



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

TITULACIÓN

TESIS PROFESIONAL

“Aislamiento de microorganismos electrogénicos de efluentes de la industria láctea”

PARA OBTENER EL TITULO DE

Ingeniero(a) en Industrias Alimentarias

PRESENTA:

Maria Guadalupe De La Cruz Vicencio

DIRECTOR DE TESIS:

M.B. Alejandro Cruz Hernández

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Leandro Chaires Martínez

Xoyotitla, Álamo Temapache, Ver.

Enero 2026

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, **Mt. Alejandro De La Cruz Hernández**, gracias por su dedicación, paciencia y orientación durante esta tesis, por su apoyo y su confianza, agradezco cada consejo, cada corrección y cada palabra de aliento que me ofreció. También agradezco a mi co-director de tesis, **Dr. Leandro Chaires Martínez**, por su compromiso, por su experiencia y conocimiento, fue fundamental para la culminación de este trabajo.

Agradezco profundamente a mis padres; a mi mamá por estar siempre para mí, en las buenas y en las malas, a mi papá, que, aunque partió antes de tiempo, sigue tan presente en mi vida, llevo su memoria en cada logro, su ejemplo en cada paso, su presencia en mi corazón. Gracias por estar presentes en cada etapa, y por todo lo que han hecho por mí, gracias por motivarme a no rendirme, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas, por creer en mí; su dedicación y sacrificio, han sido la base de todo lo que soy.

Agradezco a mis hermanos, por su apoyo incondicional en los momentos de duda y una celebración en los días de triunfo, con ustedes aprendí que el amor de hermanos no se mide en palabras, sino en acciones, en saber que pase lo que pase, siempre están ahí.

A mis sobrinos, que con sus sonrisas y alegría me llenan el corazón y a toda mi familia, por ser mi red de apoyo, por cada gesto, palabra y abrazo, gracias por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudaba de mí misma.

A mis amigos, gracias por estar presentes con su compañía, su ánimo y apoyo.

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, por darme fortaleza y la sabiduría necesaria para culminar este trabajo.

Principalmente a mis padres, por su cariño, paciencia, y confianza, a quienes dedico con orgullo este logro.

A mis hermanos y familia, por su apoyo y por estar presente en cada etapa.

Resumen

El lactosuero, rico en nutrientes como lactosa, proteínas y grasas, presenta una elevada carga orgánica que genera impactos ambientales debido a la demanda química de oxígeno, el medio evidencio que el lactosuero es altamente favorable para el desarrollo microbiano, especialmente en su forma entera, destacando los bacilos Gran positivos, probablemente ácido-lácticas. Los análisis cuantitativos confirmaron una población microbiana mayor en el suero entero, con aproximadamente 38 UFC en comparación a las 28 UFC observadas en el suero descremado; esta diferencia se atribuye al mayor contenido graso. Además, se registraron diferencias fisicoquímicas notables: el suero entero presento una mayor carga orgánica (DQO: 69,947 mg/L), así como niveles más altos de proteínas, azúcares reductores y sólidos totales, a diferencia del suero descremado que mostró un pH más elevado y menor acidez, estos resultados reafirman el potencial del lactosuero como medio de cultivo óptimo para aislar microorganismos con aplicaciones prometedoras en campos como la biorremediación y la generación de energía, tanto a nivel biotecnológico como en la gestión de subproductos lácteos.

Índice

CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO	9
1.1 Introducción.....	9
1.2 Problemática.	10
1.3 Objetivos general	11
1.4 Objetivos específicos	11
1.5 Justificación	12
Capitulo II Marco teórico.....	13
2.2.- Componentes principales del lactosuero	13
2. 3.- Agua y sólidos totales en el suero de queso	13
2.4.- Proteínas del suero.....	13
2.6.- Péptidos y proteínas bioactivas	14
2.7.- Lactosa y derivados funcionales	14
2.8.- Minerales y vitaminas	15
2.9.- Lípidos y otros componentes menores	15
2.10.- Tipos de suero de queso	15
2.11.-Suero de queso como residuo.....	16
2.12.-Microorganismos electrogénicos	17
2.13.- Celda de combustible microbiana (MFC)	17
2.14.-Biopelícula.....	18
2.15.- Fases de formación de una biopelícula	18
2.16.- Fuentes de carbono en el lactosuero.....	18
2.17.- Biorremediación	19
2.18.- Tratamiento de aguas residuales	19
2.19.- Selección y aislamiento de cepas microbianas	20
2.20.- Optimización de condiciones operativas	20
2.21.- Uso y aplicaciones del lactosuero	20
2.21.1 Usos	20
2.21.2.- Aplicaciones del lactosuero.....	21
2.22.- pH.....	22
2.23.- DQO	22
2.25.- Impacto ambiental de los efluentes lácteos	23
2.26.- Clasificación de los microorganismos electrogénicos	23

2.27.- Mecanismos de transferencia extracelular de electrones	24
2.28.- Factores que afectan la actividad electrogénica en el rendimiento de MFCs	25
2.29 Antecedentes	27
3.1.-Caracterización del lactosuero	29
3.2.- Determinación de grasas	29
3.3.- Determinación de proteínas	29
3.4.- Determinación de la DQOc (APHA, 1995).	30
3.5.- Azúcares totales (DNS).....	30
3.7.- Aislamiento y purificación de microorganismos	30
3.8.-Análisis estadísticos.....	31
Conclusiones.....	41
Bibliografía.....	42

Índice de Tablas

Tabla 1. Usos principales de las proteínas lácteas	14
Tabla 2. Clasificación y características de los tipos de suero de queso	16
Tabla 3 Géneros microbianos electrogénicos: descripción, aplicaciones y ejemplos	17
Tabla 4. Ventajas y desventajas (CCM).	18
Tabla 5. Fuentes de carbono en el lactosuero y aplicaciones	19
Tabla 6. Usos del lactosuero.....	21
Tabla 7. Aplicaciones del lactosuero.....	22
Tabla 8 Clasificación principal de los microorganismos	24
Tabla 9. Tecnologías de aprovechamiento del lactosuero	25
Tabla 10. Factores que afectan la actividad electrogénica	26
Tabla 11. Análisis físicoquímico del suero descremado y entero.....	33

Índice de figuras

Figura 1. Purificación de microorganismos	31
Figura 3. Curva de calibración DNS.....	34
Figura 2. Curva de calibración DQO	34
Figura 4.- Medio TSA, adicionado con colorante negro 5; a) suero entero y b) suero descremado.	35
Figura 5.- UFC	36
Figura 6. Selección de cepas bacterianas de suero entero	38
Figura 7. Selección de cepas bacterianas del suero descremado	39

CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

El suero de queso se obtiene después de la precipitación de la caseína (Parra, et al., 2009), y es rico en proteínas, vitaminas, carbohidratos, y grasas (Hoffman & Falvo, 2004), sin embargo, es considerado un residuo con una Demanda química de Oxígeno (DQO) de 50 gO₂/L a 102 gO₂/L (Pires et al., 2021) que causa daños ambientales. En la Comunidad de Tihuatlán, Ver., existen pequeños productores de queso, y estos no tienen una cultura o un sistema de gestión de residuos. Es decir; tienden a verter sus residuos a los cuerpos de agua, ocasionando contaminación (Besediuk et al., 2024)

Existen alternativas tecnológicas para el tratamiento del suero de queso, sin embargo, solo se ha reportado que es tratado el 50% (Iseppi et al., 2017), es una alternativa como vertido agrícola y eficaz para mitigar la contaminación de cuerpos de agua, para beneficios económicos y control ambiental (Zandoná et al., 2021). Este residuo es un recurso rico en nutrientes para realizar subproductos de origen biotecnológico, como la biorremediación y la generación de energía mediante la tecnología de Celdas de Combustible Microbiana (Segundo et al., 2025). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es aislar microorganismos de suero de queso con opciones biotecnológicas, como propiedades electrogénicas. Ya que las celdas de combustible microbianas (CCM) son dispositivos que transforman la energía química de los residuos en electricidad mediante la actividad de microorganismos, brindando la posibilidad de utilizar una amplia gama de materia orgánica biodegradable, como desechos orgánicos (Ojha et al., 2024).

1.2 Problemática.

La demanda de productos lácteos (quesos) han generado grandes cantidades de residuos, principalmente el suero de queso. Este subproducto contiene gran cantidad de materia orgánica, lo que ha ocasionado una problemática ambiental debido a que la disposición final está en los cuerpos de agua, causando muerte de fauna y flora (Puig Ruiz , Fuentes, & Pons, 2022).

Además, la alta concentración de acidez dificulta su tratamiento en plantas de aguas residuales (Casallas-Ojeda et al., 2024). Para mitigar el uso excesivo del suero de queso se han creado alternativas, como la producción de hidrogeno (Aranda-Jaramillo et al., 2023) y la generación de energía eléctrica. Estas técnicas utilizan microorganismos electrogénicos, ya que tienen la capacidad de transferir electrones y participar en procesos de biorremediación (Rodriguez Gonzalez, Zárate Villaroe, & Bastida Codina, 2022). Por lo tanto, es crucial desarrollar un método para aislar y caracterizar estos microorganismos y evaluar su eficacia en el tratamiento de purificación y su sostenibilidad ambiental (Ramirez Lopez & Vélez Ruiz, 2016). Sin embargo, la caracterización y aislamiento de estos microorganismos en efluentes lácteos sigue siendo un reto, a pesar de la importancia debido a la falta de investigación, además de la falta de conocimiento sobre las propiedades de estos microorganismos y avances tecnológicos en este campo (Vargas, 2020) lo cual limita su integración en tecnologías innovadoras para el tratamiento y valorización de efluentes, como las celdas de combustible microbianas.

1.3 Objetivos general

Aislar y caracterizar microorganismos electrogénicos del suero de queso con el fin de identificar cepas con potencial para generar bioelectricidad.

1.4 Objetivos específicos

1. Determinar las características fisicoquímicas (pH, acidez, °Brix, proteínas, grasas, DQO) del suero de queso entero y descremado
2. Aislar microorganismos electrogénicos de suero de queso entero y descremado
3. Caracterizar morfológica de las colonias obtenidas, mediante tinciones de gran para identificar posibles cepas electrógenas.

1.5 Justificación

La inquietud por el impacto ambiental de los residuos orgánicos está impulsando cambios en desarrollar métodos de tratamiento más eficientes y sostenibles (Matabajoy, 2018). Los efluentes lácteos contienen niveles elevados de cargas orgánicas y nutrientes que, si no se manejan adecuadamente, provoca contaminación de recursos hídricos y afectan negativamente la salud pública y los ecosistemas acuáticos (Kumar et al., 2017) los procesos de tratamiento para estos efluentes han sido muy costosos y a menudo insuficientes para mitigar todos los problemas relacionados.

Dentro de este marco, representan un enfoque innovador, dado que tienen la destreza de transferir electrones a través de mecanismos de manera directa e indirecta, lo que desempeñan un papel fundamental en la biorremediación y en la producción de energía renovable (Logan et al., 2019).

Es por ello, la investigación busca soluciones sostenibles para reducir el impacto ambiental, pues representa una oportunidad para optimizar la eficiencia operativa y disminuir los costos a largo plazo, además abre la puerta al desarrollo de nuevas estrategias para el aprovechamiento de recursos biológicos en procesos industriales (Zhao et al., 2020), por esta razón, se realizó el aislamiento y caracterización de microorganismos electrogénicos en efluentes lácteos que podría no solo mejorar la eficiencia del tratamiento de estos residuos, sino también contribuir a la creación de tecnologías avanzadas como las celdas de combustible microbianas, que pueden generar energía eléctrica a partir de los residuos orgánicos (Rabaey & Verstraete, 2005; Santoro et al., 2017).

Capítulo II Marco teórico

2.1.- Lactosuero

Es un subproducto líquido obtenido tras coagular la leche en la fabricación del queso y separar la cuajada, a pesar de ser un residuo, posee alto valor nutricional, ya que contiene lactosa, proteínas, minerales (como el calcio) y vitaminas, siendo aprovechado industrialmente (Figueroa Pres, García Marnotes, Días Rubio, Cobos García, & Días Pereira, 2021).

2.2.- Componentes principales del lactosuero

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).

2. 3.- Agua y sólidos totales en el suero de queso

El componente mayoritario es el agua; los sólidos totales varían según el tipo de queso y procesamiento (suero de queso dulce, suero de queso ácido, permeado, etc.), que incluyen lactosa, proteínas solubles, minerales y vitaminas hidrosolubles (Mirzakulova, 2025).

2.4.- Proteínas del suero

Las proteínas solubles, como la β -lactoglobulina (β -LG), la α -lactoalbúmina (α -LA) y el glicomacropéptido (GMP), destacan por su alto valor nutricional y funcional (Cava et al., 2024). La β -LG, la más abundante en el suero bovino, ofrece propiedades de emulsificación, gelificación y formación de péptidos bioactivos (Mehra et al., 2021). La α -LA es una fuente de triptófano y péptidos bioactivos cuya calidad depende de su estabilidad térmica y de ultrafiltración (Adler, 2024). El GMP, un derivado de la κ -caseína, es beneficioso para dietas de fenilketonuria al no contener fenilalanina, además de tener efectos prebióticos e indirectos y regular la saciedad (Peña et al., 2021).

2.5.- Coprecipitados de Caseína-Proteína de Suero

Los coprecipitados de caseína-proteína de suero se crean desnaturalizando las proteínas del suero en leche descremada y luego combinándolas con caseínas mediante acidificación o adición de CaCl_2 , aunque estos productos aumentan el rendimiento (aproximadamente el 15%), su éxito ha sido limitado. Sin embargo, la lactoproteína soluble han mejorado la solubilidad y mantienen la funcionalidad de las caseínas a pH alcalino. (Fox, et al., 2015). En la Tabla 1, muestran productos que se obtienen mediante las proteínas de la leche en donde se utilizan en alimentos, bebidas, fórmulas infantiles, productos médicos y cosméticos, entre otras aplicaciones, debido a sus propiedades funcionales, tecnológicas y nutricionales (adaptado de Mulvihill, 1992) con referencias actuales

Tabla 1. Usos principales de las proteínas lácteas

Productos	Caseínas / Caseinatos	Proteínas de suero	Referencias
Panadería	Mejoran textura, volumen, consistencia de masa y valor nutricional	Emulsificante, sustituto del huevo, aporte nutricional	Singh & Li (2022); Jeong et al. (2021)
Lácteos	Quesos imitaciones, yogur, bebidas lácteas; aportan textura, firmeza, emulsión	Mayor rendimiento, cohesión de cuajada, emulsión y gelificación	Zhao et al. (2025); Invited Review (2021)
Bebidas	Estabilizante y emulsificante en chocolates, refrescos y licores	Aportan estabilidad, viscosidad y valor nutricional en jugos y bebidas lácteas	Chaudhary et al. (2022); Costa et al. (2023)
Alimentación especializada	Hidrolizados en fórmulas infantiles y dietas médicas; alta digestibilidad	Hidrolizados en fórmulas hipoalergénicas y nutrición clínica	Singh & Li (2022); Jeong et al. (2021)
Otros usos	Cosméticos, pastas dentales, cicatrización	Similar aplicación en productos no alimentarios	Chaudhary et al. (2022); Costa et al. (2023)

2.6.- Péptidos y proteínas bioactivas

La hidrólisis parcial y los procesos de fermentación son compuestos que tienen propiedades beneficiosas para la salud, como efectos antihipertensivos, antioxidantes, inmunomoduladoras y antimicrobianas (Zhao et al., 2022).

2.7.- Lactosa y derivados funcionales

Es el carbohidrato soluble principal en el suero de leche, se utiliza para la producción de galacto-oligosacáridos (GOS) y otros prebióticos, a través de reacciones de transgalactosilación o

fermentaciones microbianas, que lo transforman en productos de alto valor añadido (Vera et al., 2022; Orrego et al., 2022).

2.8.- Minerales y vitaminas

El suero contiene una gran cantidad de concentración de minerales (calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio) y vitaminas hidrosolubles (especialmente el complejo B y la vitamina C), estos influyen en sus propiedades, por ejemplo, su solubilidad y estabilidad, además de su valor nutricional y productos derivados (Mirzakulova, 2025).

2.9.- Lípidos y otros componentes menores

El suero presenta un bajo contenido de grasas a diferencia de la leche entera, ya que la porción restante se compone de triglicéridos, fosfolípidos y ácidos grasos que generalmente se agrupan en etapas del procesamiento, así mismo existen pigmentos con composición volátil y residuos enzimáticos (Delgado-Macuil et al., 2025).

2.10.- Tipos de suero de queso

Es importante identificar los tipos de suero de queso, con el propósito de conocer su empleo adecuado según sus características (Kinsella & Whitehead, 1989). La siguiente tabla presenta su clasificación (dulce, ácido o combinado), así como sus características, sus usos y ejemplos de derivados lácteos, lo cual es importante para su aprovechamiento en función de sus propiedades fisicoquímicas y su potencial en diversas aplicaciones industriales, lo que permite no solo reducir su impacto ambiental, sino que también crear valor a partir de este subproducto.

Tabla 2. Clasificación y características de los tipos de suero de queso

Tipo de suero	Origen	pH	Características principales	Usos comunes	Quesos producidos	Referencia
Suero dulce	Coagulación enzimática con cuajo en quesos duros o semiduros.	6,4 – 6,6	Sabor suave y dulce, alto contenido de proteínas séricas, rica en lactosa	Bebidas lácteas, ricotta, lactosuero en polvo, suplementos proteicos	Cheddar, Gouda, Manchego	Smithers, 2008
Suero ácido	Coagulación láctica por fermentación bacteriana en quesos frescos o blandos	4,3 – 4,6	Sabor ácido, mayor contenido mineral, menor proteína soluble	Producción de ácido láctico, fermentaciones, panificación, alimentación animal	Queso panela, Cottage, Requesón	Siso, 1996
Suero mixto	Combinación de coagulación enzimática y láctica	5,0 – 5,8	Composición intermedia, sabor ligeramente ácido, proteínas y minerales variables	Alimentación animal, fermentaciones mixtas, obtención de concentrados proteicos	Quesos procesados o mezclas industriales	Walstra et al., 2006

2.11.-Suero de queso como residuo

La gran parte de este residuo del queso no se aprovecha adecuadamente, ya que alrededor el 90% del total de leche empleada es eliminada, desperdiciándose 1.6 billones de litros mundialmente, al menos el 50% total de ingredientes de la leche queda como lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales (Caballero et al., 2021). Las proteínas y lactosa se convierten en contaminantes cuando el suero de la leche es arrojado al ambiente debido a que la carga de materia orgánica permite que la reproducción de microorganismos produzca cambios importantes en la demanda bioquímica de oxígeno del agua y el ácido láctico, alterando los procesos biológicos (Gölcük, Balta, Yerlikaya, & Raşit Uysal, 2025).

El lactosuero contiene propiedades saludables para el organismo humano, presenta propiedades inmunomoduladoras, antioxidantes, antimicrobianas, antivirales, anticancerígenas, antiulcerosas y protege al sistema cardiovascular (Chacón Gurrola, Chávez Martínez, Rentería- Monterrubio, & Rodríguez- Figueroa, 2017). Posee una rica y amplia mezcla de proteínas secretadas con muchas propiedades químicas, físicas y funcionales. Sus proteínas tienen un importante papel nutritivo como fuente de aminoácidos esenciales, además de contar con un alto valor biológico, gracias a su contenido de leucina, lisina, triptófano y aminoácidos azufrados (Korhonen & Pihlanto, 2006) (Madureira et al., 2010), estas son usadas en diferentes alimentos debido a sus propiedades

funcionales como solubilidad, emulsificación, retención de agua y grasa, así como su capacidad espesante, el cual permite enriquecer alimentos existentes o desarrollar nuevos productos (Smithers, 2008) (Lollo et al., 2011).

2.12.-Microorganismos electrogénicos

Estos generan electricidad mediante la transferencia extracelular de electrones (EET) a un electrodo en sistemas bioelectroquímicos (Bankefa et al., 2022), se ha demostrado que, durante la oxidación de materia orgánica, para actuar como biocatalizador en el funcionamiento de las celdas de combustible microbianas (MFCs) (Logan et al., 2019), puede ocurrir de forma directa e indirecta (Lovley, 2012). Las selecciones de cepas adaptables son capaces de metabolizar una variedad de sustratos presentes en efluentes domésticos, agroindustriales y ganaderos (Koch & Harnisch, 2016). La Tabla 2 muestra las características, aplicaciones y resultados experimentales de estos M.O, además permite identificar parámetros para el aislamiento y la caracterización de cepas con potencial electrogénico.

Tabla 3 Géneros microbianos electrogénicos: descripción, aplicaciones y ejemplos

Género	Características	Aplicaciones	Ejemplos	Referencias
Pseudomonas	Produce fenazinas (piocianina, PCA) que actúan como mediadores redox en transferencia de electrones	MFCs con residuos (como glicerol), biosensores	Cepas <i>P. aeruginosa</i> productoras de piocianina generan voltajes de hasta 411 mV y densidad de corriente de ~141 mA/m ²	(Bonizol Zani, y otros, 2023) (Luna Pérez, 2024)
Enterobacter	Facultativo, capaz de degradar celulosa y producir electricidad sin mediadores externos	MFCs económicos usando celulosa como único sustrato	<i>E. cloacae</i> FR genera aproximadamente 4.9 mW/m ² de potencia en MFC mediador-less	(Microbiología aplicada y ambiental, 2009)
Klebsiella	Fermentativa, con capacidad de generar electricidad en efluentes orgánicos complejos	Biorremediación y generación de bioelectricidad con efluentes	<i>K. oxytoca</i> en efluente de aceite de palma (POME) alcanzó ~1236 mW/m ³ de potencia	(Md. Amirul Islam, Maksudur Rahman, Yousuf, Kui Cheng, & Chee Wai, 2016)
Bacillus	Gram positivo, robusto; puede formar bioanodos usando biocatalizadores derivados de residuos vegetales	Biosensores y MFCs resistentes, incluso con aguas residuales difíciles	Bioanodo usando <i>B. subtilis</i> y carbón derivado de cebolla produjo ~30.72 mW/m ²	(Duarte Urbina, y otros, 2021)

2.13.- Celda de combustible microbiana (MFC)

Son reactores que emplean microorganismos como catalizadores (Obaid Al saned et al., 2021). Estos tienen la capacidad de aprovechar el sustrato para generar energía eléctrica. Por ejemplo, en la tabla 4, se observan algunos estudios relacionados a la generación de energía eléctrica.

Tabla 4. Ventajas y desventajas (CCM).

Ventajas	Desventajas	Referencias
Tratamiento simultáneo de efluentes y generación de electricidad	Potencia insuficiente para aplicaciones prácticas	(Verma, Achlesh, Kumar Nadda, & Arunachalam, 2020)
Aprovechamiento de diversos sustratos orgánicos	Altos costos de materiales como membranas y electrodos	(Wang, Ren, Zhu , Huang, & Liu, Una revisión de los avances recientes en celdas de combustible microbianas: preparación, operación y aplicación, 2022)
Alternativa sostenible a energías fósiles y tratamiento convencional	Escasa viabilidad económica y tecnológica en gran escala	(Khan, Amjad, Shareef, & Larkin, 2024)
Potencial para integración en sistemas ecológicos y bioenergéticos	Escalabilidad limitada; eficiencia depende del diseño y transferencia electrónica	(Bipin Patwardhan, y otros, 2021)
Integración de nanomateriales para mejorar eficiencia	-	(Abd-Elrahman, y otros, 2022)

2.14.-Biopelícula

Denominado Biofilm, esta película se adhiere a las superficies de los electrodos formando comunidades de microorganismos que ayuda a la transferencia de electrones (Bankefa et al., 2022).

2.15.- Fases de formación de una biopelícula

La primera etapa se da cuando los microorganismos se acercan y adhieren a la superficie del electrodo. Se producen sustancias que ayudan a la formación de electrones.

2.16.- Fuentes de carbono en el lactosuero

El lactosuero obtiene su carbono principalmente de la lactosa, un disacárido de glucosa y galactosa que constituye el 70-75% de sus sólidos, pero también de sus proteínas, las cuales aportan carbono al ser transformadas en aminoácidos durante la degradación. Debido a su alta carga orgánica (4,5–5 % en suero dulce y 3,8–4,3 % en suero ácido), el lactosuero funciona como un excelente medio

de cultivo para procesos de fermentación microbiana (Pescuma et al., 2020. La conversión de lactosuero en biocombustibles, como el butanol, se vuelve más eficiente al emplear cepas modificadas que metabolizan conjuntamente la lactosa, la galactosa y el lactato, este proceso mejora la fermentación al aprovechar todos los componentes para producir el combustible (Ma et al., 2024). Finalmente, Investigaciones recientes destacan que actúa como fuente de carbono y materia prima ideal para la producción de metabolitos funcionales como ácidos orgánicos, péptidos bioactivos, exopolisacáridos y enzimas 2025).

Tabla 5. Fuentes de carbono en el lactosuero y aplicaciones

Fuente de carbono	Concentración aproximada	Forma química	Aplicaciones biotecnológicas	Referencia
Lactosa	4,5–5 % (suero dulce); 3,8–4,3 % (suero ácido)	Disacárido (glucosa + galactosa)	Producción de ácido láctico, etanol, butanol, biogás, exopolisacáridos	(Pescuma, Hébert, Mozzi, & Font de Valdez, 2008)
Glucosa (derivada)	Depende de la hidrólisis de lactosa	Monosacárido	Fermentación rápida para bebidas probióticas, bioetanol	(Pendón, 2024)
Galactosa (derivada)	Depende de la hidrólisis de lactosa	Monosacárido	Producción de biopolímeros y metabolitos secundarios	(Pendón, 2024)
Ácido láctico	Trazas (especialmente en suero ácido)	Ácido orgánico	Fermentaciones, síntesis de ácido poliláctico (PLA)	(Cuervo Garcés & Echeverry Vargas, 2016)
Péptidos y aminoácidos	<1 %	Compuestos nitrogenados	Producción de biosurfactantes, péptidos bioactivos	(Guerra & Alarado Carrasco, 2010)

2.17.- Biorremediación

La biorremediación utiliza microorganismos para limpiar ambientes contaminados, incluyen la reducción residuos, como el lactosuero en subproductos útiles (por ejemplo, biogás) siendo más sostenible y económica que los tratamientos químicos. Sin embargo, se tiene que mantener las condiciones controladas (pH, temperatura), la selección cuidadosa de los microorganismos adecuados y el manejo de los residuos secundarios generados.

2.18.- Tratamiento de aguas residuales

La contaminación del agua por residuos, fertilizantes y químicos causa toxicidad, infecciones, contaminación térmica y malos olores, al afectar tanto las aguas dulces como las saladas (Zuriel Tonatiuh Ceja de la Cruz & Miguel Enrique Rentería Rodríguez, 2019), en el lactosuero se presenta altas concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química

de Oxígeno (DQO), alrededor de 30,000–60,000 mg/L a 60,000–100,000 mg/L (Prazeres et al., 2012), con un pH entre 4.3- 6.5, que contiene sólidos suspendidos, grasas, nitrógeno y fósforo, convirtiendo en deterioro ambiental, favoreciendo procesos como la eutrofización y la reducción del oxígeno disuelto en cuerpos receptores (Carvalho et al., 2013; Kaur et al., 2020). Por lo tanto, la caracterización de estos parámetros es indispensable para el diseño y la optimización de estrategias de tratamiento, que permitan la reducción de impactos ambientales adversos como la recuperación y valorización de compuestos con valor agregado contenidos en el lactosuero (Prazeres et al., 2012).

2.19.- Selección y aislamiento de cepas microbianas

Este método se centra en identificar y aislar microorganismos con mayor capacidad electrogénica de los efluentes, optimiza la eficiencia de los MFCs. Estos microorganismos provienen mediante técnicas microbiológicas que permiten seleccionar cultivos puros y diferenciarlos por medios selectivos y pruebas bioquímicas. (Logan, 2009). Las condiciones de crecimiento favorecen su desarrollo y permite su identificación en sistemas como las celdas de combustible microbianas (Lovley, 2012).

2.20.- Optimización de condiciones operativas

Es un factor determinante, como el ajuste de parámetros de pH, temperatura y nutrientes en la actividad electrogénica y producción de electricidad (Garzón et al., 2021), se destacan factores que aumenta la densidad de corriente y prolongan la vida útil del sistema eléctrico (Santoro et al., 2017; Romano et al., 2018).

2.21.- Uso y aplicaciones del lactosuero

2.21.1 Usos

Existen variedades de aplicaciones en la biotecnología en la producción de biogás a través de la digestión anaerobia, lo que aumenta la formación de metano (Velazco Morales al., 2019; Papirio et al., 2023). Además, sirve en la elaboración de bioplásticos biodegradables (Li et al., 2018), también se usa para generar bioetanol y otros biocombustibles mediante procesos fermentativos (Robak et al., 2018).

Tabla 6. Usos del lactosuero

Usos	Aplicación / Detalles	Referencias
Recirculación del lactosuero y valorización de subproductos del queso	Aprovechamiento de lactosuero para obtener productos diversos	Bayarri, G. (2021).
Secado por atomización de fibra de yuca para bebida instantánea de lactosuero	Elaboración y caracterización de bebida láctea instantánea enriquecida con fibra de yuca	García Pacheco, Y. E., et al. (2021).
Producción de celulosa bacteriana usando suero lácteo en cultivo estático	<i>Komagataeibacter xylinus</i> en medio HS sin glucosa, usando lactosuero y ácido láctico	Cerda, L., & Balmaceda, E. (2021).
Leche ácida probiótica con <i>Lactobacillus acidophilus</i>	Optimización de fermentación para bebida probiótica apta para consumo humano	Taco, K. R., & García-Godos, P. (2021).
Producción de biogás mediante cogestión del lactosuero	Valorización energética del lactosuero en pequeñas y medianas empresas lácteas.	Asas, C., et al. (2021).
Ingredientes alimentarios y nutracéuticos	Las fracciones proteicas concentradas (concentrados y aislados de proteína de suero) se emplean en alimentos funcionales, suplementos deportivos y productos médicos; GMP y péptidos aislados se evalúan como sustitutos proteicos en fenilcetonuria y formulaciones infantiles.	(Tosi et al., 2024; Peña et al., 2021).
Producción de prebióticos desde lactosa	La conversión de lactosa a GOS es una vía consolidada para generar ingredientes prebióticos con demanda creciente. Estudios industriales y de laboratorio han demostrado procesos viables a partir de permeados de suero	(Orrego et al., 2022; Vera et al., 2022).
Biotecnología y economía circular	La literatura reciente impulsa la transformación del lactosuero en insumos biotecnológicos (fermentaciones, producción de bioplásticos, generación de bioenergía) como estrategia de reducción de impacto ambiental y mejora de la rentabilidad industrial	(Deshmukh et al., 2024; Delgado-Macuil et al., 2025).

2.21.2.- Aplicaciones del lactosuero

Tiene grandes propiedades funcionales y nutricionales. De igual modo sirve como medio de cultivo para sintetizar enzimas y metabolitos con aplicaciones en biomedicina, agricultura, minimizando el impacto ambiental. Como se indica en la Tabla 1, muestran los empleos biotecnológicos en la valorización de este residuo.

Tabla 7. Aplicaciones del lactosuero

Aplicación	Descripción	Referencias
Producción de productos biotecnológicos de alto valor	Uso del lactosuero para producir bioproductos como ácido láctico, biopolímeros (PHAs), bioetanol, enzimas, proteínas recombinantes y productos funcionales.	Delgado-Macuil et al. (2025).
Síntesis de prebióticos, films comestibles y encapsulantes	Estrategias para producir oligosacáridos prebióticos, ésteres de ácidos grasos, carotenoides, films comestibles, recubrimientos y hidrogeles proteicos.	(J. Barba, 2021)
Producción de bioplásticos y polímeros biodegradables	Obtención de ácido láctico, PHAs, bacteriocinas, antioxidantes, nutraceuticos y enzimas a partir de lactosuero, con aplicaciones en alimentos, envases y cosmética.	(Arshad et al., 2022).
Bioetanol, biogás y combustibles renovables	Fermentación del suero para producir bioetanol (<i>Kluyveromyces marxianus</i>), biogás y otros compuestos fermentados. Control térmico mejora producción.	(Figuroa Pres et al., 2021);

2.22.- pH

Es la concentración de iones de hidrogeno, que determina la acidez o alcalinidad (Skoog et al., 2020). Es decir, influye en la actividad del crecimiento microbiano. (Madigan et al., 2018). Para las celdas de combustible microbianas afecta directamente en la eficiencia y estabilidad de los procesos (Logan, 2006)

2.23.- DQO

La DQO es un parámetro que ayuda a determinar la concentración de oxígeno para oxidar la materia orgánica e inorgánica (Metcalf & Eddy, 2015), además, se determina como un indicador contaminante en aguas residuales (Baird & Bridgewater, 2017).

Para los análisis en el suero de queso, la DQO representa la contaminación, al estimar el oxígeno requerido para la oxidación (Parazeres et al., 2012). Esta medida permite determinar la concentración de materia orgánica biodegradable y no biodegradable susceptible de oxidación química (Rabaey & Verstraete, 2005). Por otra parte, en CCM la DQO es la concentración de sustrato para que los microorganismos realicen sus procesos (Bruce et al., 2019).

2.24.- Conductividad eléctrica

Un aumento en la conductividad eléctrica incrementa la densidad de corriente. Si el voltaje se mantiene constante, esto puede reducir el voltaje aplicado al mantener la densidad de corriente. La adición de electrólitos como NaCl o CaCl₂ eleva la conductividad del agua residual. (Mansouri et al., 2011). Además, se ha encontrado que los iones de cloruro pueden reducir los efectos adversos de iones como HCO₃⁻ y SO₄²⁻, pues la presencia de iones carbonatos o sulfatos pueden conducir a la precipitación de Ca⁺² y Mg⁺² produciendo una capa insoluble depositada sobre los electrodos que aumentaría el potencial entre éstos, decreciendo así la eficiencia de la corriente. Se recomienda, sin embargo, que para un proceso de electrocoagulación normal se mantengan cantidades de iones Cl⁻ alrededor del 20% (Prieto García, Gallejas Hernández, Reyes Cruz, & Marmolejo Santillán, 2012).

2.25.- Impacto ambiental de los efluentes lácteos

El agua representa uno de los recursos importantes para la vida, sin embargo, el uso desmedido de este recurso ha sido contaminado, mediante procesos de fabricación y vertiendo residuos en cuerpos de agua. Las aguas residuales de la industria láctea tienen alta materia orgánica, como grasas, aceites, sólidos suspendidos y variaciones significativas en el pH, que se extienden para su vertimiento (Coello Miranda, 2017; Prazeres et al., 2012).

El manejo correcto de efluentes es de gran impacto en las industrias, dado que las normativas, las legislaciones, buscan proteger los recursos naturales (Sgarlatta, Tarditti, & González, 2015; APHA, 2017). La descarga directa de estos residuos sin tratamiento en cuerpos de agua altera significativamente los ecosistemas acuáticos, afectando su equilibrio (Kumar et al., 2019; Singh & Kumar, 2021).

2.26.- Clasificación de los microorganismos electrogénicos

La transferencia de electrones es impulsada por la diversidad metabólica y su adaptabilidad al ambiente (Logan et al., 2019; Lovley, 2012), es fundamental para el tratamiento de residuos y la generación de energía (Pant et al., 2016). En la tabla 8 muestra las características fisiológicas, lo que permite optimizar el rendimiento y la estabilidad de los microbios en aplicaciones biotecnológicas (Shi et al., 2016; Nealson & Rowe, 2016).

Tabla 8 Clasificación principal de los microorganismos

Grupo	Modalidad de transferencia de electrones	Ejemplo	Referencias
Bacterias Gram-negativas con pili conductores (nanohilos)	Transferencia directa a través de nanohilos (pili) y proteínas de membrana	<i>Geobacter sulfurreducens</i>	Reguera et al., 2005; Lovley, 2006
Bacterias Gram-negativas que utilizan mediadores solubles	Uso de mediadores redox solubles (flavinas, quinonas)	<i>Shewanella oneidensis</i>	Marsili et al., 2008; Logan et al., 2006
Bacterias Gram-positivas con transferencia directa limitada	Transferencia directa limitada por ausencia de membrana externa y citocromos	<i>Enterococcus faecalis</i>	Kim et al., 2014; Keogh et al., 2020

2.27.- Mecanismos de transferencia extracelular de electrones

(EET) corresponde el cual ciertos microorganismos, principalmente bacterias, logran intercambiar electrones con materiales del entorno, estableciendo un flujo eléctrico a través de sus membranas celulares, tienen una diversidad filogenética donde existen múltiples donadores y aceptores de electrones, no limitados a los materiales sólidos convencionales (Shi et al., 2016).

Algunos microorganismos utilizan el oxígeno como aceptor terminal de electrones, aunque los mecanismos moleculares todavía no se comprenden completamente (Toyofuku et al., 2022). A diferencia de la respiración aeróbica y la fermentación, estas se adaptan y sobreviven en zonas anóxicas de biopelículas, generando metabólicos (Wang et al., 2019; Crabbé et al., 2018). Representa una ventaja, al permitir la reorganización metabólica y la mejora de la eficiencia energética (Toyofuku et al., 2022).

Tabla 9. Tecnologías de aprovechamiento del lactosuero

Tecnologías de aprovechamiento del lactosuero	Descripción	Referencias
Biorrefinería integrada para recuperación de compuestos y generación de energía	Esquema de biorrefinería en tres etapas: extracción de lactoferrina, fermentación láctica para producción de ácido láctico, proteínas y probióticos, y generación de biogás a partir de residuos.	Sebastián Nicolás et al., 2020
Conversión a energía eléctrica mediante células bioelectroquímicas	Reportan reducción del 70 % en DQO con generación eléctrica máxima de 0.867 ± 0.059 V en celdas microbianas de combustible (MFC) usando lactosuero.	Rojas-Flores et al., 2025
Sistema combinado MEC-AD para tratamiento eficiente y producción de metano	Sistema MEC-AD alcanzó 98 % de remoción de DQO y producción de metano ($0.75 \text{ L CH}_4/\text{g sCOD consumido}$), mientras que la digestión anaerobia convencional fue insuficiente para tratar adecuadamente el suero.	(Kanellos, Antarachas, Lyberatos, & Tremouli, 2025)
Aplicaciones biotecnológicas: bioplásticos, bioetanol y biopolímeros	Estrategias diversas: producción de bebidas funcionales, extracción de proteínas/lactosa, obtención de bioplásticos, ácido láctico, biocombustibles y recubrimientos comestibles. Producción de PHAs/PHBs con bacterias como <i>Cupriavidus necator</i> o <i>E. coli</i> recombinante con rendimientos hasta 5.2 g/L y 85 % eficiencia. Bioetanol y butanol producidos por cepas modificadas que consumen lactosa.	(Soumati, Atmani, Benabderrahmane, & Benjelloun, 2023); (Delgado Maculi, Armendariz, Cardoso Ugarte, Martínez Tolibia, & Benítez Rojas, 2025)

2.28.- Factores que afectan la actividad electrogénica en el rendimiento de MFCs

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 10, la celda de combustible microbianas depende de fuentes operativas que determina la transferencia electrónica y la estabilidad del sistema. Elementos como la estructura del Biofilm, la comunicación intercelular y los mecanismos de transferencia de electrones de largo alcance son determinantes en la generación de energía (Reguera et al., 2005). El empleo de la conductividad y biocompatibilidad ha mostrado mejorar la adhesión celular y la transferencia de carga (Logan & Regan, 2006; Kim et al., 2014). La ultrafiltración y la nanofiltración, se separa la concentración de proteínas y lactosa de manera selectiva (Kumar & Singh, 2020). La integración de digestión anaerobia con captura y almacenamiento de carbono potencia la producción de biogás (Chandra et al., 2021).

Tabla 10. Factores que afectan la actividad electrogénica

Factores que afectan la actividad electrogénica	Factores clave en el rendimiento de MFCs	Referencias
pH del ánodo	El pH influye directamente en la formación de biopelícula y la eficiencia de transferencia de electrones; un pH entre 6.5 y 7.5 maximiza la densidad de potencia, valores fuera de este rango reducen el rendimiento.	Logan et al., 2006; Pant et al., 2025
Temperatura	La actividad microbiana y generación eléctrica son óptimas entre 25 y 35 °C, con pico cerca de 30 °C, favoreciendo bacterias electrogénicas como <i>Geobacter sulfurreducens</i> . Temperaturas fuera de este rango disminuyen eficiencia y remoción de DQO.	Cheng et al., 2006; Larrosa Guerrero et al., 2019
Concentración y disponibilidad del sustrato (lactosa, COD)	Concentraciones moderadas de sustrato fácilmente metabolizable favorecen mayor densidad energética. Sustratos complejos o en exceso inhiben la actividad microbiana electrogénica.	Ieropoulos et al., 2010; Rabaey et al., 2005
Resistencia externa	La resistencia aplicada influye en la selección microbiana: resistencias bajas favorecen cultivos electrogénicos; resistencias altas promueven fermentativos no electrogénicos, reduciendo eficiencia y corriente generada.	Logan, 2009; Rismani-Yazdi et al., 2008
Conductividad iónica / fuerza iónica del electrolito	Alta conductividad mejora el transporte de protones y disminuye la resistencia interna, aumentando la generación de corriente; la acumulación de ácidos puede reducir la conductividad si no se controlan los buffers.	(Ya Hassan, Febbraio, & Andreescu, 2021); (Santoro et al., 2017)
Acumulación de productos fermentativos (ácidos orgánicos, etanol)	Subproductos como ácido láctico o acético disminuyen el pH y pueden inhibir la actividad microbiana si se acumulan sin eliminación, afectando la eficiencia energética.	Wang et al., 2022; Logan & Rabaey, 2005
Tipo y formación de biopelícula (Biofilm)	La composición microbiana, estructura y conductividad de la biopelícula (nanohilos de <i>Geobacter</i>) influyen directamente en la transferencia de electrones y densidad de corriente en MFCs.	Malvankar et al., 2012; Bond & Lovley, 2003

2.29 Antecedentes

(Castiblanco et al., 2024) Elaboraron la obtención de hidrógeno a partir de lactosuero en Colombia, identificando volumen y características, los autores deducen que representa una alternativa con mayor potencial, ya que no ofrecen resultados óptimos si no se combinan con otros mecanismos biológicos.

(Salazar Balseca, 2023) elaboró y caracterizó un concentrado proteico de lactosuero en polvo obtenido por termocoagulación ácida y deshidratación, utilizando suero láctico del queso fresco. Demostrando que cumple con la normativa según el INEN. Por su parte (Benítez de la Torre et al., 2021) estimaron la cantidad de proteína unicelular enriquecida con proteína precipitada obtenida durante la fermentación de sueros dulces y ácidos, tanto enteros como descremados. El estudio se centró en queserías artesanales mexicanas que producen queso fresco y quesillo, resaltando la importancia de aprovechar este subproducto para reducir el impacto ambiental.

En una revisión bibliográfica (Tobón Restrepo, 2021) examinó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en la legislación colombiana y los comparó con normativas internacionales. El autor señaló la existencia de un vacío regulatorio en varios derivados lácteos disponibles en el mercado, debido a la falta de parámetros definidos para su control de calidad (Bacuilima Valdez, 2021) desarrolló la formulación de una bebida funcional proteica saborizada a base de lactosuero, empleando distintas concentraciones de caseína, caseinato de sodio y sacarosa. A través de un diseño experimental se obtuvieron ocho formulaciones, demostrando el potencial del lactosuero como ingrediente funcional en bebidas con valor agregado. (Vivas Pozo, 2021) investigó la obtención y caracterización de fracciones de calostro bovino y su efecto en la calidad composicional y tecnológica de la leche descremada. El autor demostró que la adición de calostro o sus fracciones modifica las propiedades químicas y fisicoquímicas de la leche, tanto cruda como pasteurizada, lo que abre la posibilidad de generar productos funcionales. (Leurino Kling, et al., 2023) elaboraron una bebida láctea acidificada no fermentada, cuyo objetivo fue alcanzar propiedades reológicas a un yogur comercial, los autores evaluaron el efecto de estabilizantes y gomas sobre la viscosidad aparente y otros parámetros. (Ñacata Oña, 2022) propuso la utilización del lactosuero como ingrediente en la elaboración de galletas, analizando sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales. El estudio demostró que, además de reducir los impactos ambientales de la industria quesera, el lactosuero

puede emplearse como materia prima para el desarrollo de nuevos productos funcionales. (Manjarrés López, 2022) aplicó un modelo en PyMEs productoras de queso en el cantón Píllaro, en la producción de bebidas fermentadas. Camacho Mora (2011) se analizaron el efecto de suero de leche en concentraciones (24, 36 y 48 %) en yogur tipo I, en comparación con una muestra estándar de 12 %. Los resultados mostraron que la cantidad de suero afecta en la calidad final del yogur. (Julio, Daney R., et al.) estandarizaron el proceso del suero costeño en Córdoba, con técnicas artesanales, en donde obtuvieron un producto en menor contenido de lactosa y grasa, y mayor nivel proteico, consolidándose como alimento local. (Vargas et., al 2020) llevaron a cabo una formula proteica mediante ultrasonido y crioconcentración, obteniendo proteínas con alto valor nutricional y funcional, con resultados superiores al 90 %. (Gympel, 2021) realizó una revisión sobre galacto-oligosacáridos (GOS), evaluando propiedades y efectos en la salud y procesos enzimáticos aplicados en la hidrólisis de lactosa. un estudio de (Moreano Terán, 2021) sobre quesos frescos del mercado cerrado de Latacunga, basado en la Norma Técnica INEN 1528:2012, revelo que gran parte de las muestras eran antihigiénicas donde superaban los límites de Escherichia coli y Listeria monocytogenes. (Chavez et., 2022) realizaron un estudio sobre el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea Floralp, ubicada en la Reserva de Biosfera Oxapampa Asháninka Yanesha. Aplicando un proceso biológico aeróbico reduciendo la Demanda Bioquímica de Oxígeno y los sólidos en suspensión cumpliendo con los parámetros de calidad de las normativas locales.

CAPITULO III. METODOLOGIA

3.1.-Caracterización del lactosuero

El lactosuero descremado y normal fue proporcionado por la empresa familiar Yudy Lácteos (RFC: PICL890901RR6) ubicada en la Calle privada María Echazarreti #44, esquina con Luis Donaldo Colosio, Col. Cuauhtémoc, Cp: 92930 de la ciudad de Tihuatlan, Veracruz. Estas fueron transportadas en frascos de vidrio de 1000 mL a 20°C al Centro de Desarrollo Tecnológico de Productos Poscosecha y subproductos de Veracruz dentro del Instituto Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache Ver., (Poscosehca-ITSAT).

El lactosuero fue caracterizado mediante los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica (CE), con ayuda de un equipo multiparamétrico (OAKTON PC650 480–485). El oxígeno disuelto (OD) se midió con un sensor de oxígeno portátil (HANNA OXI 330i). Los Solidos totales (ST), solidos totales disueltos (SDT), mediante métodos gravimétricos (NMX-AA-034-SCFI-2015). Mientras que la Demanda química de Oxígeno (DQO) y la concentración de azúcares totales (DNS) se realizó mediante el método por colorimétrica UV/VIS (CL_BC20220312618). El nitrógeno total fue analizado mediante la técnica de destilación Kjeldahl (BIOBASE_BKN_984) y el porcentaje de grasas mediante el método Gerber.

3.2.- Determinación de grasas

En un butirómetro se adicionaron 10 mL de lactosuero (20°C) y 10 mL ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), de forma inmediata, se adicionarán 2 mL de alcohol isoamílico, la mezcla fue invertida cuidadosamente y centrifugada a 5000 rpm durante 5 min a 85°C

3.3.- Determinación de proteínas

En tubos Kjeldahl se adicionaron 10 mL de lactosuero, 8 g de sulfato de potasio (K_2SO_4) y 1mL de la solución de sulfato de cobre pentahidratado al 1 N ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) como catalizador. Se realizó la digestión a 380°C durante 2 horas.

En la etapa de la destilación, se agregaron 30 mL de hidróxido de sodio al 50% (NaOH), 30 mL de ácido bórico al 4% (H_3BO_3) y 30 mL de agua destilada. Finalmente, se recupera el destilado y se le adicionan 5 gotas del indicador de Tashiro y se titula con ácido clorhídrico al 0.5 N (HCL),

hasta observar un cambio de color. Y como control, será el mismo procedimiento, pero reemplazando el lactosuero por agua destilada. Posteriormente para calcular el contenido de proteínas, se realizó mediante la siguiente ecuación, y el resultado se multiplica por 6.38.

$$\text{Proteínas } \left(\frac{g}{L}\right) = \frac{(mL \text{ ácido valorante} - mL \text{ blanco}) * (Normalidad de HCL) * (1,4007)}{(g \text{ de la muestra})}$$

3.4.- Determinación de la DQOc (APHA, 1995).

Las muestras fueron centrifugadas a 11,000 rpm durante 10 min. Se tomaron alícuotas del sobrenadante hasta llegar a una dilución de la muestra 1:50 (V/V) con agua destilada, hasta llegar a un volumen final de 2 mL, a esta solución se agregan 2.5 mL de la solución digestora que contiene 9.8 g/L de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), 167 mL/L de ácido sulfúrico (H_2SO_4), 10 g/L sulfato de plata (Ag_2SO_4) y 1.5 g de sulfato de mercurio ($HgSO_4$). Para la digestión, las muestras se colocaron en un termoblock (HANNA) a 150°C durante 2 h. Para la curva de calibración, se realizará con ftalato de potasio ($C_8H_5KO_4$) a concentraciones de 0-200 mgO₂/L.

3.5.- Azúcares totales (DNS)

En un tubo de ensayo se colocó la dilución del sobrenadante con agua destilada en una relación de 1:10 (V/V) hasta llegar a 250 µL, a esta mezcla se añaden 250 µL del reactivo DNS que contiene 1 g de 3,5-dinitrosalicílico, 43.6 g de tartrato de y potasio sodio ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$), 16 g NaOH aforado a 100 mL. La mezcla se llevó a ebullición durante 5 min para permitir la reacción y posteriormente enfriar otros 5 minutos para detener la reacción. Finalmente, se adicionan 2500 µL de agua destilada y son leídas a 540 nm. Para la curva de calibración, se realizará con glucosa como estándar a una concentración de 2 g/L y se prepararon diluciones de 0, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 1.7 y 2 g/L.

3.7.- Aislamiento y purificación de microorganismos

El lactosuero será diluido 3 veces (Figura 1), se verterá 1 mL de lactosuero a 20°C más 9 mL de Cloruro de Sodio (NaCl) al 0.85%. Posteriormente 100 µL fueron vertidos en cajas Petri en medio TSA (Trypticaseína 15g/L; Extracto de soja 5g/L; Agar 15g/L y; Negro 5 al 0.1%) he incubadas (Labtech) a 35°C durante 72 h.

Las colonias formadas se tomaron con palillos estériles y resembradas en nuevas placas con medio de cultivo TSA. Se realizaron tinciones de Gram y se observaron en un microscopio (OLYMPUS-23) a 100X, con el fin de seleccionar las cepas con diferentes morfologías. El proceso se llevó a cabo hasta purificar los microorganismos. Posteriormente serán identificadas mediante el Gen 16S.

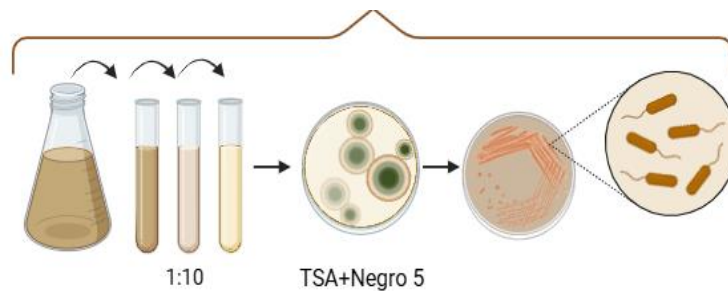


Figura 1. Purificación de microorganismos

3.8.-Análisis estadísticos

Se tomaron fotos con ayuda de una Celular portátil (OPPO Y9) con una resolución de 1200 x 900px, y la dimensión de los microorganismos se midió con ayuda de un Software ImageJ. El nivel de significancia estadística será analizado mediante las medidas de la desviación estándar de los ensayos de las cepas, en cuanto a sus parámetros (pH, DQO, OD, CE, ST, STV,). Además, se realizará un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias mediante el Test de Tukey ($p=0.05\%$) con el Software estadístico SigmaPlot 12.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.-Caracterizacion del lactosuero

Los análisis fisicoquímicos del suero de queso son una herramienta fundamental para determinar el potencial de su uso y establecer estrategias. A continuación, se presentan las características de los parámetros del suero de queso entero y descremado (Tabla 11). Se observó que el pH del suero descremado (5.86) fue superior al suero entero (5.04). Respecto a la acidez, el suero entero mostró un valor más alto (5.70 g/L) en comparación con el descremado (5.35 g/L). Los sólidos solubles totales, medidos en (°Brix) fueron parecidos en los dos tipos de suero, sin embargo, el suero entero registro un valor ligeramente más elevado (10.13) que el descremado (9.17°). Los valores de cenizas fueron muy similares entre las muestras, con el suero descremado registrando 5.80 g/L y el suero entero 5.79 g/L. No obstante, las diferencias fueron más notables en la concentración de azúcares reductores totales (ART), con el suero entero alcanzando 13.77 g/L, una cifra significativamente mayor a los (5.15 g/L) del descremado. El suero entero presento una demanda química de oxígeno (DQO) de (69.95 g/L) un valor significativamente mayor a los (48.12 g/L) registrados en el descremado. El contenido de grasas del suero entero 4.00 g/L cuádruplico aproximadamente al descremado 0.97 g/L. Se observaron diferencias en los parámetros salinos y conductivos; el suero entero alcanzo una salinidad de (9.09 g/L) y una conductividad de (15.52 mS), cifras que superan al del descremado, que fueron de (5.63 g/L) y (10.19 mS), respectivamente, los sólidos totales disueltos (TSD) también fueron más altos en el suero entero (6.23 g/L) que el descremado (4.08 g/L). La proteína fue superior en el suero entero (5.82 g/L) frente al descremado (3.59 g/L). Autores como (Barukčić et al., 2018); (Mirzakulova et al., 2021) han reportado 5g/L en proteínas, 7g/L de ácido láctico, 3g/L de grasas y 10 g/L para minerales. Por otro lado, la DQO en suero de queso entero presento una menor concentración en comparación con lo reportado por (Cruz-Salomón et al., 2020), quienes reportaron 122.1 g/L, esta diferencia se debe al tipo de suero de queso y al tipo de enzimas utilizadas en su elaboración.

Tabla 11. Análisis fisicoquímico del suero descremado y entero.

Parámetro	Descremado	Entero
Ph	5.857 ± 0.120 ^a	5.043 ± 0.007 ^b
Acidez (g/L)	5.35±0.032 ^a	5.70 ± 0.009 ^a
°Brix	9.167 ± 0.115 ^b	10.133 ± 0.057 ^a
Cenizas (g/L)	5.802 ± 0.076 ^b	5.795 ± 0.136 ^a
ART (g/L)	5.147 ± 0.039 ^b	13.773 ± 0.649 ^a
DQO (g/L)	48.121 ± 1.000 ^b	69.947±6.400 ^a
Grasas (g/L)	0.97±0.005 ^b	4.00 ± 0.005 ^a
Salinidad (g/L)	5.634 ± 4.16 ^b	9.087 ± 5.770 ^a
Proteínas g/L	3.593 ± 0.016 ^b	5.815 ± 0.073 ^a
Conductividad (ms)	10.190±0.023 ^b	15.523±0.01 ^a
TSD (g/L)	4.083±0.131 ^b	6.226±0.80 ^a

Los análisis fueron realizados por triplicado, y se presenta el promedio ± la desviación estándar. Las letras iguales indican que no existen diferencias significativas y las letras diferentes indican que existen diferencias significativas mediante un ANOVA y un test de Tukey (p < 0.05).

Las curvas de calibración correspondientes a las Figuras 2 y 3 es fundamental para la cuantificación analítica de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y de azúcares reductores mediante el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS), respectivamente, ambas gráficas muestran una relación lineal clara entre la concentración del analito y absorbancia, lo cual confirma la idoneidad de los métodos empleados dentro de los rangos de concentración evaluados.

En la Figura 2, se observa una relación lineal positiva entre la concentración expresada en mgO₂/L y la absorbancia registrada; la ecuación de la recta obtenida ($y = 0.00233x + 0.00638$) presenta un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9997$), lo cual es consistente con lo reportado para métodos estandarizados de análisis de DQO basados en oxidación química y lectura espectrofotométrica (APHA, 2017); resultados similares han sido documentados en la literatura, donde se señala que preparar correctamente los reactivos y control de condiciones experimentales conduce a curvas con alta reproducibilidad y sensibilidad (Metcalf & Eddy, 2014).

Por otro lado, la Figura 3 presenta la curva de calibración del método DNS para la determinación de azúcares reductores, expresados en mg/mL; la ecuación obtenida ($y = 0.56684x + 0.0069$) y el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9988$) muestran igualmente una relación lineal entre la concentración y absorbancia, este comportamiento concuerda con el principio del método DNS, en el cual los azúcares

reductores reducen el ácido dinitrosalicílico a un compuesto coloreado cuya intensidad es proporcional a la concentración del analito (Miller, 1959), la elevada pendiente de la recta en comparación con la curva de DQO refleja una mayor sensibilidad del método DNS dentro del rango de trabajo, lo cual es característico de ensayos colorimétricos específicos. La ligera intersección con el eje y puede atribuirse a la absorbancia propia del reactivo DNS o a pequeñas variaciones instrumentales, fenómeno ampliamente reportado en métodos espectrofotométricos (Skoog et al., 2014).

En conjunto, ambas curvas cumplen con los criterios analíticos de linealidad, sensibilidad y reproducibilidad requeridos para su aplicación en análisis cuantitativos, la obtención de coeficientes de determinación superiores a 0.998 respalda la validez de los resultados experimentales y permite el uso confiable de las ecuaciones de calibración para el cálculo de concentraciones desconocidas. Estos resultados confirman que los métodos utilizados son adecuados para estudios ambientales y bioquímicos, particularmente en el seguimiento de procesos de degradación de materia orgánica y consumo de Azúcares reductores.

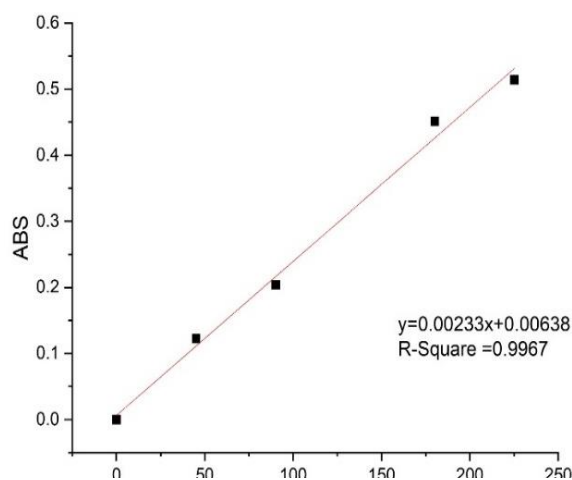


Figura 3. Curva de calibración DQO

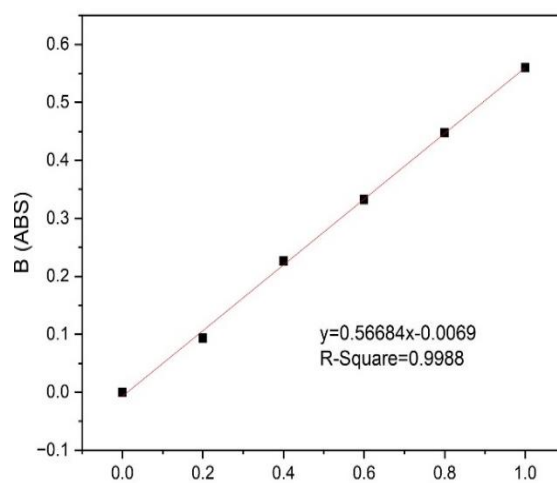


Figura 2. Curva de calibración DNS

4.2.- Aislamiento y purificación de microorganismos

La figura 2 se observan 2 placas con medio de cultivo TSA adicionado con colorante negro 5, ambas muestras presentan una serie de microorganismos y se observan distintas morfologías, redondas, ovaladas y de colores blancos y/o grisáceos y distintos tamaños, lo que sugiere la coexistencia de diferentes especies bacterianas y fúngicas, las cuales ayudan a identificar patrones de crecimiento, evaluar la carga microbiana y establecer comparaciones entre distintas condiciones experimentales, ofreciendo una aproximación cualitativa a la caracterización microbiana, previa a

estudios más específicos como pruebas bioquímicas o análisis genéticos. Además, se observaron 32 Unidades formadoras de colonia (UFC) en el suero entero y 26 UFC en el suero de queso descremado incubadas a 35°C durante 72 h (figura 3), en donde los microorganismos capaces de reproducirse son aquellos que pueden sintetizar el colorante negro 5, es decir son capaces de ceder electrones y generar energía eléctrica; (Surti et al., 2025) confirmo que los colorantes azoicos son capaces de actuar como aceptores y estos sufren decoloración. Así mismo, en una celda de combustible microbiana (CCM) se ha identificado la presencia de un enlace azo que participa en la transferencia electrónica directa en el ánodo y el cátodo, es decir, el colorante puede ser un indicador de transferencia de electrones y, por lo tanto, indicar el potencial de bacterias electrogénicas (Xie et al., 2024), además estas tecnologías resultan muy rápidas y de bajo costo en la identificación.

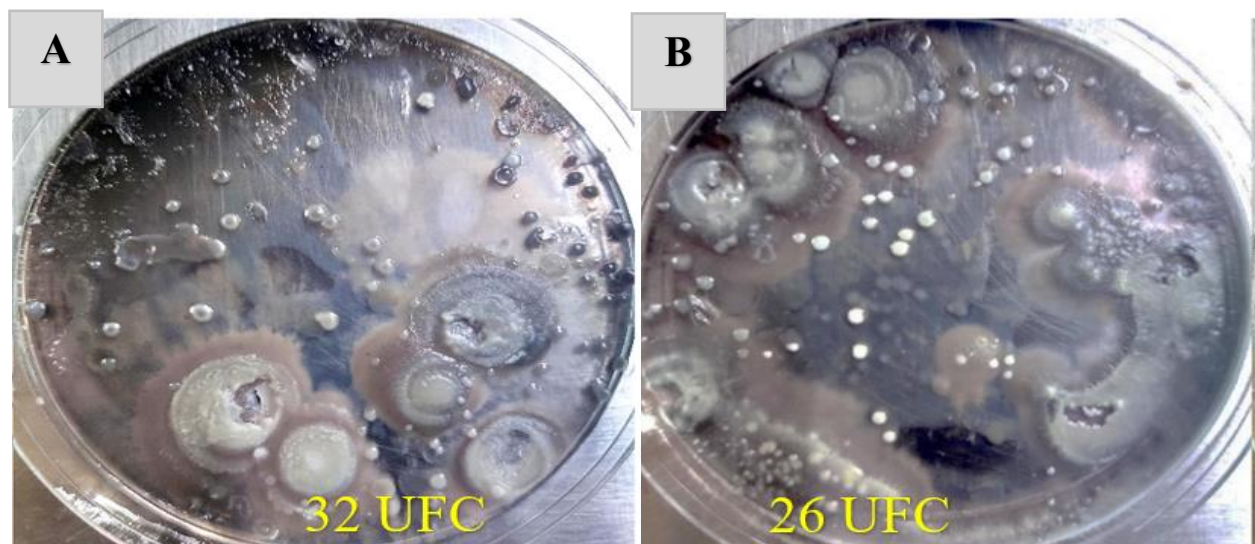


Figura 4.-Medio TSA, adicionado con colorante negro 5; a) suero entero y b) suero descremado.

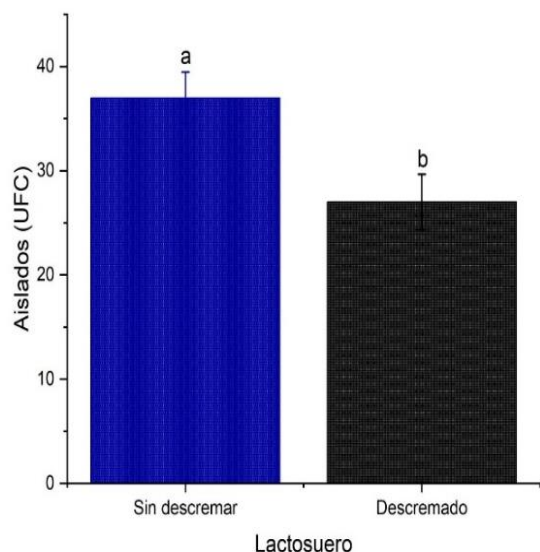


Figura 5.- UFC

4.3.-Identificación morfológica de microorganismos

La figura 5 se observan varias micrografías que ilustran una selección de cepas bacterianas, las cuales fueron obtenidas de suero entero, mediante tinciones microscópicas, posibilitan el estudio de los rasgos morfológicos de las bacterias, incluyendo su forma, como se agrupan y su respuesta a la tinción, asistiendo en su clasificación inicial, facilitando la identificación de bacilos Gram positivos, los cuales varían en dimensiones, arreglo y formas de crecimiento. Las cepas **A2(1)** y **A2(2)** se caracterizan por tener bacilos cortos y medianos, distribuidos de manera concentrada. En cambio, las cepas **A4(1)** y **A4(2)** presentan agrupaciones más densas de bacilos largos, algunos en disposición filamentosa, lo cual tiene un crecimiento vigoroso y adaptable al medio. De manera similar, las cepas **A3(1)** y **A3(2)** tienen estructuras alargadas con tinciones intensas, que sugieren una alta actividad metabólica, las cepas **B4(1)** y **B4(2)** destacan por su morfología bacilar irregular y en cadenas, lo que indica una variedad fenotípica dentro de los aislamientos. Observaciones en cepas **D4(1)** y **D4(2)**, se aprecia la formación de filamentos largos e interconectados, lo cual es típico de bacterias que pueden crecer de forma ramificada, posiblemente mediante fermentación láctica, la cepa **H1(1)** presenta estructuras compactas en forma de bacilos y en cepa **I2(1)** los bacilos se agrupan en cúmulos, mostrando una coloración uniforme y muy intensa, lo que indica una elevada concentración de células bacterianas.

Los distintos paneles (**A2(1)**, **A2(2)**, **A3**, **A4**, **B4**, **D4**, **H1**, **I2**, etc.) muestran bacilos de diferentes tamaños, disposiciones (cadenas, cúmulos, filamentos) y tinción, lo que sugiere que no se trata de una única especie, sino de un consorcio complejo de bacterias grampositivas con características fenotípicas distintas, sobre todo cuando se encuentran de tipo ácido-láctico (como **A2**), está relacionado con trabajos previos de aislamiento de bacterias ácido-lácticas (BAL) a partir de sueros o medios similares. Por ejemplo, (Levin Fiorelli, 2003) han aislado *Lactobacillus* desde suero de cuajada utilizando medios de cultivo específicos, caracterizando la cinética de crecimiento y resiliencia de la bacteria ante factores como un pH bajo o contenido salino alto para evaluar su potencial.

Este tipo de estrategia de aislamiento se basa en sus características como catalasa negativa, si crecen bien en medios como el MRS con condiciones determinadas para su desarrollo (Tanaka, 2019).

La formación de cúmulos por parte de los bacilos ejemplo **I2(1)** indica que estas células bacterianas tienden a agruparse, puede llegar a ser ventajosa en el caso de algunas bacterias lácticas (LAB), ya que contribuye a su estabilidad, adherencia o relación con otros microorganismos, si se trata de bacterias probióticas, podría tener aplicaciones prácticas. Por ejemplo, podrían ser utilizadas como probióticos o en procesos de fermentación controlada, siempre que demuestren una tolerancia al pH bajo o una resistencia a la sal. Estos rasgos, que también se han reportado en otros estudios sobre aislamientos probióticos para alimentos, aumentan su potencial de uso (Emre

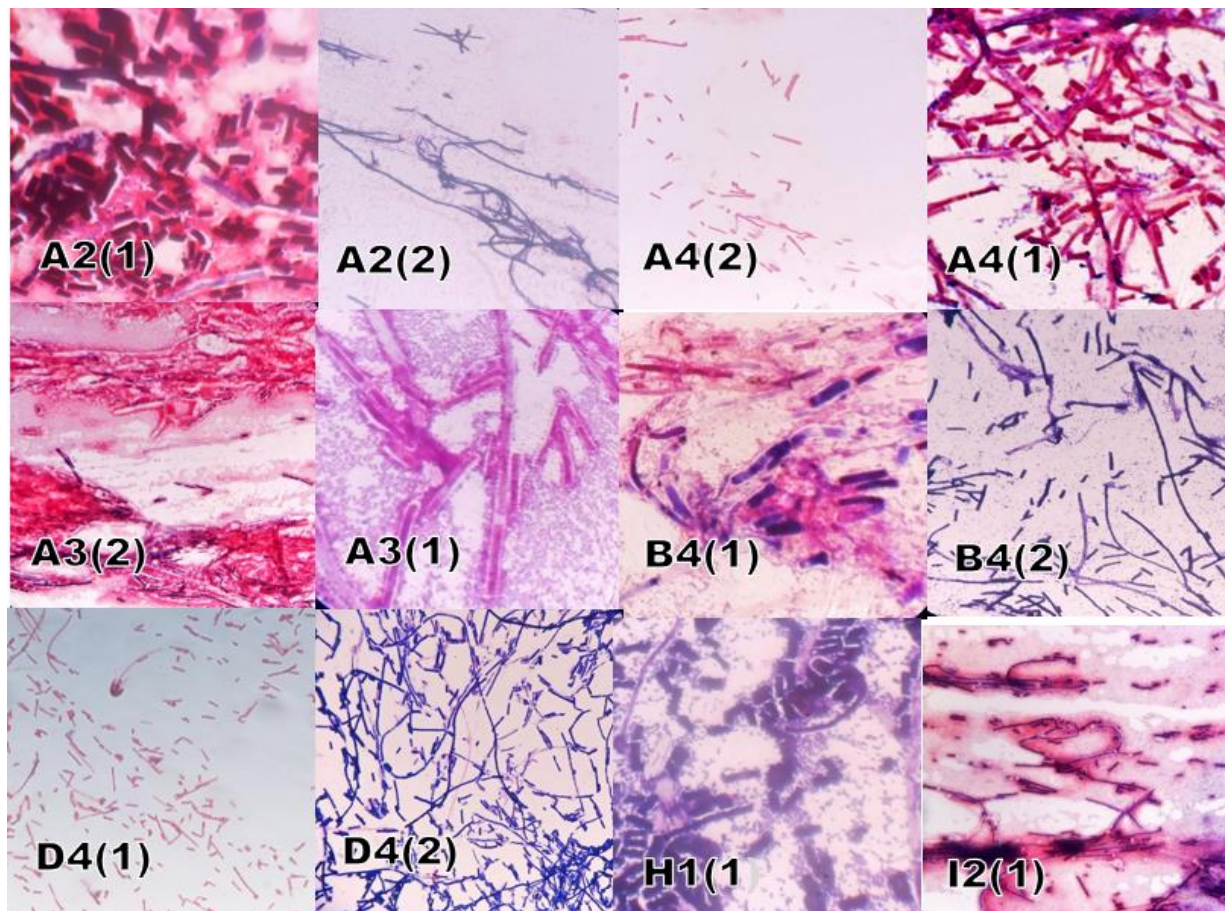


Figura 6. Selección de cepas bacterianas de suero entero

Estas presentan la caracterización morfológica de bacterias aisladas a partir de suero descremado. En contraste con el suero entero, se observa una menor diversidad, pero con patrones de crecimiento más definidos, en las cepas **E2(1)** y **F3(1)** predominan bacilos largos, teñidos de manera homogénea, que podrían corresponder a bacterias ácido-lácticas con capacidad de adaptación a medios con menor contenido graso. Las cepas **G4(1)** y **G3(2)** muestran estructuras en cadenas y agrupaciones densas, lo que sugiere una elevada tasa celular en condiciones de cultivo estático, las cepas **G3(1)** muestra la coexistencia de bacilos de diferente longitud.

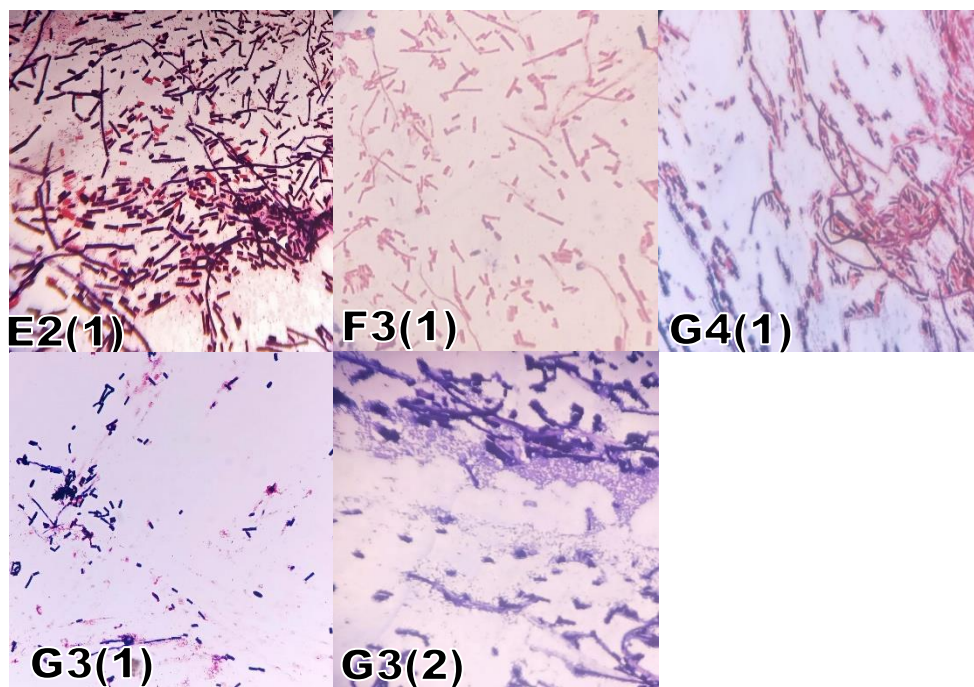


Figura 7. Selección de cepas bacterianas del suero descremado

La Figura 5 muestra micrografías correspondientes a cepas bacterianas aisladas del suero descremado, lo que permite comparar su morfología con las cepas obtenidas del suero entero (como las de la Figura 5), se observa una diversidad más limitada en comparación con el suero entero; sin embargo, los patrones de crecimiento son más definidos, lo que sugiere que el proceso de descremado ha filtrado o eliminado algunos subgrupos microbianos, dejando principalmente aquellos mejor adaptados a medios con bajo contenido graso. Las cepas **E2(1)** y **F3(1)**, que muestran bacilos largos teñidos de forma homogénea, podrían corresponder a bacterias ácido-lácticas (BAL) como *Lactobacillus*. Por ejemplo, en estudios donde se usa suero o leche descremada como medio de cultivo, se han aislado cepas de *Lactobacillus plantarum* con morfología similar y una buena capacidad de adaptación a medios enriquecidos con suero y leche descremada (Soenarno et al. 2019) utilizaron suero enriquecido con leche descremada para cultivar *Lactobacillus plantarum*, demostrando su viabilidad y crecimiento en ese sustrato.

Cuando hay menor cantidad de microorganismos podría deberse a que ciertas bacterias requieren lípidos u otros componentes en el suero entero para crecer, mientras que las cepas más robustas (como las que se ven en **E2(1)** y **F3(1)**) son capaces de proliferar incluso en condiciones menos favorecedoras.

Por otro lado, las cepas **G4(1)** y **G3(2)** presentan estructuras en cadenas y agrupaciones densas, lo

que sugiere una alta densidad celular en cultivo estático y tal vez una fuerte capacidad de autoagregación o formación de microcolonias, lo que puede favorecer la supervivencia en entornos poco favorables, como medios con bajo contenido graso, al proteger internamente a la población bacterial, esta característica es común en bacterias ácido-lácticas que forman biopelículas o agregados densos para resistir estrés ambiental (edad, pH, sustrato), aunque no necesariamente todas esas BAL formarán biopelículas, su capacidad para agruparse puede ser una estrategia de adaptación.

La heterogeneidad morfológica evidenciada por los bacilos en **G3(1)** se muestra las distintas fases del ciclo de crecimiento o por la diversidad de cepas cohabitando en el aislamiento, la capacidad de su crecimiento en suero descremado destaca su potencial biotecnológico, para la fermentación de subproductos lácteos en la síntesis de ácido láctico, estudios demuestran esta propuesta, donde se utilizaron bacterias del ácido láctico (BAL) de suero de queso para la fermentación y producción de este compuesto (Dosuky et al., 2022). En este proceso, la capacidad proteolítica de las BAL, mediada por proteínas extracelulares unidas a la pared celular, es importante para hidrolizar las caseínas del suero, liberando así péptidos para su propio crecimiento y la producción de metabolitos, como el ácido láctico y las bacteriocinas.

La proteólisis en suero descremado demuestra la actividad de una proteínas extracelular, esta enzima hidroliza las caseínas, produciendo péptidos que son esenciales para el crecimiento bacteriano y la generación de metabolitos. Especies como *Streptococcus* y *Lactobacillus* son ejemplos de esto. Existe una correlación demostrada entre la presencia de proteínas adherida a la célula y el tamaño de la capa de polisacárido extracelular (EPS) (Pailin et al., 2001). La bioconversión del suero permite mejorar su uso y obtener compuestos como probióticos y conservantes naturales, por ello, investigaciones se han centrado en aislar bacterias lácticas de productos como la leche, suero y el queso (Yeshambel et al., 2021). La menor variedad observada en el suero descremado, representa un beneficio. No obstante, para explotar su potencial, se requiere llevar a cabo estudios de caracterización a nivel molecular, pruebas de funcionalidad y evaluaciones de inocuidad (si se planea usar en productos alimentarios).

Conclusiones

Los resultados obtenidos del lactosuero, confirman que es un medio de cultivo excelente para el desarrollo microbiano, particularmente en su forma entera, debido a su alta carga orgánica y a la abundancia de compuestos como proteínas, grasas y azúcares reductores.

Se obtuvo mayor presencia de bacilos Gram positivos observada en el suero entero, y el aumento de unidades formadoras de colonias respecto al suero descremado, demuestran que el contenido graso influye en la proliferación microbiana; no obstante, el suero descremado, al carecer de grasa, presenta ventajas para aplicaciones en donde la pureza del producto final es importante, como en la producción de medios de cultivo selectivos o en procesos que requieren una menor interferencia lipídica y en cuanto a las diferencias fisicoquímicas entre ambos tipos de suero como el pH, °Brix, acidez, DQO, etc., el entero es considerablemente superior, los mayores sólidos totales y la mayor disponibilidad de nutrientes, lo que muestra que es un sustrato ideal con potencial como recurso biotecnológico relevante para el aislamiento y aprovechamiento de microorganismos con aplicaciones en biorremediación, producción de energía y optimización de la gestión de subproductos lácteos, aportando así una alternativa sustentable para el sector agroindustrial.

Bibliografía

- Luna Pérez, E. (2024). Las fenazinas como antimicrobianos en la agricultura. Alianzas y Tendencias BUAP. *AyT BUAP* 9(33), 50–61.
- Abd-Elrahman, N., Al-Harbi, N., Noor , M., Al- Hadeethi, Y., Umar, A., & Akbar, S. (2022). Applications of Nanomaterials in Microbial Fuel Cells: A Review. *Molecules* 27(21).
- Agricultura, O. d. (2016). *Composición de la leche*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/>
- Àlex Puig Ruiz , Eulalia Fuentes, & Josefina Pons . (13 de Diciembre de 2022). *La contaminación en la industria láctea*. Obtenido de UAB: <https://www.uab.cat/web/universitat-autonoma-de-barcelona-1345467954409.html>
- Asas, C., LLanos, C., Matavaca, J., & Verdezoto, D. (2021). El lactosuero: impacto ambiental, usos y aplicaciones vía mecanismos de la biotecnología. *Agroindustrial Science* 11(1), 105-116.
- Bacuilima Valdez, W. (2021). *Elaboración de una bebida funcional proteica saborizada de lactosuero*. Cuenca- Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Baird, R., & Bridgewater, L. (2017). *Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales 23 edición*. Washington: DC: Asociación Estadounidense de Salud Pública.
- Balseca Mora, E. (2021). *Análisis filogenético de Komagataeibacter xylinus K2G30=UMCC2756 para la producción de biofilms a partir de suero lácteo. Trabajo de Titulación, para la obtención de Ing. Alimentos*. Ecuador: Universidad técnica de Ambato facultad de ciencia e ingeniería en alimentos y biotecnología. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b888c817-4e52-42da-af8e-8bc5d27db6b9/content>.
- Barnés, H. (09 de julio de 2015). *Caida y auge de los lácteos*. Obtenido de El confidencial: https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2015-07-09/antes-no-la-tomaba-casi-nadie-como-la-leche-paso-a-formar-parte-de-nuestra-dieta_919635/

- Barukčić, I., Jakopović, K., & Božanić, R. (2019). Valorisation of Whey and Buttermilk for Production of Functional Beverages – An Overview of Current Possibilities. *Food Technol Biotechnol.* 57(4), 448-460.
- Bayarri Segura, 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. <https://riunet.upv.es/handle/10251/161651>.
- Benítez De La Torre, A., Montejó Sierra, I., & Nava Galicia, S. M. (2021). Aprovechamiento de lactosueros generados en queserías artesanales para la producción de proteína unicelular enriquecida (PUC+PP) y probióticos. *Revista Alianzas y Tendencias BUAP (AyTBUAP)* 6(24), 128-142.
- Bipin Patwardhan, S., Savla, N., Pandit, S., Kumar Gupta, P., Abhilasha, S., Lahiri, D., . . . Prasad, R. (2021). Microbial Fuel Cell United with Other Existing Technologies for Enhanced Power Generation and Efficient Wastewater Treatment. *Appl. Sci.* 11(22).
- Bond, D., & Derek R., L. (2003). Electricity Production by *Geobacter sulfurreducens* Attached to Electrodes. *Appl Environ Microbiol* 69.
- Bonizol Zani, A. C., Rodrigues de Almeida, É. J., Rueda Furlan, J. P., Pedrino, M., Guazzaroni, M. E., Guedes Stehling, E., . . . Reginatto, V. (2023). Habilidades electrobioquímicas de especies de *Pseudomonas aeruginosa* que producen piocianina o pioverdina para la oxidación de glicerol en una celda de combustible microbiana. *Quimosfera*.
- Brito, A., Palmary, P., & Cargua, J. (2017). Diseño de un proceso industrial para la obtención de bioetanol a partir del lactosuero. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
- Bruce, E. L., Ruggero, R., Ala'a, R., & Pascual, E. S. (2019). Microorganismos electroactivos en sistemas bioelectroquímicos. *Reseñas de la naturaleza sobre microbiología* (17), 307–319.
- Bulut Solak, B., & Akin, N. (2012). Functionality of Whey Protein. *International Journal of Health & Nutrition*.

- Byung Hong , K., Parque , H., H.J, K., GT, K., Is, C., J, L., & Nguyet , P. (2024). Enriquecimiento de la comunidad microbiana generando electricidad mediante una celda electroquímica tipo pila de combustible. *Microbiología Aplicada y Biotecnología* 63(6), 672-81.
- Caballero, A., Caballero, P., León, F., Rodríguez Morcado, B., Martín, L., Parrado, J., . . . Ramos Martín, A. (2021). Conversión de suero en productos de valor añadido mediante fermentación y fraccionamiento por membranas. *Water*, 13 (12), 1623.
- Camacho Mora, R. P. (2011). *Estudio de la Adición de Diferentes Niveles de Suero de Leche (24, 36, 48 %) en la Elaboración de Yogurt Tipo I*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Carlsson, B., & Hansen, A. (2023). Implementación de celdas de combustible microbianas en la industria láctea europea: un estudio piloto en Dinamarca. *Journal of Industrial Bioengineering*, 51(1), 85-98.
- Carter, B., Cheng, N., Kapoor, R., Mletharayil, G., & Drake, M. (2021). Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. *Journal of Dairy Science* 104(3), 2465-2479.
- Carvalho, F., Prazeres , A. R., & Rivas, J. (2013). Aguas residuales de suero de queso: caracterización y tratamiento. *Ciencia del Medio Ambiente Total* 445–446, 385-396.
- Castiblanco, O., Alfonso, L., & Otálora Rodríguez, A. (2024). El lactosuero como alternativa energética: una revisión. *Orinoquia*, 28(1), e-720.
- Cava, E., Padua, E., Campaci, D., Bernardi, M., S Muthanna, F., Caprio, M., & Lombardo, M. (2024). Investigating the Health Implications of Whey Protein Consumption: A Narrative Review of Risks, Adverse Effects, and Associated Health Issues. *Healthcare (Basel)* 12(2).
- Chacón Gurrola, L. R., Chávez Martínez, A., Rentería- Monterrubio, A. L., & Rodríguez-Figueroa, J. C. (2017). Proteínas del lactosuero: usos, relación con la salud y bioactividades. *Interciencia*, 42(11), pp. 712-718.
- Chaudhary, V., Kajla, P., Kumari, P., Bangar, S. P., Rusu, A., Trif, M., & Lorenzo, J. (2022). Milk protein-based active edible packaging for food applications: An eco-friendly approach. *Frontiers in Nutrition*. 9.

- Chavez Ruffner, A. Y., & Gomez Alberto, K. E. (2022). *Tratamiento de aguas residuales de industria láctea Floralp en la reserva de biosfera Oxapampa Ashaninka Yanesha*. Huancayo, Perú: Universidad Continental.
- Cheng, S., Liu, H., & Logan, B. (2006). Mayor rendimiento de las celdas de combustible microbianas de una sola cámara utilizando una estructura de cátodo mejorada. *Comunicaciones de electroquímica* 8(3), 489-494.
- Coello Miranda, G. L. (2017). *Evaluación del tratamiento de aguas residuales para disminuir la contaminación de efluentes generados por la empresa de lácteos Marlen ubicada en el cantón Tisaleo provincia de Tungurahua (Título Bioquímico farmacéutico)*. Ambato – Ecuador: Universidad regional autónoma de los andes.
- Costa, C., Azoia, N., Coelho, L., Freixo, R., Batista, P., & Pintado, M. (2021). Proteins Derived from the Dairy Losses and By-Products as Raw Materials for Non-Food Applications. *Foods* 10(1), 135.
- Cruz Salomón, A., Eíos Valdovinos, E., Pola Albores, F., Lagunas Rivera, S., Cruz Rodríguez, R. I., Cruz Salomon, K., . . . Domínguez Espinosa, M. E. (2020). Treatment of Cheese Whey Wastewater Using an Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) Bioreactor with Biomethane Production. *Processes* 8(8).
- Cuervo Garcés, L., & Echeverry Vargas, J. (2016). *Evaluación de la síntesis de ácido poliláctico proveniente del suero de quesería a nivel laboratorio (Trabajo de grado)*. . Fundación Universidad de América. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/530>.
- Debono Spiteri, C., Rosalind E. Gillis, Mélanie Roffet - Salque, & Richard P. Evershed. (17 de 11 de 14 de noviembre de 2016). Asincronicidad regional en la producción y procesamiento de productos lácteos en las primeras comunidades agrícolas del norte del Mediterráneo. *PNAS Vol. 113 | Núm. 48, 113 (48) 13594 - 13599*.
- Deepak, P., Van Bogaert, G., Diels, L., & Vanbroekhoven, K. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology* 101(6), 1533-1543.

- Delgado Maculi, R., Armendariz, B., Cardoso Ugarte, G., Martínez Tolibia, S., & Benítez Rojas, A. (2025). Recent Biotechnological Applications of Whey: Review and Perspectives. *Fermentación 11(4)*, 217.
- Deshmukh, N., Singh Rao, P., Sharma, H., M.H, S., Naik N., L., & C.T, M. (2024). Waste to nutrition: The evolution of whey, a byproduct to galactooligosaccharides production. *Food Chemistry Advances. 4*.
- Duarte Urbina, O., Rodríguez-Varela, F., Fernández-Luqueño, F., Vargas-Gutiérrez,, G., Sánchez-Castro, M., Escobar-Morales, B., & Alonso-Lemus , I. (2021). Bioánodos que contienen catalizadores de residuos de cebolla y *Bacillus subtilis* para la generación de energía a partir de aguas residuales farmacéuticas en una celda de combustible microbiana. *Nueva Revista de Química 45(26)*, 12634-12646.
- Emre Kavak, A., Zent, I., Metin Sağır, E., Öncü , G., & İrem Şimşek , F. (2024). Caracterización de cepas aisladas de bacterias lácticas del Nuvita Biosearch Center (NBC) de origen humano y determinación de perfiles cinéticos de crecimiento de cultivos seleccionados bajo biorreactor. *Anales de Microbiología 74(26)*.
- Figueroa Pires, A., Garcia Marnotes, N., Días Rubio, O., Cobos Garcia, A., & Dias Pereira, C. (2021). Dairy By-Products: A Review on the Valorization of Whey and Second Cheese Whey. *Foods 2021 10(5)*, 1067.
- Figueroa Pres, A., García Marnotes, N., Días Rubio, O., Cobos García, Á., & Días Pereira, C. (2021). Subproductos Lácteos: Una Revisión sobre la Valorización del Suero y del Suero de Segundo Queso. *Alimentos 10(5)*.
- Fox, P., P.Guinee, T., M.Cogan, T., & MsSweeney, P. L. (2017). Fundamentals of Cheese Science. New York: Springer Nature Segunda edicion.
- Fox, P., Uniacke-Lowe, T., McSweeney , P., & O'Mahony, J. (2015). *Dairy Chemistry And Biochemistry. Second Edition*. Cork, Ireland: Springer. p.598.
- Fuentes de carbono en la naturaleza: papel e importancia.* (2025 de febrero de 17). Obtenido de UNCAT: <https://carbons.ir/es/fuentes-de-carbono-en-la-naturaleza-papel-e-importancia/>

- García Pacheco, Y. E., Cabrera Mercado, D., Díaz Páez, J., & Parra- parra, S. (2021). Caracterización de una bebida láctea instantánea enriquecida con harina de fibra de yuca (*Manihot esculenta* C.) secada por aspersión. *Prospectiva*, 19(1).
- Garzón, J. M., Rodríguez Miranda, J., & Hernández Gómez, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y Salud* 19(2), 309-318.
- Gölcük, E., Balta, Y., Yerlikaya, O., & Raşit Uysal, H. (2025). Enfoques innovadores para la utilización del suero. *Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Tegnology*, 13(6), 1694-1706.
- González Siso, M. (1996). El aprovechamiento biotecnológico del suero de queso: una revisión. *Tecnología de biorrecursos* 57(1), 1-11.
- Gorby, Y., Yanina, S., McLean, J., Roso, K., Moyles, D., Dohnalkova, A., . . . Fredrikson, J. (2006). Nanocables bacterianos eléctricamente conductores producidos por la cepa MR-1 de *Shewanella oneidensis* y otros microorganismos. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 103(30), 11358-63.
- Guerra, M., & Alarado Carrasco, C. (2010). Lactosuero como fuente de péptidos bioactivos. *An Venez Nutr* v.23 n.1.
- Gympel, S. E. (2021). *Galacto-oligosacáridos (GOS): características, propiedades y tecnologías de obtención para su uso como ingrediente funcional en alimentos. (Doctoral dissertation)*.
- Hoffman, J. R., & Falvo, M. J. . (2004). Protein-Which is best. *Journal of Sports Science and Medicine*., 3(3): 118-130.
- Hong Kim, B., Kim, H., Hyun, M., & Doo Hyun, P. (1999). Reacción de electrodo directo de la bacteria reductora de Fe(III), *Shewanella putrefaciens*. *Revista de Microbiología y Biotecnología* 9(2), 127-131.
- Ieropoulos, I., Greenman, J., & Melhuish, C. (2008). Microbial fuel cells based on carbon veil electrodes: Stack configuration and scalability. *International Journal of Energy Research*, 1228-1240.

- J. Barba, F. (2021). An Integrated Approach for the Valorization of Cheese Whey. *Foods* 10(3), 564.
- Jeong, E., Park, G., Kim, J., Yun, S. Y., & Lee, H. (2021). Effect of Modified Casein to Whey Protein Ratio on Dispersion Stability, Protein Quality and Body Composition in Rats. *Food Sci Anim Resour*. 41(5), 855–868.
- Judith A. Narvhus, & Roger K. Abrahamsen. (julio 2023). Productos lácteos fermentados nórdicos tradicionales y modernos. *International Dairy Journal Vol 142*.
- Julio, D. R., Cordero, R., Artega, M., & Andrade, R. (2025). Estandarización de las condiciones del proceso de elaboración de suero costeño artesanal producido en el departamento de Córdoba, Colombia. *Universidad de córdoba*.
- Kanellos, G., Antarachas, M., Lyberatos, G., & Tremouli, A. (2025). Tratamiento de suero de queso mediante un sistema de digestión anaeróbica asistida por células de electrólisis microbiana: Efectos del pretratamiento, la carga orgánica y el potencial aplicado. *Waste Biomass Valor*.
- Keogh, D., Ning Lam, L., Doyle, L., Matysik, A., Pavagadhi, S., Umashankar, S., . . . Kline, K. (2019). La transferencia de electrones extracelular potencia el metabolismo de la biopelícula de *Enterococcus faecalis*. *mBio* 10(3).
- Khan, S., Amjad, M., Shareef, H., & Larkin, S. (2024). Revisión de la celda de combustible microbiana desde una perspectiva tecnoeconómica. *Exploración y Energía Explotación* 42(1), 373-398.
- Kinsella, J., & Whitehead, D. (1989). Proteínas del suero: propiedades químicas, físicas y funcionales. *Investigación nutricional de alimentos avanzados* 33, 343-438.
- Koch, C., & Harnisch, F. (2016). Is there a Specific Ecological Niche for Electroactive Microorganisms? *Química Electroquímica Volumen 3, Número 9*, 1282-1295.
- Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2006). Péptidos bioactivos: producción y funcionalidad. *Revista internacional de productos lácteos*, 945-960.

- Kumar, A., Hsuan Hsu, L. H., Kavanagh, P., Barriere, F., Lens, P. N., Lapinsonniere, L., . . . Leech, D. (2017). Los pormenores de las reacciones de transferencia de electrones entre microorganismos y electrodos. *Nature Reviews Chemistry* , (1), Artículo 0024.
- Kumar, P., Singh, S., Sharma, A., Kaur , G., Kaur, R., & Singh , A. N. (2021). Arundo donax L.: Una visión general de su importancia tradicional y etnomedicinal, fitoquímica y aspectos farmacológicos. *J Herbmed Pharmacol* 10(3) , 269-280.
- Larrosa Guerrero, A., Scott, K., M Head, I., F. Mateo, Ginestá Anzola, A., & Godinez, C. (2010). Effect of temperature on the performance of microbial fuel cells. *Fuel* 89(12), 3985-3994.
- Leurino Kling, L., Rozycky, S. D., & Cortez Latorre, J. D. (2023). *Optimización del comportamiento reológico de una bebida láctea a base de lactosuero formulada con distintos hidrocoloides*. INNOTECH e636.
- Levin Fiorelli, A. (2003). *Aislamiento, identificación y estudio de características de interés tecnológico de cepas pertenecientes al género Lactobacillus (Tesis)*. Monte video, Uruguay: Universidad de la República, Facultad de Veterinaria.
- Li, X., Lu, Y., Luo, H., Liu, G., Torres, C. I., & Zhang, R. (2020). Efecto del pH sobre la distribución bacteriana dentro de la biopelícula catódica de la celda de combustible microbiana con maltodextrina como sustrato. *Chemosphere* 265 .
- Li, Y., Luo, W., Lu, J., Zhang, X., Li, S., Wu, Y., & Li, G. (2018). Efectos del tiempo de digestión en la digestión anaeróbica sobre el posterior compostaje del digestato. *Tecnología de biorrecursos* 267, 117-125.
- Logan, B. E. (2009). Bacterias exoelectrogénicas que alimentan las células de combustible microbianas. *Naturaleza* 7, 375-381.
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., . . . Rabaey, K. (2006). Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology. *Environmental Science & Technology* 40(17), 5181–5192.
- López, M., & Kim, J. (2022). Microorganismos nativos en efluentes lácteos y sus aplicaciones electrogénicas. *Applied Environmental Microbiology*, 88(4), 602-615.

- Lovley, D. (2006). Celdas de combustible microbianas: nuevas fisiologías microbianas y enfoques de ingeniería. *Opinión actual en biotecnología* 17(3), 327-332.
- Lovley, D. R. (2006). Jugo de insectos: cosechando electricidad con microorganismos. *Reseñas de la naturaleza Microbiología* 4(7), 497-508.
- Lovley, D. R. (2012). Electromicrobiología. *Revista anual de microbiología*, 391-409.
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2019). Brock Biology of Microorganisms, 15th Global Edition. Person 9781292235103.
- Madureira, A., Tavares, T., Gomez, A., Pintado, M., & Melcata, F. (2010). Propiedades fisiológicas de péptidos bioactivos obtenidos de proteínas de suero. *Journal of Dairy Science*, 93 (2), 437-455.
- Malvankar, N., Vargas, M., Nevin, K., Franks, A., Leang, C., Chan KIm, B., . . . Lovley, D. (2011). Tunable metallic-like conductivity in microbial nanowire networks. *Nat Nanotechnol* 6(9), 573-579.
- Manjarres López , L. (2022). *Aplicación de un modelo de optimización de uso de suero de leche orientada a la circularidad en PyMEs fabricantes de queso del cantón Pillaro, provincia de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos.
- Marsili, E., Baron, D., Shikhare, I., & Bond, D. (2008). Shewanella secreta flavinas que median la transferencia de electrones extracelulares. *Proc. Natl. Sci. USA* 105 (10) , 3968-3973, <https://doi.org/10.1073/pnas.0710525105>.
- Marsill, E., Baron, D. B., Shikhare, I. D., & Bond, D. R. (2008). Shewanella secreta flavinas que median la transferencia de electrones extracelulares. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias* 105(10), 3968 - 3973.
- Matabajoy, L. L. (2018). *Planteamiento de estrategias para el manejo adecuado de basuras en la plaza de mercado*. UNAD- San Juan De Pasto.
- Mazorra-Manzano, M. Á., & Moreno Hernández, J. M. (2019). Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal. *CienciaUAT vol.14 no.1 Ciudad Victoria*.

- Md. Amirul Islam, Maksudur Rahman , Yousuf , A., Kui Cheng, C., & Chee Wai , W. (2016). Rendimiento de *Klebsiella oxytoca* para generar electricidad a partir de POME en una celda de combustible microbiana. *Web de Conferencias MATEC 38* , 03004 .
- Mehra, R., Kumar, H., Kumar, N., Ranvir, S., Jana, A., Singh Buttar, H., . . . Guiné, R. P. (2021). Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight perspective from constituents, bioactivities, functionalities to therapeutic applications. *Journal of Functional Foods*. 87.
- Metcalf , B., Inc., E., Tchobanoglous, G., Stensel, H., Tsuchihashi , R., & Burton, F. (1994). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th Edition*. Nueva York.: McGraw-Hill ISBN10: 0073401188.
- Microbiología aplicada y ambiental. (2009). *Appl Environ Microbiol*. 75 (1), 1–22.
- Ming, S., & Anand, S. (2020). Proteínas de suero y sus derivados: bioactividad, funcionalidad y aplicaciones actuales. *Lácteos I(3)*, 233-258.
- Mirzakulova, A., Sarsembaeva, T., Suleimenova, Z., Kowalski, Ł., Gajdzik, B., Wolniak, R., & Bembenek, M. (2025). Whey: Composition, Processing, Application, and Prospects in Functional and Nutritional Beverages—A Review. *Foods*, 3245.
- Mirzakulova, A., Sarsembaeva, T., Suleimenova, Z., Kowalski, L., Gajdzik, B., Wolniak, R., & Bembenek, M. (2025). Whey: Composition, Processing, Application, and Prospects in Functional and Nutritional Beverages—A Review. *Foods 14(18)*.
- Molero Méndez, M. S., Flores Rondón, C., Leal Ramirez, M., & Briñez Zambrano, W. J. (2017). Evaluación sensorial de bebidas probióticas fermentadas a base de lactosuero. *Universidad del Zulia. Revista Científica*, 27(2)., 70-77.
- Moreano Terán, N. F. (2021). *Evaluación de la calidad microbiológica en quesos frescos de producción artesanal expendidos en el mercado cerrado Latacunga*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Muhammad , A., Khan, S. J., Mehbub Malik , S., Muhammad, H., Shahzad, A., & Visvanathan, C. (2020). Concentración ascendente de aguas residuales para maximizar el potencial del

- biogás: un paso hacia el tratamiento energético positivo de aguas residuales. *Revista de Ingeniería de Procesos del Agua* 36, 101246.
- Nacata Oña, E. (2022). *Evaluación de las propiedades físico químicas y microbiológicas de galletas dulces enriquecidas con lactosuero*. Latacunga.: UTC.147 p. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8737>.
- Ojha, R., & Pradhan, D. (2025). The potential of microbial fuel cell for converting waste to energy: An overview. *Sustainable Chemistry for the Environment* 9:100196.
- Orrego, D., & Klotz Ceberio, B. (2022). Enzymatic Synthesis of Galacto-Oligosaccharides from Concentrated Sweet Whey Permeate and Its Application in a Dairy Product. *Applied Sciences* 12(20).
- Pailin, T., Kang, D., Schmidt, K., & Fung, D. (2001). Detection of extracellular bound proteinase in EPS-producing lactic acid bacteria cultures on skim milk agar. *Lett Appl Microbiol* 33(1), 45-9.
- Pais Chanfrau, J. M., Cuarán, J., & Nuñez, J. (2017). Valorización del suero de leche: Una visión desde la biotecnología. *Revista Bionatura* 2(4), pag.2-4.
- Pant, D., Singh, A., Van Bogert, G., Olsen, S., Singh Nigam, P., Diels, L., & Vanbroekhoven, K. (2025). ChemInform Abstract: Bioelectrochemical Systems (BES) for Sustainable Energy Production and Product Recovery from Organic Wastes and Industrial Wastewaters. *RSC Advances* 15(35), 28325-28337.
- Papirio, S., Matassa, S., Pirozzi, F., & Esposito, G. (2020). La codigestión anaeróbica de suero de queso y residuos de cáñamo industrial abre nuevas perspectivas para la valorización de residuos agroalimentarios. *Energías* 13(11).
- Parra Huertas, R. A. (Junio 2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. Whey: importance in the food industry. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* vol.62 no.1 Medellín.
- Patel, V., & Gómez, L. (2020). Evaluación de bacterias electrogénicas en el tratamiento de efluentes de la industria láctea mediante celdas de combustible microbianas. *Environmental Biotechnology Letters*, 29(5)., 253-267.

- Pendón, M. D. (2024). *Valorización de subproductos de la industria alimentaria: obtención de etanol combustible y biomasa probiótica por fermentación con levaduras*. Facultad de Ciencias Exactas, Tesis: <https://doi.org/10.35537/10915/170485>.
- Peña, M. J., Costa, R., Rodrigues, I., Martins, S., Guimarães, J. T., Faria, A., . . . Borges, N. (2021). Unveiling the Metabolic Effects of Glycomacropeptide. *Int J Mol Sci.* 22(18).
- Pescuma, M., Hébert, E. M., Mozzi, F., & Font de Valdez, G. (2008). Fermentación del suero por bacterias lácticas termófilas: evolución del contenido de carbohidratos y proteínas. *Microbiología de los alimentos* 23(3), 442-451.
- Péter, L., Katona, G. L., Berényi, Z., Vad, K., Langer, G. A., Tóth-Kádár, E., . . . Bakonyi, I. (2007). Electrodeposición de multicapas de Ni-Co-Cu/Cu : 2. Cálculos de la distribución de elementos y análisis experimental del perfil de profundidad. *Electroquímica Acta* 53(2), 837-845.
- Pilliza, P., Efraín, J., Chasi, T., & Daniel, E. (2023). *Caracterización microbiológica y nutricional del suero lácteo de las industrias queseras del cantón Latacunga*. Ecuador : Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). 95 p.
- Pisanu, S., Guisaura, S., Pagnozzi, D., Falchi, G., Biosa, G., Tanca, A., . . . Addis Abeba, M. F. (2012). Caracterización de las proteínas de los glóbulos de grasa de la leche de oveja mediante electroforesis en gel de poliacrilamida bidimensional/espectrometría de masas y generación de un mapa de referencia. *Revista internacional de productos lácteos* 24(2), p.78-86.
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Manejo del suero del queso: una revisión. *Revista de Gestión Ambiental* 110, 48-68.
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Manejo del suero del queso: una revisión. *Revista de Gestión Ambiental* 110, 48-68.
- Prieto García, F., Gallejas Hernández, J., Reyes Cruz, V. E., & Marmolejo Santillán, Y. (2012). Electrocoagulación: una alternativa para depuración de lactosuero. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: desarrollo y práctica* 5(3), 51 – 77.

- Puig Ruiz, À., Fuentes, E., & Pons, J. (2022). *La contaminación en la industria láctea*. Obtenido de UAB: <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/la-contaminacion-en-la-industria-lactea-1345680342040.html?noticiaid=1345874333369>
- Rabaey, K., & Verstraete, W. (2005). Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *Trends in Biotechnology* 23(6), 291-298.
- Ramirez Lopez, C., & Vélez Ruiz, J. (2016). Aislamiento, Caracterización y Selección de Bacterias Lácticas Autóctonas de Leche y Queso Fresco Artesanal de Cabra. *Inf. tecnol.* , 27(6).
- Ramírez, J., & Santos, E. (2024). Economía circular y bioenergía en la industria láctea mediante el uso de microorganismos electrogénicos. *Sustainable Industrial Practices*, 15(3), 209-222.
- Reguera, G., McCarthy, K. D., Mehta, T., Nicoll, J. S., Tuominen, M. T., & Lovley, D. R. (2005). Transferencia de electrones extracelular a través de nanocables microbianos. *Naturaleza* 435(7045), 1098–1101.
- Rismani Yazdi, H., D Christy, A., M Carver, S., Yu, Z., Dehority, B., & Tuovinen, O. (2011). Efecto de la resistencia externa sobre la diversidad bacteriana y el metabolismo en celdas de combustible microbianas alimentadas con celulosa. *Tecnología de biorrecursos* 102(1), 278-83.
- Robak, K., & Balcerek, M. (2018). Revisión de la producción de bioetanol de segunda generación a partir de biomasa residual. *Tecnología de alimentos Biotecnología* 56(2), 174-187.
- Rodriguez Gonzalez, A., Zárate Villaroe, S. G., & Bastida Codina, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Ciencias Ambientales* , Vol.56 n.1.
- Rojas Flores, S., cabanillas Chirinos, L., Milly Otiniano, N., & De La Cruz Noriega, M. (2025). Utilization of Cheese Whey for Energy Generation in Microbial Fuel Cells: Performance Evaluation and Metagenomic Analysis. *Fermentation* 11(4).
- Romano, V., Savchuk, M., Iatsunskyi, I., Pietralik, Z., Starodub, N., Shpyrka, N., & Ramanaviciene, A. (2018). Características analíticas, termodinámicas y cinéticas del

- inmunosensor de fotoluminiscencia para la determinación de ocratoxina A. *Biosensores y Bioelectrónica* vol 99, 1-690.
- Salazar Balseca, H. (2023). *Elaboración y caracterización físico-química y microbiológica de un concentrado proteico de suero láctico en polvo mediante termocoagulación ácida y deshidratación en la Asociación de Productores y Comercializadores de Leche de Quero (APROLEQ)*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos.
- Sanchez Macias, D., & Vivas Pozo, J. (2021). *Caracterización de las fracciones del calostro bovino y su efecto en la calidad composicional y tecnológica de la leche descremada*. Riobamba Universidad Nacional de Chimborazo <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7753>.
- Santoro, C., Arbizzani, C., Erabe, B., & Leropoulos, L. (2017). Pilas de combustible microbianas: De los fundamentos a las aplicaciones. *Revista de fuentes de energia* 356, 225-244.
- Sayed Dosuky, A., Ragab Elsayed, T., Ragab Elsayed, E., Sayed Barakat, O., Fawzy Nasr , F., Dosuky, A. S., . . . Nars, N. F. (2022). Aislamiento, identificación y aplicación de bacterias productoras de ácido láctico utilizando sustrato de suero de queso salado y tecnología de células inmovilizadas. *J Genet Eng Biotecnol* 20(1).
- Sebastián Nicolas, J., González Olivares, L., Vázquez Rodríguez, G., Lucho Constantino, C., Catañeda Ovando, A., & Cruz Guerrero, A. (2020). Valorización del suero mediante una biorrefinería. *Biocombustibles, Bioproductos y Biorrefinación* 14(5), 1010-1027.
- Sgarlatta, F. M., Tarditti, A. J., & González, C. A. (2015). Análisis de la planta de tratamientos de efluentes de Lácteos San Basilio S.A. *AGRIS - International System for Agricultural Science and Technology*.
- Shi, L., Dong, H., Reguera, G., Beyenal, H., Lu, A., Liu, J., . . . Fredrickson, J. K. (2016). Mecanismos de transferencia de electrones extracelulares entre microorganismos y minerales. *Reseñas de la naturaleza sobre microbiología* 14(1), 651–662.
- Singh, H., & Li, S. (2022). Functional Properties of Caseins and Whey Proteins. *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third edition)*, 579-585.

- Skoog, D. A., West, D., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2015). *Fundamentos de química analítica Novena edición*. Brooks/Cole ISBN: 978-0-495-55828-6.
- Smithers, G. (2008). Suero y proteínas de suero: del agua al oro. *International Dairy Journal*, 18 (7), 695-704.
- Smithers, G. W. (2008). Suero y proteínas de suero: del “canalón al oro”. *Revista internacional de productos lácteos* 18(7), 695-704.
- Soenarno, M. S., Sumantri, C., Tauffik, E., Nuraida, L., & Arief, I. I. (2019). Lactobacillus plantarum IIA-1A5 Fermentation Patterns by Using whey, buttermilk and Whey Enriched by Skimmed Milk as Growth Media. *Pakistan Journal of Nutrition* 18(3), 288-295.
- Soumati, B., Atmani, M., Benabderrahmane, A., & Benjelloun, M. (2023). Valorización del suero Estrategias innovadoras para el desarrollo sostenible y la creación de productos con valor añadido. *Revista de Ingeniería Ecológica* 24(10), 86-104.
- Sriduresta Soenarno, M., Sumantri, C., Taufik, E., Nuraida, L., & Isnafia Arief, I. (2019). Lactobacillus plantarum Patrones de fermentación del IIA-1A5 utilizando suero, suero de leche y suero enriquecidos con leche desnatada como medio de cultivo. *Pakistan Journal of Nutrition* 18(3), 288-295.
- Taco, K. R., & García Godos, P. (2021). Optimización de parámetros para la elaboración de leche ácida con Lactobacillus acidophilus. *Información Tecnológica* 32(1), 179–186. .
- Tanaka, N. (2019). Metodología del aislamiento de cepas de bacterias del ácido láctico. *J-STAGE* 30(1), 3-7.
- Tazeem Arshad, U.-e., Hassan, A., Ahmad, T., Naeem, M., Chaudhary, M., Qamar Abbas, S., . . . Muhammad Aadil, R. (2022). Una mirada reciente a la valorización del suero del queso con fines industriales: desarrollo de productos de alto valor añadido y estrategias integradas de reutilización. *Revista internacional de ciencia y tecnología de los alimentos* 58(4), 2001-2013.
- Tchobanoglous, G., Abu-Orf, M., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F., & Pfrang, B. (2013). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. *Researchgate*.

- Tobón Restrepo, M. I. (2021). *Revisión y análisis de la resolución 02310 de 1986 para los derivados lácteos*. Universidad de antioquia facultad de ciencias farmacéuticas y alimentarias medellín, colombia.
- Tokunou , Y., Toyofuku, M., & Nomura, N. (2022). Beneficios fisiológicos de la transferencia de electrones extracelulares con terminación de oxígeno. *Microbiología ambiental*.
- Tosi, M., Fiori, L., Tagi, V. M., Gambino, M., Montanari, C., Bosetti, A., . . . Verduci, E. (2024). Glycomacropeptide-Based Protein Substitutes for Children with Phenylketonuria in Italy: A Nutritional Comparison. *Nutrients* 16(7).
- Vargas Aldana, D. P., & Barbosa Perez, N. L. (2023). *Propuesta de una metodología que integre las tecnologías ultrasonido y crioconcentración para la obtención de un concentrado de proteína a partir del lactosuero ácido*. <https://hdl.handle.net/20.500.12495/11824>.
- Vargas, A. K. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 28(2), 315-322.
- Velasco Morales, M., Apolonio Venegas, J., Reyes Sosa, M., Hernández-Altemirano, Mena-Cervantes, V., Pinto Ruíz, R., . . . Aguilar-Aguilar, F. (2023). Sustainable biogas production via anaerobic co-digestion of cheese whey and cattle manure. *Journal of biological and health sciences*.
- Vera, C., Guerrero, C., & Illanes, A. (2022). Trends in lactose-derived bioactives: synthesis and purification. *Syst Microbiol Biomanuf* 2(3), 393-412.
- Verma, P., Achlesh, D., Kumar Nadda, A., & Arunachalam, K. (2020). Pila de combustible microbiana: un enfoque sostenible para el tratamiento simultáneo de aguas residuales y la recuperación de energía. *Revista de Ingeniería de Procesos del Agua* 40.
- Walstra, P., Wouters, J. T., & Geurts, T. J. (2005). *Ciencia y tecnología de los productos lácteos* 2da edición. Boca Ratón: Prensa CRC.
- Wang, J., Ren, K., Zhu , Y., Huang, J., & Liu, S. (2022). Una revisión de los avances recientes en celdas de combustible microbianas: preparación, operación y aplicación. *Biotechnología* 11(4), 44.

- Wang, J., Ren, K., Zhu, Y., Huang, J., & Liu, S. (2022). Una revisión de los avances recientes en celdas de combustible microbianas: preparación, operación y aplicación. *Biotechnología (Basilea)*. 11(4), 44.
- Wang, W., Du, Y., Du, X., Li, M., Lin, B., Zhou, J., . . . Yang, C. (2019). Bacterial Extracellular Electron Transfer Occurs in Mammalian Gut. *Analytical Chemistry* 91(19), 12138–12141.
- Xie, X., Hu, J., Cao, X., Zhang, S., Sakamaki, T., & Li, X. (2024). In Situ Utilization of Electron-Enhanced Degradation of Azo Dyes in a Constructed Wetland–Microbial Fuel Cell Coupling System. *Sustainability* 16(8).
- Ya Hassan, R., Febbraio, F., & Andreescu, S. (2021). Sistemas electroquímicos microbianos: principios, construcción y aplicaciones de biodetección. *sensores* 21(4), 1279.
- Yeshambel, T., Degu, T., Haben, F., & Mesfin, M. (2021). Aislamiento e identificación de bacterias del ácido láctico a partir de leche de vaca y productos lácteos. *Scientific World Journal* 4697445.
- Zandona, E., Blažić, M., & Jambrak, A. (2021). Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach. *Food Technol Biotechnol* 59(2), 147-161.
- Zhang, B., Zhang, Y., Wang, Z., Dongwei, W., Baker, P. J., Pratt, F. L., & Zhu, D. (2014). Líquido de espín cuántico candidato debido a la reducción dimensional de una red de panel bidimensional. *Sci Rep* 4 , 6451 .
- Zhao, C., Chen, N., & Ashaolu, T. J. (2022). Whey proteins and peptides in health-promoting functions – A review. *International Dairy Journal*. Vol 126.
- Zhao, M., Wang, W., Dionisio, D., Dastyar, W., He, J., Sing Sikarwar, V., & Raheem, A. (2018). Oportunidades y desafíos en el tratamiento sostenible y la reutilización de recursos de lodos de depuradora. *Revista de Ingeniería Química* 337, 616-641.
- Zhao, Y., Truong, T., & Chandrapala, J. (2025). Milk Powder Formulations with Varying Casein to Whey Ratios and Calcium Addition: Physico-Chemical and Structural Properties and the Effect of Low-Frequency Ultrasound. *Foods* 14(4), 685.

Zhou, M., Chi, M., Luo, J., He, H., & Jin, T. (2011). An overview of electrode materials in microbial fuel cells. *Journal of Power Sources* 196(10), 4427-4435.

Zuriel Tonatiuh Ceja de la Cruz, & Dr. Miguel Enrique Rentería Rodríguez. (2019). Tratamiento de aguas residuales. *INCYTU*, 6.