



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL COMO UNA ALTERNATIVA
PARA TRATAR EL LACTOSUERO EN UN REACTOR BATCH DE
UNA PLANTA QUESERA”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Nohemi Quispe Apaza

Asesor:

Luis Abraham Gomero Osorio

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°130-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 30 de septiembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Producción de Biogás y Biol como una alternativa para tratar el lactosuero en un reactor Bach de una planta quesera**, presentado por:

- **Nohemi Quispe Apaza**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller en **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Producción de Biogás y Biol como una alternativa para tratar el lactosuero en un reactor Bach de una planta quesera** con N° de registro de la carrera: **013-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Ing. Luis Abraham Gomero Osorio** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL COMO UNA ALTERNATIVA PARA TRATAR EL LACTOSUERO EN UN REACTOR BATCH DE UNA PLANTA QUESERA

Nohemi Quispe Apaza¹ y Luis Abraham Gomero Osorio

Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Ambientales, Lima-Perú

Nohemiqa1997@gmail.com

I. RESUMEN

La industria láctea al procesar la leche para producir queso genera un subproducto, suero de leche o lactosuero, que al ser descargado directamente al ambiente provoca alteración de la calidad del agua (eutrofización) y suelo, también contribuyen en la emisión de gases de efecto invernadero. Las causas principales son la falta de conocimiento técnico y el difícil acceso a tecnologías que permitan dar valor al efluente residual (lactosuero); los que están más relacionados son las pequeñas y medianas industrias. Por otro lado, existen tecnologías que permiten aprovechar los lactosueros residuales, los métodos biológicos y fisicoquímicos. Los fisicoquímicos como la floculación, coagulación y filtración son usados cuando existe mezcla con las aguas de limpieza, este método busca eliminar la carga de contaminantes para verter el residuo limpio, evita la contaminación, pero genera gastos de energía y son de elevados costos. Los biológicos son más beneficiosos como la digestión anaeróbica a pesar de que puede tener ciertos problemas como la acidificación del producto, pero con una co-digestión se puede solucionar. Este tiene beneficios de combustible (biogás) y biofertilizantes (biol) para la industria, el cual permite seguir un modelo de economía circular que hoy en día muchas industrias están buscando para una buena gestión de sus efluentes residuales. El objetivo de la presente revisión es buscar información, analizar y conocer y concluir de las formas más apropiadas de aprovechar el efluente de la industria láctea.

Palabras clave:

Suero de queso, Biogás, biol, digestión anaerobia, estiércol de vacuno y biodigestor Batch, contaminación de agua, contaminación de suelo, economía circular

II. ABSTRACT

The dairy industry to process milk to produce cheese generates a by-product, whey or whey, which when discharged directly into the environment causes alteration of water quality (eutrophication) and soil, also contribute to the emission of greenhouse gases. The main causes are the lack of technical knowledge and the difficult access to technologies that allow to value the residual effluent (whey); those that are more related are the small and medium industries. On the other hand, there are technologies that allow to take advantage of residual lactosueros, biological and physicochemical methods. Physicochemicals such as flocculation, coagulation and filtration are used when there is a mixture with the cleaning waters, this method seeks to eliminate the load of pollutants to discharge the clean waste, avoids contamination, but generates energy costs and costs are high. The biological ones are more beneficial as the anaerobic digestion although it can have certain problems like the acidification of the product, but with a co-digestion it can be solved. This has benefits of fuel (biogas) and biofertilizers (biol) for the industry, which allows to follow a circular economy model that today many industries are looking for a good management of their residual effluents. The objective of the present review is to seek information, analyze and know and conclude the most appropriate ways to take advantage of the effluent of the dairy industry.

Keywords:

Cheese whey, biogas, biol, anaerobic digestion, vacuum manure and biodigester Lot, water contamination, soil contamination, circular economy.

III. REVISIÓN TEÓRICA

3. Contaminación ambiental por la industria láctea

La industria láctea como cualquier industria genera contaminantes en sus procesos, el cual dependen mucho del tipo de tecnología que usa, el producto que elabora, el diseño de la instalación, entre otras.

3.1. Contaminación atmosférica,

La contaminación atmosférica de una industria láctea se debe a la emisión de gases de combustión como monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) u Óxidos de nitrógeno (NOX) y partículas. Los gases se originan en los generadores de vapor que usualmente son calderas. Los niveles de contaminación varían del tipo de combustible que se utiliza, ya sea sólidos, líquidos o gaseosos los cuales pueden ser gasóleo, madera o carbón, gas natural respectivamente (UNEP y Ambiente, 2002).

3.2. Contaminación de suelo y agua

La principal contaminación generada de la industria láctea se debe a la producción de aguas residuales con elevado contenido de materia orgánica, especialmente el suero. La industria láctea, genera grandes cantidades de suero durante la producción de queso (Dereli, van der Zee, Ozturk, y van Lier, 2019a), esto es un efluente residual que queda después de la separación del queso obtenido de la leche, (Altuntas y Hapoglu, 2019), a la vez contiene proteínas y lactosa con alto contenido orgánico y salino. El suero de leche es un riesgo ambiental si es eliminado sin ningún tratamiento, debido a que la descarga causa pérdida significativa de nutrientes que provoca impactos negativos en los cuerpos receptores (Das, Raychaudhuri, & Ghosh, 2016). En el agua da origen a la eutrofización, en la superficie terrestre llega a modificar las características naturales del suelo, además

por sus propiedades fisicoquímicas contribuyen a generar gases de efecto invernadero (GEI).

3.3. Producción de lácteos a nivel mundial

A nivel mundial aproximadamente 150 millones de hogares se dedican a la producción de leche. En los países en desarrollo, los agricultores pequeños son los que más producen leche, debido a que aporta en la nutrición de su hogar y al medio económico, este último genera ganancias casi instantáneas por lo que los productores consideran una fuente de ingresos. En el mundo la producción de leche pasó de 522 a 828 millones de toneladas del año 1987 al 2017 respectivamente, aumentando así en más de 58% (OCDE-FAO, 2017).

3.4. Consumo de lácteos a nivel mundial

La gente que consume lácteos y sus derivados son más de 6000 millones a nivel mundial, pero la mayor parte de los consumidores vive en países en vías de desarrollo, este último se debe principalmente por el crecimiento poblacional y el aumento de los ingresos económicos. La elaboración de leche en estos países se proyecta a expandirse a una tasa del 3,0% anual. Sin embargo, como ya se mencionó gran parte es consumida por el mismo país (FAO, 2018).

El consumo por persona en países desarrollados aumento de 20.2 kg en los años 2014 a 2016 de sólidos lácteos y para el 2026 en 21.4 kg. En los países en desarrollo el incremento será de 10.9 kg a 13.2 kg (FAO, 2018). Los productos frescos son más consumidos por los países en desarrollo y los productos procesados como el queso, leche entera en polvo, mantequilla, leche descremada en polvo son preferidos por países desarrollados (figura 1) (OCDE-FAO, 2017). Una de las razones de que los países en desarrollo consumen más los productos frescos puede ser a que no hay tecnologías adecuadas para procesar leche o si las hay no están al alcance de los pequeños productores

de lácteos por lo que se debe optar o buscar tecnologías mucho más económicas que se han accesibles.

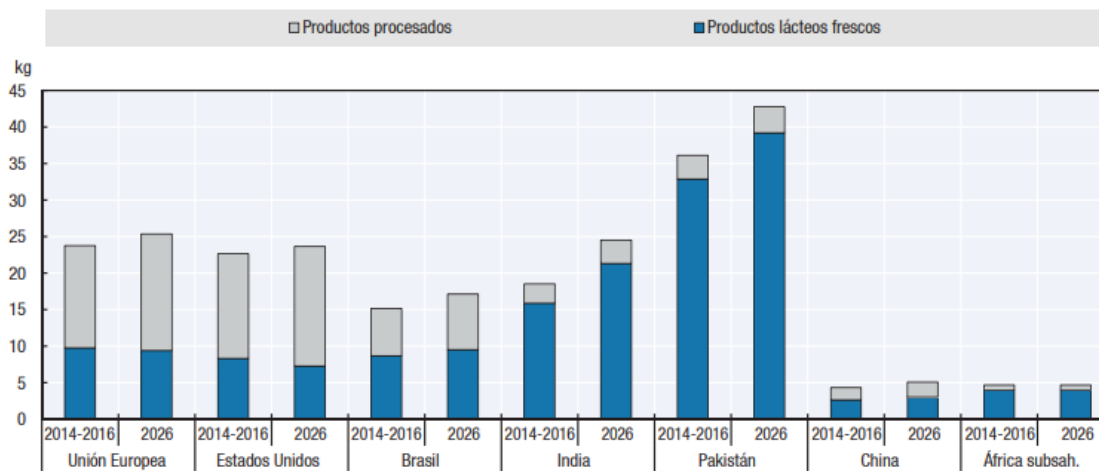


Figura 2. Consumo de lácteos frescos o procesados por persona

Fuente: (OCDE-FAO, 2017)

3.5. Producción de lácteos a nivel nacional

La producción de leche fresca en el año 2016 alcanzó a 1,959 229 toneladas, donde participaron 452,218 hogares con vacas de ordeño cerca de 893,769 y con producción anual por cada vaca 2,192 litros aproximadamente. En el Perú las unidades productivas que más ofertan la leche son los pequeños productores con 85.9%, seguido de los medianos con 13.4% y por último los grandes productores solo representan el 0.7% de las unidades productivas. (DS N°007 del MINAGRI, 2017).

La producción de leche en los años 2002 a 2015 tiene una tendencia de aumento, reuniendo así un incremento de 80.2%, el cual es equivalente 4.6% de tasa de crecimiento anual. La producción de leche fresca es cubierta por 3 cuencas lecheras sur, centro y norte, estas cuencas atienden la demanda de la gran industria que son Laive, Nestlé y Gloria. La otra parte se destina a autoconsumo. En la cuenca sur se encuentra Tacna, Arequipa y Moquegua; en el norte La Libertad y Cajamarca y por el centro Ica, Junín y Lima

(MINAGRI, 2017)

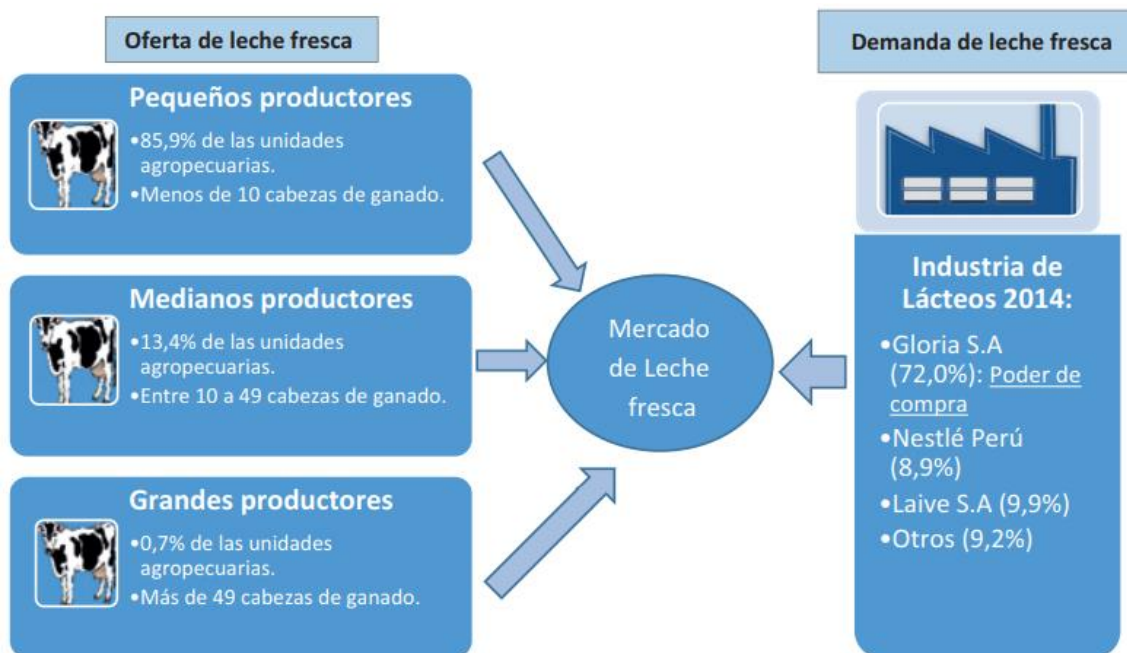


Figura 2. El mercado de la leche en el Perú

Fuente y elaboración: MINAGRI, 2017

3.6. Proceso productivo de la leche

La leche por sus características nutritivas es consumida de diferentes formas. El tiempo de conservación es muy corta, ya que puede proliferar microorganismo patógeno, por lo que se procesa para prologar la vida útil, ya sea por días, semanas o meses; esto se hace usando técnicas de enfriamiento, pasteurización y otros. La leche puede continuar elaborándose y transformando en lácteos con mayor tiempo de vida útil como el queso, mantequilla, etc (Figura 3).

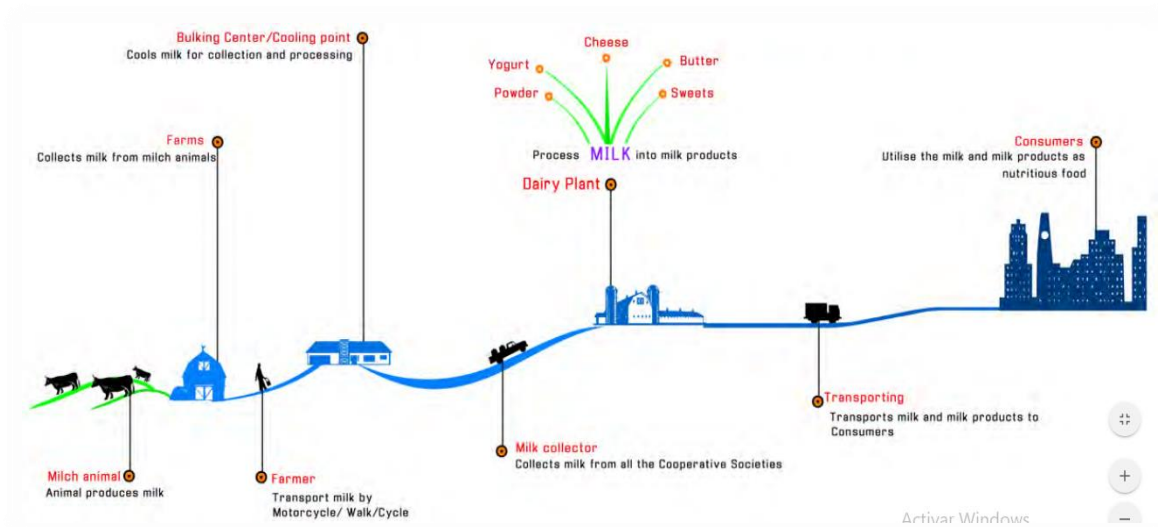


Figura 3. Procesamiento de la leche

Fuente: FAO, 2017

El consumo de los productos lácteos varía por regiones y países de acuerdo al acceso de tecnologías, a la alimentación rutinaria, a la cultura y etc. Según la OCDE/FAO (2017), la mayor parte de leche es transformada en queso, mantequillas, la leche entera en polvo, y leche desnatada en polvo.

3.7.La industria de lácteos en el Perú

La leche en el Perú es consumida de dos formas, leche fresca o procesada. Las industrias lácteas son las que se encargan de transformar la leche en otro producto o en leche con vida útil larga. Entre las principales industrias en Perú esta Laive, Gloria y Nestlé; los productos más comunes son yogurt, quesos, leche pasteurizada, leche evaporada, manjar blanco y cremas (Figura 4).

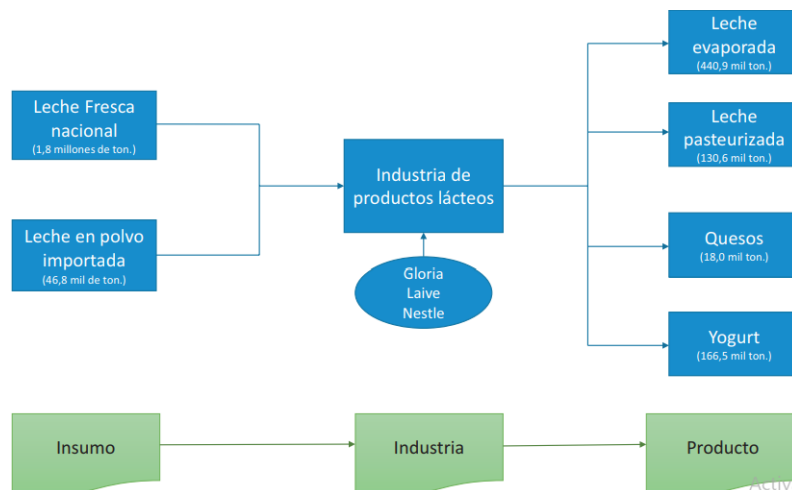


Figura 4. Cadena productiva de lácteos, 2012

Fuente: MINAGRI, 2017

3.8.La producción de queso

La elaboración de queso es una forma antigua de procesamiento de leche, comprende la coagulación de las proteínas de la leche por la acción de enzimas del cuajo o también por fermentos de lácteos. Una vez obtenida la cuajada se elimina el suero que se genera, seguidamente, se procede a calentar para aumentar la rapidez de coagulación y al final se obtiene un producto casi seco. (MINAGRI, 2017). Es importante señalar que la producción de queso varía de acuerdo, al tipo de queso, algunos añaden colorantes u otros compuestos, por eso muchos quesos tienen características diferentes. En la figura 4.1 se observa el proceso de la elaboración del queso y los aspectos ambientales relacionadas este. En el proceso de corte y desuerado, se genera vertidos de lactosuero.

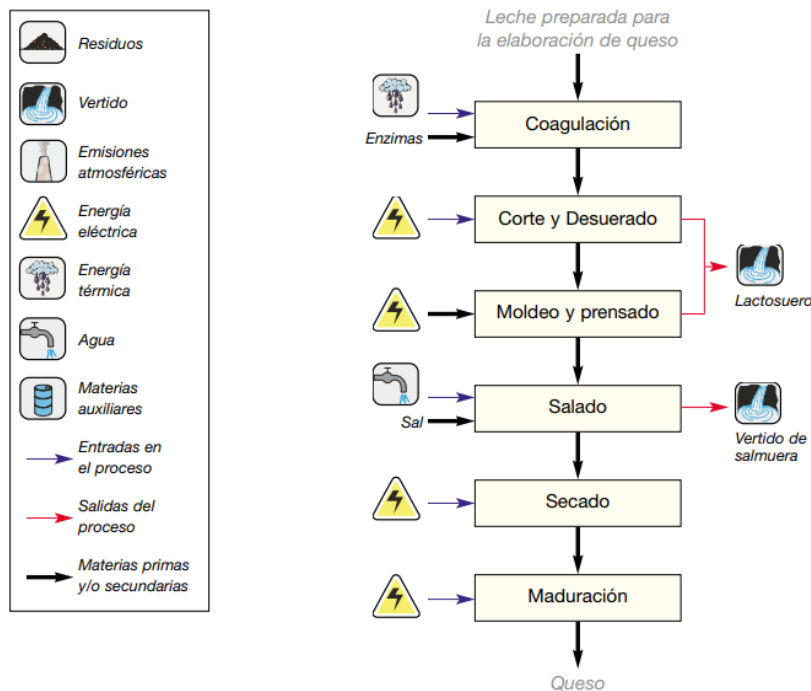


Figura 4.1. Proceso de elaboración del queso

Fuente UNEP y Ambiente, 2002

3.9. Suero de queso

Esto es un efluente residual que queda después de la separación del queso obtenido de la leche, (Altuntas & Hapoglu, 2019), a la vez contiene más de la mitad de los nutrientes (55%) de la leche, entre ellos están principalmente las proteínas y la lactosa. además, sales minerales, grasa, ácido acético, etc como se aprecia en la figura 5. (Panesar, Kennedy, Gandhi, y Bunko, 2007).

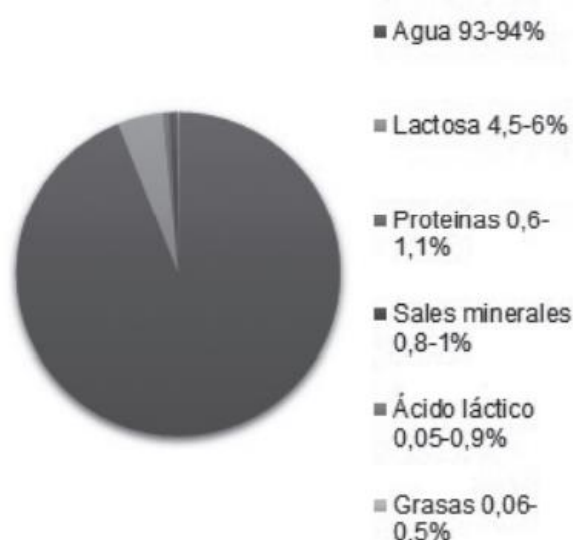


Figura 5. Composición del lactosuero

Fuente: Fernández, Martínez, Morán, y Gómez, 2016

3.10. *Formas tradicionales de eliminar el lactosuero*

La forma tradicional y más común de aprovechar el suero de queso es como alimento de animales, principalmente para cerdos. Para el tratamiento de suero las plantas queseras no cuentan con sistemas de tratamiento apropiados o simplemente no tienen ningún sistema por lo que el suero residual es vertido a cuerpos de agua y suelo sin aprovechar los nutrientes que presenta.

El suero de queso puede ser aprovechado como bebidas refrescantes, biocombustibles, etc, pero muchas industrias se ven limitadas a aprovechar por la falta de conocimiento técnico o el difícil acceso a las tecnologías para valorizar el suero de queso, en especial aquellas pequeñas y medianas industrias. Por esa razón, las plantas queseras normalmente canalizan el suero hacia los ríos, lagos y algunos hacen cochas para descargar el efluente. Otros los descargan a las lagunas de oxidación o red de alcantarillado municipal (Figura 6). Para tratar el suero de queso y reducir su impacto negativo en el medio ambiente, se

debe partir de una búsqueda de tecnologías que hagan el uso del suero como materia prima y que se han económicamente accesibles.



Figura 6. Efluente de lactosuero. En la figura de la izquierda se aprecia la laguna de oxidación con mayor cantidad de suero de queso en Puno-Atuncolla y en la derecha el lactosuero en medio de vegetales en Puno-Huata.

Fuente: Lope (2015).

En los últimos años para evitar el vertimiento del lactosuero y su posterior contaminación del ambiente se está buscando alternativas para tratar, pero sobre todo valorizar este subproducto y aprovechar para convertir en otro producto útil. Las dos formas de tratar y aprovechar el suero son fisicoquímicas y biológicas (figura 7). Las otras formas de aprovechar requieren que se traslade el lactosuero el cual genera costos. Sin embargo, aprovechar como combustible, no requiere el traslado ya que el combustible será usado para los procesos de la industria.

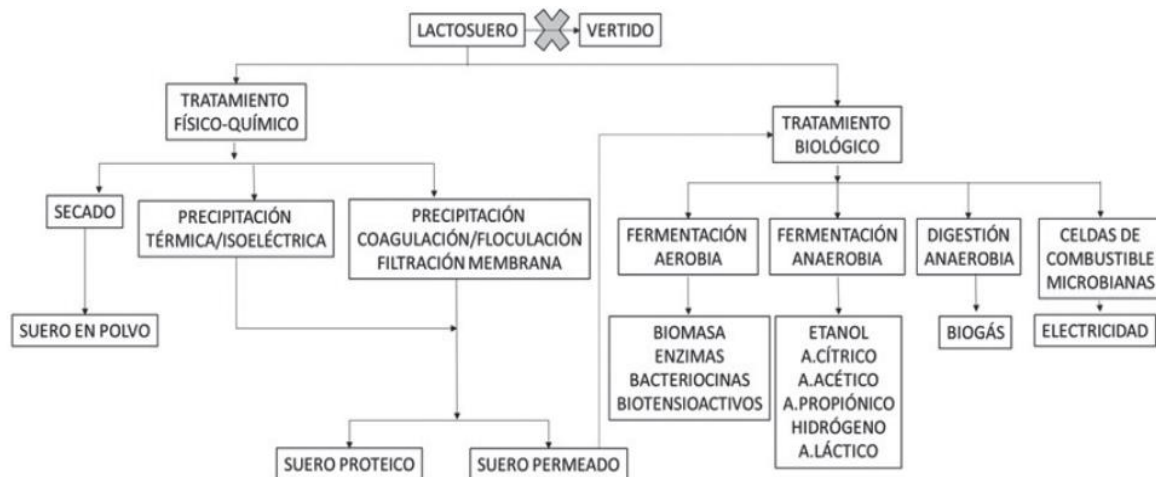


Figura 7. Tratamientos del suero de queso y productos derivados

Fuente: Fernández et al., 2016

3.11. *Método fisicoquímico de tratar el agua residual*

Entre los métodos físicoquímicos se encuentra el secado para obtener suero en polvo. otro más usados es la coagulación y floculación que consiste en aglomerar partículas suspendidas o disueltas para remover por sedimentación o filtración. Este tratamiento del efluente residual de la industria láctea tiene por finalidad eliminar las cargas contaminantes principalmente el fosforo y nitrógeno para luego ser descargadas al medio ambiente de manera segura (Amini, Younesi, Lorestani y Najafpour, 2013). En esta forma de tratar no se aprovecha los nutrientes ya que el principal objetivo es eliminar los contaminantes para luego verter el residuo más limpio, pero si evita la contaminación de los cuerpos receptores como agua y suelo principalmente. Además, se gasta más energía y altos costos. Es importante señalar que este método se usa cuando el lactosuero se ha mezclado con otras sustancias de limpieza.

3.12. Método biológico

Uno de los métodos más recomendados es el tratamiento biológico, debido a que generan gases que son fuente de energía, entre ellos se encuentra el proceso anaeróbico (Tirado Armesto, Correa, Gallo Garcia, y Mouthon Bello, 2016).

3.13. Aprovechamiento como bebidas refrescantes para gallinas

En este estudio se utilizó el lactosuero con la adición sin adición de amonio cuaternario para aprovechar como bebida de gallinas ponedoras, donde se evaluó a 162 gallinas. Los resultados mostraron que las gallinas que consumieron el suero juntamente con el amonio tuvieron más producción de huevos y con respecto a la calidad no encontraron diferencias relevantes y el consumo de alimentos fue menor. Concluyeron que el lactosuero en las gallinas ponedoras mejoro la conducta productiva (Cumpa y Postigo, 2016).

3.14. Aprovechamiento como bebidas refrescantes para personas

Se han usado el suero dulce de leche para la elaboración de una bebida energizante, mediante un análisis físico, químicas y microbiológicas para estudiantes universitarios, esta forma ayuda en la disminución de impacto ambiental y genera un producto con nutrientes, donde se tuvo que él energizante era apta para consumo humano (Hannibal et al., 2015). Estos métodos no están al alcance de los pequeños y medianos unidades productoras, por lo que se busca un método más económico y eficiente.

3.15. Aprovechamiento como Biocombustibles

Es una de las alternativas para tratar el suero de leche, donde se hace una valorización energética, el cual es interesante porque existe la posibilidad de producir biocombustible como el biogás, mediante la digestión anaerobia es una forma efectiva para eliminar los desechos y genera grandes beneficios de biocombustible y biol. El problema que presenta el proceso de digestión anaerobia es la tendencia a acidificarse muy rápidamente y

producción limitada de biogás. Sin embargo existen estudios como el de Rico, Muñoz, & Rico (2015) donde demostraron el tratamiento de suero de queso por digestión anaerobia se pueden resolver mediante la co-digestión del lactosuero con mínima proporción de estiércol líquido, también señalan que la mayor proporción del lactosuero presentó mayor producción de metano.

3.16. *Digestión anaerobia*

Consiste en un proceso de dos etapas donde se degrada la materia orgánica sin la presencia de oxígeno, el cual produce combustible (biogás) y biofertilizante (biol). En la primera etapa las bacterias anaerobias, formadoras de ácido, convierten los sólidos volátiles a ácidos grasos, y en la segunda etapa las bacterias formadoras de metano convierten los ácidos grasos a biogás (Obando, 2007).

3.17. *La co-digestión anaerobia*

La digestión anaerobia es una forma de tratar el suero de las agroindustrias como el de las industrias lácteas, pero para evitar los problemas mencionados anteriormente es recomendable la co-digestión anaerobia, el cual permite aprovechar la sinergia de juntar dos materias primas como el lactosuero y el estiércol con la finalidad de obtener buenos resultados en la producción de biogás (Rico et al., 2015). Para llevar a cabo la co-digestión anaerobia es importante contar con un biodigestor, tanque herméticamente cerrado donde se almacena materia orgánica en ausencia de aire.

3.18. *Biodigestor*

Los biodigestores permiten procesar materia orgánica en descomposición. Estos sistemas se desarrollan según los requerimientos tales como, tipo de biomasa, instalación, clima, etc. En cuanto a su funcionamiento son continuos o discontinuos. Los biodigestores discontinuos o batch, reducen inconvenientes, ya que son fáciles de instalar y operar. Por otro lado, los discontinuos necesitan mayor disponibilidad de materia orgánica y hay una

carga y descarga continua de la materia que dificulta la medición de los parámetros (Obando, 2007).

3.19. Biodigestor Batch

La operación del biodigestor consiste en cargar inicialmente al biodigestor con las materias correspondientes, en el proceso se obtiene el biogás producido en un tiempo determinado y al concluir el proceso se vacía todo el digestor para volver hacer el proceso (Arrieta, 2016). Los productos que se obtienen al final de la digestión anaerobia es el bioabono y biogás.

a. Biogás

Es una mezcla de gases que contiene principalmente el dióxido de carbono y metano, también otros gases en pequeñas cantidades. La composición varía de acuerdo a la carga de materia orgánica usada y al proceso que sigue. Se considera inflamable si el metano se encuentra por encima del 45%. Entre sus propiedades específicas se detallan en la tabla 1. (PNUD, FAO, GEF, 2011).

b. Bioabono

De acuerdo a la tecnología y la materia orgánica que se usa en la digestión anaerobia varía las propiedades. Una parte de la carga orgánica es convertida en metano, por ende, se reduce la cantidad de la materia orgánica y la mayor parte de esta materia se mineraliza, razón por la cual hay reducción del nitrógeno orgánico, pero aumento del nitrógeno amoniacal. (PNUD, FAO, GEF, 2011).

Tabla 1. Propiedades generales del biogás

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Fuente y elaboración: Deublein y Steinhauser (2008)

Todo el proceso para generar biogás y abonos se esquematizan en la figura 8. Donde los rumiantes nos proveen de leche que pasa a la industria láctea en la cual pasa por una serie de procesos para la obtención del queso y el suero para ser valorizado es cargado a un biodigestor que permite producir biogás y bioano que llega a los a fertilizar el suelo para mejorar los pastizales y los cultivos. Por otro lado, el biocombustible que se forma se puede aprovechar como fuente energética en la producción del queso. Todo eso es un ciclo, un ejemplo de modelo de economía circular lo que hoy en día muchas gobiernos e industrias buscan, para minimizar sus impactos ambientales. Además, es una gran ventaja para las industrias lácteas, ya que reduce el gasto de energía.

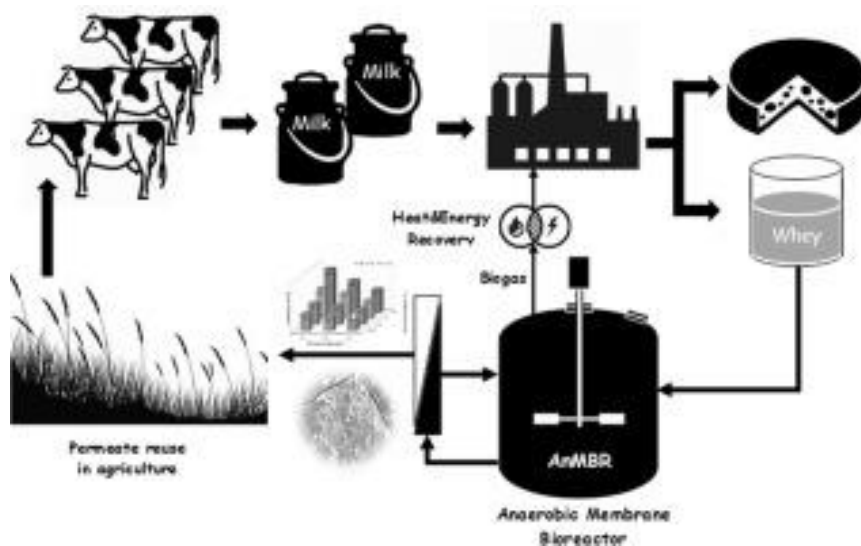


Figura 8. El ciclo del suero de queso como un modelo de economía circular

Fuente: Dereli et al., 2019

3.20. Modelos Económicos

a. Economía lineal

En la economía lineal se extrae los recursos, que son cada vez más escasos para abastecer al crecimiento exponencial de la población; además hoy en día estos recursos ya no pueden abastecer suficientemente a todas las personas. Es más, los residuos finales que quedan de la producción de estos bienes son devueltos al medio ambiente (Granziani, 2018), el cual genera impactos negativos sobre ella, es algo que hoy en día ocurre en la mayoría de países. Por esas razones, es necesario e importante cambiar este modelo tradicional a un modelo de economía circular.



Figura 9. Modelo de Economía Lineal

Fuente: (Kowszyk & Rajiv, 2018)

b. Economía circular

La economía circular con respecto a la sostenibilidad medioambiental es una estrategia que contribuye en la minimización de impactos negativos en el medio ambiente, además representa una alternativa para desplazar el modelo lineal de extraer, producir, consumir y tirar (figura 9). El modelo circular busca aumentar el tiempo de vida útil de un producto (Kowszyk & Rajiv, 2018). Es decir, convertir el residuo final en un recurso para generar otro producto o bien (figura 10), cerrando así el ciclo, el cual minimiza los residuos. (Cerdà & Khalilova, 2016). Para lograr esto se debe implementar medidas como reducción, eliminación, reutilización y reciclaje de los residuos. La ventaja de la economía circular es la reducción de extracción d recursos naturales, reducción de costos, ahorros de energía y presenta otros beneficios. (Granziani, 2018).



Figura 10. Modelo de Economía Circular

Fuente: (Kowszyk & Rajiv, 2018)

La economía circular se aplica a diferentes formas de residuos, uno de ellos es la conversión a energía los residuos.

c. Economía circular de la producción de queso

El aprovechamiento del suero como un combustible es una estrategia para la industria láctea, el cual sigue el modelo de economía circular, donde el suero residual es convertido a biocombustible (biogás) y biofertilizante (biol), mediante tecnologías biológicas como la digestión anaerobia. La industria láctea no solo llegaría a ahorrar energía y reducir sus costos, sino que también ayudaría contribuir en reducción de la contaminación por descargas de suero con contenidos elevados de carga orgánica a los cuerpos naturales, agua y suelo.

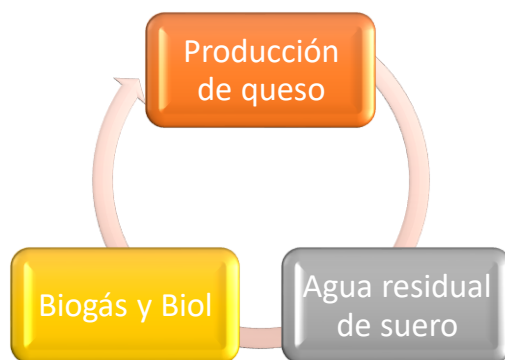


Figura 11. Modelo de Economía Circular

CONCLUSIONES

Las industrias lácteas al producir queso generan un subproducto llamado suero residual, que contiene alto valor nutritivo. La falta de conocimiento técnico y el difícil acceso a tecnologías apropiadas para valorizar son las causas para descargar el efluente, a lagunas de oxidación o simplemente a los ríos y/o al suelo. Provocando así impactos negativos en el ambiente. La forma más apropiada de aprovechar es como biogás y biol, mediante la Co-digestión anaerobia, es una forma de evitar la acidificación que presenta la digestión anaerobia, con la estabilización de estiércol u otra materia orgánica. El producto final que se obtiene es un beneficio para la industria, debido que el biocombustible y biofertilizantes son una forma de darle valor al residuo, el cual sigue el modelo de la economía circular, lo que hoy en día se exige a la mayoría de las industrias. Otros métodos eliminan el contaminante; no aprovechan los nutrientes del lactosuero.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altuntas, S., & Hapoglu, H. (2019). Kefir-Type Drinks From Whey. *Non-Alcoholic Beverages*, (2017), 185–226. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815270-6.00007-4>
- Amini, M.; Younesi, H.; Lorestani, A. A. y Najafpour, G. (2013). Determination of optimum conditions for dairy wastewater treatment in UAASB reactor for removal of nutrients. *Bioresource technology*, 145, 71-79
- Arrieta, W. (2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado (Tesis de pregrado). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.
- Cerdà, E., & Khalilova, A. (2016). Economía Circular, Estrategia Y Competitividad Empresarial. *Economía Industrial*, 401, 11–20.
- Cumpa Gavida, M. E., & Postigo Armaza, R. R. (2016). Efecto de la utilización del suero líquido de leche, con a sin adición de amoniaco cuaternario, como sustituto del agua de bebida en el rendimiento productivo de gallinas ponedoras. *Anales Científicos*, 77(1), 29. <https://doi.org/10.21704/ac.v77i1.546>
- Das, M., Raychaudhuri, A., & Ghosh, S. K. (2016). Supply Chain of Bioethanol Production from Whey: A Review. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 833–846. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.100>
- Decreto Supremo N° 007-2017-MINAGRI.* (n.d.). Retrieved from http://www.digesa.minsa.gob.pe/orientacion/DS_7_2017_MINAGRI.pdf
- Dereli, R. K., van der Zee, F. P., Ozturk, I., & van Lier, J. B. (2019). Treatment of cheese whey by a cross-flow anaerobic membrane bioreactor: Biological and filtration performance. *Environmental Research*, 168, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.021>
- Deublein D., Steinhauser A. (2008). Biogas from waste and renewable resources: An Introduction. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim. 443 p.
- Fernández Rodríguez, C., Martínez Torres, E. J., Morán Palao, A., & Gómez Barrios, X. (2016). Procesos biológicos para el tratamiento de lactosuero con producción de biogás e hidrógeno. Revisión bibliográfica. *Revista Investigación, Optimización y Nuevos Procesos En Ingeniería*, 29(1), 47–62. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016004>
- Hannibal, B., Antonio, S., Mercy, A., Evelyn, R., Paola, V., & Adriana, R. (2015). *Aprovechamiento del suero de leche como bebida energizante para minimizar el impacto ambiental.* 11(26), 257–268.
- Kowszyk, Y., & Rajiv, M. (2018). *Estudios de caso sobre modelos de Economía Circular e integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en estrategias empresariales*

en la UE y ALC. Retrieved from <http://www.innovacional.com/>

- Lácteos, C. (2018). *Capítulo 7. Lácteos y productos lácteos* (pp. 163–174). pp. 163–174.
- Lope Ruelas, D. S. (2015). *Reducción de la demanda química de oxígeno de efluentes de quesería mediante un biodigestor anaerobio* (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2383/Oblitas_Huayllapuma_Elizabeth_Quinto_Apaza_Deyse.pdf?sequence=1
- MINAGRI. (2017). Estudio de la ganadería lechera en el Perú. In *Ministerio de Agricultura y Riego* (Vol. 1).
- Obando, G. (2007). Producción de biogás en reactores anaeróbicos bajo diferentes configuraciones de operación. *Investigación Aplicada e Innovación*, 1(2), 96–103.
- OCDE-FAO. (2017). *Lácteos y sus productos*.
- Panesar, P. S., Kennedy, J. F., Gandhi, D. N., & Bunko, K. (2007). Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry*, 105(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.035>
- Pietro Granziani. (2018). *Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina* (J. Suarez, Ed.). Retrieved from <http://cdi.mecon.gov.ar/bases/docelec/az4041.pdf>
- PNUD, FAO, GEF, y M. (2011). Manual de Biogás. *Global Environment Facility*. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- Rico, C., Muñoz, N., & Rico, J. L. (2015). Anaerobic co-digestion of cheese whey and the screened liquid fraction of dairy manure in a single continuously stirred tank reactor process: Limits in co-substrate ratios and organic loading rate. *Bioresource Technology*, 189, 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.032>
- Tirado Armesto, D. F., Correa, D. A., Gallo Garcia, L. A., & Mouthon Bello, J. A. (2016). *Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea*. 11(April 2017), 171–184. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n1a16>
- UNEP, & Ambiente, M. de M. (2002). *Prevención de la contaminación en la Industria Láctea*. 164. Retrieved from www.cprac.org/docs/lac_es.pdf%5Cn