



Economía circular del suero de leche: bioproceso para su conversión en bioestimulantes y biofertilizantes agronómicos

Alejandro Caballero ¹, José María Orts Gómez ², Jesús López Rodríguez ³, Luis Martín Presas ⁴ y Juan Parrado ⁵

Autor de Correspondencia: parrado@us.es

Resumen:

El suero de leche, debido a su alta carga orgánica y su elevada producción, representa un desafío significativo en términos de gestión ambiental. Sin embargo, también constituye una oportunidad para su valorización gracias a su excelente composición química.

Este trabajo propone un bioproceso basado en la economía circular, que permite la valorización completa del suero, mediante su conversión en productos de alto valor añadido para el sector agrícola, específicamente un Bioestimulante/Biofertilizante (BB).

El bioproceso es de naturaleza fermentativa/enzimática y utiliza bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPb), en particular bacterias lácticas (BAL), como herramienta biológica.

El nuevo BB, presenta una composición química radicalmente diferente al suero de leche. Su principal componente son ácidos orgánicos (ácido láctico), seguido de hidrolizados de proteínas (ambos presentan propiedades bioestimulantes) y por último a nivel biológico, la biomasa bacteriana (BAL) con propiedades PGPb, con actividad biofertilizante.

En resumen, esta propuesta de valorización del suero de leche mediante un enfoque biotecnológico promueve una agricultura más sostenible y eficiente, a la vez que fomenta la economía circular al transformar un residuo ambientalmente problemático en un recurso valioso.

Palabras clave: Suero, bacterias lácticas, Biofertilizante, Bioestimulante

Circular economy of whey: bioprocess for its conversion into agronomic biostimulants and biofertilizers

Alejandro Caballero ¹, José María Orts Gómez ², Jesús López Rodríguez ³, Luis Martín Presas ⁴ y Juan Parrado ⁵

Abstract:

Whey, due to its high organic load and significant production levels, represents a major challenge in terms of environmental management. However, it also presents an opportunity for valorization because of its excellent chemical composition.

¹ Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), CÓDIGO ORCID 0000-0002-7420-2153. caballerohernandezalejandro@gmail.com

² Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), CÓDIGO ORCID. 0000-0003-0186-2107 España), jorts1@us.es;

³ Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), jlopez17@us.es;

⁴ Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), Impresas@us.es

⁵ Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), parrado@us.es CÓDIGO ORCID. 0000-0002-1462-408X

This work proposes a bioprocess based on circular economy, enabling the complete valorization of whey by converting it into high-value-added products for the agricultural sector, specifically a Biostimulant/Biofertilizer (BB).

The bioprocess is fermentative/enzymatic in nature and employs plant growth-promoting bacteria (PGPb), particularly lactic acid bacteria (LAB), as a biological tool.

The new BB has a chemical composition radically different from whey. Its main components are organic acids (lactic acid), followed by protein hydrolysates, both of which exhibit biostimulant properties. Additionally, at the biological level, the bacterial biomass (LAB) contributes PGPb properties, acting as a biofertilizer.

In summary, this proposal for the valorization of whey through a biotechnological approach promotes more sustainable and efficient agriculture while fostering a circular economy by transforming an environmentally problematic waste into a valuable resource.

Key Words: Whey, lactic bacteria, biofertilizer, bioestimulant

1. INTRODUCCIÓN

El suero de quesería o lactosuero que se origina tras la coagulación de la leche en la fabricación del queso representa cerca del 85-90 % del volumen de la leche utilizada para fabricar queso y contiene aproximadamente el 55% de sus nutrientes. Está compuesto principalmente por agua (93-95%), materia orgánica (alrededor del 50% de los nutrientes de la leche original, mayoritariamente, proteínas y lactosa) y sales minerales.

La producción anual de suero a nivel mundial es de aproximadamente 180 millones de toneladas (Ghasemi et al. 2017). Debido a su alto contenido orgánico (González Siso, 1996) eliminarlo como residuo plantea un gran problema ambiental, ya que su correcto tratamiento antes de su vertido al medio, es un requisito legal (Kalyuzhnyi et al., 1997).

En España, el vertido directo del lactosuero no está permitido (Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas) y se exige a las queserías productoras la gestión de este subproducto, bien tratándolo o reutilizándolo en sus propias instalaciones o entregando el suero a empresas gestoras para su empleo o transformación en el marco de la Ley 10/1998 de Residuos.

La gestión de los lactosueros es uno de los mayores desafíos a los que se tienen que enfrentar las queserías debido al gran volumen que se genera (hasta 9

veces el volumen del queso elaborado) y con altísimos niveles de DQO (entre 40,000 y 60,000 mg/l) lo que requiere de tratamientos para eliminar posibles efectos contaminantes, estos son difícilmente asumibles por las pequeñas y medianas queserías debido a su complejidad y a los altos gastos de operación.

Actualmente, los sistemas más utilizados son, su eliminación por digestión anaerobia, digestión aerobia, y lagunaje, donde los dos primeros sistemas de tratamiento quedan exclusivamente reservados para las queserías de mayor tamaño, quedando para las de tamaño más pequeño como sistema más utilizado, el lagunaje. La principal alternativa a los tratamientos indicados, en las pequeñas queserías, son el uso directo en alimentación animal local y la recogida por parte de un gestor de residuos.

En resumen, las empresas queseras de mayor capacidad cuentan con instrumentos tecnológicos para la gestión de estos subproductos, pero las queserías más pequeñas deben buscar soluciones que se adapten a sus capacidades.

1.1. Suero y fertilización

El suero contiene nutrientes beneficiosos para los cultivos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre y tiene potencial como fertilizante. Así, la aplicación directa de suero ha sido durante mucho tiempo una práctica agronómica (Mawson, 1994).

La aplicación del suero queso al suelo agrícola ha sido considerado un método eficaz para aumentar el contenido de materia orgánica y aumentar la capacidad de retención de agua (Aboukila et al., 2018), ya que las cantidades y proporciones de estos nutrientes lo convierten en un sustituto o complemento adecuado de los fertilizante inorgánicos (Zibilske, 1998).

Muchos estudios se han centrado en el efecto directo del suero en las propiedades químicas del suelo así como en el crecimiento y parámetros relacionados con la productividad de las plantas, concluyendo que el suero se puede utilizar como estimulante de las plantas. Por otro lado, estudios fitoquímicos de plantas fertilizadas con suero han demostrado la capacidad de

éste para estimular la inducción de la biosíntesis y la acumulación de principios activos vegetales (Grosu, 2012).

No obstante, el suero presenta una limitación en su potencial como fertilizante, debido a la baja biodisponibilidad de la lactosa, tanto para las plantas como para los microorganismos ambientales. Por ello, el desarrollo de procesos que salven este inconveniente permitirá incrementar significativamente su eficacia en aplicaciones agronómicas.

1.2. Bioestimulantes y biofertilizantes

Los bioestimulantes (BSs) son compuestos orgánicos (como péptidos, aminoácidos, polisacáridos, ácidos húmicos, fitohormonas, etc.) que, cuando se aplican en pequeñas cantidades, mejoran los procesos fisiológicos de las plantas. Los bioestimulantes aumentan la eficiencia en el uso de nutrientes y ayudan a las plantas a tolerar el estrés abiótico, lo que mejora la calidad y el rendimiento de los cultivos (du Jardin 2015).

Por otro lado, los biofertilizantes (BFs) son inoculantes vivos, como bacterias promotoras del crecimiento de plantas (PGPb), hongos micorrícicos o algas verdes que se utilizan para promover el crecimiento y la salud de las plantas, y proporcionan nutrientes directamente a los cultivos. Los bioestimulantes/biofertilizantes son una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente para aumentar la productividad agrícola y reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

1.3. Bacterias lácticas (BAL) y biofertilización

Las BAL son un grupo de bacterias Gram positivas, no esporuladas, anaeróbicas facultativas, con forma de bastón (bacilos) o esféricas (cocos) que incluyen 6 familias y 38 géneros en el Orden de Lactobacillales (Holzapfel, Abriouel y Wood 2014). Éstas producen ácido láctico (LA) como principal producto final del metabolismo sacarolítico (SAEED y SALAM, 2013).

Es un grupo amplio y heterogéneo, compuesto principalmente por los géneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* y *Streptococcus*, y también en menor medida por *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*,

Oenococcus, *Teragenococcus*, *Vagococcus* y *Weisella*. Las LAB son miembros ubicuos de muchos microbiomas vegetales, plantas colonizadoras, suelos y rizosfera. Por lo tanto, las LAB podrían aislarse de una gran variedad de ambientes, incluido el suelo, residuos de plantas y diferentes desechos.

Las BAL presentan propiedades biofertilizantes, de entre las que se encuentran la fijación de nitrógeno atmosférico, el cual se transforma a amoníaco para que sea disponible para las plantas (Giassi et al., 2016) Se ha demostrado que las BAL solubilizan el fosfato mediante la producción de ácidos orgánicos como el ácido láctico (Giassi et al., 2016), las plantas solamente son capaces de adquirir el fósforo en su forma inorgánica, por lo que su disponibilidad depende de la solubilización de éste (Beltrán Pineda, 2015).

Las BAL producen fitohormonas (Kumar et al. 2022), como la giberelina (GA) y auxinas como el ácido indol-3-acético (AIA), los cuales desempeñan diversas funciones en la promoción del crecimiento de las plantas (Lamont et al. 2017), estas producen un aumento de la actividad metabólica que ayuda a la defensa, el normal funcionamiento celular y el manejo del estrés abiótico (Khan et al. 2020). Por otra parte, las fitohormonas influyen en el crecimiento de las plantas mejorando la longitud y la superficie radicular, lo que incrementa la calidad de su nutrición y la absorción de agua.

2. MÉTODO/DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA DE INNOVACIÓN

2.1 Aislamiento de bacterias lácticas

El suero de leche objeto de estudio procedía de la empresa Vega e Hijos (Sevilla), cuyas bacterias lácticas fueron aisladas mediante su cultivo en medios específicos sólidos (MRS-glucosa) con adición de lactosa, en función de las diferentes morfologías de las colonias. La identificación fue realizada mediante secuenciación génica de la región 16S del ARNr. Ésta se alineó con las secuencias de las cepas tipo más relacionadas utilizando el servicio Ez-Taxon-e (www.ezbiocloud.net/eztaxon) (Yoon et al. 2017). Posteriormente, se determinaron las similitudes por pares (Meier-Kolthoff 2013).

2.2 Propiedades biofertilizantes

La caracterización de las diferentes propiedades biofertilizantes de las diferentes BAL se realizó con los siguientes ensayos a) producción de ácido indolacético (IAA) (Gordon y Weber 1950) b) Solubilización de fosfato (Nautiyal 1999) c) fijación de nitrógeno, las bacterias se cultivaron en un medio mínimo libre de nitrógeno (Nautiyal 1999) durante 72 h a 28 °C. d) La producción de sideróforos se evaluó en placas de agar CAS (Chrome Azurol S) (Schwyn y Neilands 1987). La formación de biofilms se evaluó siguiendo el método previamente descrito (Del Castillo et al. 2012).

2.3 Análisis tamaño molecular proteico/peptídico

El análisis de tamaño molecular de las proteínas y péptidos de los sueros y los fermentados se realizó por cromatografía de exclusión molecular, utilizando un HPLC JASCO LC-4000 con una columna de exclusión por tamaño Superdex Peptide™ 10/300 GL, que tiene un rango de separación óptimo de 0,1 a 7 kilo daltons (kDa). La detección de las moléculas se llevó a cabo a longitud de onda de 280 nm, utilizando un módulo detector UV/Vis JASCO UV-4075.

2.4 Bioproceso

El esquema general de proceso de valorización (Figura 1) se divide en una etapa inicial de fermentación, seguida por un proceso de estabilización mediante separación de la biomasa (*Lactobacillus rhamnosus*), constituyendo ésta la fracción biofertilizante, seguida por una etapa de concentración de la fracción bioestimulante (suero fermentado sin bacterias) compuesta por los metabolitos bioestimulantes, como son el ácido láctico y las proteínas hidrolizadas, en forma de péptidos como se muestra en la Figura 2.

El bioproceso fermentativo a escala de laboratorio se realizó en un fermentador convencional con una capacidad total de 5L, control de pH, agitación y temperatura (Sartorius Biostat A, Germany). Se realizaron distintas fermentaciones con el objetivo de optimizar los parámetros pH, temperatura y aireación. En cada una de las fermentaciones realizadas únicamente se modificaba un parámetro a estudiar, manteniendo los valores del resto de parámetros en: pH 5.5, temperatura 40°C, agitación 300 rpm y aireación 1.5

v.v.m. La concentración de ácido láctico fue elegida como indicador de la productividad de la fermentación.

Parámetros estudiados:

- Temperatura (°C): 38, 40, 42
- pH 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8
- Aireación (v.v.m.) 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5

El suero fermentado fue posteriormente procesado para su estabilización mediante tecnología de membranas a través de ultrafiltración y ósmosis inversa.

El escalado se realizó en las instalaciones de planta piloto pertenecientes al grupo AGR-212 situada en Mataderos del Sur (Salteras, España) empleando un fermentador con una capacidad total de 100L y, seguidamente, en dos fermentadores con una capacidad total de 3 y 8 m³, acoplados a sistemas de ultrafiltración y ósmosis inversa.

3. RESULTADOS

3.1 Composición química del suero

Tabla 1. Composición química del suero de leche y del suero fermentado. **Fuente:** Elaboración propia. *En forma de péptidos

	Suero de leche (g/l)	Suero fermentado (g/l)
Biomasa BAL	0.05±0.01	3.2 ± 0.7
Proteínas	9.8 ± 2	9.16 ± 1.8*
Ácido Láctico	5.0 ± 0.5	42.0 ± 0.2
Lactosa	51.0 ± 3.1	1.7 ± 0.2
Minerales	2.2 ± 0.3	2.4 ± 0.2

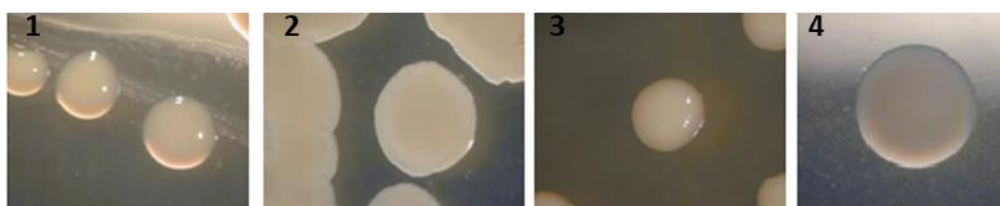
El suero de leche utilizado como materia prima en este trabajo presenta una composición química típica (Tabla 1), compuesta principalmente por carbohidratos, principalmente lactosa (50 ± 3,9 g/L), y proteínas solubles (10 ± 2 g/L). El suero también contiene menores cantidades de ácido láctico (5,2 ± 0,6 g/L), un producto de la fermentación microbiana espontánea de la lactosa durante el almacenamiento [34].

3.2 Aislamiento de bacterias lácticas

Se identificaron cuatro especies cultivables principales a partir de un aislamiento microbiano realizado dentro del consorcio presente en el suero de leche, cuyos resultados son mostrados en la Tabla 2. Todas las LAB aisladas corresponden al género *Lactobacillus*, siendo de especial relevancia *Lactobacillus rhamnosus*, bacteria que ofrece importantes ventajas para la salud animal/humana por ser un probiótico de interés y como bacteria con capacidad biocontroladora de patógenos en plantas (Akhtar et al. 2023; Braos et al. 2020).

Tabla 2. Identificación de las bacterias lácticas aisladas del ARNr del 16S, mostrando la especie más cercana según la base de datos de EzBioCloud y NCBI. **Fuente:** Elaboración propia

Cepa	Especie	% ID
1	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	100%
2	<i>Lactobacillus fermentum</i>	100%
3	<i>Lactobacillus hilgardii</i>	100%
4	<i>Lactobacillus helveticus</i>	99,78%



3.3 Identificación de sus propiedades como BIOFERTILIZANTES

Una vez identificadas, se realizó una selección de la cepa de lactobacteria con mayor actividad biofertilizante. Se procedió a evaluación de las actividades PGPb, y se observa que todas las bacterias fueron capaces de crear biofilms, propiedad que permite a las bacterias fijarse y colonizar distintas superficies como las raíces (Tabla 3). A su vez, todas las bacterias identificadas fueron capaces de solubilizar fosfatos, siendo el mayor solubilizador la cepa de *Lactobacillus rhamnosus*, con un halo de 2,3 cm de diámetro (Tabla 3). La mayoría fueron capaces de producir auxinas (IAA), destacando *Lactobacillus rhamnosus* y *Lactobacillus helveticus* por mostrar altos valores de AIA (8,667 y 9,273 mg·L⁻¹ respectivamente). La fijación de nitrógeno y producción de sideróforos fue sólo positiva para *Lactobacillus rhamnosus*; el resto de las cepas resultaron negativas (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades PGP presentes en las bacterias aisladas. **Fuente:** Elaboración propia

Cepa	Solubilización de fosfato (mm)	Sideróforos (mm)	IAA (mg/l)	Fijación de nitrógeno	Biofilm
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	2.3	0.8	8,667	+	+
<i>Lactobacillus fermentum</i>	2.1	-	-	-	+
<i>Lactobacillus hilgardii</i>	±	-	+	-	+
<i>Lactobacillus helveticus</i>	+	-	9,237	-	+

En conclusión, las bacterias aisladas de los sueros de leche pueden ser utilizadas para la obtención de productos con capacidad biofertilizantes y bioestimulantes. Por otra parte, son BAL adaptadas localmente al crecimiento en el suero de leche; esto representa una ventaja para la producción industrial, en comparación con la utilización de una BAL obtenida de una colección microbiana.

De todas ellas la bacteria aislada del suero de leche, elegida como herramienta biológica para realizar la optimización del bioproceso por presentar mejores propiedades biofertilizantes es *Lactobacillus rhamnosus*.

3.3 Optimización del bioproceso

El bioproceso de valorización de suero para la obtención de bioestimulantes/biofertilizantes., fue optimizado a escala de laboratorio, en un fermentador con control de pH y temperatura. Se evaluó a través de la evaluación de la productividad de la generación de ácido láctico, hallando los valores óptimos de los parámetros estudiados, que se muestran a continuación.

1. pH. El pH óptimo de pH 7 es el que mayor productividad presentó (1.16 mg ml⁻¹ h⁻¹), cuyo rendimiento de conversión de lactosa en ácido láctico fue del 100 %.

Se observó que a partir de un valor de pH 7.5 la productividad de ácido láctico disminuyó significativamente, siendo mínima a pH 8. El rango de

valores de pH con mayor producción fue de 6 a 7, mientras que las fermentaciones con menos producción de ácido láctico fueron las de pH 5 y 8. Se observó también una correlación entre la cantidad de biomasa y el pH, siendo mayor cuando el pH fue más básico.

2. Temperatura. La temperatura óptima fue de 42°C, con una producción de ácido láctico muy superior, así como la cinética de la fermentación. Las fermentaciones de las otras tres temperaturas evaluadas mostraron una cinética y unos valores de producción inferiores. Respecto a la producción en biomasa no se observaron diferencias.

3. Aireación. Los resultados mostraron que, en ausencia de aireación, hubo una mayor producción de ácido láctico. También se observó una disminución del rendimiento y la productividad con el aumento de la aireación. La cantidad de biomasa recogida no parece seguir un patrón definido en relación con la aireación.

Como conclusión de la optimización del bioproceso fermentativo de conversión del suero de leche en un nuevo biofertilizante/bioestimulante se eligieron los parámetros óptimos: pH 7, temperatura 42°C y ausencia de aireación.

El proceso fermentativo se reprodujo en planta piloto hasta una escala de 6.000 litros, en las condiciones operacionales óptimas y se obtuvo una total reproducibilidad.

4. CONCLUSIÓN

El suero de leche tiene un gran potencial como fuente de crecimiento para bacterias lácticas y la producción de compuestos bioestimulantes, en este trabajo se presenta el diseño y escalado de un bioproceso de economía circular (Figura 1), el cual conduce a la conversión de un residuo alimentario en un nuevo producto con actividad bioestimulante/biofertilizante (Tabla 1, Figura 2).

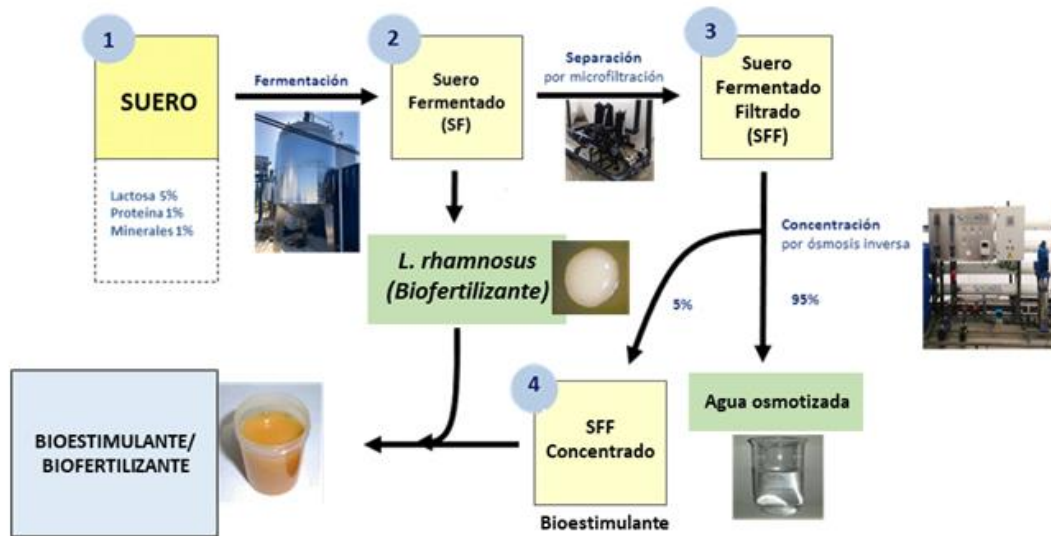


Figura 1. Esquema general del Bioproceso

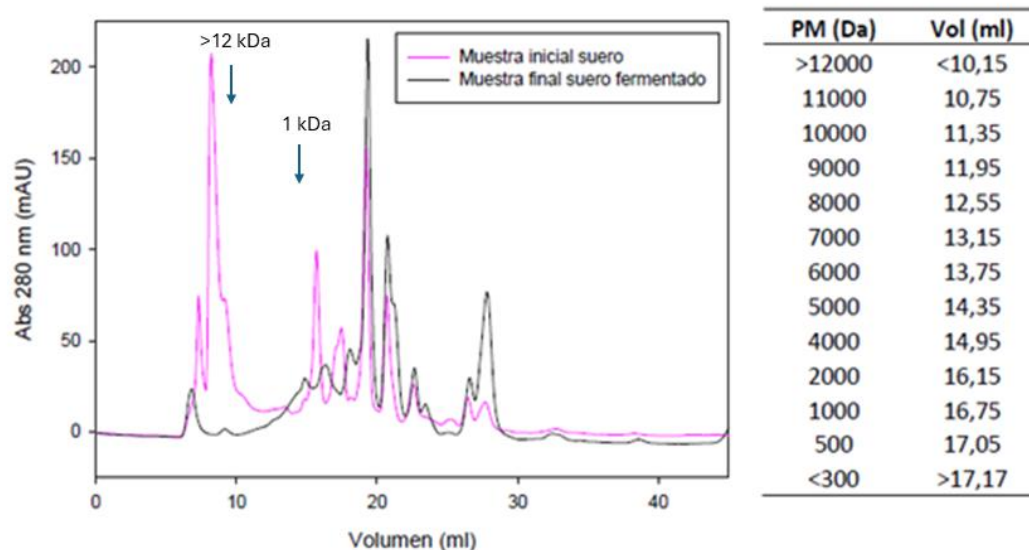


Figura 2. Perfil tamaño molecular proteico (Análisis HPLC de exclusión molecular) de una muestra de suero inicial y otra de suero fermentado. La tabla derecha relaciona el volumen de elución con el peso molecular de los eluyentes

En este nuevo producto destaca la aparición de compuestos orgánicos con actividad bioestimulante, entre los que se encuentran:

1. Hidrolizados de proteínas y aminoácidos libres. Son los compuestos bioestimulantes más importantes en cuanto a su uso y potencia (du Jardin 2015). Durante el bioproceso son producidos por la hidrólisis de las proteínas de alto peso molecular en péptidos y aminoácidos libres, debida a procesos catabólicos de las BAL.

2. Ácido láctico, obtenido por la conversión de la lactosa, es un compuesto bioestimulante, fuertemente implicado en la solubilización y adquisición de nutrientes esenciales como el fósforo. Este efecto prebiótico conduce a la inducción de bacterias PGpb rizosféricas (Macias-Benitez et al. 2020).

Y por último actividad biofertilizante, por parte de *Lactobacillus rhamnosus*, presenta actividad fijadora de nitrógeno y solubilizadora de fosfato así como productor de fitohormonas y sideróforos.

En el futuro nuevos estudios del suero fermentado, respecto a la caracterización de potencia agronómica, así como en la formulación de productos finales, serán necesarios para satisfacer la creciente demanda agrícola de insumos sostenibles entre los que se encuentran los bioestimulantes y biofertilizantes.

Fuentes de financiación: Este trabajo presenta parte de los resultados del Grupo Operativo BIOSUERO N.º EXPEDIENTE: GOPG-MA-20-0004, que fue financiado a través de los Fondos Europeos Agrícolas de Desarrollo Rural (FEADER) y cofinanciado por la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, de la convocatoria de Grupos Operativos Regionales de la Asociación Europea de Innovación (AEI) en Materia de Productividad y Sostenibilidad Agrícola de 2020.

REFERENCIAS

- SAEED, Hayed y SALAM, Ibrahim. 2013. Current limitations and challenges with lactic acid bacteria: a review. *Food and Nutrition Sciences*, vol. 2013, no. November, pp. 73-87.
- ABOUKILA, Emad, ABDELRAOUF, Elsayed y GOMMA, Ibrahim, 2018. Effects of Cheese Whey on Some Chemical and Physical Properties of Calcareous and Clay Soils. *International Journal of Plant & Soil Science*, vol. 21, no. 3, pp. 1-12. DOI 10.9734/ijpss/2018/39082.
- AKHTAR, Maira, NOSHEEN, Asia, KEYANI, Rumana, YASMIN, Humaira, NAZ, Rabia, MUMTAZ, Saqib y HASSAN, Muhammad Nadeem, 2023. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* in basmati rice by the application of *Lactobacillus* and *Weissella* spp. *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1. ISSN 20452322. DOI 10.1038/s41598-023-41058-9.
- BRAOS, Lucas Boscov, RUIZ, Juan Gabriel Cristhoffer Lopes, LOPES, Ivã Guidini, FERREIRA, Manoel Evaristo y DA CRUZ, Mara Cristina Pessôa, 2020. Mineralization of Nitrogen in Soils with Application of Acid Whey at Different pH. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 20, no. 3, pp. 1102-1109. ISSN 07189516. DOI 10.1007/s42729-020-00196-z.
- DEL CASTILLO, I., HERNÁNDEZ, P., LAFUENTE, A., RODRÍGUEZ-LLORENTE, I.D., CAVIEDES, M.A. y PAJUELO, E., 2012. Self-bioremediation of cork-processing wastewaters by (chloro)phenol-degrading bacteria immobilised onto residual cork particles. *Water Research*, vol. 46, no. 6, pp. 1723-1734. ISSN 18792448. DOI 10.1016/j.watres.2011.12.038.
- DU JARDIN, Patrick, 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* [en línea], vol. 196, pp. 3-14. ISSN 03044238. DOI 10.1016/j.scienta.2015.09.021. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.

- GHASEMI, Mostafa, AHMAD, Azri, JAFARY, Tahereh, AZAD, Abul K., KAKOOEI, Saeid, WAN DAUD, Wan Ramli y SEDIGHI, Mehdi, 2017. Assessment of immobilized cell reactor and microbial fuel cell for simultaneous cheese whey treatment and lactic acid/electricity production. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 14, pp. 9107-9115. ISSN 03603199. DOI 10.1016/j.ijhydene.2016.04.136.
- GIASSI, Valdionei, KIRITANI, Camila y KUPPER, Katia Cristina, 2016. Bacteria as growth-promoting agents for citrus rootstocks. *Microbiological Research* [en línea], vol. 190, pp. 46-54. ISSN 09445013. DOI 10.1016/j.micres.2015.12.006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.006>.
- GONZÁLEZ SISO, M.I., 1996. The biotechnological utilization of cheese whey: A review. *Bioresource Technology*, vol. 57, no. 1, pp. 1-11. ISSN 09608524. DOI 10.1016/0960-8524(96)00036-3.
- GORDON, Solon A. y WEBER, Robert P., 1950. pg./ml., , pp. 192-195.
- GROȘU, Luminița, FERNANDEZ, Barbara, GRIGORAȘ, Cristina Gabriela, PATRICIU, Oana Irina, GRIG, Irina Claudia Alexa, NICUȚĂ, Daniela, CIOBANU, Domnica, GAVRILĂ, Lucian y FÎNARU, Adriana Luminița, 2012. Valorization of whey from dairy industry for agricultural use as fertiliser: Effects on plant germination and growth. *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 11, no. 12, pp. 2203-2210. ISSN 15829596. DOI 10.30638/eemj.2012.273.
- HOLZAPFEL, Wilhelm, ABRIOUEL, Hikmate y WOOD, Brian J.B., 2014. *Lactic acid bacteria: biodiversity and taxonomy*. book. Chichester, England: Wiley Blackwell. ISBN 1-118-65527-3.
- JI, Sang Hye, GURURANI, Mayank Anand y CHUN, Se Chul, 2014. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic diazotrophic bacteria from Korean rice cultivars. *Microbiological Research* [en línea], vol. 169, no. 1, pp. 83-98. ISSN 09445013. DOI 10.1016/j.micres.2013.06.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2013.06.003>.

- KALYUZHNYI, S. V., PEREZ MARTINEZ, E. y RODRIGUEZ MARTINEZ, J., 1997. Anaerobic treatment of high-strength cheese-whey wastewaters in laboratory and pilot UASB-reactors. *Bioresource Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 59-65. ISSN 09608524. DOI 10.1016/S0960-8524(96)00176-9.
- KHAN, Naeem, BANO, Asghari, ALI, Shahid y BABAR, Md Ali, 2020. Crosstalk amongst phytohormones from planta and PGPR under biotic and abiotic stresses. *Plant Growth Regulation* [en línea], vol. 90, no. 2, pp. 189-203. ISSN 15735087. DOI 10.1007/s10725-020-00571-x. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00571-x>.
- KUMAR, Satish, DIKSHA, SINDHU, Satyavir S. y KUMAR, Rakesh, 2022. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences* [en línea], vol. 3, no. July 2021, pp. 100094. ISSN 26665174. DOI 10.1016/j.crmicr.2021.100094. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>.
- LAMONT, John R., WILKINS, Olivia, BYWATER-EKEGÄRD, Margaret y SMITH, Donald L., 2017. From yogurt to yield: Potential applications of lactic acid bacteria in plant production. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 111, pp. 1-9. ISSN 00380717. DOI 10.1016/j.soilbio.2017.03.015.
- MACIAS-BENITEZ, Sandra, GARCIA-MARTINEZ, Ana María, CABALLERO JIMENEZ, Pablo, GONZALEZ, Juan Miguel, TEJADA MORAL, Manuel y PARRADO RUBIO, Juan, 2020. Rhizospheric Organic Acids as Biostimulants: Monitoring Feedbacks on Soil Microorganisms and Biochemical Properties. *Frontiers in Plant Science*, vol. 11, no. May, pp. 1-16. ISSN 1664462X. DOI 10.3389/fpls.2020.00633.
- MARWAHA, S.S. y KENNEDY, J.F., 1988. Whey—pollution problem and potential utilization. *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 23, no. 4, pp. 323-336. ISSN 13652621. DOI 10.1111/j.1365-2621.1988.tb00586.x.
- MAWSON, A.J., 1994. Bioconversions for whey utilization and waste abatement. *Bioresource Technology*, vol. 47, no. 3, pp. 195-203. ISSN 09608524. DOI 10.1016/0960-8524(94)90180-5.

- MEIER-KOLTHOFF, Jan P., GÖKER, Markus, SPRÖER, Cathrin y KLENK, Hans Peter, 2013. When should a DDH experiment be mandatory in microbial taxonomy? *Archives of Microbiology*, vol. 195, no. 6, pp. 413-418. ISSN 03028933. DOI 10.1007/s00203-013-0888-4.
- NAUTIYAL, C. Shekhar, 1999. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, vol. 170, no. 1, pp. 265-270. ISSN 03781097. DOI 10.1016/S0378-1097(98)00555-2.
- SCHWYN, Bernhard y NEILANDS, J.B., 1987. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical Biochemistry*, vol. 160, no. 1, pp. 47-56. ISSN 10960309. DOI 10.1016/0003-2697(87)90612-9.
- YOON, Seok Hwan, HA, Sung Min, KWON, Soonjae, LIM, Jeongmin, KIM, Yeseul, SEO, Hyungseok y CHUN, Jongsik, 2017. Introducing EzBioCloud: A taxonomically united database of 16S rRNA gene sequences and whole-genome assemblies. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, vol. 67, no. 5, pp. 1613-1617. ISSN 14665026. DOI 10.1099/ijsem.0.001755.
- ZIBILSKE, Larry, 1998. Handbook of Soil Conditioners: Substances That Enhance the Physical Properties of Soil. *Soil Science*, vol. 163, no. 12, pp. 982-983. ISSN 0038-075X. DOI 10.1097/00010694-199812000-00008.