

# Influencia del sustrato utilizado en la producción de ácido 2-hidroxi-propanoico y su escalamiento industrial



## Resumen

Se estudió la fermentación microbiana de lactosuero y miel orgánica con *Lactobacillus leichmannii* para la producción de ácido 2-hidroxi-propanoico o ácido 2-2-hidroxi-propanoico. Se desarrollaron modelos cinéticos utilizando los modelos de Monod y Luedeking-Piret, definiendo los parámetros cinéticos de dichos modelos como lo son la inhibición por producto y sustrato.

Los rendimientos de producción de ácido 2-hidroxi-propanoico fueron superiores utilizando lactosuero como sustrato, en comparación con la miel orgánica. La cual presentó menor rendimiento debido a la mayor generación de subproductos.

En cuanto al escalamiento industrial, ambos procesos de producción de ácido 2-hidroxi-propanoico son comparables, aunque presentan diferencias en el pretratamiento de las materias primas: el lactosuero requiere clarificación, mientras que la miel orgánica se prepara mediante la disolución en agua.

## Palabras clave

Cinética, ácido 2 hidroxi-propanoico, lactosuero, miel orgánica, *Lactobacillus leichmannii*, reactores, operaciones unitarias, escalamiento industrial

## Autores

Laura Paola Pereira, Eduardo Rafael Tajiboy, José Salvador Córdón y Lucía Flores de la Riva

## Afiliación

Bioingeniería. Universidad del Valle de Guatemala

## Introducción

El ácido 2-hidroxi-propanoico es un compuesto orgánico utilizado en diversas industrias, tales como la alimentaria, farmacéutica, cosmética y bioplásticos. Se puede producir por síntesis química o fermentativa, siendo la última la preferida, ya que se obtienen los isómeros ópticos más puros y no mezclas racémicas, además no emplea productos derivados del petróleo (Estela, *et. al.*, 2007).

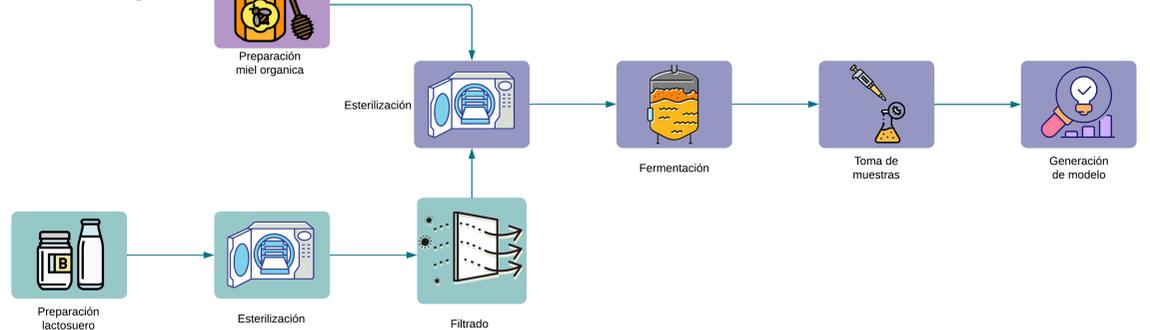
Los sustratos por comparar en este estudio son el lactosuero y la miel orgánica. Ambos sustratos poseen altos contenidos de azúcares, lo que los hace aptos para la producción de ácido 2-hidroxi-propanoico. En el 2021, el ácido 2-hidroxi-propanoico fue comercializado por \$743 millones de dólares, llegando a representar el 0,0035% del total del comercio mundial (OEC, 2023). Por lo tanto, este estudio presenta una comparación de sustratos tanto en la propuesta de escalamiento industrial como en la determinación del mayor rendimiento de producción, siendo un estudio que no se ha realizado anteriormente.

## Objetivos

Evaluar las diferencias en la producción de ácido 2-hidroxi-propanoico con *Lactobacillus leichmannii* al cambiar los sustratos fermentativos (lactosuero y miel orgánica) para su escalamiento industrial.

- Comparar la producción de Ácido 2-Hidroxi-propanoico con *Lactobacillus leichmannii* al realizar una fermentación láctica a escala laboratorio usando dos sustratos diferentes (lactosuero y miel orgánica) para determinar cuál presentó mayor rendimiento producto-sustrato.
- Determinar los parámetros de la cinética de reacción de la producción de ácido 2-hidroxi-propanoico a partir de *Lactobacillus leichmannii* para los dos sustratos con el fin de dimensionar el reactor industrial de fermentación.
- Definir las operaciones unitarias necesarias para la producción de ácido 2-hidroxi-propanoico a partir de *Lactobacillus leichmannii* para los dos sustratos coo para su escalamiento industrial.

## Metodología



## Análisis de resultados

**Ecuación 1.** Ecuación Monod para la  $\mu$

$$\mu = \mu_{max} \left( \frac{C_s}{k_s + C_s} \right) \left( \frac{k_i}{k_i + C_p} \right) \exp \left( - \frac{C_p}{k_p} \right)$$

**Ecuación 2.** Ecuación cinética de crecimiento microbiano

$$\frac{dC_n}{dt} = \mu \cdot C_n \left( 1 - \frac{C_n}{C_e} \right)$$

**Ecuación 3.** Ecuación cinética de producción ácido 2-hidroxi-propanoico

$$\frac{dC_p}{dt} = \alpha \cdot \frac{dX}{dt} + \beta \cdot C_n \cdot \left( \frac{C_s}{k_s + C_s} \right) \left( \frac{k_i}{k_i + C_p} \right) \exp \left( - \frac{C_p}{k_p} \right)$$

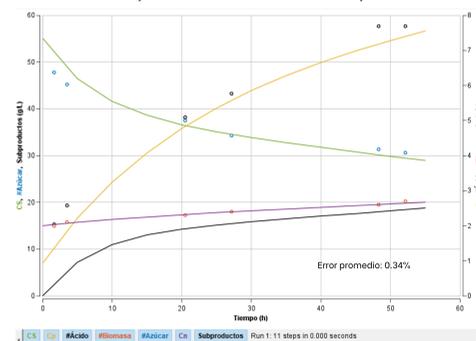
**Ecuación 4.** Ecuación cinética de consumo de azúcares

$$\frac{dC_s}{dt} = - \frac{dC_n}{dt} \frac{1}{Y_{XS}} - \frac{dC_p}{dt} \frac{1}{Y_{PS}} - m_s C_n + a \cdot \exp(k \cdot t)$$

**Cuadro 1.** Comparación rendimiento Y x/s y Y P/s para lactosuero y miel orgánica

| Rendimiento | Valores    |               | Unidades                                |
|-------------|------------|---------------|---|
|             | Lactosuero | Miel orgánica |   |
| $Y_{XS}$    | 0.373      | 0.3831        | g biomasa/ g azúcar                     |
| $Y_{PS}$    | 0.2966     | 0.1419        | g ácido 2-hidroxi-propanoico / g azúcar |

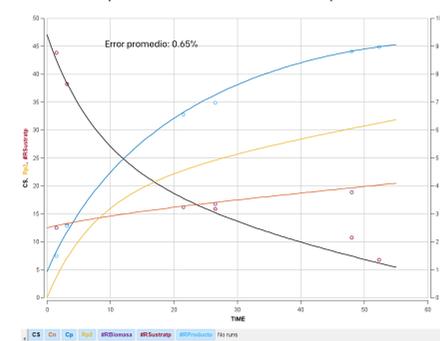
**Figura 1.** Ajuste modelo con Berkeley y Madonna para determinación parámetros cinéticos para lactosuero



**Cuadro 2.** Comparación de parámetros cinéticos para lactosuero y miel orgánica

| Coeficiente | Valores    |               | Unidades                                       |
|-------------|------------|---------------|--|
|             | Lactosuero | Miel orgánica |  |
| $\mu_{max}$ | 1.0000     | 1.0112        | $h^{-1}$                                       |
| $k_s$       | 4.5645     | 3.2459        | g/L  |
| $k_i$       | 1.1068     | 2.4667        | g/L  |
| $k_p$       | 4.6146     | 4.0113        | g/L  |
| $\beta$     | 6.0207     | 3.4173        | g ácido 2-hidroxi-propanoico / (g biomasa * h) |
| $\alpha$    | 6.7283     | 4.6194        | g ácido 2-hidroxi-propanoico / g biomasa       |
| $Y_{XS}$    | 0.373      | 0.3831        | g biomasa/ g azúcar                            |
| $Y_{PS}$    | 1.2102     | 0.5000        | g ácido 2-hidroxi-propanoico / g azúcar        |
| $m_s$       | 0.0412     | 0.0377        | g azúcar/ g biomasa * h                        |
| $a$         | -1.9108    | -2.0139       | g/(L * h)                                      |
| $k$         | -0.1427    | -0.1427       | $h^{-1}$                                       |

**Figura 2.** Ajuste modelo con Berkeley y Madonna para determinación parámetros cinéticos para miel orgánica



**Cuadro 3.** Dimensiones de reactor

| Partes reactor                      | Valores                    | Unidades |
|-------------------------------------|----------------------------|----------|
| Volumen requerido                   | 36.00                      | $m^3$    |
| Diámetro del equipo                 | 3.28                       | m        |
| Altura del equipo                   | 4.92                       | m        |
| Volumen real                        | 41.50                      | $m^3$    |
| Diámetro impulsor                   | 0.82                       | m        |
| Largo de la paleta                  | 0.10                       | m        |
| Ancho de la placa deflectora        | 0.27                       | m        |
| Ancho de la paleta                  | 0.08                       | m        |
| Espacio entre placa y tanque        | 0.07                       | m        |
| Distancia fonda a base del impulsor | 1.09                       | m        |
| Diámetro disco                      | 0.20                       | m        |
| Tipo de agitador                    | Agitador de pala inclinada |          |
| Velocidad de giro                   | 100.00                     | rpm      |
| Eficiencia del motor                | 66.00                      | %        |
| Potencia motor requerida            | 4.00                       | HP       |



Esquema de proceso para la producción de ácido 2-hidroxi-propanoico a partir de lactosuero y miel orgánica

## Conclusiones

Se determinaron los parámetros cinéticos, para cada sustrato, como: la tasa de máxima de crecimiento específica ( $\mu_{max}$ ) de 1.0000 y 1.0112  $h^{-1}$ ; la constante de afinidad al sustrato ( $k_s$ ) de 4.5645 y 3.2459 g/L; la constante de inhibición por producto ( $k_p$ ) de 4.6146 y 4.0113 g/L y la constante asociada al crecimiento para la producción de ácido 2-hidroxi-propanoico ( $\alpha$ ) de 6.7283 y 4.6194 g/g respectivamente para lactosuero y miel orgánica.

Se obtuvo mayor rendimiento en la producción de ácido 2-hidroxi-propanoico empleando lactosuero como sustrato, en comparación con la miel orgánica. Los rendimientos fueron de 0.2966 y 0.1419 (g producto/g sustrato), respectivamente. Por otra parte, se obtuvo una producción similar de biomasa para ambos sustratos. Se obtuvo 0.3730 y 0.3831 (g biomasa/g azúcar), respectivamente. Aunque la miel orgánica, como sustrato, produjo mayor biomasa, también generó una mayor cantidad de subproductos, disminuyendo la generación de producto.

El proceso industrial para la producción de ácido 2-hidroxi-propanoico a partir de *Lactobacillus leichmannii* y lactosuero es bastante similar al proceso industrial que utiliza miel orgánica como sustrato. Los procesos se diferencian en el pretratamiento del sustrato; el lactosuero requiere un clarificador, y la miel orgánica es diluida en un tanque de mezclado.

## Referencias bibliográficas

- Ardón, M. J. (2022). Evaluación de la fermentación de melaza de caña de azúcar empleando bacterias lácticas para la producción de ácido láctico. Guatemala.
- Estela, W., Rychtera, M., Melzoch, K., Quillama, E., & Egoavil, E. (diciembre de 2007). Producción de ácido láctico por *Lactobacillus plantarum* L10 en cultivos batch y continuo. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-99332007000300014](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332007000300014)
- OEC. (2023). Ácido láctico. Obtenido de <https://oec.world/es/profile/hs/lactic-acid-its-salts-esters>
- Urribarí, L., Paéz, G., Ferrer, J., Mármol, Z., & Ramones, E. (agosto de 2004). [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-99332007000300014](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332007000300014). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/959/95914403.pdf>