cerevisiae*. *African Journal of Biotechnology*, 14(31), 2455-2462. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/121392>

Khoja, A. H., Yahya, S. M., Nawar, A., Ansari, A. A., & Qayyum, M. (2018). Fermentation of Sugarcane Molasses Using *Zymomonas Mobilis* for Enhanced Bioethanol Production. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 11(1), 31-38. https://www.akademiabaru.com/doc/ARASETV11_N1_P31_38.pdf

Kopsahelis, N., Bosnea, L., Bekatorou, A., Tzia, C., & Kanellaki, M. (2012). Alcohol production from sterilized and non-sterilized molasses by *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on brewer's spent grains in two types of continuous bioreactor systems. *Biomass and Bioenergy*, 45, 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.015>

Lino, F. S. d. O., Basso, T. O., & Sommer, M. O. A. (2018). A synthetic medium to simulate sugarcane molasses. *Biotechnology for Biofuels*, 11, 221. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1221-x>

Malik, H. (2016). *Utilization of agro-industrial wastes for the biomass production of baker's yeast*. [Master's thesis, Punjab Agricultural University], Punjab Agricultural University. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30282.18886>

Marim, R. A., Oliveira, A. C. C., Marquezoni, R. S., Servantes, J. P. R., Cardoso, B. K., Linde, G. A., Colauto, N. B., & Valle, J. S. (2016). Use of sugarcane molasses by *Pycnoporus sanguineus* for the production of laccase for dye decolorization. *Genetics and Molecular Research*, 15(4), 1-9. <https://doi.org/10.4238/gmr15048972>

Marlinda, Mardhiyah, N., Irwan, M., & Ramli. (2019). Citric Acid Production From Molasses Use Biosynthesis *Aspergillus Niger*. *International Journal of Scientific &*

Technology Research, 8(06), 357-360. <https://www.ijstr.org/final-print/june2019/Citric-Acid-Production-From-Molasses-Use-Biosynthesis-Aspergillus-Niger.pdf>

Mawarda, P. C., Endah, E. S., Ratnaningrum, D., Budiwati, T. A., Andayani, D. G. S., & Pudjiraharti, S. (2018). Antimicrobial activity of extracellular liquid obtained from molasses fermentation by *Nocardia* sp strain V1. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 160, 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/160/1/012011>

Méndez-Romero, T., Vargas-Tah, A., Aguilar-Rivera, N., Lazaro-Mixteco, P. E., & Castro-Montoya, A. J. (2023). Sugarcane molasses-based biorefinery: Organic acids and ethanol production. *Renewable Energy, Biomass & Sustainability*, 5(1), 1-9. <https://doi.org/10.56845/rebs.v5i1.78>

Naheed, N., Jamil, N., Hasnain, S., & Abbas, G. (2012). Biosynthesis of polyhydroxybutyrate in *Enterobacter* sp. SEL2 and *Enterobacteriaceae bacterium* sp. PFW1 using sugar cane molasses as media. *African Journal of Biotechnology*, 11(16), 3321-3332. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1405>

Nehra, K. S., Jangra, M. R., Sharma, P., Aggarwal, M., Mishra, P., Bharti, R., Sachdeva, H., Poonia, P., & Jangra, S. (2021). Production of bioethanol from Sugarcane Juice, Molasses and Paddy Straw using *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 14(2), 581-586. https://bbrc.in/wp-content/uploads/2021/05/BBRC_Vol_14_No_02_2021-22.pdf

Ni, Y., Wang, Y., & Sun, Z. (2012). Butanol Production from Cane Molasses by *Clostridium saccharobutylicum* DSM 13864: Batch and Semicontinuous Fermentation. *Appl Biochem Biotechnol*, 166, 1896–1907. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9614-y>

Nishida, O., Kuwazaki, S., Suzuki, C., & Shima, J. (2004). Superior Molasses Assimilation, Stress Tolerance, and Trehalose Accumulation of Baker's Yeast Isolated from Dried Sweet Potatoes (hoshi-imo). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 68(7), 1442-1448. <http://dx.doi.org/10.1271/bbb.68.1442>

Nolasco, J., & Massaguer, P. R. d. (2007). Thermal death kinetics of *B. stearothermophilus* spores in sugarcane must. *Journal of Food Process Engineering*, 30, 625-639. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00122.x>

Park, M. J., Jo, J. H., Park, D., Lee, D. S., & Park, J. M. (2010). Comprehensive study on a two-stage anaerobic digestion process for the sequential production of hydrogen and methane from cost-effective molasses. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 6194-6202. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.03.135>

Pillai, J. S., Danesh, N., Puttaiah, E. T., & Girish, K. (2011). Microbial diversity in solid waste molasses of Sugar Industry, Aranthangi, Tamilnadu. *International Journal of Environmental Sciences*, 2(2), 723-730. https://www.semanticscholar.org/paper/Microbial-diversity-in-solid-waste-molasses-of-Pillai-Danesh/7565b2e1b578cc093675a4eb42517d7_d67a0cf56

Ponce, G. H. S. F., Miranda, J. C. C., Filho, R. M., Andrade, R. R. d., & Wolf, M. R. M. (2015). Simulation, Analysis and Optimization of Sugar Concentration in an In Situ Gas Stripping Fermentation Process for Bioethanol Production. *Chemical Engineering Transactions*, 43, 319-324. <https://doi.org/10.3303/CET1543054>

Portilla, O. M., Espinosa, V., Jarquin, L., Salinas, A., Velazquez, G., & Vazquez, M. (2017). Sugar cane molasses as culture media component for microbial transglutaminase production. *Indian Journal of Biotechnology*, 16, 419-425. <https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/43327/1/IJBT%2016%283%29%20419-425.pdf>

- Raharja, R., Murdiyatmo, U., Sutrisno, A., & Wardani, A. K. (2019). Bioethanol production from sugarcane molasses by instant dry yeast. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 230, 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012076>
- Rahman, S. S., Hossain, M., & Choudhury, N. (2013). Effect of Various Parameters on the Growth and Ethanol Production by Yeasts Isolated from Natural Sources. *Bangladesh J Microbiol*, 30(182), 49-54. <https://doi.org/10.3329/bjm.v30i1-2.28453>
- Rani, S., Amin, A., Khaliq, A., Batool, A., Khan, F. S., Hamid, A., & Akram, M. (2024). Isolation and screening of yeast strains for bioethanol production using sugar molasses and lignocellulose biomass. *Journal of Population Therapeutics & Clinical Pharmacology*, 31(3), 1416-1429. <https://doi.org/10.53555/jptcp.v31i3.4953>
- Rasmey, A.-H. M., Hawary, H., Wahid, O. A. A., & Wahid, O. A. A. (2018). Enhancing Bioethanol Production from Sugarcane Molasses by *Saccharomyces cerevisiae* Y17. *Egyptian Journal of Botany*, 58(3), 547-561. https://ejbo.journals.ekb.eg/article_13980_ff3a583f1b637753ce5b30922fe1c4f5.pdf
- Reed, G., & Nagodawithana, T. W. (1991). *Yeast Technology*. New York, Van Nostrand Reinhold. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-011-9771-7>
- Reheem, A. H. A., Kenawi, M. A., Ali, H. M., & Hussien, S. M. (2021). Physicochemical Evaluation of Sugarcane Molasses (Black Honey) during Storage in Various Packaging Materials. *Asian Journal of Applied Chemistry Research*, 10(3-4), 66-72. <https://doi.org/10.9734/AJACR/2021/v10i3-430242>
- Ren, N., Li, J., Li, B., Wang, Y., & Liu, S. (2006). Biohydrogen production from molasses by anaerobic fermentation with a pilot-scale bioreactor system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 21, 2147-2157. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.02.011>
- Sadik, M. W., & Halema, A. A. (2014). Production of Ethanol from Molasses and Whey Permeate Using Yeasts and Bacterial Strains. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(3), 804-818. <https://tarjomefa.com/wp-content/uploads/2018/10/TarjomeFa-F1122-English.pdf>
- Salem, S. H., Heikal, Y. A., Naguib, M. M., & El-Sheikh, H. H. (2017). Establishment of a Sterilization Regime for Sugarcane Molasses Used in Baker's Yeast Production. *American Journal of Food Technology*, 12(2), 106-115. <https://doi.org/10.3923/ajft.2017.106.115>
- Santos, R. A. d., Almeida, Y. M. B. d., Andrade, S. A. C., & Caldas, C. S. (2024). Ethanol production from sugarcane molasses: effects of pH, supplementation, and refrigeration in simulated industrial conditions at a microdistillery. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(11), 1-16. <https://doi.org/10.24857/rqsa.v18n11-090>
- Scoma, A., Coma, M., Kerckhof, F., Boon, N., & Rabaey, K. (2017). Efficient molasses fermentation under high salinity by inocula of marine and terrestrial origin. *Biotechnology for Biofuels*, 10(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0701-8>
- Sharma, P., Kumar, S. Y., & Shukla, A. (2018). Potential of Ethanol Production Using Molasses Fermentation in a Sugar Plant. *Iranian Journal of Energy and Environment*, 9(4), 235-238. https://www.ijee.net/article_81158_48d8caac8a7d204476ceab4e0af4bd4a.pdf
- Sun, Y., Xu, Z., Zheng, Y., Zhou, J., & Xiu, Z. (2019). Efficient production of lactic acid from sugarcane molasses by a newly microbial consortium CEE-DL15. *Process Biochemistry*, 81, 132-138. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.03.022>
- Taskin, M., Ortucu, S., Unver, Y., Tasar, O. C., Ozdemir, M., & Kaymak, H. C. (2016). Invertase production and molasses decolourization by cold-adapted filamentous fungus

Cladosporium herbarum ER-25 in non-sterile molasses medium. *Process Safety and Environmental Protection*, 103, 136-143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.07.006>

Teclu, D., Tivchev, G., Laing, M., & Wallis, M. (2009). Determination of the elemental composition of molasses and its suitability as carbon source for growth of sulphate-reducing bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2-3), 1157-1165. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.120>

Thanapornsin, T., Sanchanda, P., Laopaiboon, L., & Laopaiboon, P. (2018). Batch butanol fermentation from sugarcane molasses integrated with a gas stripping system: Effects of sparger types and gas flow rates. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 23(04), 1-12. <https://doi.org/10.14456/apst.2018.13>

Thanapornsin, T., Sirisantimethakom, L., Laopaiboon, L., & Laopaiboon, P. (2022). Effectiveness of Low-Cost Bioreactors Integrated with a Gas Stripping System for Butanol Fermentation from Sugarcane Molasses by *Clostridium beijerinckii*. *Fermentation*, 8, 214. <https://doi.org/10.3390/fermentation8050214>

Thomas, K. C., Hynes, S. H., & Ingledew, W. M. (2001). Effect of lactobacilli on yeast growth, viability and batch and semi-continuous alcoholic fermentation of corn mash. *Journal of Applied Microbiology*, 90(5), 819-828. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01311.x>

Tyagi, N., & Suresh, S. (2016). Production of cellulose from sugarcane molasses using *Gluconacetobacter intermedius* SNT-1: optimization & characterization. *Journal of Cleaner Production*, 112, 71-80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.054>

Veana, F., Martínez-Hernández, J. L., Aguilar, C. N., Rodríguez-Herrera, R., & Michelena, G. (2014). Utilization of molasses and sugar cane bagasse for production of fungal invertase in solid state fermentation using *Aspergillus niger* GH1. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45(2), 373-377. <https://doi.org/10.1590/s1517-83822014000200002>

Vidra, A., Tóth, A. J., & Németh, Á. (2017). Lactic acid production from cane molasses. *Liquid Waste Recovery*, 2, 13-16. <https://doi.org/10.1515/lwr-2017-0003>

Wang, S., Tian, R., Liu, B., Wang, H., Liu, J., Li, C., Li, M., Evvie, S. E., & Li, B. (2021). Effects of carbon concentration, oxygen, and controlled pH on the engineering strain *Lactiplantibacillus casei* E1 in the production of bioethanol from sugarcane molasses. *AMB Express*, 11, 95. <https://doi.org/10.1186/s13568-021-01257-x>

Wardani, A. K., Utami, C. P., Hermanto, M. B., Sutrisno, A., & Nurtyastuti, F. (2023). Bioethanol Production from Sugarcane Molasses by Fed-Batch Fermentation Systems Using Instant Dry Yeast. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 51(2), 184-190. <http://dx.doi.org/10.48022/mbl.2301.01012>

Watthanasakphuban, N., Nguyen, L. V., Che, Y.-S., Show, P.-L., Sriariyanun, M., Koffas, M., & Rattanaporn, K. (2023). Development of a Molasses-Based Medium for *Agrobacterium tumefaciens* Fermentation for Application in Plant-Based Recombinant Protein Production. *Fermentation*, 9, 149. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020149>

Wechgama, K., Laopaiboon, L., & Laopaiboon, P. (2017). Enhancement of batch butanol production from sugarcane molasses using nitrogen supplementation integrated with gas stripping for product recovery. *Industrial Crops and Products*, 95, 216-226. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.012>

Yapo, A., Achi, M. A., Djeni, T., Gadji, A. G., Coulibaly, J., Gnepe, R., . . . Tyagi, R. (2020). Use of Sugar Cane Molasses Enriched with Yeast Extract for the Production of Biopesticide from *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* HD-1. *International Journal of*

Current Microbiology and Applied Sciences, 9(11), 3590-3599.
doi:<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.911.430>

Zaghloul, R. A., Ismail, S. A., Enan, G., El-Meihy, R. M., & Abdel-Rahman, H. M. (2021). Maximization of Bio-Ethanol Production by Yeasts using Sugar Cane and Sugar Beet Molasses. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 9(12), 2069-2076.
<http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.12.2069.2076>

Zakeri, A., Pazouki, M., & Vossougi, M. (2015). Kinetics investigation of cell growth, xanthan production and sugar cane molasses consumption by *Xanthomonas campestris*. *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 12(4), 84-92.
https://www.ijche.com/article_15368.html

Zhang, S., Wang, J., & Jiang, H. (2021). Microbial production of value-added bioproducts and enzymes from molasses, a by-product of sugar industry. *Food Chemistry*, 346, 128860. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128860>

Zohri, A. E.-N. A., Soliman, M. F., Ibrahim, O. M., & Aziz, A. M. A. (2022). Reducing heavy metals content in sugarcane molasses and its effect on ethanol fermentation efficiency. *Egyptian Sugar Journal*, 18, 60-67.
<https://doi.org/10.21608/ESUGJ.2022.143054.1011>

Zohri, A. N. A., Saliman, F. M., Ibrahiem, O. M., & Aziz, A. M. A. (2022). Deterioration of sugarcane molasses during storage and its effect on ethanol fermentation efficiency in distillery factories. *Egyptian Sugar Journal*, 18, 32-39.
<https://doi.org/10.21608/ESUGJ.2022.125012.1004>