

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v3i5.0013>

## DISEÑO DE UNA PLANTA A ESCALA INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO MEDIANTE FERMENTACIÓN LÍQUIDA

### DESIGN OF AN INDUSTRIAL SCALE PLANT FOR THE ELABORATION OF LACTIC ACID THROUGH LIQUID FERMENTATION

García-Mujica, Robert<sup>1\*</sup>; Benavides-Cedeño, Genesis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.

\*Correo: robertdaniel@live.com.ar.

#### Resumen

El presente trabajo se realizó con el fin de diseñar una planta industrial de ácido láctico que utilice como sustrato el suero lácteo residual de los procesos aplicados en las industrias lácteas del cantón Santa Ana, ubicado en la provincia de Manabí. Se inició la investigación calculando la demanda potencial anual de ácido láctico en la provincia de Manabí (\$273,600), misma que representa el 16% del mercado nacional, tomando esto como referencia nos propusimos acaparar el 10% del mercado local (\$27.360). Se llevó a cabo una investigación bibliográfica donde se determinó que el mejor rendimiento corresponde al 8,3% para la producción de ácido láctico a partir de la fermentación del lacto suero utilizando como microorganismo la bacteria *lactobacillus bulgaricus*. Se realizaron los balances estequiométricos de la ecuación biológica, balances de masa y energía para producir 48 litros de ácido láctico a diario, que cubre la demanda propuesta (10%). A partir de esto se realizó el dimensionamiento de la planta y se elaboraron los respectivos diagramas de flujo, bloques y equipos que describen el proceso de producción.

**Palabras clave:** ácido láctico, suero lácteo, fermentación, *lactobacillus bulgaricus*, diagrama.

#### Abstract

The present work was carried out with the aim of designing an industrial lactic acid plant that would use the residual whey from the processes of the dairy industries of the canton of Santa Ana, located in the province of Manabí, as a substrate. The investigation was begun by calculating the potential annual demand for lactic acid in the province of Manabí (\$ 273,600), which represents 16% of the national market, taking this as a reference we set out to capture 10% of the local market (\$ 27,360). A bibliographic investigation was carried out where it was determined that the best yield was 8.3% for the production of lactic acid from the fermentation of the whey using the bacterium *lactobacillus bulgaricus* as a microorganism. The stoichiometric balances of the biological equation, mass and energy balances were then made to produce 48 liters of lactic acid daily, which covers the proposed demand (10%). From this, the sizing of the plant was carried out and the respective flow diagrams, blocks and equipment that describe the production process were prepared.

**Keywords:** lactic acid, whey, fermentation, *lactobacillus bulgaricus*, diagram.

#### Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 17 de septiembre de 2019

Fecha de aceptación: 09 de diciembre de 2019

Fecha de publicación: 10 de enero de 2020

## 1. Introducción

El crecimiento de la economía principalmente en términos de bienestar y poder adquisitivo, está incrementando la demanda de la biotecnología, a eso se suma la ampliación de la producción agroindustrial, que también contribuye al aumento de la demanda (PROECUADOR, 2013a).

Los agentes biológicos demuestran una aplicación controlada sobre material generalmente orgánico para manipular la obtención de productos metabólicos a nivel celular y para producir más células de las originadas. Mediante la técnica de la fermentación se puede ofrecer al mercado un producto que explota las características de los sustratos, obteniendo bioproductos de mayor valor agregado (PROECUADOR, 2013b).

Países industrializados utilizan el suero de leche para la elaboración de suero en polvo, lactosa hidrolizada y proteína comestible (Onwulata & Huth, 2009). No obstante, puede emplearse como materia prima en la elaboración de ácido láctico, el cual posee diversas aplicaciones en las industrias farmacéuticas, cosméticas, químicas

y alimentarias (García et al., 2010). Además, la posibilidad de transformarlo en un polímero biodegradable ha dirigido las investigaciones hacia la disminución de los costos de producción a través de nuevos microorganismos que permitan generar altas concentraciones de ácido láctico y, por tanto, altos rendimientos (Serna-Cock, Rodríguez-de Stouvenel, 2005).

Las industrias que desean competir en una economía global no pueden ignorar durante mucho tiempo los costes de funcionamiento derivados de un diseño poco eficiente de su planta. En un mundo de competencia deben analizarse todos los posibles escenarios hacia la reducción de costes (Vanaclocha, 2004).

El diseño de la industria adquiere un papel fundamental en el que se deben conjugar los principios básicos del diseño, en un plan eficiente de flujos de materiales y de personas, una distribución efectiva de las instalaciones y una eficiente operación del proceso, considerando el carácter biológico y perecedero de las materias primas y de los productos (Vanaclocha, 2004).

En este trabajo se efectuó el diseño de una planta a escala industrial para la elaboración de un bioproducto (ácido láctico) mediante fermentación líquida, utilizando lactosuero como sustrato. Con el diseño de la planta se pretende describir las operaciones unitarias de la planta, los métodos de aplicación, el equipamiento necesario, escala y capacidad de equipos necesarios para la implementación del proceso productivo, tomando en cuenta varios factores que ayudan a la ejecución de dicha planta, entre los cuales se encuentran la ubicación de la planta y demás factores socioeconómicos, culturales y legales. La importancia de diseñar una planta de manera adecuada es definir el éxito o fracaso de la entidad, esto ayudará a la reducción de costos por flujos de transporte innecesarios y lograr la optimización del producto.

## **2. Metodología**

El campo de acción al que se dirige esta investigación es el de Ingeniería en procesos y diseño de plantas, debido a que realizó el diseño y distribución de una planta para la producción de ácido láctico con el fin de aprovechar un residuo líquido y

obtener un producto de alto valor agregado.

En la elaboración del proyecto se empleó la investigación científica, complementándola con el uso de conocimientos científicos con fundamentos cualitativos para el diseño y producción de una planta a escala industrial de ácido láctico.

Se utilizaron métodos teóricos con el fin de determinar conceptos específicos en el trabajo, con referencia obtenida de libros, revistas científicas y documentos académicos.

### **2.1. Recolección de información base para el diseño de la planta**

Se realizó una búsqueda bibliográfica que permitió determinar el volumen y cantidad referente a la producción de leche en el país y en Manabí. Además, se revisó información propuesta en base a las necesidades de la provincia en este tópico.

Cabe señalar que la información obtenida de la revisión bibliográfica permitió generar los respectivos diseños a partir de bases de cálculo estimadas en función de datos reales propuestos por instituciones

gubernamentales, privadas e investigadores independientes.

### **2.1.1. Producción del suero de leche**

#### **En Ecuador**

El Centro de la Industria Láctea del Ecuador acoge y representa legalmente a las industrias más importantes. Entre estas industrias están: Floralp S.A., Lechera Andina S.A., Agrícola Ganadera Reybanpac (Reyleche), Nestlé S.A., Industrias Lácteas Toni S.A., y Alpina Productos Alimenticios. Empresas lácteas como la Pasteurizadora Quito S.A., El Salinerito, Lácteos San Antonio (Nutri), ECOLAC, Prolachiv S.A. (Chivería), la Escuela Superior Politécnica de Manabí (ESPAM), la Universidad Técnica de Manabí extensión de Chone, y El Ordeño S.A., son las medianas industrias más relevantes del país. En su mayoría, estas industrias trabajan conjuntamente con los pequeños productores, logrando entre las grandes, medianas y pequeñas empresas satisfacer la demanda local (Vizcarra et al., 2015).

En el Ecuador la producción del suero de leche está concentrada en unas 500 queseras a nivel nacional,

según datos de esta industria. En el país, cada día más de un millón de litros de leche se destinan a la elaboración de queso, de los cuales 200000 se transforman en queso y 800000 se convierten en suero de leche.

La producción de queso genera como principal subproducto al suero de leche (Bedolla, 2004), de modo que, por cada kilogramo de queso elaborado se generan alrededor de 9 litros de suero, obteniéndose anualmente en el país un aproximado de  $2,12 \times 10^8$  litros de lactosuero (Hernández, 2003).

#### **En Manabí**

De acuerdo a las estadísticas del INEC y en base al estudio efectuado por la encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC) (INEC, 2013), la región costa Manabí produce 521845 litros/día de leche, el 70% es utilizado para la elaboración de queso, el mismo que genera aproximadamente 328762,35 litros/diarios de lactosuero.

En los talleres de lácteos de la Escuela Superior Politécnica de Manabí “Manuel Félix López” (ESPAM MFL) el lactosuero

producido corresponde a 20-30 litros diarios no recibe mayor uso, sin embargo, estudiantes de la carrera de agroindustrias han generado investigaciones sobre el uso de este subproducto, generando productos de valor agregado como: helado, bebidas lácteas fermentadas y requesón.

La mayor cantidad de leche se destina a la elaboración de queso, ya sea manualmente en las fincas o en las plantas pasteurizadoras que se han instalado en los cantones Chone, El Carmen, Flavio Alfaro, Jama, Pedernales, Paján y Santa Ana. El queso tiene su mercado en las mismas localidades, aunque sus potenciales consumidores están ubicados en Portoviejo, Manta, Guayaquil, Quito y hasta en ciudades del extranjero como Nueva York.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Demanda

Según García et al. (2018), la demanda del producto se basa en la producción y disponibilidad del ácido láctico en la provincia de Manabí, tomando como referencia el 10% del total del mercado de dicha provincia. Considerando que el precio por litro

de ácido láctico es \$28 (Precio del Laboratorio Labdin). La tabla 1 muestra los datos del Banco Central respecto a la demanda de ácido láctico.

**Tabla 1.**

*Demanda del ácido láctico*

ÁCIDO LÁCTICO		
Ecuador (\$)	Manabí (\$)	Mercado propuesto (10%) (\$)
1'710.000	273.600	27.360

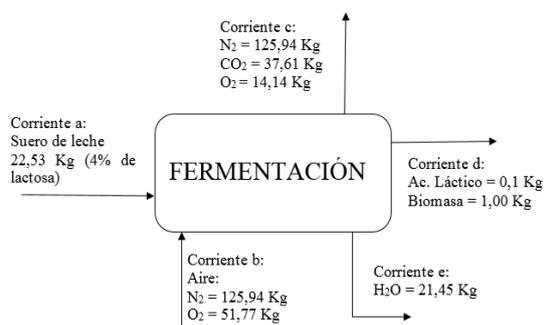
**Fuente:** Banco Central del Ecuador

La Industria de producción de ácido láctico fue diseñada con la finalidad de acaparar un 10% del mercado consumidor interno de la provincia de Manabí, estableciéndose así una producción 48 L/día del producto a partir de 750 L de suero de leche (García et al.,2018).

#### 3.2. Balance de materia a escala laboratorio

Para realizar los cálculos del balance de masa se consideró una masa de 204,86 gramos de suero de leche estandarizados, con una densidad  $\rho$ : 1,024 g/mL, este suero contenía 9,2 gramos de lactosa, por tanto, al balance de masa del proceso de fermentación ingresaron 1616,02 gramos de aire que contienen 470,8 gramos de oxígeno y 1145,22

gramos de nitrógeno. El nitrógeno del aire no reacciona en la fermentación por lo cual la entrada es igual a la salida. En el caso del oxígeno, 128,78 gramos fueron dosificados en exceso como se observa en la corriente de salida “c”, de la figura 1, junto con 342,02 gramos de dióxido de carbono. Al finalizar el proceso de fermentación se obtuvieron 0,76 gramos de ácido láctico (disueltos en 195,14 g de agua), aumentaron 9,10 gramos de biomasa (*Lactobacillus bulgaricus*). Obteniendo un rendimiento del 8,3 % de ácido láctico a partir de la lactosa inicial.



**Figura 1.** Diagrama de proceso del balance de materia del proceso de fermentación del suero de leche estandarizado.

### 3.3. Ecuación estequiométrica

A partir de la ecuación estequiométrica planteada para la obtención de ácido láctico utilizando como materia prima el suero de

leche, se observó que a partir de un mol de lactosa se obtienen 0,31 moles de ácido láctico y 0,37 moles de *Lactobacillus bulgaricus*, con una producción de 10,7 moles de dióxido de carbono. Estos valores son más altos que los reportados por Garcia et al. (2010), quienes obtuvieron 0,22 moles de ácido láctico por cada mol de lactosa.

Sin embargo, los autores Zayed & Winter (1995) y Panesar et al., (2010) reportan 0,79 y 1,69 moles de ácido láctico por cada mol de lactosa respectivamente, valores más altos que los propuestos en la presente investigación, cabe mencionar que estos autores utilizaron glucosa y trabajaron con una concentración mayor de lactosa en el suero de leche, por lo cual se asume que el enriquecimiento del medio (suero de leche) tiene influencia positiva sobre la producción de ácido láctico y crecimiento de la biomasa.

### 3.4. Producción de ácido láctico a escala industrial

La tabla 2 muestra el balance de materiales de todos los componentes que participan en el proceso de obtención del ácido láctico.

**Tabla 2.**

**Balance de masa para la producción de ácido láctico**

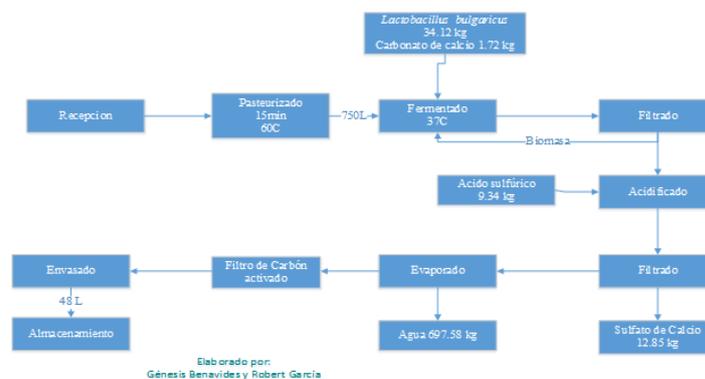
SUSTANCIA	INGRESA	CONSUME	FORMA	SALE
<b>FERMENTACIÓN</b>				
Agua (contenida en el suero 93% y agua metabólica)	697500 g	-	75.97g	697575.97 g
Suero (lactosa 4,85%)	55290 g	55290 g	-	-
Biomasa	34115 g	-	-	34115 g
Carbonato de calcio	1716,48 g	1716,48 g	-	-
<b>ACIDIFICACIÓN</b>				
Ácido sulfúrico	9338,4 g	9338,40 g	-	-
Sulfato de calcio	-	-	12848,6 g	12848,6 g
<b>EVAPORACIÓN</b>				
Agua (proceso de fermentación)	697575.97 g	691815.97	-	5760 g
Ácido Láctico	-	-	50941.44 g	50941.44
<b>TOTAL</b>	<b>1559401.86 g</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1559401.86 g</b>

Elaborado por: Génesis Benavides y Robert García (2018)

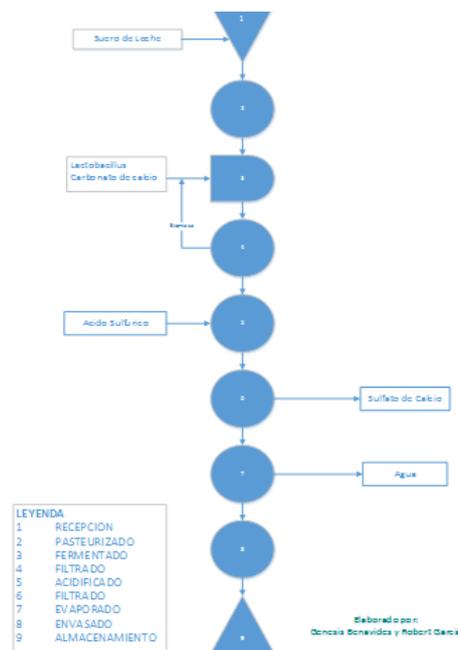
El proceso inicia con la pasteurización del suero lácteo (15 min y 60 °C) y la fermentación con el cultivo *Lactobacillus bulgaricus* a una concentración del 0,01 % a 37 °C. En esta etapa se adiciona CaCO<sub>3</sub> a una concentración de 5 g L<sup>-1</sup> con el fin de mantener el pH para que el crecimiento del cultivo no se vea afectado por la acidez del medio

(Robalino, 2017). El lactato de calcio obtenido por la fermentación, pasa a un filtro a través del cual se descarta la biomasa formada.

Con el fin de convertir el lactato de calcio en ácido láctico, se sigue un proceso de acidificación en el que se adiciona al medio, ácido sulfúrico en una relación de 27,16 g L<sup>-1</sup>. La reacción genera como residuo sulfuro de calcio, el cual no es soluble y precipita siendo eliminado por una nueva filtración. En el medio se encuentra disuelto el ácido láctico, de modo que, para concentrarlo, la solución pasa a un evaporador. Finalmente, se realiza un blanqueado con carbón activado, envasado y almacenado (Robalino, 2017). El proceso aplicado para la conversión del suero de leche en ácido láctico se desarrolla según las operaciones definidas en la figura 2.



**Figura 2.** Diagrama de bloques del proceso para la obtención de ácido láctico



**Figura 3.** Diagrama de flujo de la producción de ácido láctico

La figura 3 muestra el diagrama de flujo del proceso productivo para la obtención del ácido láctico, el proceso inicia con la recepción y pasteurización de la materia prima y culmina con el almacenamiento del producto final.

Se realizó el estudio económico del proyecto para conocer el estado financiero que podría tener la planta, de esta manera calculamos la viabilidad del proyecto. Es indispensable el cálculo del VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno), porque van a reflejar valores aproximados que tendría el flujo de caja de la empresa que queremos implementar.

Según García et al. (2018), el estudio financiero se realiza como una técnica de aprobación o desaprobación del proyecto productivo, se muestran los valores del VAN y TIR (\$ -688.097 y -0.40 %), los cuales reflejan que la planta de producción de ácido láctico no es un proyecto viable ya que el costo de producción es mayor a las ganancias que se obtienen.

#### 4. Conclusiones

El proceso de producción de ácido láctico por vía biotecnológica no alcanza altos rendimientos, debido a la baja capacidad que tiene el microorganismo (*Lactobacillus bulgaricus*) en convertir la lactosa

presente en el suero en ácido láctico. El balance de materiales permitió obtener las cantidades de insumos requeridos en cada uno de los procesos que se establecieron en los diagramas de flujo y bloques.

La razón más significativa para que se reporte una baja factibilidad en el desarrollo de este proyecto son los gastos generados (transporte de materia prima y costo de producción), debido a que son elevados en relación a las ganancias obtenidas con la elaboración de este producto.

## Bibliografía

- Bedolla, S., Dueñas, C., Esquivel, I., Favela, T., Ortiz, J., & Guerrero, R. (2004). *Introducción a la Ingeniería en Alimentos*. México D.F, México: Limusa.
- García, C. A., Arrázola, G. S., & Durango, A. M. (2017). Producción de ácido láctico por vía biotecnológica. *Temas Agrarios*, 15(2), 9-26. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/431/676-1274-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García-Mujica, R., Benavides-Cedeño, G., & Alcívar-Cedeño, U. (2018). Distribución y análisis financiero de una planta de producción de ácido láctico. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 2(3), 20-28. <https://doi.org/10.46296/yc.v2i3.0011>
- Hernández, A. (2003). *Microbiología Industrial*. San José, Costa Rica: EUNED.
- INEC. (2013). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-espac-2013/>
- Onwulata, P. & Huth, P. (2009). *Whey Protein Production and Utilization: A Brief History*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Panesar, P. S., Kennedy, J. F., Knill, C. J., & Kosseva, M. (2010). Production of L (+) lactic acid using *Lactobacillus casei* from whey. *Brazilian archives of Biology and Technology*, 53(1), 219-226. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132010000100027>
- PROECUADOR. (2013a). Obtenido de Biotecnología (Bioquímica y Biomedicina). Obtenido de: <http://www.proecuador.gob.ec/sector2/>
- PROECUADOR. (2013b). Proyectos de inversión agrupados por sectores. Obtenido de PROECUADOR.gob.ec:

- <http://www.proecuador.gob.ec/sector2/>
- Robalino, J. (2017). Obtención de ácido láctico a partir de suero de leche mediante un proceso biofermentativo utilizando un cultivo mesófilo homofermentativo. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17484>
- Serna-Cock, Rodríguez de Stouvenel, A. (2005). Producción biotecnológica de Ácido Láctico. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(1). 54-65. <https://doi.org/10.1080/11358120509487672>
- Vanaclocha, A. (2004). *Diseño de industrias agroalimentarias*. Madrid: Mundi-Prensa Libros.
- Vizcarra, R., Lasso, R., & Tapia, D. (2015). La leche del Ecuador. *Centro de la industria láctea del Ecuador*, 183. Obtenido de: [http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio\\_paginas/archivos/La\\_Leche\\_del\\_Ecuador.pdf](http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/La_Leche_del_Ecuador.pdf)
- Zayed, G., & Winter, J. (1995). Batch and continuous production of lactic acid from salt whey using free and immobilized cultures of lactobacilli. *Applied microbiology and biotechnology*, 44(3-4), 362-366.