

4. ECONOMÍA Y POLÍTICA

Economía circular del lactosuero: una oportunidad para su valorización sostenible en el Estado de Hidalgo, México

Hernández-Domínguez Edna María¹, Falcón León Martha Patricia ¹, Virginia Mandujano-González², Álvarez-Cervantes Jorge^{1}*

¹Ingeniería en biotecnología, Cuerpo Académico Manejo de Sistemas Agrobiotecnológicos Sustentables, Universidad Politécnica de Pachuca, Zempoala 43830, Hidalgo, México

²Ingeniería en Biotecnología, Laboratorio Biotecnología, Universidad Tecnológica de Corregidora, Santiago de Querétaro 76900, Querétaro, México

**Autor de correspondencia: 85acjorge@gmail.com, jorge_ac85@upp.edu.mx*

Resumen

La producción de leche y derivados lácteos es una industria importante en México, especialmente en los estados de México e Hidalgo. Sin embargo, esta producción genera un residuo llamado lactosuero, que representa el 85-95% del volumen de leche empleada en la transformación de productos lácteos. El lactosuero es un líquido tóxico y contaminante que puede afectar el medio ambiente y la salud humana si no se trata adecuadamente. La mayoría de las empresas pequeñas no cuenta con la tecnología ni los recursos para aprovechar el lactosuero, lo que provoca su descarga en alcantarillas, en el drenaje y en los mantos acuíferos. Para abordar este problema en el estado de Hidalgo, es necesario implementar una economía circular del lactosuero, que consiste en reutilizar y valorizar este residuo mediante procesos que reduzcan su impacto ambiental y generen un valor agregado a nuevos productos. La implementación de una economía circular del lactosuero en Hidalgo requiere políticas públicas, así como la inversión en tecnología, educación y capacitación.

Palabras clave: economía circular, lactosuero, sostenibilidad, bioproductos, impacto ambiental.

Introducción

Uno de los alimentos de mayor consumo a nivel mundial es la leche, ya que de ella se derivan diversos productos lácteos, entre los que destacan yogur y quesos. México participa con una alta producción de importación de productos lácteos. Siendo los estados de México e Hidalgo los de mayor aporte a la producción de leche, gracias a su ubicación agroclimatológica y su proximidad con el área metropolitana de la Ciudad de México.

De acuerdo con la Cámara Nacional de Industriales de la Leche (CANILEC), México ocupa el decimoquinto lugar en la producción mundial de leche de bovino, con el 2 % del total. En tanto, Hidalgo es el octavo entre los 10 primeros productores de leche; el Valle de Tulancingo se ubica en el segundo municipio a nivel estatal. Tan solo en 2022, el estado de Hidalgo produjo 422,7 millones de litros de leche.

Siendo las zonas de Ixmiquilpan y Tizayuca, así como en el Valle de Tulancingo los de mayor producción (1), tan solo, este aporte de producción contribuye en un 30 % de la producción pecuaria estatal, gracias al clima templado en el que se encuentran y que forman parte del altiplano central mexicano.

Durante la producción de los diferentes derivados de la leche se genera lactosuero, un residuo tóxico altamente contaminante y que representa cerca del 85 al 95% del volumen de leche usada en la transformación de los productos lácteos. Por lo tanto, se requiere que las industrias queseras, generen a corto plazo un control integrado de la cantidad de lactosuero que generan, se adapten a las condiciones ambientales, y generar modelos de desarrollo sostenible.

El lactosuero puede definirse como el líquido obtenido por la coagulación de las proteínas presentes en la leche durante la elaboración del queso, una vez que se separan (la caseína) y la grasa. Sus principales componentes son la lactosa, las proteínas y algunos minerales. En el Valle de Tulancingo, Hidalgo, se produce una importante cantidad de lactosuero, proveniente principalmente de la elaboración de queso tipo Oaxaca, seguido por queso tipo panela, canasto, morral, manchego, cotija, botanero, crema y requesón.

En el municipio de Acatlán, Hidalgo, hay un gran número de pequeñas y medianas industrias lácteas. En su mayoría utilizan sistemas rudimentarios para su producción, el volumen de procesamiento de leche bovina varía entre 4000 y 30 000 litros, aproximadamente. Su producción se destina a queso tipo Oaxaca, mientras que el volumen restante se utiliza en la elaboración de crema y queso tipo: panela, manchego, botanero y tenate. Este residuo no representa un valor comercial para los productores, y una pequeña parte se utiliza en la alimentación del ganado, mientras que el volumen restante es desechado en los sistemas de alcantarillado municipal sin ningún tipo de tratamiento o bien es arrojado al medio ambiente, generándose consecuencias nocivas para los cuerpos de agua, los cuales son utilizados en los sistemas de riego, por lo que los terrenos de cultivo igualmente se ven afectados.

Existen dos tipos de lactosuero: dulce y ácido. El primero se obtiene en la elaboración de lácteos, donde se utiliza la coagulación enzimática con un pH cercano a 5,6. El lactosuero ácido se obtiene cuando la coagulación se produce por acidificación a un pH de 5,1 o menor. Aproximadamente el 47% de los 115 millones de toneladas de lactosuero producido anualmente a nivel mundial se desechan al medio ambiente, y las empresas pequeñas no cuentan con la tecnología o los recursos para aprovechar la recuperación de proteínas y lactosa presentes en el lactosuero debido a sus altos costos.

Los tratamientos fisicoquímicos o biológicos son los más viables para estas empresas. Sin embargo, no todo el lactosuero que se produce se procesa para disminuir sus efectos negativos y es descargado en alcantarillas, drenaje, y mantos acuíferos. Su presencia en aguas residuales afecta al suelo, al acumular metales pesados. Asimismo, conllevan riesgos para la salud. Por otra parte, dichas aguas no cumplen con la norma mexicana en términos de conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, iones bicarbonato, entre otros.

Por lo tanto, la disposición del lactosuero es un problema que debe tomarse en cuenta, debido a la continua descarga de este subproducto en los ríos, las lagunas y el suelo, lo que pone en peligro la estructura física y química del suelo, reduciendo los rendimientos de cultivos y provocando serios problemas de contaminación del agua subterránea.

La implementación de una economía circular en este sector, puede transformar este residuo en una valiosa fuente de recursos, reduciendo su impacto ambiental y generando beneficios económicos. Para su implementación, se plantea reutilizar y valorizar mediante procesos que disminuyan su impacto en el ambiente y generen valor agregado a nuevos productos, así como valor económico (2).

De acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas del lactosuero una posible estrategia para una economía circular puede ser (Figura 1).



Figura 1. Actividades para realizar una economía circular del lactosuero

Para realizar su tratamiento y reutilización es necesario aplicar métodos físicos y químicos que permitan reducir o eliminar los azúcares, proteínas, grasas y algunos minerales, con la finalidad de mejorar su calidad y reducir el impacto ambiental.

Por otro lado, la reutilización del lactosuero como ingrediente en nuevos productos o alimentos (por ejemplo: galletas, pan, cereales, bebidas fermentadas, bebidas energéticas, suplementos alimenticios) así como su aprovechamiento en la agricultura mediante su transformación en un fertilizante orgánico. Dependerá de su tratamiento y, por lo tanto, de la aplicación, ya que se pueden derivar nuevos bioproductos como: proteínas y péptidos con valor comercial en áreas de la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Así como, en la producción de ácidos grasos y glicerol para la fabricación de biodiésel y de productos químicos.

Otra opción es la generación de nuevas energías mediante la transformación de lactosuero en biogás, en la que se emplean microorganismos fermentadores en condiciones de ausencia de oxígeno (anaerobias). El biogás puede emplearse para generar electricidad y calor, tanto para uso industrial como para uso doméstico.

Por último, se ha utilizado el lactosuero como alimento para animales, entre los que destacan: las vacas, los cerdos y las aves. Sin embargo, es necesario realizar un tratamiento previo para evitar daños en el sistema digestivo de estos, por lo que se debe aplicar un adecuado balance para incorporarlos a las dietas y, de esta forma, obtener los beneficios y rendimientos al emplearlos como aditivos alimentarios. También se reporta que el lactosuero puede usarse en la agricultura, pero debido a sus características químicas, es necesario realizar un tratamiento previo para evitar afectar la calidad del suelo y causar daños en los cultivos (4).

Como hemos visto, si se realiza un tratamiento adecuado al lactosuero, su recuperación y valorización pueden generar beneficios tanto sociales, como ambientales como económicos. En la figura 2 se muestran algunos de los beneficios que se pueden obtener al implementar una economía circular de este residuo.



Figura 2. Beneficios de una economía circular de lactosuero

Para implementar una economía circular de este residuo, se debe establecer la cadena de valor del lactosuero, en la que se identifiquen las etapas en las que puede transformarse en nuevos productos con beneficios económicos, ambientales y sociales (3). A continuación, presentamos una propuesta de cadena de valor del lactosuero (figura 3)

Producción	Tratamiento primario	Valorización	Comercialización	Uso final
<p>Origen: Industrias lácteas (lecherías y queserías)</p> <p>Proceso (separación de queso y fermentación de leche)</p>	<p>Objeto (eliminar impurezas y mejorar calidad)</p> <p>Procesos Sedimentación Centrifugación Filtración Paseurización</p> <p>Productos (lactosuero: tratado, concentrado o en polvo)</p>	<p>Alimentos y bebidas Ingredientes para productos lácteos, panadería, galletas, cereales</p> <p>Bioproductos Proteínas y péptidos Ácidos grasos y glicerol</p> <p>Energía Biogás</p> <p>Agricultura y ganadería Fertilizante orgánico Alimento para animales</p>	<p>Canales de distribución: Industria alimentaria Industria farmacéutica Industria cosmética Sector energético Agricultura y ganadería</p> <p>Formas de comercialización</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lactosuero líquido • Concentrado • Polvo • Bioproductos derivados 	<p>Consumidores finales Industrias alimentarias Farmacéuticas cosméticas Sector energético Agricultores y ganaderos</p> <p>Beneficios: Valorización de un residuo Reducción de impacto ambiental Generación de empleo y riqueza</p>

Figura 3. Cadena de valor de lactosuero

El Estado de Hidalgo, al participar de forma activa en la elaboración de productos lácteos, debe buscar la forma de poder valorizar lactosuero, por lo que resulta necesario revisar que oportunidades y retos existen para implementar una economía circular del lactosuero en el Estado.

Por ello, es vital considerar lo siguiente:

- Valorización del lactosuero: gracias a los componentes residuales presentes en el lactosuero, los productores pueden buscar formas de emplear el residuo como ingrediente en la producción de alimentos, fertilizantes orgánicos y bioproductos, generando ingresos adicionales.
- Reducción del impacto ambiental: es necesario revisar qué tratamientos son los más adecuados para cada región, y para los distintos productores, con la finalidad de implementar sistemas de tratamiento y reutilización del lactosuero eficientes y capaces de reducir la contaminación del agua y el suelo.
- Nuevas fuentes de empleo: Implementar una economía circular del lactosuero en el estado de Hidalgo puede generar empleos en la industria de valorización y tratamiento de residuos de las industrias lácteas.

Sin embargo, para implementar una economía circular del lactosuero en Hidalgo, se requiere:

- **Políticas públicas:** el gobierno estatal y municipal debe establecer políticas y regulaciones que fomenten la valorización y la reutilización del lactosuero.
- **Inversión en tecnología:** la industria láctea debe invertir en tecnologías de tratamiento y valorización del lactosuero.
- **Educación y capacitación:** los productores lácteos y la comunidad en general deben ser informados sobre los beneficios y las prácticas de la economía circular del lactosuero.

A nivel internacional la gestión del lactosuero a través de normatividad y políticas públicas se centran en prohibir su eliminación y favorecer su transformación en productos con valor agregado. Estas regulaciones, que van desde la Ley de Agua Limpia en Estados Unidos hasta las directivas de vertederos de la Unión Europea, son cruciales para proteger nuestros recursos hídricos. La importancia de este tema radica en la necesidad imperativa de gestionar responsablemente los subproductos industriales, transformando una amenaza ecológica potencial en un flujo de residuos manejable y seguro para el medio ambiente.

Sin embargo, el tema cobra una relevancia aún mayor gracias a un giro hacia la economía circular. Las políticas públicas y los estándares de calidad, como los definidos por el Codex Alimentarius de la FAO, no solo penalizan el vertido inadecuado, sino que también incentivan la revalorización del lactosuero. Este enfoque ha transformado lo que solía ser un problema de eliminación en una oportunidad de negocio multimillonaria. El lactosuero es ahora la base de ingredientes de alto valor, como los aislados de proteína que se encuentran en suplementos deportivos y alimentos infantiles. La normativa internacional, por tanto, no solo actúa como un guardián ambiental, sino también como un catalizador para la innovación y la creación de un nuevo sector industrial que aprovecha al máximo cada gota de la producción lechera (5).

Conclusión

La producción de lactosuero en Hidalgo es significativa, pero su gestión y valorización aún son limitadas. Es necesario abordar los desafíos y aprovechar las oportunidades para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la industria láctea en el Estado. Una economía circular del lactosuero promete la posibilidad de transformar un residuo en una valiosa fuente de recursos. Mediante la implementación de estrategias de tratamiento, reutilización, producción de bioproductos y generación de energía, es posible minimizar el impacto ambiental del lactosuero y generar beneficios económicos.

Referencias bibliográficas

1. Carbajal De Nova C, Goicoechea J. Producción de leche de bovino: el caso de Hidalgo, México. En: Isaac Egurrola Jorge Eduardo [Coord] Nuevas territorialidades-economía sectorial y reconfiguración territorial. México: UNAM-AMECIDER; 2023. p. 217-36.
2. Quille Quille L, Luque Vilca OM, Aruhuanca Ordoñez FP. Potencialidades del lactosuero generado por la industria quesera y su valorización. Revista Científica I+D AswanScience. 2021;1(2):16-23. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.51392/rcidas.v1i2.10>
3. Asas C, Llanos C, Matavaca J, Verdezoto D. Whey: environmental impact, uses and applications via biotechnology mechanisms. Agroindustrial Sci. 2021 [citado el 8 de octubre de 2025];11(1):105-16. Disponible en: [por tanto, no solo actúa como un guardián ambiental, sino también como un catalizador para la innovación y la creación de un nuevo sector industrial que aprovecha al máximo cada gota de la producción lechera \(5\).](#)
4. Sirmacekic E, Atilgan A, Rolbiecki R, Jagosz B, Rolbiecki S, Gokdogan O, et al. Possibilities of using whey wastes in agriculture: Case of Turkey. Energies. 2022;15(24):9636. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/en15249636>
5. Besediuk, V., Yatskov, M., Korchyk, N., Kucherova, A., & Maletskyi, Z. (2024). Whey-from waste to a valuable resource. Journal of Agriculture and Food Research, 18, 101280. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101280>