

Revisión bibliográfica sobre el cultivo de microalgas en aguas residuales subproducto de la industria láctea (lactosuero) y la acuicultura

Sandra Liliana Virviescas Ayala

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente
Ingeniería Ambiental
Tunja 2024

Revisión bibliográfica sobre el cultivo de microalgas en aguas residuales subproducto de la industria láctea (lactosuero) y la acuicultura

Sandra Liliana Virviescas Ayala

Director
Mabel Lucero Prada Soto

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente
Ingeniería Ambiental
Tunja 2024

Resumen

Dada la preocupación existente por los altos índices de contaminación de los recursos del medio ambiente, y para el caso de este estudio el recurso del agua, aspectos como la calidad de vida, la salud y en sí la existencia de todos los seres vivos, hace que fijemos nuestra atención en estudiar y/o analizar posibilidades, que aporten a la reducción de la contaminación del recurso hídrico y a la vez sensibilizar a las empresas que generan residuos sobre la importancia de proteger el agua. El objetivo general de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica sobre el cultivo de microalgas en aguas residuales subproductos de la industria láctea (lactosuero) y la acuicultura. El trabajo se desarrolló tomando diferentes fuentes de información incluyendo tesis de grado, artículos, revistas indexadas, fuentes gubernamentales entre otros. El alcance de esta revisión llega hasta la discusión de las investigaciones encontradas en la bibliografía sobre el tratamiento del lactosuero y efluentes de la acuicultura mediante sistemas basados en microalgas. Esta investigación ha cobrado una gran importancia ya que gracias a “LAS MICROALGAS” existe una solución tangible para el tratamiento de las aguas residuales o subproductos anteriormente mencionados y porque aportan grandes ventajas en la industria agroalimentaria dado que también se reconocen como fuente de biomoléculas. Es así como se deben abrir las posibilidades para generar tecnologías de producción más sostenibles, investigar nuevas alternativas de alimentación que generen o suplan las necesidades nutricionales de la población.

Palabras clave: microalgas, aguas residuales, lactosuero, acuicultura

Abstract

Given the existing concern about the high levels of contamination of environmental resources, and in the case of this study the resource of water, aspects such as quality of life, health and the existence of all living beings itself, makes That we focus our attention on studying and/or analyzing possibilities that contribute to the reduction of pollution of water resources and at the same time raise awareness among companies that generate waste about the importance of protecting water. The general objective of this work is to carry out a bibliographic review on the cultivation of microalgae in wastewater byproducts of the dairy industry (whey) and aquaculture. The work was developed taking different sources of information including degree theses, articles, indexed magazines, government sources among others. The scope of this review extends to the discussion of some experiences in the treatment of wastewater byproduct of the dairy industry (whey) and aquaculture. This research has gained great importance since thanks to “MICROALGAE” there is a tangible solution for the treatment of the aforementioned wastewater, because they provide great advantages in the agri-food industry because they are also recognized as a source of biomolecules. This is how the possibilities must be opened to generate more sustainable production technologies, research new food alternatives that generate or meet the nutritional needs of the population. It is evident in the researched literature that the initiative has been taken to explore microalgae, but it would be interesting to specify the contamination of wastewater taking into account each type of milk, because each one has a diversity of concentrations and components depending on many characteristics associated with its environment among others.

Keywords: microalgae, wastewater, whey, aquaculture

Tabla de Contenido

Introducción	6
Problemática de las Aguas Residuales	7
Objetivos	10
<i>Objetivo General</i>	10
<i>Objetivos Específicos</i>	10
Generalidades	11
¿Qué es la Leche?	11
Factores que Afectan la Composición de la Leche.	11
Tipos de Leche.....	12
<i>La Leche de Vacuno</i>	12
<i>Leche de Cabra</i>	13
<i>Leche de Oveja</i>	13
¿Qué es el Lactosuero?	14
<i>Composición del Lactosuero</i>	15
<i>Tipos de Suero</i>	17
Problemática Ambiental de la Gestión del Lactosuero	18
¿Qué es la Acuicultura?	20
<i>Tipos de Acuicultura</i>	22
<i>Recursos Acuáticos para la Acuicultura</i>	23
<i>Problemática de las Aguas Residuales del Efluente de la Acuicultura.</i>	25
¿Qué son las Microalgas?	27
<i>Usos de las Microalgas</i>	28
<i>La Producción de las Microalgas</i>	28
<i>Clasificación de las Microalgas</i>	29
<i>Medios de Cultivo</i>	30

<i>Sistemas de Cultivo de Microalgas</i>	30
<i>El Cultivo de Microalgas</i>	31
<i>Ventajas del Cultivo de Microalgas</i>	33
<i>El Cultivo de Microalgas y las Aguas Residuales</i>	33
Casos de los Estudios más Relevantes sobre el Cultivo de Microalgas en Aguas Residuales Subproducto de la Industria Láctea (lactosuero) y la Acuicultura	36
Experiencias Sobre el Cultivo de Microalgas en Aguas Residuales con Lactosuero	36
<i>Tratamiento de Lactosuero por Cavitación Hidrodinámica Posterior Precipitación Química y Subsecuente uso para Cultivo de Microalgas (chlorella vulgaris) en un biorreactor tipo raceway.</i>	36
<i>Enhancement of Biomass and Lipid Productivities of Scenedesmus sp. Cultivated in the Wastewater of the Dairy Industry</i>	39
<i>Valorización de Lactosuero para la Obtención de Biomasa de Microalgas y Cianobacterias</i>	40
<i>Mejora del Cultivo de Microalgas Autóctonas Utilizando Suero de Queso como Medio de Crecimiento para Bioenergía y Producción de Coproductos</i>	42
<i>Producción de Biomasa en la Fitorremediación de Efluentes de la Industria Láctea</i>	43
<i>Enhancement of Biomass and Lipid Productivities of Scenedesmus sp. Cultivated in the Wastewater of the Dairy Industry</i>	45
Experiencias del Cultivo de Microalgas en Aguas Residuales de la Acuicultura	47
<i>Biorremediación de Aguas Residuales de Acuicultura de Mugil cephalus (Linnaeus, 1758) con Diferentes Especies de Microalgas.</i>	47
<i>Biorremediación de Aguas Residuales de Acuicultura con la microalga Tetraselmis Suecica: Experimentos Semicontínuos, Simulación y Ensayos Fotorrespirométricos.</i>	49
<i>Rentabilidad del Uso de Microalgas para Tratar Efluentes de la Piscicultura y Sustituir la Harina de Pescado: Un Estudio de Caso.</i>	50
<i>Productos de Alto Valor Añadido Derivados de Microalgas y Perspectivas de las Aguas Residuales de la Acuicultura como Medio de Crecimiento de Microalgas.</i>	52

<i>Microalgal Cultivation Using Aquaculture Wastewater: Integrated Biomass Generation and Nutrient Remediation</i>	53
<i>Utilización de Microalgas en Sistema Acuicola: Tratamiento Biológico de Aguas Residuales.</i>	55
<i>Microalgal cultivation using aquaculture wastewater: Integrated biomass generation and nutrient remediation</i>	59
Necesidades y Oportunidades	60
Conclusiones	61
Bibliografía	64

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Composición Promedio de Nutrientes Básicos en Cabra, Oveja, Vaca y Humana.</i>	14
Tabla 2. <i>Composición Nutricional para cada 100 gr de Leche</i>	17
Tabla 3. <i>Composición del Suero Dulce y Ácido</i>	18
Tabla 4. <i>Clasificación de las Microalgas</i>	29
Tabla 5. <i>Cuadro Resumen de las Experiencias del Cultivo de Microalgas en Aguas Residuales de la Industria Láctea</i>	45
Tabla 6. <i>Resultados Obtenidos del Experimento a los 6 Días de Transcurrido</i>	48
Tabla 7. <i>Especificaciones del Experimento con Tetraselmis Suecica</i>	49
Tabla 8. <i>Concentraciones de Nutrientes de Tres Cepas Diferentes</i>	55
Tabla 9. <i>Cuadro Resumen de las Experiencias del Cultivo de Microalgas en Aguas Residuales de la Acuicultura.</i>	58

Introducción

Es significativo resaltar que las microalgas han demostrado ser más que un aporte a la ciencia, son una solución sostenible y eficiente para la remoción de nutrientes y contaminantes presentes en las aguas residuales. La importancia de este trabajo radica en la preocupación por la contaminación ambiental y la necesidad de avanzar sobre las investigaciones realizadas en torno a la mitigación de la problemática de las aguas residuales subproducto de la industria láctea y la acuicultura. Es así como el cultivo de microalgas en estos efluentes no solo ayuda a su depuración, sino que también puede llegar a generar biomasa con gran utilidad en la industria en diferentes campos, siendo algunos de gran influencia social por su aporte como lo son los alimentos y medicamentos entre otros.

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica sobre el cultivo de microalgas en aguas residuales subproducto de la industria láctea (lactosuero) y la acuicultura marina, adicionalmente indagar sobre conceptos asociados a esta revisión como son: microalgas, lactosuero y acuicultura con literatura académica existente, teniendo palabras clave como subproducto, industria láctea, suero, queso, etc. Partiendo de los objetivos específicos como lo son 1. realizar la contextualización sobre el lactosuero, la acuicultura y las microalgas, 2. dar a conocer casos de los estudios más relevantes sobre el cultivo de microalgas en aguas residuales o subproductos de la industria láctea (lactosuero) y la acuicultura, 3. identificar necesidades y oportunidades de investigación en el campo de la recuperación de recursos de lactosuero y efluente de acuicultura mediante sistemas basado en microalgas.

Para lograr cada uno de los objetivos propuestos se realizó una búsqueda de publicaciones científicas realizadas sobre los temas mencionados en bases de datos

universitarias, revistas, artículos, libros, bases de datos gubernamentales, Scielo, Redalyc, Scopus, investigaciones sobre los cuales se ha avanzado en esta dirección, consultando más de 50 artículos.

Este trabajo es la oportunidad de realizar un aporte a la investigación científica sobre la problemática de las aguas residuales subproducto de la industria láctea y la acuicultura, por medio del cultivo de microalgas, tener un panorama sobre lo que se ha trabajado en este tema y proporcionar una visión de los aspectos en los cuales se puede ahondar o incorporar, para continuar realizando más aportes en esta área.

Problemática de las Aguas Residuales

Las aguas residuales están compuestas por diferentes componentes que obedecen al consumo de agua por habitante, productos que se emplean en el día a día, hábitos alimenticios de la población, desechos industriales, comerciales, domésticos entre otros, afectando concentraciones y calidad del agua. En razón a esto, las aguas residuales se clasifican en: 1. aguas domésticas, 2. aguas residuales industriales, 3. escorrentías de usos agrícolas, 4. Pluviales (Ramalho, 1996).

- Las aguas residuales domésticas (ARD) contienen material suspendido y disuelto orgánico e inorgánico que, de acuerdo con el tipo de constituyente, se clasifican en: *i) Convencionales* (sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica carbonácea, nutrientes y microorganismos patógenos); *ii) No convencionales* (orgánicos refractarios, orgánicos volátiles, surfactantes, metales, sólidos disueltos) y *iii) Emergentes* (medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, hormonas y esteroides, etc.). Los no convencionales y los emergentes pueden encontrarse en las aguas residuales, debido a la predominancia de sistemas de alcantarillado combinado y ante todo a la potencial mezcla con agua residual industrial -ARI- (Agudelo & Alvear, 2015).

- Aguas industriales son producto de diferentes actividades de la industria, como su palabra lo indica, Según Candela Orduz, las industrias productoras de aguas residuales se dividen en cinco grupos principales: las industrias con efluentes orgánicas (mataderos, lecherías, azucareras, fermentadoras, entre otras), las industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos (refinerías, petroquímicas, textiles, etc.), industrias con efluentes inorgánicos (minerías, salinas, químicas, de limpieza, carboníferas, etc.), industrias con efluentes de suspensión (lavaderos minerales y carboníferos, pulidoras de mármol, de metales, etc.) e industrias con efluentes de refrigeración (centrales térmicas y centrales nucleares) (Candela Orduz, 2016).

- Escorrentías de usos agrícolas: Estas aguas son el resultado de la actividad agrícola en actividades de riego excesivo, en donde por su trayecto van arrastrando todo tipo de fertilizantes, pesticidas o productos empleados en la agricultura para el mejoramiento de la producción o cosechas, haciendo que se altere la calidad del agua en donde desembocan.

- Aguas pluviales: son las conocidas como aguas blancas, corren o fluyen sobre la superficie y no permean el suelo.

En general, las aguas residuales contienen aproximadamente un 99.9% de agua y el resto está constituido por materia sólida.(Rojas, 2002), que se encuentran en forma suspendida o disuelta. La problemática de las aguas residuales radica en un comportamiento generalizado, en muchos países o lugares, sucede en el momento que se vierten las aguas del alcantarillado en aguas superficiales, es así como al pasar de los años se ha agudizado esta conducta afectando la salud humana, la biodiversidad y la vida en sí misma.

Uno de los objetivos de la ONU (Organización de Naciones Unidas), se enfoca en el agua limpia y Saneamiento básico, en garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos(Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, 2017).

Se estima que más del 80% de las aguas residuales resultantes de las actividades humanas se vierten en ríos o en el mar sin que se eliminen contaminantes (Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, 2017).

Bien, en el contexto salubre lo que involucran las aguas residuales sin ningún tratamiento o tratamientos poco exigentes, es importante citar que las aguas residuales hospedan innumerables microorganismos en donde se genera o nace la incubación de múltiples enfermedades tales como, enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), fiebre tifoidea, paratifoidea, hepatitis y diarreas agudas (EDA), esta última posicionándose dentro de las diez causas principales de muerte según la (OMS), en consecuencia al mal manejo a las aguas residuales (Rodríguez Miranda et al., 2016).

Finalmente, para el tema de investigación en las últimas décadas han sido dedicadas a diferentes estudios para encontrar nuevas posibilidades de tratamiento de aguas residuales amigables con el medio ambiente, en razón a los elevados índices de contaminación que se generan a raíz de la falta de tratamiento de las mismas, causadas por el vertimiento de lactosuero o aguas resultado del proceso de la acuicultura, en ríos, suelos agrícolas simplemente en el alcantarillado.

Objetivos

Objetivo General

Realizar una revisión bibliográfica sobre el cultivo de microalgas en aguas residuales subproducto de la industria láctea (lactosuero) y la acuicultura.

Objetivos Específicos

Realizar la contextualización sobre el lactosuero, la acuicultura y las microalgas.

Dar a conocer casos de los estudios más relevantes sobre el cultivo de microalgas en aguas residuales subproducto de la industria láctea (lactosuero) y la acuicultura.

Identificar necesidades y oportunidades de investigación en el campo de la recuperación de recursos de lactosuero y efluente de acuicultura mediante sistemas basados en microalgas.

Generalidades

¿Qué es la Leche?

Según la definición adoptada por el I Congreso Internacional para la Represión de los Fraudes en los Alimentos (Ginebra, 1908), la leche se define como "el producto íntegro, no alterado ni adulterado y sin calostros, del ordeño higiénico, regular, completo e ininterrumpido de hembras lecheras sanas, bien alimentadas y no fatigadas" (Bidot-Fernández, 2017) .

Otra definición es la emitida por el código alimentario español que dice: se entiende por leche natural el producto íntegro, no alterado ni adulterado y sin calostros, del ordeño higiénico, regular, completo e ininterrumpido de las hembras mamíferas domésticas sanas y bien alimentadas (Ministro Subsecretario de la Presidencia de Gobierno, n.d.).

La F.A.O. define la leche como la secreción mamaria normal de animales lecheros obtenida mediante uno o más ordeños sin ningún tipo de adición o extracción, destinada al consumo en forma de leche líquida o elaboración ulterior (FAO, 2022) .

En la república de Chile de acuerdo con los requisitos sanitarios de los productos lácteos, apoyado en el código Sanitario dentro del reglamento sanitario de los alimentos, la Leche sin otra denominación, es el producto de la ordeña completa e ininterrumpida de vacas sanas, bien alimentadas y en reposo, exenta de calostro. Las leches de otros animales se denominarán según la especie de que proceden, como también los productos que de ella se deriven. (Ministerio de Salud- Chile, 1997) .

Factores que Afectan la Composición de la Leche.

La composición de la leche varía de acuerdo con la especie, razas, ordeños, durante el ordeño, cuartos de la ubre, período de lactancia, estado nutricional composición del alimento,

estaciones del año, temperaturas ambientales, edad, salud de la ubre y enfermedades en general (Revilla, 1982). La genética determina la raza más adecuada a emplear para la producción de leche, determina la capacidad de concentrar los genes lecheros con base en prueba de toros(Escobar, 1992).

Tipos de Leche

De acuerdo con la FAO, la producción de leche proviene casi en su totalidad del ganado vacuno, búfalos, cabras, ovejas y camellos. Otros animales lecheros menos comunes son los yaks, los caballos, los renos y los burros(FAO, 2024). La composición de la leche depende de varios factores entre los cuales se pueden citar: el pienso, tipo de agua, genética, tipo de alimentación, el clima, raza, medio ambiente y calidad de los suelos entre otros. Sin embargo, tienen composiciones similares con diferencias porcentuales en cada una, por lo tanto, tienen diferentes propiedades que hacen que tengan beneficios o comportamientos variados.

A continuación, algunas características de cada una:

La Leche de Vacuno.

En su mayoría es agua, su contenido oscila entre los 850 a 880 g/l que a su vez se dividen en lactosa (40-50 g/l), grasa (30-60 g/l) y minerales (6-10 g/l), le sigue la proteína que contiene un 30 a 40 g/l, esta se divide en suero (6- 8 g/l) y caseína (24-32 g/l) (Serrano Riaño & Minga Narváez, 2015). El valor energético es de 65kcal/100mL; 3,8g/100mL de grasa; 3,06g/100mL de proteína; 4,7 g/100mL de carbohidratos y otros componentes como vitaminas y minerales en menor proporción (Palleriro Mosquera, 2019). No obstante, la leche de vaca contiene residuos químicos, entre los más comunes se destacan los metales pesados, dioxinas, furanos, binifenilosplícliclorados, residuos de medicamentos veterinarios, en especial antibióticos lactánicos, plaguicidas... (Serrano Riaño & Minga Narváez, 2015).

Leche de Cabra

Tiene un valor energético de 65kcal/100mL; 3,7g/100mL de grasa; 3.4g/100mL de proteína; 4.4g/100mL de carbohidratos y otros componentes como vitaminas y minerales en menor proporción (Palleriro Mosquera, 2019). La leche de cabra posee propiedades únicas, es hipoalérgica, contiene un 33% del valor diario recomendado de calcio, magnesio, fósforo, potasio, cobre, hierro, manganeso, zinc y selenio. Además es una gran fuente de vitamina A,C,D y B2 o riboflavina,B1,B2,B3,B5 y B12 y en menor cantidad (Campo Spain, 2024) . La cabra es una especie que se puede criar o desarrollar en climas hostiles y con pocos recursos naturales.

El contenido mineral en la leche de cabra es mayor que en la leche humana; la leche de cabra contiene cerca de 134 mg de Ca y 121 mg de P por cada 100 g de leche, y puede llegar a presentar hasta 13 % más de calcio que la leche bovina pero no es una buena fuente de otros minerales como hierro, cobalto y magnesio. En la tabla 4 pueden observarse los valores reportados para las cantidades de minerales presentes en la leche de cabra y de vaca(Bidot-Fernández, 2017). La leche de cabra es cercana a ser un alimento casi perfecto con una estructura sorprendentemente similar a la leche materna. Estas diferencias en muchísimos casos repercuten en una gran cantidad de ventajas nutricionales de esta leche por sobre muchas de las fuentes tradicionales (Bidot-Fernández, 2017) .

Leche de Oveja

Fuente importante de proteínas, calcio y fósforo. altos contenidos de proteínas, grasa y sólidos totales en la leche están asociados con altos rendimientos en los productos lácteos, por lo que la leche de oveja tiene mayor rendimiento quesero que la leche de vaca o cabra (Busetii & Anguil, 2006). Algunas prácticas como la esquila, la época de servicio y el uso de hormonas pueden afectar la cantidad y calidad de leche producida. La esquila favorece la ingesta

alimenticia, en particular en climas cálidos, reduciendo el estrés por calor, que afecta la ingesta de alimento y la producción de leche.(Busetii & Anguil, 2006).

Tabla 1.

Composición Promedio de Nutrientes Básicos en Cabra, Oveja, Vaca y Humana.

Composition	Goat	Sheep	Cow	Human
Fat (%)	3.8	7.9	3.6	4.0
Solids-non-	8.9	12.0	9.0	8.9
Lactose (%)	4.1	4.9	4.7	6.9
Protein (%)	3.4	6.2	3.2	1.2
Casein (%)	2.4	4.2	2.6	0.4
Albumin,	0.6	1.0	0.6	0.7
Non-protein	0.4	0.8	0.2	0.5
Ash (%)	0.8	0.9	0.7	0.3
Calories/100	70	105	69	68

Nota. Esta tabla muestra la composición promedio de nutrientes básicos en cabra, oveja, vaca y humana. Fuente: As a Potentially Functional Food: Goats' Milk and Products.(Yangilar, 2013).

La tabla evidencia que la leche de oveja es la de mayor contenido de grasa, casi el doble de proteínas y nutrientes, aspectos que la hacen en una gran alternativa para la producción de queso.

El ganado vacuno produce el 81 por ciento de la producción mundial de leche, seguido de los búfalos con el 15 por ciento, las cabras con el 2 por ciento y las ovejas con el 1 por ciento; los camellos aportan el 0,4 por ciento. La parte restante la producen otras especies lecheras como los equinos y los yaks (FAO, 2024).

¿Qué es el Lactosuero?

El lactosuero es un líquido que se obtiene en la industria de productos lácteos, durante el proceso de coagulación de la leche para la fabricación del queso y sus derivados (obtenido de la separación del coágulo de la leche, de la crema o de la leche semidescremada). Es un líquido

amarillento en razón a que contiene riboflavina o vitamina B2, conocida por su gran importancia para el crecimiento, desarrollo y funcionamiento del cuerpo humano ya que convierte los alimentos en energía. Se obtiene mediante la acción ácida o de enzimas del tipo de cuajo (renina, enzima digestiva de los rumiantes) que rompen el sistema coloidal de la leche en dos fracciones sólida y líquida (Haberkorn, 2018).

Composición del Lactosuero

El lactosuero está constituido por un 50% de sólidos y por un 80-90% de la leche de la vaca, es decir que, si se toma el límite inferior del porcentaje que es el 80% iría a las corrientes hídricas o al suelo directamente, con altos grados de contaminación. La contaminación ambiental producida se debe, puntualmente a la lactosa presente en el lactosuero, que provoca niveles altos de DBO, en valores entre 30,000-50,000, sumado a una disposición complicada y un alto coste.

Si el lactosuero se utiliza eficientemente se ha comprobado que 1000 litros de lactosuero contienen más de 9 kg de proteína de alto valor biológico, 50kg de lactosa y 3 kg de grasa de leche, equivaldría a requerimientos diarios de proteína de cerca de 130 personas y a los requerimientos diarios de energía de más de 100 personas (Inda,2000).

Teniendo en cuenta que, se puede aprovechar ese componente proteico y si nos enfocamos en las propiedades funcionales desde el punto de vista tecnológico, la proteína es la fracción más versátil e importante de los componentes del lactosuero. Esta fracción proteica incluye β -lactoglobulina (β -LG, 40 % a 50 %), α -lactoalbúmina (α -LA, 12 % a 15 %), inmunoglobulinas (IGs, 8 %), albúmina de suero bovino (BSA, 5 %; por sus siglas en inglés: Bovine Serum Albumin), lactoferrina (Lf, 1 %), lactoperoxidasa (0.5 %), fracción proteasapeptona (12 %) y el glicomacropéptido (GMP, 12 %) (smithers,2008; Yadav y col.,2015).

Las proteínas ayudan a fortalecer el cuerpo de los seres vivos, ya sea en los huesos, músculos y/o la piel. Normalmente se obtienen proteínas de las carnes, los frutos secos, guisantes y/o granos. En el lactosuero las proteínas se pueden involucrar en bebidas, comidas con alto valor energético y esto se logra gracias a -LG, α -LA y BSA.

Adicionalmente el lactosuero tiene un alto contenido de lactosa también conocida con edulcorantes, abriendo una gran puerta a procesos de productos en la industria de la panadería, confitería, postres etc. Teniendo en cuenta lo anterior se ha avanzado en esta dirección tratando de aprovechar los componentes del lactosuero, con una tecnología llamada (cracking), este proceso consiste en una partición de las membranas para aprovechar las proteínas (Ramírez Navas, 2011).

Ahora, si se analiza el potencial del procesamiento de las proteínas se pueden obtener derivados del suero como: lactosuero en polvo; aislados proteicos de suero (Whey Protein Isolates-WPI); proteínas concentradas de suero (Whey Protein Concentrates-WPC) suero deslactosado; suero reducido en lactosa (Reduced Lactose Whey - RLW); suero desmineralizado y deslactosado; lactalbumina; suero permeado (Whey Permeate - WP); lactosa en polvo, entre otros (Ramírez Navas, 2011). Todo esto se traduce en alimentos como postres, helados, jugos, panificados, medicinas, dulces, lácteos, cárnicos entre otros.

Al procesar las proteínas de forma cuidadosa se obtienen beneficios, pero es importante considerar los sabores, ya que, en algunos casos puede ser una limitante al incorporarlo a los alimentos, que se puede controlar por medio de técnicas para texturizar los productos con WPC (Whey Protein Concentrates-WPC).

Tabla 2.*Composición Nutricional para cada 100 gr de Leche*

Composición nutricional	100 gr de suero de leche
Calorías	27 kcals
Carbohidratos	4 g
Proteínas	1 g
Grasas	0 g
Fibras	0 g
Calcio	104 mg
Fósforo	83,3 mg

Nota. Esta tabla muestra la composición nutricional para cada 100 gr de leche.

Fuente: Suero de leche: qué es, para qué sirve y cómo usarlo para ganar masa muscular (Leal, 2024)

La composición nutricional del lactosuero puede variar considerablemente dependiendo de las características de la leche utilizada para la elaboración del queso, el tipo de queso producido y del proceso de tecnología empleado en la elaboración del queso (Leal, 2024) .

Tipos de Suero**Suero Dulce**

Se produce a partir de la acción enzimática y contiene más lactosa (Leal, 2024). Los sueros dulces se obtienen normalmente a partir de la fabricación de quesos duros. Basado en la coagulación por la renina a pH 6,5 (Salazar et al., 2016) . Según Mena, el lactosuero dulce proviene de la manufactura de queso o caseína de leche por la acción de enzimas de cuajo, con una acción relativamente pequeña o sin desarrollo de acidez, con un pH mínimo de 5.6 (Williams Mena, 2022) Según otros autores como Revelo Cadena, dice que el Ph es mayor a 5.8 y contiene calcio e pequeñas cantidades (Revelo Cadena, 1998) .

Suero Ácido

Aquel que se obtiene por acción ácida, con mayor concentración de proteínas (Leal, 2024). Los sueros ácidos se producen a partir de la elaboración de quesos blandos de tipo fresco con mayor concentración de minerales. Resulta del proceso de fermentación o adición de ácidos orgánicos o ácidos minerales para coagular la caseína...(Salazar et al., 2016). Según Mena, el suero ácido tiene un máximo de pH de 5.1 (Williams Mena, 2022). Autores como Revelo Cadena mencionan que el contenido de lactosa se reduce a causa de la fermentación láctica y por eso su pH es menor a 5.0 (Revelo Cadena, 1998).

Tabla 3.

Composición del Suero Dulce y Ácido

Componente (%)	Suero dulce	Suero ácido
Lactosa	4.9	4.4
Proteína (Nx 6,38)	0.8	0.7
Minerales	0.5	0.8
Grasa	0.2	0.5
Agua	93.4	93.6

Nota: Esta tabla muestra la composición del suero dulce y ácido Fuente: ajustada

por el autor. Efecto del flujo de alimentación sobre la ultrafiltración del suero pasteurizado de queso (Andrade Laborde, 1999)

Problemática Ambiental de la Gestión del Lactosuero

Las aguas residuales con lactosuero son un desafío cotidiano para la industria láctea, su alto contenido de carga orgánica y de nutrientes como nitrógeno y fósforo, son residuos que, si no se tratan adecuadamente, pueden causar serios problemas ambientales, incluyendo la eutrofización de cuerpos de agua, la contaminación del suelo y la emisión de gases de efecto invernadero. Además, el alto contenido de sólidos disueltos y suspendidos, junto con la presencia

de grasas y aceites, complican aún más los procesos de tratamiento (Stasinakis et al., 2022). Las aguas residuales provenientes del procesamiento de la leche pueden dividirse en dos grupos, el primero engloba a las aguas residuales obtenidas del proceso y el segundo, a las que provienen de la transformación de la leche en queso, o algún otro producto (Prakash Kushwaha et al., 2011).

Esto hace que las corrientes hídricas y suelos, se recarguen de proteínas, caseína, lactosa, cloruros, sales minerales, adicionalmente altos contenidos de materia orgánica en la sustancia láctica haciendo que se consuman grandes cantidades de oxígeno tratando de realizar la degradación de la misma.

Teniendo en cuenta lo anterior, las características de los efluentes lácteos pueden variar significativamente, dependiendo de los productos finales, el tipo de sistema y los métodos de operación utilizados en la planta de fabricación (Carvalho et al., 2013). Las proteínas y la lactosa se transforman en contaminantes cuando el líquido es arrojado al ambiente sin ningún tipo de tratamiento (Valencia & Ramírez Castillo, 2009), aquí radica la importancia de los cultivos de cianobacterias, estos cultivos deben tener ciertas condiciones especiales (espectros de luz, temperatura, fotoperiodos, intensidad de la luz, agitación, entre otros) para que se logre la producción de microalgas en los mismos. Se han realizado en el mundo estudios de los cultivos de cianobacterias en los sueros de quesería con el objetivo de evitar su eliminación en el medio ambiente ya que afecta física y químicamente la estructura del suelo disminuyendo el rendimiento de los cultivos agrícolas y cuando se desecha en el agua, reduce la vida acuática al reducir el oxígeno disuelto (Guerra Araujo et al., 2013).

Retomando la investigación de Carvalho dice que los efluentes de queso exhiben valores de DQO en el intervalo de 0,8 a 102 g L⁻¹ y valores de DBO en el rango de 0,6 a 60 g L⁻¹,

lo que conduce a un alto consumo de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua. El contenido de lactosa y grasas puede considerarse como el principal responsable de la DQO y la DBO. Con su muy alta concentración de materia orgánica, estos efluentes pueden crear serios problemas de carga orgánica en los sistemas municipales de tratamiento de aguas residuales locales (Carvalho et al., 2013).

Los efluentes lácteos muestran una carga orgánica relativamente alta, monitoreada por DBO (demanda biológica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno) en el rango de 0,1 a 100 kg m⁻³ con un índice de biodegradabilidad (DBO_5 / DQO) normalmente en el rango de 0,4 a 0,8. El contenido de materia orgánica se debe principalmente a la presencia de carbohidratos de la leche y proteínas como la lactosa y caseína, respectivamente. Además, el contenido de grasa (0,1–10,6 kg m⁻³), sólidos suspendidos (0,1–22 kg m⁻³) y nutrientes (N y P) también contribuyen a los niveles de contaminación. La naturaleza cambiante de los efluentes lácteos hace que el tratamiento sea una tarea difícil. Sin un tratamiento adecuado, estos efluentes plantean graves riesgos ambientales (Prazeres et al., 2012).

Se ha trabajado en la depuración de estas aguas con la implementación de tecnologías de tratamiento avanzadas, como la digestión anaerobia, que no solo ayuda a reducir los impactos ambientales, sino que también ofrece la posibilidad de recuperar energía y nutrientes valiosos. Algunas cifras son alarmantes como 100 L de suero tienen una fuerza de contaminación equivalente al agua residual de 45 personas (Williams Mena, 2022).

¿Qué es la Acuicultura?

La acuicultura es un cultivo y producción de organismos acuáticos, propiciado por los humanos a fin de aumentar la producción de especies acuáticas, ya sea en agua dulce o agua salada. Su cuidado, protección y alimentación está bajo su responsabilidad. ha emergido como

una solución prometedora para abordar la creciente demanda global de productos del mar. Este enfoque permite la producción sostenible de alimentos acuáticos, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y la economía global. La acuicultura también desempeña un papel crucial en la conservación ambiental, ya que las especies cultivadas pueden ayudar a mantener limpios los cuerpos de agua y restaurar los hábitats acuáticos dañados.

En este campo se deben tener en cuenta factores como el abastecimiento para engorda que se ha empleado dependiendo de las especies que se están cultivando. En vista de esto se ha planteado la opción de sustituir el alimento por alimento vivo como lo son las microalgas entre otros (Voltolina et al., 2000).

En razón a la producción a gran escala de residuos que se depositan en las aguas de forma incontrolada han nacido varias propuestas encaminadas a mitigar esta problemática, a través del tratamiento de aguas residuales como una fuente alternativa para el riego de cultivos (Akao et al., 2021).

Los beneficios de la acuicultura son amplios e incluyen la generación de empleo en comunidades costeras y rurales, la diversificación de la economía local y la reducción de la presión sobre las poblaciones silvestres de peces. Sin embargo, la acuicultura también enfrenta numerosos desafíos. Entre ellos, la gestión de enfermedades y parásitos, la sostenibilidad de las prácticas de alimentación y la mitigación de los impactos ambientales (Hallerman et al., 2022).

Además, la acuicultura requiere una infraestructura significativa y un manejo adecuado de los recursos hídricos, lo que puede ser costoso y complejo. El avance de la acuicultura depende de la innovación y la adopción de nuevas tecnologías. La implementación de sistemas de recirculación de acuicultura (RAS) y el uso de herramientas genéticas avanzadas han mejorado la eficiencia y sostenibilidad de los cultivos acuáticos (Hallerman et al., 2022).

La acuicultura ha venido marcado un proceso que ha generado una gran acogida incrementándose por sus grandes ventajas de reproducción no solo de peces sino de diferentes especies que hoy por hoy se comercializan, repercutiendo en grandes trazas de contaminación orgánica, debido a la falta de técnicas para realizar los procesos, al uso incontrolado de alimento y la producción masiva de residuos que se liberan sin previo tratamiento(Alonso Fernández et al., 2023), sin mencionar los residuos plásticos que también afectan al ecosistema contaminando y acabando con las especies.

Tipos de Acuicultura

Acuicultura Rural

Definida como el cultivo de organismos acuáticos por parte de grupos familiares mediante sistemas de cría extensivos o semi-intensivos, para el autoconsumo o comercialización parcial (Durán et al., n.d.).

Según Meyer la acuicultura puede ser clasificada en tres grupos:

- Cultivos extensivos: consiste simplemente en sembrar los organismos, esperar un tiempo indefinido mientras crecen y luego cosecharlos. Normalmente las producciones en los cultivos extensivos no sobrepasan los 1500 kg/ha/año (Meyer, 2004).
- Cultivos intensivos: requieren más manejo y cuidado. Son cultivos manejados intensivamente con mucha tecnología. Los organismos son sembrados a alta densidad con el fin de alcanzar la máxima producción posible por unidad de agua. Típicamente son monocultivos y se emplean alimentos concentrados especiales y costosos. Para que los organismos puedan lograr un rápido crecimiento y para evitar problemas de contaminación y niveles bajos de oxígeno, se renueva continuamente el agua del cultivo y se instalan sistemas de

aereación artificial en las unidades de producción. La producción de peces y camarones en cultivos intensivos son mayores de 3000 kg/ha/año y pueden alcanzar niveles superiores a los 200,000 kg/ha/año o más!(Meyer, 2004).

Cultivo semi-intensivo: cultivos con producciones entre 1500 y 3000 kg/ha/año A este nivel de producción, el manejo del cultivo incluye usar una densidad de siembra moderada, el uso de fertilizantes y posiblemente de algún alimento. Hay más control de la población de animales y monitoreo de la calidad del agua, en comparación con los cultivos extensivos, pero menos de los intensivos. El propósito de los cultivos semi-intensivos es introducción incrementar el nivel de producción sin provocar perturbaciones importantes en la calidad del agua (Meyer, 2004).

Acuicultura de acuerdo las condiciones socio-económicas de las comunidades que practican acuicultura

Acuicultura de los más pobres: definida por costos y producción más bajos, es un tipo de acuicultura de subsistencia, pero también para los que comercializan mínimas cantidades (vecinos, pequeños mercados, granjas cercanas etc.) (Durán et al., n.d.).

Acuicultura de los menos pobres: donde los costos y la producción pueden ser bajos o medianos, la comunidad tiene cierta solvencia económica y capacidad empresarial, está ligada a otras actividades agropecuarias y se analizan los costos / beneficios, buscando rentabilidad. La mayor parte de la producción se comercializa (Durán et al., n.d.).

Recursos Acuáticos para la Acuicultura

Acuicultura Marina (agua salada)(Acuicultura en España, 2020).

Instalaciones:

- Viveros: estructuras semirrígidas que se encargan de dar soporte y flotación a bolsas que están hechas con redes. En ellas se alimentan y engordan las especies acuícolas, especialmente peces.
- Bateas: a través de estructuras flotantes. Cuentan con una plataforma en la que cuelgan cuerdas de cultivo, cestas y otros dispositivos.
- Long-Lines: constan de una línea madre, de la que cuelgan a su vez otras boyas y cuerdas de cultivo donde se colocan las cestas, semillas u otros dispositivos.
- Cultivo vertical: “bahías o ensenadas” o de “mar abierto”, pero no se pueden catalogar como Lon-Lines por usar otras tecnologías de cultivo o por tener objetivos diferentes a ellas.

Acuicultura continental (agua dulce)(Acuicultura en España, 2020).

Instalaciones:

- Tanques de tierra firme: tanques para el depósito, almacenamiento, circulación y depuración
- Otras instalaciones de tierra firme: espacios de cuarentena, fotobiorreactores, espacios de investigación.
- Parques de cultivo
- Estanques de tierra: se excava el terreno y se controla la entrada y salida del agua.
- Cultivo horizontal.

Problemática de las Aguas Residuales del Efluente de la Acuicultura.

La acuicultura, aunque representa una solución crucial para la creciente demanda de productos pesqueros y la reducción de la presión sobre las poblaciones de peces silvestres, enfrenta múltiples desafíos ambientales y socioeconómicos (FAO, 2020). Entre los principales problemas se encuentran la contaminación del agua por nutrientes y químicos, la propagación de enfermedades y parásitos, y la introducción de especies exóticas que pueden afectar negativamente a los ecosistemas locales (Naylor et al., 2021). Además, la acuicultura intensiva puede llevar a la degradación de hábitats críticos, como los manglares y las marismas, y contribuye a la sobreexplotación de recursos naturales, como los piensos a base de pescado. Por otro lado, el desarrollo sostenible de la acuicultura requiere la implementación de prácticas y tecnologías que minimicen estos impactos, fomentando una producción más responsable y equilibrada con el medio ambiente (Duarte et al., 2009).

La acuicultura intensiva es una de las actividades productivas que cada vez toma mayor auge en la seguridad alimentaria, lo cual genera mayores riesgos de impacto ambiental (Alonso Fernández et al., 2023). Por lo tanto, la situación actual de las aguas residuales en la acuicultura es un tema de creciente preocupación debido a los impactos ambientales significativos que pueden generar (G.J et al., 2015). Las aguas residuales de las instalaciones acuícolas, que incluyen excrementos de peces, restos de alimentos no consumidos, productos químicos y antibióticos, pueden provocar la eutrofización de cuerpos de agua receptores, alterando los ecosistemas acuáticos y afectando la calidad del agua (Badiola et al., 2018).

Estudios recientes han mostrado que la gestión inadecuada de estas aguas residuales puede llevar a la proliferación de algas nocivas y a la hipoxia en ambientes acuáticos, afectando tanto a las especies silvestres como a las cultivadas. (Henares et al., 2016). Además,

las normativas y prácticas de gestión varían considerablemente entre regiones y países, lo que complica la implementación de soluciones estandarizadas y efectivas. En algunas regiones, se están desarrollando y aplicando tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas residuales en la acuicultura, tales como sistemas de recirculación y biofiltros, que buscan reducir la carga de nutrientes y contaminantes antes de que el agua sea descargada al medio ambiente (Bostock et al., 2010).

A pesar de sus beneficios, la acuicultura enfrenta retos importantes dado que cada día se incrementan las preocupaciones ambientales ya sea por la contaminación del agua por efluentes, la destrucción de hábitats y la propagación de enfermedades. Los trabajos en acuicultura cargan las aguas de nutrientes, químicos entre otros, repercutiendo negativamente a los ecosistemas de su entorno. Paralelamente se presentan todo tipo de problemáticas generadas como un daño colateral, eso es problemas sociales, como el desplazamiento de comunidades locales, pobreza, desigualdad y violencia.

Aunado a lo anterior esta la presión de las empresas, industrias por su demanda sobre los peces o productos del mar generados por la acuicultura, entonces se genera una preocupación más ya que se involucra una problemática de sostenibilidad. Con base en esto se hace de vital importancia la regulación ante esta situación para ejercer un control sobre la práctica y mitigar los efectos negativos de este ejercicio y poder garantizar o propender por un entorno ambientalmente equilibrado y sano.

Pensar y repensar el futuro, y poder realizar prácticas exitosas en la acuicultura no solo dependerá de la cooperación entre entes gubernamentales, organizaciones ambientales, comunidades, empresas, particulares sino en general de toda una sociedad involucrada con la acuicultura dispuesta a aunar esfuerzos en una sola dirección. Para esto será necesario

apalancarse en la tecnología ya sea de alimentos contemplando varias opciones como alternativas a base de plantas, insectos, para tratar de reducir la dependencia de los peces silvestres.

Se ha avanzado en varios frentes dentro de los cuales la biotecnología ha aportado en la resistencia a las enfermedades, las tasas de crecimiento en las especies cultivadas, logrando controlar más las especies y sus cultivos. Siempre el trabajo en equipo va a aportar a la aplicación de normativas, políticas, en donde los productores o poseedores de industria en la acuicultura deben realizar su mayor esfuerzo para plantear y ejecutar estrategias de gestión que equilibren los objetivos de producción con la preservación del medio ambiente.

La integración de la acuicultura con otros sectores como la agricultura y las energías renovables puede crear sinergias que mejoren la sostenibilidad general. El éxito de la acuicultura en contribuir a la seguridad alimentaria global dependerá de su capacidad para adaptarse a las

¿Qué son las Microalgas?

Las microalgas son microorganismos que contienen clorofila y otros pigmentos fotosintéticos, unicelulares capaces de realizar fotosíntesis oxigénica (Gómez Luna, 2007), son plantas primitivas (talofitas) es decir carecen de raíces, tallos y hojas (Brennan 2010). Están agrupadas las cianobacterias (*Chloroxybacteria*) conocidas como algas verdeazuladas y las algas eucarióticas, algas verdes (*Chlorophyta*), rojas (*Rhodophyta*) y doradas (Ruiz Martínez, 2011). Las microalgas siempre han convivido en el planeta ya que hicieron parte de los primeros organismos gracias a la fotosíntesis (Salgado Rivera Juanita¹, Barona Duque Kerynd¹, Guzmán Jojoa David M¹, Álvarez Aldana Adalucy.).

Las microalgas son organismos fotoautótrofos, es decir reciben la energía del sol y se desarrollan a partir de la energía orgánica, tienen requisitos de crecimiento simples (luz,

azúcares. CO₂, N, P y K. que pueden producir lípidos, proteínas y carbohidratos en grandes cantidades en cortos periodos de tiempo (Brennan & Owend, 2010).

Usos de las Microalgas

Las microalgas son utilizadas en los procesos de biorremediación y dentro de las cepas más comunes están: *Scenedesmus* sp, *Espirulina* sp, *Chlorella* sp, *Tetraselmis* sp, y *Pseudochlorella* sp. (Jácome Pilco et al., 2021) . Así mismo las microalgas poseen una capacidad fitorremediadora que consiste en la eliminación o biotransformación de contaminantes de un medio líquido o gaseoso (Hernández-Pérez & Labbé, 2014). En los tratamientos de aguas residuales se ha venido empleando biotecnología basada en el uso de microalgas con resultados exitosos ya que se pueden obtener compuestos químicos de valor añadido y biocombustibles.

Para que sea exitoso el uso de microalgas en la producción de productos agregados es importante evaluar el coste, la competitividad del producto y prioritariamente el beneficio ambiental. Posteriormente se avalúan beneficios como producción continua, demanda y ganancia. De igual forma es importante establecer el uso de concentraciones de nutrientes optimizadas, condiciones de cultivo que aumentan el rendimiento, la densidad celular y la productividad de lípidos (Puja Tandon, 2017).

La Producción de las Microalgas

La producción de las microalgas se divide en (ruiz martínez, 2011):

- Fotoautótrofa: las algas obtienen la energía del Sol y el carbono de compuestos inorgánicos (sales).
- Fotoheterótrofa: obtienen la energía del Sol y emplean compuestos orgánicos como fuente de carbono.

- **Mixotrófica:** muchas algas son capaces de crecer bajo procesos tanto autótrofos como heterótrofos, de manera que la fuente de energía es tanto la luz como la materia orgánica. El carbono lo obtienen por tanto de compuestos orgánicos y de CO₂.
- Algunas de estas algas son la *Spirulina platensis* o la *Chlamydomonas reinhardtii*.
- **Heterótrofa:** los compuestos orgánicos proporcionan tanto la energía como la fuente de carbono. Es decir, existen en efecto algas que pueden desarrollarse bajo ausencia de luz, como por ejemplo *Chlorella protothecoides*.

Clasificación de las Microalgas

Tabla 4.

Clasificación de las Microalgas

Tipo de alga	Características Microalgas
Filo-pirrofitas (dinoflagelados)	En su mayoría son unicelulares, que tienen dos flagelos de longitud distinta. La célula se encuentra desnuda o va provista de una cubierta más o menos dura. Presentan forma de vida parasitaria o depredativa
Filo-crisófitas	Conocidas como algas amarillas, son organismos unicelulares o pluricelulares que se reúnen en colonias. Su característica principal es la presencia de cromatóforos con pigmentos de color amarillo que les confieren un aspecto dorado. Son de morfología variable con flagelos y sin ellos y en algunos casos se mueven por rizópodos. Siempre se reproducen vegetativamente
Filo-euglenófitas	Algas de estructura muy sencilla, cuya característica más significativa es la presencia de una mancha de pigmento fotosensible. Disponen de uno o dos flagelos, lo que les permite cambiar su forma y se multiplican por división longitudinal
Filo-bacilariofitas (diatomáceas)	Son las conocidas diatomeas. Son formas solitarias que forman colonias estrelladas

Cianofíceas	Conocidas como algas verde-azules (cianobacterias), son un tipo de bacterias fotosintetizadoras. Pueden resistir condiciones extremas de salinidad, temperatura y pH, porque producen envolturas mucilaginosas que las aíslan del medio ambiente externo cuando ocurren cambios bruscos
--------------------	---

Nota: esta tabla muestra la clasificación de las microalgas. Autor: “Las algas y sus usos en la agricultura. Una Visión actualizada. (Garrido Benavent, n.d.).

Medios de Cultivo

Los medios de cultivo deben cumplir con ciertas especificaciones, con diferentes posibilidades como son con fuente de carbono disponible, agua tomada del origen del alga esterilizada con adición de bicarbonato como fuente de carbono. Asociada a esta elección se debe elegir la especie a cultivar, que depende de lo que se desee brindar a la biomasa resultante bien sea pigmentos o alimento (Hernández-Pérez & Labbé, 2014).

En comparación con otros sistemas de tratamientos de aguas, los cultivos de microalgas son considerados una tecnología de mediana complejidad, con desarrollo en escala de plantas pilotos (European Commission, 2024).

Sistemas de Cultivo de Microalgas

Los sistemas de cultivo de microalgas son abiertos y cerrados:

Sistemas de cultivo abiertos: son estanques de fácil construcción, raceways al aire libre de poca profundidad (aprox 0,25 a 0,4m) que utilizan CO₂ y la luz solar cubre todo el cultivo, disponen de paletas rotatorias, que hacen evitar su sedimentación. La ventaja de los sistemas de cultivo abierto son la facilidad de la operación, su bajo costo y alta durabilidad. En este sistema de cultivo existen desventajas como lo es que las células tienen poca luz, y necesitan de terrenos extensos, y tienen baja productividad por unidad de área, están expuestos a los contaminantes

(facilidad de contaminación biológica). Se podrían citar de este tipo los tanques naturales como lagunas o estanques artificiales (Montoya, 2021).

Sistemas de cultivo cerrados: al realizarse por medio de reactores cerrados fitoreactores tienen mayor eficiencia en la utilización de fuente de carbono natural que reduce niveles de contaminación (Montoya, 2021). Esta eficiencia está ligada a su forma, pueden ser tubulares o de placas planas, que permiten el control de las condiciones del cultivo, tales como la inyección de dióxido de carbono, tasa de aireación. (Fernandez Salgueiro, 2018). Los cultivos cerrados tienen una mayor productividad y tienen una ventaja que necesitan menos espacio que los abiertos y disminuyen los costes de recolección de biomasa generada (Ruiz Martínez, 2011).

El Cultivo de Microalgas

El cultivo de microalgas ha sido en los últimos años objeto de interés por ser una posibilidad de combatir el efecto invernadero, para la obtención de bioproductos con valor añadido, como una alternativa de producción de biocombustibles y tratamiento de aguas residuales. Tienen la capacidad de ser una fuente de fijación del CO₂ y convertirlo en biomasa vía fotosíntesis a una velocidad más a la que los cultivos convencionales. (Montes et al., 2014).

La siembra de microalgas inició en el año de 1890, con ensayos realizados en agua dulce de la especie *Chlorella vulgaris* (De Silva et al., n.d.), con la iniciativa del microbiólogo Beijerinck de nacionalidad holandesa. Luego en 1919 se realizó un laboratorio de cultivos de *Chlorella*, concluyendo que bajo condiciones adecuadas y con alta intensidad de luz, que la producción era mucho mejor.

En el año de 1957, en países como Alemania, Japón y Checoslovaquia, se destacaron investigadores como Tamiya por sus aportes en los cultivos de microalgas, en este mismo año William Oswald, trabajó sobre “La fijación de nutrientes y la captura de energía solar por

microalgas”, investigación por la cual la Sociedad Estadounidense de ingenieros Civiles le otorgó la Medalla de Rudolf Hering y la medalla de Croes en 1957. Este trabajo fue el pionero de muchos por Oswald, quien realizó innumerables aportes en el campo de las microalgas y a través de sus investigaciones hizo de las microalgas un método para el tratamiento de aguas residuales y producción de proteína en la década de los 50.

La historia ha marcado el camino frente al cultivo de microalgas, gracias a los hallazgos de Tamiya y Oswald. Las microalgas se han utilizado desde épocas legendarias en alimentos caseros, en muchos países (Mongolia, china, Thailandia, México, Vietnam, India, Israel, Estados Unidos, Perú...), cepas como la Spirulina, Phylloderma sacrum, Nostoc verrucosum, las usaban en alimentos caseros, biscochos gracias a su alto contenido de proteína.

Para los años 60, las investigaciones ya abarcaban la utilización de Spirulina y Chlorella en dietas humanas, así mismo con especies de agua dulce. Luego en los años siguientes a raíz de estas investigaciones se dio un impulso en los cultivos de diferentes cepas y al llegar la década de los 80, el interés en las microalgas crece en América del Sur y Centro América, en países como Chile, Cuba y Perú, ya que a lo largo de estos años se han conocido muchas más aplicaciones y usos de las microalgas.

Para los años 90's, el interés era mundial, el tema de las microalgas se trató en Ginebra, suiza, durante la asamblea de las naciones unidas, en donde para combatir el hambre y la malnutrición lo consideran con el proyecto de la organización IIMSAM- Intergubernamental Institución for the Use of Micro- Algae Spirulina Against Malnutrition.

Se evidencian grandes avances en los últimos años como producción de biomasa, con diferentes propósitos, la tecnología para los diferentes procesos empieza a intervenir con fotobiorreactores y se les da un lugar importante a las aplicaciones de las microalgas en los

diferentes campos ya mencionados y en otros como la producción de energía, obtención de biocombustibles y se incursiona en medios como nutrición, salud, acuicultura, cosméticos y biofertilizantes.

Ventajas del Cultivo de Microalgas

Las microalgas tienen una gran ventaja, que es la producción continua, es decir se producen sin problema en cualquier época del año con excelentes rendimientos superando los rendimientos de los mejores cultivos de semillas oleaginosas, necesitan menor cantidad de agua, se pueden cultivar en aguas salobres en tierras no cultivables, no incurren en cambios de uso de tierra minimizando los impactos ambientales asociados (Brennan & Owend, 2010). Las microalgas poseen una capacidad fito-remediadora que consiste en la eliminación o transformación de contaminantes de un medio líquido o gaseoso. Así mismo proporciona una amplia gama de productos biotecnológicos con usos en la industria alimenticia, salud y medicina humana, alimentación animal, compuestos orgánicos y biocombustibles (Hernández-Pérez & Labbé, 2014).

El cultivo de microalgas se caracteriza por emplear la energía solar a fin de producir materia orgánica, esto se debe a que el cultivo se caracteriza por ser un sistema biológico, que tiene un crecimiento acelerado que hacen que crezcan más rápido que las terrestres, por esta razón se obtienen mayores rendimientos en la producción. En la producción intervienen aspectos que determinan el futuro del cultivo, la composición bioquímica puede modificarse fácilmente variando las condiciones ambientales y/o composición del medio de cultivo (Gómez Luna, 2007).

El Cultivo de Microalgas y las Aguas Residuales

La economía circular, incluye medidas que ayudarán a estimular la transición de la unión

hacia una economía circular mediante más *reciclaje y reutilización*, un impulso a la competitividad general, el fomento del crecimiento económico sostenible y la creación de nuevos empleos. Todo esto ralentizaría el uso de los recursos naturales, reducirán la alteración del paisaje y el hábitat y ayudaran a limitar la pérdida de biodiversidad.(Parlamento Europeo, 2023).

En el entendido de la economía circular, las microalgas en la depuración de aguas residuales hoy por hoy desempeñan un papel muy importante ya que son una forma amigable con el medio ambiente que a través de la energía solar capturan CO₂ transformando los contaminantes en diferentes compuestos. Se basa en la acción de las bacterias para eliminar materia orgánica, esto se traduce en sistemas de depuración sostenibles que se integran en la “Economía Circular”, es decir a través de estos procesos se logran obtener valores añadidos producto de los residuos y/ contaminantes.

Las microalgas tienen la capacidad de recuperar los nutrientes del agua residual, utilizando el carbono, el nitrógeno y el fósforo para reproducirse y generar no solo biomasa sino dar la posibilidad de que el agua que ha sido usada vuelva a su origen natural de una manera aceptable, dicho esto se ha acrecentado el interés a nivel mundial en el cultivo de microalgas con fines energéticos, unido a la necesidad de disponer de tecnologías de tratamiento de aguas residuales medioambientalmente más sostenibles, ha hecho de los procesos de tratamiento de aguas residuales mediante microalgas una alternativa prometedora desde el punto de vista económico y ambiental frente a sus homólogos aerobios y anaerobios

Es así como el cultivo de microalgas en aguas residuales se presenta como una solución sostenible que permite el tratamiento de efluentes contaminados mientras se produce biomasa valiosa. Las microalgas tienen la capacidad de absorber nutrientes como nitrógeno y fósforo, reduciendo así la eutrofización en cuerpos de agua y mejorando la calidad del agua. Además, la

biomasa algal resultante puede ser utilizada para la producción de biocombustibles, biofertilizantes y otros productos biotecnológicos, contribuyendo a una economía circular y sostenible.

Los principales desafíos en el cultivo de microalgas en aguas residuales incluyen la variabilidad en la composición de las aguas residuales y la necesidad de sistemas de cultivo eficientes que maximicen la productividad de las algas. Factores como la luz, la temperatura y la concentración de nutrientes deben ser cuidadosamente controlados para optimizar el crecimiento algal. Sin embargo, las ventajas ambientales y económicas de este enfoque, como la reducción de costos operativos y la mitigación del cambio climático, lo hacen una opción atractiva para la gestión de aguas residuales y la producción sostenible de biomasa (Posadas et al., 2017).

Casos de los Estudios más Relevantes sobre el Cultivo de Microalgas en Aguas Residuales Subproducto de la Industria Láctea (lactosuero) y la Acuicultura

Experiencias Sobre el Cultivo de Microalgas en Aguas Residuales con Lactosuero

El cultivo de microalgas empleando aguas residuales de lactosuero representa una estrategia innovadora y sostenible para la biorremediación y producción de biomasa valiosa. El lactosuero, un subproducto de la industria láctea, es rico en nutrientes como nitrógeno y fósforo, que son esenciales para el crecimiento de las microalgas. (Zhu et al., 2018). Al aprovechar este recurso, se pueden mitigar los problemas ambientales asociados con la disposición de lactosuero y al mismo tiempo generar productos de alto valor como biocombustibles, alimentos y compuestos bioactivos (Markou & Georgakakis, 2011). Diversos estudios han demostrado la viabilidad de esta técnica, destacando su potencial para reducir la carga contaminante de las aguas residuales mientras se obtiene una biomasa de microalgas con múltiples aplicaciones industriales (García et al., 2018).

A continuación, se darán a conocer algunas investigaciones del cultivo de microalgas en aguas residuales del lactosuero:

Tratamiento de Lactosuero por Cavitación Hidrodinámica Posterior Precipitación Química y Subsecuente uso para Cultivo de Microalgas (*Chlorella vulgaris*) en un biorreactor tipo raceway.

Arenas, R. Y. (2023).

Este estudio aborda el tratamiento del lactosuero a través de la cavitación hidrodinámica, la cual genera implosiones que pueden desestabilizar moléculas del lactosuero a fin de mejorar la precipitación química del mismo. Para esto se debe pasar por diferentes etapas, entre las cuales

están la modificación de pH, uso de diferentes concentraciones de lactosuero, para finalmente facilitar el cultivo de microalgas en el biorreactor raceway continuo, obteniendo muy buenos resultados dentro de los cuales se destaca la aceleración de la precipitación química de los componentes del lactosuero.

Características más importantes del estudio:

- Lactosuero: se obtuvo de la empresa productora de queso ubicada en la región de Puno-Perú.
- Cepa utilizada: "*Chlorella vulgaris*". Banco de microalgas. Disponible en el Laboratorio de Bioprocesos de la Universidad Católica de Santa María (Arequipa, Perú). Cepas cultivadas inicialmente en 250ml de Medio Bold's Basal (BBM) a una temperatura de 25 ° C bajo una luz blanca con iluminación continua a 440 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$ de densidad de flujo de fotones, durante 96h. Posteriormente, se fue añadiendo medio al cultivo BBM hasta obtener 1000 ml de microalgas con una concentración mayor a $1.5 * 10^7 \text{Cell}/\text{ml}$. (Arenas Jarro, 2023).
- T° de transporte y almacenamiento: 4°C.
- DQO (demanda química de oxígeno): para su análisis se empleó el método colorimétrico estándar (reflujo cerrado).
- DNS (azúcares reductores): se empleó el método DNS de Miller.
- Proteínas totales: se empleó el método colorimétrico de Lowry.
- Alcalinidad total, conductividad y turbidez: se usó el multiparámetro (HANNA modelo HI98195).
- Software empleado: ANSYS FLUENT (ANSYS, Inc.EE.), se estableció la presión requerida con datos de tomados de Terán Hilaes et al (2020).
- Precipitación química:

- Precipitación básica: se emplearon los mismos parámetros para: lactosuero sin cavitación, Lactosuero cavitado con placa de 12 orificio, Lactosuero cavitado con el sistema Venturi.
- Se realizó una precipitación alcalina.
- volumen de cavitación: 1000mL.
- pH, ajustado a 8,9,10,11,12 y 13. Usando NaOH de 2N. Para muestra control se usó pH de 4.5.
- Una vez agitada vigorosamente las soluciones, se evaluó la sedimentación de las probetas cada 5 minutos en un periodo de 2 horas
- Finalmente se procedió a los análisis de DQO, DNS, Lowry y el multiparámetro de HANNA modelo HI98195).
- Precipitación ácida:
 - Parámetros empleados en Lactosuero sin cavitación, Lactosuero cavitado con placa de 12 orificio, Lactosuero cavitado con el sistema Venturi.
 - El sobrante se sometió a precipitación ácida a pH4, el mismo ajustado H_2SO_4 2N
 - Probetas de 500mL, evaluando la sedimentación cada 5 minutos por 2 horas.
 - Luego se extrajeron muestras de 50 ml de sobrante y se analizaron los parámetros de DQO, DNS, Lowry y el multiparámetro de HANNA modelo HI98195).

El estudio concluye que, se puede evidenciar que el tratamiento continuo en un raceway a la concentración del 10% fue el más efectivo, ya que se pudo disminuir en un 99.52 % la cantidad de DQO, en un 99.93% los carbohidratos, en un 99.86% las proteínas, en un 75.24% la conductividad, 74.02% los sólidos disueltos y en un 97.60% las sales. (Arenas Jarro, 2023).

Enhancement of Biomass and Lipid Productivities of Scenedesmus sp. Cultivated in the Wastewater of the Dairy Industry

Mercado I, Álvarez x, Verduga M, Cruz A., 2020.

Este estudio habla sobre la capacidad de remoción de nutrientes de la sepa de *Scenedesmus sp*, con resultados muy positivos en la asimilación de nutrientes. El estudio emplea la *Scenedesmus sp*, en aguas residuales provenientes de la industria láctea, utilizándolas como sustrato de cultivo para la producción de metabolitos de interés bioenergético y al mismo tiempo depurarlas (Mercado et al., 2020).

Características del ensayo:

- Sepa: *Scenedesmus sp*. investigación fue obtenida del Banco de microalgas y cepas de cianobacterias del Laboratorio de Biotecnología Microbiana (BiotemLab) de la Universidad de Guayaquil (Guayaquil, Guayas, Ecuador), codificada como RJ 3009(Mercado et al., 2020).
- Luz: se empleó una intensidad de $100,0 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- T°: temperatura de $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
- Fotoperiodo: 12 h luz/ 12 h oscuridad
- Concentración inicial: 10%.
- Se emplearon filtros PTFE: PTFE (politetrafluoroetileno) de $0,22 \mu\text{m}$ (Sigma-Aldrich, Saint Louis, MO, EE. UU.).
- Condiciones de cultivo:
 - T°: 30°C
 - Luz: una intensidad de $100,0 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

- pH: $7,2 \pm 0,2$
- Contenido proteico: evaluado mediante el protocolo de Lowry
- Concentración lipídica: evaluada mediante el método de Bligh Dyer
- Concentración total de nitrógeno: se evaluó mediante una adaptación del método de digestión con persulfato propuesto por D'Elia y Steudler.
- El contenido proteico de la biomasa se determinó mediante el protocolo de Lowry.
- A nivel de caracterización de aguas residuales y eliminación de nutrientes, PO_4^{3-} : se evaluó mediante el método de vanadato-molibdato de Tandon et al.
- El análisis estadístico se realizó se hicieron usando el programa Prism versión 8.3.0. (GraphPad Software, Inc[®], San Diego, CA, EE. UU.)

El cultivo de la *Scenedesmus* sp, en aguas residuales de la industria láctea, arrojó valores de 20%, 27%, y 51% en proteínas, carbohidratos y lípidos en su orden. Los resultados evidencian que la composición de la biomasa se modifica cuando el sustrato actúa como factor de estrés fisiológico ya que tiende a aumentar las concentraciones de lípidos y disminuir el contenido de proteínas (Mercado et al., 2020).

Valorización de Lactosuero para la Obtención de Biomasa de Microalgas y Cianobacterias

E Rojo Gómez - 2022 - repositorio.cinvestav.mx

Este trabajo se desarrolla tomando para su estudio dos microalgas *Stigeoclonium nanum* y *Chlorella vulgaris* y una cianobacteria *Calothrix* sp., se cultivaron en lactosuero a fin de evaluar su capacidad de remover el nitrógeno y el fósforo en el efluente, a su vez evaluar su crecimiento.

Características del estudio:

- Medio de control o medio mineral:
 - *Stigeoclonium nanum* y *Calothrix* sp. se utilizó medio mineral BG-11 (Stanier et al., 1971)
 - *Chlorella vulgaris* se empleó medio BBM (Bold, 1949).
 - DQO: Se determinó por la técnica de Dicromato de Potasio, de acuerdo con la NMXAA-030/1-SCFI-2012. (Medición de La Demanda Química de Oxígeno En Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas, 2012).
 - Nitratos se llevó a cabo de acuerdo con el método de resorcinol descrito por Zhang y Fischer (2006) (Anexo 3). Se realizó una dilución de la muestra de 1:50 (o 0.5:25 mL).
 - El amonio se realizó de acuerdo con el método del Fenato (APHA et al., 2005)
 - El fósforo inorgánico se realizó por el método modificado de Tausky y Shorr (González et al., 2013).
 - Biomasa: análisis cromatográficos, fueron realizados en la Central Analítica del Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del CINVESTAV Unidad Zacatenco.
 - El perfil de pigmentos se realizó siguiendo la metodología de Wellburn (1994). La biomasa de *S. nanum* fue filtrada utilizando una bomba de vacío, tomando una alícuota de 5 mL.
 - Proteínas totales se realizó de acuerdo con la metodología de Lowry et al. (1951).

Los resultados obtenidos mostraron que *Stigeoclonium nanum* fue capaz de utilizar los nutrientes en el lactosuero obteniendo una densidad celular de 0.51 g L⁻¹ y remociones de 99.20% DQO, 60% PO₄, 98.73% NO₃ y 91.01% NH₃. Por su parte, *C. vulgaris* y *Calothrix* sp. no presentaron una diferencia significativa en su crecimiento cuando se cultivaron en medio mineral y lactosuero, sin embargo, lograron reducir en un 68.94% el PO₄ y 94.72% el nitrógeno

amoniaco, respectivamente, sugiriendo a *S. nanum* como candidata para el tratamiento de lactosuero y para la producción de biomasa (Rojo E, 2022).

El lactosuero fue propicio para la acumulación de proteínas y lípidos en la biomasa, el lactosuero promovió la acumulación de astaxantina en *Calothrix* sp., lo que la convierte en una alternativa potencial para la producción de este pigmento (Rojo E, 2022).

Mejora del Cultivo de Microalgas Autóctonas Utilizando Suero de Queso como Medio de Crecimiento para Bioenergía y Producción de Coproductos

*Mohammed Amouri*¹, *Sara Belkhdja*², *Soraya Masrour*², *Fayrouz Kaidi*¹, *Majda Aziza*¹.

Se investiga sobre el uso de lactosuero para mejorar el cultivo de microalgas para bioenergía y coproductos.

Las características de la experiencia son:

- Cepa: *Chlorella vulgaris*
- Medio de crecimiento: lactosuero y BG11/CW
- Cultivos: mixotróficos y autótrofos, Erlenmeyer de 500mL
- Iluminación: continua.), intensidad de luz de 6000 Lux medida en el superficie externa de los matraces utilizando un fotoflujómetro (Modelo Testo 545 GmbH y CO, Alemania)
- pH: medidor Starter3100, corporación OHAUS, EE. UU
- Toma de muestras: cada dos días
- Densidad celular y peso seco: medido con centrifugación a 4000 rpm por 5 minutos.
- T° de secado: 105°C durante 2 h
- Medición de células: cámaras de conteo “Malassez”

Esta cepa, es una importante fuente de bioenergía sostenible y coproductos que pueden contribuir eficientemente a promover la economía circular (Amouri et al., 2023). El mejor medio de cultivo BG11/CW. Se demostró que el modo mixotrofia utilizando el suero de queso es el modo de crecimiento más eficiente para *Chlorella* sp, el fósforo total fue el factor determinante para crecimiento de microalgas bajo cultivo mixotrófico mientras la disponibilidad de carbono no causó diferencias en parámetros cinéticos de crecimiento de microalgas y biomasa final. La degradación de la lactosa en las microalgas está estrechamente relacionada con la capacidad de la cepa para producir β -galactosidasa que permite la hidrólisis de la lactosa a glucosa y galactosa.(Amouri et al., 2023).

Producción de Biomasa en la Fitorremediación de Efluentes de la Industria Láctea

Carolina Conde-Mejía, Karina Aguilar-Arteaga, Antioco López-Molina, David Guerrero-Zárate

El artículo se enfoca en brindar una alternativa de tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, a través de la producción de biomasa con menos recursos hídricos y aprovechamiento de áreas infértiles, para esto se realizará la investigación sobre las microalgas, las cuales tienen diversas aplicaciones.

Características de la investigación:

- Cultivo de algas con doble propósito: generación de biomasa apta para la producción de biocombustibles y la remediación de efluentes agroindustriales.
- Cepa: *Chlorella vulgaris*, *Desmodesmus maximus* y *Planktothrix pseudoagardii*
- 120 h continuas de aireación y luz
- Lactosuero con pH: 6.60

- Tres cultivos:
 - Primero: adaptación al medio con lactosuero
 - Segundo: identificación fases de crecimiento de la biomasa por densidad óptica a 685nm
 - Tercero: para realizar la cosecha de la biomasa en la fase exponencial
 - Evaluación contenida de masa por: Soxhlet
 - Se midieron parámetros de ficorremediación como: DQO, sólidos totales y turbiedad antes y después del cultivo.
 - Consumo de Lactosa, concentración de azúcares totales: fenol-sulfúrico

El estudio concluye que el tiempo de adaptación fue de dos días, a fueron 19.64 mgL⁻¹d⁻¹ y 50.47 mgL⁻¹ d⁻¹. En relación a la ficorremediación, durante 17 días, los parámetros disminuyeron 97.47% de DQO, 50.44% de sólidos totales, 90.40% de turbiedad y 89.00% de lactosa(Mejía et al., 2024).

Se concluye que Cultivar microalgas con lactosuero trae dos beneficios principales, primero un mayor rendimiento de biomasa y macronutrientes y segundo la remediación de efluentes altamente contaminantes. Con la implementación y mejoramiento de esta práctica en países en desarrollo se puede contribuir en el desarrollo de la economía y cuidado del ambiente (Mejía et al., 2024).

Tabla 5.*Cuadro Resumen de las Experiencias del Cultivo de Microalgas en Aguas Residuales de la Industria Láctea*

Título	Autor	Cepas empleadas	Idea principal	Conclusiones
1. Tratamiento de lactosuero por cavitación hidrodinámica posterior precipitación química y subsecuente uso para cultivo de microalgas (<i>Chlorella vulgaris</i>) en un biorreactor tipo raceway.	Arenas, R. Y. (2023).	<i>Chlorella vulgaris</i>	Este estudio aborda el tratamiento del lactosuero a través de la cavitación hidrodinámica, la cual genera implosiones que pueden desestabilizar moléculas del lactosuero a fin de mejorar la precipitación química del mismo. Para esto se debe pasar por diferentes etapas, entre las cuales están la modificación de pH, uso de diferentes concentraciones de lactosuero, para finalmente facilitar el cultivo de microalgas en el biorreactor raceway continuo, obteniendo muy buenos resultados dentro de los cuales se destaca la aceleración de la precipitación química de los componentes del lactosuero	El estudio concluye que, se puede evidenciar que el tratamiento continuo en un raceway a la concentración del 10% fue el más efectivo, ya que se pudo disminuir en un 99.52 % la cantidad de DQO, en un 99.93% los carbohidratos, en un 99.86% las proteínas, en un 75.24% la conductividad, 74.02% los sólidos disueltos y en un 97.60% las sales
2. <i>Enhancement of Biomass and Lipid Productivities of Scenedesmus sp. Cultivated in the Wastewater of the Dairy Industry</i>	Mercado I, Álvarez x, Verduga M, Cruz A., 2020.	<i>Scenedesmus sp</i>	Este estudio habla sobre la capacidad de remoción de nutrientes de la sepa de <i>Scenedesmus sp</i> , con resultados muy positivos en la asimilación de nutrientes. El estudio emplea la <i>Scenedesmus sp</i> , en aguas residuales provenientes de la industria láctea, utilizándolas como sustrato de cultivo para la producción de metabolitos de interés bioenergético y al mismo tiempo depurarlas	El cultivo de la <i>Scenedesmus sp</i> , en aguas residuales de la industria láctea, arrojó valores de 20%, 27%, y 51% en proteínas, carbohidratos y lípidos en su orden. Los resultados evidencian que la composición de la biomasa se modifica cuando el sustrato actúa como factor de estrés fisiológico ya que tiende a aumentar las concentraciones de lípidos y disminuir el contenido de proteína
3. Valorización de lactosuero para la obtención de biomasa de microalgas y cianobacterias	Rojo E. 2022	Microalgas: <i>Stigeoclonium nanum</i> <i>Chlorella vulgaris</i> cianobacteria: <i>Calothrix sp</i>	El trabajo se enfoca en el cultivo de dos microalgas <i>Stigeoclonium nanum</i> y <i>Chlorella vulgaris</i> y una cianobacteria <i>Calothrix sp.</i> , en lactosuero diluido al 40% para evaluar su crecimiento y capacidad para remover el nitrógeno y el fósforo presente en el efluente. La biomasa resultante fue evaluada bioquímica y cromatográficamente.	Los resultados obtenidos mostraron que <i>Stigeoclonium nanum</i> fue capaz de utilizar los nutrientes en el lactosuero obteniendo una densidad celular de 0.51 g L ⁻¹ y remociones de 99.20% DQO, 60% PO ₄ , 98.73% NO ₃ y 91.01% NH ₃ . Por su parte, <i>C. vulgaris</i> y <i>Calothrix sp.</i> no presentaron una diferencia significativa en

				su crecimiento cuando se cultivaron en medio mineral y lactosuero, sin embargo, lograron reducir en un 68.94% el PO ₄ y 94.72% el nitrógeno amoniacal, respectivamente, sugiriendo a <i>S. nanum</i> como candidata para el tratamiento de lactosuero y para la producción de biomasa	
4	Mejora del cultivo de microalgas autóctonas utilizando suero de queso como medio de crecimiento para bioenergía y producción de coproductos	<i>Mohammed Amouri</i> ¹ , <i>Sara Belkhodja</i> ² , <i>Soraya Masrouf</i> ² , <i>Fayrouz Kaidi</i> ¹ , <i>Majda Aziza</i> ¹	<i>Chlorella vulgaris</i>	Se investiga sobre el uso de lactosuero para mejorar el cultivo de microalgas para bioenergía y coproductos.	Se demostró que el modo mixotrofia utilizando el suero de queso es el modo de crecimiento más eficiente para <i>Chlorella</i> sp, el fósforo total fue el factor determinante para crecimiento de microalgas bajo cultivo mixotrófico mientras la disponibilidad de carbono no causó diferencias en parámetros cinéticos de crecimiento de microalgas y biomasa final. La degradación de la lactosa en las microalgas está estrechamente relacionada con la capacidad de la cepa para producir β-galactosidasa que permite la hidrólisis de la lactosa a glucosa y galactosa.(Amouri et al., 2023)
5	Producción de biomasa en la fitorremediación de efluentes de la industria láctea	Carolina Conde-Mejía, Karina Aguilar-Arteaga, Antioco López-Molina, David Guerrero-Zárate		El artículo se enfoca en brindar una alternativa de tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, a través de la producción de biomasa con menos recursos hídricos y aprovechamiento de áreas infértiles son las microalgas, las cuales tienen diversas aplicaciones	Se concluye que Cultivar microalgas con lactosuero trae dos beneficios principales, primero un mayor rendimiento de biomasa y macronutrientes y segundo la remediación de efluentes altamente contaminantes. Con la implementación y mejoramiento de esta práctica en países en desarrollo se puede contribuir en el desarrollo de la economía y cuidado del ambiente (Mejía et al., 2024).

Nota: esta tabla muestra el Cuadro resumen de las experiencias del cultivo de microalgas en aguas residuales de la industria láctea

Experiencias del Cultivo de Microalgas en Aguas Residuales de la Acuicultura

Biorremediación de Aguas Residuales de Acuicultura de Mugil cephalus (Linnaeus, 1758) con Diferentes Especies de Microalgas.

Valeria Andreotti, Anuta Chindris, Gianni Brundu, Dario Vallainc, Mateo Francavilla & Joan García.

El objetivo del estudio es evaluar y comparar la capacidad de *Tetraselmis suecica*, *Isochrysis galbana* y *Dunaliella tertiolecta* ampliamente utilizadas en la acuicultura como alimento para rotíferos, equinodermos, filtradores y peces de aleta, para la eliminación de nutrientes disueltos inorgánicos (nitrógeno y fósforo) de aguas residuales de la acuicultura. La liberación de alta concentraciones de nitrógeno y fósforo, son una razón suficiente para investigar sobre la biorremediación de aguas residuales, para esta investigación se ha enfocado en las aguas residuales de salmonete *Mugil Cephalus*, resaltando la importancia de las microalgas como la principal forma de eliminación de nutrientes. Los autores se enfocan en el estudio de tres especies de microalgas *Tetraselmis suecica*, *Isochrysis galbana* y *Dunaliella tertiolecta*, durante 7 días empleando fotobiorreactores de columna de burbujas completamente mezclados.

Características del ensayo (Andreotti et al., 2017):

- Las aguas residuales de la acuicultura fueron proporcionadas por un criadero de peces experimental ubicado en el Centro Marino Internacional - Fundación IMC (Oristano, Cerdeña, Italia)
- Especies acuícolas empleadas: salmonete mugil
- Criadero con sistema de recirculación acuícola (RAS), compuesto por cuatro tanques de 2000L de volumen, conectados en un solo mecanismo biológico (filtro percolador) y de cartucho

- Filtro UV (10 μ m): suministrado con lámpara UV (UVPE5 80 W) y skimmer de proteínas.
- Temperatura del agua del mar se mantuvo a 23 ± 2 °C (media \pm EE), pH $7,5 \pm 0,1$ y salinidad $37,0 \pm 1,0$ ppt
- Los peces fueron sembrados a una densidad promedio de 0,5g de peso corporal/L
- Verificación de mortalidad: diaria a través del monitoreo
- Renovación del agua: en un 30%, dos veces por semana.
- Inóculos de precultivo: se mantuvieron permanentemente en matraces Erlenmeyer en vidrio Pyrex con una capacidad total de 2 L, cerrado con algodón y recubierto con gasa y aluminio.
- Se emplearon sistemas de control de regulación de temperatura y aireación. T=23°C y Aireación: mediante un soplador a un caudal de 3 l/min
- pH: no se controló. pH= $7,7 \pm 0,2$
- Crecimiento de microalgas: se midió como biomasa en peso seco (DW), una vez al día en 40 ml de muestra de agua previamente filtrada a través de fibra de vidrio Whatman de 0,45 μ m
- Nutrientes: analizados a través de un analizador químico automático μ CHEM, basado en Loop Flow Análisis

Tabla 6.

Resultados Obtenidos del Experimento a los 6 Días de Transcurrido

Microalga	Porcentaje de eliminación		Rendimiento de biomasa	Productividad obtenida
	Nitrógeno inorgánico disuelto (DIN)	Fósforo inorgánico disuelto (DIP)		
Tetraselmis suecica	Más del 90%	Más del 90%	(603 \pm 34 mg/L, media \pm SE)	86,14 \pm 5 mg/L/d
Dunaliella tertiolecta	Más del 90%	Más del 90%		54,26 \pm 5 mg/L/d
Isochrysis galbana	32%	79%		23 \pm 5 mg/L/d

Tomado de: Valeria Andreotti, Anuta Chindris, Gianni Brundu, Dario Vallainc, Mateo Francavilla & Joan García.

El estudio confirma el potencial de la *Tetraselmis suecica*, *Tetraselmis suecica*, a la vez ratifica a la *Dunaliella tertiolecta*, como aptas ya que eliminaron más del 90% de DIN y DIP, después de dos días de tratamiento, a diferencia de la *Isochrysis galbana* que tardó 7 días para eliminar el 91,93% de DIP, sin lograr eliminar DIN en su totalidad, logrando un 66,02%.

Biorremediación de Aguas Residuales de Acuicultura con la microalga Tetraselmis Suecica: Experimentos Semicontínuos, Simulación y Ensayos Fotorespirométricos.

Andreotti V, Solimeno A, Rossi S, Ficara E, Marazzi F, Mezzanotte V, García J.

Características del ensayo (Andreotti et al., 2020):

- Cultivo en fotobiorreactor tubular de operación semicontinua alimentado con aguas residuales de la acuicultura (AW)
- Alimentación: aguas residuales de acuicultura (AW)
- Retención hidráulica (HRT): 10 Y 7 días (RUN_1 y RUN_2) respectivamente.
- Simulador de producción de biomasa: mecanismo integrado BIO_ALGAE
- Pruebas fotorrespirométricas preliminares en la suspensión de AW que contenía microalgas y bacterias.
- Análisis: Nitrógeno inorgánico disuelto DIN y fósforo inorgánico disuelto DIP, para los dos RUN.
- Especie acuícola: *M. cephalus*

Tabla 7.

Especificaciones del Experimento con Tetraselmis Suecica

Microalga	Sólidos suspendidos Totales (SST)		Contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos	
	RUN1	RUN2	RUN1	RUN2
Tetraselmis Suecica	900 mg SST/L	550 mg SST/L	Mayor contenido de proteínas que de lípidos y carbohidratos	

Nota: Esta tabla muestra Especificaciones del experimento con Tetraselmis Suecica

Se concluye que el modelo BIO_ALGAE es útil para simular la biorremediación y la producción de microalgas en aguas residuales de acuicultura en un sistema semicontinuo con diferentes factores ambientales (Andreotti et al., 2020).

Rentabilidad del Uso de Microalgas para Tratar Efluentes de la Piscicultura y Sustituir la Harina de Pescado: Un Estudio de Caso.

Vázquez-Romero, Bárbara a; Villar-Navarro, Elena a; Perales, José Antonio a; Ruiz.

El estudio explica la realización de un cultivo de microalgas autótrofas en efluentes de la acuicultura de la corriente RAS (Sistemas de recirculación de acuicultura). El ensayo se realizó en una piscifactoría en donde se generaba un flujo de residuos de 196m³, se aprovechando estas aguas y después de un tratamiento para ser utilizadas como medio de cultivo para las microalgas. El objetivo central es hacer el análisis de costes del experimento.

En donde OPEX es el costo de consumo de energía, mano de obra y materias primas (productos químicos de limpieza, floculantes y nutrientes), suministros, gastos generales, incluidos costes laboral dependiendo de cada tipo de trabajador y por otro lado el CAPEX, que involucra costes de pretratamiento, producción y harvesting.

Características del ensayo (Vázquez-Romero et al., 2023) :

- Tipo de cultivo: Bloom de microalgas autótrofas de origen natural
- Coste de tratamiento de agua entre 1,37 a 1,47 € m⁻³
- Especie: cultivo piscícola marino
- Municipio de Puerto Real- España, planta CUPIMAR.
- HRAP: 6.000L a una profundidad de 0,3m
- Evaporación diaria: compensada con agua dulce
- Velocidad de cultivo 0,3 m s⁻¹
- Cultivo enriquecido con: 1mg de fósforo
- Seguimiento a la evolución de microalgas con microscopía.
- Temperatura de almacenamiento de la biomasa: 20°C
- Humedad y cenizas: se analizaron con liofilizado (Telstar Cryodos)
- Medición de biomasa: análisis de sólidos suspendidos con filtros de tamaño de poro de 0,45 µm. Se recuperó a través de la centrifuga (GEA Westfalia modelo OTC 2-02.137) con el 97% en promedio.
- Muestras de 10-15 ml por duplicado
- pH y Temperatura: Se midieron empleando el controlador Hach SC200 y un sensor sumergible. El pH se mantuvo constante para la producción continua como discontinua
- Eficiencia de procesamiento de luz (Fv/Fm) o Rendimiento cuántico (QY): analizado 5 días a la semana, con Fluor Pen FP100 (Photon Systems Instrument).
- Reactor bajo operación discontinua en el afluente y efluente
- Análisis de carbonos por triplicado
- TDP y TDN: después de la oxidación
- Carbono orgánico total: para su análisis se empleó el analizador Shimadzu TOC-L

- Análisis de proteínas: realizado a través de digestión ácida con el método Kjeldahl.
- Análisis de lípidos totales: por extracción Soxhlet.
- Análisis de ácidos grasos (AG) y aminoácidos, según literatura de Villar-Navarro.

Conclusiones del ensayo:

El experimento arrojó un resultado de eliminación del 90% de nutrientes.

La concentración de DBO5, estuvo por debajo del límite de descarga, el nitrógeno total tratado en los lotes semicontinuos fue de menor concentración a la exigida por la directiva, el nitrógeno fue removido en un 90%, el contenido de lípidos es más bajo que el observado

Se calculó la inclusión de biomasa en pienso de lenguado, para crear un pienso comercial

Porcentaje máximo de inclusión de microalgas del 21,4%, se reducen el 23% en harina de pescado, el 87% en harina de trigo.

Productos de Alto Valor Añadido Derivados de Microalgas y Perspectivas de las Aguas

Residuales de la Acuicultura como Medio de Crecimiento de Microalgas.

Marianna Dourou, Panagiotis Dritsas, Mohamed N. Baeshen, Ahmed Elazzazy, Ammar Al-Farga and George Aggelis.. FEMS Microbiology Letters, 367, 2020, fnaa081

El artículo da a conocer una opción al tratamiento de las aguas residuales de la acuicultura por medio de la biotecnología. Se destaca la producción de la masa celular, metabolitos de alto valor agregado, sin dejar de lado aspectos que pueden influenciar negativamente o afectar la productividad de las microalgas.

No solo el cultivo de microalgas tiene un interés medioambiental, es claro que con los avances científicos en este campo se abre una oportunidad de comercialización, generando intereses económicos ya que tienen un bajo coste de producción. En este sentido el éxito de la producción de las microalgas radica en saber elegir una cepa u otra. Se puede citar la cepa de

“*Platymonas subcordiformis*” un alga verde marina, capaz de producir hidrogeno fotobiológicamente en medios pretratados, la “*Chlorella spp*” se destaca por su masa celular y productividad lipídica, valiosa por su producción, se comporta muy bien en cultivo en *Tilapia*, *Oreochromis niloticus*, se logró producir masa celular seca y elimina eficazmente el NO₃

Aspectos relevantes del estudio (Dourou et al., 2020):

- El rendimiento de producción, generalmente depende de la cepa y las condiciones del cultivo.
- Las microalgas son una fuente prometedora de proteínas y lípidos, como alternativa para animales y plantas, ocupando menos espacio y recursos que las fuentes convencionales.
- *Chlorella* y *La espirulina*, son productoras de vitaminas usadas en animales y humanos.
- Los enormes volúmenes de agua dulce necesarios en los cultivos de microalgas afectan negativamente, afectando la sostenibilidad del proceso.

Dependiendo de las condiciones de cada caso particular se logran obtener avances que radican en obtener un crecimiento de las especies en ciclos controlados, la biorremediación de AWW, ofrece una opción viable al alcance de los productores ya que empleando microalgas se abren opciones nutricionales y a la vez se puede pensar en sustituir el pienso con otras fuentes de proteína.

Microalgal Cultivation Using Aquaculture Wastewater: Integrated Biomass Generation and Nutrient Remediation

Faiz Ahmad Ansari, Poonam Singh, Abhishek Guldhe, Faizal Bux. Microalgal cultivation using aquaculture wastewater: Integrated biomass generation and nutrient remediation. *Algal Research*

Este artículo resalta la importancia de las microalgas por su capacidad de eliminar nutrientes de las aguas residuales. Las microalgas son organismos fotosintéticos unicelulares que

utilizan la energía de la luz solar, nutrientes inorgánicos y CO₂ (dióxido de carbono) ambiental para generar biomasa que puede utilizarse como materia prima para biocombustibles, alimentos para animales o acuicultura y otros productos de valor agregado (Ansari et al., 2017).

Características del estudio:

- Aguas residuales de la acuicultura: instalación de investigación en Durban, Sudáfrica.
- Especie acuícola: Tilapia del Nilo, criada en estanques pintados de negro.
- Estanques de 5000L
- T° controlada: entre 27-32°C
- Aireación continua
- Agua reciclada mediante biofiltración para eliminación de nutrientes y carga orgánica.
- Los valores de pH, conductividad, T°, salinidad. Oxígeno disuelto (OD), se midieron en el momento de la recolección de la muestra mediante YSI MP-AES
- Los sólidos totales y los disueltos totales se calcularon APHA 2005.
- Para determinar amoníaco, nitratos, nitritos y fosfatos, se emplearon las muestras centrifugadas.
- Especie empleada: *Chlorella sorokiniana*, *Scenedesmus obliquus* y *Ankistrodesmus falcatus*
- Ciclo de luz de oscuridad 16:8, permitiendo el crecimiento mixotrófico
- Periodo de cultivo: 14 días
- Crecimiento de microalgas: método espectro fotométrico
- Productividad de las microalgas: se calculó en la fase logarítmica tardía, mediante gravimetría.
- Eliminación de nutrientes: se controló cada 48 horas.

Tabla 8.*Concentraciones de Nutrientes de Tres Cepas Diferentes*

CEPA	Nitratos	Nitritos	TON	Amoniaco	DQO
<i>A. falcatus</i>	80,85%	99,73%	75,29%	86,45%	61%
<i>S. obliquus</i>	77,7%	73,83%	88,71%	68,09%	42%
<i>C. sorokiniana</i>	75,76%	81,79%	67,89%	98,91%	69%

Nota: Esta tabla muestra las concentraciones de nutrientes de tres cepas diferentes

El estudio tiene como hallazgo que *A. falcatus* está bien adaptado al crecimiento mixotrófico en aguas poco profundas, *Chlorella vulgaris* demostró productividad de biomasa de $42,6 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, y *A. falcatus* y *C. sorokiniana*, se eligieron para mejorar la productividad de biomasa.

Las tres cepas de microalgas demostraron un gran potencial de eliminación de nutrientes de la siguiente manera:

El cultivo de algas en aguas residuales de la acuicultura ofrece tanto como reducción del coste de tratamiento de las mismas como la producción de biomasa celular rica en lípidos, proteínas, carbohidratos y otros productos de valor añadido.

Utilización de Microalgas en Sistema Acuicola: Tratamiento Biológico de Aguas Residuales.

Kim, k, Jung, j, Han H. R. Revista de ciencias emergentes (2019).

Este es un novedoso artículo, habla sobre un reciente desarrollo de tecnología biofloc, (es la tecnología que permite el cultivo de organismos acuáticos en un ambiente dominado por

microorganismos), para el caso se emplearon en un medio de cocultivo de microalgas con peces y camarones, en una etapa inicial de crecimiento es decir de “cría juvenil”(Kim et al., 2019).

Este estudio se realizó con tilapia del Nilo, para nivel industrial. Se obtuvieron excelentes resultados en cuanto a la purificación del agua, el comportamiento de conservación del agua fue del 97%, trabajo realizado por las microalgas. En cuanto a los peces no se evidenció ningún comportamiento o diferencias de su crecimiento o de su composición corporal. Posteriormente las aguas residuales fueron recicladas para el uso, característica de los sistemas ABFT.

Emplear dichos sistemas tiene un impacto positivo en la acuicultura dado que se les da tratamiento a las aguas residuales en forma paralela dándole un uso posterior una vez fueron recicladas, integrando los fines para la industria y el medio ambiente.

Características del proyecto:

- Cepas: *Chlorella ellipsoidea* (FBCC180008) y *Scenedesmus dimorphus* (FBCC110009), ambas adquiridas del NNIBR (Instituto Nacional de Recursos Biológicos de Nakdonggang, República de Corea)
- T°: 28°C
- Iluminación continua a una intensidad de luz de $100 \text{ fotones } \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (LI-189 Li-Cor, sensor cuántico PAR, Lincoln, EE)
- 14 días de experimento
- Ciclos de 16 horas luz, 8 oscuridad.
- Siembra de 30 tilapias
- Dieta de los peces de 45% de proteínas y 9% lípidos. Alimentados 9 veces al día.
- Aireación continuada

Finalmente, el experimento arroja conclusiones como que los valores de NO₂ Y NO₃, mostraron valores más bajos al 0%, lo que sugiere que la calidad de agua en los peces mejoró con el tratamiento de microalgas. A nivel del sistema ABFT, se demostró un excelente efecto en la purificación del agua por parte de las microalgas sin efectos nocivos sobre el crecimiento de los peces en el ensayo.

Tabla 9.

Cuadro Resumen de las Experiencias del Cultivo de Microalgas en Aguas Residuales de la Acuicultura.

Título	Autor	Cepas empleadas	Idea principal	Resultados
1. Biorremediación de aguas residuales de acuicultura de <i>Mugil cephalus</i> (Linnaeus, 1758) con diferentes especies de microalgas.	Valeria Andreotti, Anuta Chindris, Gianni Brundu, Dario Vallainc, Mateo Francavilla & Joan García.	Tetraselmis suecica Dunaliella tertiolecta Isochrysis galbana	Evaluar y comparar la capacidad de Tetraselmis suecica, Isochrysis galbana y Dunaliella tertiolecta ampliamente utilizadas en la acuicultura	Tetraselmis suecica, a ratifica a la Dunaliella tertiolecta, aptas ya que eliminaron más del 90% de DIN y DIP, Isochrysis galbana que tardó 7 días para eliminar el 91,93% de DIP, sin lograr eliminar DIN en su totalidad, logrando un 66,02%.
2. Biorremediación de aguas residuales de acuicultura con la microalga Tetraselmis suecica: experimentos semicontinuos, simulación y ensayos fotorespirométricos	Andreotti V, Solimeno A, Rossi S, Ficara E, Marazzi F, Mezzanotte V, García J	Tetraselmis suecica	Simular absorción de nutrientes y biomasa por medio del modelo BIO_ALGAE	Se concluye que el modelo BIO_ALGAE es útil para simular la biorremediación y la producción de microalgas en aguas residuales de acuicultura en un sistema semicontinuo con diferentes factores ambientales
3. Rentabilidad del uso de microalgas para tratar efluentes de la piscicultura y sustituir la harina de pescado: un estudio de caso.	Vázquez-Romero, Bárbara a; Villar-Navarro, Elena a; Perales, José Antonio a; Ruiz	Microalga autótrofa	El estudio explica la realización de un cultivo de microalgas autótrofas en efluentes de la acuicultura de la corriente RAS (Sistemas de recirculación de acuicultura)	La incorporación de la biotecnología de microalgas en el campo de la piscicultura RAS no sólo permite obtener efluentes de calidad, pero también genera una biomasa con una proteína Contenido y perfil de aminoácidos adecuado para sustituir parcialmente la harina de pescado en piensos de engorde Esta combinación mejora tanto la sostenibilidad del proceso como el potencial de comercialización de las microalgas generadas, cubriendo hasta el 81% de los costos.
4. Productos de alto valor añadido derivados de microalgas y perspectivas de las aguas residuales de la	Marianna Dourou, Panagiotis Dritsas, Mohamed N. Baeshen, Ahmed	Chlorella spp	Dar a conocer una opción al tratamiento de las aguas residuales de la acuicultura por medio de la biotecnología	Dependiendo de las condiciones de cada caso particular se logran obtener avances que radican en obtener un crecimiento de las especies en ciclos controlados, la biorremediación de AWW, ofrece una opción viable al

	acuicultura como medio de crecimiento de microalgas	Elazzazy, Ammar Al-Farga and George Aggelis.. FEMS Microbiology Letters, 367, 2020, fnaa081			alcance de los productores ya que empleando microalgas se abren opciones nutricionales y a la vez se puede pensar en sustituir el pienso con otras fuentes de proteína.
5	<i>Microalgal cultivation using aquaculture wastewater: Integrated biomass generation and nutrient remediation</i>	Faiz Ahmad Ansari Poonam Singh Abhishek Guldhe Faizal Bux	<i>Chlorella sorokiniana</i> , <i>Scenedesmus obliquus</i> y <i>Ankistrodesmus falcatus</i>	Se presenta una estrategia de mejora de la biomasa, el potencial de eliminación de nutrientes y composición bioquímica de la biomasa de microalgas.	El cultivo de algas en aguas residuales de la agricultura ofrece tanto como reducción del coste de tratamiento de las mismas como la producción de biomasa celular rica en lípidos, proteínas, carbohidratos y otros productos de valor añadido.
6	Utilización de microalgas en sistemas de acuicultura: tratamiento biológico de aguas residuales	Kyo-chan Kim, Joo-Young Jung, Hyon-Sob Han	<i>Chlorella ellipsoidea</i> <i>Scenedesmus dimorphus</i>	Este es un novedoso artículo, habla sobre un reciente desarrollo de tecnología biofloc, (es la tecnología que permite el cultivo de organismos acuáticos en un ambiente dominado por microorganismos), para el caso se emplearon en un medio de cocultivo de microalgas con peces y camarones, en una etapa inicial de crecimiento es decir de “cría juvenil”	El experimento arroja conclusiones como que los valores de NO ₂ Y NO ₃ , mostraron valores más bajos al 0%, lo que sugiere que la calidad de agua en los peces mejoró con el tratamiento de microalgas. A nivel del sistema ABFT, se demostró un excelente efecto en la purificación del agua por parte de las microalgas sin efectos nocivos sobre el crecimiento de los peces en el ensayo.

Necesidades y Oportunidades

Esta revisión bibliográfica ha significado un valioso trabajo en el cual se ha evidenciado la investigación científica que se ha llevado en el tratamiento de aguas residuales del lactosuero y efluentes de la acuicultura, empleando microalgas como importantes focos de tratamiento de contaminación ambiental de las corrientes hídricas. No obstante, la búsqueda fue dispendiosa dada la limitada información que se disponible, esto significa una oportunidad a nivel de investigación en este tema y en el futuro poder encontrar nuevos beneficios de las microalgas sumados a los ya existentes. Así mismo se abre una puerta para fomentar la investigación y desarrollo de programas de incentivos académicos para lograr un interés en estas áreas.

Es más que importante la educación y la concientización de las problemáticas que permean el entorno, en los actores que generan estas perjudiciales condiciones medioambientales, quizás ellos también necesitan apoyo, sensibilización, acompañamiento, estrategias y el conocimiento para emprender acciones contundentes en pro de la protección y cuidado del medio ambiente.

Conclusiones

Es importante destacar el comportamiento de algunas cepas de los estudios analizados, las cepas *Chlorella sp* y *Scenedesmus sp*, los autores coinciden en su buen desempeño en las aguas residuales de la acuicultura. Son microalgas que se comportan muy bien por su flexibilidad a los tratamientos para ser procesadas en productos de valor agregado, y generando una gran ganancia ambiental. La *Chlorella* se destaca por la eliminación de nutrientes como nitrógeno y fósforo, que se encuentran en la acuicultura, se caracteriza por absorber metales pesados que para el caso mejora en gran proporción el agua, pero también se comporta muy bien en aguas residuales del lactosuero ya que metaboliza muy bien las grasas y la carga orgánica del agua, sin dejar atrás la *Scenedesmus sp*, que presenta una gran adaptabilidad con capacidad de eliminar nutrientes y compuestos orgánicos. Se concluye que estas dos cepas son muy valiosas en el tratamiento de aguas residuales tanto del lactosuero como de la acuicultura, ya que en ambos casos mejoran la calidad del agua y generan productos de valor añadido.

Ahora, si analizamos las etraselmis suecica, *Dunaliella tertiolecta*, *Dunaliella tertiolecta*

encontramos que son microalgas con grandes virtudes por capacidad de eliminación de más del 90% de DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) y DIP (Dissolved Inorganic Phosphorous), las dos cepas pueden crecer en medios de cultivo que no han sido esterilizados contaminados con bacterias y zooplancton. Eso es un gran punto a favor ya que reduce costes de pretratamiento de las aguas. Sus aplicaciones en la agricultura, remediación ambiental y demás, gracias a sus grandes cualidades de eliminación de nutrientes como nitratos y/o fosfatos, se adaptan fácilmente en las aguas residuales de la acuicultura, son útiles en la producción de valor agregado como bioproductos.

Si nos centramos en las aguas residuales del lactosuero la *Cynophyta* tiene la propiedad de reducir la carga orgánica de estas aguas, metaboliza los compuestos orgánicos que contienen, es una reductora de DQO y DBO. Son dos cepas que traen grandes bondades ambientales tanto en las aguas residuales del lactosuero como de la acuicultura, aportan ampliamente a la economía circular y contribuyen significativamente al cuidado del medio ambiente.

Por otro lado la *Isochrysis zhanjiangensis*, que demostró ser capaz de producir masa celular en densidades satisfactorias cuando se cultivan en APT (aguas residuales de piscifactorias). *Stigeoclonium nanum* fue capaz de remover hasta el 99.20% DQO, 60% PO₄, 98.73% NO₃ y 91.01% NH₃, colocándose como otra opción prometedora para la producción de biomasa y eliminación de nutrientes. Los autores coinciden en que no solo es viable el uso de microalgas en aguas residuales tanto de la acuicultura como del lactosuero, muestran un desarrollo y crecimiento, ajustado a las condiciones y necesidades específicas para cada cultivo, se pueden evidenciar reducciones de cargas contaminantes y claramente en nutrientes como nitrógeno, fósforo, DQO y DBO.

Los estudios demostraron que las microalgas ofrecen una solución integral al tratamiento de aguas residuales de la acuicultura, logran una alta capacidad de eliminación de nutrientes, como ya lo corroboraron otros autores, especialmente de nitrógeno y fósforo, que es un aspecto crucial para prevenir la eutrofización, aunado a esto se concluye se da un tratamiento eficiente y se logra un valor añadido del producto con recursos útiles, es decir hay un cumplimiento de la economía circular.

La incorporación de biotecnología de microalgas permite obtener efluentes de calidad y a la vez biomasa como proteínas adecuadas para alimentos de alto consumo alimentario.

Hay una gran coincidencia en los resultados de las investigaciones realizadas por los autores en que los biotratamientos son una alternativa viable, además de ser una solución sostenible eficaz que enfrenta la contaminación de aguas residuales de una forma medioambiental sostenible, mejorando no solo la calidad del agua sino generando subproductos de alta calidad, aportando a la seguridad alimentaria del mundo entero y generando diversidad de posibilidades para la industria.

Finalmente, el uso de microalgas se ha dado desde hace muchos años, pero actualmente se vuelve a retomar dados los exitosos resultados en el tratamiento de aguas residuales, que, para la acuicultura y la industria láctea, son una poderosa opción medioambiental ya que no solo se avanza en una solución medioambiental sino integrada a los procesos y al concepto de economía circular.

Bibliografía

- Acuicultura en España. (2020). *Tipos de instalaciones acuícolas*. Tipos de Instalaciones Acuícolas. <https://acuiculturadeespana.es/acuicultura-espana/tipos-de-instalaciones-acuicolas/#1674653578683-20412e3a-71d9>
- Agudelo, J., & Alvear, A. (2015). Estudio de la sedimentabilidad de los sólidos presentes en el tratamiento primario del agua residual doméstica de la ciudad de Cali. *Universidad Del Valle*.
- Akao, P., Singh, B., Kaur, P., Sor, A., Avni, A., Dhirb, A., Verma, S., Kapoor, S., Gupta Phutela, U., Sanjay Satpute, Satpute, S., Sharma, S., Avisar, D., Singh Sandha, K., & Hadas Mamane. (2021). Biopelícula microalgal-bacteriana acoplada para un mejor tratamiento de aguas residuales sin inversión energética. *Revista de Ingeniería de Dprocesos de Agua*, 41. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714421001161?via%3Dihub>
- Alonso Fernández, A. M., Palacios Arrieta, D., & Guadalupe Martínez, N. (2023). Biorremediación en Aguas Residuales Acuícolas: Una Revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7577
- Amouri, M., Belkhodja, S., Masrour, S., Kaidi, F., & Aziza, M. (2023). Enhancement of indigenous microalgae culture using cheese whey as growth media for bioenergy and coproducts production. *E3S Web of Conferences*, 436, 04001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343604001>
- Andrade Laborde, J. E. (1999). *Efecto del flujo de alimentación sobre la ultrafiltración del suero pasteurizado de queso* [Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/816d3302-d11e-4118-b231-dc999eb89201/content>
- Andreotti, V., Chindris, A., Brundu, G., Vallainc, D., Francavilla, M., & García, J. (2017). Bioremediation of aquaculture wastewater from Mugil cephalus (Linnaeus, 1758) with different microalgae species. *Chemistry and Ecology*, 33(8). <https://doi.org/10.1080/02757540.2017.1378351>
- Andreotti, V., Solimeno, A., Rossi, S., Ficara, E., Marazzi, F., Mezzanotte, V., & García, J. (2020). Bioremediation of aquaculture wastewater with the microalgae Tetraselmis suecica: Semi-continuous experiments, simulation and photo-respirometric tests. *Science of The Total Environment*, 738, 139859. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139859>
- Ansari, F. A., Singh, P., Guldhe, A., & Bux, F. (2017). Microalgal cultivation using aquaculture wastewater: Integrated biomass generation and nutrient remediation. *Algal Research*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.11.015>
- Arenas Jarro, R. Y. (2023). *Tratamiento de lactosuero por cavitación hidrodinámica posterior precipitación química y subsecuente uso para cultivo de microalgas (chlorella vulgaris) en un biorreactor tipo raceway*. Universdiad Católica de Santa María.

- Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, A. (2017). *Informe sobre las aguas residuales en España* (Vol. 2017).
https://www.aeas.es/images/publicaciones/informacion-sector/2017_-_Informe_depuracin_AEAS_Da_mundial_del_agua_2017.pdf
- Badiola, M., Basurko, O. C., Piedrahita, R., Hundley, P., & Mendiola, D. (2018). *Energy use in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): A review*.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.03.003>
- Bidot-Fernández, A. (2017). Composición, cualidades y beneficios de la leche de cabra: revisión bibliográfica. *Revista de Producción Animal*, 29(2).
- Bostock, J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., Little, D., Ross, L., Handisyde, N., Gatward, I., & Corner, R. (2010). Aquaculture: Global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2897–2912. <https://doi.org/10.1098/RSTB.2010.0170>
- Brennan, L., & Owend, P. (2010). Biocombustibles a partir de microalgas: una revisión de las tecnologías para la producción, procesamiento y extracción de biocombustibles y coproductos. *ScienceDirect*, 14(2), 557–557.
- Busetii, M. R., & Anguil, I. N. . T. A. (2006). La calidad de la leche de oveja. *Boletín de Divulgación*, 206–214. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina_leche/25-calidad.pdf
- Campo Spain. (2024). *Las 5 propiedades de la leche de cabra*. https://campospain.es/5-propiedades-leche-cabra/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwjqWzBhAqEiwAQmtgT2j-HRMLHmGdpxzrQaR8SYFwWoo6Xr8ULAMMIS6ViZ9a2IVG0r3NLhoCPv0QAvD_BwE
- Candela Orduz, R. (2016). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica* [Universidad Abierta y a Distancia UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/12170/91541023.pdf?sequenc>
- Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. In *Science of the Total Environment* (Vols. 445–446).
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.038>
- De Silva, A. Z., Shariff, M., Banerjee, S., & Yusoff, F. M. (n.d.). Growth and Quality Enhancement of *Chlorella vulgaris* Beyerinck (Beijerinck) 1890 Using Simple Cost-effective Medium. *EBSCOhost*. Retrieved May 18, 2024, from <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aagd%3A11%3A>
- Dourou, M., Dritsas, P., Baeshen, M. N., Elazzazy, A., Al-Farga, A., & Aggelis, J. (2020). Productos de alto valor añadido a partir de microalgas y perspectivas de las aguas residuales de la acuicultura como medio de crecimiento de microalgas. *FEMS MICROBIOLOGU LETTERS*, 367, 1–14.

- Duarte, C. M., Holmer, M., Olsen, Y., Soto, D., Marbà, N., Guiu, J., Black, K., & Karakassis, I. (2009). Will the oceans help feed humanity? *BioScience*, 59(11). <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.8>
- Durán, J. C., Durán, J. C., & Muñoz, A. P. (n.d.). *Una mirada al desarrollo de la acuicultura rural en Asia y Latinoamérica: Estudios de caso*. Retrieved June 28, 2024, from <https://docs.academicoo.com/user/jcdurani/revision-1.pdf>
- Escobar, J. (1992). Algunos conceptos sobre nutrición de vacas de leche utilizando forrajes. *Revista de La Universidad de La Salle*, 19, 163–168.
- European Commission, D.-G. E. (2024). *Nitratos*. Energía, Cambio Climático, Medio Ambiente. https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment_en
- FAO. (2020). The state of world fisheries and aquaculture. Sustainability in action. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2–224.
- FAO. (2022, June 18). *Norma general para el uso de términos lecheros*. Normas Internacionales de Los Alimentos. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B206-1999%252FCXS_206s.pdf
- FAO. (2024). Puerta de entrada a la producción y los productos lácteos. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Fernandez Salgueiro, J. L. (2018). *Cultivo de microalgas en aguas residuales y aprovechamiento energético de la biomasa algal*. Universidad de Vigo.
- García, D., Posadas, E., Blanco, S., Ación, G., García-Encina, P., Bolado, S., & Muñoz, R. (2018). Evaluation of the dynamics of microalgae population structure and process performance during piggery wastewater treatment in algal-bacterial photobioreactors. *Bioresource Technology*, 248, 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.079>
- Garrido Benavent, J. (n.d.). *Cultivos tropicales revista cuatrimestral*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Retrieved May 29, 2024, from http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362020000200010&script=sci_arttext&tlng=pt
- G.J, A., Et, T., & Metian, M. (2015). Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. <http://dx.doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>
- Gómez Luna, L. M. (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. <https://www.redalyc.org/Pdf/4435/443543707001.Pdf>, 3–20. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543707001.pdf>
- Guerra Araujo, A. V., Monsalve Castro, L. M., & Quintero Tovar, A. L. (2013). Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de contaminación ambiental. *Dilanet*, 55–65. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5344986>

- Haberkorn, N. V. (2018). “*Alimentación de porcinos con suero de leche para la reducción de costos alimenticios* [Universidad Siglo 21].
<https://repositorio.21.edu.ar/bitstream/handle/ues21/16625/HABERKORN%20NATALIA.pdf?sequence=1>
- Hallerman, E., Esteban, M. A., & Baldisserotto, B. (2022). Current Advances and Challenges in Fisheries and Aquaculture Science. *Fishes*, 7(2), 87. <https://doi.org/10.3390/fishes7020087>
- Henares, M. N., Kubitza, F., & Sabino, J. (2016). Impacto ambiental de la acuicultura. Una revisión de la literatura. *Conferencia: 27a Conferencia IBIMA*.
- Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 157–173. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>
- Jácome Pilco, C., Ballesteros, C., Rea, E., & Rea Cayambe, L. M. (2021). Microalgas en el tratamiento de aguas residuales generadas en industrias de curtiembres. *Https://Dialnet.Unirioja.Es/Servlet/Articulo?Codigo=8397299*, 14(ISSN-e 1390–4043, ISSN 1390-4051), 47–55.
- Kim, K., Jung, J.-Y., & Han, H.-S. (2019). Utilization of Microalgae in Aquaculture System: Biological Wastewater Treatment. *Emerging Science Journal*, 3(4), 209–221. <https://doi.org/10.28991/esj-2019-01183>
- Leal, K. (2024, March). *Suero de leche: qué es, para qué sirve y cómo usarlo para ganar masa muscular*. Grupo REDED´OR. <https://www.tuasaude.com/es/suero-de-leche/>
- Markou, G., & Georgakakis, D. (2011). Cultivation of filamentous cyanobacteria (blue-green algae) in agro-industrial wastes and wastewaters: A review. *Applied Energy*.
- Mejía, C., Aguilar, K., López Antioco, & Guerrero, D. (2024). Producción de biomasa en la fitorremediación de efluentes de la industria láctea. *Dyna. Ingeniería e Industria*, 94.
- Mercado, I., Álvarez, X., Verduga, M.-E., & Cruz, A. (2020). Enhancement of Biomass and Lipid Productivities of *Scenedesmus* sp. Cultivated in the Wastewater of the Dairy Industry. *Processes*, 8(11), 1458. <https://doi.org/10.3390/pr8111458>
- Meyer, D. E. (2004). *Introducción a la Acuicultura*. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7fce00bc-0466-4957-98bb-f2fdcf01ddd/content>
- Ministerio de Salud- Chile. (1997). *Reglamento Sanitario de los alimentos*. Título VIII. De Las Leches y Productos Lácteos. Artículo 198.
- Ministro Subsecretario de la Presidencia de Gobierno. (n.d.). *Código Alimentario Español*. Leches y Derivados. Capítulo XV, Artículo 3.15.01. Retrieved June 18, 2024, from <https://www.boe.es/eli/es/d/1967/09/21/2484>

- Montes, N., Rivera, I. E., & Fulla, M. R. (2014). *Libro de resúmenes de los trabajos aceptados en el II encuentro de Tecnología & X Simposio Internacionla en energías* (R. Rios Galvis, Ed.; IUPB, Vol. 1). https://pascualbravo.edu.co/expotecnologica/wp-content/uploads/2018/memorias_2014.pdf
- Montoya, A. (2021). *Cultivo de Microalgas: Una Revisión Sistemática de la Literatura*. Ciencias de la vida, Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE.”
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., Little, D. C., Lubchenco, J., Shumway, S. E., & Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. In *Nature* (Vol. 591, Issue 7851). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
- Palleriro Mosquera, P. (2019). *Análisis comparativo del contenido en proteínas entre leche de distinto origen: vaca, cabra, soja y arroz* [Universidad de Coruña]. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/23626/PalleiroMosquera_Paula_TFG_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Parlamento Europeo. (2023, May 24). *El modelo de economía circular*. Beneficios: ¿ Por Qué Tenemos Que Cambiar a Una Economía Circular?
- Posadas, E., Alcántara, C., García-Encina, P. A., Gouveia, L., Guieysse, B., Norvill, Z., Acien, F. G., Markou, G., Congestri, R., Koreiviene, J., & Muñoz, R. (2017). Microalgae cultivation in wastewater. *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts: From Feedstock Cultivation to End-Products*, 67–91. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101023-5.00003-0>
- Prakash Kushwaha, J., Chandra Srivastava, V., & Deo Mall, I. (2011). An Overview of Various Technologies for the Treatment of Dairy Wastewaters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(5), 442–452. <https://doi.org/10.1080/10408391003663879>
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Cheese whey management: A review. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 110). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.018>
- Puja Tandon, Q. J. (2017). Mejora del cultivo de microalgas mediante enfoques microbianos clave. *ScienceDirect*, 80, 1089–1099.
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Romero, J. (2004). Tratamiento de aguas residuales. Teorías y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=T9MfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=clasificaci%C3%B3n+de+las+aguas+residuales&ots=3kFTkr2ozi&sig=og5tndWSerKeof2HPnDp3j9a7c4#v=onepage&q&f=false>
- Ramírez Navas, J. S. (2011). Aprovechamiento Industrial de Lactosuero Mediante Procesos Fermentativos. *Revista Especializada En Ingeniería de Procesos y Alimentos y Biomateriales*, 6, 1–15.

- Revelo Cadena, M. A. (1998). *Ultrafiltration del suero de queso y evaluación química y microbiológica del concentrado proteico* [Zamorano].
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3058aa52-c489-4c94-93a2-68d243a8334b/content>
- Revilla, A. (1982). *Tecnología de la leche. Procesamiento, manufactura y análisis* (Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, Ed.; Segunda edición).
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=miAPAQAIAAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=que+es+la+leche&ots=J-AyfoE718&sig=Eksj2zgp9Xl6WSkQBskLfuIgp2s#v=onepage&q=que%20es%20la%20leche&f=false>
- Rodríguez Miranda, J. P., García Ubaque, C. A., & García Ubaque, J. C. (2016). Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. *Revista Salud Pública*. 18 (5):738-745, 2016, 1–8. <https://www.scielosp.org/pdf/rsap/2016.v18n5/738-745/es>
- Rojas, R. (2002). *Conferencia sistema de tratamiento de aguas residuales*. 1–19.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR-libre.pdf?1533264908=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCurso_Internacional_GETION_INTEGRAL_DE_T.pdf&Expires=1716488850&Signature=BH-s6z9iDbCtf2~yAr6x0TfXjpvLLEkNmzrJDNApGOH5OovsT7qFyJgSRJyawni3z2H~UMpkcWCfp8BgMqEeNrbBQIUaZyA57O9804Rx-FcQVSXxXeFs5cPxnzU0dNdC8M6TTAaUwr0z75gxoQyqKnBpte-yZw17RnmdCHMt8ZWgf0IT3zp-HyYpCLn7QiyjoLMmB-S~dm0pk--sTahUCY57DLsF2GAaDS6P5nUJOtegdTbtsUYW2OGYVpHi8VXOqCiyR2C9gcrDoehjwdRIRCASg2ua-AMuEsqxYPFs4GnFTIFJcb~RC9rL7iRoBrgi1NXsQ03GgvLiFtGYMwSA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Rojo E. (2022). *Valorización de lactosuero para la obtención de biomasa de microalgas y cianobacterias*. Universidad Zacatenco.
- Ruiz Martínez, A. (2011). *Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente* [Tesis de Máster]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Salazar, A., Oblitas Cruz, J., & Rojas, E. (2016). Reutilización del lactosuero ácido y dulce de las queserías de Cajamarca en la elaboración de una bebida con sabor a proporo (*Passiflora Mollissima*) y sauco (*Sambucus Peruviana*). *Agroindustrial Science, ISSN-e 2226-2989, Vol. 6, No. 1, 2016 (Ejemplar Dedicado a: Agroindustrial Science), Págs. 45-51, 6(1)*.
- Serrano Riaño, J. Y., & Minga Narváez, S. P. (2015). Composición, beneficios y enfermedades asociadas al consumo de leche de vaca. *Revista Sthetic & Academy*, 13–24.
- Stasinakis, A. S., Charalambous, P., & Vyrides, I. (2022). Dairy wastewater management in EU: Produced amounts, existing legislation, applied treatment processes and future challenges.

Journal of Environmental Management, 303, 114152.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114152>

- Valencia, D., & Ramírez Castillo, M. L. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Redalyc*, 16(ISSN: 0187-9073), 27–31. <https://www.redalyc.org/pdf/294/2941199>
- Vázquez-Romero, B., Villar-Navarro, E., Perales, J. A., & Ruiz, J. (2023). Profitability of using microalgae to treat effluents from fish RAS farming 2 and replace fish meal: A case study. *Https://Papers.Ssrn.Com/Sol3/Papers.Cfm?Abstract_id=4366476*, 1–43.
- Voltolina, D., Nieves, M., Nutrición, P. P.-A. en, & 1998, undefined. (2000). Calidad de microalgas para la acuicultura. *Nutricionacuicola.Uanl.Mx*, 28–32.
<https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/download/286/284>
- Williams Mena, P. (2022). *Formulación y elaboración de dos bebidas refrescantes con base en suero dulce de queso Fresco y sabores de frutas*. Zamorano.
- Yangilar, F. (2013). As a Potentially Functional Food: Goats' Milk and Products. *Journal of Food and Nutrition Research*, 1(4).
- Zhu, W., Li, Y., Fei, X., Deng, X., Zhu, W., Li, Y., Fei, X., & Deng, X. (2018). Nutrient Removal and Algal Community Variation from Urban River with the Isolated Microalgal Strains *Chlorella* sp. and *Scenedesmus* sp. *Journal of Water Resource and Protection*, 10(9), 884–895. <https://doi.org/10.4236/JWARP.2018.109051>