

Artículo Original

***SIMULACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN
DE VINO BASE TÍNIMA***

SIMULATION OF THE TÍNIMA BASE WINE PRODUCTION PROCESS

Laivis Durán-Socarras¹ <https://orcid.org/0009-0007-2028-8530>
María Caridad Julián-Ricardo^{2*} <https://orcid.org/0000-0002-1800-7345>

¹ Empresa Cervecería Tínima. Camagüey, Cuba

² Grupo de Desarrollo de BioProcesos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba.

Recibido: Abril 3, 2024; Revisado: Abril 17, 2024; Aceptado: Mayo 20, 2024

RESUMEN

Introducción:

Por las limitaciones para adquirir materia prima para producir cerveza, la Empresa Cervecería Tínima ha tenido muy deprimidas sus producciones. Por tal motivo se dio a la tarea de buscar producciones alternativas.

Objetivo:

Simular el proceso de obtención de Vino Base Tínima para el análisis de la influencia de las principales variables de operación, que hacen que el proceso sea más eficiente desde el punto de vista técnico-económico y ambiental.

Materiales y Métodos:

Con las condiciones de producción del vino base, se llevó a cabo la simulación del proceso con el programa *SuperPro Designer*, denominado caso base, luego se realizó la evaluación de dos alternativas: influencia de la temperatura e influencia de la concentración inicial de sacarosa en el fermentador, teniendo en cuenta que el proceso sea eficiente desde el punto de vista técnico-económico y ambiental.

Resultados y Discusión:

Se determinó que los mejores resultados se obtuvieron con la alternativa de aumentar la concentración de sacarosa inicial en el fermentador.

Conclusiones:

En la fermentación de la alternativa 2, es alta la producción de alcohol, pero con la glucosa y la fructosa restantes pudiera extenderse la fermentación a 10 días, la emisión



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: María C. Julián-Ricardo, Email: maria.julian@reduc.edu.cu



de CO₂ tiene un impacto bajo sobre el medio ambiente y se selecciona como mejor alternativa la 2, donde la fermentación es a 15 °C y se alcanza una concentración de alcohol de 85,86 g/L en 9 días, con un menor costo unitario y mayor volumen de producción anual.

Palabras clave: fermentación; producción de vino; simulación; *SuperPro Designer*.

ABSTRACT

Introduction:

Due to the limitations in acquiring raw materials to produce beer, the Tímina Brewery Company has had its production very depressed. For this reason, the company set itself the task of looking for alternative productions.

Objective:

To simulate the process of obtaining Tímina Base Wine for the analysis of the influence of the main operating variables, which make the process more efficient from a technical-economic and environmental point of view.

Materials and Methods:

With the base wine production conditions, the simulation of the process was carried out with the SuperPro Designer program, called base case, then the evaluation of two alternatives was carried out: influence of temperature and influence of initial concentration of sucrose in the fermenter, taking into account that the process is efficient from a technical-economic and environmental point of view.

Results and Discussion:

It was determined that the best results were obtained with the alternative of increasing the initial sucrose concentration in the fermenter.

Conclusions:

In the fermentation of alternative 2, the production of alcohol is high, but with the remaining glucose and fructose the fermentation could be extended to 10 days, the CO₂ emission has a low impact on the environment and the alternative 2 is selected the best, where fermentation is at 15 °C and an alcohol concentration of 85.86 g/L is reached in 9 days, with a lower unit cost and higher annual production volume.

Keywords: fermentation; wine production; simulation; *SuperPro Designer*.

1. INTRODUCCIÓN

Las limitaciones en la adquisición de materias primas para la elaboración de cerveza es uno de los principales problemas que enfrenta la Empresa Cervecería Tímina por lo que se dio a la tarea de buscar producciones alternativas que permitieran tener resultados económicos favorables y tener opciones para la oferta de productos a la población y satisfacer sus necesidades, así surge el Vino Base Tímina, que constituye una materia prima para la elaboración de vinagre y vinos de diferentes calidades.

El vino, al igual que la cerveza y otros licores, son bebidas alcohólicas de elevado consumo y sus tecnologías de producción se mantienen en constante desarrollo por la puesta en práctica de los resultados de los estudios que se realizan. Las investigaciones

han estado centradas en la fermentación, donde es muy importante el análisis de la influencia de variables de operación como la temperatura, la concentración de azúcar inicial, el tiempo y la concentración de biomasa inicial, sobre la concentración final de etanol y sobre el sabor, porque tienen un fuerte efecto sobre el metabolismo de la levadura y son determinantes en la eficiencia del proceso (Bhonsale y col., 2021); Delgado, (2021); (López-Zamora e Illescas-Velázquez, 2020).

Específicamente en el vino, numerosas investigaciones se han centrado en la influencia de la temperatura en la etapa de fermentación, muestra de ello son los trabajos de Guzzon y col., (2020) y Miller y col., (2019), por otra parte Tindal y col., (2021) publicaron un artículo de revisión donde también abordan la influencia de la temperatura sobre la calidad del vino tinto. También, se ha demostrado que la concentración de azúcar inicial tiene una influencia significativa en la etapa de fermentación del vino, así se destaca en los trabajos de Guzzon y col., (2020) y de Florea y col., (2022).

El Vino Base Tínima es un producto que se obtiene de la fermentación alcohólica por la levadura cervecera *Saccharomyces uvarum*, de un mosto compuesto por una infusión de azúcar crudo fundamentalmente. Para su elaboración se usa agua tratada o de proceso potable. Debe presentar aroma y sabor característico (Cervecería-Tínima, 2022). En esta industria la documentación sobre los parámetros de operación de dicho proceso es limitada y esto se ve reflejado en la eficiencia de sus resultados. Hacer un estudio del sistema real directamente no es económico, por lo que la modelación matemática y la simulación son herramientas que se utilizan cada vez más, pueden verse los trabajos de Miller y col., (2019) y Florea y col., (2022), que se consideran una contribución potencial para aumentar la calidad del vino con prácticas productivas optimizadas y sostenibles (Tindal y col., 2021).

En este trabajo, se usó el programa *SuperPro Designer* desarrollado por *Intelligent, Inc.*, debido a que es uno de los más completos y reconocidos paquetes de simulación y diseño de procesos, siendo un simulador muy versátil que puede satisfacer las necesidades de los ingenieros en gran variedad de industrias. Dentro de los trabajos publicados en los últimos años relacionados con el uso de este programa para la simulación de procesos de producción de bebidas como la maltina, la cerveza y el vino se encuentran los realizados por Julián-Ricardo y col., (2018a), Pérez-Sánchez y col., (2020), Ronot y col., (2020), Flores-Morocho, (2022) y Arias y col., (2023).

El objetivo de este trabajo es simular el proceso de obtención de Vino Base Tínima para el análisis de la influencia de las principales variables de operación, que hacen que el proceso sea más eficiente desde el punto de vista técnico-económico y ambiental.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Alternativas propuestas

Con las condiciones de producción del vino base, se llevó a cabo la simulación del proceso con el programa *SuperPro Designer*, denominado caso base, luego se realizó la evaluación de dos alternativas para seleccionar la mejor: (1) influencia de la temperatura en el fermentador e (2) influencia de la concentración de sacarosa inicial en el fermentador, teniendo en cuenta que el proceso sea eficiente desde el punto de vista

técnico, económico y ambiental. Para la selección de la mejor alternativa se hizo una comparación teniendo en cuenta los resultados técnicos, económicos y ambientales, se utilizaron como variables respuesta la concentración de alcohol requerida en el producto en función del tiempo de fermentación, la producción anual obtenida, el costo unitario alcanzado, así como las emisiones de CO₂, aspectos estos de gran importancia para garantizar la eficiencia del proceso, como lo reflejan los resultados que brinda el *SuperPro Designer* de la solución de los balances de masa, de la evaluación económica y de las emisiones generadas, así como los trabajos realizados por Murcia y col., (2019), Aragonès, (2020), y Fragoso y Figueira, (2020).

En la alternativa 1, se estudiaron dos valores de temperatura, una menor y otra mayor con respecto al caso base que es de 15 °C, que fueron: alternativa 1-A para 13 °C y la alternativa 1-B para 18 °C, los valores fueron seleccionados a partir de los utilizados por Rodman y Gerogiorgis, (2020).

En la alternativa 2, se analizó la influencia de un aumento en la concentración de sacarosa inicial en el fermentador, de 195,56 g/L a 207,61 g/L; el valor fijado para este estudio se seleccionó como una aproximación a los valores límites utilizados por Miller y col., (2019) y Zentou y col., (2021). La simulación se realizó teniendo en cuenta dos etapas, similar a como la realizaron Julián-Ricardo y col., (2018a).

2.2. Descripción del proceso de producción (caso base)

El proceso cuenta con dos etapas principales, la primera es la etapa en caliente, donde se realiza la disolución del azúcar, luego el mezclado, la cocción del jarabe de azúcar y la sedimentación. La segunda etapa que es en frío, comienza con el enfriamiento del jarabe; la aireación, la inyección de la levadura y la fermentación; luego enfriamiento, reposo y extracción de la levadura y por último la filtración.

La etapa en caliente tiene como objetivo disolver el azúcar y los sucedáneos empleados, desdoblándolos en azúcares fermentables para obtener una disolución libre de contaminación y de sustancias insolubles. Esta etapa cuenta con los pasos los siguientes:

1. Disolución de azúcar: el objetivo de este paso es hacer disoluciones de azúcar para un fermentador de 2 000 hL, se realizan tres cocimientos con 14 000 kg de azúcar crudo cada uno y se le añade agua tratada para proceso, hasta un volumen entre 180-200 hL y una concentración de 60 °Brix en el disolutor, luego la disolución filtrada pasa a un tanque de almacenamiento y posteriormente se bombea al tacho, llevándose a un volumen entre 730-750 hL y una concentración de sólidos de 18 °Brix.
2. Mezclado: se le adicionan 75 kg de fosfato de amonio y demás aditivos como cloruro de sodio, ácido cítrico y ácido tánico.
3. Cocción del jarabe de azúcar: se produce la esterilización y concentración de la disolución para suministrarlos libres de contaminación microbiana. La cocción se realiza durante 30 minutos a una temperatura de 100 °C.
4. Sedimentación: se usa un sedimentador tangencial, donde se separa la mayor cantidad de partículas sólidas en suspensión que contiene el jarabe caliente.

La etapa en frío tiene como objetivo crear un medio adecuado para la fermentación y obtener un producto que cumpla con las normas de calidad. Los pasos de esta etapa son:

1. Enfriamiento: se enfría el jarabe de azúcar creando un medio adecuado para la
-

fermentación, se realiza en un intercambiador de placas de dos etapas, primero se enfría por medio de agua tratada en contracorriente desde 90 °C hasta 30 °C, en la segunda etapa se enfría con agua alcoholada a -5 °C, saliendo el jarabe a una temperatura regulable entre 10-14 °C.

2. Aireación, inyección de la levadura y fermentación: se inyecta aire para saturar el jarabe del oxígeno necesario para el desarrollo de la levadura, luego se inyecta la levadura con una viabilidad como mínimo del 90 % y concentración de 1050 g/L. Se lleva a cabo a una temperatura de 15 °C. Para la cinética de los procesos químicos y fermentativos, en la simulación se utilizaron las reacciones estequiométricas para el fermentador usadas por Ribas-García y col., (2011) y Gomes-da Silva y col., (2022), que representan la conversión de la sacarosa, la glucosa y la fructosa y se empleó el modelo de Monod para el crecimiento celular. Los parámetros del modelo se obtuvieron a partir de los resultados experimentales obtenidos por Julián-Ricardo y col., (2018b) y teniendo en cuenta los reportados por Liu y col., (2015). Diariamente se hace un análisis de extracto y pH, para determinar el extracto aparente y como va disminuyendo el mismo. Desde que comienza la fermentación empieza la recuperación de CO₂, el cual es reutilizado para otros procesos.
3. Enfriamiento, reposo y extracción de la levadura: se separa el resto de la cosecha de la levadura sedimentada en el fondo del fermentador y se eliminan las proteínas coagulables, las partículas insolubles y las sustancias coloidales que no hayan precipitado en el proceso de fermentación, favoreciéndose aquí la formación de compuestos que aportan el aroma característico a cada tipo de vino. El reposo es por 24 h y se comienza la extracción de la levadura existente en el cono del fermentador y se trasiega hacia los tanques para su posterior recuperación. Posterior a la extracción se deja reposar 24 h más.
4. Filtración: el transporte hacia los filtros de bujías es por la presión que hay en el fermentador. Después de filtrado se pasa directamente por las tuberías hasta los tanques de contra presión que están en la bodega y donde reposa el vino y está disponible para abastecer las distintas fábricas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caso base

Los resultados de la simulación en el lugar para este caso coinciden con las condiciones de producción del vino base para la fermentación durante 9 días, a una temperatura de 15 °C. En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo del proceso.

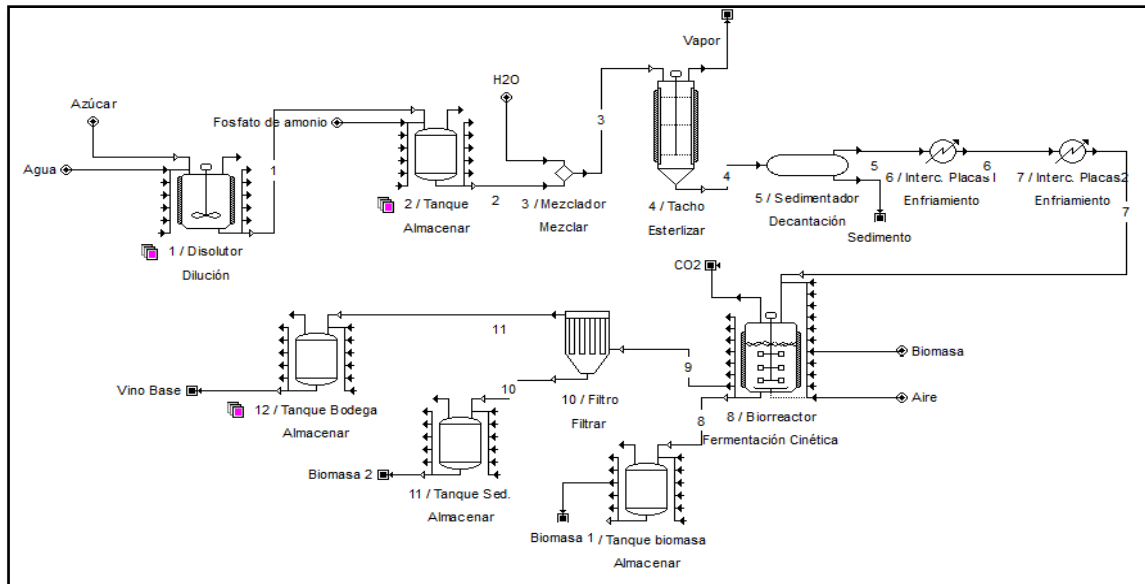


Figura 1. Diagrama del flujo productivo (Caso base)

La variación de las concentraciones en el proceso fermentativo se muestra en la figura 2. Se observa que la glucosa y la fructosa son consumidas por la biomasa satisfactoriamente, dando lugar a la formación de alcohol etílico. La concentración de glucosa en el fermentador es de 4,76 g/L, la de fructosa es de 5,78 g/L, la de biomasa es de 24,07 g/L y la de alcohol etílico es de 86,57 g/L.

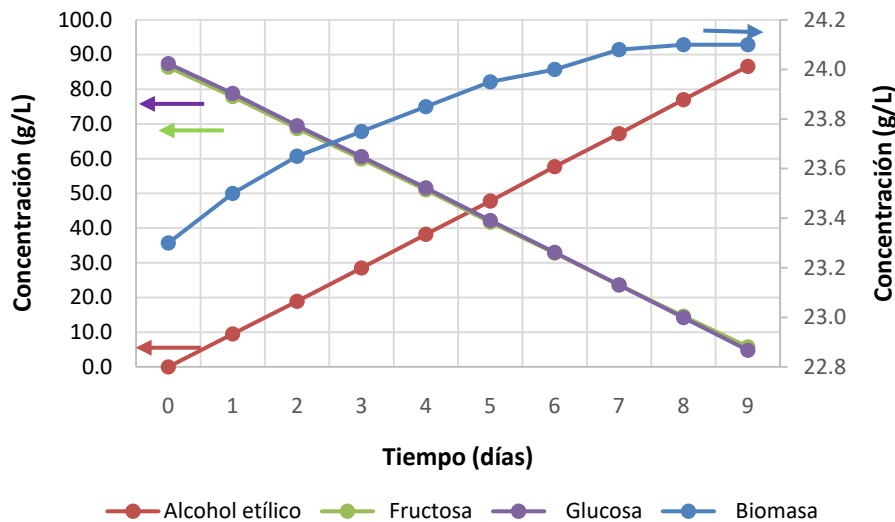


Figura 2. Variación de las concentraciones en el tiempo de fermentación

En este proceso, diseñado para producir 9 lotes/año, se obtienen 1917,75 hL/lote de Vino Base Tínima, con un contenido de alcohol de 9,06 % en volumen y un 89,63 % de agua. Los valores de composición final del vino base se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Composición final del Vino Base Tínima (Caso base)

<i>Componentes</i>	<i>Composición másica (%)</i>	<i>Concentración (g/L)</i>
Fosfato de amonio	0,0003	0,0033
Biomasa	0,01	0,12
Alcohol etílico	9,06	88,61
Fructuosa	0,60	5,90
Glucosa	0,50	4,87
Sacarosa	0,20	1,95
Agua	89,63	876,53

Este proceso tiene un costo de operación de 13 114 000,0 \$/año, con un costo de producción unitario de 983,50 \$/hL, generando una ganancia de 259 000,0 \$/año. En la tabla 2 se muestra la influencia de las partidas en el costo total. La que más influye es el valor de las instalaciones representando un 86,22 %, luego es el salario a los trabajadores con un 10,52 % y le sigue la compra de materias primas, con un 2,43 %. Esta última con poca influencia porque la materia prima fundamental es el agua y su costo es relativamente bajo.

Tabla 2. Influencia de las partidas en el costo de operación anual

<i>Costo del producto</i>	<i>Valor (\$)</i>	<i>(%)</i>
Materias primas	318 000,0	2,43
Salario de los trabajadores	1 379 000,0	10,52
Valor de las instalaciones	11 307 000,0	86,22
Útiles	110 000,0	0,84
Total	13 114 000,0	100

En este proceso se generan residuales gaseosos debido a la actividad microbiana de la fermentación, al año se emiten 127 925,00 kg, de los cuales solo la mitad pasa a la atmósfera ya que lo restante es recuperado por una planta de CO₂, así la fábrica asegura el consumo propio. En la tabla 3 se muestran las emisiones del proceso.

Tabla 3. Emisiones de residuales gaseosos

<i>Componentes</i>	<i>(kg/hL)</i>	<i>(kg/lote)</i>	<i>(kg/año)</i>	<i>(%)</i>
CO ₂	9,44	17 979,58	125 875,0	98,38
Nitrógeno	0,12	226,65	1 587,0	1,24
Oxígeno	0,04	68,81	482,0	0,38
Total	9,59	18 275,04	127 925,0	100

3.2. Análisis de las alternativas

3.2.1. Alternativa 1-A

Se simuló la fermentación a la temperatura de 13 °C. La variación de las concentraciones de los principales componentes en el proceso fermentativo se muestra en la figura 3. Después de 9 días de fermentación la concentración de glucosa en el fermentador es de 17,62 g/L, la de fructuosa es de 17,85 g/L, la de biomasa es de 23,97 g/L y la de alcohol etílico es de 73,43 g/L. Esta alternativa demuestra que, al usar esta temperatura de fermentación se obtiene una menor concentración de alcohol, con

respecto al caso base.

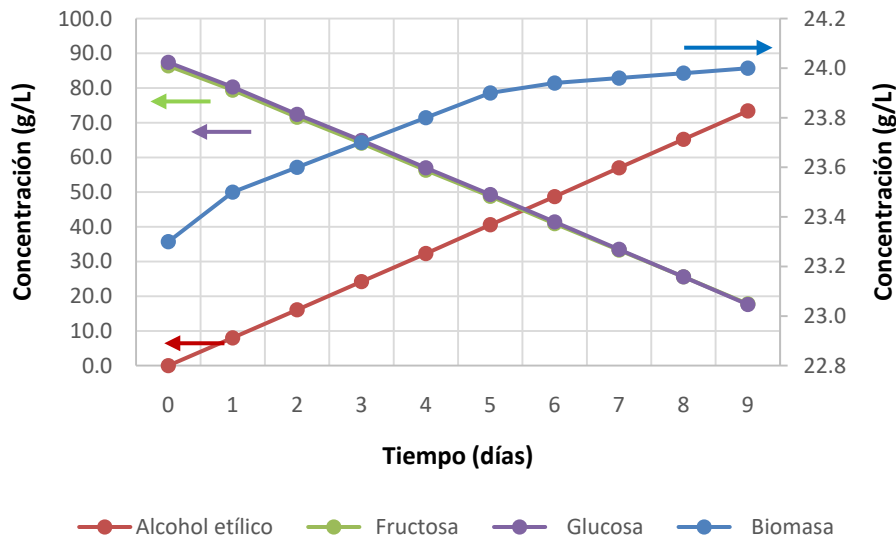


Figura 3. Variación de las concentraciones en el tiempo de fermentación

En este proceso se obtienen 1 926,01 hL/lote de Vino Base Ténima. El contenido de alcohol es 7,62 % en volumen y un 88,50 % de agua. El costo de operación es de 13 114 000 \$/año, con un costo de producción unitario de 978,27 \$/hL, generando una ganancia de 261 000 \$/año. La influencia de las partidas en el costo total es similar a la del caso base. Debido a la actividad microbiana de la fermentación se generan 109 230,0 kg de residuales gaseosos al año, de los cuales la mitad se recupera por la planta de CO₂, esta cantidad es 0,27 % menor con respecto al caso base.

3.2.2. Alternativa 1-B

Se simula la fermentación a la temperatura de 18 °C. La variación de las concentraciones en el proceso fermentativo se muestra en la figura 4. Se observa que, después de un período de 7 días de fermentación la concentración de glucosa en el fermentador es de 2,20 g/L, la de fructuosa es de 3,72 g/L, la de biomasa es de 24,06 g/L y la de alcohol etílico es de 88,89 g/L. Al usar esta temperatura de fermentación se obtiene una mayor concentración de alcohol en menor tiempo, con respecto al caso base. Se producen 1918,52 hL/lote de Vino Base Ténima, con un contenido de alcohol de 9,33 % en volumen y un 89,84 % de agua.

Este proceso tiene un costo de operación anual de 13 046 000 \$/año, con un costo de producción unitario de 979,33 \$/hL, generando una ganancia de 259 000 \$/año. La influencia de las partidas en el costo total es similar a la del caso base. En este proceso se generan residuales gaseosos debido a la actividad microbiana de la fermentación, al año se emiten 131 361,00 kg, de los cuales la mitad es recuperada por la planta de CO₂, esta cantidad es 0,05 % mayor con respecto al caso base.

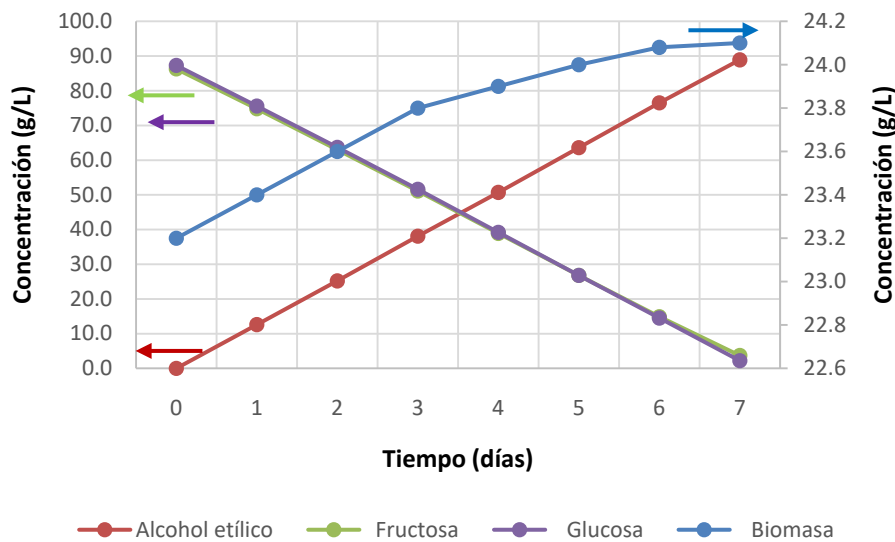


Figura 4. Variación de las concentraciones en el tiempo de fermentación

3.2.3. Alternativa 2

El objetivo de esta alternativa es aumentar la concentración inicial de sacarosa en el fermentador de 195,56 g/L a 207,61 g/L respecto al caso base, por lo que se emplean 15 000 kg de azúcar crudo en cada cocimiento. La variación de las concentraciones en el proceso fermentativo se muestra en la figura 5. Se observa que, después de un período de 9 días la concentración de glucosa en el fermentador es de 11,05 g/L, la de fructuosa es de 11,53 g/L, la de biomasa es de 23,80 g/L y la de alcohol etílico es de 85,86 g/L.

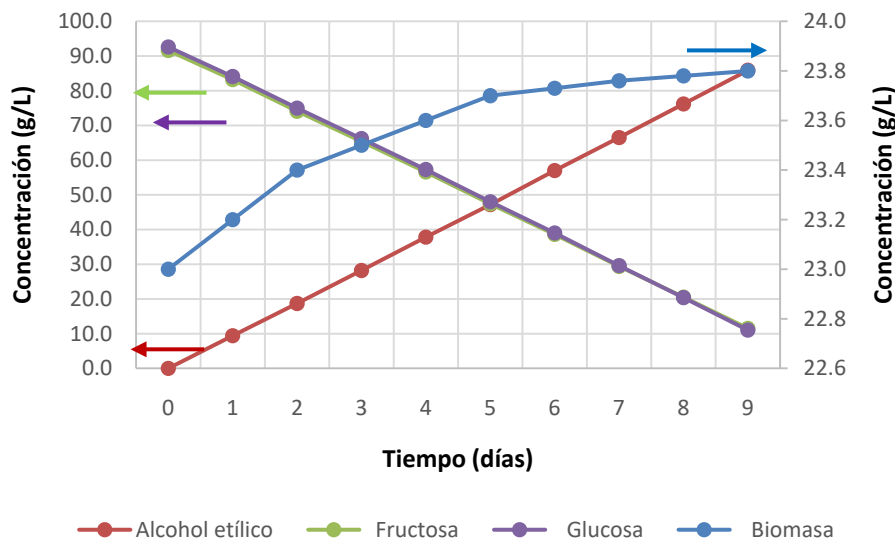


Figura 5. Variación de las concentraciones en el tiempo de fermentación

Se obtienen un total 1 940,31 hL/lote de Vino Base Tínima. El contenido de alcohol de 8,96 % en volumen y un 88,46 % de agua. El costo de operación es de 13 144 000 \$/año, con un costo de producción unitario de 974,32 \$/hL, generando una ganancia de 261 000 \$/año. La influencia de las partidas en el costo total es similar a la del caso base. Se generan residuales gaseosos debido a la actividad microbiana de la fermentación, al año se emiten 128 361,00 kg, de los cuales la mitad se recupera por la

planta de CO₂, esta cantidad es 0,01 % mayor con respecto al caso base.

3.3 Selección de la mejor alternativa

En la figura 6, se comparan los resultados del tiempo de fermentación y la concentración de alcohol en cada alternativa, la 1-B alcanza la concentración de alcohol en menor tiempo. Esto se debe a que la fermentación se realiza a la temperatura de 18 °C, que es más favorable para el crecimiento de la levadura, incrementándose de esta manera la velocidad de obtención de alcohol, así como de vino base. Se observa que los valores de concentración de alcohol que se alcanzan en las alternativas simuladas superan a los predichos por Florea y col., (2022) para un proceso de fermentación de vino blanco en un tiempo aproximadamente igual, donde se alcanzan valores entre 70 y 72 g/L; también son mayores a los 66,11 g/L que alcanzaron López-Zamora e Illescas-Velázquez, (2020) en su estudio de implementación de un controlador predictivo basado en un modelo no-lineal, en la simulación de un proceso de fermentación alcohólica.

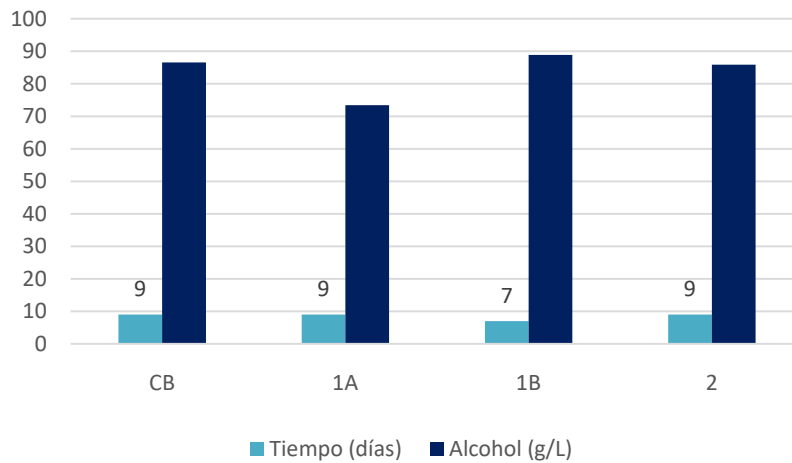


Figura 6. Análisis técnico de las alternativas

Se analizó la producción anual obtenida en cada uno de los casos y el costo unitario alcanzado en los mismos, la figura 7 muestra los resultados, siendo la alternativa 2 la de mayor producción y la de menor costo unitario, alcanzando los 974,32 \$/hL.

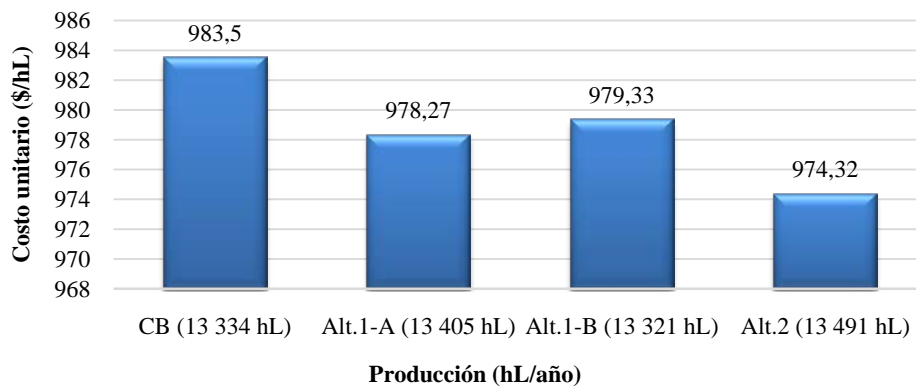


Figura 7. Análisis económico de las alternativas

Se observó que el CO₂ se emite en pocas cantidades al año, gracias a la planta recuperadora, por lo que ninguna de las alternativas representa un impacto negativo sobre el medio ambiente. En la figura 8 se muestra la cantidad de CO₂ emitida al año, siendo la alternativa 1-B la de mayor emisión. Estas emisiones resultan mucho menores que las reportadas por Fragoso y Figueira, (2020), quienes calcularon las emisiones de CO₂ en un estudio de casos para plantas de capacidades pequeñas, medianas y grandes en condiciones ideales de mínima emisión y otras alternativas y también menores que las que se generan en la planta de producción de vino de capacidad productiva similar diseñada por Murcia y col., (2019).

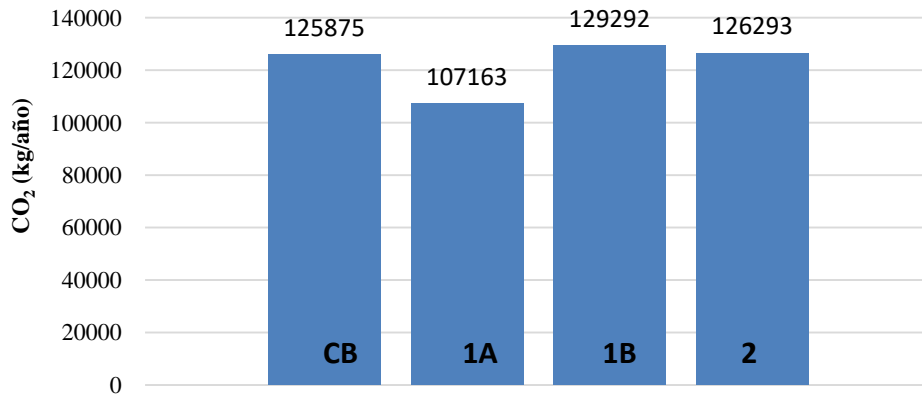


Figura 8. Dióxido de carbono emitido al año

De acuerdo al análisis técnico, económico y medioambiental realizado, la alternativa tecnológica 2 es la más factible, ya que se logra una mayor producción anual con la buena calidad final en correspondencia con lo establecido en la norma para vino base (Cervecería-Tínima, 2022), con menor costo unitario, además se valora como positivo ambientalmente el aprovechamiento del CO₂.

4. CONCLUSIONES

De la simulación del proceso de producción de Vino Base Tínima, denominado caso base y de dos alternativas se concluye que:

1. En la fermentación de la alternativa 2, es alta la producción de alcohol, pero con la glucosa y la fructosa que quedan por consumir pudiera extenderse la fermentación.
2. La emisión de CO₂ que se genera tiene un impacto bajo sobre el medio ambiente ya que asegura el consumo propio de la fábrica mediante la planta recuperadora.
3. Se selecciona como mejor alternativa la 2, donde la temperatura de fermentación es de 15 °C y se alcanza una concentración de alcohol de 85,86 g/L en 9 días, con un menor costo unitario y mayor volumen de producción anual.

REFERENCIAS

Aragonès, S., Preliminary design of a small production plant of sparkling wine., Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Químico en la Universidad de Barcelona, España, 2020. <http://hdl.handle.net/2445/185735>

- Arias, A., Costa, C.E., Moreira, M.T., Feijoo, G., & Domingues, L., Environmental and techno-economic assessment on the valorization of vine-side streams to produce resveratrol., *Journal of Cleaner Production*, No. 429, 2023, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139622>
- Bhonsale, S., Mores, W., & Van, J., Dynamic optimisation of beer fermentation under parametric uncertainty., *Fermentation*, Vol. 7, No. 4, 2021, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040285>
- Cervecería-Tínima., *Vino Base Tínima. Norma de producto, Especificaciones de calidad*, NEIAL 111-0-11724.18, 2022, pp. 1-9.
- Delgado, V., *Tecnología del vino: ejemplos de los avances tecnológicos en el sector vitivinícola.*, Publicación de Las noticias de Vinetur, 2021. <https://www.vinetur.com/2021010762974/tecnologia-del-vino-ejemplos-de-los-avances-tecnologicos-en-el-sector-vitivinicola.html>
- Florea, A., Sipos, A., & Stoisor, M.C., Applying AI tools for modeling, predicting and managing the white wine fermentation process, *Fermentation*, Vol. 8, No. 137, 2022, pp. 1-22. <https://doi.org/10.3390/fermentation8040137>
- Flores-Morocho, D.A., *Diseño de un bioproceso industrial a partir de la comparación de los efectos de dos especies de levaduras en la fermentación de vino de borjón (Borojoa patinoi).*, Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero en Biotecnología, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, 2022. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/29562/1/T-ESPE-052332.pdf>
- Fragoso, R., & Figueira, J.R., Sustainable supply chain network design: An application to the wine industry in Southern Portugal., *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 72, No. 6, 2020, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1080/01605682.2020.1718015>
- Gomes-da Silva, Z.M., Gómez-Julián, A.M., Gálvez-Cantero, L., Julián-Ricardo, M.C. y Ramos-Sánchez, L.B., Análisis de alternativas tecnológicas de producción de bioetanol a partir de bagazo de caña., *Centro Azúcar*, Vol. 49, No. 2, 2022, pp. 15-25. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/698
- Guzzon, R., Roman, T., & Larcher, R., Impact of different temperature profiles on simultaneous yeast and bacteria fermentation., *Annals of Microbiology*, Vol. 70, No. 44, 2020, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01565-w>
- Julián-Ricardo, M.C., Baltá-García, J.G., Pérez-Sánchez, E.J., y Pérez-Sánchez, A., Simulación del proceso de producción de cerveza a escala piloto., *Afinidad*, Vol. 75, No. 581, 2018a, pp. 39-45. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/335961>
- Julián-Ricardo, M.C., Martínez-Robaina, M., Almeida-Soto, A., Girao-Orrutiniel, A., y García, J.C., Simulación del proceso fermentativo de la cerveza Tínima de 10° con formulación 70/30., *Tecnología Química*, Vol. 38, No. 2, 2018b, pp. 353-368. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200013&lng=es&tlng=es
- Liu, S.Q., Zhang, Z.W., & Zhang, W., Effect of temperature on growth and fermentation performance of *Saccharomyces cerevisiae* in synthetic grape must., *Journal of Microbiology and Biotechnology*, Vol. 25, No. 7, 2015, pp. 1099–1105. <https://doi.org/10.4014/jmb.1502.02015>
- López-Zamora, L. e Illescas-Velázquez, O., Implementación de un NMPC en la
-

- simulación de un proceso de fermentación alcohólica usando Pyomo., RINDERESU, Vol. 5, No. 1, 2020, pp. 66-75. <https://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/48/52>
- Miller, K.V., Noguera, R., Beaver, J., Oberholster, A., & Block, D.E., A combined phenolic extraction and fermentation reactor engineering model for multiphase red wine fermentation., *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 117, No. 1, 2019, pp. 109-116. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bit.27178>
- Murcia, J.F., Barrera, R., & Zondervan, E., Process design and techno-economic analysis of a pineapple wine production plant under the context of the Choco-Colombia region., 29th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, Eindhoven, The Netherlands, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50047-3>
- Pérez-Sánchez, A., Dos-Santos-Lima, W.S., y Benítez-Cortés, I., Simulación del proceso de producción de maltina a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala piloto., *Scientia et Technica*, Vol. 25, No. 1, 2020, pp. 189-197. <https://doi.org/10.22517/23447214.2261>
- Ribas-García, M., Hurtado-Vargas, R., Garrido-Carralero, N., Domenech-López, F., y Sabadí-Díaz, R., Metodología para la modelación matemática de procesos. Caso de estudio, fermentación alcohólica., *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, Vol. 45, No. 1, 2011, pp. 37-47. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223122251005>
- Rodman, A.D., & Gerogiorgis, D.I., Parameter estimation and sensitivity analysis for dynamic modelling and simulation of beer fermentation., *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 136, 2020, pp. 2-23. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106665>
- Ronot, G., Mohammadkhani, G., Landry, M., Bandara, K., & Hosen, R., Food and alcoholic beverage production by fungi., *Technical Report*, 2020, pp. 1-60. <https://www.researchgate.net/publication/342053398>
- Tindal, R.A., Jeffery, D.W., & Muhlack, R.A., Mathematical modelling to enhance winemaking efficiency: a review of red wine colour and polyphenol extraction and evolution., *Australian Journal of Grape and Wine Research*, Vol. 27, No. 2, 2021, pp. 219-233. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12488>
- Zentou, H., Abidin, Z.Z., Yunus, R., Dayang R., Awang B., Mohammed A.I., & Pudza, M.Y., A new model of alcoholic fermentation under a byproduct inhibitory effect., *ACS Omega*, No. 6, 2021, pp. 4137-4146. <https://dx.doi.org/10.1021/acsomega.0c04025>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Laivis Durán-Socarras. Investigación.
 - Dr.C. María Caridad Julián-Ricardo. Redacción - primera redacción, redacción - revisión y edición, supervisión.
-