

Modelo de cálculo para la formulación de fermentos alcohólicos a partir de frutas tropicales

Calculation Model for the Formulation of Alcoholic Ferments from Tropical Fruits

Recibido 7 de noviembre de 2025
Aceptado 15 de diciembre de 2025

www.unipaz.edu.co

Juan Guillermo Jaramillo Arango^{ab}, Jhoandys de Jesús Royet Barroso^a, Silvio Daza Rosales^a, Rafael Calderón Silva^a

Resumen: La fermentación alcohólica de frutas tropicales representa una alternativa para la generación de productos con valor agregado. No obstante, la formulación de mostos fermentables en contextos artesanales o experimentales carece de estandarización, lo cual limita la repetibilidad y el cumplimiento normativo. El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un modelo de cálculo que permita estimar, de forma práctica y alineada con la normatividad colombiana, las cantidades de fruta, agua y azúcar exógena requeridas para la preparación de fermentos alcohólicos. Para ello, se utilizó una metodología teórica y deductiva basada en balances de masa y restricciones técnicas, considerando también parámetros fisicoquímicos reportados en la literatura. El modelo resultante permite calcular el factor de dilución, la proporción de azúcares añadidos y el grado alcohólico teórico y cinético esperado, en función de la concentración de sólidos solubles de la fruta seleccionada.

a. Grupo de investigación en cultivos tropicales INYUBA
b. juan.jaramillo@unipaz.edu.co

Se integraron ecuaciones que incorporan los efectos de inhibición por etanol, lo que permite una predicción más realista del rendimiento fermentativo. Se realizó un análisis de sensibilidad para explorar el comportamiento del modelo ante diferentes valores de entrada, permitiendo visualizar los efectos sobre los volúmenes y concentraciones del mosto. En conjunto, esta herramienta constituye una guía útil para estandarizar la preparación de fermentos alcohólicos tropicales, con potencial de aplicación en proyectos agroindustriales, de investigación y emprendimiento rural.

Palabras clave: Modelamiento matemático; Cinética microbiana; Balance de masa; Preparación de Mostos; Análisis de sensibilidad.

Abstract: Alcoholic fermentation of tropical fruits represents an alternative for the development of value-added products. However, the formulation of fermentable musts in artisanal or experimental contexts often lacks standardization, which limits reproducibility and regulatory compliance. This study aims to develop a calculation model that enables the practical and regulation-aligned estimation of the amounts of fruit, water, and exogenous sugar required for the preparation of alcoholic ferments. A theoretical and deductive methodology was applied, based on mass balance equations and technical constraints, while also incorporating physicochemical parameters reported in the literature. The resulting model allows for the calculation of the dilution factor, the proportion of added sugars, and both theoretical and kinetic alcohol yield, as a function of the soluble solids concentration of the selected fruit.

Equations that account for ethanol inhibition effects were integrated into the model, allowing for a more realistic prediction of fermentative performance. A sensitivity analysis was conducted to explore the model's behavior under varying input values, enabling visualization of the effects on must volumes and concentrations. Altogether, this tool serves as a practical guide to standardize the preparation of tropical fruit-based alcoholic ferments, with potential applications in agro-industrial projects, research, and rural entrepreneurship.

Keywords: Mathematical modeling; Microbial kinetics; Mass balance; Wort preparation; Sensitivity analysis.

INTRODUCCIÓN

La fermentación es un proceso biológico en el cual los microorganismos transforman un sustrato orgánico, generalmente rico en azúcares, en compuestos más simples a través de rutas metabólicas específicas (Sharma et al., 2020). Este fenómeno, catalizado por enzimas segregadas por levaduras y bacterias, puede seguir distintas vías, como la alcohólica, láctica o acética, cada una con aplicaciones tecnológicas particulares (Hackmann, 2024). La fermentación alcohólica ha cobrado especial relevancia en la valorización de frutas tropicales, permitiendo el desarrollo de productos con valor agregado (Stanzer et al., 2023).

Durante la elaboración de fermentos alcohólicos a partir de frutas, estas suelen licuarse en agua para facilitar la extracción de azúcares y compuestos solubles (Ogodo et al., 2015). Posteriormente, la mezcla puede ser filtrada para remover sólidos indeseados y, en algunos casos, pasteurizada con el fin de eliminar microorganismos competitivos (Cao et al., 2022).

Finalmente, se realiza la inoculación con levaduras, siendo *Saccharomyces cerevisiae* la especie comúnmente empleada debido a su eficiencia fermentativa y tolerancia al etanol (Lin et al., 2018). Estas prácticas, sin embargo, dependen de variables empíricas que no siempre están estandarizadas, optimizadas o alineadas con criterios normativos (Mukherjee et al., 2022; Yee et al., 2025).

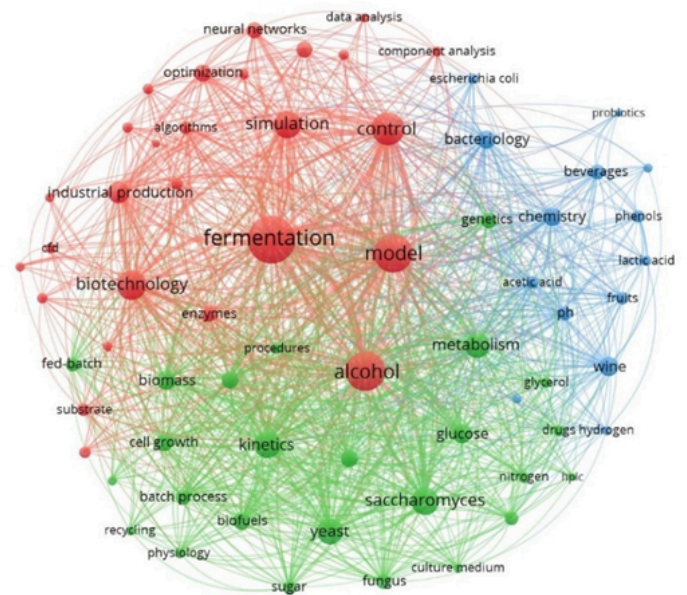
En los últimos años, se ha incrementado el uso de modelos matemáticos para representar y predecir el comportamiento fermentativo, optimizando parámetros como la cinética de consumo de sustrato, el crecimiento microbiano y la producción de etanol (Ruarte et al., 2025).

Para explorar las principales tendencias de investigación sobre modelamiento aplicado a la fermentación alcohólica, se realizó un análisis bibliométrico con la base de datos Scopus utilizando la siguiente ecuación de búsqueda:

("mathematical model" OR "modeling" OR "simulation") AND ("alcoholic fermentation" OR "fermented beverages" OR "industrial fermentation")

La información recuperada fue analizada mediante VOSviewer, software especializado en análisis bibliométrico y mapeo científico (Van-Eck & Waltman, 2010), a partir del cual se construyó la red de coocurrencia de términos representada en la Figura 1.

Figura 1. Gráfico de nodos modelamiento matemático aplicado a la fermentación alcohólica.



Fuente: Elaboración propia.

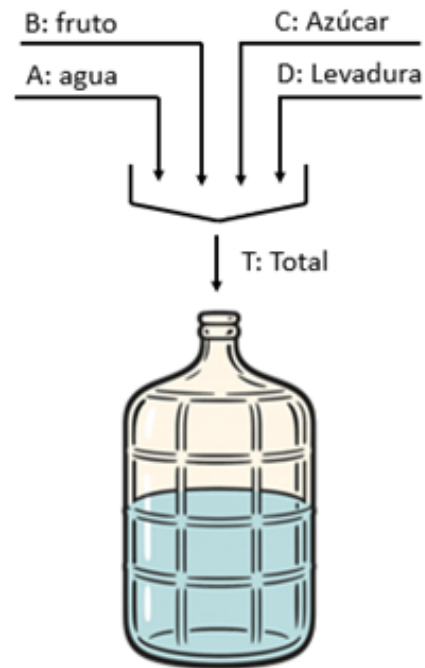
El gráfico revela tres núcleos de investigación claramente diferenciados: el primero, de enfoque ingenieril-computacional, agrupa términos como simulación, control, biotecnología y producción industrial; el segundo, de orientación bioquímica, incluye conceptos como levaduras, glucosa, biomasa y cinética celular; y el tercero, con énfasis en la calidad del producto, reúne tópicos relacionados con el tipo de fruto, pH, compuestos fenólicos y presencia de patógenos. Esta diversidad evidencia el carácter interdisciplinario del estudio de la fermentación y resalta la necesidad de herramientas integradoras.

A pesar de estos avances, no se dispone aún de una estructura de cálculo que permita integrar los lineamientos normativos con los aportes experimentales y las necesidades prácticas en la formulación de fermentos. En este sentido, el presente trabajo tiene por objetivo proponer un modelo matemático orientado a estimar las cantidades de fruta, agua y azúcar requeridas para preparar un fermento alcohólico, facilitando su aplicación a diversos frutos tropicales mediante parámetros medibles y ajustables. El resultado de este trabajo constituye una guía útil para la elaboración de recetas mediante una estructura de cálculo clara, que configura una herramienta de estandarización con potencial para ser aplicada tanto en contextos experimentales y productivos.

MÉTODOS

Para el presente trabajo se adoptó una metodología de carácter teórico y deductivo, basada en el análisis de literatura especializada y en principios matemáticos aplicados al fenómeno en estudio. El modelo propuesto se construyó a partir de supuestos estructurados y relaciones funcionales, con el propósito de ofrecer un marco inicial para futuras aplicaciones o contrastaciones empíricas. Para establecer la estructura del modelo, se partió de los balances de masa global y del sustrato al inicio de la fermentación. Así, se tiene en cuenta el aporte másico de cada sustancia que entra al biorreactor y su concentración de azúcares, como se ilustra en la figura 2.

Figura 2. Sustancias a la entrada del biorreactor



Para realizar un montaje adecuado que permita la fermentación, además de tener en cuenta la concentración de azúcares del fruto, se debe determinar la cantidad de agua para la dilución y la cantidad de azúcar añadida en la rectificación. La adición de azúcar exógena está restringida por el decreto 1686 del 2012 del Ministerio de Salud, en el cual se establece que un mosto no puede tener más de 105 g/L de azúcar añadido y en una cantidad menor o igual a la aportada por el fruto. Además, experimentalmente se ha demostrado que la concentración máxima de azúcar debe ser menor o igual a 20% p/p (Zhao & Lin, 2003), de esta manera se asegura un crecimiento saludable de las levaduras, las cuales deben estar en una concentración inicial entre 1 y 6 g/L (Levandovsky & Bondar, 2016; Lukum et al., 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Deducción del modelo

Con el fin de incorporar de manera armoniosa la información experimental y los límites que circunscriben a la preparación de un fermento, se definen a las variables m_i como la masa en gramos, ρ_T como la densidad en gramos sobre litros, V_T como el volumen en litros y C_i como la concentración de azúcares en gramos de sólidos solubles sobre gramo de la sustancia i . Entonces, debido al principio de continuidad de la materia, es posible decir que:

$$m_A + m_B + m_C + m_D = m_T \quad (1)$$

$$m_A + m_B + m_C + m_D = \rho_T V_T \quad (2)$$

Dada la restricción impuesta por el Ministerio de Salud, se definen la variable c_{max} como la concentración máxima de 105 g/L de azúcares añadidos, por lo tanto:

$$m_C = \varphi c_{max} V_T \quad (3)$$

Mediante la anterior ecuación se puede estimar la rectificación de la cantidad de azúcares, siempre que $0 \leq \alpha \leq 1$. Pero, para ajustarse completamente a la norma se debe asegurar que el contenido de azúcares añadidos no supere a los aportados por la fruta. En este razonamiento se utilizará el máximo valor posible, es decir:

$$m_C = C_B m_B \quad (4)$$

$$m_B = \frac{\varphi c_{max}}{C_B} V_T \quad (5)$$

Con el fin de cuantificar el nivel de dilución, se define la variable α como un factor de dilución, es decir, la relación másica entre la cantidad de agua y el fruto. Por esto:

$$m_A = \frac{\alpha \varphi c_{max}}{C_B} V_T \quad (6)$$

Reemplazando las ecuaciones 3, 5 y 6 en la ecuación 2, se tiene que:

$$\frac{\alpha \varphi c_{max}}{C_B} V_T + \frac{\varphi c_{max}}{C_B} V_T + \varphi c_{max} V_T + m_D = \rho_T V_T \quad (7)$$

Nótese que, la masa de levadura que se usa en la preparación de los fermentos alcohólicos es mucho menor que la de la mezcla total (m_{DmT}), por lo tanto, puede despreciarse. Simplificando y despejando se tiene que:

$$\rho_T = \left(\frac{\alpha + 1 + C_B}{C_B} \right) \varphi c_{max} \quad (8)$$

Como se muestra en la ecuación 8, la densidad queda en función de la dilución y la concentración de azúcar del fruto y azúcar añadida. Por otro lado, realizando el balance de sólidos solubles, se tiene que:

$$C_A m_A + C_B m_B + C_C m_C + C_D m_D = C_T m_T \quad (9)$$

Dado que el agua y la levadura tiene una concentración de azúcares despreciable, mientras que el azúcar comercial tiene una pureza considerablemente alta, la ecuación 8 se puede reescribir como:

$$C_B m_B + m_C = C_T \rho_T V_T \quad (10)$$

Reemplazando las ecuaciones 3 y 5 en la ecuación 10, se puede determinar que:

$$C_T = \frac{2\varphi c_{max}}{\rho_T} \quad (11)$$

Reemplazando la ecuación 8 en la ecuación 11, se tiene que:

$$C_T = \frac{2 C_B}{\alpha + 1 + C_B} \quad (12)$$

Luego, si se asume que las propiedades físicas de los sólidos solubles añadidos y los del fruto son iguales a las de la sacarosa, se tiene que la densidad queda descrita por la ecuación reportada por Asadi (2006):

$$\rho_T = 179.36 C_T^2 + 374.48 C_T + 1000 \quad (13)$$

Entonces, a partir de las ecuaciones 11, 12 y 13 se puede determinar que:

$$\varphi = \frac{179.36 C_T^3 + 374.48 C_T^2 + 1000 C_T}{2c_{max}} \quad (14)$$

Mediante la ecuación 14 es posible ver que, cuando toma el valor de 1, la concentración total de sólidos solubles se hace aproximadamente igual a 0.2, lo que se alinea con las recomendaciones sobre la máxima concentración de azúcares para un desempeño saludable de las levaduras.

Pero, cuando toma el valor de 0, obliga que CT tome el valor de 0, lo que representaría un volumen total compuesto enteramente de agua; para efectos prácticos esto resulta en una solución trivial, con una dilución infinita.

Con esto, el modelo de cálculo queda habilitado para la estimación de las cantidades de agua, fruto y azúcar añadida a partir del contenido de sólidos solubles del fruto y del mosto; el primero se determina experimentalmente y el segundo se fija arbitrariamente con un valor entre 0 y 0.2. Adicionalmente, asumiendo que los azúcares son consumidos completamente por las levaduras, es posible determinar estequiométricamente el grado alcohólico final. Como se producen 4 moles de etanol por cada mol de sacarosa, se tiene que:

$$n_{etOH} = \frac{4 C_T \rho_T V_T}{M_{sac}} \quad (15)$$

Donde, Msac y MetOH representan las masas molares de la sacarosa y el etanol, respectivamente. Se define la variable G como la razón volumétrica del etanol respecto del total. Así, se tiene que:

$$G = \frac{8 \varphi c_{max}}{\rho_{etOH}} \left(\frac{M_{etOH}}{M_{sac}} \right) * 100 \quad (16)$$

De esta manera, el modelo de cálculo puede estimar una concentración del alcohol producto de la biorreacción. Sin embargo, esta secuencia de cálculo resultaría en una aproximación ideal para G.

Con el ánimo de observar el efecto inhibitorio que la acumulación del etanol sobre las levaduras, se concatenan las cinéticas de Michaelis–Menten para consumo de sacarosa y producción de biomasa y etanol.

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{V_{max} S}{k_m + S} \quad (17)$$

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \quad (18)$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{Y_{S/E}} \mu x \quad (19)$$

$$\mu = \mu_{max} \left(\frac{S}{k_s + S} \right) \left(1 - \frac{E}{E_{max}} \right)^\beta \quad (20)$$

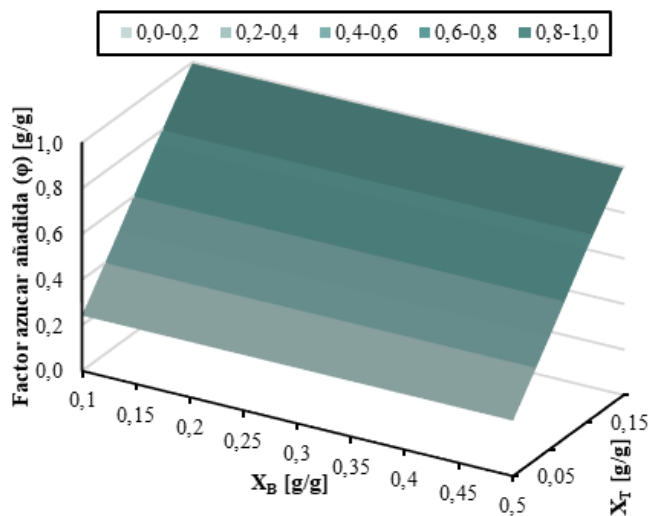
En las ecuaciones anteriores, V_{max} representa la tasa máxima de reacción (21.322 g/L*h), k_m es la constante de Michaelis–Menten para sacarosa (36.181 g/L), $Y_{S/E}$ es el rendimiento de etanol respecto de la sacarosa (0.507 g/g), μ_{max} es la velocidad máxima de crecimiento de la levadura (0.42 h⁻¹), β es el factor de severidad de inhibición por etanol (2.7), mientras que E_{max} representa la concentración máxima de alcohol soportada por las levaduras (120 g/L) (Bailey & Ollis,1986; Felix et al., 2014; Bakti et al., 2019; Petrov, 2019; Varize et al., 2022). Teniendo en cuenta las restricciones cinéticas es posible estimar el grado alcohólico real, es decir:

$$G = \frac{E}{\rho_{etOH}} * 100 \quad (21)$$

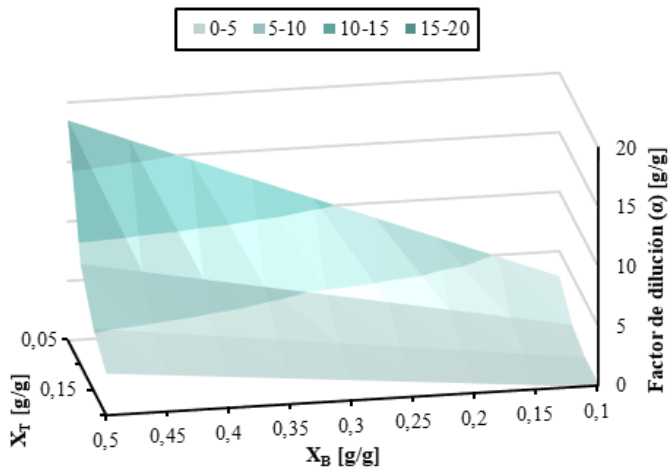
Análisis de sensibilidad del modelo

Para observar el comportamiento del modelo propuesto y ejemplificar la secuencia de cálculo, a continuación, se presenta un análisis de sensibilidad. Debido a que, la mayoría de los frutos tropicales contienen entre 10° y 50° Brix, la concentración másica de sólidos solubles del fruto estará en el rango $0.1 \leq CB \leq 0.5$. Además, como se demostró, la concentración total de azúcares del mosto debe estar en el rango de $0 < CT \leq 0.2$. En la figura 3 se muestran las superficies generadas para los valores del factor de azúcar añadida y de dilución.

Figura 3. a) Factor de azúcares añadidos b) Factor de dilución



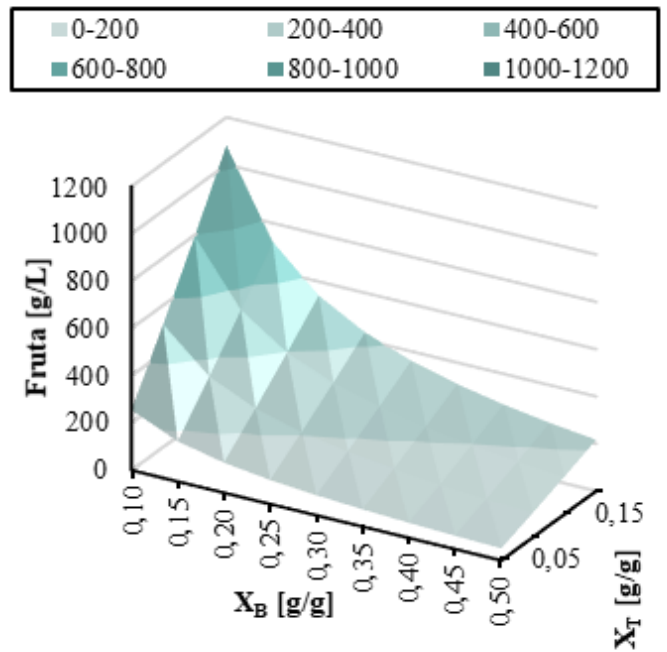
a) Factor de azúcares añadidos



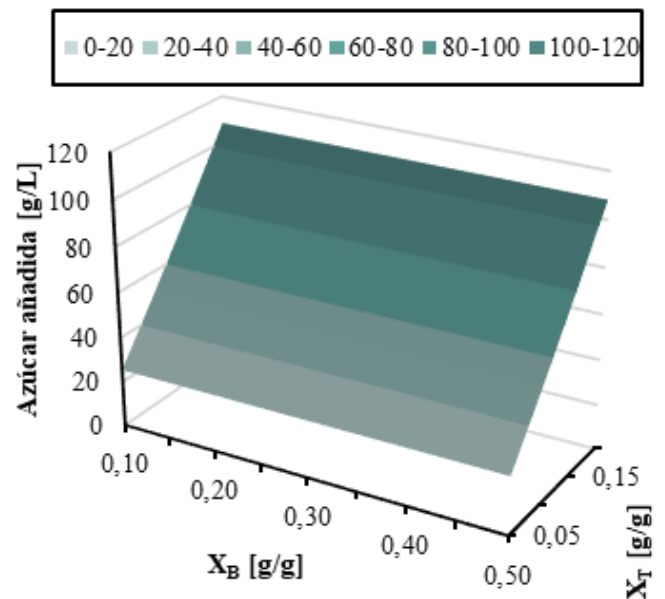
b) Factor de dilución

Como puede verse, el factor de azúcar añadida varía linealmente en función de la concentración total fijada al inicio de la preparación. Por ello, aparece como una superficie plana inclinada con 1.0 g/g como máximo valor; por encima de esta cota se estaría incumpliendo las normas colombianas sobre preparación de fermentos. Por su parte, el factor de dilución alcanzó un máximo en el orden de los 20 g/g, por encima de este valor se tendrían mostos con poca concentración de sustrato, lo que implicaría baja producción de etanol; si bien se presentan escenarios con nula dilución, el mínimo valor de este factor estará acotado por la naturaleza del fruto, ya que medios muy densos pueden afectar la capacidad de los microorganismos para acceder al sustrato. En ese sentido, en la figura 4 se presentan las cantidades de fruta, azúcar añadida y agua para la preparación de fermentos a partir de frutos tropicales.

Figura 4. Cantidades de a) Fruta b) Azúcares añadidos y c) Agua por litro de volumen total

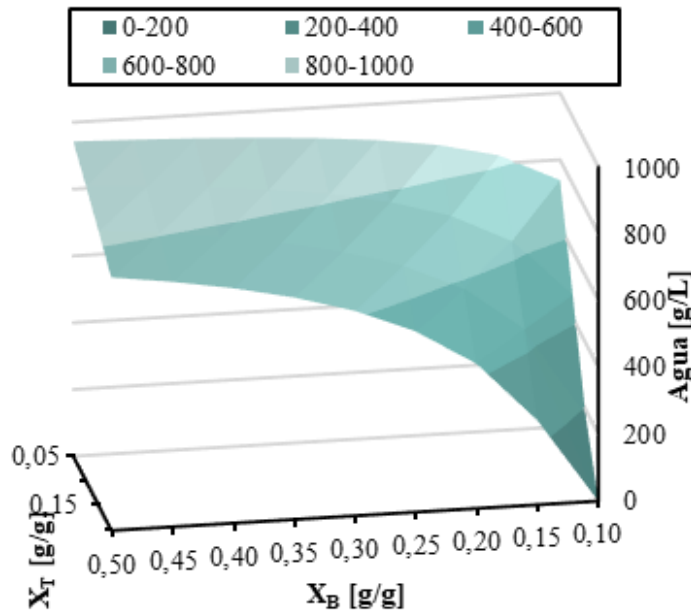


a) Cantidad de fruta



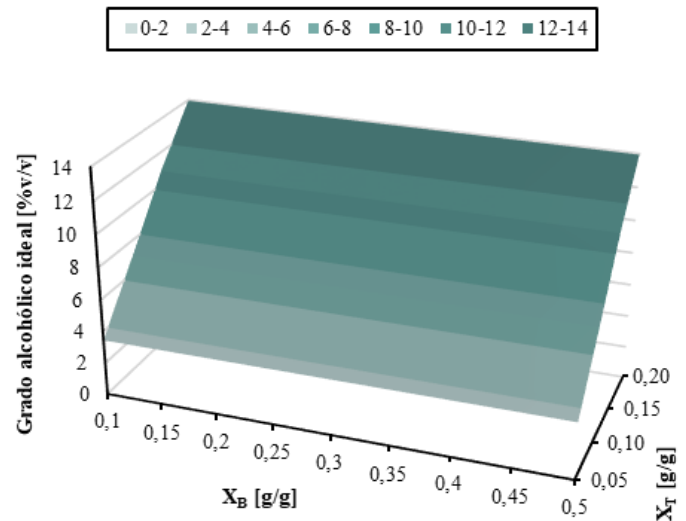
b) Cantidad de Azúcar añadida

Figura 5. Grado alcohólico estimado por a) Estequiometría y b) Cinéticas de biorreacción

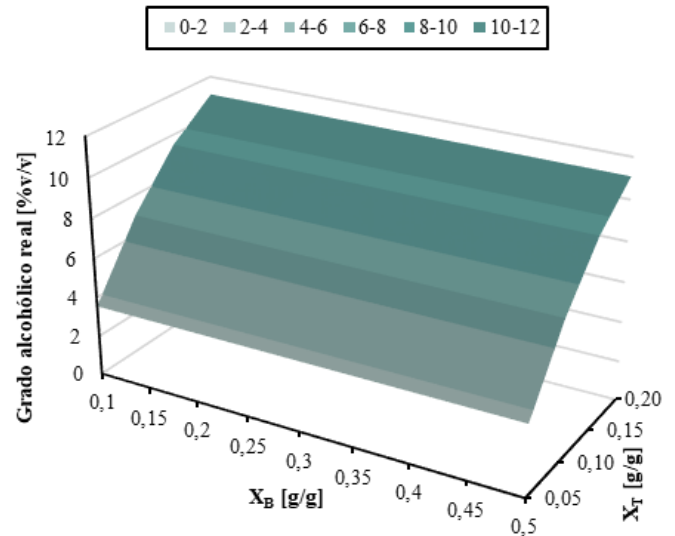


c) Cantidad de Agua

Las gráficas de la figura 4 pueden interpretarse como la cantidad de masa necesaria de agua, azúcar y fruta para preparar un litro de mosto. Como se muestra, la cantidad de fruta se hace máxima cuando la cantidad de agua es nula. Sin embargo, estos valores extremos pueden afectar el desarrollo de las levaduras por falta de movilidad de enzimas y la acumulación de productos y subproductos. Por su parte, la cantidad de azúcar añadida varía linealmente respecto de la concentración total del mosto, tomando valores entre 20 y 120 g/L, lo cual está en consonancia con lo observado en la figura 3a. A continuación, en la figura 5 se presentan los resultados de la estimación de grado alcohólico mediante el ideal estequiométrico, así como a través de las cinéticas de la biorreacción.



a) Grado alcohólico estequiométrico



b) Grado alcohólico cinético

Debido a que la concentración final de alcohol etílico depende del factor de azúcar añadida, lo que puede verse en (16), la estimación del grado alcohólico mediante estequiometría muestra una superficie inclinada que varía en función de la concentración total de azúcares del mosto al inicio del bioproceso; mediante esta aproximación ideal puede verse que la máxima concentración de alcohol alcanzable a través de la fermentación está en el orden de 14% v/v. De manera similar, el grado alcohólico estimado mediante cinéticas muestra que la inhibición por etanol puede afectar la concentración final de este producto, obteniéndose un máximo cercano al 12% v/v. Estos valores son consecuentes con lo reportado por Pais et al. (2013), quienes alcanzaron máximos de 12% v/v con cepas regulares de *S. cerevisiae*, y por Varize et al. (2022), quienes documentaron tolerancia de hasta 14% v/v con cepas industriales mejoradas.

Limitaciones del modelo

Si bien el modelo propuesto ofrece una estructura útil para estimar las proporciones de agua, fruta y azúcar añadida en la preparación de mostos fermentables, presenta varias limitaciones que deben considerarse al aplicarlo. En primer lugar, la estimación de la densidad de la mezcla se basa en un enfoque idealizado, sin tener en cuenta las propiedades reológicas específicas de cada fruta, lo cual influye directamente en el parámetro α (relación másica agua/fruta).

Además, el modelo asume que todos los sólidos solubles corresponden a azúcares fermentables, y que estos están compuestos exclusivamente por sacarosa, lo cual no refleja la composición real de muchas frutas tropicales. Por esto, la tasa de consumo de azúcares como la fructosa puede diferir significativamente, lo que influye en la dinámica fermentativa y en la predicción del grado alcohólico final.

Asimismo, la conversión de azúcares en etanol no se da con una eficiencia del 100%, ya que parte del sustrato se destina a la formación de biomasa, subproductos o se ve afectada por factores como el pH, la temperatura y la presencia de inhibidores. Por otro lado, la reacción estequiométrica ideal utilizada para estimar el grado alcohólico tampoco contempla que la mezcla etanol y agua no presenta volúmenes aditivos, lo que puede inducir errores en la predicción volumétrica del etanol producido.

Las cinéticas de fermentación son sensibles tanto a la variedad del fruto como a la cepa de levadura empleada, por lo que se recomienda su validación empírica en futuras investigaciones con diferentes frutos y condiciones fermentativas que permitan validar los parámetros cinéticos y verificar la precisión de las predicciones.

CONCLUSIONES

El presente trabajo desarrolló un modelo de cálculo simplificado para la formulación de fermentos alcohólicos a partir de frutas tropicales, estructurado a partir de variables de fácil medición como la concentración de sólidos solubles del fruto y el contenido total de azúcares deseado en el mosto. El modelo integra principios de balance de masa con restricciones normativas, lo cual permite estimar de manera coherente las cantidades necesarias de fruta, agua y azúcar añadida en la preparación del fermento. La estructura matemática propuesta permite adaptar la formulación a una amplia variedad de frutas, considerando tanto el contenido de azúcares como las condiciones óptimas para el desarrollo de los microorganismos. Esta herramienta representa un avance significativo en la estandarización del proceso de preparación de fermentos, con potencial de aplicación en contextos experimentales, artesanales e industriales que busquen agregar valor a frutos tropicales.

AGRADECIMIENTOS

Instituto Universitario de la Paz, la Escuela de Ingeniería Agronómica y grupo de investigación en Cultivos Tropicales INYUBA. Esta investigación se desarrolló en el marco de la convocatoria interna de la Escuela de Ingeniería Agronómica titulada: “Fortalecimiento productivo de los SIPAS del Centro de Investigación Santa Lucía a partir del manejo del suelo y el aprovechamiento de cultivos promisorios”.

REFERENCIAS

- Asadi, M. (2006). Beet-sugar handbook (Appendix: Tables). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780471790990.oth1>
- Bailey, J. E., & Ollis, D. F. (1986). *Biochemical Engineering Fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill. Recuperado de: <https://www.dcrustlms.in/upload/AA095-21-Bailey%20and%20Ollis%20-%20Biochemical%20Engineering%20Fundamentals.pdf>
- Bakti, H., Yusuf, H., & Ratnawati, S. (2019). Kinetics of Sucrose Hydrolysis by *Saccharomyces cerevisiae* Invertase. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 14(3), 524–530. <https://doi.org/10.9767/bcrec.14.3.4437.646-653>
- Cao, X., Ru, S., Fang, X., Li, Y., Wang, T., & Lyu, X. (2022). Effects of alcoholic fermentation on the non-volatile and volatile compounds in grapefruit (*Citrus paradisi* Mac.) juice. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1015924. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1015924>
- Felix, S., Ayeni, A. O., & Adebayo, G. B. (2014). A Kinetic Study of the Fermentation of Cane Sugar Using *Saccharomyces cerevisiae*. *Open Journal of Physical Chemistry*, 4(3), 105–115. <https://dx.doi.org/10.4236/ojpc.2014.41005>

- Hackmann, T. (2024). The vast landscape of carbohydrate fermentation in prokaryotes. *FEMS Microbiology Reviews*, 48(4), fuad016. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuae016>
- Levandovsky, L. V., & Bondar, M. V. (2016). Features of yeast metabolism in their recirculation provided alcohol fermentation of molasses wort. *Microbiological Journal*, 78(1), 52–61. <https://doi.org/10.15407/microbiolj78.01.044>
- Lin, X., Wang, Q., Hu, X., Wu, W., Zhang, Y., Liu, S., & Li, C. (2018). Evaluation of different *Saccharomyces cerevisiae* strains on the profile of volatile compounds in pineapple wine. *Journal of food science and technology*, 55(10), 4119–4130. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3338-0>
- Lukum, A., Tangahu, A. D. K., Mohamad, E., Sukamto, K., & Paramata, A. R. (2024). Production of bioethanol from molasses by varying Brix and yeast concentration. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1425(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1425/1/012026>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). Decreto 1686 de 2012, por el cual se reglamenta el artículo 6° de la Ley 9ª de 1979 y se dictan disposiciones en materia de bebidas alcohólicas para consumo humano. *Diario Oficial No. 48.506*. Recuperado de: https://www.minsalud.gov.co/normatividad_nuevo/decreto%201686%20de%202012.pdf
- Mukherjee, A., Gómez-Sala, B., O'Connor, E. M., Kenny, J. G., & Cotter, P. D. (2022). Global Regulatory Frameworks for Fermented Foods: A Review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 902642. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.902642>
- Ogodo, A. C., Ugbogu, O. C., & Ezeonu, C. S. (2015). Production of mixed fruit (pawpaw, banana and watermelon) wine using *Saccharomyces cerevisiae* isolated from palm wine. *SpringerPlus*, 4, 683. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1475-8>
- Pais, T. M., Foulquié-Moreno, M. R., Hubmann, G., Duitama, J., Swinnen, S., Goovaerts, A., Yang, Y., Dumortier, F., & Thevelein, J. M. (2013). Comparative polygenic analysis of maximal ethanol accumulation capacity and tolerance to high ethanol levels of cell proliferation in yeast. *PLOS Genetics*, 9(6), e1003548. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003548>
- Petrov, M. (2019). Modelling and Multi-Criteria Decision Making for Selection of Specific Growth Rate Models of Batch Cultivation by *Saccharomyces cerevisiae* Yeast for Ethanol Production. *Fermentation*, 5(3), 61. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030061>
- Ruarte, P. J., Leiva Alaniz, M. J., Vergara, S. C., Groff, M. C., Pantano, M. N., Mestre, M. V., Scaglia, G. J. E., & Maturano, Y. P. (2025). Mathematical Modeling for Fermentation Systems: A Case Study in Probiotic Beer Production. *Fermentation*, 11(4), 184. <https://doi.org/10.3390/fermentation11040184>

- Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S. K., & Kulshrestha, S. (2020). Microbial Fermentation and Its Role in Quality Improvement of Fermented Foods. *Fermentation*, 6(4), 106. <https://doi.org/10.3390/fermentation6040106>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Varize, C. S., Bücker, A., Lopes, L. D., Christofoletti-Furlan, R. M., Raposo, M. S., Basso, L. C., & Stambuk, B. U. (2022). Increasing Ethanol Tolerance and Ethanol Production in an Industrial Fuel Ethanol *Saccharomyces cerevisiae* Strain. *Fermentation*, 8(10), 470. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100470>
- Stanzer, D., Hanousek Čiča, K., Blesić, M., Smajić Murtić, M., Mrvčić, J., & Spaho, N. (2023). Alcoholic Fermentation as a Source of Congeners in Fruit Spirits. *Foods*, 12(10), 1951. <https://doi.org/10.3390/foods12101951>
- Tuisima Coral, L., & Escobar-Garcia, H. A. (2021). Characterization of fruits of varieties of mango (*Mangifera indica*) conserved in Peru. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43(2), e-710. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021710>
- Yee, C. S., Zahia-Azizan, N. A., Abd Rahim, M. H., Mohd Zaini, N. A., Raja-Razali, R. B., Ushidee-Radzi, M. A., Ilham, Z., & Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I. (2025). Smart Fermentation Technologies: Microbial Process Control in Traditional Fermented Foods. *Fermentation*, 11(6), 323. <https://doi.org/10.3390/fermentation11060323>
- Zhao, Y., & Lin, Y.-H. (2003). Growth of *Saccharomyces cerevisiae* in a chemostat under high glucose conditions. *Biotechnology Letters*, 25(14), 1151–1154. <https://doi.org/10.1023/A:1024577414157>