

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**UNA REVISIÓN DE MÉTODOS PARA ELABORAR
ALCOHOL A PARTIR DE SUERO DE LECHE**

Fernanda Patricia Flores Rodríguez

Carolina Stephanie Reyes Jácome

Ingeniería en Alimentos

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero en Alimentos

Quito, 10 de mayo de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**UNA REVISIÓN DE MÉTODOS PARA ELABORAR ALCOHOL A
PARTIR DE SUERO DE LECHE**

Fernanda Patricia Flores Rodríguez

Carolina Stephanie Reyes Jácome

Nombre del profesor, Título académico Francisco Carvajal Larenas, Ph.D.

Quito, 10 de mayo de 2021

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos:	Fernanda Patricia Flores Rodríguez Carolina Stephanie Reyes Jácome
Código:	00122849 00135750
Cédula de identidad:	1500745599 1725702680
Lugar y fecha:	Quito, mayo de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Actualmente, a nivel mundial se genera una gran cantidad de suero lácteo como subproducto de la elaboración de queso; en Ecuador se obtienen 1'800.000 litros diarios que generalmente son desechados a los ríos. La producción de bioetanol a partir de suero de leche se considera una posible solución para minimizar su efecto medioambiental. Con el fin de evaluar la producción de alcohol a partir de suero de leche esta revisión analiza metodologías de un ciclo y ciclos repetidos, así como la producción de etanol a partir de suero ácido y dulce, y el efecto de distintos tipos de levadura y sustratos utilizados. Se determina el mejor tratamiento y se realizan recomendaciones para estudios futuros.

Palabras clave: Lactosuero, etanol, *Saccharomyces cerevisiae*, suero ácido, suero dulce, fermentación

ABSTRACT

Currently, a large amount of whey is obtained worldwide as a by-product of cheese making. In Ecuador, 1,800,000 liters are obtained per day, which are generally discharged into the rivers. The production of bioethanol from whey is considered a possible solution to minimize its environmental effect. In order to evaluate the production of alcohol from whey this review analyzes methodologies of one cycle and repeated cycles, as well as the production of ethanol from acid and sweet whey, and the effect of different types of yeast and substrates. The best treatment is determined, and recommendations for future studies are made.

Key words: Whey, ethanol, *Saccharomyces cerevisiae*, acid whey, sweet whey, fermentation

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	9
Metodología	11
Discusión	12
Conclusiones	15
Recomendaciones	16
Referencias bibliográficas.....	17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferentes tratamientos y sus parámetros para la obtención de etanol	15
---	----

INTRODUCCIÓN

Dentro de la industria láctea se ha podido observar que el 90% de la leche que se procesa para la elaboración de quesos es eliminada como suero lácteo; del mismo modo se ha podido percibir que la producción de este subproducto a nivel mundial por año es de aproximadamente 200 millones de toneladas en base a la producción total de queso y su crecimiento es de 1-2% anual (Osorio-González et al., 2018). Los principales generadores de suero de leche han sido Estados Unidos y la Unión Europea (mayoritariamente Francia, Italia y Alemania) con un 70% de la producción mundial (Poveda, 2013). Por otra parte, en América Latina la mayor producción de este compuesto proviene de Argentina y Brasil; sin embargo, en Ecuador también existe una obtención significativa (Osorio-González et al., 2018).

Considerando la producción láctea en el Ecuador, se conoce que la generación actual de suero de leche es de 1'800.000 litros diarios, los cuales provienen de cerca de 4.500 queseras alrededor de todo el país (El telégrafo, 2020). El estudio de Cuellas y Wagner ha mostrado que, por cada kg de queso, se producen 9 litros de este compuesto el cual es comúnmente desechado (Cuellas & Wagner, 2010). Además, se ha observado que el lactosuero es utilizado para engorde de los cerdos y su mayoría se lo vierte en los ríos, contaminándolos debido a la alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y a la demanda química de oxígeno (DQO), con valores de $50 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ y $80 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ respectivamente (Aráuz, 2020).

El suero lácteo contiene un gran valor nutricional ya que contiene más del 50% de los sólidos de la leche; así, se encuentra vitaminas, proteínas, lactosa y minerales (Cuellas & Wagner, 2010). Tomando en cuenta los macro y micronutrientes, junto con los demás elementos favorables para la fermentación que posee este residuo lácteo y como respuesta a la contaminación producida por el CO_2 que proviene de los combustibles fósiles tradicionales, emitidos al aire, agua y suelo, se ha propuesto como una alternativa viable la producción de

etanol a partir del lactosuero (Ramírez, 2011). Es importante mencionar que el etanol puede tener varios usos; por ejemplo, como aditivo, disolvente, carburante, sustituto de combustible para vehículos de combustión interna y más (Araujo et al., 2015).

Para la obtención de este compuesto químico a partir del suero lácteo existen diferentes métodos: i) fermentación por lote alimentado con ciclos repetidos y ii) fermentación con un solo ciclo y usando levaduras termotolerantes (Araujo et al., 2015). Por esta razón, en la presente investigación se planteó elaborar una revisión de diferentes metodologías para la elaboración de alcohol a partir de suero de leche, ya que así se podría aprovechar este residuo y del mismo modo se contribuiría con el medio ambiente. Además, se abriría la posibilidad de generar otra industria.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión bibliográfica para poder cumplir con el objetivo. Las publicaciones fueron seleccionadas de acuerdo con los siguientes parámetros: i) diferentes tipos de suero (dulce y ácido) y ii) distintos tipos de métodos de fermentación. Los datos obtenidos en las publicaciones fueron analizados y tabulados para obtener conclusiones y recomendaciones para posibles estudios posteriores.

DISCUSIÓN

Los diferentes tratamientos y tipos de suero utilizados para obtener alcohol a partir de suero de leche y sus parámetros se presentan en la Tabla 1. Entre los principales resultados se puede indicar los del estudio realizado por Araujo et al., en el cual obtuvo una cantidad significativa de etanol a partir de suero dulce concentrado con un pH característico de 4,72, el cual durante los ciclos repetidos dentro del fermentador (Bioflo 4000) fue ajustado a un pH de 5 (2015). Mientras que en el estudio desarrollado por De Jesús-Andrade et al., el pH característico del suero dulce fue ajustado de 6,60 a 4,5 (2016), lo cual se realiza porque el pH es un factor limitante en el proceso de fermentación y la levadura fermenta solo en entornos ácidos, en el caso de *Saccharomyces cerevisiae* el pH óptimo es de 4 a 5 (Peña & Arango, 2008). Del mismo modo en la investigación de Araujo et al., se menciona que cada ciclo fue de 4 horas (con agitación de 150 revoluciones por minuto (rpm) y aireación de 1 volumen de aire por unidad de volumen del medio (vvm)) seguido por 4 horas (sin agitación ni aireación), proceso que fue repetido hasta completar las 18 horas de fermentación (2015).

Más aún, De Jesús-Andrade et al., reportaron que para la obtención de etanol se puede utilizar tanto suero dulce como suero ácido; sin embargo, la cantidad de alcohol producido fue mayor con suero ácido (30,02 gramos de etanol en 1 litro de suero de leche), a diferencia del suero dulce que fue de 28,44 g/l de etanol. La razón aparente de esta diferencia se encuentra en el estudio de (Betancor, 2019), quien mostró que el suero lácteo al tener un pH más ácido genera mayor cantidad de etanol debido a que cuando el pH se encuentra por encima de 5 el periodo de inoculación es más corto por lo que la producción de etanol se reduce. Por otro lado, se observó que cada tipo de suero tuvo un pH óptimo. Así para el suero ácido éste fue de 4,42 debido a su producción de ácido láctico y alto contenido de minerales, mientras que para el suero dulce fue de 6,60. Los datos obtenidos en estos estudios, concuerdan con el realizado

por Urtasun et al., donde muestra que el lactosuero dulce debe mantenerse a un pH de 6,6, y el lactosuero ácido a 4,4 (2018).

Por otra parte, en el artículo presentado por López y Prado alcanzó 44,35 g de etanol /l de solución, siendo este el método del cual se consiguió la cantidad más alta de etanol en comparación a las demás publicaciones expuestas. Este resultado pudo ser debido al enriquecimiento utilizado de fosfato de sodio monobásico monohidratado y ácido clorhídrico, el primero es fuente de fósforo y sodio, los cuales favorecen la fermentación, así mismo los fosfatos actúan como agentes catalizadores; y el segundo es fuente de iones cloruro que actúa como antiséptico y regulador de pH. Así mismo, otros factores que pudieron influir en la máxima obtención de etanol son los procesos extras realizados antes de la fermentación, como: i) la clarificación realizada para disminuir el contenido de azúcar para una buena incubación de la levadura, ya que una concentración excesiva de carbohidratos puede frenar la actividad bacteriana y ii) la esterilización que evita en la levadura cualquier infección por causa de microorganismos presentes en la materia prima y que son perjudiciales para la fermentación (López & Prado, 2015).

Además, se observó que durante la fermentación de ácido láctico para la obtención de etanol la levadura que más se utilizó fue *Saccharomyces cerevisiae*, esto puede ser debido a su capacidad de tolerar concentraciones de hasta 20 % volumen/volumen (v/v) de etanol sin ser inhibida (Betancor, 2019). Por otra parte, estos resultados muestran que la producción de etanol además de verse directamente afectada por el pH del suero lácteo dependerá de la metodología empleada y el tipo de enriquecimiento del medio. Así, el medio más eficiente sería el agar papa-dextrosa enriquecido con fosfato de sodio monobásico monohidratado y ácido clorhídrico, ya que esta levadura tiene la capacidad de desarrollarse de forma eficaz en el mismo (López & Prado, 2015) y la metodología más eficiente sería la aplicación de clarificación, esterilización, hidrólisis ácida, fermentación y destilación debido a que se

obtuvo la mayor producción de etanol. Sin embargo, este método aún no es viable a nivel industrial por su alto costo en comparación con la producción tradicional de etanol. Con el propósito de bajar costos se podría considerar realizar el método indicado por Araujo et al., ya que con ciclos repetidos se consiguió alcanzar una cantidad considerable de etanol en menor tiempo.

Finalmente, se han analizado otros tipos de levadura con las cuales se puede también obtener alcohol como es el caso de *Saccharomyces bayanus*, donde se utilizó como sustrato la glucosa durante la fermentación y fue enriquecida con NaCl al 1%, de la cual se obtuvo 0,54 gramos de etanol por cada gramo de glucosa (Betancor, 2019). La elección de la levadura dependerá también de su resistencia al medio alcohólico en el que se desarrolla. Así se ha reportado que para *S. bayanus* la resistencia es de 170 g de alcohol/l de medio y para *S. cerevisiae* 200 g/l (Betancor, 2019); por lo cual se debe diluir la mezcla de forma que no exista una alta concentración de etanol y la célula muera. Sin embargo, como puede verse *S. cerevisiae* sería la mejor opción ya que tiene mayor resistencia (Barrantes et al., 2019).

Tabla 1. Diferentes tratamientos y sus parámetros para la obtención de etanol

Tipo de suero	Componentes												Fuente
	Concentración de sustrato	Enriquecimiento	Levadura	Tratamiento empleado	Temperatura de tratamiento (°C)	Tiempo de fermentación (horas)	Etanol obtenido (g/L)	Características del suero antes de la obtención de etanol					
								pH	Proteína (%)	Lactosa (%)	Cenizas (%)	Ácido Láctico (%)	
Suero dulce	Lactosa 10 %	Sulfato de amonio 0,84 % y Sulfato de magnesio 0,05%	<i>Kluymero myces marxianus</i>	Concentración y fermentación	30	30	31,39	4,72	0,28	ND	0,58	ND	Araujo et al., 2015
Suero dulce	Lactosa 40 %	Melaza 12 %	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Hidrólisis enzimática y química, fermentación y destilación	28	92	28,44	6,60	0,19	4,21	1,18	0,50	De Jesús-Andrade et al., 2016
Suero dulce	Lactosa (ND%)	Fosfato de sodio monobásico monohidratado (20,4 g) y ácido clorhídrico (0,088ml)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Clarificación, esterilización, hidrólisis ácida, fermentación y destilación	32	175	44,35	5,90	2,19	3,28	ND	8,33	López & Prado, 2015
Suero ácido	Lactosa 40 %	Melaza 12 %	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Hidrólisis enzimática y química, fermentación y destilación	28	92	30,02	4,42	0,18	3,52	0,87	5,03	De Jesús-Andrade et al., 2016

CONCLUSIONES

El lacto suero debido a sus características nutricionales y por ser un subproducto relativamente barato debe ser estudiado a fin de encontrar aplicaciones para evitar su desperdicio y consecuentemente la contaminación ambiental.

Entre los diferentes usos que se pueden dar al suero lácteo, la fabricación de alcohol a partir de lactosa es una opción para estudiarse. Con respecto a la metodología se puede mencionar que el proceso más efectivo aparentemente es el de un ciclo durante un tiempo de 15 horas, debido a su concentración de sustrato y enriquecimiento. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es con la que más etanol se obtuvo. Sin embargo, se debe tomar en cuenta además el pH del suero y el método de enriquecimiento empleado, pues la bibliografía reflejó que, usando el mismo enriquecimiento en los dos tipos de suero, el suero ácido generó una mayor cantidad de alcohol a comparación del suero dulce, pues debido a su pH el tiempo de inoculación es más corto.

RECOMENDACIONES

- Ampliar las investigaciones en cuanto a la producción de etanol por medio de suero ácido.
- Incluir en los futuros estudios todos los factores de la investigación, especialmente la concentración del sustrato utilizado.
- Realizar más estudios utilizando ciclos repetidos para contrastar con la investigación planteada.
- Proponer análisis de factibilidad que reflejen la viabilidad técnica económica de producir alcohol utilizando este subproducto de la leche.
- Combinar estudios de producción de etanol a partir de suero lácteo filtrado (o ultrafiltrado) a fin de separar proteína aprovechable en otros productos o industrias y lactosa soluble que serviría de base para la producción de alcohol. Esto permitiría mejorar el desempeño económico de proyectos de uso del suero lácteo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, K., Romero, A., Chirinos, P., Paéz, G., Mármol, Z., Rincón, M. (2015). *Producción de etanol a partir de suero de leche en cultivo por lote alimentado con ciclos repetidos*. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde <https://www.redalyc.org/pdf/339/33937066003.pdf>
- Aráuz, M. (2020). Fermentación de lactosuero para la obtención de etanol y su uso en cervezas y bebidas saborizadas Revisión de Literatura. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6919/1/AGI-2020-T005.pdf>
- Barrantes, E., Campos, B., Durán, V., Laurent, V. & Segura, A. (2019). *Determinación del rendimiento de la levadura Saccharomyces cerevisiae bajo diferentes condiciones de crecimiento*. Proyecto de Bioestadística. RStudio. Obtenido el 09 de marzo de 2021 desde <https://www.rpubs.com/Erikabm/548952>
- Betancor, R. (2019). *Permeados concentrados de suero de quesería como medio de fermentación para la producción de etanol alimentario*. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2020/hdl_10803_669384/rebp1de1.pdf
- Cuellas, A. & Wagner, J. (2010). *Elaboración de bebida energizante a partir de suero de quesería*. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=513
- De Jesús-Andrade, E., Osorio-González, C., Sandoval-Salas, F., y Ávalos-De la Cruz, D. (2016). *Producción de bioetanol a partir de suero de queso proveniente de la región central del estado de Veracruz*. Revista de Sistemas Experimentales. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_Experimentales/vol3num9/Revista_de_Sistemas_Experimentales_V3_N9_7.pdf
- El telégrafo. (2020). *Alcohol a base de suero de leche, una alternativa en análisis para Ecuador*. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/alcoholsuero-leche-analisis-ecuador>
- López, J. & Prado, J. (2015). *Uso de lacto suero en sinergia con Saccharomyces cerevisiae como materia prima para la producción de etanol a escala piloto, en el laboratorio de Tecnología Farmacéutica*. Departamento de Química UNAN-Managua. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde <https://core.ac.uk/download/pdf/53103511.pdf>
- Osorio-González, C., Sandoval-Salas, F., Hernández-Rosas, F., Hidalgo-Contreras, J., Gómez-Merino, C., y Ávalos de la Cruz, D. (2018). *Potencial de aprovechamiento del suero de queso en México*. Agro Productividad, 11(7). Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/922/783>
- Peña, C., & Arango, R. (2008). *Evaluación de la producción de etanol utilizando cepas recombinantes de Saccharomyces cerevisiae a partir de melaza de caña de azúcar*. Medellín, Colombia. "Biología" Séptima Edición. Madrid, España: Editorial Médica

Panamericana. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7603116>

Poveda, E. (2013). *Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad*. Revista chilena de nutrición, 40(4), 397-403. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182013000400011

Ramírez, J. (2011). *Aprovechamiento Industrial de Lactosuero Mediante Procesos Fermentativos*. Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde
<http://oaji.net/articles/2017/5082-1501178491.pdf>

Urtasun, N., Hirsh, D., Baieli, M., Miranda, M., Cascone, O., y Wolman, F. (2018). *Valorización del Suero de Queso. Un Desafío para la Cromatografía a Escala Industrial*. Revista Farmacéutica. Obtenido el 07 de marzo de 2021 desde
<http://www.anfyb.com.ar/info/revistas/2018/4-Urtasun.pdf>