



Abanico Microbiano. Enero-Diciembre, 2026; 4:1-12. <https://doi.org/10.21929/abanicomicrobiano/2026.4>

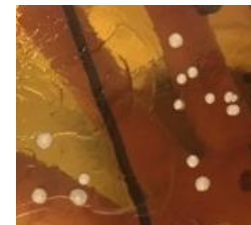
Artículo Original. Recibido: 02/04/2026. Aceptado: 15/07/2026. Publicado: 12/08/2026. Clave: e2026-4.

<https://www.youtube.com/watch?v=KKWiFzcNhNw>

Efecto de edulcorantes naturales en la cinética de crecimiento del probiótico *Lactobacillus acidophilus* LA-5

Effect of natural sweeteners on the growth kinetics of *Lactobacillus acidophilus* LA-5

Rentería-Monterrubio Ana^{*1 ID}, Hernández-Jaime Any^{1 ID},
Santellano-Estrada Eduardo^{1 ID}, Chávez-Martínez América^{1 ID},
Rojas-Anaya Edith^{2 ID}, Castillo-Rangel Francisco^{**1 ID}



¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia y Ecología, Chihuahua, Chihuahua, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental La campana, Chihuahua, Chihuahua, México. *Autor Responsable: Rentería-Monterrubio Ana. **Autor por correspondencia: Castillo-Rangel Francisco. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia y Ecología, Chihuahua, Chihuahua, México. Email: arenteria@uach.mx, p310330@uach.mx, esantellano@uach.mx, amchavez@uach.mx, edith_ra23@hotmail.com, fcastillor@uach.mx

RESUMEN

Este estudio evaluó la cinética de crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* (LA-5) bajo la influencia de diversos edulcorantes naturales, con énfasis en su posible aplicación en el desarrollo de alimentos funcionales adicionados con probióticos. Se probaron cuatro tratamientos: control (sin edulcorante), azúcar de coco, estevia y miel. El crecimiento se monitorizó mediante espectrometría (OD₆₀₀) y recuentos en placa., los parámetros cinéticos se ajustaron al modelo de Baranyi y Roberts mediante el software DMFit. Se observaron diferencias significativas para la tasa de crecimiento máxima ($\mu_{\max}$), densidad poblacional inicial (y_0) y final (y_{end}) entre los tratamientos ($p < 0.05$). La suplementación con estevia produjo un aumento del 24.3 % en la tasa de crecimiento máxima ($\mu_{\max} = 0.312 \pm 0.011 \text{ h}^{-1}$) en comparación con el control ($\mu_{\max} = 0.251 \pm 0.006 \text{ h}^{-1}$), lo que sugiere un posible efecto prebiótico. Todos los tratamientos alcanzaron recuentos finales superiores a 7.8 Log₁₀ UFC/mL, por lo que superaron los criterios internacionales para los alimentos probióticos y lo que garantiza la eficacia del producto para la industria. En conclusión, la estevia comercial evaluada mostró potencial para favorecer el crecimiento de *L. acidophilus* (LA-5), en medio de cultivo, por lo que podría considerarse una alternativa prometedora para futuras aplicaciones en el desarrollo de alimentos funcionales adicionados con probióticos.

Palabras clave: *Lactobacillus acidophilus*, probióticos, edulcorantes naturales.

ABSTRACT

This study evaluated the growth kinetics of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 under the influence of different natural sweeteners, with emphasis on their potential application in the development of functional foods. Four treatments were tested: control (without sweetener), coconut sugar, stevia, and honey. Growth was monitored by spectrophotometry (OD₆₀₀) and plate counts, and the kinetic parameters were fitted to the Baranyi and Roberts model using DMFit software. Significant differences were observed for the maximum growth rate ($\mu_{\max}$), initial population density (y_0), and final population density (y_{end}) among treatments ($p < 0.05$). Supplementation with commercial stevia resulted in a 24.3% increase in the maximum growth rate



($\mu_{\max} = 0.312 \pm 0.011 \text{ h}^{-1}$) compared with the control ($\mu_{\max} = 0.251 \pm 0.006 \text{ h}^{-1}$), suggesting a possible stimulatory effect of the commercial stevia product and confirming its potential as a design ingredient to enhance probiotic functionality. All treatments reached final counts above 7.8 Log₁₀ CFU/mL, exceeding international criteria for probiotic foods and ensuring product efficacy for industrial applications. In conclusion, the commercial stevia evaluated showed potential to promote the growth of *L. acidophilus* LA-5 in culture medium and could therefore be considered a promising alternative for future applications in the development of functional foods.

Keywords: *Lactobacillus acidophilus*, probiotics, natural sweetener.

INTRODUCCIÓN

La microbiota intestinal humana constituye un ecosistema complejo de más de 1,500 especies microbianas distribuidas entre más de 50 filos diferentes, lo que es esencial para mantener la fisiología intestinal normal y la salud general (Suez *et al.*, 2022). Los probióticos, definidos por la FAO/OMS como «microorganismos vivos que, al administrarse en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped» (FAO/WHO, 2006), han adquirido una importancia significativa en el desarrollo de alimentos funcionales (Reiter & Vorholt, 2024).

Por otro lado, *Lactobacillus acidophilus* LA-5 es una cepa probiótica ampliamente utilizada en la industria alimentaria, reconocida por su capacidad para sobrevivir en condiciones gastrointestinales adversas y por sus efectos cardioprotectores (Borshchev *et al.*, 2025). Además, esta cepa ha demostrado su eficacia para modular el sistema inmunitario y reducir el tamaño del infarto de miocardio en condiciones de síndrome de respuesta inflamatoria sistémica (Borshchev *et al.*, 2022).

Sin embargo, la incorporación de edulcorantes en los productos lácteos probióticos representa un importante reto tecnológico, ya que estos compuestos pueden influir directamente en la viabilidad y la funcionalidad de las bacterias probióticas (Liu *et al.*, 2024). Los edulcorantes artificiales han demostrado tener efectos adversos sobre la microbiota intestinal, incluida una reducción de bacterias beneficiosas como *Bifidobacterium* spp. y *Lactobacillus* spp., así como un aumento de bacterias patógenas como *Clostridium difficile* y *E. coli* (Hetta *et al.*, 2025). Por el contrario, los edulcorantes naturales como la estevia, la miel y el azúcar de coco presentan propiedades funcionales adicionales que pueden beneficiar tanto al crecimiento probiótico como a la salud del consumidor. La estevia (*Stevia rebaudiana*) contiene inulina y fructanos en sus raíces, compuestos reconocidos como prebióticos que estimulan selectivamente el crecimiento de bifidobacterias y lactobacilos (Sanches-Lopes *et al.*, 2016). Además, se ha demostrado que los fructooligosacáridos derivados de la estevia mejoran significativamente el crecimiento de cepas microbianas beneficiosas que son esenciales para la función intestinal (Sakr & Massoud, 2021). En cuanto a la miel, posee complejas propiedades antimicrobianas mediadas por la producción enzimática de peróxido de hidrógeno a través de la actividad de la glucosa oxidasa, así como por su bajo pH, alta osmolaridad y contenido de compuestos fenólicos (Tlak Gajger *et al.*, 2025). Estudios



recientes han demostrado que las concentraciones de peróxido de hidrógeno en la miel (0-51.97 mg/kg·h) están directamente correlacionadas con su actividad antimicrobiana, por lo que puede presentar mecanismos de formación de peróxido de hidrógeno ([Kanchurina et al., 2023](#)).

Por su parte, el azúcar de coco contiene oligosacáridos de cadena corta, entre ellos acetato, propionato y butirato, que pueden actuar como sustratos prebióticos para las bacterias probióticas, además de presentar un índice glucémico bajo (35) en comparación con la sacarosa ([Srikaeo et al., 2015](#)). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de edulcorantes naturales sobre los parámetros cinéticos de crecimiento de la cepa probiótica LA-5 con el fin de caracterizar su comportamiento en medio de cultivo y determinar su potencial uso en el desarrollo de alimentos funcionales adicionados de este probiótico.

MATERIAL Y MÉTODOS

Origen de los ingredientes activos

Se utilizó un cultivo comercial liofilizado de *Lactobacillus acidophilus* LA-5 (Chr. Hansen®). Los edulcorantes, azúcar de coco orgánico (Orgánicos Monterrey), estevia comercial (Metco®, 2.5% de glucósidos de esteviol con sacarosa como excipiente) y miel (100% pura y natural), se adquirieron en un supermercado local.

Preparación del inóculo

El inóculo bacteriano se obtuvo mediante la reconstitución del probiótico liofilizado *Lactobacillus acidophilus* LA-5 al 1% (p/v) en 10 mL de caldo MRS (De Man-Rogosa-Sharpe). Las suspensiones se incubaron a 37°C en condiciones aerobias durante 24 horas para su activación. Posteriormente, los tratamientos fueron inoculados con el cultivo activado (concentración inicial de 6.0 Log₁₀ UFC/mL).

Diseño experimental y tratamientos

Los tratamientos se elaboraron bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento: Control, medio MRS sin edulcorante adicional; azúcar de coco (8% p/v) en medio MRS; estevia (3% p/v) en medio MRS; miel (6% p/v) en medio MRS. Las concentraciones de edulcorantes se determinaron mediante pruebas preliminares de comparación por pares para equiparar la intensidad de dulzor con una solución estándar de sacarosa.

Monitoreo del crecimiento bacteriano

El crecimiento bacteriano se monitoreó mediante dos métodos complementarios: densidad óptica, misma que se llevó a cabo midiéndola a 600 nm en un espectrofotómetro (Genesis 20, Thermo Scientific), con lecturas cada hora durante 24 horas, usándose como blanco el mismo medio de cultivo estéril, MRS sin edulcorante, en el caso del



tratamiento control, y MRS con el edulcorante en el caso del resto de los tratamientos, sin inóculo, para ajustar el espectrofotómetro a DO = 0.0 antes de cada serie de mediciones. Y por conteo viable, se empleó el método de vertido en placa para lo que se usó agar MRS, incubado en aerobiosis a 37°C durante 48 horas. Los resultados se expresaron como logaritmo de unidades formadoras de colonias por mililitro (log UFC/mL).

Análisis cinético

Los datos obtenidos del crecimiento microbiano se analizaron mediante el software DMFit online (Norfolk, Reino Unido), basándose en la ecuación sigmoideal de [Baranyi & Roberts \(1994\)](#). El ajuste cinético de los datos de conteo viable (Log UFC/mL) y densidad óptica (OD600) se realizó por separado para lo que se usaron 25 puntos experimentales obtenidos durante 24 h de incubación bajo condiciones de aerobiosis. Los parámetros evaluados incluyeron: $\mu_{\max}$ (rate), velocidad específica máxima de crecimiento (h^{-1}); este parámetro es la constante que relaciona el máximo aumento de biomasa con el tiempo, y se define como la “velocidad máxima de crecimiento por unidad de biomasa” y se expresa en unidades de tiempo inverso, típicamente h^{-1} ; λ (Lag), tiempo de adaptación (h), es el periodo inicial, medido en horas, durante el cual la población aún no entra a fase exponencial porque esta atraviesa una etapa de adaptación al medio de crecimiento; y_0 , punto inicial de la curva sigmoidea (Log UFC/mL), es el valor inicial de la curva en escala logarítmica, es decir, el log10 del número inicial de microorganismos (inóculo) expresado como Log UFC/mL; y_{end} , punto final de la curva sigmoidea (Log UFC/mL), es el valor final de la curva sigmoidea en escala logarítmica, es decir, el log10 de la población máxima alcanzada en la fase estacionaria, expresada como Log UFC/mL; y r^2 , coeficiente de determinación del ajuste.

Adicionalmente, se calcularon los parámetros complementarios: período de crecimiento exponencial (n), que representa el número de generaciones (cuántas veces se ha duplicado la población) durante el periodo de crecimiento exponencial, no el tiempo; tiempo de generación (G), que es el tiempo que tarda una población microbiana en duplicarse durante la fase de crecimiento exponencial, es decir, el intervalo para una generación; y velocidad específica de crecimiento (K), misma que se refiere a la constante de velocidad de crecimiento relacionada con el tiempo de generación y/o con la pendiente de la curva logarítmica durante la fase exponencial. Esta se representa como el inverso del tiempo de generación g (tiempo que tarda la población en duplicarse). Para lo anterior se emplearon las siguientes fórmulas:

$$n = (\text{Log } N - \text{Log } N_0) / \text{Log } 2$$

$$G = t^e / n$$

$$K = n / t$$

Donde: El tiempo es “e”, el número de células finales es “N” y el número de células iniciales es “N₀”.



Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un modelo lineal de efectos fijos, expresado como $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$, donde Y_{ij} representa la variable respuesta, μ la media general, τ_i el efecto del i -ésimo tratamiento y ε_{ij} el error aleatorio asociado a cada observación. Una vez corroborados los supuestos de normalidad y homocedasticidad se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el procedimiento GLM de SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Al detectarse diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p = 0.05$.

RESULTADOS

Caracterización de la curva de crecimiento basal

La cepa LA-5 mostró un patrón de crecimiento típico en medio MRS, esta inició con una concentración de 6.0 Log₁₀ UFC/mL y alcanzó 7.98 Log₁₀ UFC/mL después de 25 horas. La fase exponencial se estableció entre las 5 y las 19 horas, la cual presentó un periodo de adaptación de 3 a 5 horas (Figura 1). Los parámetros cinéticos de referencia según el modelo de Baranyi y Roberts fueron $y_0 = 5.91 \pm 0.07$, $\mu_{\max} = 0.119 \pm 0.007 \text{ h}^{-1}$, $\lambda = 1.44 \pm 1.03 \text{ h}$, $y_{\text{end}} = 7.93 \pm 0.04$ y $R^2 = 0.981$, lo que indica un excelente ajuste del modelo matemático.

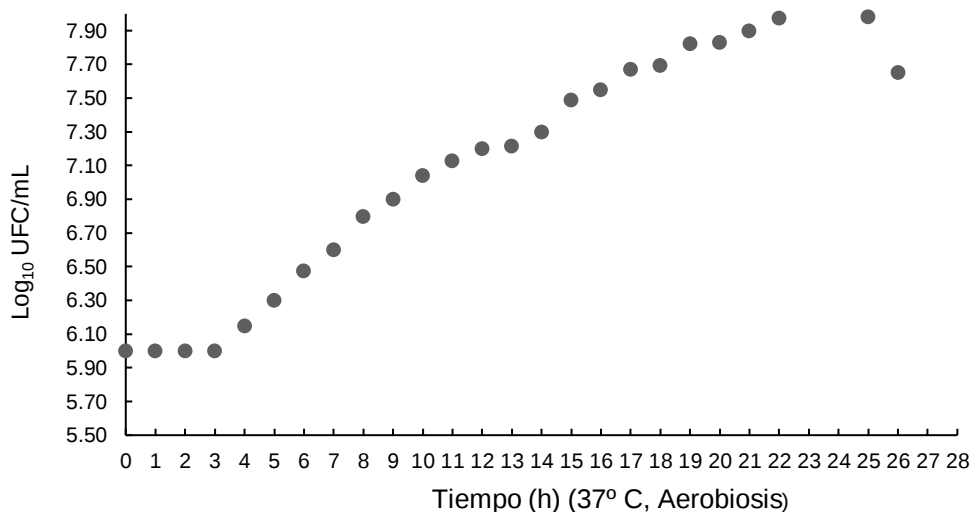


Figura 1. Curva de crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* LA-5 cultivado en medio MRS a 37 °C bajo condiciones de aerobiosis. Los recuentos poblacionales (Log₁₀ UFC/mL) se registraron durante 25 h de incubación y fueron ajustados mediante el modelo de Baranyi y Roberts ($R^2 = 0.981$). Los puntos representan los datos experimentales y la línea continua el ajuste del modelo. Los valores corresponden al promedio de tres repeticiones independientes.



Efecto de los edulcorantes naturales sobre los parámetros cinéticos

Tasa de crecimiento específica máxima ($\mu_{\max}$)

El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($p < 0.05$) en la tasa de crecimiento específica máxima entre los tratamientos (Tabla 1). El tratamiento con estevia mostró el $\mu_{\max}$ más alto ($0.312 \pm 0.011 \text{ h}^{-1}$), por lo que superó significativamente al control ($0.251 \pm 0.006 \text{ h}^{-1}$). Los tratamientos con azúcar de coco ($0.285 \pm 0.02 \text{ h}^{-1}$) y miel ($0.296 \pm 0.00 \text{ h}^{-1}$) mostraron valores intermedios sin diferencias significativas en comparación con el control ($p > 0.05$).

Tabla 1. Efecto de diferentes edulcorantes naturales sobre los parámetros cinéticos de crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* LA-5 estimados mediante el modelo de Baranyi y Roberts

Parámetro	Tratamientos			
	Control	Azúcar de coco	Estevia	Miel
$\mu_{\max} (\text{h}^{-1})$	0.251 ± 0.00^a	0.285 ± 0.02^{ab}	0.312 ± 0.01^b	0.296 ± 0.00^{ab}
Lag (h)	4.246 ± 0.46^a	4.690 ± 0.14^a	5.315 ± 1.15^a	4.561 ± 0.11^a
y_0 (Log UFC/mL)	6.233 ± 0.01^{ab}	6.137 ± 0.04^a	6.202 ± 0.03^{ab}	6.309 ± 0.01^b
y_{end} (Log UFC/mL)	8.104 ± 0.01^a	7.861 ± 0.01^b	7.990 ± 0.02^c	8.063 ± 0.00^a
R^2	0.997 ± 0.00^a	0.994 ± 0.00^a	0.994 ± 0.00^a	0.992 ± 0.00^a

Los datos representan las medias de los tratamientos seguidos por la desviación estándar.

^{a,b,c} Diferentes letras entre columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). $\mu_{\max}$ (h^{-1}) (tasa de crecimiento máxima), Lag (h) (constante de aclimatación o proceso de adaptación bacteriana), y_0 (Log₁₀ UFC/mL) (punto de inicio de la curva sigmoidea), y_{end} (Log₁₀ UFC/mL) (punto final de la curva sigmoidea), R^2 (coeficiente de ajuste a la ecuación).

Fase de adaptación (λ)

Contrariamente a lo esperado, no se observaron diferencias significativas en la fase de adaptación entre los tratamientos ($p > 0.05$) (Tabla 1), con valores que oscilaron entre $4.246 \pm 0.46 \text{ h}$ (Control) y $5.315 \pm 1.15 \text{ h}$ (Estevia).

Punto inicial y final de la curva sigmoidea

Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en y_0 entre los tratamientos con azúcar de coco (6.137 ± 0.045) y miel (6.309 ± 0.019). El parámetro y_{end} mostró diferencias significativas entre los tratamientos de control (8.104 ± 0.014), azúcar de coco (7.861 ± 0.01) y estevia (7.990 ± 0.02), mientras que el tratamiento con miel (8.063 ± 0.00) no difirió del control ($p > 0.05$).



Parámetros cinéticos complementarios

Período de crecimiento exponencial (n) y tiempo de generación (G)

El tratamiento con miel mostró el período de crecimiento exponencial más largo (4.384 ± 0.016) ($p < 0.05$), seguido del azúcar de coco (4.111 ± 0.071), el control (3.906 ± 0.136) y la estevia (3.824 ± 0.121) (Tabla 2). El tiempo de generación osciló entre 1.141 ± 0.004 h (miel) y 1.308 ± 0.041 h (estevia).

Tabla 2. Efecto de diferentes edulcorantes naturales sobre los parámetros cinéticos complementarios de crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* LA-5

Parámetros	Tratamientos			
	Control	Azúcar de coco	Estevia	Miel
n	3.906 ± 0.136^b	4.111 ± 0.071^{ab}	3.824 ± 0.121^b	4.384 ± 0.016^a
G	1.221 ± 0.129^a	1.216 ± 0.021^a	1.308 ± 0.041^a	1.141 ± 0.004^a
K	0.781 ± 0.027^b	0.822 ± 0.014^{ab}	0.765 ± 0.024^b	0.877 ± 0.003^a

Los datos representan las medias de los tratamientos seguidos por la desviación estándar.

^{a,b} Diferentes letras entre columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). n, período de crecimiento exponencial; G, tiempo de generación; K, tasa de crecimiento específica.

Tasa de crecimiento específica (K)

La tasa de crecimiento específica (K) siguió el orden: miel ($0.877 \pm 0.003 \text{ h}^{-1}$), azúcar de coco ($0.822 \pm 0.014 \text{ h}^{-1}$), control ($0.781 \pm 0.027 \text{ h}^{-1}$) y estevia ($0.765 \pm 0.024 \text{ h}^{-1}$).

DISCUSIÓN

La fase exponencial de crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* LA-5 se observó entre las 5 y 19 h de incubación, lo que concuerda con reportes previos que describen periodos de adaptación de entre 3 y 5 h para esta cepa y otras bacterias ácido-lácticas (Reiter & Vorholt, 2024). Asimismo, los valores de λ obtenidos sugieren que las condiciones de activación e inoculación fueron adecuadas, lo que permitió una adaptación relativamente homogénea entre tratamientos. De acuerdo con el modelo de Baranyi & Roberts (1994), la duración de esta fase está relacionada con el estado fisiológico inicial de las células y su capacidad para adaptarse a un nuevo entorno. La fase de latencia observada puede atribuirse a los ajustes metabólicos requeridos por *L. acidophilus* LA-5 para utilizar los diferentes sustratos de carbono proporcionados por cada edulcorante. Estudios realizados con cepas de *Lactobacillus* han reportado tiempos de adaptación similares (1.98–5.64 h) en medios fermentativos, lo que indica que la variabilidad observada se encuentra dentro de los rangos esperados para condiciones experimentales controladas (Śliżewska & Chlebicz-Wójcik, 2020). Por tanto, la concentración final observada con



estevia puede estar asociada a los efectos antimicrobianos de los glucósidos de esteviol que contiene, entre otros ingredientes, como se ha descrito anteriormente en estudios de fermentación a largo plazo (Costa *et al.*, 2019).

Del mismo modo, la suplementación con estevia incrementó significativamente la velocidad específica máxima de crecimiento ($\mu_{\max}$) respecto al control, lo que indica una respuesta favorable de LA-5 a este edulcorante. Este resultado coincide con estudios que han reportado que compuestos presentes en *Stevia rebaudiana*, particularmente fructanos y glucósidos de esteviol, pueden favorecer el crecimiento de bacterias benéficas, tales como especies de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* que son cruciales para la función intestinal (Munguía-Felix *et al.*, 2021; Sanches-Lopes *et al.*, 2016). Sin embargo, debido a que la formulación comercial utilizada contenía sacarosa como excipiente, no es posible atribuir completamente el efecto observado a los glucósidos de esteviol.

Los valores de y_0 y y_{end} indicaron que todos los tratamientos mantuvieron recuentos superiores a 10^6 UFC/mL, nivel mínimo recomendado para productos probióticos (He *et al.*, 2025). Aunque la estevia presentó la mayor $\mu_{\max}$ su concentración final fue ligeramente inferior a la observada en el control y la miel. Esto sugiere que una mayor velocidad de crecimiento no necesariamente se traduce en una mayor biomasa final, ya que factores como la disponibilidad de nutrientes y la acumulación de metabolitos pueden influir en la densidad poblacional alcanzada (Kaewarsar *et al.*, 2023).

Por otra parte, la miel, a pesar de sus reconocidas propiedades antimicrobianas mediadas por el peróxido de hidrógeno y su bajo pH, no inhibió el crecimiento de LA-5, la cual mantuvo valores elevados de crecimiento y viabilidad. Este comportamiento podría estar relacionado con la presencia de oligosacáridos y otros carbohidratos fermentables que actúan como sustratos favorables para bacterias ácido-lácticas y de la misma manera actúan sinérgicamente con los probióticos contra patógenos específicos (Mohan *et al.*, 2017). Asimismo, se ha reportado que concentraciones de H_2O_2 presentes en la miel son considerablemente inferiores a las empleadas con fines desinfectantes, por lo que su efecto inhibitorio sobre las bacterias probióticas puede ser limitado (Kanchurina *et al.*, 2023).

En cuanto al azúcar de coco, este mostró un efecto neutro sobre el crecimiento, lo que mantuvo la funcionalidad probiótica sin efectos estimulantes o inhibidores significativos. Su perfil nutricional, que incluye oligosacáridos de cadena corta y un índice glucémico bajo, lo posiciona como una alternativa viable para los productos probióticos dirigidos a consumidores con restricciones de consumo de azúcar (Gullifa *et al.*, 2023).

En conjunto, los resultados demuestran que los edulcorantes estudiados fueron compatibles con el crecimiento de *L. acidophilus*, el cual mantuvo poblaciones viables por encima de los niveles requeridos para productos probióticos. Particularmente, la estevia mostró el mayor efecto sobre $\mu_{\max}$, lo que sugiere un posible potencial para favorecer el crecimiento de LA-5 en sistemas fermentativos (Costa *et al.*, 2019).



Finalmente, los resultados del período de crecimiento exponencial (n) y tiempo de generación (G) concuerdan con informes previos sobre *L. acidophilus* en condiciones similares. La miel demostró el mejor rendimiento en términos de eficiencia reproductiva, posiblemente debido a la presencia de oligosacáridos naturales que actúan como sustratos prebióticos específicos. En cuanto a la tasa de crecimiento específica (K) los resultados obtenidos superan a los registrados para otras cepas de *Lactobacillus* (0.579 h^{-1} para *L. plantarum*), lo que indica la alta capacidad de adaptación de LA-5 a diferentes sustratos de carbono. Esta viabilidad sostenida es esencial para garantizar los efectos beneficiosos asociados al consumo de LA-5, incluida la modulación del sistema inmunitario y los efectos cardioprotectores demostrados en modelos experimentales recientes (Borshchev *et al.*, 2025). El posible efecto prebiótico demostrado de la estevia es un hallazgo fundamental de este estudio. La suplementación con estevia estimuló significativamente el crecimiento de LA-5, como lo refleja un aumento del 24.3 % en $\mu_{\max}$ en comparación con el control. Cabe destacar que, mientras que la miel y el azúcar de coco mantuvieron una alta viabilidad probiótica, solo la estevia proporcionó una ventaja cinética notable, lo que subraya su valor posicional único para el diseño de productos lácteos funcionales de próxima generación. Las tendencias actuales del mercado indican un creciente interés de los consumidores por los alimentos con bajo contenido en azúcar o sin azúcar que conservan la aceptación sensorial y la eficacia clínica. La incorporación de la estevia, verificada aquí como un posible efecto estimulante pro-funcional, favorece el desarrollo de productos rentables al acortar los tiempos de fermentación, mejorar la robustez probiótica y permitir declaraciones de etiqueta limpia. Además, los altos recuentos finales y la estabilidad cinética observados en todos los edulcorantes probados garantizan a los fabricantes que la vida útil del producto y las declaraciones de propiedades saludables se mantendrán durante toda la distribución.

CONCLUSIONES

En este estudio se demostró que los tres edulcorantes naturales evaluados —estevia, miel y azúcar de coco— fueron compatibles con el crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, ya que en todos los tratamientos se alcanzaron recuentos finales superiores a $7.8 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/mL}$, estos niveles de viabilidad son considerados adecuados para productos con potencial probiótico.

Entre los tratamientos evaluados, la estevia presentó la mayor tasa específica máxima de crecimiento ($\mu_{\max}$), con un incremento aproximado del 24.3 % respecto al tratamiento control. Este comportamiento sugiere que los componentes presentes en la formulación de estevia favorecieron el crecimiento de LA-5 bajo las condiciones experimentales evaluadas. Sin embargo, debido a que la estevia comercial utilizada contenía sacarosa como excipiente, no es posible atribuir completamente este efecto a los glucósidos de esteviol.



Así mismo, la miel y el azúcar de coco permitieron mantener una elevada viabilidad bacteriana durante el periodo de incubación, lo que indica que estos edulcorantes no ejercieron efectos inhibitorios sobre el crecimiento de LA-5 en las concentraciones estudiadas.

No obstante, los resultados deben interpretarse en consideración de las limitaciones del estudio. Los ensayos se realizaron en caldo MRS y no en una matriz alimentaria, por lo que las interacciones presentes en productos fermentados comerciales no fueron evaluadas. Asimismo, solo se estudió una concentración por edulcorante y se analizaron parámetros de crecimiento a corto plazo. Por ello, se recomienda que investigaciones futuras evalúen diferentes niveles de suplementación, matrices alimentarias y la estabilidad del probiótico durante el almacenamiento, con el fin de confirmar la aplicabilidad tecnológica de los resultados obtenidos.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

R.M.AL: Conceptualización, investigación, supervisión, revisión y edición del texto.

H.J.AG: Investigación, análisis formal, visualización, redacción del borrador original.

S.E.E: Redacción (revisión), validación, curación de datos y edición de texto.

C.M.A: Conceptualización, metodología, obtención de fondos, recursos, administración del proyecto, recursos, redacción del borrador original, revisión y edición del texto.

R.A.E: Revisión y edición de texto, validación y supervisión.

C.R.F: Revisión y edición de texto, validación y supervisión.

DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos que respaldan los resultados de este estudio están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Chr. Hansen por suministrar el probiótico *Lactobacillus acidophilus* LA-5 para este estudio.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

BARANYI J, Roberts TA. 1994. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *Int. J. Food Microbiol.* 23(3-4): 277–294. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)90157-0](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)90157-0)



BORSHCHEV YY, Minasyan SM, Burovenko IY, Protsak ES, Borshchev VY, Borshcheva OV, Galagudza MM. 2025. The effect of probiotic bacteria and pharmacological anti-inflammatory effects on the size of myocardial infarction in rats with systemic inflammation. *Med. Akad. Zurnal.* 1(1): 42–53. <https://doi.org/10.17816/MAJ635918>

BORSHCHEV YY, Sonin DL, Burovenko YI, Borshchev VY, Cheburkin YV, Borshcheva OV, Galagudza MM. 2022. The effect of probiotic strains on myocardial infarction size, biochemical and immunological parameters in rats with systemic inflammatory response syndrome and polymorbidity. *J Evol Biochem Physiol.* 58(6): 2058–2069. <https://doi.org/10.1134/S0022093022060321>

COSTA GM, Paula MM, Barão CE, Klososki SJ, Bonafé EG, Visentainer JV, Cruz AG, Pimentel TC. 2019. Yoghurt added with *Lactobacillus casei* and sweetened with natural sweeteners and/or prebiotics: Implications on quality parameters and probiotic survival. *Int. Dairy J.* 97: 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.05.007>

FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, and World Health Organization). 2006. Probiotics in food: Health and nutritional properties and guidelines for evaluation. Rome, Italy. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/a0512e>

GULLIFA G, Risoluti R, Mazzoni C, Barone L, Papa E, Battistini A, Martin Fraguas R, Materazzi S. 2023. Microencapsulation by a spray drying approach to produce innovative probiotics-based products extending the shelf-life in non-refrigerated conditions. *Molecules.* 28(2): e860. <https://doi.org/10.3390/molecules28020860>

HE BL, Cui R, Hu TG, Wu H. 2025. Improved viability of probiotics by co-encapsulation of wheat germ oil under storage and gastrointestinal conditions: Effects of drying methods and wall composition. *Food Hydrocoll.* 158: e110592. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110592>

HETTA HF, Sirag N, Elfadil H, Salama A, Aljadrawi SF, Alfaifi AJ, Alwabisi AN, AbuAlhasan BM, Alanazi LS, Aljohani YA, Ramadan YN, Abd-Ellah NH, Algammal AM. 2025. Artificial sweeteners: a double-edged sword for gut microbiome. *Diseases.* 13(4): e115. <https://doi.org/10.3390/diseases13040115>

KAEWARSAR E, Chaiyasut C, Lailerd N, Makhamrueang N, Peerajan S, Sirilun S. 2023. Optimization of mixed inulin, fructooligosaccharides, and galactooligosaccharides as prebiotics for stimulation of probiotics growth and function. *Foods.* 12(8): e1591. <https://doi.org/10.3390/foods12081591>

KANCHURINA MM, Talipov RF, Kaipkulov RN, Saltykova ES, Gaifullina LR, Kaskinova M. 2023. Effect of the peroxide activity of bashkir linden honey on antibacterial activity. *Chem. Sustain. Dev.* 31(4): 378–387. <https://doi.org/10.15372/CSD2023481>



LIU Y, Nawazish H, Farid MS, Abdul Qadoos K, Habiba UE, Muzamil M, Tanveer M, Sienkiewicz M, Lichota A, Łopusiewicz Ł. 2024. Health-promoting effects of *Lactobacillus acidophilus* and its technological applications in fermented food products and beverages. *Fermentation*. 10(8): e380. <https://doi.org/10.3390/fermentation10080380>

MOHAN A, Quek SY, Gutierrez-Maddox N, Gao Y, Shu Q. 2017. Effect of honey in improving the gut microbial balance. *Food Qual. Saf.* 1(2): 107–115. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx015>

MUNGUÍA-FELIX DG, Manzanares-Leal GL, Montiel-Bastida NM. 2021. Growth of *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus acidophilus* in the Presence of Commercial Sweeteners. *Essent Dent*. 1(1): 17–22. <https://doi.org/10.5152/EssentDent.2021.21004>

REITER MA, Vorholt JA. 2024. Dashing Growth Curves: a web application for rapid and interactive analysis of microbial growth curves. *BMC Bioinform.* 25(1): e67. <https://doi.org/10.1186/s12859-024-05692-y>

SAKR EAE, Massoud MI. 2021. Impact of prebiotic potential of stevia sweeteners-sugar used as symbiotic preparation on antimicrobial, antibiofilm, and antioxidant activities. *Food Sci. Technol.* 144: e111260. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111260>

SANCHES-LOPES SM, Francisco MG, Higashi B, de Almeida RTR, Krausová G, Pilau EJ, Gonçalves JE, Correia Gonçalves RA, Braz de Oliveira AJ. 2016. Chemical characterization and prebiotic activity of fructo-oligosaccharides from *Stevia rebaudiana* (Bertoni) roots and in vitro adventitious root cultures. *Carbohydr. Polym.* 152: 718–725. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.043>

ŚLIŻEWSKA K, Chlebicz-Wójcik A. 2020. Growth kinetics of probiotic lactobacillus strains in the alternative, cost-efficient semi-solid fermentation medium. *Biology*. 9(12): 1–13. <https://doi.org/10.3390/biology9120423>

SRIKAEAO K, Thongta R. 2015. Effects of sugarcane, palm sugar, coconut sugar and sorbitol on starch digestibility and physicochemical properties of wheat based foods. *Int. Food Res. J.* 22(3): 923–929. [http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20\(03\)%202015/\(7\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20(03)%202015/(7).pdf)

SUEZ J, Cohen Y, Valdés-Mas R, Mor U, Dori-Bachash M, Federici S, Zmora N, Leshem A, Heinemann M, Linevsky R, Zur M, Ben-Zeev BR, Bukimer A, Eliyahu-Miller S, Metz A, Fischbein R, Sharov O, Malitsky S, Itkin M, Elinav E. 2022. Personalized microbiome-driven effects of non-nutritive sweeteners on human glucose tolerance. *Cell*. 185(18): 3307–3328. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.07.016>

TLAK-GAJGER I, Dar SA, Ahmed MMM, Aly MM, Vlainić J. 2025. Antioxidant capacity and therapeutic applications of honey: health benefits, antimicrobial activity and food processing roles. *Antioxidants*. 14(8): e959. <https://doi.org/10.3390/antiox14080959>