

Acido Poliláctico:

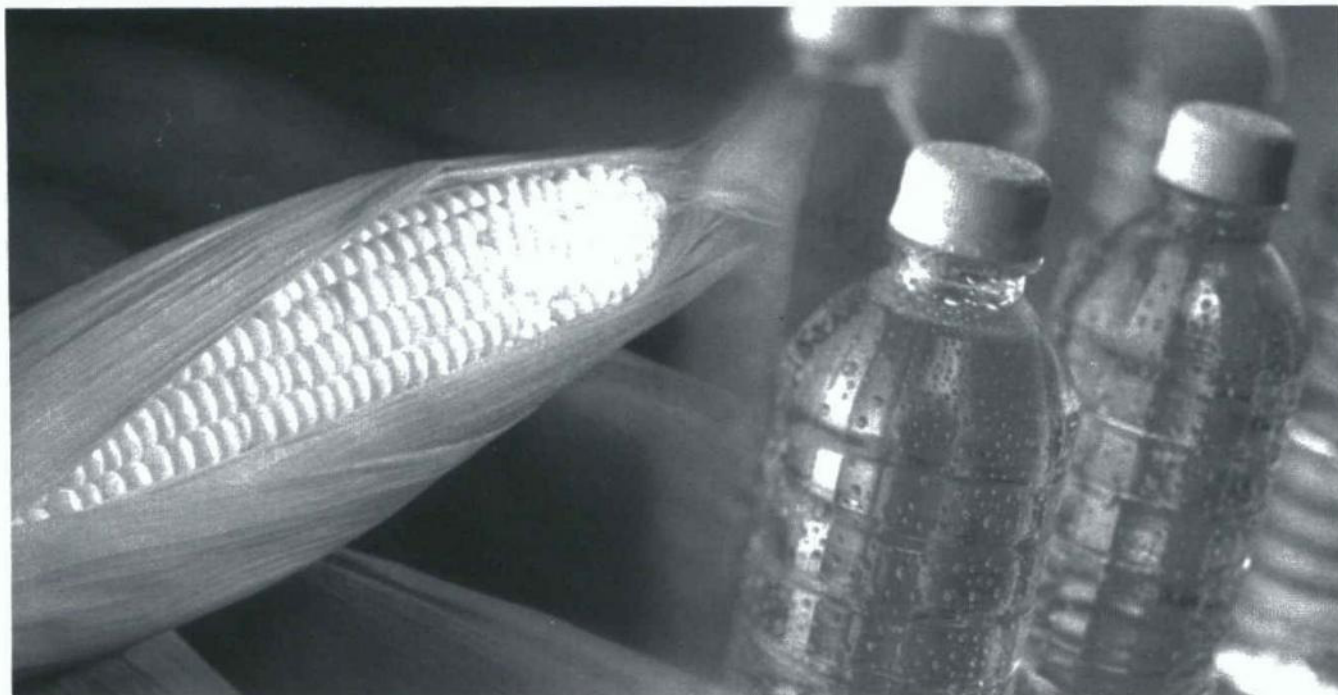
Un plástico biodegradable a partir del almidón

LESLY PATRICIA TEJEDA BENÍTEZ
Ing. Química - Magíster en Ing Ambiental
Universidad de Cartagena

ANGEL VILLABONA ORTIZ
Ing. Químico - Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Universidad de Cartagena

CANDELARIA TEJADA TOVAR
Ing. Química - Especialista en Química Analítica
Universidad de Cartagena

LEANNY MALENA TEJEDA BENÍTEZ
Ing. de Alimentos



Resumen: En la búsqueda de soluciones al problema de disposición de residuos sólidos no biodegradables como son los plásticos, se han estudiado alternativas para la obtención de polímeros biodegradables, como el ácido poliláctico, polímero biodegradable que puede producirse a partir del almidón como materia prima. Este artículo muestra los procesos para la producción de ácido poliláctico, sus propiedades y uso como sustituto de los plásticos tradicionales.

Palabras Clave: ácido láctico, ácido poliláctico, almidón, fermentación, polimerización

Introducción

Actualmente los polímeros, comúnmente denominados plásticos, ocupan un papel fundamental en la vida del hombre. Los polímeros se clasifican en naturales y artificiales. Entre los naturales, se hallan los carbohidratos como el almidón y la celulosa. Los polímeros artificiales son aquellos sintetizados por el hombre a partir de derivados del petróleo. Los plásticos convencionales son muy estables a las acciones ambientales, y de lenta degradación debido a que son polímeros demasiado largos y compactos como para ser atacados y degradados por los organismos descomponedores. En contraste, los plásticos basados en polímeros derivados de vegetales tienen una estructura que puede ser destruida por los microorganismos.

Ante la inminente escasez del petróleo y la gran acumulación de residuos sólidos en el planeta debido a su lenta descomposición, el hombre se ha visto en la necesidad de desarrollar nuevos productos que favorezcan la protección y preservación del medio ambiente. Hoy por hoy el mayor porcentaje de acumulación en residuos sólidos lo aportan los plásticos tradicionales cuya principal fuente de obtención es el petróleo que a su vez es un recurso no renovable y contaminante en su proceso de extracción, transporte y refinación.

Para contrarrestar estos efectos se estudia la producción de nuevos plásticos que no dependan del petróleo y que muestren una rápida descomposición cuando son desechados después de su uso. Una de estas alternativas es el ácido poliláctico, polímero del ácido láctico obtenido en la fermentación del almidón. Investigaciones recientes están encaminadas a la optimización del proceso de obtención del ácido poliláctico a partir de diversas fuentes vegetales como maíz y yuca con el fin de hacer su precio competitivo frente a los plásticos tradicionales. En Colombia, universidades como EAFIT y la Universidad del Valle se ha obtenido y patentado ácido poliláctico a partir de la yuca.

En este artículo se presenta una descripción de los procesos requeridos para obtener el ácido láctico por

fermentación del almidón y su posterior polimerización en ácido poliláctico. Se muestran adicionalmente las propiedades del ácido poliláctico y sus aplicaciones.

Almidón

El almidón es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales. Son importantes fuentes de almidón el maíz, trigo, papa, yuca, ñame y otros. El almidón más importante desde el punto de vista industrial es el de maíz. El almidón no es realmente un polisacárido, sino la mezcla de dos, la amilosa y la amilopectina. [1] Ambos están formados por unidades de glucosa, en el caso de la amilosa unidas entre ellas por enlaces a 1-4 lo que da lugar a una cadena lineal y en el caso de la amilopectina, aparecen ramificaciones debidas a enlaces a 1-6.

La figura 1 muestra la estructura del almidón.

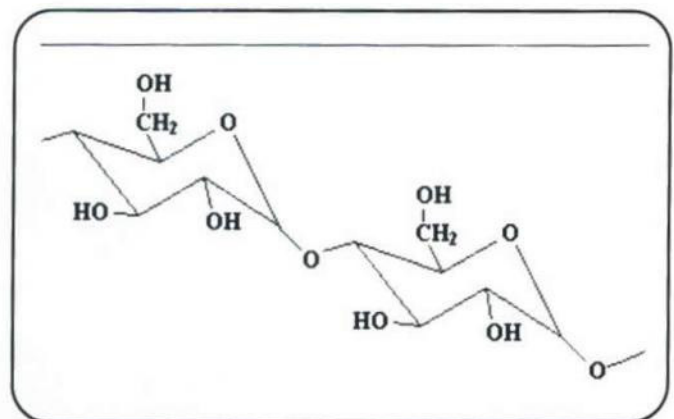


Figura 1. Estructura molecular del almidón.
Tomado de ALARCON[1]

El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que, en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas o granos, como muestra la figura 2.

Los granos de almidón son relativamente densos, insolubles y se hidratan muy mal en agua fría. Pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad. [1]

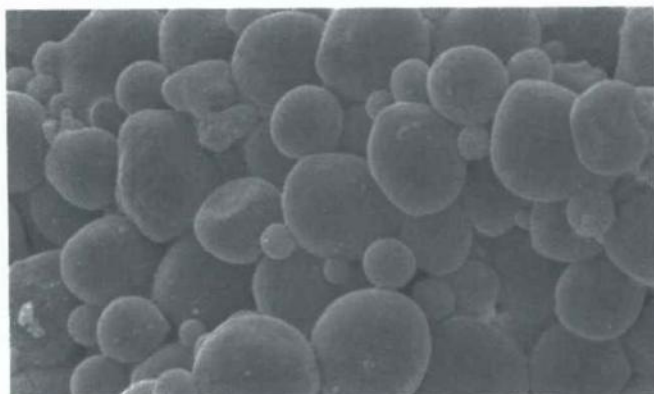


Figura 2. Granos del almidón de maíz.
Tomada de <http://www.biologia.edu.ar>

Acido láctico

El ácido láctico, 2-hidroxi-propanoico, es un compuesto muy versátil utilizado en industrias química, farmacéutica, de alimentos y del plástico. Tiene un carbono asimétrico lo cual da lugar a actividad óptica. Existen dos isómeros ópticos, el D(-) Láctico y L(+) Láctico. El isómero L(+) es producido por los músculos humanos ante una actividad física intensa y ha sido usado en una gran variedad de aplicaciones que incluyen la industria de los alimentos, la farmacéutica y la de los cosméticos. En su estado natural es una mezcla óptimamente inactiva compuesta por partes iguales de ambas formas, conocida como mezcla racémica. En estado puro son sólidos altamente giroscópicos de punto de fusión bajo, el cual es difícil de determinar debido a la extrema dificultad de producirlo anhidro.

Ambas formas isoméricas del ácido láctico pueden ser polimerizadas y se pueden producir polímeros con diferentes propiedades dependiendo de la composición. El ácido láctico es un líquido viscoso, incoloro y no volátil. Su fórmula molecular se muestra en la figura 3.

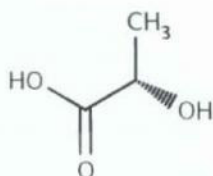


Figura 3. Estructura del ácido láctico.
Tomado de Biological Magnetic Resonance Data Bank[2]

El ácido láctico puede ser obtenido por vía química o biotecnológica. La producción biotecnológica está basada en la fermentación de sustratos ricos en carbohidratos por microorganismos. Se busca que los microorganismos utilizados sean preferiblemente termófilos, que fermenten rápida y completamente sustratos baratos, con adición mínima de nutrientes nitrogenados, que crezcan en condiciones de valores reducidos de pH, presenten poca producción de biomasa y una despreciable cantidad de subproductos.

Fermentación láctica del almidón

La fermentación es un proceso natural realizado por bacterias lácticas amilolíticas en condiciones anaerobias. Los microorganismos que pueden utilizarse para la producción de ácido láctico, pertenecen a los géneros *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Lactococcus*, *Vagococcus*, *Enterococcus* y *Aerococcus*. *Lactobacillus delbrueckii* es el microorganismo utilizado en la producción industrial, ya que tiene la ventaja de consumir eficientemente glucosa y ser un microorganismo termófilo con temperatura óptima de crecimiento en el rango de 45 a 62°C, lo que reduce costos de enfriamiento y esterilización, así como riesgos de contaminación microbiológica en el fermentador. [3,11]

La fermentación del almidón es un proceso natural, conducido bajo una capa de agua sobrenadante (3 a 4 cm por encima del almidón) para mantener la anaerobiosis del proceso. Los microorganismos que realizan la fermentación provienen del medio ambiente y del agua utilizada. El período de fermentación varía según la región y las condiciones climáticas. En climas tropicales la fermentación lleva de 30 a 40 días. Con el propósito de acelerar la fermentación y disminuir el tiempo de permanencia del almidón en los tanques de fermentación, se utilizan inóculos que pueden ser aguas usadas en fermentaciones o previas o almidón fermentado. Sea cual sea el procedimiento utilizado en la fermentación del almidón, la principal fase del proceso es caracterizada por la formación de burbujas de gas en la masa de almidón, espumas en la superficie

del agua sobrenadante y aumento de la acidez titulable, hasta finalizar en un pH de 3.0. [11]

Secado del almidón fermentado

El almidón se seca al sol en un periodo de 6 a 14 horas dependiendo de las condiciones de radiación solar. Para lograr esto, el almidón se esparce sobre láminas de polietileno. En climas tropicales de alta radiación solar como Colombia, el tiempo de secado es de 6 horas. Al final del secado el almidón pasa por un proceso de molienda y cernido para eliminar terrones. La molienda se realiza a través de rodillos y el cernido se hace por medio de mallas. [1]

Separación y Purificación del ácido láctico

Durante la fermentación del almidón, se producen otros ácidos además del ácido láctico, por lo cual es necesaria su separación. En la mayoría de los procesos, el ácido láctico es recuperado bajo la forma de lactato de calcio. Los tratamientos posteriores, van a depender de la pureza deseada e incluyen: esterificación con metanol, purificación con resinas de intercambio iónico, extracción con solventes, uso de tecnología de membranas como ultrafiltración, ósmosis inversa y electrodiálisis. La electrodiálisis puede utilizarse simultáneamente a la fermentación, empleando un sistema de recirculación, este método permite remover el ácido a medida que se produce, eliminando la necesidad de agregar agentes neutralizantes. Recientemente se ha evaluado la utilización de diálisis Donan como pretratamiento del caldo de fermentación y electrólisis con membrana bipolar para la extracción del lactato. [3]

Acido Poliláctico

El ácido poliláctico (APL) es un biopolímero termoplástico biodegradable que ha encontrado numerosas aplicaciones ya que presenta un amplio

rango de propiedades, desde el estado amorfo hasta el estado cristalino; propiedades que pueden lograrse manipulando las mezclas entre los isómeros D(-) y L(+), los pesos moleculares, y la copolimerización. [3]

Polimerización del ácido láctico

La existencia de dos grupos funcionales en el ácido láctico posibilita convertirlo directamente en poliéster vía reacción de policondensación. Sin embargo la reacción de policondensación convencional no produce APL de alto peso molecular, a menos que se usen solventes orgánicos para la destilación azeotrópica del H₂O condensada y los tiempos de polimerización son largos. La policondensación convencional rinde un polímero frágil y de aspecto vidrioso que tiene un rango de aplicaciones limitado. Para la polimerización del APL se puede seguir las siguientes rutas:

- El ácido láctico es polimerizado en grandes cantidades para producir moléculas de APL de bajo peso molecular, de apariencia vidriosa y frágil. Este producto tiene aplicaciones reducidas, a menos que agentes de acoplamiento externo sean adicionados para aumentar su peso molecular.
- El ácido láctico es polimerizado en presencia de solventes para producir APL de alto peso molecular
- La tercera ruta comprende la purificación, apertura y polimerización del anillo de lacturo para producir moléculas de alto peso molecular. Esta vía requiere la obtención de un intermediario, el lacturo, dímero de ácido láctico.
- Debido a la complicación relativa, el costo de la polimerización vía lacturo y la necesidad de la modificación de las propiedades de APL para diferentes tipos de aplicaciones, una ruta alternativa de polimerización ha adquirido mayor interés. Comprende la condensación del polímero usando extensores de cadena para

producir moléculas de APL de alto peso molecular. Los extensores de cadena son usualmente compuestos bifuncionales de bajo peso molecular que incrementan el peso molecular del polímero mediante reacciones. [10]

Propiedades del APL

El APL tiene propiedades mecánicas en el mismo rango de los polímeros petroquímicos, a excepción de una baja elongación. Esta propiedad puede mejorarse durante la polimerización (por copolimerización) o por modificaciones después de la polimerización con la adición de plastificantes [10]. La Tabla 1 muestra algunas propiedades del APL en comparación con otros plásticos convencionales.

Polímero	Fuerza Tensión (MPa)	Módulo Tensión (GPa)	Temp. máxima (°C)
PEBD	6.2 – 17.2	0.14 – 0.19	65
PEAD	20.0 – 37.2	-	121
PET	68.9	2.8 – 4.1	204
PS	41.3 – 51.7	3.1	78
PP	33 – 37.9	1.1 – 1.5	121
PLA L(+)	40 - 60	3 - 4	50 – 60

Tabla 1. Comparación de las propiedades del APL con plásticos convencionales. Tomado de SERNA [10]

Otras limitaciones del APL, comparado con otros empaques plásticos, es la baja temperatura de distorsión; esto puede ser un problema en aplicaciones donde el material de empaque es expuesto a picos de calentamiento durante el llenado, transporte o almacenamiento y puede finalmente deformarse. El APL se deja imprimir y puede incluso no necesitar tratamientos antes de la impresión.

El APL puede ser duro como el acrílico o blando como el polietileno, rígido como el poliestireno o flexible como un elastómero. Puede formularse para obtener una variedad de resistencias. Las resinas de APL pueden someterse a esterilización con rayos gama y son estables cuando se exponen a los rayos ultravioleta. Otras propiedades de interés del APL son la suavidad y resistencia al rayado y al desgaste. [4]

El APL puede hidrolizarse fácilmente a ácido láctico, mediante la adición de agua para luego ser nuevamente polimerizado. Esta sería una ventaja para el reciclaje y la biodegradación de los productos de APL. La Figura 4 ilustra el ciclo del APL y muestra su sostenibilidad ambientalmente segura. [8]

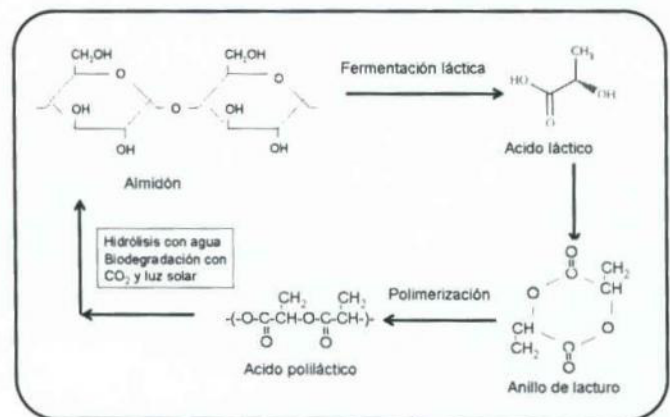


Figura 4. Ciclo del ácido poliláctico. Adaptado de FAISAL[7]

Aplicaciones del APL

El APL ha sido usado en la elaboración de empaques para la industria de alimentos, como yogurt, mantequilla, margarina y quesos debido a que ofrece una barrera protectora contra la luz, grasas, humedad y gases. Gracias a su transparencia y brillo y su facilidad de procesado en la extrusión y el termoconformado, se utiliza ya en piezas rígidas de termoconformado. Su rigidez permite además utilizar paredes más delgadas, rebajando el peso de las piezas frente a las mismas hechas en PET. [9, 12]

En el campo de la medicina el APL tiene grandes aplicaciones como material de sutura, materiales ortopédicos como implantes, tornillos, broches, placas,



grapas, en cirugía reconstructiva. El APL es utilizado en la creación de matrices para regeneración de tejidos como piel, cartílagos, huesos, estructuras cardiovasculares, intestino, tejido urinario entre otros. Es utilizado para microencapsular y nanoencapsular medicamentos de liberación lenta como insulina, antiinflamatorios, ganciclovir, y otros. Se usa como implante en cirugía estética y reconstructiva. Se ha usado en la fabricación de vasos desechables, platos y similares, así como en otros ámbitos como el de la telefonía o tarjetas inteligentes sustituyendo materiales como el PVC. [6]

Conclusiones

El ácido poliláctico, APL es un poliéster alifático biodegradable producido a partir de recursos naturales renovables. Se espera que en el futuro los polímeros de ácido láctico como el poliláctido, desempeñen un papel importante no solo en la industria farmacéutica, sino también en la industria textil y de empaques; para esto es necesario llevar a cabo una producción comercialmente rentable mediante la optimización de las tecnologías de producción y las propiedades del material.

La ventaja del APL en la sustitución de los polímeros convencionales radica en su biodegradabilidad, independencia de recursos no renovables como el petróleo, obtención a partir de recursos agrícolas renovables, facilidad de reciclaje. Estas ventajas tendrán consecuencias en la disminución de los volúmenes de residuos sólidos que enfrentan actualmente todas las naciones del mundo.

Bibliografía

- ALARCON, F., DUFOUR, D., "Almidón agrio de yuca en Colombia", 1998
- BELLO, D., "Revisión sobre plásticos biodegradables con especial énfasis en los polilactatos" Revista ICIDCA Volumen 38 No 3, 2004.
- CHANG, J., YEONG, U., DONGHWAN, C., GIANNELIS, E., "Poly(lactic acid) nanocomposites: comparison of their properties with montmorillonite and synthetic mica (II)", Department of Polymer Science and Engineering, Kumoh National University of Technology, Kumi 730-701, South Korea (2002)
- DATTA, R., TSAI, S., BONSIGNORE, P., MOON, S., and FRANK, J., "Technological and economic potential of poly(lactic acid) and lactic acid derivatives." FEMS Microbiology Reviews, 1995, 16:221-231
- DRUMRIGHT, Ray E., GRUBER, Patrick R., and HENTON, David. "Polylactic Acid Technology." Advanced Materials, 2000, 12(23):1841-1846
- FAISAL, M., SAEKI, T., TSUJI, H., DAIMON, H., "Recycling of poly lactic acid into lactic acid with high temperature and high pressure water", Waste Management and the Environment , Department of Ecological Engineering, Toyohashi University of Technology, Japan. Disponible en <http://www.aist.go.jp>
- GRENGROSS, Tillman and Slater, Steven. "How green are green plastics?" Scientific American, 2000, 283(2):36-41
- LUNT, J y SHAFER, A. "Polylactic Acid Polymers from Corn: Potential Applications in the Textiles Industry." (2 0 0 2) D i s p o n i b l e e n <http://www.cdpoly.com/pdf/lunttech.pdf>
- SERNA, Liliana, RODRIGUEZ, Aida "Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones." Universidad del Valle.
- SERNA, Saldivar Sergio, Refinación de almidón y producción de jarabes glucosados a partir de sorgo y maíz. Revista Transferencia Año 10, Número 42, Tecnológico de Monterrey, 1998
- STONE, A, "Biodegradable Packaging Foam Plasticized with Polylactic Acid Made from Wheat Starch, Protein Blend" Feed Science, 2002

Biological Magnetic Resonance Data Bank