

Alternativas biotecnológicas para el uso de lactosueros

Andrés Mauricio Arango Aguirre¹

Daniel Ramírez²

Recibido Abril 2021 – Aceptado Agosto 2021

Quántica. Ciencia con impacto social

Vol – 3 No. 2, Julio - Diciembre 2022

ISSN: 2711-4600, e-ISSN: 2954-5838

Pgs 72-97

<https://doi.org/10.56747/rcqv3i2.4>

*Resumen

El presente artículo científico de revisión muestra cómo la biotecnología ofrece la posibilidad de incorporar la cadena de subproductos de procesos agroindustriales, en este caso de la industria láctea, a través del aprovechamiento de los lactosueros para la fabricación de abonos fermentados aplicados en la agricultura orgánica, convirtiéndose en una posibilidad de aumentar los rendimientos productivos en campo gracias a que de esta manera se fertiliza y se aporta vida microbiana al suelo, ya que al incorporar los microorganismos eficientes se optimizan los procesos de descomposición de materia orgánica así como la toma efectiva de nutrientes por las plantas, además de reducir al mismo tiempo el grado de contaminación en los suelos.

Palabras clave: abonos orgánicos, biotecnología, microbiología, lactosueros.

1 Especialista en Biotecnología. Estudiante Maestría en Agronegocios, IES CINOC. Pensilvania, Caldas, Colombia. Correo electrónico: andres.arango@iescinoc.edu.co

2 Ingeniero químico. Estudiante Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Biotechnological alternatives for the use of whey

*Abstract

This scientific review article shows how biotechnology offers the possibility of incorporating the chain of by-products of agro-industrial processes, in this case of the dairy industry through the use of whey for the manufacture of fermented fertilizers applied in organic farming, becoming a great possibility to increase productive yields in the field thanks to the fertilization and microbial life of the soil, because by incorporating efficient micro-organisms they optimize the processes of organic matter decomposition as well as effective nutrient uptake by plants and at the same time reduce the degree of contamination in soils.

Keywords: organic fertilizers, biotechnology, microbiology, whey.

*Introducción

Colombia es un país agrícola por excelencia que después de los años 50, en el apogeo de la revolución verde, entró a ser un gran demandante de fertilizantes a partir de insumos químicos. La nueva ola de uso de agroquímicos se puede contrarrestar con la producción de insumos biológicos y la agricultura orgánica.

El país genera diariamente miles de toneladas de residuos orgánicos. No obstante, algunos de ellos se pierden en los sitios de disposición final generando contaminación ambiental y pérdidas económicas. La solución efectiva es el aprovechamiento de esos subproductos, en abonos orgánicos e incorporándolos nuevamente al suelo y que además restauren los suelos degradados por las diferentes actividades antrópicas. Sin embargo, se percibe la falta de aplicación o escasez de conocimiento de tecnologías limpias entre ellas la aplicación de los microorganismos eficientes (Morocho y Leiva-Mora, 2019).

Con base en lo anterior, estos residuos generarían grandes posibilidades para el modelo de agricultura orgánica, ya que está fundamentado en una serie de principios sociales,

económicos y agroecológicos, que buscan disminuir la dependencia de insumos externos y reducir el impacto ambiental. La producción de abonos orgánicos en el país se ha venido haciendo de manera comercial y artesanal, produciendo el compostaje en las fincas de manera primaria, donde se recolectan los residuos de las cosechas, los vegetales, estiércoles y residuos de la cocina, que luego son apilados entre las calles de los cultivos donde se descomponen lentamente y son aprovechados para dar fertilidad al suelo.

También, cabe mencionar que existe un subproducto llamado lactosuero o suero de leche. Este lactosuero se obtiene cuando la leche es pasteurizada y se le aplica una enzima que hace coagular, llamada cuajo, el cual une los principales componentes de la leche (lactosa, calcio, sales minerales y proteínas lactoséricas). En los lactosueros aún se preservan proteínas (lactosa, proteínas, grasa) que aún pueden ser usadas por la industria. Con un gran potencial para preparar abonos orgánicos mediante procesos de fermentación por sus nutritivas propiedades y componentes puede ser usado incluso en la agroecología.

El suero de la leche es uno de los residuos más representativos de la industria lechera, por cada kilogramo de queso, se producen aproximadamente nueve litros de efluente (85-90% del volumen de la leche), siendo el suero uno de los contaminantes más severos que existen a nivel ambiental (González-Siso, 1996; González-Martínez, 2002; Miranda, 2007; Cuellas, 2008; Cury et al., 2014). Anualmente se producen entre 110 y 115 millones de toneladas métricas de lactosuero (Revillon et al., 2003; Londoño 2006; Parra, 2009; Cury et al., 2014). Se desecha en los ríos, lagos, acuíferos o en el subsuelo generando problemas de eutrofización acuática (Londoño, 2006; Parra, 2009; Cury et al., 2014). (Motta-Correa y Mosquera, 2015, p. 82)

No solamente se puede aplicar esta biotecnología en el área agrícola. De acuerdo con Rocha et al. (2015):

La utilización de poblaciones microbianas benéficas para la recuperación y conservación del suelo, y su entorno, también se encuentra dentro del contexto llamado “fertilización biológica”. Estos microorganismos también participan en gran medida en la conservación del ambiente, y pueden ser utilizados en la regeneración de suelos degradados, en la recuperación de sitios contaminados y en procesos de reforestación. Los biofertilizantes resultan ser, a la fecha, una alternativa biotecnológica que emplea la biodiversidad microbiana existente en nuestro planeta para contribuir a la obtención de una agricultura sustentable, y no contaminante del ambiente. (p. 6)

La industria láctea a nivel mundial enfrenta el desafío de establecer y aprovechar los subproductos de la producción de queso ya que los lactosueros tienen un gran potencial de uso, pero se necesitan complejas técnicas y equipos para su aprovechamiento, lo cual no siempre es posible en sitios alejados de los centros de producción. Por ende, desde la biotecnología se han desarrollado múltiples alternativas para el manejo de estos subproductos, pero se necesita también que se desarrollen soluciones puntuales que puedan ser usadas en las poblaciones campesinas y en pequeñas explotaciones de comunidades rurales.

Entre los autores hay consenso en las posibilidades biotecnológicas que ofrece el uso de lactosueros, muestra de esto los trabajos de Pais et al. (2017): “Valorización del suero de leche: Una visión desde la biotecnología”, de Motta-Correa y Mosquera (2015): “Avances en el aprovechamiento del lactosuero como materia prima en la industria alimentaria”, o de Ramírez-Navas (2015): “Diseño de procesos en Industria Láctea: Transformación de lactosuero”, en donde se analiza la viabilidad del modelo de abonos orgánicos con base en lactosueros y sus posibilidades en la producción orgánica.

En los artículos revisados se muestran las posibilidades de transformación del lactosuero para la alimentación animal, el enriquecimiento de lodos para producir abonos orgánicos y el aislamiento de proteínas del suero, la producción de ácidos orgánicos, la producción de etanol, pero también hay consenso en que es un subproducto contaminante por el elevado contenido en materia orgánica, debido a que la lactosa puede actuar a manera de sustrato de la fermentación microbiana y, por ende, estas aguas tienen unos valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno). “El lactosuero causa contaminación ambiental debido a su alta DBO dentro de un rango de 30,000-50,000 mg/L, siendo su disposición difícil y costosa. La presencia de lactosa en el lactosuero es la principal responsable para este valor de DBO alta” (Parra, 2010, p. 5386). Lo cual implica costos y tasas retributivas en su tratamiento. Hacer vertimientos traería sanciones y multas por verterlos a fuentes hídricas.

*Descripción de las temáticas abordadas

Generalidades

A medida que las explotaciones lecheras se abren camino en la productividad, el aumento de la demanda es clave para mejorar las perspectivas económicas de la industria láctea. Una forma de expandir la demanda de productos lácteos es encontrar nuevos usos económicamente viables para la leche. El análisis económico, ante los nuevos usos de los productos agrícolas, anticipa los efectos potenciales de las innovaciones en el mercado y proporciona una base para evaluar la inversión en investigación y desarrollo y establecer prioridades de investigación. Este estudio evalúa las posibles alternativas de investigación y mercado que tiene el suero derivado de la leche para expandir las posibilidades económicas.

Con el aumento cada vez más de la población, día tras día nos enfrentamos a la alta demanda de alimentos, lo cual genera que los productores apliquen en sus cultivos los abonos de tipo químico, que en la actualidad están siendo los más usados, con el fin de acelerar el crecimiento de las plantas y con ello obtener una buena cosecha (Luna y Mesa, 2016).

Debido al aprovechamiento y en ocasiones el mal uso de estas materias primas, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), a través de la Resolución 1937 de 2003 por ejemplo, establece la prohibición del uso de gallinaza fresca y pollinaza sin ningún tratamiento previo. Estas resoluciones se crean con el fin de minimizar riesgos sanitarios y así evitar la proliferación de microorganismos patógenos.

Cuando la gallinaza se aplica al suelo en forma indiscriminada y continuada, ocasiona en primera instancia una acción mecánica, la cual consiste en una colmatación por taponamiento de los poros del suelo, disminuyendo la capacidad de drenaje del terreno. Posteriormente comienza una acción química en donde se presentan una degradación estructural del suelo, ocasionando alto contenido de sales y nutrientes, consecuencia de la acumulación progresiva de los residuos, se genera una acción biológica consistente en el desarrollo de microorganismos potencialmente patógenos para los animales y el hombre. (Mullo, 2012, p. 10)

Según Piedrahita y Caviedes (2012), “El mantenimiento de la materia orgánica del suelo, es un proceso clave relacionado con la sostenibilidad y productividad de los sistemas agrícolas, especialmente para los que están en suelos frágiles y manejados por agricultores de pocos recursos” (p. 43).

Desde luego, dada la importancia de los efectos benéficos que proporcionan los microorganismos eficientes en las plantas, radican no solamente en la producción, se inicia desde la germinación de las semillas, enraizamiento, estimular a la planta al proceso de la floración, mejora de la calidad de la biomasa y ayuda al proceso de la fotosíntesis, propiedades que han sido demostradas con la aplicación de la diversidad microbiana (Morocho y Leiva-Mora, 2019).

Como consecuencias de su inadecuada disposición, en los suelos se produce saturación de los mismos y en las aguas, debido a la presencia de alto contenido de nutrientes en el lactosuero, se genera un contenido de materia orgánica del 40 al 60 g/l de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y entre 50 y 80 g/l de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de lactosuero líquido (Kavacik y Tapaloglu, 2010; Guerrero et al., 2012), siendo la lactosa el principal componente de los sólidos que contribuye a la alta DBO y DQO (Ghaly y Kamal, 2004; Mukhopadhyay et al., 2005; Koutinas et al., 2009; Almeida et al., 2009; Kavacik y Tapaloglu, 2010, Guerrero et al., 2012). (Cury et al., 2014, p. 138)

Lactosueros

Según Motta-Correa y Mosquera (2015):

El suero lácteo o lactosuero, posee un alto valor nutritivo, contiene más del 50% de los sólidos de la leche, incluyendo proteínas, lactosa, minerales y vitaminas (Atra et al., 2005; Buitrago et al., 2008; Smithers, 2008; Conti et al., 2012). En términos de masa, el lactosuero contiene cerca del 50% de los sólidos totales de la leche, el 25% de las proteínas, el 7% de la grasa y cerca del 95% de la lactosa, dependiendo del contenido de humedad en el queso, además de contener cerca del 50% de los minerales (International Dairy Federation, 1991; Inda, 2000). El lactosuero está constituido principalmente por lactosa (75%), una azúcar relativamente insoluble, de bajo poder edulcorante, que no siempre puede ser absorbida por el sistema digestivo humano (Alvarado-Carrasco & Guerra, 2010; Cuellas & Wagner, 2010). (p. 83)

Los lactosueros aportan nutrientes esenciales que ayudan y aceleran el proceso de fermentación de los biopreparados, permitiendo la reproducción acelerada de la microbiología. Su contenido en *Lactobacillus* y coliformes lo constituyen un excelente medio de cultivo (Quiñones, 2016, pp. 29-30).

Un ejemplo claro es el proceso de descomposición fermentativa, conocido también como abono orgánico fermentado bocashi.

Se elabora con materia orgánica a fermentar, bajo condiciones de oxidación incompletas con la acción de microorganismos facultativos fermentadores. Entre ellos tenemos los microorganismos productores de ácido láctico, levaduras, tantos nativos provenientes de materiales propios, a través de una inoculación microbiana. (Piedrahita y Caviedes, 2012, p. 27)

Por lo anterior, es que existe la necesidad de implementar y apostarle a la agricultura orgánica, por sus diferentes ventajas significativas, principalmente por ser amigable con el medio ambiente y por promover un ahorro económico. Día tras día, las personas están implementando y apuntándole al consumo de alimentos sanos, libres de agroquímicos, y los agricultores se proyectan a la sostenibilidad de sus cultivos e implementan dentro de sus parcelas la agricultura orgánica. Cabe resaltar la importancia y los beneficios de esta aplicación como alternativa para mitigar el impacto negativo del estrés causado por variables, por ejemplo, el cambio climático actual que se presenta y causa problemas en el rendimiento productivo, además de causar pérdidas económicas, ambientales y desequilibrio en la seguridad alimentaria (Calero et al., 2019).

Recubrimientos

Según Balagtas et al. (2003):

Las nuevas aplicaciones que se están investigando utilizan la capacidad de la proteína de suero procesada, en forma de aislado de proteína de suero (WPI) y concentrado de proteína de suero al 80% de proteína (WPC80), para formar películas y recubrimientos intactos en las superficies de los objetos. Las técnicas utilizadas para formar estas películas y recubrimientos se describen completamente en las publicaciones a las que se hace referencia a continuación, pero se pueden describir aquí brevemente. Para películas y recubrimientos de WPI, se calienta una solución al 10% (en peso) de WPI durante 30 minutos para desnaturalizar las proteínas. Esta solución se mezcla

luego con otros ingredientes, como plastificantes, conservantes o lípidos, para lograr las características deseadas. Luego, la solución se vierte sobre placas para hacer películas o se recubre sobre productos para hacer recubrimientos. En el caso de películas y revestimientos de WPC80, el pH de la solución de WPC80 al 10% debe ajustarse con hidróxido de sodio antes de desnaturalizar las proteínas. A continuación, la solución se trata de la misma forma que la solución WPI. (p. 1663)

Recubrimientos de barrera contra la grasa en papel y cartón (Chan y Krochta, 2001a, 2001b): estos recubrimientos se utilizan en envases para productos como comida rápida y comida para mascotas (Chan y Krochta, 2001a).

Recubrimientos de barrera al oxígeno en plásticos (Hong y Krochta, 2003): la mayoría de los plásticos que son buenas barreras contra la humedad son malas barreras contra el oxígeno. Por tanto, normalmente se recubren para proporcionar una buena barrera al oxígeno (Chan y Krochta, 2001b).

Recubrimientos brillantes en productos de confitería (Lee et al., 2002; Lee et al., 2003): el esmalte más utilizado es la goma laca, también llamado glaseado de confitería. Los fabricantes de productos de confitería buscan un esmalte alternativo que no tenga las estrictas restricciones de la EPA que acompañan al uso de laca (Lee et al., 2003).

Recubrimientos para frutas colombianas (uchuva). Como en los casos anteriores, la utilización del lactosuero para elaborar películas de recubrimiento de alimentos para su conservación resulta efectiva y puede ser utilizada en el recubrimiento de frutas como lo indican López et al. (2016).

Potencial de las proteínas y péptidos bioactivos de suero de queso en el desarrollo de compuestos de película comestible antimicrobianos

Durante la producción de queso, la caseína se utiliza como componente básico del queso, mientras que las proteínas solubles del suero se separan en residuos líquidos del suero. Con el fin de abordar el impacto ambiental de los desechos de queso, actualmente se están utilizando varias tecnologías para convertir los desechos de leche en productos de valor agregado.

De acuerdo con Dinika et al. (2020):

Los péptidos bioactivos son uno de los productos de mayor valor agregado del suero de queso. Se ha demostrado que péptidos bioactivos similares elaborados a partir de proteínas de la leche sirven como péptidos antihipertensivos para el metabolismo humano. La lactoferrina es una de las proteínas bioactivas del suero de queso que tiene un efecto antimicrobiano. Se han informado varias actividades antimicrobianas de la lactoferrina, incluso contra bacterias Gram positivas o Gram negativas, levaduras, virus, etc. (...). Por lo tanto, la fracción de lactoferrina del suero de queso puede considerarse como un producto alternativo valioso con un alto potencial para aumentar la vida útil de los alimentos.

Muchos BP se pueden obtener del suero de queso. Algunos de los BP reconocidos de la proteína de suero de queso son los siguientes: albutensina A, lactoferrina, serorfina, κ -lactorfina, λ -lactorfina y κ -lactotensina (Park y Nam, 2015).

Los principales BP que se han encontrado en el suero de queso se obtienen de la hidrólisis de las proteínas del suero κ -lactoalbúmina (κ -LA) y λ -lactoglobulina (λ -LG). Sin embargo, el potencial antimicrobiano de los péptidos bioactivos obtenidos a partir de estas proteínas parece explotarse mucho menos en comparación con lactoferrina (Hernández et al., 2011).

El suero de queso también incluye albúmina de suero bovino, lactoperoxidasa, lactoferrina e inmunoglobulinas, que también tienen actividad antimicrobiana, antioxidante o inmunomoduladora. La síntesis de diferentes tipos de BP también depende en gran medida del tipo de fracción de proteína de la leche que se hidroliza (Dziuba y Dziuba, 2014).

Lactoferrina como proteína antimicrobiana o fuente de péptidos bioactivos antimicrobianos

La lactoferrina tiene el potencial de ser un agente antimicrobiano de la proteína del suero. Los productos de hidrólisis de lactoferrina han producido varios péptidos, como la lactoferrina, que tienen un efecto antimicrobiano contra bacterias Gram positivas y Gram negativas (Orsi, 2004).

La hidrólisis de lactoferrina generalmente usa enzimas como catalizador. Muchos estudios han demostrado que la proteína de suero es una fuente de lactoferrina para agentes antimicrobianos. Se sabe que las propiedades antimicrobianas de la lactoferrina son poderosas, y son las siguientes:

- 1) Unión a la superficie celular, por ejemplo, a *Bacillus subtilis* y *E. coli*.
- 2) Daño de las células bacterianas a través de la rotura de la membrana y daño por hongos a través de la alteración de las características ultraestructurales.
- 3) Liberación de lipopolisacáridos y consecuente rotura de la membrana externa.
- 4) Interacción de membranas de fosfolípidos bacterianos.
- 5) Interrupción de las principales funciones de la membrana celular por formación de canales iónicos en membranas artificiales.
- 6) Efectos sobre el contenido del citoplasma y la consiguiente actividad de la superficie celular (Jenssen y Hancock, 2009).

Es una proteína glicosilada de 80 kDa de aprox. 700 aminoácidos con alta homología entre especies. Es una cadena polipeptídica simple. Plegada en dos lóbulos simétricos (lóbulos N y C), que son muy homólogos entre sí (33-41% de homología). Estos dos lóbulos están conectados por una región de bisagra que contiene partes de una hélice entre los aminoácidos 333 y 343 en LF humano (hLF) (González et al., 2009).

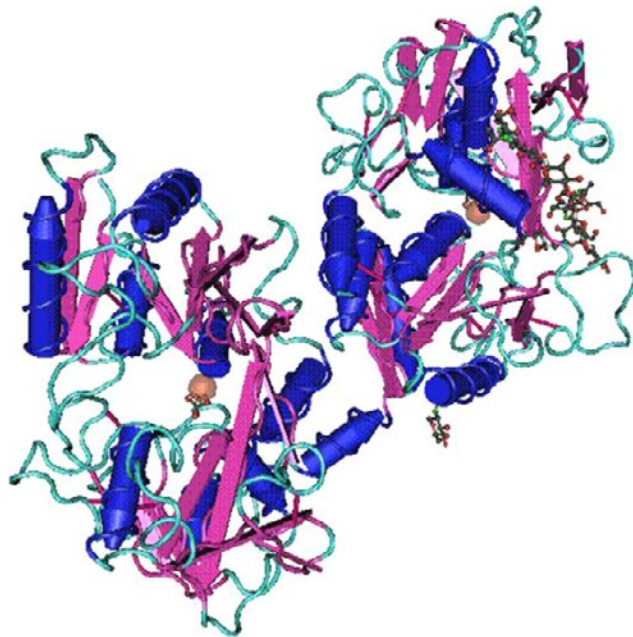


Figura 1. Estructura tridimensional de la lactoferrina bovina biférica a una resolución de 2,8 angstroms.

Fuente: González et al. (2009).

Microrganismos eficientes

La microbiología del suelo proporciona interesantes soluciones para mejorar estos procesos. El concepto de microorganismos eficientes EM y su tecnología fueron desarrollados por el Dr. Teruo Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón.

La importancia radica en las diferentes investigaciones realizadas, en donde se ha demostrado:

(...) que los microorganismos benéficos pueden: incrementar el valor nutricional; aumentar la supervivencia y disminuir enfermedades mediante la inhibición del crecimiento de bacterias patógenas; mantener y mejorar la calidad del agua con la reducción de concentraciones de amonio, nitrito y nitrato en el agua; disminuir la carga elevada de materia orgánica. (Campo-Martínez et al., 2014, p. 81)

No obstante, son eficaces y efectivos a la hora de recuperar suelos deteriorados e improductivos, aportándoles los nutrientes necesarios para el crecimiento óptimo de la agricultura orgánica con el fin de procurar apuntarle al desarrollo sostenible a corto, medio y largo plazo; algunos de ellos realizados mediante procesos de fermentación en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. “Interacciones benéficas se han reportado entre las plantas y los microorganismos en el medio ambiente y las funciones de los ecosistemas derivados” (Calero et al., 2019, p. 27).

Los microorganismos del suelo interactúan con las raíces de las plantas y otras sustancias del suelo en la interfase raíz-suelo. Esta interacción entre suelo, raíces y microorganismos da lugar al desarrollo de un ambiente vivo y dinámico conocido como rizosfera, donde se forma un equilibrio de flora microbiana que tiene efectos en el desarrollo de otros organismos.

Los biofertilizantes o bioestimulantes a base de microorganismos promueven y benefician la nutrición y el crecimiento de las plantas.

Se trata de microorganismos del suelo, generalmente hongos y bacterias, que se asocian de manera natural a las raíces de las plantas (...). Estos microorganismos pueden facilitar de manera directa o indirecta, la disponibilidad de determinados nutrientes tales como: el nitrógeno, el fósforo y el agua, además de producir sustancias promotoras del crecimiento vegetal. (Fernández y Rodríguez, 2005, p. 28)

Abonos orgánicos

Los bioles son una magnífica oportunidad para tratar lactosueros en explotaciones pequeñas y a nivel de finca. En el trabajo de investigación adelantado por Gordón (2013): *Utilización de suero de leche para la elaboración de abono orgánico (biol)*, se establecieron 10 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, con un diseño de bloques al azar y un arreglo A x B, “donde A fue cinco porcentajes de suero de leche y el factor B dos tipos de inóculos microbianos, siendo sometidos a fermentación anaerobia la cual tuvo un tiempo promedio de 50 días para la cosecha del biol” (p. 1). Siendo el biol resultante con mejores posibilidades una fuente orgánica de fitorreguladores que en pequeñas cantidades es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para enraizar, mejorar el desarrollo del follaje, y mejorar el vigor de las semillas.

La adición al biol de estiércol, fuente de materia orgánica y los lactosueros a modo aportante de vitaminas, proteínas, grasas, aminoácidos. La melaza aportante de energía para activar el metabolismo microbiológico. El agua medio para que se den las reacciones, el humus que aporta flora microbiana y enzimas de crecimiento. Las cenizas que aportan elementos minerales. El inóculo microbiano que aporta microorganismos, levaduras, por ejemplo: *Saccharomyces cerevisiae*, hongos, protozoos, bacterias que puedan metabolizar y hacer disponible para las plantas y el suelo los elementos nutritivos. Todos estos ingredientes se llevan a un tanque plástico, que es sellado para lograr hacer vacío en el tanque para que se libere el gas producto de la fermentación anaeróbica. Este proceso dura de 30 a 45 días.

Las bacterias que pueden utilizarse para la producción de ácido láctico son cocos y bacilos Gram positivos, anaerobios facultativos, no esporulados, inmóviles y catalasa negativo, pertenecientes a los géneros *Lactobacillus* (Lb), *Carnobacterium*, *Leuconostoc* (Leu), *Pediococcus* (Pd), *Streptococcus* (Str), *Tetragenococcus*, *Lactococcus* (Lc), *Vagococcus*, *Enterococcus* (Ent), *Aerococcus* y *Weissella* (Bergey, 1984; Hofvendahl y Hhan-Hägerdal, 2000). (Serna-Cock y Rodríguez-de Stouvenel, 2005, p. 55)

Bacterias ácido lácticas

Según Luna y Mesa (2016):

Las bacterias ácido lácticas, tienen la habilidad de suprimir enfermedades, incluyendo microorganismos entre estos están el *Fusarium*, que aparecen en cultivos continuos y en circunstancias normales, debilitan las plantas, exponen a enfermedades y a poblaciones grandes de plagas y nematodos. El uso de bacterias ácido lácticas reduce las poblaciones de nemátodos, controla la propagación, dispersión de *Fusarium*; gracias a ello, induce un mejor ambiente para el crecimiento de los cultivos. (p. 33)

Estamos ante un reto biotecnológico de seguir desarrollando soluciones a problemas generales y de alto impacto ambiental soportadas en el conocimiento de la microbiología y con inmensas posibilidades de desarrollo en todos los ámbitos.

Para la producción de ácido láctico con bacterias u hongos se necesita un sustrato que pueda reemplazar al azúcar por su alto costo. Por ende, se necesitan alternativas más económicas y que sean residuos de otros procesos industriales. Esta podría ser una opción biotecnológicamente viable: las vinazas resultantes del proceso del alcohol carburante de caña de azúcar o bioetanol que se usa según la normatividad colombiana en una relación del 10% en la mezcla total y que podría llegar en un futuro al 20% incrementando el volumen de vinazas que pueden tener una relación de 12 litros de vinaza por 1 litro de bioetanol.

Las propiedades gelificantes y emulsificantes de los lactosueros abren la puerta al desarrollo de productos que sirvan para aglomerar residuos en procesos productivos, aglutinar partículas contaminantes en derrames, usarse a modo de producto para capturar residuos en perforaciones de pozos petroleros y de pozos de aguas o biotrampas de partículas plásticas que puedan ser atrapadas por redes antes de llegar al mar evitando su incorporación a la cadena trófica marítima.

“Los geles de proteína de lactosuero pueden ser usados como hidrogeles de pH-sensitivos, el cual puede ser definido como red tridimensional que muestra la habilidad de hincharse en agua y retiene una fracción significativa de agua dentro de esta estructura (Gunasekaran et al., 2006)” (Parra, 2009, p. 4970). Esta propiedad ha sido usada para crear geles que son aplicados cerca de la zona radicular en climas secos para retener agua y que esta esté disponible para las plantas.

En el estudio realizado por Mahmood et al. (2020) se agregó fertilizante orgánico (estiércol de oveja) al suelo antes de plantar en tres niveles (0, 15, 30) Mg.ha⁻¹. Se roció extracto de ajo en relación de 5 ml de agua L⁻¹, con suero a 20 ml de agua L⁻¹. Se pulverizó biofertilizante de levadura de pan *Saccharomyces cerevisiae* a 5 gL⁻¹ de agua sobre las plantas. Los resultados mostraron un efecto significativo de agregar fertilizante orgánico al suelo y rociar con extracto de ajo, suero y biofertilizante de levadura de pan y sus interacciones.

En otro estudio, hecho por Peralta et al. (2016), encontraron que:

El Fastbiol 20 [bioinsumo líquido] contiene una alta concentración de N (...), esto se debe a que el nitrógeno contenido en la materia prima (excretas de las vacas en producción) no se ha perdido como amoníaco debido al pH bajo (3.75) según el valor arrojado por los laboratorios de LASPAF y en condiciones de laboratorio fue de pH 4.02, este valor se mantuvo bajo por un período de 30 días que duró el experimento, por acción del ácido láctico, condición por el cual se evita que el nitrógeno se pierda rápidamente. Según Guerrero (1993), indica que los estiércoles y el guano tienen pH alcalino y por ello pierden rápidamente el N, generando un fuerte olor amoniacal. (p. 8)

Entre otros productos que se pueden obtener a partir de lactosuero están: insecticidas: endotoxina o toxina mosquitocidal; solventes: acetano-butanol y acetona-butanol-etanol (ABE); tensoactivos: soforolípidos, y vitaminas: vitamina C o ácido l-ascórbico y vitamina B12 (Ramírez-Navas, 2012).

La mayoría de las bacterias de ácido láctico (LAB) son facultativamente anaeróbicas, catalasa-negativas, no móviles, cocos o barras sin formación de esporas, productoras de ácido láctico producto final y principal causa de la fermentación de carbohidratos, así mismo son reconocidas las bacterias GRAS. Los géneros más representativos de LAB son los *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Lactosphaera*, *Pediococcus* y *Streptococcus*, *Missococcus*, *Oenococcus*, *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Dolosigranulum*, *Globicatella*, *Teragenococcus*, *Alloiococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Vagococcus*, y *Weisella*. (Guel et al., 2018, p. 42)

Producción de distintas moléculas a partir de lactosuero

Una de las alternativas del lactosuero es la utilización de este como residuo plataforma para la producción de distintos compuestos químicos con valor comercial e industrial. El

creciente desarrollo tecnológico ha permitido darle un valor agregado al lactosuero como lo mostramos a continuación.

Ácido láctico

Por otra parte, “El ácido láctico es producto de la extracción y purificación de caldos de fermentación donde se usa bacterias fermentativas el co-cultivo *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, usualmente usadas para la producción de yogurt” (Rojas et al., 2015, p. 5).

De acuerdo con García et al. (2013):

Un patrón similar se observó para la producción de ácido láctico a partir de lactosuero; glucosa; melaza; mucílago de café; suero de leche de cabra. Las concentraciones de biomasa y ácido láctico se estabilizaron a las 21 horas de fermentación batch, tiempo en el cual se alcanzaron las productividades máximas (Q_p) de ácido láctico en cada tratamiento. La productividad es incremental durante las primeras 12 h de la fermentación, a partir de la cual se presenta una meseta hasta las 21 h. La máxima productividad fue de $1,058 \text{ g. L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y se obtuvo en el lactosuero suplementado con lactosa: sulfato de amonio inicial de 47,9: 2,62 g. L^{-1} y 55,88: 5,0 g. L^{-1} . (p. 141)

Según Motta-Correa y Mosquera (2015):

Para la producción y recuperación tanto de ácido láctico, ácido cítrico a partir del suero lácteo se han empleado microorganismos eficientes, siendo el *lactobacillus casei* y el *Apergillus niger*, respectivamente los microorganismos más representativos para la regeneración de otros macrocompuestos presentes en el suero (Sánchez et al., 2009; Leal et al., 2010).

Siendo el lactosuero un producto que a nivel de procesos de finca se usa solo para alimentar animales y a nivel de municipio se convierte en un problema ya que la cantidad no permite ser movilizad a un centro poblado donde la industria lo pueda aprovechar, estos volúmenes en plantas municipales de lácteos generalmente son vertidos al suelo o a las fuentes de agua, abriendo entonces la posibilidad de ser compostados y crear abonos orgánicos líquidos y sólidos.

Producción de ácido hialurónico

El ácido hialurónico (AH) es un polisacárido lineal compuesto por unidades diméricas de N-acetilglucosamina y ácido glucurónico. Este polímero es un componente de tejidos como piel, cartilago, cordón umbilical, crestas de aves, líquido sinovial, humor vítreo y también está presente en las paredes celulares de bacterias como *Streptococcus zooepidemicus*. La función biológica y la aplicación específica de AH dependen del peso molecular. El AH de alto peso molecular tiene un nivel de demanda creciente en los sectores clínico y farmacéutico, que incluyen cirugía plástica, tratamiento de artritis, quemaduras mayores y cirugía intraocular.

Según el estudio de Amado et al. (2016), se desarrolló:

(...) un medio de cultivo de bajo costo utilizando suero de queso como fuente de nitrógeno para la producción de HA por *S. zooepidemicus*. Los medios de cultivo que contienen suero de queso (4.0 g/L) o hidrolizado de suero (3.2 g/L) produjeron concentraciones de HA comparables a las del medio sintético (3.2 g/L), lo que confirma la idoneidad de esta fuente alternativa de nitrógeno para esta bioproducción. Un simple análisis de costos reveló la viabilidad de los medios formulados como subproductos para reducir los costos de producción hasta en un 70%, en comparación con los medios sintéticos.

Producción de isobutanol

De acuerdo con Chen y Liao (2016):

El isobutanol es una opción atractiva para los biocombustibles. Su densidad de energía es similar a la del 1-butanol pero posee un índice de octano más alto, que es preferible para mezclarlo con gasolina. La producción de isobutanol biológico con un título y un rendimiento significativos se demostró por primera vez en *E. coli* utilizando una vía no fermentativa. (p. 4)

Según Novak et al. (2020):

El uso de suero de queso como materia prima alternativa en lotes de alimentación pulsada permitió una mayor estabilidad del proceso y títulos de isobutanol más altos. En el futuro, la investigación de otras materias primas baratas y corrientes de desechos puede contribuir al desarrollo de procesos rentables. (p. 1130)

Producción de galactooligosacáridos (GOS)

Los GOS se definieron recientemente como:

(...) una mezcla de aquellas sustancias producidas a partir de lactosa, que comprende entre 2 y 8 unidades de sacáridos, siendo una de estas unidades una glucosa terminal y las restantes unidades de sacáridos son galactosa y disacáridos que comprenden 2 unidades de galactosa.

El tamaño del mercado global de GOS se estimó recientemente en unas 20.000 toneladas con una tasa compuesta anual de entre el 10% y el 20% (Torres et al., 2010). Debido a la alta cantidad de lactosa presente en el lactosuero, este se presenta como una materia prima plataforma para la producción de GOS.

La lactosa se puede transformar en diferentes productos (...). Entre estos productos se encuentran los GOS, los cuales son compuestos prebióticos derivados de la hidrólisis de la lactosa empleando la enzima β -galactosidasa (...). Los prebióticos son ingredientes alimentarios no digeribles que alcanzan el colon y estimulan el crecimiento o la actividad de las bacterias benéficas del sistema digestivo. (Gómez y Sánchez, 2019, p. 141)

Producción de hidrógeno

El hidrógeno ahora se considera una de las alternativas a los combustibles fósiles. Se prefiere al biogás o al metano porque el hidrógeno no está químicamente unido al carbono y, por lo tanto, la combustión no contribuye a la generación de gases de efecto invernadero ni a la lluvia ácida. La producción de hidrógeno fermentativo es un proceso anaeróbico basado en microbios, que emite menos dióxido de carbono que los procesos de producción de hidrógeno termoquímicos convencionales. El suero de queso contiene aproximadamente un 5% de lactosa, que es un sustrato suficiente para ser utilizado con fines de fermentación (Ferchichi et al., 2005). Según Azbar et al. (2009), las aguas residuales de suero de queso, que son ricas en lactosa, son aptas para la producción de biohidrógeno utilizando microflora anaeróbica mixta en condiciones tanto mesófilas como termófilas.

Producción de bioetanol

Dicen Azhar et al. (2017) que el bioetanol ha sido identificado como el biocombustible más utilizado en todo el mundo, ya que contribuye significativamente a la reducción del consumo de petróleo crudo y la contaminación ambiental. Se puede producir a partir de varios tipos de materias primas como sacarosa, almidón, biomasa lignocelulósica y de algas a través del proceso de fermentación por microorganismos. Por esto, el lactosuero resulta ser una materia prima atractiva para la producción de bioetanol a través de fermentación. Por eso, Guimarães et al. (2010) declaran que existe un gran excedente de lactosa en el lactosuero, su conversión en productos a granel como el bioetanol debe considerarse como una posible solución, lo que de hecho han realizado durante muchos años las lecherías de Irlanda y Nueva Zelanda.

Medios de cultivo

Con el actual desarrollo biotecnológico, se ha desarrollado paralelamente la necesidad de encontrar distintos medios de cultivo para garantizar el desarrollo y el crecimiento de determinados microorganismos (bacterias, levaduras), necesaria en el sector clínico, industrial y de alimentos. El lactosuero, debido a su variada composición de carbohidratos, proteínas y lípidos, resulta ser un atractivo residuo a ser estudiado por el gran potencial para ser el medio de crecimiento y desarrollo de microorganismos específicos.

Medio de cultivo para la *Rhizobium loti* y su relación con las legumbres

De acuerdo con Estrella et al. (2004):

Las legumbres pueden establecer una relación simbiótica con las bacterias fijadoras de nitrógeno presentes en el suelo, y el beneficio potencial de la inoculación se conoce desde hace años. Todas estas bacterias pertenecen a la familia Rhizobiaceae, que comprende tres géneros: *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Azorhizobium*. Las bacterias de cualquiera de estos géneros se conocen generalmente como rizobios y su interacción con las leguminosas induce el desarrollo de estructuras especializadas llamadas nódulos. Los rizobios infectan y colonizan los nódulos estableciendo así una cooperación metabólica entre los dos simbioses: las bacterias reducen el nitrógeno atmosférico a amoníaco y la planta proporciona a las bacterias azúcares sintetizados por la reducción del dióxido de carbono durante la fotosíntesis. (p. 122)

Según Estrella et al. (2004), se demostró que “las células de *R. loti* cultivadas en un medio a base de suero de queso son más capaces de soportar condiciones ambientales desfavorables” (pp. 122-123). Estos resultados son importantes en el caso del cultivo de legumbres en tierras áridas.

Medio de cultivo para *K. marxianus*

Según Fonseca et al. (2008):

Se han aislado cepas pertenecientes a la especie de levadura *Kluyveromyces marxianus* de una gran variedad de hábitats, lo que da como resultado una alta diversidad metabólica y un grado sustancial de polimorfismo intraespecífico. Como consecuencia, se han investigado varias aplicaciones biotecnológicas diferentes con esta levadura: producción de enzimas (β -galactosidasa, β -glucosidasa, inulinasa y poligalacturonasas, entre otros), de proteína unicelular, de aroma compuestos, y de etanol (incluidos los de alta temperatura y procesos simultáneos de sacarificación-fermentación); reducción del contenido de lactosa en productos alimenticios; producción de bioingredientes de suero de queso; biorremediación; como un agente antiholesterolémico; y como anfitrión de heterólogos producción de proteínas. (p. 339)

De Souza et al. (2001) encontraron que *Kluyveromyces marxianus*, un recombinante portador de plásmido, sin ningún gen particular de relevancia, derivado de la cepa auxotrófica KMS-2 (ura-), creció en suero de queso con una tasa máxima de crecimiento específico de 0.34 h⁻¹. Esto indica que el lactosuero resulta ser un medio efectivo para el crecimiento de este microorganismo en específico.

Además de esto, se tienen datos de la producción de bioingredientes, a partir de la *K. marxianus* en lactosuero como medio de cultivo. Como lo indican Belem y Lee 1998), *Kluyveromyces marxianus* var. *marxianus* es una levadura láctea que produce β -galactosidasa, lo que permite la fermentación del suero. Además, se ha propuesto *K. marxianus* como fuente de: (1) oligonucleótidos, utilizados como potenciadores del sabor en productos alimenticios; (2) oligosacáridos, utilizados como prebióticos para estimular el crecimiento de *Bifidobacterium* sp. en los intestinos de animales y humanos; y (3) oligopéptidos, inmunoestimuladores añadidos a los productos lácteos que se liberan en el mosto después de la proteólisis de la proteína del suero.

Otros usos

Según García et al. (2015):

La fabricación de bebidas a base de suero de leche requiere la mezcla de jugo de frutas apropiadas y mínimamente procesadas con selección de estabilizadores adecuados y acidulantes para elaborar bebidas de fruta aceptables basadas en suero. Krasaekoopt y Lokuliyange (2011) usaron lactosuero de leche de vaca, búfalo y de cabra para elaborar una bebida fermentada, Sakhale et al. (2012) utilizaron una bebida saborizada con mango, Singh y Singh (2012) obtuvieron una bebida energética con pulpa de mango, Shukla et al. (2013) probióticos y jugo de piña, Sameen et al. (2013) bebida carbonatada saborizada. La maracuyá (*Passiflora edulis*) fruto de la flor de la pasión es originario del Brasil, es deliciosa, exótica y nutricionalmente aporta vitamina C 12 mg/100g y el jugo constituye el 36,8% de la fruta, presenta una acidez titulable del 44,7% como ácido cítrico, pH entre 2,8 - 3,3 y [grados]Brix de 12-14 (ICONTEC NTC 404). El lactosuero es un subproducto que se genera en grandes cantidades y contiene alrededor del 55% del total de nutrientes de la leche. Sin embargo, este líquido está subutilizado debido al poco conocimiento sobre sus usos potenciales, por tanto, es desechado como efluente lo que genera un grave impacto ambiental debido a su alta demanda biológica de oxígeno o se utiliza como alimento para porcinos, lo cual no genera muchas utilidades para las queserías. (p. 18)

Uso alternativo de lactosuero en biorrefinerías

El concepto de biorrefinería abarca una amplia gama de tecnologías capaces de separar los recursos de biomasa (madera, pastos, maíz...) en sus componentes básicos (carbohidratos, proteínas, triglicéridos...) que pueden convertirse en productos de valor agregado, biocombustibles y químicos... Una biorrefinería es una instalación (o red de instalaciones) que integra procesos y equipos de conversión de biomasa para producir biocombustibles de transporte, energía y productos químicos a partir de la biomasa (Cherubini, 2010). Con base en este concepto podemos entender que el objetivo de esta es reducir el impacto de los residuos generados por la agroindustria.

Es por ello que el uso de lactosuero en esquemas de biorrefinerías ha sido considerado un tema de gran importancia debido a la contaminación que provoca cuando se vierte a ríos y suelos sin tratamiento. Se han descrito tres tipos de biorrefinerías, conocidas como fase I, II y III. Una biorrefinería de fase I produce un único producto final. Un proceso en el que se obtienen más de dos productos diferentes se considera una biorrefinería de fase II. Las biorrefinerías de la fase III combinan diferentes tecnologías para producir su propia energía.

*Conclusiones

El lactosuero posee muchas posibilidades biotecnológicas, industriales y técnicas que permiten el aprovechamiento de los productos disueltos en estos lactosueros, siguiendo las discusiones éticas y técnicas de su uso para la industria alimentaria, sus problemáticas cuando son usados a manera de reemplazo de la leche y las posibilidades que da el tratamiento de estos a través de técnicas industriales, a manera amplia los efectos beneficios en la industria láctea, generando innumerables posibilidades de productos que pueden ser aprovechados.

Dentro de la producción en masa y agroindustrial de productos lácteos y a pequeña escala, muchas veces producción artesanal de derivados lácteos en finca, pasa de decenas a miles de litros de residuos, estos residuos o lactosuero son la base fundamental para elaboración de diferentes tipos de sustratos de uso agropecuario, pasando desde biofertilizante foliar y edáfico, a elaboración de insecticidas de síntesis orgánica; no obstante en el país no se aprovecha en su mayor potencial, y por lo tanto se requiere de mayor conciencia y conocimiento para el uso de los mismos.

La creación de abonos foliares y abonos sólidos que tienen la base el lactosuero y sus posibilidades en el marco de la agroecología, a modo de respuesta puntual para pequeñas explotaciones donde gran parte de la población campesina produce queso como alternativa para la diversificación de sus ingresos y que no se tienen los conocimientos sobre las posibilidades de uso de este subproducto y sus grandes ventajas para disminuir la contaminación de las fuentes hídricas y el uso para la creación de abonos foliares que puedan ser usados para apoyar los procesos de seguridad alimentaria en finca.

Por eso la reglamentación en el uso del lactosuero, genera una gran posibilidad para la industria ya que este puede tener una serie de aplicaciones útiles que no entran en conflicto con la calidad de los productos que llegan a los consumidores. Se espera que estas regulaciones protejan al consumidor de los productos elaborados a base de leche, que estos tengan en realidad el contenido nutricional y los subproductos sean usados por otras industrias dado su potencial, para nuestro caso el área agrícola. Los procesos biotecnológicos que son incipientes en Colombia, por su complejidad, costos y necesidades de personal capacitado al igual que equipos, por ende, la mínima existencia de trabajos investigativos sobre las posibilidades de hacer ejercicios de tratamiento de lactosueros en fermentados para el aprovechamiento de la agricultura ecológica representa un avance importante en el área de la investigación y desarrollo agrícola.

Los microorganismos eficientes que están disueltos en los lactosueros o que puedan ser enriquecidos en estos procesos fermentativos y de realización de abonos orgánicos tipo “bocashi” han sido usados desde la antigüedad para hacer agricultura orgánica y funcionan desde la base de recuperar la vida microbiana del suelo, he ahí la importancia de la investigación y aplicación acerca de los usos agrícolas del lactosuero partiendo de aprovechamiento de los residuos lácteos de la leche, en conjunto con las oportunidades que brinda al sector lechero y los beneficios al área agrícola, así como el área financiera tanto de pequeños productores como de grandes empresas, además su utilidad e importancia al cuidado y preservación del medio ambiente a mediano y largo plazo. Cabe resaltar también la oportunidad de negocio en el sector de comercialización de abonos a base de los lactosueros, debido a que se estaría aprovechando un residuo de la industria láctea y reutilizando en una presentación comercial de abono con altos beneficios nutricionales al suelo así como los propios beneficios económicos de una organización empresarial al comercializar el producto como marca estándar en un mercado poco explorado y competitivo en la nueva generación, adaptándonos a los cambios que propone la actualidad mundial.

*Referencias

- Amado, I. R., Vázquez, J. A., Pastrana, L. y Teixeira, J. A. (2016). Cheese whey: A cost-effective alternative for hyaluronic acid production by *Streptococcus zooepidemicus*. *Food chemistry*, 198, 54-61.
- Azbar, N. U. R. Í., Dokgöz, F. T., Keskin, T. U. Ğ. B. A., Eltem, R. E. N. G. İ. N., Korkmaz, K. S., Gezgin, Y. Ü. K. S. E. L., ... y Tutuk, F. (2009). Comparative evaluation of bio-hydrogen production from cheese whey wastewater under thermophilic and mesophilic anaerobic conditions. *International Journal of Green Energy*, 6(2), 192-200.
- Azhar, S. H. M., Abdulla, R., Jambo, S. A., Marbawi, H., Gansau, J. A., Faik, A. A. M., & Rodrigues, K. F. (2017). Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 10, 52-61.
- Balagtas, J. V., Hutchinson, F. M., Krochta, J. M. y Sumner, D. A. (2003). Anticipating market effects of new uses for whey and evaluating returns to research and development. *Journal of dairy science*, 86(5), 1662-1672.
- Belem, M. A. F. y Lee, B. H. (1998). Production of bioingredients from *Kluyveromyces marxianus* grown on whey: an alternative. *Critical reviews in food science and nutrition*, 38(7), 565-598.

- Calero, A., Quintero, E., Pérez, Y., Olivera, D., Peña, K. y Jiménez, J. (2019). Efecto entre microorganismos eficientes y fitomas-e en el incremento agroproductivo del frijol. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 17(1), 25-33.
- Campo-Martínez, A. del P., Acosta-Sánchez, R. L., Morales-Velasco, S. y Prado, F. A. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (mm) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 12(1), 79-87. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117842>
- Chan, M. A. y Krochta, J. (2001a). Color and gloss of whey-protein coated paperboard. *Tappi Journal*.
- Chan, M. A. y Krochta, J. (2001b). Grease and oxygen barrier properties of whey-protein-isolate coated paperboard. *Tappi Journal*.
- Chen, C. T. y Liao, J. C. (2016). Frontiers in microbial 1-butanol and isobutanol production. *FEMS microbiology letters*, 363(5), fnw020.
- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy conversion and management*, 51(7), 1412-1421.
- Cury, K., Arteaga, M., Martínez, G., Luján, D. y Durango, A. (2014). Evaluación de la fermentación del lactosuero ácido (entero y desproteinizado) utilizando *Lactobacillus casei*. *Revista Colombiana de Bioteología*, 16(1), 137-145. <https://link.gale.com/apps/doc/A392177735/GPS?u=iesinoc&sid=GPS&xid=6ae2447c>
- De Souza, C. G., Ledingham, W. M. y De Moraes, M. A. (2001). Utilisation of cheese whey as an alternative growth medium for recombinant strains of *Kluyveromyces marxianus*. *Biotechnology letters*, 23(17), 1413-1416.
- Dinika, I., Verma, D. K., Balia, R., Utama, G. L. y Patel, A. R. (2020). Potential of cheese whey bioactive proteins and peptides in the development of antimicrobial edible film composite: A review of recent trends. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 57-67.
- Dziuba, B. y Dziuba, M. (2014). Milk proteins-derived bioactive peptides in dairy products: molecular, biological and methodological aspects. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 13(1), 5-26.
- Estrella, M. J., Pieckenstain, F. L., Marina, M., Díaz, L. E. y Ruiz, O. A. (2004). Cheese whey: an alternative growth and protective medium for *Rhizobium loti* cells. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 31(3), 122-126.
- Ferchichi, M., Crabbe, E., Gil, G. H., Hintz, W. y Almadidy, A. (2005). Influence of initial pH on hydrogen production from cheese whey. *Journal of biotechnology*, 120(4), 402-409.
- Fernández, M. T. y Rodríguez, H. (2005). El papel de la solubilización de fósforo en los biofertilizantes microbianos. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XXXIX(3), 27-34.

- Fonseca, G. G., Heinzle, E., Wittmann, C. y Gombert, A. K. (2008). The yeast *Kluyveromyces marxianus* and its biotechnological potential. *Applied microbiology and biotechnology*, 79(3), 339-354.
- García, C., Alvis, A. y Romero, P. (2015). Aplicación del mapa de preferencia externo en la formulación de una bebida saborizada de lactosuero y pulpa de maracuyá. *Información Tecnológica*, 26(5), 17-24. <https://link.gale.com/apps/doc/A538120094/GPS?u=iesinoc&sid=GPS&xid=74031822>
- García, C., Arrázola, G. y Villalba, M. (2013). Producción de ácido láctico de lactosuero suplementado utilizando *Lactobacillus casei*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 11(1), 136-143. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a17.pdf>
- Gómez, J. A. y Sánchez, Ó. J. (2019). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), 129-157.
- Gordón, V. P. (2013). *Utilización de suero de leche para la elaboración de abono orgánico (biol)* (trabajo de grado). Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcán, Ecuador.
- Guel, G. P., Hernández, J. L. y Rodríguez, G. (2018). Uso de bacterias obtenidas a partir de suero de leche y su uso potencial como probióticos en la industria alimentaria. *Revista Boliviana de Química*, 35(1), 40-45. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4263/426355610006/html/index.html>
- Guimarães, P. M., Teixeira, J. A. y Domingues, L. (2010). Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. *Biotechnology advances*, 28(3), 375-384.
- Jenssen, H. y Hancock, R. E. (2009). Antimicrobial properties of lactoferrin. *Biochimie*, 91(1), 19-29.
- Lee, S.-Y., Danganan, K. L., Guinard, J.-X. y Krochta, J. M. (2003). Consumer acceptance of whey-protein-coated versus shellac-coated chocolates. *J. Food Science*, 67(6), 2764-2769.
- López, D. F., Cuatin, L. Y., Andrade, J. C. y Osorio, O. (2016). Evaluación de un recubrimiento comestible a base de proteínas de lactosuero y cera de abeja sobre la calidad fisicoquímica de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Acta Agronómica*, 65(4), 326-333.
- Luna, M. A. y Mesa, J. R. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista científica Agroecosistemas*, 4(2), 31-40. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
- Mahmood, Y. A., Mohammed, I. Q. y Ahmed, F. W. (2020). Effect of organic fertilizer and foliar application with garlic extract, whey and bio fertilizer of bread yeast in availability of NPK in soil and plant, growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill).

- Plant Archives*, 20, 151-158. https://www.researchgate.net/profile/Firas_Ahmed7/publication/339212556_
- Morocho, M. T. y Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103.
- Motta-Correa, Y. O. y Mosquera, W. J. (2015). Avances en el aprovechamiento del lactosuero como materia prima en la industria alimentaria. *Alimentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(1), 81-91.
- Mullo, I. (2012). *Manejo y procesamiento de la gallinaza* (bachelor's thesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Novak, K., Baar, J., Freitag, P. y Pflügl, S. (2020). Metabolic engineering of *Escherichia coli* W for isobutanol production on chemically defined medium and cheese whey as alternative raw material. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology: Official Journal of the Society for Industrial Microbiology and Biotechnology*, 47(12), 1117-1132.
- Orsi, N. (2004). The antimicrobial activity of lactoferrin: current status and perspectives. *Biometals*, 17(3), 189-196.
- Pais, J. M., Núñez, J., Lara, M. V., Rivera, L. M., Trujillo, L. E. y Cuaran, M. J. (2017). Valorización del suero de leche: Una visión desde la biotecnología. *Bionatura*, 2(4), 468-476.
- Park, Y. W. y Nam, M. S. (2015). Bioactive peptides in milk and dairy products: a review. *Korean journal for food science of animal resources*, 35(6), 831.
- Parra, R. A. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 63(1), 4967-4982. <http://scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a21v62n1.pdf>
- Parra, R. A. (2010). Digestión anaerobia de lactosuero: efecto de altas cargas puntuales. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 63(1), 5385-5394. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n1/a14v63n01.pdf>
- Peralta, L., Juscamaita, J. y Meza, V. (2016). Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada*, 15(1), 1-10. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162016000100001
- Piedrahita, C. A. y Caviedes, D. A. (2012). *Elaboración de un abono tipo "bocashi" a partir de desechos orgánicos y sub producto de industria láctea (lacto suero)* (trabajo de grado). Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia. <http://hdl.handle.net/10819/1114>
- Quiñones, H.R. (2016). *Producción de abono líquido acelerado con heces de alpaca, lactosuero bovino y melaza de caña mediante fermentación homoláctica* (trabajo de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2219/F04-Q855-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ramírez-Navas, J. S. (2012). Aprovechamiento industrial de lactosuero mediante procesos fermentativos. *Publicaciones e Investigación*, 6, 69-83.
- Ramírez-Navas, J. S. (2015). Diseño de procesos en Industria Láctea: Transformación de lactosuero. En *Investigación aplicada a la Ingeniería de Procesos* (pp. 53-62). Universidad Mariana.
- Rocha, G., Santoyo, Y., Bustillos, M. del R., Muñoz, J., Pérez, R., Contreras, J. L., Villegas, M. C. y Munive, J. A. (2015). Los microorganismos del suelo y su importancia biotecnológica en la agricultura y el ambiente. *RD-ICUAP*. https://www.researchgate.net/publication/303381799_
- Rojas, A. M., Montañó, L. P. y Bastidas, M. J. (2015). Producción de ácido láctico a partir del lactosuero utilizando *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. *Revista Colombiana de Química*, 44(3), 5-10. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n3.55604>
- Sebastián-Nicolás, J. L., González-Olivares, L. G., Vázquez-Rodríguez, G. A., Lucho-Constantino, C. A., Castañeda-Ovando, A. y Cruz-Guerrero, A. E. (2020). Valorization of whey using a biorefinery. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 14(5), 1010-1027.
- Serna-Cock, A. y Rodríguez-de Stouvenel, L. (2005). Producción biotecnológica de ácido láctico: estado del arte. *Journal of Food*, 5(1), 54-65.
- Torres, D. P., Gonçalves, M. D. P. F., Teixeira, J. A. y Rodrigues, L. R. (2010). Galacto-oligosaccharides: production, properties, applications, and significance as prebiotics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), 438-454.

Para citar este artículo: Arango Aguirre, AM; Ramírez, D. (2022). Alternativas biotecnológicas para el uso de lactosueros. *Revista Quántica*, Vol. 3 No. 2, X. <https://doi.org/10.56747/rcq.v3i2.4>