

Cinética animal: enzimas y microbios a distintas velocidades^φ

Denice Andreina Pool-Martínez¹, Cindy Goretti Marin-Tun²,
Carlos Alfredo Sandoval-Castro², María Gabriela Mancilla-Montelongo^{*3}

Introducción

La cinética es un término en la física que se refiere al análisis del movimiento de partículas (Levine 2014). Sin embargo, puede ampliarse a otras áreas, como la química y la biología, para estudiar la fermentación, el rumen de un borrego o el ciclo de vida de un parásito. En ciencias biológicas y agropecuarias, la cinética estudia qué tan rápido ocurre un proceso y las variables que lo controlan. Por un lado, la cinética química se centra en la velocidad a la que un fertilizante interactúa con los componentes del suelo y, por otro, la cinética enzimática identifica cómo tiene lugar una reacción bioquímica más rápidamente en plantas y animales, pero con un gasto de energía bajo (Nelson y Cox 2009).

La relevancia de la cinética puede visualizarse no solo en procesos de la vida sino también en la industria, desde la combustión, fermentación y oxidación, hasta el crecimiento de microorganismos para la producción de metabolitos de interés industrial y agropecuario. La comprensión de la cinética, y su descripción mediante modelos matemáticos, permiten optimizar variables involucradas en los distintos procesos para maximizar su eficiencia, el rendimiento agropecuario y diseñar estrategias más sustentables. El objetivo de este trabajo es describir el concepto de cinética animal mediante ejemplos prácticos para analizar diferentes procesos.

^φ1Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, ³Secihti-Universidad Autónoma de Yucatán. *maria.mancilla@correo.uady.mx
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.7220>



Enzimas: aceleradores celulares

En las células suceden reacciones para transformar una sustancia (sustrato) en otra (producto) de forma muy específica. En este proceso, las enzimas catalizan, o aceleran, las reacciones de 10^8 a 10^{11} veces respecto a sistemas no catalizados. Las enzimas, que principalmente son proteínas, son altamente específicas, y la reacción ocurre en un sitio concreto de su estructura con un sustrato en particular (Karp *et al.* 2014). Este proceso se explica por dos modelos: (i) “llave y cerradura”, donde la estructura del sustrato es complementaria a la del sitio activo de la enzima y encaja perfectamente como una llave en una cerradura; (ii) “ajuste inducido”, donde la enzima modifica su estructura al interactuar con sustratos específicos, lo que ocasiona que el sitio activo adquiera una estructura complementaria al sustrato (Tripathi y Bankaitis 2017). Sin embargo, la unión y formación del producto no es constante pues existen factores externos que aceleran o retrasan la actividad enzimática. Entre estos factores destacan los siguientes (Mckee y Mckee 2014):

Temperatura y pH. Las enzimas tienen rangos óptimos de funcionamiento. Cuando el sistema se aleja de ciertos rangos de temperatura o pH, las enzimas alteran su estructura tridimensional (desnaturalización) y, por lo tanto, su afinidad por el sustrato y se detienen las reacciones.

Cofactores y coenzimas. Algunas enzimas necesitan de otras moléculas para activar su función, y tales moléculas pueden ser cofactores como iones inorgánicos, o coenzimas que son moléculas orgánicas auxiliares.

Inhibidores enzimáticos. Son moléculas que reducen la velocidad de una reacción de forma reversible o irreversible dependiendo si el efecto es permanente o si desaparece al retirar el inhibidor del medio.

Estos factores, particularmente los inhibidores enzimáticos, cobran relevancia en el manejo y control de plagas. Por ejemplo, compuestos producidos por hongos o plantas (compuestos secundarios) pueden actuar como inhibidores competitivos contra las enzimas de hongos fitopatógenos, ofreciendo una alternativa más respetuosa con el medio ambiente en lugar de usar fungicidas comunes (Pinedo *et al.* 2020).

“En las células suceden reacciones para transformar una sustancia (sustrato) en otra (producto) de forma muy específica.”

Modelos cinéticos para describir procesos biológicos

Para comprender los efectos de los factores que afectan el funcionamiento de las enzimas, se dispone de modelos cinéticos que son gráficos y ecuaciones que permiten describir una reacción con base en diferentes variables (Maisincho Asqui *et al.* 2022). A continuación se presentan los modelos cinéticos:

1. Michaelis-Menten y la ecuación de Lineweaver-Burk para procesos sencillos

El modelo describe cómo varía la velocidad de una reacción en función de la concentración del sustrato (Nelson y Cox 2009), y su ecuación explica este modelo con datos que permiten conocer la afinidad de la enzima por su sustrato (K_m) y la velocidad máxima de reacción (V_{max}) (Fig. 1). En otras palabras, este modelo y su ecuación permiten entender y predecir el comportamiento de una reacción sin necesidad de procedimientos complejos.

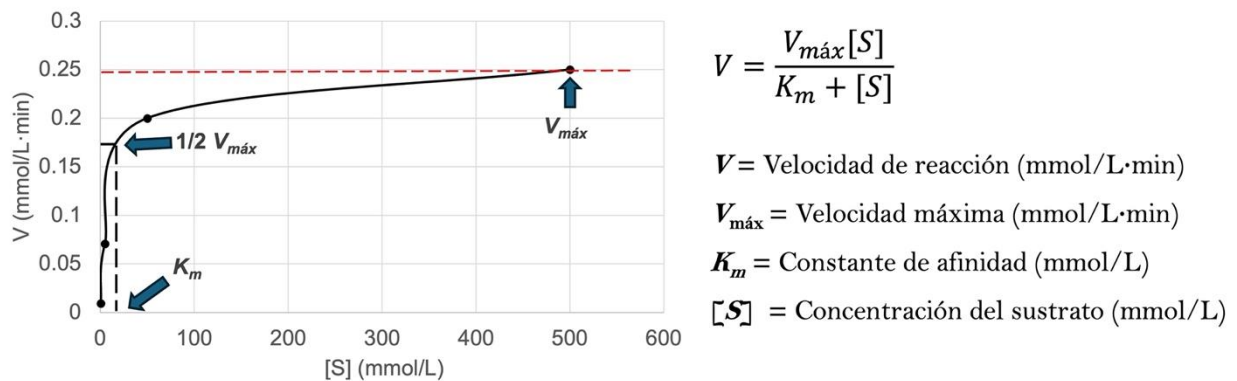


Figura 1. Representación del Modelo Michaelis-Menten. La curva muestra la relación entre la velocidad de reacción (V) de la enzima hexoquinasa ante diferentes concentraciones de fructosa $[S]$ (Elaborado por Denice Andreina Pool Martínez).

Aunque el modelo es útil, es más sencillo calcular V_{max} y K_m siempre y cuando la gráfica y la ecuación sigan un patrón lineal (línea recta). Este modelo usa la ecuación de Lineweaver-Burk (Nelson y Cox 2009). Al graficar los inversos de velocidad ($1/V$), y de concentración del sustrato ($1/[S]$), se obtiene la línea recta. Un ejemplo práctico (Fig. 2) para analizar la velocidad de acción de la enzima hexoquinasa (*i.e.*, procesa azúcares de seis carbonos, como glucosa o fructosa) se grafican los inversos de velocidad ($1/V$) a diferentes concentraciones de sustrato ($1/[S]$). Si la constante K_m tiene un valor alto indica que la enzima tiene afinidad baja por el sustrato y, por lo tanto, una capacidad catalítica limitada. En la Fig. 2, la hexoquinasa tiene mayor afinidad por la glucosa (línea naranja) que por la fructosa (línea negra). De esta forma, es posible comparar diferentes enzimas para diseñar procesos

más eficientes en procesos industriales de fermentación que redundarán en una mayor eficiencia económica.

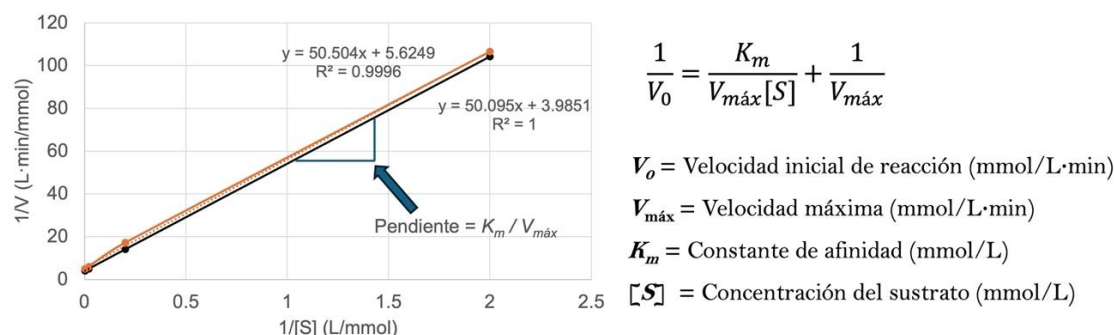


Figura 2. Representación gráfica y ecuación de Lineweaver-Burk. Las rectas muestran la relación entre los inversos de la velocidad inicial ($1/V$) y de la concentración de sustrato ($1/[S]$): glucosa (recta naranja) o fructosa (recta negra). A partir de la intersección con el eje y y la pendiente se calcula la velocidad máxima ($V_{máx}$) y la afinidad (K_m) de la enzima por el sustrato (Elaborado por Denice Andreina Pool Martínez).

Aunque en cinética enzimática, el modelo más utilizado es Michaelis-Menten, complementado con la representación lineal de Lineweaver-Burk, no describe el comportamiento de todas las enzimas, especialmente aquellas con mecanismos complejos. Además, no es aplicable a otros fenómenos cinéticos que no involucran enzimas, por lo que es necesario recurrir a otros modelos.

2. Logístico para optimizar procesos productivos

La producción agropecuaria no puede representarse por una línea recta infinita. Los patrones de crecimiento de los animales pueden describirse mejor por una curva sigmoidea que muestra un escenario más realista (Ulloa Ibarra y Rodríguez Carrillo 2010). Por ejemplo, durante el crecimiento animal, como la ganancia de peso de gallinas de engorda, no es lineal sino una curva sigmoidea descrita con un modelo logístico. A partir del ajuste del modelo hacia los datos del crecimiento, se puede calcular la edad de máximo crecimiento (días), el peso máximo potencial (gramos) y la velocidad de crecimiento (g/día) (Fig. 3).

Esta estimación es fundamental para identificar el momento óptimo para llevar las aves al mercado (venta), ya que permite aplicar simultáneamente criterios financieros y biológicos (Mata-Estrada *et al.* 2020). Esto contribuye al balance económico, porque llegará un punto en el que el costo del alimento consumido será mayor que el beneficio económico de la ganancia de peso de las gallinas, e incluso a mayor edad, no crecerán más, aunque sigan comiendo, lo cual representará una pérdida económica para el productor.

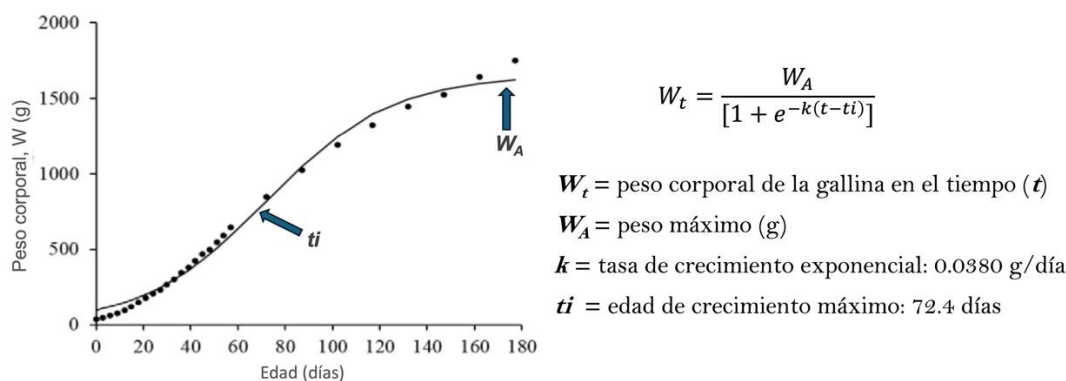


Figura 3. Curva de crecimiento para gallinas con base en el modelo logístico y su ecuación (modificado de Mata-Estrada *et al.* 2020). Los puntos representan datos registrados y la línea continua el ajuste del modelo logístico. Se indican el peso máximo (W_A) y la edad a la que se alcanza la máxima velocidad de crecimiento (t_i).

3. Exponencial para microorganismos

En condiciones ideales, sin limitación de recursos, las poblaciones de microorganismos (ya sean benéficos o patógenos) pueden tener un crecimiento poblacional a un ritmo acelerado descrito por un modelo exponencial. Este modelo predice su crecimiento y permite conocer cuánto aumenta el número de células (N), qué tan rápido crecen (μ) y hasta cuándo crecerá (t) la población (Fig. 4).

Sus ecuaciones pueden facilitar el análisis de la dinámica de crecimiento poblacional de microorganismos ante agentes externos. Por ejemplo, ante compuestos antimicrobianos (*e.g.*, taninos) las bacterias aumentan su fase de latencia para adaptarse y retrasan su crecimiento (Štumpf *et al.* 2020). También, se puede estudiar compuestos químicos y condiciones de cultivo que estimulen el crecimiento de poblaciones microbianas benéficas.

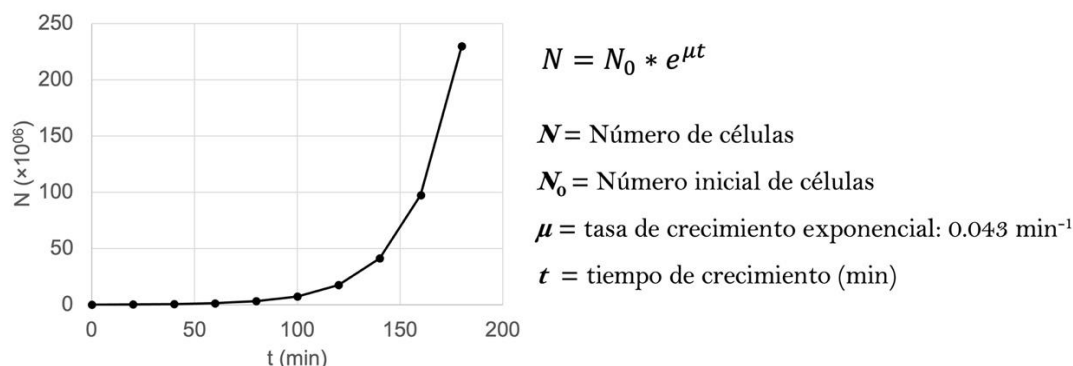


Figura 4. Fase exponencial de la curva de crecimiento poblacional de *Escherichia coli* y su ecuación representada por el cambio en el número de células (N) con el tiempo (Modificado de Štumpf *et al.* 2020).

Tanto el estudio de inhibidores como el de estimulantes del crecimiento tienen una amplia aplicación en la industria y aplicación directa en salud animal y conservación de alimentos. Por ejemplo, compuestos químicos en la industria son producidos por las bacterias en momentos específicos, como el hongo *Penicillium janthinellum* que produce pigmentos orgánicos en cierta fase de su crecimiento. Conocer cuándo ocurre este proceso y las condiciones para maximizarlo ofrece una solución ante colorantes sintéticos (Sánchez *et al.* 2025). Otro caso son las bacteriocinas, péptidos producidos por bacterias ácido lácticas durante su fase exponencial tardía a estacionaria temprana, que pueden aplicarse en la prevención y tratamiento de enfermedades en animales y en la conservación de alimentos (Hernández-González *et al.* 2021).

Para comprender los efectos de los factores que afectan el funcionamiento de las enzimas, se dispone de modelos cinéticos que son gráficos y ecuaciones que permiten describir una reacción con base en diferentes variables.”

Conclusión

Los tres modelos descritos representan procesos cinéticos, ya sean enzimáticos o de crecimiento. Sin embargo, sus ecuaciones no son simples representaciones o curvas que arrojan información plasmada en papel sino que su importancia radica en su capacidad para resolver problemas en la industria o en el ambiente. Su utilidad comprende desde la optimización del crecimiento de animales en la producción agropecuaria hasta la manipulación de las fases de crecimiento de microorganismos para la salud animal.

Referencias

- Hernández-González JC, Martínez-Tapia A, Lazcano-Hernández G, García-Pérez BE y Castrejón-Jiménez NS. 2021. Bacteriocins from lactic acid bacteria. A powerful alternative as antimicrobials, probiotics, and immunomodulators in veterinary medicine. *Animals* 11(4):979. <https://doi.org/10.3390/ani11040979>
- Karp G, Iwasa J y Marshall W. 2014. *Biología celular y molecular: Conceptos y experimentos*. Octava edición. McGraw-Hill Interamericana. 692 pp.
- Levine IN. 2014. *Principios de Fisicoquímica*. Sexta edición. McGraw-Hill. España. 594 pp.
- Maisincho Asqui MP, Delgado Demera MH y Cedeño Palacios CA. 2022. Modelos matemáticos en la cinética enzimática: Una revisión. *Centro Azúcar* 49(1):115–131

- Mata-Estrada A, González-Cerón F, Pro-Martínez A, Torres-Hernández G, Bautista-Ortega J, Becerril-Pérez CM, Vargas-Galicia AJ y Sosa-Montes E. 2020. Comparison of four nonlinear growth models in Creole chickens of Mexico. *Poultry Science* 99(4):1995–2000. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.031>
- McKee T y McKee JR. 2014. *Bioquímica: Las bases moleculares de la vida*. Quinta edición. McGraw-Hill Interamericana. 768 pp.
- Nelson DL y Cox MM. 2009. *Lehninger principios de bioquímica*. Quinta edición. Omega. 1296 pp.
- Pinedo C, Moraga J, Collado IG y Aleu Josefina. 2020. *Botrytis* species as biocatalysts. *Phytochemistry Reviews* 19:529–558. <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09654-8>
- Sánchez E, Moncayo MDG, Saltos EÁS y Pazmiño MEG. 2025. Modelamiento matemático de la cinética de crecimiento de *Penicillium janthinellum* para la producción de pigmentos orgánicos. *Revista de Investigación TALENTOS* 12(1):84–95
- Štumpf S, Hostnik G, Primožič M, Leitgeb M y Bren U. 2020. Generation times of *Escherichia coli* prolong with increasing tannin concentration while the lag phase extends exponentially. *Plants* 9(12):1680. <https://doi.org/10.3390/plants9121680>
- Tripathi A y Bankaitis VA. 2017. Molecular docking: From lock and key to combination lock. *Journal of Molecular Medicine and Clinical Applications* 2(1):106. <https://doi.org/10.16966/2575-0305.106>
- Ulloa Ibarra JT y Rodríguez Carrillo JA. 2010. El modelo logístico: Una alternativa para el estudio del crecimiento poblacional de organismos. *Revista Electrónica de Veterinaria* 11(3):1–11

Pool-Martínez DA, Marin-Tun CG, Sandoval-Castro CA, Mancilla-Montelongo MG. 2026. Cinética animal: enzimas y microbios a distintas velocidades. *Bioagrociencias* 19 (2): 112–118.
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.7220>