



ARTÍCULO DE REVISIÓN


 Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

El lactosuero: impacto ambiental, usos y aplicaciones vía mecanismos de la biotecnología

Whey: environmental impact, uses and applications via biotechnology mechanisms

 Cristian Asas^{1, *}; Carla Llanos¹; José Matavaca¹; Daniela Verdezoto¹

¹ Departamento de Biotecnología. Carrera de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente. Guaranda Ecuador, Laguacoto II, Guaranda km 1 ½ Vía – San Simón, Ecuador.

ORCID de los autores:

 C. Asas: <https://orcid.org/0000-0003-3677-5062>

 J. Matavaca: <https://orcid.org/0000-0003-0825-602X>

 C. Llanos: <https://orcid.org/0000-0002-9875-290X>

 D. Verdezoto: <https://orcid.org/0000-0002-0501-4722>

RESUMEN

Diversos autores aseguran que por cada 100 kg de leche se obtienen alrededor de 10 kg de queso fresco y 90 kg de suero de leche. Este lactosuero obtenido como subproducto del proceso antes citado ha representado históricamente un importante contaminador del medio; lejos de ser aprovechado en múltiples usos, teniendo en cuenta sus indiscutibles propiedades nutritivas. El objetivo de este trabajo se enmarcó, observando las potencialidades que posee el lactosuero, en ver el mejor uso que puede dársele a éste en la alimentación humana y animal. Y, en este contexto, la biotecnología juega un papel primordial como importante elemento catalizador en la búsqueda de nuevos productos y soluciones; todo lo cual conduciría, además, a lograr una significativa disminución de la carga ambiental que representa el vertimiento de esta sustancia en suelos y destinos fluviales. La metodología empleada fue, básicamente, la realización de una amplia búsqueda, selección y revisión bibliográfica sobre los más importantes aspectos relacionados con el suero de leche, así como de las posibles vías para su valorización en los muy variados usos en la alimentación. La revisión permitió comprobar las indiscutibles cualidades alimenticias que posee el lactosuero, su poco uso, el peligro que representa su vertiendo para el medio ambiente, y los esfuerzos que se realizan, a través de la biotecnología, para su mejor aprovechamiento en la alimentación humana y animal.

Palabras clave: suero de leche; valorización; usos; contaminación ambiental; biotecnología.

ABSTRACT

Various authors claim that for every 100 kg of milk, about 10 kg of fresh cheese and 90 kg of whey are obtained. This whey, which is a derivative of the process, has historically represented an important environmental polluter; far from being maximized for multiple uses, owing to its indisputable nutritional properties. The objective of this study was to observe the potential of whey and find out which could be the best way to use it for human and animal nutrition. In this context, biotechnology plays an essential role as an important catalyst element in the search for new products and solutions. Besides, utilizing whey in the most appropriate and useful way would lead to a significant decrease in the environmental pollution due to the dumping of this substance on soils and rivers. The methodology used was basically, a wide search, selection and bibliographic review on the most important aspects related to whey, as well as the possible ways for its valorization in the very varied food market. The review allowed to verify the indisputable nutritional qualities that whey has, its little use, the danger that its discharge represents for the environment, and the efforts that are made, through biotechnology, for its better use in human and animal nutrition.

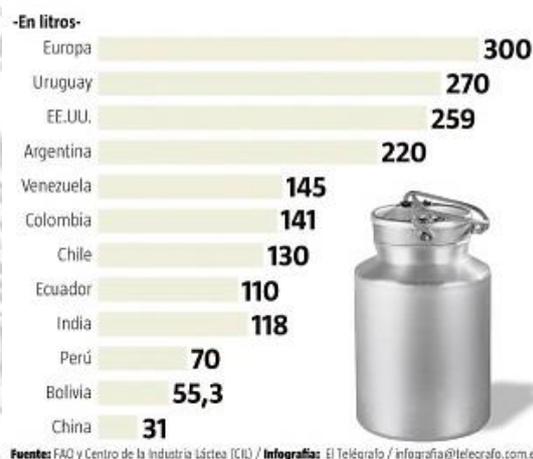
Keywords: valorization; applications; environmental pollution; biotechnology.

1. Introducción

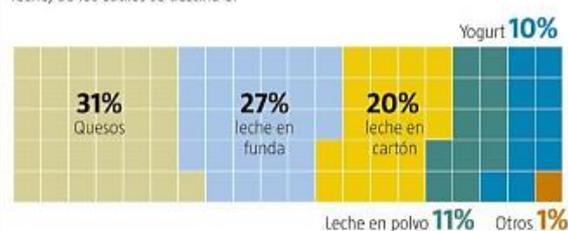
Uno de los alimentos más importantes, a escala global, lo constituyen la leche y sus derivados: “a nivel mundial la producción de lácteos que incluye leche, quesos y manteca fresca, crecerá el 36% entre el 2014 y 2024, con un consumo de alrededor de 713 millones de toneladas de leche líquida” (Murillo, 2019). En la Figura 1 se puede apreciar el consumo anual per cápita de leche en el mundo, según las diferentes áreas geográficas. El suero de leche es la fase acuosa que se separa de la cuajada en el proceso de elaboración de quesos; es un líquido claro, de color amarillo verdoso, contiene en promedio 4,9% de lactosa, 0,9% de proteína, 0,6% de cenizas y 0,3% de grasas, entre otros componentes, este subproducto se ha constituido en el principal desecho de la industria láctea Brito (2017). Según Molero, Flores, Leal & Briñez (2017), el lactosuero (LS) está compuesto por 5% lactosa, 93% agua, 0,85% proteínas, 0,53% minerales y 0,36% de grasa. Por cada 100 kg de leche empleados para producir quesos, se obtienen 9,3 kg de queso fresco y alrededor 90,7 kg de suero de leche, y contiene la mayor parte de las sustancias solubles, como lactosa, proteínas del suero (Pais et al., 2017). Tradicionalmente, se consideraba el suero de la leche de los rumiantes: vacunos, caprinos, etc., como un elemento no deseable, de escaso interés y de alto costo en su eliminación; en la actualidad, con gran frecuencia aún, se observa como este importante alimento a nivel global es desperdiciado en por diversos sectores de la producción. Importantes cantidades de suero de la leche son arrojadas a ríos, acequias y quebradas, ocasionando fuerte contaminación en el medio ambiente (Anibal, 2017; Cury et al., 2017; Hannibal, 2015).

Es por todo ello la necesidad de una correcta valorización del lactosuero, como fuente alimenticia indiscutible; el cual no solo tiene sus aplicaciones en la alimentación animal, sino además en los muy diversos usos en la alimentación humana, fundamentado por la gran cantidad de nutrientes que posee (Hannibal, 2015).

En cuanto a los diversos usos que se le puede dar al suero se encuentran: proteína unicelular microbiana para la alimentación animal; producción de ácidos orgánicos; producción de etanol y hasta la obtención de prebióticos. E, indiscutiblemente, es aquí donde la biotecnología ha aportado diversas soluciones al problema de la contaminación ambiental, con un mejor aprovechamiento del suero de leche. Los cuales abarcan un amplio espectro: “desde el empleo del suero en la alimentación animal hasta su tratamiento biológico con lodos para producir abonos orgánicos para el mejoramiento de los suelos” (Pais et al., 2017). Y todo ello conllevaría además a lograr algo muy importante: disminuir la carga contaminante del suero de la leche; es decir, por una parte, disminuye el impacto ambiental, y por otro, se obtienen diversas sustancias o productos de mayor valor agregado. El objetivo de este trabajo se enmarcó, teniendo como base las potencialidades nutritivas que posee el lactosuero, en ver el mejor uso que puede dársele a éste en la alimentación humana y animal. Y, en este contexto, la biotecnología juega un papel primordial como importante elemento catalizador en la búsqueda de nuevos productos y soluciones; todo lo cual conduciría, además, a lograr una significativa disminución de la carga ambiental que representa el vertimiento de esta sustancia en suelos y destinos fluviales.



En Ecuador, la industria láctea formal procesa diariamente 2.662.560 litros de leche, de los cuales se destina el



Comparación con el consumo de otros productos líquidos al año

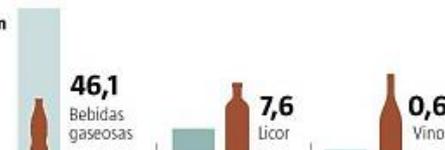


Figura 1. Consumo anual per cápita de leche en el mundo, según las diferentes áreas geográficas (Murillo, 2019).

2. Impacto ambiental del lactosuero

El lactosuero es una de las sustancias más contaminantes que existen en la industria alimenticia a nivel mundial (Mattos, 2015). Diversos autores coinciden en que por cada 1 000 L de lactosuero se generan alrededor de 35 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y cerca de 68 kg química de oxígeno (DQO). Cuyo efecto contaminante es equivalente a la de las aguas albañales que producen 450 personas en un día (Recinos & Saz, 2006). Este mismo aspecto es tratado por Ramírez (2017), cuando afirma que el suero lácteo se vierte al drenaje; lo cual representa un grave problema ambiental, ya que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 3,5 kg y la demanda química de oxígeno (DQO) de 6,8 kg por cada 100 kg de suero, representa una fuerza contaminante equivalente a las aguas residuales producidas por 45 personas/día.

Se debe hacer una salvedad interesante: el suero vertido a corrientes de agua, como los ríos, es consumido por bacterias y otros microorganismos que utilizan el oxígeno del agua, debido a su valor nutritivo y energético. La demanda biológica de oxígeno del suero de leche es de 40 mil a 50 mil de $O_2 \text{ mg} \cdot L^{-1}$. El oxígeno de un río no contaminado es de $10 \text{ mg} \cdot L^{-1}$. En el caso de que el oxígeno en el agua llegara a descender a $4 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ desaparecen los peces (incluyendo especies poco exigentes en oxígeno); “solo el vertido de un litro de suero causaría la muerte de todos los peces que estén contenidos en 10 toneladas de agua” (Londoño, et al, 2008).

En este contexto, se puede ver el fuerte impacto ambiental que representa el vertimiento del suero en fuentes fluviales; a escala global, unas 49,5 a 51,75 millones de toneladas métricas de lactosuero se vierten en ríos, lagos y en aguas residuales, así como en el suelo. Y aquí se da una dicotomía no posible de soslayar, pues, por una parte, se propicia la pérdida significativa de excelentes nutrientes, y por la otra, se coadyuva al desarrollo de serios problemas de contaminación (Parra-Huertas, 2009).

El mayor componente sólido porcentual del lactosuero es la lactosa, la cual contribuye a una apreciable demanda bioquímica y química de oxígeno (Arce, Thompson, & Calderón, 2016).

A manera de ejemplo, Miranda, Espinosa & Ponce (2016) indican que las “características físico-químicas y propiedades nutricionales del suero resultante del proceso de obtención del yogurt griego”, donde aseguran que en el proceso de obtención de este tipo de yogurt, en países

productores de Europa, Medio Oriente, EE.UU., y algunos países latinoamericanos, como México, se producen: “grandes cantidades de suero para las cuales no existe en este momento un destino viable que no sea la descarga al medio ambiente”. El suero resultante del yogurt griego constituye un efluente altamente contaminante.

En otro trabajo de investigación, de Fauroux, Degaetani & González (2019) informan que muchos productores de queso, para evitar gastos asociados, p. ej., al transporte, desechan el suero de leche, desconociendo el impacto ambiental que esto provoca.

3. Orígenes de la utilización del lactosuero

El consumo de productos lácteos algunos autores lo asocian a la aparición de las tribus nómadas del Neolítico. Hace unos 9 mil años atrás, el hombre logró la domesticación de cabras y ovejas, en zonas aledañas al Mediterráneo Oriental; pero, el consumo como tal de los productos lácteos se remonta a 8500 atrás. Específicamente la producción de queso, algunos autores apuntan que data de unos 4000 años; para ese entonces, los pastores de ganado fermentaban la leche en recipientes elaborados con los estomago de animales.

La historia del suero de leche se hace realmente interesante con el paso del tiempo. En la antigüedad, durante la producción del queso, no le daban ningún uso. En la antigua Mesopotamia y más tarde en Grecia, era un líquido despreciado con el que únicamente se alimentaba a los cerdos o se tiraba a la basura (Martín, 2016). En la Figura 2 se muestra un altorrelieve con carneros acompañados por sus pastores, en la antigua Mesopotamia.



Figura 2. Carneros en Mesopotamia (Martín, 2016).

No obstante, diversas fuentes aseguran que el suero de leche fue utilizado por médicos de la antigüedad, como es el caso de los renombrados Hipócrates, Galeno, Avicena, etc. Estos, recomendaban el consumo regular del suero de leche por sus evidentes efectos depurativos y

detoxicantes en el organismo. Con el correr del tiempo se fueron generando diversos usos del mismo, según la localización geográfica: Edad Media: en países anglosajones, como Inglaterra, era muy utilizado como bebida en cafeterías y posadas; los campesinos daneses (en el siglo XV) lo utilizaban con buenos rendimientos para la alimentación de cerdos; en España se utilizó en repostería, y en algunas regiones para la elaboración del pan.

Actualmente los volúmenes de lactosuero producidos en la industria quesera son realmente muy elevados. A escala internacional estos alcanzan la cifra de 110-115 millones de toneladas métricas (Parra-Huertas, 2009). El 55% de esta cifra es tratado y transformado en diversos productos alimenticios; de los cuales, cerca del 45% es usado directamente en forma líquida, el 30% en polvo, el 15% como lactosa y sub-productos; y, el resto como concentrados de proteína de lactosuero (Parra-Huertas, 2009).

4. Definición y características del lactosuero de leche

Parra-Huertas (2009) define el lactosuero como: "la sustancia líquida obtenida por separación del coágulo de leche en la elaboración de queso"...este mismo autor, abunda, más adelante, que es: "un líquido translúcido verde obtenido de la leche después de la precipitación de la caseína"; mientras que Poveda (2013) lo define como un producto lácteo: "obtenido de la separación del coágulo de la leche, de la crema o de la leche semidescremada durante la fabricación del queso, mediante la acción ácida o de enzimas". Es decir, es una parte líquida que se obtiene durante la coagulación de la leche en el proceso de fabricación del queso y de la caseína, una vez que se ha separado el coágulo o fase micelar" (Figuras 3 y 4).



Figura 3. Separación del suero de leche, durante el proceso de elaboración del queso de forma artesanal (Fuente: <http://elbavaro.blogspot.com/2009/12/el-maravilloso-suero-de-la-leche.html>)

Es decir, es la fracción líquida obtenida durante la coagulación de la leche en el proceso de fabricación del queso y de la caseína, después de la separación del coágulo. Éste, se presenta como un líquido de color amarillento y turbio y con una consistencia cremosa; de carácter ácido y débilmente dulce; contiene un 94% de agua, grasa y proteínas.



Figura 4. Aspecto del suero líquido (Muset & Castells, 2017).

Según este mismo autor, la acción ácida o enzimática del tipo del cuajo (renina, enzima digestiva de los rumiantes) rompe el sistema coloidal de la leche en dos fracciones. La 1era fracción, sólida, está compuesta mayoritariamente por proteínas insolubles y grasas. Éstas durante el proceso de precipitación "arrastran y atrapan minoritariamente algunos de los constituyentes hidrosolubles" (Poveda, 2013). La 2da fracción, líquida, donde se encuentran suspendidos los demás componentes nutricionales, los cuales no fueron integrados a la coagulación de la caseína (Poveda, 2013).

De todo ello resulta que en el lactosuero se encuentran partículas suspendidas solubles y no solubles; entre las cuales se destacan: las proteínas, los carbohidratos, los lípidos, los minerales y las vitaminas. Es un producto que durante muchas décadas había sido considerado como un producto de desecho del proceso de elaboración de quesos y mantequillas. Sin embargo, en la actualidad se aprovecha por su alto valor nutritivo (Parra-Huertas, 2009).

El suero de leche podría ser de interés para los deportistas que realizan competiciones y entrenamientos muy intensivos, puede ser de gran utilidad ya que, en general, su requerimiento de proteínas es mayor y les puede ayudar al desarrollo de los músculos. También puede contribuir a su recuperación (Tavares & Malcata, 2013).

El suero de leche tiene más azúcares y proteínas de mayor tamaño que los suplementos. Se puede incorporar a batidos de frutas o tomar como bebida (Figuerola et al., 2012).

5. Usos y valor nutricional

Según su proceso de transformación, puede ser: lactosuero natural o productos del lactosuero. Los cuales a su vez se presentan como: preparados concentrados o en polvo (en forma natural, endulzado, desproteinizado, desmineralizado y deslactosado). Diversos autores, presentan de forma esquematizada, los diversos usos reportados del suero de leche (Figura 5).

El lactosuero, como subproducto rico en proteínas globulares hidrosolubles, lactosa, grasas y minerales, etc., constituye una importante fuente de nutrientes. Sus usos pueden ser muy diversos en la industria alimenticia; así como para la alimentación animal. En la industria alimenticia, se emplea en la elaboración de alimentos para bebés, alimentos dietéticos, en sopas, en panaderías y repostería, para salsas de ensaladas, en la preparación de salchichas y charcutería, bebidas, en la industria farmacéutica y otros campos industriales.

La composición nutricional del lactosuero varía considerablemente en dependencia de las características de la leche utilizada para la elaboración del queso, el tipo de queso producido y de la tecnología empleada. Teniendo en cuenta estas diferencias se puede establecer la siguiente clasificación de los lactosueros: Suero dulce (se produce a partir de acción enzimática, contiene más lactosa) y Suero ácido (se obtiene por acción ácida, con mayor concentración de proteínas) (Poveda, 2013).

Según la acidez que presentan, los sueros pueden ser de diferentes tipos (Tabla 1).

Tabla 1

Clasificación de los tipos de suero según su acidez

Tipos de Suero	Acidez (%)	pH
Suero dulce	0,10 – 0,20	5,8 – 6,6
Suero medio ácido	0,20 – 0,40	5,0 – 5,8
Suero ácido	0,40 – 0,60	4,0 – 5,0

Fuente: Linden & Lorient (2006).

El suero derivado de la producción del queso es sumamente nutritivo (Tabla 2), este retiene alrededor del 52% de los nutrientes de la leche entera. Sin embargo, a pesar de su excelente contenido nutricional y de los beneficios que se podrían obtener con su aprovechamiento, la manipulación del suero de desecho de la producción de queso resulta un problema caro y complicado para el productor. La proteína de suero es una importante fuente de inmunoglobulinas, las cuales son conocidas por su efecto inmunoprotector. Éstas contribuyen a fortalecer el sistema de defensa del organismo (Parra-Huertas, 2009).

Tabla 2

Composición química del suero de leche

Tipo de nutrientes	Composición (%)	
	Suero de queso dulce	Suero de queso ácido
Agua	93,6	93,5
Grasas	0,05-0,37	0,04-0,27
Proteínas	068-1	0,6-0,8
Lactosa	4,6-5,2	4,4-4,6
Minerales	0,5	0,8
Ácido láctico	0,05	0,4

Fuente: SENA (2015).

Se afirmaba anteriormente, que en el suero se encontraba una serie de sustancias nutritivas importantes. Procel-Orozco (2013) afirmó que la lactosa, esencial para producir derivados lácteos.



Figura 5. Diversos usos reportados del suero de leche (Pais et al., 2017).

La lactosa juega un papel fundamental, ya que es utilizada por los microorganismos para producir compuestas como los ácidos lácticos y productos aromáticos; las grasas, que constituyen el vehículo para el transporte de las vitaminas liposolubles; de igual forma, están presentes los componentes minerales: fósforo, cloro, potasio, calcio, azufre, sodio, magnesio y sales de ácido cítrico (el calcio y el fósforo son especialmente importantes para el proceso de coagulación de la leche, y la aparición del lactosuero; las vitaminas: A, D, E, K, contenidas en la leche, una parte queda en el lactosuero; las enzimas, sustancias químicamente complejas, y especialmente importantes en los procesos biotecnológicos, ya que propician y catalizan las reacciones químicas para la obtención de otras sustancias (dentro de éstas, se encuentran la lipasa: hidroliza la grasa; la peroxidasa: es una enzima oxidante capaz de liberar oxígeno del peróxido de hidrógeno, la fosfatasa: una leche pasteurizada debe tener una fosfatasa negativa, indicador de eliminación de los microorganismos patógenos).

En cuanto a las proteínas que se encuentran en el lactosuero (β -lactoglobulina y la α -lactoglobulina), éstas permanecen solubles, por cualquiera de los dos métodos de cuajado de la leche en la obtención del queso: por acidificación (pH = 4,7), o por la vía enzimática (Procel, 2013).

Por otra parte, Parra-Huertas (2009) amplía la información sobre la Composición del lactosuero dulce y ácido (Tabla 3 y 4).

Tabla 3

Información sobre la composición del lactosuero dulce y ácido líquido

Tipo de Componente	Composición (g/L)	
	Lactosuero dulce	Lactosuero ácido
Sólidos totales	63,0 – 70,0	63,0- 70,0
Lactosa	46,0- 52,0	44,0- 46,0
Proteínas	6,0- 10,0	6,0- 8,0
Calcio	0,4- 0,6	1,2- 1,6
Fosfatos	1,0- 3,0	2,0- 4,5
Lactato	2,0	6,4
Cloruros	1,1	1,1

Fuente: Parra-Huertas (2009).

En el caso del lactosuero en polvo, su composición media es la mostrada en la Tabla 4. Ramírez (2017) apunta que los valores porcentuales en la composición del suero dulce son: Humedad = 93,95%; Cenizas = 0,57%; Proteínas = 0,94%; Grasa = 0,48%; Acidez titulable = 0,12% y pH = 93,95.

Tabla 4

Información sobre la composición del lactosuero dulce y ácido en polvo

Tipo de Componente	Composición (g/L)	
	Lactosuero dulce	Lactosuero ácido
pH	6,4 – 6,6	4,4 – 4,5
Sólidos totales	70	66
Lactosa	51	42
Proteínas	6 – 7	6 – 7
Grasas	0,2	1,0
Minerales	4 – 5	7 – 8
Calcio	0,45	1,05
Fósforo	0,4	0,8
Ácido láctico	0	10

Fuente: Parra-Huertas (2009); Murillo (2019).

La composición en aminoácidos esenciales, según Parra-Huertas (2009) es la mostrada en la Tabla 5.

Tabla 5

Composición en aminoácidos esenciales (g/100 g de proteína)

Aminoácido	Lactosuero	Huevo	Equilibrio recomendado por la FAO
Treonina	6,2	4,9	3,5
Cisteína	1,0	2,8	2,6
Metionina	2,0	3,4	2,6
Valina	6,0	6,4	4,8
Leucina	9,5	8,5	7,0
Isoleucina	5,9	5,2	4,2
Fenilalanina	3,6	5,2	7,3
Lisina	9,0	6,2	5,1
Histidina	1,8	2,6	1,7
Triptófano	1,5	1,6	1,1

Fuente: Parra (2009).

En cuanto al contenido en vitaminas, el lactosuero presenta cantidades pequeñas pero apreciables de las vitaminas A, C, D, E y del complejo B, el cual es fundamental para la absorción de minerales, tales como: el calcio, fósforo y ácido láctico, que ayuda a mejorar el proceso de respiración celular, junto con un contenido muy bajo en grasas y en calorías (Poveda, 2013). Parra-Huertas (2009) presenta información acerca del contenido en vitaminas del lactosuero. Esta misma información aparece en Murillo (2009) (ver Tabla 6).

Tabla 6

Contenidos en vitaminas del lactosuero

Vitaminas	Concentración (mg/mL)	Necesidades diarias (mg)
Tiamina	0,38	1,5
Riboflavina	1,2	1,5
Ácido nicotínico	0,85	10 – 20
Ácido pantoténico	3,4	10
Piridoxina	0,42	1,5
Cobalamina	0,03	2
Ácido ascórbico	2,2	10 - 75

Fuente: Parra-Huertas (2009); Murillo (2009).

6. Producción de lactosuero en la región

Según estimaciones, a partir de 10 litros de leche de vaca se puede producir de 1 a 2 kg de queso y un promedio de 8 a 9 kg de suero (Denicia, 2009). Al respecto, Muñoz (2019) afirma que, por 1 kg de queso producido, 9 kg corresponden a lactosuero; lo cual representa cerca del 85% - 90% del volumen total de la leche utilizada; conteniendo éste, aproximadamente, el 55% de sus nutrientes. En el caso de México, se produce más de un millón de toneladas diarias de lactosuero durante la producción de queso; lo que representan unas 50 mil t de lactosa y 5 mil t de proteína verdadera. No obstante, representar éstas una importante riqueza nutricional, es descargado el 47% del lactosuero a los ríos y el suelo, con la consabida contaminación ambiental (Denicia, 2009).

Igualmente, en Colombia se producen más de dos millones de toneladas diarias de lactosuero (en el 2016 se calculó en 827 596 t, de las cuales solo una pequeña cantidad es procesada para obtener lactosueros dulces en polvo) (Gómez-Soto & Sánchez Toro, 2019). Específicamente en el Valle de Aburrá y en el Oriente Antioqueño de Colombia, 28 empresas lácteas elaboran queso fresco; éstas, bajo el sistema artesanal, producen 41 toneladas de queso fresco y quesillo, y otras 24 toneladas en plantas con tecnología moderna; "lo que representa una generación de 3.684.000 litros por día de lactosuero" (Parra-Huertas, 2009). En Costa Rica, al igual que en la mayoría de los países centroamericanos existen preferencia por el consumo de los quesos frescos la producción, que representan el 80% al 90% (Arce, Thompson, & Calderón, 2016).

En el Ecuador, solamente en las provincias de Imbabura y Carchi, el 2012 se produjeron 122 m³ (unas 122 t) diarios de lactosuero, del cual se aprovechó una pequeña cantidad. Para el año 2013, la producción de leche ascendió a más de 5 490 mil L/diario (6,26 millones L/diario, según la fuente: Oñate-Haro, 2018); de los cuales unos 2 millones 600 mil litros se destinaron a la Industria láctea (48%), de la cual el 31% se empleó a la producción de queso (lo que representa unas 2 340 t de lactosuero) (Robalino, 2017). Durante el 2014, la industria láctea formal ecuatoriana procesó 2 662 560 L/diarios; de los cuales, el 31% fueron destinados a la elaboración de quesos (Oñate-Haro, 2018). En el 2017, la producción de leche en Ecuador alcanzó los 5 135 405 L/diarios. (Terán, 2019).

En el contexto de la Industria láctea en el Ecuador, Terán (2019), hace un apunto digno de reflexión:

Actualmente este proceso no se hace en Ecuador, el suero es desechado o utilizado como alimento a animales y por este motivo Ecuador debe importar 228,48 toneladas de productos lácteos, equivalentes a \$531.250. El 39% de esta cantidad corresponde a lactosuero, total o parcialmente desmineralizado, y un 44%, a suero desproteínizado.

Irónicamente, Ecuador importa productos elaborados a base a suero de leche, cuando existe la posibilidad de industrializar y procesar la gran cantidad de suero existente en el país y obtener los mismos productos (Terán, 2019).

7. La biotecnología como mecanismo para nuevas aplicaciones del lactosuero

La biotecnología, constituye una ciencia aplicada de gran valor; estrechamente vinculada con la ingeniería genética, la cual se ocupa, a través de la utilización de sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados, del desarrollo y/o manipulación de productos con fines específicos. Actualmente, la biotecnología moderna, se divide en cinco grandes ramas: humana, ambiental, industrial, animal y vegetal, con alto impacto en la vida contemporánea. "Biotecnología es una actividad humana cuyos inicios se remontan a los orígenes de la agricultura y la ganadería" (Solleiro-Briseño, 2003).

Según Muñoz (2001) la biotecnología se puede definir como "La aplicación del conocimiento existente en las ciencias de la vida con el fin de resolver problemas prácticos de salud, agricultura, y otros campos de la vida económica. Bajo esta definición se ampara la resolución de un amplio conjunto de problemas, desde la producción de alimentos y la nutrición hasta la higiene y la salud pública, pasando por las cuestiones medio-ambientales... Desde un punto de vista epistemológico, la biotecnología se puede definir como la aplicación de las propiedades estructurales y funcionales de las macromoléculas biológicas y de las células, así como la capacidad de su modificación para obtener productos, bienes o servicios".

Los antecedentes más remotos (génesis) hasta la primera década del siglo XXI, del surgimiento y desarrollo del término "biotecnología", se pueden hallar con la utilización de la levadura en la elaboración de cerveza, en el Medio Oriente hace 6 mil años a.C.; y con el aprovechamiento de bacterias en el año 4 mil a.C. en China, para la fabricación de yogur y queso por fermentación láctica.

Diversas han sido las investigaciones en torno al aprovechamiento del lactosuero, como subproducto derivado de la producción de queso; como, p.ej., la llevada a cabo por [Molero et al. \(2017\)](#), el cual refiere que el objetivo central de la investigación fue hacer una evaluación de tipo sensorial en bebidas fermentadas a base de lactosuero, e inoculadas éstas con microorganismos prebióticos.

En su trabajo, [Amaya \(2020\)](#) refiere que, en la industria láctea, se sintetizan diferentes tipos de prebióticos: lactitol, lactulosa, galacto-oligosacáridos, tagatosa, lactobion y glucono- δ -lactona a través de procesos químicos y bioquímicos: hidrólisis, isomerización, transgalactosilación, reducción y oxidación y transferencia de fructosilo; así como procesos de fermentación microbiana, utilizando el suero de leche cruda.

[Gómez-Soto, Sánchez & Benavidez \(2018\)](#) informan acerca de diferentes investigadores han reportado la posibilidad de hidrolizar la lactosa del lactosuero. Hacen alusión a reportes que datan de la década 70', donde Wierzbicki y Kosikowski (1973) informaron que mediante la β -galactosidasa de *Aspergillus niger* se pueden obtener monosacáridos a partir de la conversión de la lactosa del lactosuero ácido (pH 4,5).

[Fauroux, Degaetani & González \(2019\)](#) analizaron el potencial que representa el lactosuero, para la producción de ácido poliláctico (actualmente se le han encontrado usos diversos: p. ej., para hilos de sutura biodegradables, y material para impresoras 3D).

[Pais et al. \(2017\)](#) en cuanto a procesos biotecnológicos basados en la acción enzimática sobre el permeado de suero (PS), aseguran que determinadas enzimas, como p. ej., la hidrolítica betagalactosidasa, pudiera ser usada para hidrolizar o polimerizar la lactosa (presente ésta en el SL, PS o el PSC). Puntualizan que: a concentraciones < 30% (m/v) predomina la hidrólisis de la lactosa en glucosa y galactosa; mientras que, a concentraciones >30 % (m/v) probablemente se viera favorecida una reacción de transgalactosilación y la formación de galactooligosacáridos (GOS). En este punto, se refieren además a lo asegurado por algunos autores sobre los efectos benéficos de los galactooligosacáridos sobre la salud humana (considerándolos sustancias prebióticas). Indican además que la lactosa puede ser separada de la glucosa y la galactosa, mediante nono-filtrado; lo que permite una reutilización de la lactosa; mientras que la mezcla de glucosa y la galactosa puede ser concentrada mediante un proceso de

evaporación hasta niveles que permitan su comercialización.

Al respecto, [Amaya \(2020\)](#) puntualiza que se hace necesario inactivar la enzima en el tiempo óptimo de mayor rendimiento, ya que la transgalactosilación solo constituye un paso intermedio de una reacción más compleja: "a medida que avanza el tiempo, todos los azúcares formados pueden ser hidrolizados por la enzima hasta llegar a monosacáridos".

[Sánchez, Ortiz & Betancourt \(2004\)](#), plantean que como medio de cultivo, el suero de leche puede suministrar las fuentes de carbono y de energía necesaria para el desarrollo de diferentes microorganismos y la producción de metabolitos de alto valor. El número de microorganismos que tienen la capacidad de asimilar la lactosa es limitado, pero al hidrolizar este disacárido, obtener glucosa y galactosa mediante un proceso enzimático empleando (lactasa), se amplían significativamente las perspectivas de aprovechamiento del suero en procesos de fermentación. Adicionalmente, se ha iniciado el estudio del suero de leche como medio alternativo para el cultivo de microorganismos recombinantes.

Un aspecto muy interesante es lo planteado por [Brito, Palmany & Cargua \(2017\)](#), quienes realizaron un diseño de un proceso industrial para la obtención de bioetanol a partir de lactosuero (destinado a la cosmetología: perfumería). Trabajaron con la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (en la proporción de: 30 mL de la esencia y 150 mL de bioetanol). La validación de los procesos fisicoquímicos se encuentra sustentado bajo la norma de los cosméticos NTE INEN 2867 (2015-03). Esta investigación abre una puerta de posibles aplicaciones del lactosuero en la cosmetología; para la obtención de productos tales como: colonias, labiales, desodorantes, geles, esmaltes, etc.

Experiencias en la recuperación del lactosuero en Colombia (Mcpio de Paipa, Dpto de Boyacá), informan que en la producción del queso Paipa, se prevé un significativo impacto negativo en la región; por lo que se ha procedido al estudio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lactosuero para su inmediata utilización en subproductos derivados ([López, Becerra & Borrás, 2018](#)).

[Cury et al. \(2014\)](#) realizaron un estudio del lactosuero acidificado espontáneamente; el cual puede causar problemas de salud en los consumidores, cuando es utilizado éste como acidificante de la leche usada en la elaboración

del queso mozzarella (además de reducir la calidad del producto). El objetivo de este trabajo consistió en la evaluación del proceso de fermentación del lactosuero ácido (entero y desproteínizado) con el *Lactobacilos casei* (utilizando diferentes porcentajes de su inóculo). Reportan que con altas concentraciones de inóculo (15%) se consigue una mejoría en la acidificación en el lactosuero entero.

En la Universidad del valle en Colombia, se llevó a cabo una interesante investigación acerca de Tecnología de membranas (TM), en la obtención de proteínas de lactosuero (Ramírez, Solís & Vélez. 2018). Concluyen que el método empleado de ultrafiltración (UF), a pesar de ser una de las mejores alternativas para la separación de proteínas y péptidos, debe ser acompañado de otras tecnologías TM (como la microfilmación: MF, NF, ED, DF, donde se utilización diferentes tipos de tamaños de poros).

Gómez-Soto, Sánchez & Benavidez. (2018) ofrecen la posibilidad de un futuro paquete tecnológico que describa todo el proceso global de producción del jarabe de suero de leche, en conjunto con la obtención de concentrados y aislados de proteína.

Gaviria (2020) realizó una investigación sobre la determinación de las herramientas de optimización informática más adecuadas, y su aplicación, durante el proceso de obtención de proteínas de valor alimenticio a partir del lactosuero, previo un pretratamiento de fragmentación e hidrólisis para facilitar el proceso de fermentación mediante la *Kluyveromyces marxianus* (asimiladora de la lactosa). Los geles de proteína del suero de leche pueden ser utilizados como hidrogeles; siendo la β -lactoglobulina el principal agente gelificante. Durante el proceso fermentativo, el sustrato es consumido, crecen y se multiplican los microorganismos; obteniéndose el producto.

García (2017) enfatiza los múltiples usos que posee el ácido láctico en repostería, perfumería, farmacia, etc., y las amplias posibilidades de su obtención por vía biotecnológica a partir del lactosuero.

Brito & Vásquez (2019) llevaron a cabo una interesante investigación sobre la evaluación de la fermentación del lactosuero para la obtención de una bebida probiótica, utilizando *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus casei*. La bebida fue hecha a base mora; esta investigación abre un amplio espectro, utilizando otras frutas del país.

En la investigación llevada a cabo por Borrero & Cujía (2017) utilizaron las bacterias ácido lácticas

del género *Pediococcus*, *contatandose*, obteniéndose un producto adecuado; siempre y cuando se observe una alimentación equilibrada del animal, lo que redundará en una leche de mejor calidad.

Mazorra & Moreno (2020) detallan una serie de usos potenciales del lactosuero, factibles y adecuados para la elaboración de diferentes productos, tales como: "el requesón (queso de suero), bebidas fermentadas o con frutas, bebidas para deportistas, bebidas alcohólicas, mantequilla de suero, dulces, helados y paletas", lo que se traduciría en mayores oportunidades de ofertas para la quesería artesanal.

En el trabajo de López-Taks (2019) se hace una interesante recomendación para la elaboración de helados artesanales a partir de la harina del lactosuero (conocido extensor de queso: generador de volumen).

Murillo (2018) analizó la incidencia del uso de lactosuero, como sustituto de la leche, en la búsqueda de parámetros óptimos de calidad en la elaboración del manjar con nueces (5%).

Guevara & León (2019) proponen el aprovechamiento del lactosuero en la elaboración de un alimento enriquecido con *Hordeum vulgare* y *Passiflora edulis*, recomiendan además, implementar el uso de enzimas que propicien la hidrólisis de la lactosa de la bebida propuesta, para personas intolerantes a la lactosa.

También se han desarrollado estudios sobre la producción de biogás, a partir de la co-digestión del lactosuero.

Moreno & Moreno (2019) analizan la posibilidad de producir biogás a partir de biomasa residual pecuaria con fibra vegetal pero enriquecida con lactosuero, lo que coadyuvaría además a mitigar los gases de efecto invernadero.

Castañeda (2019) analizó el potencial que representa para el Perú la producción de biogás usando co-digestión a partir de lactosuero, obtenido como subproducto residual en la producción de queso. Sobre lo mismo, Botero (2020) analiza el posible aprovechamiento del lacto suero durante el proceso de cogeneración de biogás (obtención del CH₄ generado a partir de la biodegradación del lactosuero).

Duarte, González & Muvdi (2019) realizaron una evaluación que propiciara la recuperación y valorización de las proteínas del lactosuero (a partir de leche ácida). Primero llevaron a cabo el proceso de precipitación (desnaturalización térmica y ácida), y a continuación la hidrólisis enzimática (para su posterior uso como fuente de nitrógeno) durante la fermentación de la lactosa en la obtención de ácido láctico.

Vargas & Abelardo (2017) incursionaron durante su investigación en el estudio de la posible preservación del encurtido de rocoto (*Capsicum pubescens*), utilizando el lactosuero ácido como liquido de gobierno. Ensayaron con proporciones de 50, 75 y 100 % de lactosuero. Determinaron que cuando se utilizaba el 100% de lactosuero (sobre rocoto sin escaldar) resultaba ser el óptimo ya que inhibía totalmente “el desarrollo de levaduras a 12 UFC/g, *Escherichia coli* a 1 UFC/g, así como la inhibición del desarrollo de *Salmonellas spp*”.

Recientemente, se han propuesto algunas aplicaciones interesantes como la de Bayarri (2021), quien propone una máxima utilización de los subproductos de la producción del queso, como es la recirculación del lactosuero, y la obtención de diferentes productos; García (2021) plantea la utilización del secado por atomización de la harina de fibra de Yuca (*Manihot esculenta* C) para la elaboración de una bebida instantánea partir del lactosuero; Cerda & Balmaceda (2021) propone la producción de celulosa bacteriana (CB) por *Komagataeibacter xylinus* K2G30 (UMCC 2756) en cultivo estático, utilizando medio *Hestrin* y *Schramm* (HS), sustituyendo completamente la glucosa por suero lácteo y ácido láctico; y Taco & García (2021) proponen la elaboración de leche ácida con *Lactobacillus acidophilus*, comprobando que el producto obtenido cumple los requerimientos establecidos como bebida probiótica apta para el consumo humano.

4. Conclusiones

El lactosuero, al mismo tiempo que históricamente ha representado una seria amenaza para el medio ambiente, paradójicamente, constituye una riquísima fuente de nutrientes que, por desconocimiento, no se ha sabido utilizar. La historia de la aparición del queso y su subproducto, el suero de leche, poseen una historia indisolublemente mancomunada. Múltiples autores aseguran que los primeros quesos surgieron en el Neolítico, desde esa fecha hasta el presente se ha producido mucho queso, pero a costa de cobrarle un caro precio al medio ambiente; el cual se ha visto dañado por la presencia del lactosuero en múltiples escenarios: vertido en suelos e innumerables destinos fluviales.

Actualmente, la biotecnología ha venido a jugar un papel realmente muy importante en tratar de resolver un problema que posee dos aristas

contrapuestas, pero interdependientes; por una parte: eliminar la amenaza que representa el vertimiento del lactosuero en suelos, ríos, lagos, sistema de alcantarillado, etc., y por la otra, aprovechar todas las potencialidades alimenticias que éste posee.

En Sudamérica y el Caribe existen muchas microempresas que no aprovechan el lactosuero en sus múltiples aplicaciones, vertiéndolo en ríos, lagunas, suelos y alcantarillados, con su correspondiente impacto negativo al ambiente.

La producción del biogás, mediante cogestión del lactosuero, es una vía factible y rentable para estas medianas y pequeñas empresas productoras de leche y queso. Inclusive para aquellas microempresas que se dedican también a la industria porcina, productos del agro, etc., donde se producen determinados niveles de desechos, se debe seguir investigando en esta dirección; aquí se solucionarían dos problemas: revertir el impacto al medio del lactosuero, y el aprovechamiento de los desechos en la como potencial fuente energética.

Igualmente, en estas medianas y pequeñas empresas de productos lácteos (como p. ej., las queseras) se deben desarrollar emprendimientos dirigidos a la recirculación del lactosuero, y la obtención de diferentes productos, tales como las bebidas probióticas.

Referencias bibliográficas

- Amaya, Y., & Téllez, S. (2020). Modelación de la síntesis de Galactooligosacáridos GOS en la elaboración de una bebida láctea fermentada simbiótica elaboración de una bebida láctea fermentada simbiótica utilizando B galactosidasa utilizando B galactosidasa. Carrera de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería. Universidad de La Salle. Ciencia Unisalle. Bogotá Colombia. 108 p.
- Anibal, Sch. (2017). Sueros de lechería. cadenas Alimentarias. Dirección Nacional de Agroindustria, Argentina. 5 p.
- Arce, R., Thompson, E., & Calderín, S. (2016). Incorporación de la proteína del suero lácteo en un queso fresco. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 61-71.
- Bayarri, G. (2021). Diseño de una instalación para la valoración de productos del lactosuero procedente de diferentes etapas del proceso de elaboración del queso (Q = 1000 L/día). Universitat Politècnica de València.
- Borrero, A., & Cujía, K. (2017). Ensilado de mango y lactosuero: una alternativa de alimentación en vacas lecheras. Ensilado de mango.pdf. Vol. 6, pp.26-37. Universidad Libre Seccional Barranquilla.
- Botero, N. (2020). Aprovechamiento energético mediante cogeneración de biogás obtenido del lactosuero. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de medio ambiente. Ingeniería ambiental. Bogotá, Colombia.
- Brito, H. & Palmany, P. & Cargua J. (2017). Diseño de un proceso industrial para la obtención de bioetanol a partir de lactosuero. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Brito, D., & Vásconez J. (2019). Evaluación de la fermentación del lactosuero para la obtención de una bebida probiótica utilizando *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus casei* (Tesis de grado). Escuela De Ingeniería Química. Facultad de Ciencias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- Castañeda, L. (2019). Potencial de producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de lactosuero residual y excretas bovinas en Perú. Universidad Nacional de Trujillo.
- Cerda, L., & Balmaceda, E. (2021). Análisis filogenético de *Komagataeibacter xylinus* K2G30=UMCC2756 para la producción de biofilms a partir de suero lácteo. Carrera Ingeniería en Alimentos. Facultad Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Universidad Técnica de Ambato.
- Cury, K., et al. (2014). Evaluación de la fermentación del lactosuero ácido (entero y desproteinizado) utilizando *Lactobacillus casei*. *Rev. Colombiana de Biotecnología*, 16(1), 137-145.
- Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R., & Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Rev. Colombiana Ciencia Animal* (sumpl): 122-132.
- Denicia, E., Ramírez, M. & Leticia, M. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Elementos: Ciencia y cultura*, 16, 27-31.
- Duarte, P.; González, J., & Muvdi C. (2019). Evaluación de las proteínas hidrolizadas del lactosuero como fuente de nitrógeno en la fermentación láctica de la lactosa. *Revista ION*, 32(2), 15-27.
- Fauroux, L.; Degaetani, O. & González, R. (2019). Análisis preliminar del aprovechamiento del lactosuero remanente de la industria quesera. COINI 2019: XII Congreso de Ingeniería Industrial. 1ra ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: edUTecNe, 2020. Libro digital, PDF.
- Figuroa, C. et al. (2012). Producción de péptidos fijadores de calcio y hierro por *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* NCFB 712. *Rev. Mexicana Ingeniería Química*, 11(2), 259-267.
- García, C., Arrázola, G., & Durango, A. (2017). Producción de Ácido Láctico por Vía Biotecnológica. *Temas Agrarios*, 15(2), 9-26.
- Gaviria, O. (2020). Optimización del proceso de obtención de bioproteína de calidad alimentaria mediante proceso fermentativo partir de lactosuero. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería Especialización en Procesos de Alimentos y Biomateriales Palmira.
- Gómez-Soto, J., Sánchez-Toro, O., & Benavidez-Salazar, X. (2018). Análisis de patentes como aproximación al diseño conceptual del proceso de obtención de jarabe de lactosuero. *Rev. Investigación Desarrollo Innovación*, 7(2), 331-353.
- Gómez-Soto & Sánchez-Toro. (2019). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero - Una revisión. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), 129-158.
- Guevara, L., & León, R. (2019). Aprovechamiento del lactosuero dulce en la elaboración de un alimento enriquecido con *Hordeum vulgare* *Passiflora edulis*. Facultad de ingeniería química. Universidad de Guayaquil.
- Hannibal, B.; Santillán, A.; Arteaga, M; Ramos, E.; Villalón, P y Rincon, A. (2015). Aprovechamiento del suero de leche como bebida energizante para minimizar el impacto ambiental. *European Scientific Journal*, 11(26), 257-268.
- Linden, G., & D. Lorient. (1996). Bioquímica Agroindustrial: revalorización alimentaria de la producción agrícola. Editorial Acribia, Zaragoza. España. 454 p.
- Londoño, M.; Sepúlveda, J.; Hernández, A.; Monzón, A. & Parra, J. (2008). Bebida fermentada de suero de queso fresco inoculada con *Lactobacillus casei*. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellin*, 61(1), 4409-4421.
- López, R.; Becerra, M. & Borrás, L. (2018). Caracterización físico-química y microbiológica del lactosuero del queso Paipa. *Rev. Ciencia y Agricultura*, 15(2), 99-106.
- López, Taks. (2019). Prefactibilidad económica de la elaboración de extensor de queso y helado, utilizando como base el suero de leche. (Licenciatura thesis). Repositorio del Sistema Bibliotecario, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Martín, P. (2016). Suero de leche, su historia. Recuperado de: <https://quesodeoveja.org/suero-de-leche-su-historia/>
- Mattos, C. (2015). Valorización del lacto suero. *Revista Alimentos Hoy. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 23(36), 20151.
- Mazorra, M., & Moreno, J. (2020). Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal. *Ciencia UAT*, 14(1), 133-144.
- Miranda, O; Espinosa E., & Ponce, I. (2016). Características físico-químicas y propiedades nutricionales del suero resultante del proceso de obtención del yogurt griego. Recuperado de: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubalnut/can-2016/can161m.pdf>
- Molero, M., Flores, C., Leal, M., & Briñez, W. (2017). Evaluación Sensorial de Bebidas Probióticas Fermentadas a Base de Lactosuero. Universidad del Zulia. *Revista Científica*, 27(2), 70-77.
- Muñoz, E. (2001). Biotecnología y sociedad. Encuentros y desencuentros. Publicado por The Press Syndicate of The University of Cambridge. 1ra ed.
- Muñoz, J. (2019). Reutilización del lactosuero y su efecto en la sostenibilidad ambiental de la Cooperativa de Producción Agropecuaria del Cantón Chone – Ecuador. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Moreno, M., & Moreno, C. (2019). Producción de biogás utilizando biomasa residual pecuaria con fibra vegetal y enriquecida con lactosuero, como alternativa para mitigar los gases de efecto invernadero. (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias Agropecuarias/ Centro de Posgrado. Universidad Técnica de Ambato.
- Murillo, Ch. (2019). Aplicación de un *blend* emulsificante en el desarrollo de una bebida láctea por medio del proceso UHT, con sustitución parcial de leche por suero dulce de leche. (Tesis Titulación). Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato.
- Murillo, J. (2018). Elaboración de manjar con nueces (*Juglans regia*) utilizando diferentes niveles de lactosuero como sustituto de la leche. Universidad Técnica de Manabí.
- Muset, G., & Castells, M. 2017. Transferencia Tecnológica. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Gerencia de Cooperación Económica e Internacional INTI-Lácteos Valorización del lactosuero / Pablo Juliano... [et al.]; compilado por Graciela Blanca Muset ; María Laura Castells ; 1a ed. 94 p. San Martín: Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2017. Libro digital, PDF.
- Oñate-Haro, J. (2018). Cadena agroalimentaria de la leche vacuna en Ecuador y sus potencialidades exportadoras. Periodo 2008-2015. (Tesis de grado). Facultad de Economía. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Pais, C., et al. (2017). Valorización del suero de leche: Una visión desde la biotecnología. *Bionatura*, 2(4), 2-4.
- Parra-Huertas, R. (2009). Lactosuero: Importancia en la industria de Alimentos. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellin*, 62(1); 4967-4982.
- Poveda, E. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista Chilena de nutrición*, 40(4), 3-5.
- Procel-Orozco, R. (2013). Efecto de la adición de leche entera sobre las características sensoriales, físico-químicas y rendimiento de queso ricotta elaborado con lactosuero de queso fresco. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Agroindustrial. Riobamba, Ecuador.
- Robalino, J. 2017. Obtención de ácido láctico a partir de suero de leche mediante un proceso biofermentativo utilizando un cultivo mesófilo homofermentativo. Proyecto para la obtención de título de Ingeniero Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador. 108 p.
- Sánchez, J.; Ortiz, M., & Betancourt, A. (2004). Obtención de ácido cítrico a partir de suero de leche por. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6(1),43-54 .
- Solleiro, J., & Briseño, A. (2003). Propiedad Intelectual: Impacto en la difusión de la biotecnología. *Interciencia*, 28(2), 118-123.
- Ramírez, I. (2017). Efecto del ultrasonido aplicado al suero de leche previo al calentamiento en la elaboración de requesón. *Interciencia*, 42(12), 828-833.
- Ramírez, J., Solís, C., & Vélez, C. (2018). Tecnología de membranas: obtención de proteínas de lactosuero. *Rev. Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 52-59.
- Recinos, A., & Saz O. (2006). Caracterización del suero lácteo y diagnóstico de alternativas de sus usos potenciales en el salvador. (Tesis de Grado). Escuela de ingeniería química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad del Salvador.

- SENA. (2015). Manejo integral del Lacto-Suero. Plan integral de manejo de lactosuero, algunas aplicaciones. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).
- Taco, K., & García, P. (2021). Optimización de parámetros para la elaboración de leche ácida con *Lactobacillus acidophilus*. *Revista Información Tecnológica*, 32(1), 179-186.
- Tavares, T., & Malcata, X. (2013). Whey Proteins as Source of Bioactive Peptides Against Hypertension. En *Bioactive food peptides in health and disease*. (B. H.-L.-C. Hsieh, Ed.). IntechOpen. Cap 4: 75-114.
- Terán, J. (2019). Análisis del mercado de la leche en Ecuador: factores determinantes y desafío. Departamento de Economía y Ciencias Sociales. Universitat Politècnica de València.
- Vargas, G., & Abelardo, P. (2017). Evaluación de la preservación del encurtido de rocoto (*Capsicum pubescens*), mediante la utilización de lactosuero ácido como líquido de gobierno. (Tesis de Postgrado). Universidad Nacional del Altiplano.

