

## MODELACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOPOLÍMEROS A PARTIR DEL ÁCIDO LÁCTICO

---

***Eliyonai Islas León***

Tecnológico Nacional de México/Instituto  
Tecnológico de Pachuca  
Pachuca, Hidalgo

***Yeria Leilani Ponce Olguín***

Tecnológico Nacional de México/Instituto  
Tecnológico de Pachuca  
Pachuca, Hidalgo

***Brandon Uriel Uribe Rodríguez***

Tecnológico Nacional de México/Instituto  
Tecnológico de Pachuca  
Pachuca, Hidalgo

***Paola Bravo Cruz***

Tecnológico Nacional de México/Instituto  
Tecnológico de Pachuca  
Pachuca, Hidalgo

***Irma Yolanda León Castelazo***

Tecnológico Nacional de México/Instituto  
Tecnológico de Pachuca  
Pachuca, Hidalgo

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



**Resumen:** El uso de plásticos convencionales elaborados con polímeros sintéticos es un problema a nivel mundial que hasta el momento no ha tenido solución o un tratamiento adecuado y que crece continuamente debido a la demanda que se tiene de plásticos para diferentes usos. Diariamente millones de personas utilizan bolsas, platos, popotes, vasos y envolturas, entre muchos otros productos que generan residuos que contaminan el aire, el suelo y el agua, siendo principalmente los dos últimos afectados, ocasionando la extinción de especies animales, deteriorando su hábitat y con ello acabando con los recursos naturales que nos ayudan a subsistir en la tierra. Actualmente se han implementado trabajos para la elaboración de polímeros biodegradables, los cuales son una alternativa que tiene como objetivo principal el cuidado del medio ambiente. Se realizó una investigación para la creación de un biopolímero con base en las propiedades poliméricas del ácido láctico obtenido del suero de leche, se muestra la primera etapa del proceso. La simulación presenta un resultado favorable en la formación del biopolímero, y se muestra también el modelamiento del biorreactor utilizado en el proceso. Se espera que en la experimentación se logre la reducción del costo de fabricación, creando así un biopolímero accesible para el consumidor, además de tratarse de un proceso que emitirá un menor índice de gases contaminantes, por lo que podemos determinarlo como una nueva alternativa planteada para combatir esta gran problemática.

**Palabras-clave:** Biopolímeros, biorreactor, lacturo, policondensación.

## INTRODUCCIÓN

En México se generan más de 5 millones de toneladas de basura anuales, se estima que cada persona utiliza 200 bolsas de plástico en promedio al año, cada minuto se compran en

el mundo cerca de un millón de botellas de material similar. El problema radica en el tiempo que tardan estos desechos en descomponerse. Actualmente, la solución a problemas de contaminación ambiental se ha enfocado en el uso mínimo de plásticos convencionales, aunado a ello, se han desarrollado importantes investigaciones para la producción de biopolímeros. Un biopolímero se define como, macromoléculas biodegradables formadas por la unión de unidades fundamentales llamadas monómeros que se repiten en una cadena, provenientes de cuatro principales fuentes: origen animal (colágeno), origen marino (quitina y quitasen), origen agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poli-láctico PLA) (Villada, Acosta y Velazco, 2009). Esta investigación tiene como tema central de estudio la elaboración de un biopolímero a partir de ácido láctico (ácido 2 hidroxipropanoico), que con base en sus propiedades tiende a formar polímeros con alto peso molecular. Las principales desventajas de este tipo de polímeros son: la baja flexibilidad y la tenacidad limitada, por lo que se busca la implementación de un aditivo que mejore las propiedades del producto. La meta de la investigación es establecer una ruta ecológica para la producción de biopolímeros a partir del ácido láctico y sus derivados.

## METODOLOGÍA

La metodología comienza con la determinación de la expresión cinética de la reacción de esterificación empleando la ley de Arrhenius, de la cual podemos obtener la constante de velocidad para la reacción, en términos de los valores establecidos por experimentaciones previas. Se hizo uso del simulador COMSOL Multiphysics® para poder realizar el modelamiento del reactor, en donde se emplea el método de Runge Kutta de cuarto orden para la obtención del tiempo y de la

conversión. Uno de los principales obstáculos es la carencia de coeficientes estequiométricos en la reacción principal, por lo que se deberá repetir la modelación en diferentes escenarios en donde se cambien los coeficientes para cada experimentación con el objetivo de observar el comportamiento de la reacción en cada caso. Para ello, se utilizaron valores previamente establecidos por diversos autores sobre el estudio del ácido láctico para poder establecer la ruta de obtención de manera experimental, obteniendo así una propuesta metodológica para poder realizar su experimentación, la cual consiste en la fermentación por medio de la poli condensación, donde se formará el polímero con bajo peso molecular. Se utiliza este método por su rapidez y accesibilidad, pues al emplear un agente extensor de cadena aumenta el peso molecular del polímero, formando así un producto más eficiente.

La fermentación de la leche se lleva a cabo en un biorreactor tipo batch a 125°C durante 20 minutos, posteriormente, el crecimiento del lactobacillus se realiza a 37°C por medio de glucosa, MgSO<sub>4</sub> y K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>. La inmovilización de la bacteria se realiza por centrifugación operando a 3800 rpm, durante 20 minutos, el análisis del ácido láctico se realiza en los azúcares que se obtienen como residuo. Para la extracción del ácido se debe poner especial atención a los factores que influyen durante el proceso como pH, concentración, agitación y temperatura (Báez, 2010).

La transformación del ácido láctico en un polímero plástico se genera a través de un proceso químico de poli condensación, donde dos moléculas de ácido láctico se convierten en una molécula cíclica llamada lacturo; este lacturo se purifica por destilación al vacío y por un proceso de fundido sin solvente se logra que los polímeros de lacturo de forma de anillo se abran y se unan extremo con extremo para formar una larga cadena de polímeros. Así se puede producir una amplia gama de

productos que varían en peso molecular y cristalinidad, permitiendo que el PLA pueda modificarse para una gran variedad de aplicaciones (Mazo, Ríos, y Restrepo, 2011).

La reacción de poli condensación entre grupos alcohol y ácido puede asociarse con una serie de reacciones de esterificación sucesivas (poliesterificación) como se muestra en la Ec. 1 y, por tanto, la cinética de esta reacción corresponde a una reacción de esterificación convencional (Lim, Auras y Rubino, 2008).

$$-d[COOH] dt = k[COOH][OH][HA] \quad (\text{Ec. 1})$$

Para la determinación de la constante de velocidad, se utilizaron valores establecidos con base en experimentación ya realizada sobre la polimerización del ácido láctico. Para la obtención de esta constante se hace uso de la Ley de Arrhenius, con un valor de Ea = 57615 kJ/mol K, con un factor pre-exponencial (A) = 3.28x10<sup>-7</sup> L<sup>2</sup> /mol<sup>2</sup> K (Pinzón, et al, 2006).

$$k_2 = k_1 e^{\left(\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right)} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

Ea = Energía de Activación

R = Constante de los gases con valor de 8.3145 kJ/mol K

k1 = Constante de velocidad a T<sub>1</sub>

k2 = Constante de velocidad a T<sub>2</sub>

## RESULTADOS

En la primera etapa de la investigación realizada, empleando la Ley de Arrhenius se obtuvo la constante de velocidad a la temperatura de 125°C que opera el biorreactor, la cual fue de 0.01982 L<sup>2</sup>/mol<sup>2</sup>s, como se muestra en la Tabla 1.

Se obtuvo el tiempo de reacción en el reactor empleando el método de Runge Kutta de cuarto orden, alcanzando una conversión del 95% del reactivo (suero de leche), utilizando como simulador Excel. De acuerdo con los cálculos realizados y tomando en cuenta que la reacción es de tercer orden y siendo el proceso isotérmico, isocórico y además adiabático, se

T (°C)	k (L <sup>2</sup> /mol <sup>2</sup> s)
100	0.00673
125	0.01982
150	0.06072
180	0.1895

Tabla 1. Constantes de velocidad a diferentes temperaturas

X <sub>A</sub>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	t (horas)
0	0	0	0	0	0
0.05	9.66	10.42	10.42	11.27	10.44
0.1	11.27	12.21	12.21	13.25	22.66
0.15	13.25	14.42	14.42	15.73	37.11
0.2	15.73	17.21	17.21	18.87	54.35
0.25	18.87	20.76	20.76	22.90	75.14
0.3	22.90	25.35	25.35	28.17	100.56
0.35	28.17	31.41	31.41	35.18	132.06
0.4	35.18	39.57	39.57	44.73	171.76
0.45	44.73	50.82	50.82	58.07	222.77
0.5	58.07	66.77	66.77	77.29	289.84
0.55	77.29	90.15	90.15	106.02	380.50
0.6	106.02	125.86	125.86	150.96	507.23
0.65	150.96	183.21	183.21	225.34	692.09
0.7	225.34	281.44	281.44	357.83	976.91
0.75	357.83	464.56	464.56	618.33	1449.31
0.8	618.33	848.19	848.19	1207.68	2319.11
0.85	1207.68	1802.71	1802.71	2862.64	4199.30
0.9	2862.64	4946.65	4946.65	9661.42	9584.42
0.95	9661.42	22901.15	22901.15	77291.40	<b>39343.99</b>

10.93

Tabla 2. Método de Runge Kutta de cuarto orden para obtener el tiempo de reacción a una concentración de 95%

t (horas)	X <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	C <sub>B</sub>
0	0	0.51099	0.00000
0.003	0.05	0.48544	0.02555
0.006	0.1	0.45989	0.05110
0.010	0.15	0.43434	0.07665
0.015	0.2	0.40879	0.10220
0.021	0.25	0.38324	0.12775
0.028	0.3	0.35769	0.15330
0.037	0.35	0.33214	0.17885
0.048	0.4	0.30659	0.20440
0.062	0.45	0.28104	0.22995
0.081	0.5	0.25550	0.25550

0.106	0.55	0.22995	0.28104
0.141	0.6	0.20440	0.30659
0.192	0.65	0.17885	0.33214
0.271	0.7	0.15330	0.35769
0.403	0.75	0.12775	0.38324
0.644	0.8	0.10220	0.40879
1.166	0.85	0.07665	0.43434
2.662	0.9	0.05110	0.45989
<b>10.929</b>	<b>0.95</b>	<b>0.02555</b>	<b>0.48544</b>

Tabla 3. Concentración de la reacción gg

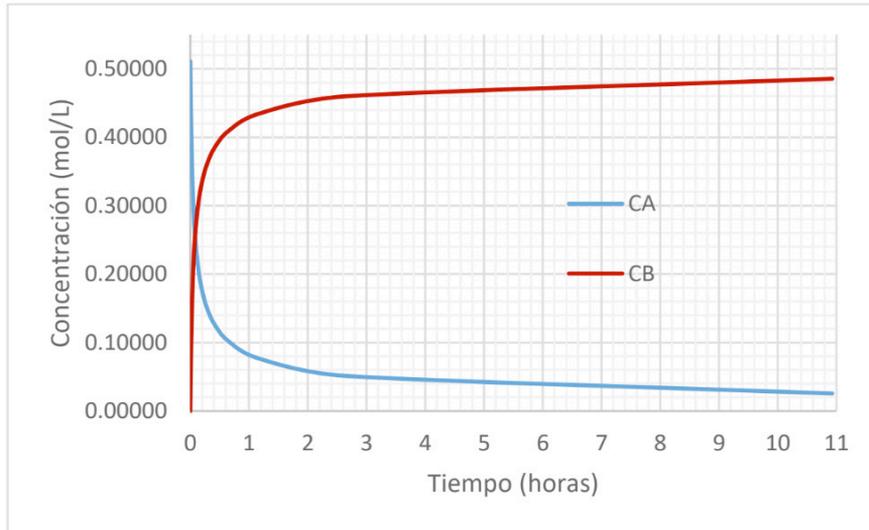


Figura 1. Comportamiento de la reacción A→B. Donde:

A→Suero de leche

B→Ácido láctico

VARIABLE	VALOR
Volumen inicial del reactor	10 m <sup>3</sup>
Densidad del monómero	800kg/m <sup>3</sup>
Densidad del polímero	1100kg/m <sup>3</sup>
Densidad del agua	1000kg/m <sup>3</sup>
Peso molecular del monómero	0.1 kg/kmol
Peso molecular del polímero	0.1 kg/kmol
Peso molecular del agua	0.018 kg/kmol
Constante de velocidad	0.00166
Tiempo de computo	11.2 min

Tabla 4. Datos utilizados en la simulación de Comsol

estimó que el tiempo de reacción es de 10.93 horas, como se muestra en la Tabla 2.

La concentración del ácido láctico en el tiempo de reacción obtenido se muestra en la Tabla 3. En la Figura 1, se muestra el comportamiento del ácido láctico dentro del reactor.

En la segunda etapa de la investigación, se realizó la simulación del reactor, con los datos obtenidos previamente en la primera etapa y que se muestran en la Tabla 4. De igual forma, se obtuvieron las gráficas de concentración (Figura 2), volumen del reactor (Figura 3) y la masa del monómero (Figura 4).

## CONCLUSIONES

Basados en la modelación del reactor, se puede observar que la concentración del

ácido láctico ( $C_B$ ) aumenta conforme pasa el tiempo y la de la leche ( $C_A$ ) disminuye. Este comportamiento se aprecia también en el modelo obtenido mediante el software Comsol Multiphysics®; por lo tanto, se concluye que el comportamiento en el biorreactor es bueno, se tiene una alta conversión, lo que favorece la obtención del ácido láctico, el cual es el tema central de estudio.

Por el contexto actual, se sientan las bases para la experimentación, la metodología se enfoca en el diseño del biorreactor, así como en el planteamiento de una ruta de obtención del ácido láctico con datos previamente establecidos por diversos autores, que han realizado la experimentación.

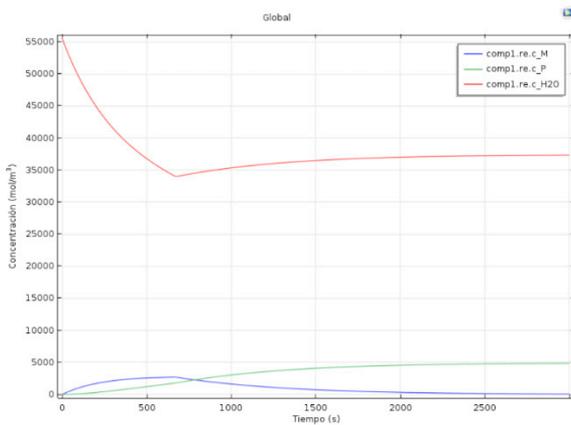


Figura 2. Comportamiento de las concentraciones dentro del reactor

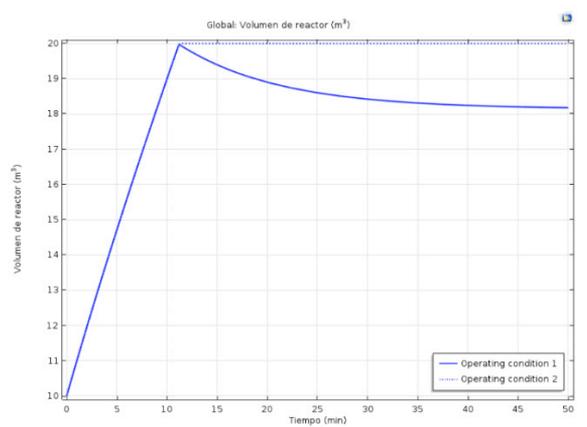


Figura 3. Volumen del reactor

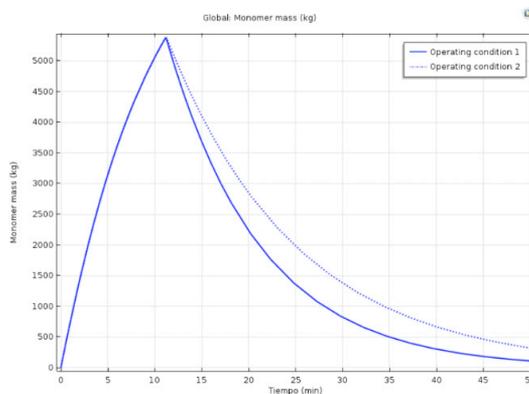


Figura 4. Masa del monómero

## REFERENCIAS

Báez, J. *Cómo obtener un polímero degradable en el laboratorio: Síntesis de la poli (D, L-lactida) y caracterización por RM'H.* Educación química. Vol. 21 Núm 2. 2010 Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X1830168X>.

Lim, L., Auras, R. y Rubino, M. **Processing Technologies for poly (lactic acid).** Progress in Polymer Science. Vol. 33. Núm 8. 2008. Recuperado de <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-ce9cfa3b-8ca3-3398-be3a-dcd2497d8937>.

Mazo, P., Rios, L. y Restrepo, G. **Síntesis de poli ácido láctico y poli ricinoelato empleando calentamiento por microondas y su utilización en la producción de termoplásticos de poliuretano.** Polímeros: ciencia y tecnología. Vol. 21. Núm 2. 2011. Recuperado de: <https://revistapolimeros.org.br/article/doi/10.1590/S0104-14282011005000027>.

Pinzón, J., Martínez, J., Espinoza, A., Pérez, A. y Narváez, P. **Polymerization of D-lactic acid by direct melt polycondensation, kinetics study of polymerization stage.** Revista Colombiana de Química. Vol 35, núm 2, 2006. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcq/v35n2/v35n2a02.pdf>.

Villada, H., Acosta, H. y Velasco, R. **Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables.** Revista Temas agrarios. Vol. 12 Núm. 2. (2007). Recuperado de: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/652>.