

Artículo original

FACTIBILIDAD DE LA OBTENCION DE ACIDO POLILACTICO A PARTIR DE LACTOSUERO

FEASIBILITY OF OBTAINING POLYLACTIC ACID FROM WHEY

Luis E. FAUROUX⁽¹⁾, Paula LEON⁽²⁾, Omar J. DEGAETANI⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas
Universidad Nacional de La Matanza
lfauroux@unlam.edu.ar

⁽²⁾ Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas
Universidad Nacional de La Matanza
pleon@unlam.edu.ar

⁽³⁾ Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas
Universidad Nacional de La Matanza
odegaetani@unlam.edu.ar

Resumen:

El lactosuero es un subproducto de la fabricación de quesos y manteca, y a causa del costo de inversiones, es habitualmente descartado sin tratamiento, o uso posterior, con el consiguiente riesgo ambiental. Este artículo aborda el estudio de factibilidad de la obtención de ácido poliláctico (PLA), a partir de este lactosuero, como materia prima para impresiones 3D, hilos de sutura biodegradables, etc., teniendo en cuenta que esto representa también un beneficio para el ambiente.

El estudio de mercado indicará la conveniencia de producir uno, otro, o una producción mixta, el PLA tiene dos formas, L(+) y D(-), siendo el isómero L(+), el biodegradable y metabolizado por el organismo humano. La escala, inicialmente propuesta, es al nivel PyMEs y/o MiPyMEs, con una producción diaria entre 5.000 y 10.000 litros de lactosuero, ya sea en forma individual o conjunta. Dado que los procesos fermentativos son del tipo por lote (batch), se analizarán tres líneas de producción, de manera tal que se pueda absorber la producción diaria de lactosuero, además de una línea para el cultivo de los microorganismos fermentativos.

Asimismo, corresponde evaluar y minimizar el impacto ambiental de la planta, así como los beneficios que en este sentido se obtendrían.

Abstract:

Whey is a by-product of the manufacture of cheeses and butter, and because of the investment cost, it is usually discarded without treatment, or subsequent use, with the consequent environmental risk. This article addresses the feasibility study of obtaining polylactic acid (PLA), from this whey, as a raw material for 3D printing, biodegradable suture threads, etc., taking into account that this also represents a benefit for the environment.

The market study will indicate the convenience of producing one, the other, or a mixed production, PLA has two forms, L (+) and D (-), being the L (+) isomer, the biodegradable and metabolized by the human body. The scale, initially proposed, is at the SME and / or MSMEs level, with a daily production of between 5,000 and 10,000 liters of whey, either individually or jointly. Since the fermentation processes are of the batch type, three production lines will be analyzed in such a way that the daily production of whey can be absorbed, in addition to a line for the cultivation of the fermentation microorganisms.

Likewise, it is necessary to evaluate and minimize the environmental impact of the plant, as well as the benefits that would be obtained.

Palabras Clave: *aprovechamiento, lactosuero, impresoras, poliláctico*

Key Words: *use, whey, printers, polylactic*

Colaboradores: *Ricardo GONZALEZ, Nicolás MOLINA VIUSTAZ, Pablo A. ESPÍÑEIRA, Daniel FRANCO.*

I. CONTEXTO

El presente artículo se encuentra en el área del aprovechamiento de subproductos con potencial contaminante, la gestión del medio ambiente, y la potencial sustitución de importaciones de ácido poliláctico (PLA), disminuyendo los costos e materia prima y expandiendo la oferta de productos nacionales.

II. INTRODUCCIÓN

El lactosuero o suero de leche es un líquido claro, de color amarillo verdoso translúcido, o incluso, a veces, un poco azulado (el color depende de la calidad y el tipo de leche utilizada en su obtención). Es el coproducto más abundante de la industria láctea, resultante después de la precipitación y la remoción de la caseína de leche durante la elaboración del queso y la fabricación de caseína. Es de difícil aceptación en el mercado, ya que sus características no lo hacen apto para su comercialización directa como suero líquido. El lactosuero es un subproducto cargado de materia orgánica con potencial riesgo ambiental. Por cada kilogramo de queso producido, se eliminan 8-9 L de suero con valores DBO de 30-60 kg/m³. Entre los tipos de sueros, el más común es el de queso. Se pueden distinguir dos tipos: suero dulce y suero ácido. El primero es resultado de la acción proteolítica de enzimas coagulantes sobre las micelas de caseína (CN) de la leche, las cuales catalizan la ruptura del enlace peptídico de la κ -CN entre los aminoácidos fenilalanina en la posición 105 y metionina en la posición 106, provocando la precipitación de las CN para obtener el queso. Es el más utilizado por la industria. El suero ácido por su parte, es resultado de la coagulación ácida o láctica de las micelas de CN a nivel de su punto isoeléctrico (pH 4,6),

lo cual conlleva la desmineralización y la pérdida de su estructura. Este suero contiene más del 80% de los minerales de la leche de partida por lo que para la mayoría de sus aplicaciones debe neutralizarse, además su contenido en lactosa se ve reducido a causa de la fermentación láctica.

El ácido láctico (ácido 2-hidroxipropanoico / 2-ol-propanoico ($\text{CH}_3\text{C}(\text{OH})\text{H}_2\text{COOH}$)), fue aislado e identificado en 1780 por Scheele en una muestra de leche agria, fue reconocido como producto de fermentación en 1847 por Blondeaur, la producción por fermentación a escala mundial comenzó hacia 1881. El ácido láctico posee 2 isómeros ópticos, el D(-) (dextrógiro) y el L(+) (levógiro), además de una forma racémica constituida por fracciones equimolares de las formas L(+) y D(-). El isómero L(+) es metabolizado por el organismo humano.

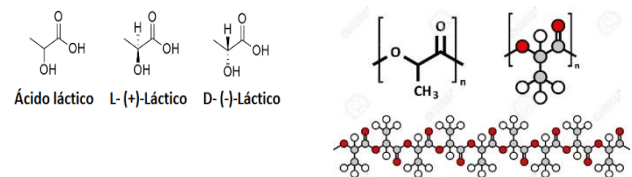


Fig 1. Acido Láctico y Poliláctico

Todas las formas, ópticas y racémica, son líquidas a temperatura y presión ambiente, siendo incoloros e insolubles en agua. En estado puro son sólidos de punto de fusión bajo, aunque de difícil determinación debido a que son altamente hidrosféricos, lo que dificulta su obtención en forma anhidra; por lo que se manipulan entre los 18 y 33 °C. El punto de ebullición del producto anhidro se ubica entre los 125 y los 140°C. Dado que ambas formas isométricas pueden ser polimerizadas, se pueden producir polímeros con diferentes propiedades según sea su composición.

Fue en los años 60 que se descubrió su utilidad en aplicaciones biomédicas al fabricarse hilos de sutura, clavos auxiliares en fracturas óseas, etc. Los PLA poseen propiedades físico-mecánicas muy apropiadas, de modo que fueron reemplazantes de los plásticos tradicionales. El rango de temperatura de su transición vítrea está dentro los 50 °C y 80 °C mientras que la de fusión se encuentra entre los 130 °C y 180 °C [1]. El inconveniente que presenta su producción son los altos costos. Sin embargo, su gran interés es la sustitución de plásticos provenientes del petróleo [2].

La realidad indica que una gran parte de los productores lácteos disponen del mismo sin previo tratamiento, o bien una parte es destinada a alimentación porcina de bajo rendimiento, dado que, hasta el momento, no se trata de una actividad rentable. Contiene diversos nutrientes que pueden ser aprovechados como materia prima en otras industrias alimentarias. Entre ellos: proteínas hidrosolubles, lactosa, vitaminas, sales y minerales. Los principales subproductos son: el suero en polvo, suero en polvo desmineralizado, lactosa en polvo, suero en polvo deslactosado y suero reducido en lactosa (RLW), aislados proteicos de suero (WPI), proteínas concentradas de suero (WPC), lactalbumina y suero permeado (WP).

III. MÉTODOS

Según el procedimiento que se utilice, se puede obtener PLA biodegradable o no. La obtención de PLA puede realizarse mediante el empleo de microorganismos como *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Nocardia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *E. coli recombinante* [3], [4], [5]. El PLA, es un compuesto

generado por la polimerización del ácido láctico obtenido de la fermentación de azúcares, por un doble proceso de fermentación y polimerización. El mismo es llevado a cabo por diferentes bacterias homolácticas con rendimientos de más del 95% respecto a la conversión del azúcar en ácido láctico. El proceso se lleva a cabo a baja concentración de oxígeno, una entre 5,4 y 6,4 y a una temperatura aproximada de 38 a 42 °C.

Inicialmente, y a los efectos de la presentación de este proyecto se considerará, para la evaluación, una muestra representativa de suero de leche sin proceso de desproteinización, con un porcentaje aproximado de humedad del 94%, un porcentaje de cenizas inferior a 0,01% y una concentración de azúcares expresado en contenido de lactosa de 0,03% y un pH inicial de 6,7, como un sustrato potencial como materia prima para el proceso de fermentación del *Lactobacillus sp* en la producción de ácido láctico. Se estima que el pH de mayor producción es de 4,4 en 18 horas de proceso, alcanzando la mayor tasa de producción y reducción de pH a las 20 horas [6].

El procesamiento del suero de lechería requiere inicialmente de una etapa de pretratamiento. Esta generalmente consiste en las operaciones de clarificación, desnatado (separación de la grasa) y pasteurizado. Esto abarca principalmente la aplicación de tecnologías de membrana para la concentración o el fraccionamiento de proteínas y de secado por spray.

Las tecnologías de membrana se aplican en la separación de compuestos y consisten en la instalación de membranas semipermeables y en la operación de filtrado por flujo cruzado a presión controlada del material a fraccionar. Como descarga de esta operación siempre se obtienen dos corrientes: el permeado que contiene

aquellos compuestos que son filtrados por la membrana semipermeable normalmente se deshecha y el concentrado o retenido que se compone de las sustancias aprovechables que se desean mantener en el producto final.

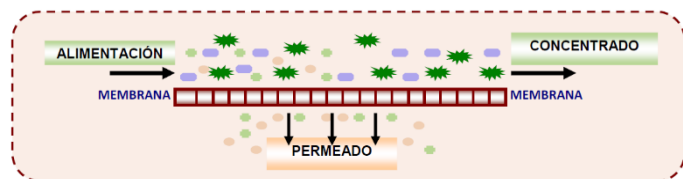
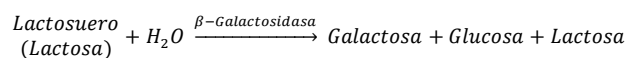


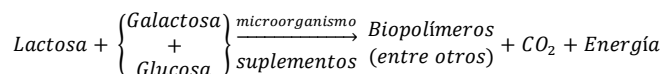
Fig 2. Tecnología de membrana

La reacción de hidrólisis de la lactosa puede ser catalizada tanto por ácidos inorgánicos (llamada hidrólisis ácida o química) como por catalizadores biológicos (denominada hidrólisis enzimática). En la catálisis química se emplean ácidos fuertes como el ácido clorhídrico o el ácido sulfúrico y se trabaja en condiciones operativas de alta temperatura (100-150°C), alcanzándose mayor velocidad de reacción con ácido clorhídrico como catalizador. En cambio, en la reacción enzimática comúnmente se utiliza la enzima lactasa (β -galactosidasa) a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente.

Entre las desventajas de la reacción ácida del lactosuero se pueden mencionar la desnaturalización de las proteínas del suero y la formación de productos indeseados a temperaturas mayores de 100°C. Mientras tanto, para la reacción enzimática las principales desventajas son la polimerización de la lactosa o de la galactosa para producir GOS (mezcla de galactooligosacáridos) y las limitaciones en la transferencia de masa que conducen a tasas de procesamiento muy lentas y elevados costos de procesamiento y enzima cuando ésta no se reutiliza.



Ec. 1



Ec. 2

IV. RESULTADOS ESPERADOS Y OBJETIVOS

Este proyecto considerará, para la evaluación, una muestra representativa de suero de leche sin proceso de desproteinización, con un porcentaje aproximado de humedad del 94%, un porcentaje de cenizas inferior a 0,01% y una concentración de azúcares expresado en contenido de lactosa de 0,03% y un pH inicial de 6,7, como un sustrato potencial como materia prima para el proceso de fermentación del *Lactobacillus* sp en la producción de ácido láctico. Se estima que el pH de mayor producción es de 4,4 en 18 horas de proceso, alcanzando la mayor tasa de producción y reducción de pH a las 20 horas [5]. Aproximando por la bibliografía, por cada kg de queso fabricado se obtiene de 9 a 12 litros de lactosuero [7], dependiendo del tipo de queso y de la cantidad de agua utilizada durante el proceso. Teniendo en cuenta la proporción más desfavorable (9 litros de lactosuero/kg de queso producido) y los datos de producción mundial de queso (FAOSTAT), la producción mundial de lactosuero en el 2005 fue de $1,6 \cdot 10^{11}$ litros.

Las funcionalidades tecnológicas que poseen las proteínas del suero son gelificación, retención de agua, solubilidad, emulsificación, espumado, espesamiento, absorción y/o retención de lípidos y flavor (aromas y sabores). Todas estas dependen de las características físicas, químicas y estructurales (tamaño, forma, composición, secuencia de aminoácidos, etc.) de las

proteínas, así como del tipo de uniones intra e intermoleculares, la rigidez / flexibilidad molecular en respuesta a variaciones en la composición del medio y principalmente por el tipo de interacciones de las proteínas del suero con los demás componentes de la matriz alimenticia.

V. DISCUSIÓN

La hipótesis principal radica en que brindando una opción rentable en el aprovechamiento del lactosuero, los productores dejarán de desprenderse del mismo. Actualmente existe una mayor demanda de ácido poliláctico, lo que implicaría una mayor facilidad de colocar el producto en el mercado, y por lo tanto justificar las inversiones en el tratamiento del lactosuero para su obtención. Así, en primera instancia se beneficiará el medio ambiente, y todo lo que lo compone, además de permitir aumentar la rentabilidad de la actividad, y del sector productor. Del mismo modo podrían disminuir los costos de los productos derivados en cuestión, que actualmente se importan, y permitir el desarrollo de las actividades relacionadas.

VI. CONCLUSIONES

El estudio de mercado indicará la conveniencia de obtener uno u otro, o en el tiempo, una producción mixta. Se utilizarán aplicaciones informáticas específicas que permitirán realizar las modelizaciones, y simulaciones, de los escenarios técnicos y financieros. La escala, inicialmente propuesta, es al nivel PyMEs y/o MiPyMEs, con una producción diaria entre 5.000 y 10.000 litros de lactosuero, analizando la posibilidad que este volumen sea provisto por sólo un productor, o varios en forma de cooperativa. Dado que los procesos fermentativos son

del tipo por lote (batch), con ciclo variable según la cepa del microorganismo de fermentación, se analizarán tres líneas de producción, de manera tal que se pueda absorber la producción diaria de lactosuero, además de una última línea para el cultivo de los microorganismos fermentativos. Según la longitud de los grupos de unidades de monómero en el polímero, presentan una gran variedad de propiedades físicas. Entre ellas se encuentra que no son tóxicos, el isómero L+ es biodegradable, además de termoplásticos, elastómeros, enantiómeros puros, piezoeléctricos, y con alto grado de polimerización y pesos moleculares muy altos. Los productos obtenidos se destacan por ser excelentes barreras para el oxígeno y los olores, solubles al agua (aunque pueden tratarse para ser insolubles y formar buenas barreras contra el vapor), contar con superficies transparentes y brillantes, y no proporcionar sabores extraños. Actualmente, se trabaja en la creación de biofilms con buenas propiedades mecánicas y que puedan ser extruidos [3].

Para el estudio de pre-factibilidad y viabilidad técnica, en estas circunstancias puede tomarse el precio informado en Infocampo para el lactosuero, entre u\$s 800 y U\$ 900 por tonelada, mientras que la tonelada de ácido poliláctico se comercializa en plataformas de e-commerce (Alibabá, MercadoLibre, Amazon, e-Bay, etc.) a un valor promedio desde u\$s 2.400 a u\$s 4.200, según sea la calidad necesaria para su posterior aplicación.

TABLA 1
RESUMEN DEL ANALISIS DE PRE-FACTIBILIDAD

Volumen diario de lactosuero (litros por día)	10.000
Total de la Inversión (u\$s)	1,8 M u\$s
Precio estimado de Venta (u\$s/ ton PLA)	3.000
Tasa de Referencia	12.0%
Valor Actual Neto (VAN)	4 M
Tasa Interna de Retorno (TIR)	48.0%
Período de Recuperación de la Inversión (PRI)	2 ~ 3 años

Cabe destacar que en este análisis no se han considerado situaciones extremas en el comportamiento de los mercados, como las ocasionadas por el COVID-19, durante el año 2020.

VII. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Bello Gil. “Plásticos biodegradables, una alternativa verde”. Ecositio. 2009.
- [2] Koller, M., Bona, R., Chiellini, et al. “Polyhydroxyalkanoate production from whey by *Pseudomonas hydrogenovora*”. *Bioresource Technology*, 99(11), 4854-4863. 2008.
- [3] Suriyamongkol, P., Weselake, R., Narine, et al. “Biotechnological approaches for the production of polyhydroxyalkanoates in microorganisms and plants

- A review”. *Biotechnology Advances*, vol. 25(2), pp. 148-175, 2007.

[4] Vieira, M.G.A., da Silva, M.A., dos Santos, L.O., Beppu, M.M. “Natural-based plasticizers an biopolymer films: A review”. *European Polymer Journal*, vol 47(3), pp. 254-263, 2011.

[5] Rojas, A.M., Montañó, L.P., Bastidas, M.J. “Producción de ácido láctico a partir del lactosuero utilizando *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*”. *Rev. Colomb. Quim.* 2015, 44 (3), 5-10. 2015

[6] Soto Montes, A. C. “Evaluación de la producción de ácido láctico empleando residuo de mora y suero de leche en un sistema de lote”. Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Medellín. 2015.

[7] Sánchez, J. “Potencial biotecnológico de bacterias tácticas silvestres en productos lácteos fermentados: actividad metabólica y producción de exopolisacáridos”. Tesis para optar el grado de Doctor. Departamento de Biología Funcional de la Universidad de Oviedo. Asturias. 2005.

Recibido: 2020-11-09

Aprobado: 2020-12-26

Hipervínculo Permanente: <http://www.reddi.unlam.edu.ar>

Datos de edición: Vol. 5 - Nro. 2 - Art. 3

Fecha de edición: 2020-12-30

