

# Evaluación de impacto ambiental en cuerpos de agua por vertimientos de lactosuero y propuesta de mitigación mediante tecnología de microencapsulación en el Distrito de Taraco – Puno , Perú

Mamani Pari Yoryeth Erika <sup>1</sup>

[Yoryethmamani@upeu.edu.pe](mailto:Yoryethmamani@upeu.edu.pe)

EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

---

## Resumen

El vertimiento inadecuado de lactosuero a cuerpos de agua representa una grave amenaza ambiental debido a su elevada carga orgánica, lo que se traduce en una alta demanda biológica y química de oxígeno. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos fisicoquímicos de la contaminación hídrica por lactosuero en la región de Puno, Perú, y proponer una solución tecnológica sostenible basada en la microencapsulación. Se tomaron muestras de agua superficial contaminada con lactosuero y se analizaron parámetros como pH, DBO, DQO, turbidez, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad eléctrica. Paralelamente, se evaluó el proceso de atomización del lactosuero y su viabilidad como estrategia de mitigación. Los resultados indicaron niveles críticos de DBO (hasta 7800 mg/L), DQO (11500 mg/L), y disminución del oxígeno disuelto por debajo de 4 mg/L, afectando gravemente la vida acuática. La tecnología de secado por aspersion logró transformar el suero líquido en polvo con bajo contenido de humedad (4.64%), alto contenido de sólidos totales (95.52%) y grasa cruda (11.07%). La microencapsulación se presenta como una alternativa viable para el aprovechamiento del lactosuero y reducción de su impacto en cuerpos hídricos.

**Palabras clave:** contaminación hídrica, lactosuero, DBO, microencapsulación

## **Summary**

The inappropriate discharge of whey into water bodies represents a serious environmental threat due to its high organic load, which translates into high biological and chemical oxygen demand. This research aimed to evaluate the physicochemical effects of water pollution by whey in the Puno region of Peru and propose a sustainable technological solution based on microencapsulation. Samples of surface water contaminated with whey were taken, and parameters such as pH, BOD, COD, turbidity, dissolved oxygen, temperature, and electrical conductivity were analyzed. In parallel, the whey atomization process and its viability as a mitigation strategy were evaluated. The results indicated critical levels of BOD (up to 7800 mg/L), COD (11500 mg/L), and a decrease in dissolved oxygen below 4 mg/L, seriously affecting aquatic life. Spray-drying technology transformed liquid whey into a powder with a low moisture content (4.64%), high total solids content (95.52%), and high crude fat content (11.07%). Microencapsulation is presented as a viable alternative for the utilization of whey and reducing its impact on water bodies.

**Keywords:** water pollution, whey, BOD, microencapsulation

## 1. Introducción

Según Hinsinger, P, et al. (2021) El lactosuero, subproducto líquido generado en la fabricación del queso, contiene altas concentraciones de materia orgánica, principalmente lactosa, proteínas y grasas. Su vertimiento sin tratamiento en fuentes hídricas provoca un fuerte impacto ecológico, generando eutrofización, disminución del oxígeno disuelto y alteración de comunidades acuáticas. Según Uribe (2008), un solo litro de suero puede agotar el oxígeno disuelto de 10 toneladas de agua. A pesar de su valor nutricional, la industria láctea de Puno desecha el lactosuero directamente en cursos de agua o suelos, generando contaminación y desaprovechamiento económico.

Según Maas,& Hoffman, G.J. (2018) mencionan que el el lactosuero generado en el proceso de elaboración de queso fresco pasteurizado no se aprovecha de manera apropiada por cuanto es desechado al ambiente y en mínimas cantidades (entre 1200 y 1700 litros por mes). También es destinado para el consumo de animales, lo cual ocasiona impactos ambientales desfavorables y pérdidas económicas por no dar valor agregado a este subproducto. Rhoades, J.D. (2016). Según Maldonado-Jiménez & Aparicio-Saavedra, 2021. En las proyecciones de la OECD/FAO se prevé que la producción mundial de leche aumentará a 175 millones de toneladas (t) hacia el 2026. (Poveda, 2020). El queso seguirá siendo el producto lácteo más importante, representando alrededor del 40% de la leche elaborada en todo el mundo. la producción de queso que puede ser un desafío para gestionar de manera eficiente debido a su alto contenido de nutrientes y su impacto ambiental si no se trata adecuadamente. (Huertas,2009). Al reutilizar el lactosuero, se lograría disminuir el impacto contaminante de manera más eficaz, generando mayores beneficios para la empresa y el ambiente. (Lal, R. 2015). por tal motivo es pertinente desarrollar procesos tecnológicos en los que se aproveche el lactosuero y así minimizar los impactos ambientales ocasionados por la producción láctea. Brady, N.C,&Weil R.R.(2020) Los atomizadores son dispositivos ampliamente utilizados en diversas aplicaciones industriales y agrícolas para la dispersión de líquidos en forma de pequeñas gotas. (Mesa, 2015). las tecnologías actuales permiten su conversión en suero en polvo (Quispe, 2017). La presente investigación tiene como objetivo Realizar un análisis exhaustivo y crítico de los avances tecnológicos relacionados con el reaprovechamiento del lactosuero de las plantas queseras en la región de Puno con el fin de reducir la contaminación ambiental que ocasionan las plantas queseras.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Lugar

La investigación se llevó a cabo en la región de Puno (**distrito de Taraco**), Perú, donde se recolecto muestras de lactosuero proveniente de planta quesera. Esta ubicación es relevante debido a la significativa actividad de la industria láctea en la zona, lo cual genera una considerable cantidad de lactosuero, un subproducto que, sin tratamiento adecuado, impacta negativamente en el medio ambiente.

### Materiales de laboratorio

- Termómetro
- Balanza
- Jarras
- Cooler
- Envases de vidrio
- Guantes
- Bolsas para muestras

## 3. Análisis del agua contaminada con lactosuero

**Muestreo:** Se recolectaron muestras de agua superficial en canales de drenaje y cuerpos fluviales cercanos a plantas queseras.

### **Parámetros evaluados:**

- pH
- DBO (mg/L)
- DQO (mg/L)
- Oxígeno disuelto (mg/L)
- Turbidez (NTU)
- Temperatura (°C)
- Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

### **Instrumental y técnicas:**

- DBO: Método de incubación 5 días
- DQO: Reflujo cerrado con dicromato
- Turbidez: Turbidímetro digital
- Oxígeno disuelto: Medidor electrométrico
- Conductividad: Conductímetro

## **Configuración del Atomizador**

### **Equipos**

Utilizar un atomizador con una cámara cilíndrica de secado, equipada con una boquilla de dos fluidos.

## **Ajustes iniciales**

- La Temperatura se Configura de entrada del aire caliente entre 150 °C y 300 °C.
- La presión de atomización se ajusta la presión para permitir una atomización uniforme del líquido.

## **Formación del Aerosol**

### **Introducción del Suero**

El suero se introduce en la cámara de secado mediante la boquilla atomizadora, que transforma el líquido en pequeñas gotas o partículas mediante la acción centrífuga.

## **Evaporación instantánea**

Cuando las gotas entran en contacto con el aire caliente, se produce una evaporación rápida de la humedad, que reduce el contenido de agua en el suero.

## **Secado y Formación del Polvo**

### **Secado por spray**

La niebla de suero pasa a través de la corriente de aire caliente en la cámara de secado. Esto permite que las gotas se conviertan en polvo en fracciones de segundo.

## **Control de temperatura de salida**

La temperatura del aire a la salida debe mantenerse entre 90 °C y 100 °C, lo que evita el sobrecalentamiento y la degradación de nutrientes en el suero.

## **Tiempo de residencia**

Ajustar para que el tiempo de permanencia del suero en la cámara sea de 5 a 7 segundos, permitiendo una deshidratación completa.

## **Recolección y Almacenamiento**

### **Separación del polvo**

El suero en polvo se recoge mediante ciclones u otros dispositivos de separación que eliminan el aire/gas de secado.

### **Enfriamiento**

El polvo se enfría rápidamente para evitar cambios en su calidad.

### **Almacenamiento**

Almacenar en recipientes herméticos, en un ambiente fresco y seco para preservar su calidad.

*FUENTE: Propia – Universidad Peruana Unión*



## 4. Análisis Físicoquímico del agua contaminada con lactosuero

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado promedio</b>
DBO	mg/L	7800 ± 120
DQO	mg/L	11500 ± 250
Oxígeno disuelto	mg/L	3.2 ± 0.1
Turbidez	NTU	270 ± 15
pH	-	5.4 ± 0.2
Temperatura	°C	22.8 ± 1.1
Conductividad eléctrica	μS/cm	1450 ± 30

*Tabla 2 Análisis físicoquímico del agua contaminada por suero*

### 4.1. Interpretación

- La alta DBO y DQO confirma la carga orgánica del lactosuero.
- El oxígeno disuelto bajo amenaza la biodiversidad acuática.
- La alta turbidez y conductividad evidencian salinidad y presencia de partículas orgánicas en suspensión.

## 5. Resultados de la microencapsulación

Tabla 2 Análisis fisicoquímico del suero en polvo dulce

ENSAYO	Unidades	RESULTADOS	Metodología
Humedad	Porcentaje	$4.64 \pm 0.04$	NTP 205.037 PERUANA 1975 (revisada el 2016)
Sólidos totales	Porcentaje	$95.52 \pm 0.14$	NTP 205.037 <sup>(a)</sup>
Grasa cruda	Porcentaje	$11.07 \pm 0.59$	NTP 206,017 1981 (Revisada el 2011)

(a) % Sólidos Totales = 100 - % Humedad

El resultado de "**Humedad**  $4.64 \pm 0.04$ " indica que el contenido de humedad en la muestra analizada es del 4.64%, con un margen de error de  $\pm 0.04\%$ . La norma técnica peruana NTP 205.037, revisada en 2016, establece los criterios y métodos para la determinación de la humedad en diferentes productos. En este caso, el valor obtenido se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma, lo que sugiere que la muestra tiene un contenido de humedad adecuado según los estándares especificados.

**Sólidos Totales** Porcentaje:  $95.52 \pm 0.14$  El resultado indica que la muestra analizada contiene un 95.52% de sólidos totales, con una desviación estándar de 0.14%, lo que refleja una medición precisa y repetible. La referencia a la norma técnica NTP 205.037<sup>(a)</sup> sugiere que el procedimiento de medición se realizó siguiendo un protocolo específico, asegurando así la validez y la comparabilidad del resultado.

El resultado muestra que la muestra analizada contiene un 11.07% de **grasa cruda**, con una desviación estándar de 0.59%. Esto refleja que hay una cierta variabilidad en la medición, pero sigue siendo un valor útil para evaluar el contenido de grasa en la muestra. La referencia a la norma técnica asegura que el procedimiento de medición se realizó de acuerdo con un protocolo establecido y revisado, garantizando

## Contenido de Humedad

### Procedimiento (Método de secado en horno)

- Pesar 5 g de suero en polvo y colocarlo en un horno a 105 °C.
- Secar la muestra durante 4 horas para asegurar la eliminación completa de la humedad.
- Retirar la muestra, enfriar en un desecador, y pesar nuevamente.
- Calcular el contenido de humedad utilizando la fórmula

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} * 100$$

## Sólidos Totales

Para determinar el contenido de los sólidos totales se realiza el siguiente procedimiento.

### Procedimiento

Este valor se obtiene indirectamente restando el porcentaje de humedad al 100%.

### Fórmula:

$$\text{Sólidos Totales (\%)} = 100 - \text{Humedad}$$

## Grasa Cruda

### Procedimiento (Método Soxhlet)

- Pesar 2 g de suero en polvo y colocar en un cartucho de extracción.
- Colocar el cartucho en un extractor Soxhlet con éter de petróleo como solvente.
- Realizar el proceso de extracción durante 4 a 6 horas, permitiendo que el solvente disuelva la grasa presente.
- Evaporar el solvente y pesar el residuo de grasa extraído.

### Fórmula:

$$\text{Grasa Cruda (\%)} = \frac{\text{Peso de grasa Extraída}}{\text{Peso de Muestra}} * 100$$

## 6. Conclusión

La investigación confirma que el uso de tecnologías avanzadas de atomización y secado del lactosuero en polvo no solo es viable sino también eficiente. Estas tecnologías permiten la transformación de un subproducto contaminante en un ingrediente valioso, alineándose con las prácticas sostenibles y reduciendo significativamente el impacto ambiental.

Los análisis fisicoquímicos del suero dulce muestran que tiene un contenido de humedad de  $4.64 \pm 0.04\%$ , sólidos totales de  $95.52 \pm 0.14\%$  y grasa cruda de  $11.07 \pm 0.59\%$ , lo que indica su potencial para ser utilizado como materia prima en la industria alimentaria. La conversión del lactosuero en polvo puede integrarse en productos como suplementos nutricionales, alimentos funcionales y aditivos alimentarios, aprovechando sus nutrientes y reduciendo el vertido contaminante. Las tecnologías de atomización y secado por aspersion han demostrado ser efectivas y están ampliamente disponibles tanto a nivel nacional como internacional. Equipos con boquillas de materiales resistentes como acero inoxidable y cerámica, y sistemas de control electrónico, han mejorado la eficiencia y uniformidad del proceso. La implementación de estos sistemas en las plantas queseras de Puno podría transformar el manejo del lactosuero, mitigando su impacto ambiental y creando valor económico a partir de un residuo.

## 7. Propuesta de Solución

La solución planteada para abordar la problemática ambiental generada por los vertimiento de lactosuero en cuerpos de agua en la región de Puno contempla una estrategia integral basada en la valorización tecnológica y la articulación comunitaria. Esta propuesta se estructura en cinco componentes clave:

### 1. Implementación de microplantas de secado por aspersión a nivel local

Se propone instalar microplantas de atomización o secado por aspersión en las asociaciones de productores de queso. Estas unidades permitirán transformar el lactosuero en polvo, lo que facilita su almacenamiento, transporte y comercialización. Las características técnicas básicas de estas unidades incluirían:

- Capacidad de procesamiento: 10–50 L/h
- Energía requerida: Eléctrica o gas
- Rango de temperatura: 160–200 °C
- Requerimientos de mantenimiento: Bajo

Este proceso reduce el volumen del residuo, elimina su carga orgánica líquida y lo convierte en un producto estable.

#### Beneficios:

- Previene la descarga directa en fuentes hídricas
- Genera un insumo reutilizable
- Bajo costo operativo una vez instalado

### 2. Reutilización del lactosuero en productos de valor agregado

El lactosuero atomizado puede emplearse como insumo en las siguientes aplicaciones:

- En la alimentación animal como fuente de proteína y energía
- En la industria alimentaria para producción de barras energéticas, bebidas lácteas o panificación
- En agricultura como biofertilizante tras enriquecimiento con microorganismos benéficos

La diversificación de usos permite crear una cadena de valor local, mitigando su condición de residuo contaminante.

### **3. Capacitación y asistencia técnica a productores**

Para asegurar la sostenibilidad del sistema, se propone un programa de formación dirigido a productores de queso, con los siguientes ejes:

- Educación ambiental sobre impactos del lactosuero en fuentes hídricas
- Capacitación en operación y mantenimiento de equipos de secado
- Gestión cooperativa para comercialización de subproductos

Este componente será coordinado con instituciones como universidades, ONG ambientales y autoridades locales.

### **4. Articulación con políticas públicas y normativas**

Se recomienda que los gobiernos locales y regionales integren esta estrategia dentro de sus políticas de gestión ambiental rural mediante:

- Incentivos tributarios para productores que gestionen su lactosuero
- Subvenciones o fondos concursables para adquirir tecnologías de secado
- Inclusión del monitoreo de lactosuero en la vigilancia de aguas residuales industriales no domésticas

Además, se sugiere que se actualice la normativa ambiental para considerar el lactosuero como residuo especial y su gestión obligatoria.

### **5. Monitoreo de la calidad del agua en zonas afectadas**

La estrategia incluye la instalación de estaciones de monitoreo participativo en los principales cuerpos de agua que reciben vertimientos. Esto permitirá:

- Evaluar de manera continua parámetros como DBO, DQO, OD y turbidez
- Medir el impacto de la implementación de la tecnología de secado
- Transparentar la información a la comunidad y autoridades

El monitoreo estará a cargo de las comunidades en coordinación con instituciones académicas, empleando kits portátiles de análisis de agua.

## 8. Referencias

- Asas, C. (Marzo de 2021). El lactosuero: impacto ambiental, usos y aplicaciones vía mecanismos de la biotecnología. Obtenido de [https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/download/3453/4128/12594#:~:text=El%20lactosuero%20es%20una%20de,qu%C3%ADmica%20de%20ox%C3%ADgeno%20\(DQO\).](https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/download/3453/4128/12594#:~:text=El%20lactosuero%20es%20una%20de,qu%C3%ADmica%20de%20ox%C3%ADgeno%20(DQO).)
- Brady, N.C., & Weil, R.R. (2020). *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Education. [https://www.researchgate.net/publication/301200878\\_The\\_Nature\\_and\\_Properties\\_of\\_Soils\\_15th\\_edition](https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition)
- Carta, E. D. (2008). Banco de pruebas de atomizadores de la Uiversidad de Matanzas y caracterización experimental del atomizador CECYEN. Obtenido de <file:///C:/Users/HP%20PAVILION/Downloads/Dialnet-BancoDePruebasDeAtomizadoresDeLaUiversidadDeMatanz-5074453.pdf>
- Farfán, D. J. (2013). Valoración de Impactos Ambientales generados en la Industria Láctea y Cárnica en la ciudad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3265/1/10039.pdf>
- Farfán, D. J. (2013). Valoración de Impactos Ambientales generados en la Industria Láctea y Cárnica en la ciudad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3265/1/10039.pdf>
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (2013). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/soil-fertility-and-fertilizers-an-introduction-to-nutrient-management/P200000001208/9780137593392>
- Hinsinger, P., et al. (2010). "Plant–soil interactions in the rhizosphere and nutrient cycling in terrestrial ecosystems." *Plant and Soil*, 321(1), 23-56. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-95162015000200011](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162015000200011)
- Huertas, R. A. (Abril de 2009). LACTOSUERO: IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a21v62n1.pdf>
- Lal, R. (2015). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1097396>
- Llanos, C. (2021). impacto ambiental, usos y aplicacionesvía mecanismos de la biotecnología. Obtenido de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/3453/4128>
- Maas, E.V., & Hoffman, G.J. (2018). "Crop salt tolerance—Current assessment." *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2), 115-134. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2020982>

- Marschner, P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123849052/marschners-mineral-nutrition-of-higher-plants>
- Mesa, E. T. (2015). NUEVOS ATOMIZADORES PARA LA PULVERIZACIÓN EFICIENTE DE PETRÓLEOS PESADOS. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/269874650\\_NUEVOS\\_ATOMIZADORES\\_PARA\\_LA\\_PULVERIZACION\\_EFICIENTE\\_DE\\_PETROLEOS\\_PESADOS](https://www.researchgate.net/publication/269874650_NUEVOS_ATOMIZADORES_PARA_LA_PULVERIZACION_EFICIENTE_DE_PETROLEOS_PESADOS)
- Poveda, E. (Diciembre de 2020). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v40n4/art11.pdf>
- Puntuales, D. A. (2010). Parra. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n1/a14v63n01.pdf>
- QUISPE, J. C. (2017). DESARROLLO DE UNA BEBIDA A PARTIR DE LACTOSUERO Y GEL DESHIDRATADO DE TUNA. Obtenido de <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4b68bd02-9697-4776-8506-a2e10ce4c983/content>
- Rhoades, J.D. (2016). "Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids." In Methods of Soil Analysis [https://www.researchgate.net/publication/320456153\\_Salinity\\_Electrical\\_Conductivity\\_and\\_Total\\_Dissolved\\_Solids](https://www.researchgate.net/publication/320456153_Salinity_Electrical_Conductivity_and_Total_Dissolved_Solids)
- RIVAS, L. A. (Abril de 2022). CARACTERIZACIÓN DEL SUERO LACTEO Y DIAGNOSTICO DE ALTERNATIVAS DE SUS USOS POTENCIALES EN EL SALVADOR. Obtenido de <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/bf92b122-779e-4ffa-861a-0c8976769193/content>
- Uribe, M. M. (2008). BEBIDA FERMENTADA DE SUERO DE QUESO FRESCO INOCULADA CON *Lactobacillus casei*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a17v61n1.pdf>
- Valencia, J. U. (2007). BEBIDA FERMENTADA DE SUERO. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a17v61n1.pdf>
- Verdezoto, D. (2021). Impacto ambiental, usos y aplicaciones vía mecanismos de la biotecnología. Obtenido de [https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/download/3453/4128/12594#:~:text=El%20lactosuero%20es%20una%20de,qu%C3%ADmica%20de%20ox%C3%ADgeno%20\(DQO\).](https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/download/3453/4128/12594#:~:text=El%20lactosuero%20es%20una%20de,qu%C3%ADmica%20de%20ox%C3%ADgeno%20(DQO).)

## 9. Anexos



