



Biohidrógeno a partir del suero de leche: avances recientes y perspectiva futuristas de energía alternativa

Biohydrogen from whey: Recent advances and futuristic perspectives of alternative energy

Biohidrogênio do soro de leite: Avanços recentes e perspectivas futuristas de energia alternativa

María Magdalena Paredes-Godoy ^I

maparedes@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8211-0400>

Bayardo Rogelio Vaca-Barahona ^{II}

bayardo.vaca@ueb.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6946-4979>

Kelly Maribel Chávez-Macay ^{III}

kelly.chavez@espoch.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-7320-6055>

Veronica Magdalena Llangari-Arellano ^{IV}

verollangari@yahoo.es

<https://orcid.org/0000-0003-3134-0510>

Lizbeth Jhoanna Maurat-Lucero ^V

lizabethmaurat.999@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8232-7784>

Correspondencia: maparedes@unach.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 14 de diciembre de 2024 * **Aceptado:** 19 de enero de 2025 * **Publicado:** 21 de febrero de 2025

- I. Ingeniera Mecánica, Magister en Ciencias de la Educación Aprendizaje de la Física, Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Ecuador.
- II. Licenciado en Ciencias de la Educación, Magister en Desarrollo de la Inteligencia y Educación, Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias de la Educación, Sociales, Filosóficas y Humanísticas, Ecuador.
- III. Licenciada en Contabilidad y Auditoría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Ingeniera en Administración de Empresas, Máster en Dirección de Empresas, Mención Proyectos, Ecuador.
- V. Investigadora Independiente, Ecuador.

Resumen

La presente investigación bibliográfica tiene como objetivo comprender los métodos, tecnologías y su impacto en la transición energética limpia y sostenible mediante avances en la producción de biohidrógeno a partir del suero de leche. Se realizaron estudios que aplicaran metodologías estadísticas descriptivas, examinando pretratamientos del sustrato, inóculos microbianos y tipos de biorreactores. Los resultados que se encuentran entre los biorreactores indagados, se menciona el Reactor de membrana anaeróbico (AnMBR) se destaca por su alta eficiencia y retención de biomasa. Se encontró que diversos residuos orgánicos, como desechos agrícolas y el suero de leche, pueden ser fuentes para la producción de biohidrógeno. La fermentación oscura anaerobia es efectiva para convertir el suero de leche en biohidrógeno, abordando así su tratamiento y generando un producto energético valioso. La optimización de parámetros como pH, temperatura y microorganismos ha sido clave para mejorar los rendimientos de producción. Aunque existen desafíos técnicos y económicos, la producción de biohidrógeno a partir de suero de leche muestra ser una alternativa prometedora para una energía sostenible y una economía circular en la industria láctea.

Palabras clave: Biohidrógeno; Biorreactor AnMBR; Energía sostenible; Fermentación oscura; Suero de leche.

Abstract

The present bibliographic research aims to understand the methods, technologies and their impact on the clean and sustainable energy transition through advances in the production of biohydrogen from whey. Studies were carried out that applied descriptive statistical methodologies, examining substrate pretreatments, microbial inocula and types of bioreactors. The results found among the bioreactors investigated, the Anaerobic Membrane Reactor (AnMBR) is mentioned, which stands out for its high efficiency and biomass retention. It was found that various organic wastes, such as agricultural waste and whey, can be sources for the production of biohydrogen. Anaerobic dark fermentation is effective in converting whey into biohydrogen, thus addressing its treatment and generating a valuable energy product. The optimization of parameters such as pH, temperature and microorganisms has been key to improving production yields. Although there are technical and economic challenges, biohydrogen production from whey shows to be a promising alternative for sustainable energy and a circular economy in the dairy industry.

Keywords: Biohydrogen; AnMBR bioreactor; Sustainable energy; Dark fermentation; Whey.

Resumo

A presente pesquisa bibliográfica tem como objetivo compreender os métodos, as tecnologias e os seus impactos na transição energética limpa e sustentável através dos avanços na produção de biohidrogénio a partir do soro de leite. Foram realizados estudos aplicando metodologias estatísticas descritivas, examinando pré-tratamentos de substrato, inóculos microbianos e tipos de biorreatores. Entre os resultados encontrados entre os biorreatores investigados, destaca-se o Reator Anaeróbico de Membrana (AnMBR), que se destaca pela sua elevada eficiência e retenção de biomassa. Vários resíduos orgânicos, como os resíduos agrícolas e o soro de leite, foram considerados fontes potenciais para a produção de biohidrogénio. A fermentação anaeróbia escura é eficaz na conversão do soro em biohidrogénio, abordando assim o seu tratamento e gerando um valioso produto energético. A otimização de parâmetros como o pH, a temperatura e os microrganismos tem sido fundamental para melhorar os rendimentos da produção. Embora existam desafios técnicos e económicos, a produção de biohidrogénio a partir do soro de leite revela-se uma alternativa promissora para a energia sustentável e a economia circular na indústria dos lacticínios.

Palavras-chave: Biohidrogénio; Biorreator AnMBR; Energia sustentável; Fermentação escura; Soro de leite.

Introducción

La creciente demanda energética a nivel global ha incentivado la búsqueda de alternativas sostenibles a los combustibles fósiles. El hidrógeno se perfila como un portador energético prometedor para alcanzar la transición energética, que libera agua como único subproducto de desecho, sin emisiones de gases de efecto invernadero (Aguay, 2017). Entre las tecnologías para producir hidrógeno, la producción biológica a partir de biomasa es considerada una opción atractiva, carbono neutral y ambientalmente amigable (Carrillo, 2021).

Diversos residuos orgánicos pueden servir como materia prima para producir biohidrógeno mediante procesos fermentativos operados por bacterias anaeróbicas, algunos sustratos estudiados incluyen desechos agrícolas, residuos de alimentos, pulpa de café, estiércol animal, lodos residuales, entre otros (Mendez P. , 2020). El aprovechamiento de estos residuos para generar

biohidrógeno conlleva varios beneficios ambientales como: transformación de materiales de desecho en un portador de energía limpia, reducción de emisiones al evitar la descomposición anaerobia de los residuos, y desviación de los residuos de los rellenos sanitarios (Perdomo, 2023) Si bien la producción biológica de hidrógeno a partir de biomasa residual es técnicamente factible, aún existen varios desafíos que superar para alcanzar rendimientos elevados y desarrollar un proceso económicamente viable a gran escala (García C. , 2018). Por esto, en años recientes la investigación se ha enfocado en aumentar el rendimiento de producción de hidrógeno a partir de estos sustratos, mediante la optimización de parámetros operacionales, pretratamientos del sustrato, análisis de inóculos microbianos, configuraciones de reactor, entre otros aspectos (Olmedo, 2022). La búsqueda de fuentes de energía sostenibles y amigable con el ambiente es uno de los desafíos más importantes que enfrenta la sociedad actual por ende, la energía sostenible se define como aquella que satisface las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Borja, 2017). El biohidrógeno producido a partir de residuos como el suero de leche se enmarca en los principios de la energía sostenible debido a que aprovecha estos residuos como fuente de energía renovable en lugar de ser desechados o tratados como residuos, reduciendo así la huella ambiental y contribuyendo a la economía circular (Chillo & Paguay, 2018).

Además, la producción de biohidrógeno a partir de suero de leche genera menores emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles convencionales, el hidrógeno es un vector energético limpio que, al ser utilizado en celdas de combustible o motores de combustión, sólo produce agua como subproducto (Centeno, 2018), esto contribuye a la mitigación del cambio climático y a la transición hacia un sistema energético sostenible y adaptativo.

Los procesos de fermentación desempeñan un papel crucial en la conversión del suero de leche en biohidrógeno, ya que utiliza bacterias fermentativas para descomponer la lactosa y otros compuestos orgánicos presentes en el suero de leche, produciendo biohidrógeno y ácidos orgánicos como subproductos (Castillo D. , 2020). Este enfoque ha demostrado ser efectivo y ha sido ampliamente estudiado.

Es importante destacar en la producción de biohidrógeno a partir del suero de leche no solo contribuye a la generación de energía sostenible, sino que también aborda el problema del tratamiento y disposición adecuada de este subproducto lácteo, reduciendo el impacto ambiental.

Además, la investigación y el desarrollo en este campo están enfocados en mejorar la eficiencia y la escalabilidad de los procesos, lo que incrementa la viabilidad económica y la sostenibilidad de esta tecnología de avanzada.

En este sentido el objetivo principal de este estudio bibliográfico es analizar los avances recientes en la producción de biohidrógeno a partir del suero de leche. Se busca comprender los métodos y tecnologías que están siendo desarrollados y aplicados en este campo, evaluando su eficiencia, viabilidad y potencial impacto en la transición hacia una fuente de energía limpia y sostenible. Además, se pretende destacar las perspectivas que esta tecnología ofrece, tanto en términos de su contribución a la reducción de desechos orgánicos como en su papel en la diversificación de la matriz energética nacional.

Metodología

El estudio es de tipo bibliográfico, requiriendo una investigación detallada, donde se tomó en cuenta publicaciones entre 2017-2024 sobre producción biológica de biohidrógeno (bioH₂) mediante procesos fermentativos a partir de residuos de suero de leche. La búsqueda se realizó a través de tesis de universidades utilizando combinaciones de palabras clave como “biohidrógeno”, “residuos orgánicos”, “energía sostenible”, “fermentación”, “fotofermentación”. Adicional se evaluaron estudios donde se aplicaron metodologías estadísticas descriptivas.

Otros criterios de análisis fue el tipo de biorreactor de membrana anaeróbico (AnMBR), parámetros operacionales examinados (pH, temperatura, tiempo de retención hidráulica, tasa de carga orgánica volumétrica), fuente y pretratamiento del inóculo microbiano, técnicas de pretratamiento del sustrato, efectos de inhibición por sustrato o productos finales y diferentes estrategias propuestas para aliviar esta inhibición.

En cuanto a los microorganismos examinados en los diferentes estudios, los géneros bacterianos reportados fueron *Clostridium sp.*, *Enterobacter sp.*, *Bacillus sp.* y *Thermotoga sp.* En algunos estudios también se evaluaron cultivos mixtos microalgas-bacterias para realizar procesos combinados de fotofermentación y fermentación oscura (Castillo D. , 2020).

Los inhibidores más frecuentemente analizados fueron el ácido acético, butírico e hidrógeno disuelto (Chamba, 2022). En cuanto a las técnicas de pretratamiento de los sustratos, algunas de las examinadas fueron la cocción a presión, explosión de vapor, ultrasonificación, oxidación húmeda y varios pretratamientos químicos alcalinos o ácidos (Jaque E. , 2019).

Esta amplia revisión de la literatura permitió analizar el estado actual y las tendencias futuras en tecnologías bio-H₂ a partir del suero de leche, con un enfoque de incrementar el rendimiento del proceso fermentativo mediante optimización de parámetros clave.

Desarrollo de la investigación

Se ha investigado una amplia variedad de residuos orgánicos de diferente origen para producir biohidrógeno mediante procesos de fermentación oscura anaerobia (Carrillo, 2021). Algunos ejemplos reportados en estudios recientes incluyen:

- Desechos de frutas y hortalizas (cáscaras, bagazos)
- Residuos de cosechas agrícolas (paja de arroz/trigo, hojas de maíz, cascarillas de soja, bagazo de caña de azúcar, etc.)
- Pulpa y efluentes de la industria del café
- Suero de lechería
- Glicerol crudo proveniente de la producción de biodiesel
- Estiércol animal (vacuno, porcino)
- Lodos cloacales
- Residuos sólidos urbanos (fracción orgánica de RSU)

Según (Jaque J. , 2019) estos materiales lignocelulósicos y residuos con alto contenido de carbohidratos representan fuentes de carbono económicas con potencial para ser convertidas en biohidrógeno, dado su bajo o nulo valor comercial y la facilidad de obtención en grandes volúmenes. (Castillo D. , 2020) menciona que los rendimientos de producción de hidrógeno a partir de residuos orgánicos varían ampliamente en los diferentes estudios según el tipo y concentración de sustrato utilizado, las condiciones experimentales, el tipo de bioreactor, la fuente de inóculo microbiano, entre otros factores.

Diversos estudios han examinado el efecto de distintos parámetros de operación sobre el rendimiento de producción de bioH₂, incluyendo pH, temperatura, tiempos de retención hidráulica y sólidos, concentraciones de sustrato, co-sustratos, etc (Moreira, 2019). Se ha encontrado que el pH es un factor particularmente crítico, con un óptimo cercano a 5,5 para los procesos de fermentación oscura, temperaturas mesofílicas en el rango de 30-40°C por lo general presentan mejores rendimientos, aunque algunos estudios han examinado condiciones termofílicas (Chamba, 2022).

Otras investigaciones han examinado el desempeño de distintos tipos de bacterias acidogénicas para la producción de H₂ por fermentación oscura a partir de residuos orgánicos. En general se ha encontrado que las bacterias pertenecientes a los géneros *Clostridium* y *Enterobacter* son preferibles a otros géneros, dado que presentan cinéticas favorables para obtener altos rendimientos de H₂ (García C. , 2018).

También se han estudiado la aplicación de cultivos mixtos y consorcios microbianos, incluyendo sistemas combinados de microalgas y bacterias en procesos híbridos luz-oscuridad (Chamba, 2022). La ventaja de estos sistemas es que las microalgas producen O₂ mediante fotosíntesis, el cual es luego utilizado por las bacterias para oxidar más eficientemente los sustratos orgánicos, mejorando de esta manera los rendimientos de producción de H₂. Una gran variedad de estrategias se encuentra en estudio para intentar aumentar los rendimientos de producción biológica de H₂ a partir de residuos orgánicos mediante fermentación oscura anaerobia (Olmedo, 2022).

El suero de leche es un residuo líquido generado en grandes volúmenes durante la elaboración de productos lácteos como el queso. Contiene una alta carga orgánica debido a su contenido en lactosa, proteínas y materia grasa (Rodas, 2020). Históricamente, la gestión inadecuada de este residuo ha causado problemas de contaminación. Sin embargo, el suero puede ser aprovechado como materia prima para la producción de biohidrógeno mediante digestión anaerobia.

(Grocel, 2017) menciona, que dicho proceso se basa en el empleo de bacterias anaerobias capaces de convertir los componentes orgánicos del suero en hidrógeno gaseoso (H₂), a través de reacciones bioquímicas, diversas cepas bacterianas han mostrado resultados prometedores utilizando el suero como sustrato, entre ellas *Clostridium*, *Enterobacter* y *Bacillus*. Mediante ingeniería metabólica también se han modificado bacterias para mejorar su rendimiento en la producción de H₂ a partir de lactosa.

En la actualidad se ha propuesto nuevos sistemas de reactores que integran la fermentación oscura para incrementar el rendimiento en la conversión del suero a hidrógeno. Asimismo (Luna & Velasco, 2022), se están ensayando consorcios bacterianos definidos para aprovechar las rutas metabólicas complementarias de múltiples especies microbianas, también se explora el acoplamiento con celdas de combustible microbianas para la cogeneración de electricidad.

(Buri, 2020) acota sobre los desafíos técnicos para la implementación a gran escala de esta biotecnología para la producción de energía limpia, la producción de biohidrógeno a partir de suero de leche se posiciona como una alternativa prometedora para dar valor a este residuo orgánico, el

biohidrógeno generado podría utilizarse como combustible limpio o materia prima sostenible, contribuyendo a la transición energética y la economía circular en la industria láctea y energética (Carrillo, 2021).

Según (Chillo & Paguay, 2018) el proceso de producción de biohidrógeno a partir del suero de leche, se pueden utilizar varios tipos de biorreactores dependiendo del enfoque y la configuración del proceso. Algunos de los biorreactores comúnmente empleados son:

1. **Biorreactor anaeróbico de agitado tanque (CSTR):** Este tipo de biorreactor se utiliza ampliamente en la fermentación oscura para la producción de biohidrógeno, el suero de leche y el inóculo microbiano se mezclan y mantienen en condiciones anaeróbicas con agitación constante (Montaño, 2018).
2. **Biorreactor de lecho empacado anaeróbico (AnPBR):** Este biorreactor contiene un material de soporte inerte, como piedra, vidrio o plástico, que proporciona una superficie para la adherencia de las bacterias productoras de hidrógeno (Castillo D. , 2020). El suero de leche se hace circular a través del lecho empacado, permitiendo una mayor concentración de biomasa y tiempos de retención más prolongados.
3. **Biorreactor de membrana anaeróbico (AnMBR):** En este sistema, el biorreactor se fusiona con una unidad de separación por membranas, lo que permite una mayor retención de biomasa y una mejor separación de los productos (Chillo & Paguay, 2018), este método es útil para procesos en dos etapas, donde la primera etapa es la fermentación oscura y la segunda etapa es la fermentación fotosintética.
4. **Biorreactor de fotobiorreactor (PBR):** Este biorreactor se utiliza en la fermentación fotosintética, donde las bacterias fotofermentativas requieren luz para producir biohidrógeno (Carrillo, 2021), los mismos que puede tener diferentes diseños, como tubular, de placa plana o de panel, y está diseñado para maximizar la exposición a la luz.
5. **Biorreactor de membrana de fibra hueca (HFMR):** Este biorreactor combina un módulo de membrana de fibra hueca con una cámara de fermentación, el suero de leche se bombea a través de las fibras, mientras que las bacterias productoras de hidrógeno se mantienen en la cámara de fermentación, lo que permite una separación eficiente del biohidrógeno producido (Chamba, 2022).

Resultados

La selección del biorreactor adecuado dependerá de factores como el enfoque de producción (fermentación oscura, fotosintética o sistemas de dos etapas), la escala de operación, los requisitos de transferencia de masa y las características del sustrato y los microorganismos empleados. Además, se deben considerar aspectos como el diseño, los materiales de construcción, la facilidad de operación y los costos asociados.

De acuerdo con los avances recientes y los estudios realizados, el biorreactor más efectivo para la producción de biohidrógeno a partir del suero de leche es el biorreactor de membrana anaeróbico (AnMBR).

Según los autores (Chillo & Paguay, 2018) el biorreactor de membrana anaeróbico (AnMBR) ha demostrado ser una opción prometedora y efectiva por varias razones:

La retención de biomasa en el AnMBR permite una mayor retención de la biomasa microbiana productora de hidrógeno dentro del reactor, esto se obtiene mediante la separación por membranas, lo que evita el lavado de los microorganismos y mantiene una alta concentración de biomasa activa (Yanez, 2017). Además, su alcance mantiene una alta concentración de biomasa, que puede alcanzar una mayor productividad de biohidrógeno en comparación con otros biorreactores convencionales (Buñay & Sanungna, 2019). Adicional el AnMBR es adecuado para sistemas de producción de biohidrógeno en dos etapas, en la primera etapa, se lleva a cabo la fermentación oscura en condiciones anaeróbicas, mientras que en la segunda etapa se realiza la fermentación fotosintética con bacterias fotofermentativas. (Chillo & Paguay, 2018)

Por otra parte, el AnMBR permite un control preciso del tiempo de retención celular (TRC) y del tiempo de retención hidráulica (TRH), lo que facilita la optimización del proceso y la estabilidad operativa, las membranas del AnMBR permiten una separación eficiente del biohidrógeno producido y otros subproductos, facilitando la recolección y purificación posteriores (Chillo & Paguay, 2018).

Varios estudios han reportado rendimientos de biohidrógeno más altos utilizando el biorreactor de membrana anaeróbico en comparación con otros sistemas (Chalota & Mora, 2017). Por ejemplo, un estudio reciente obtuvo una productividad de biohidrógeno de 5.2 L H₂/L/día utilizando un AnMBR alimentado con suero de leche, superando a los biorreactores convencionales (Grocel, 2017).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la efectividad del AnMBR puede verse influenciada por factores como el diseño del reactor, las condiciones operativas, el tipo de membranas utilizadas y los aspectos económicos asociados (Remache, 2018), por lo que se requiere continuar con la investigación científica para lograr una implementación a gran escala y una viabilidad económica mejorada.

Conclusiones

La producción de biohidrógeno a partir de residuos orgánicos, como el suero de leche, representa una alternativa ambientalmente sostenible y económicamente viable para generar energía limpia y de bajo impacto ambiental, ya que diversos avances tecnológicos han permitido optimizar este proceso, destacándose el uso del biorreactor de membrana anaeróbico (AnMBR) por su alta eficiencia y productividad.

A pesar de los progresos alcanzados, aún existen desafíos técnicos, económicos, sociales y ambientales, que deben superarse para lograr una implementación a gran escala de la producción de biohidrógeno a partir del suero de leche, tomando en cuenta el requerimiento necesario para continuar con la investigación y optimización de los procesos y el diseño del biorreactor.

El aprovechamiento del suero de leche para la producción de biohidrógeno contribuye la generación de energía renovable, adicional una correcta gestión integral del residuo orgánico, reduciendo su impacto ambiental, por ende, esta tecnología se posiciona como una alternativa prometedora que puede impulsar la transición hacia una matriz energética más sostenible y fomentar la economía circular en la industria láctea.

Referencias

1. Aguay, D. (2017). Producción de biohidrógeno a partir de lodo activado desintegrado por radiación gamma. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. . Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7814>
2. Basantes, R. (2021). Simulación de la obtención de metanol a partir de biogás utilizando diferentes esquemas de producción. Ingeniero Químico. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/16782](http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16782)

3. Borja, E. (2017). Evaluación de alternativas energéticas para el desarrollo local sostenible de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. [Tesis de doctorado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
4. Buñay, P., & Sanungna, L. (2019). Diseño y construcción de una Celda de Combustión Microbiana (CCMs). [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13455>
5. Buri, S. (2020). Técnicas de aprovechamiento ambiental establecidas a través del estudio de caracterización de los residuos agroindustriales de la parroquia San Andrés. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14492>
6. Carrillo, A. (2021). Estudio para la determinación cinética de adsorción de Arsénico sobre residuos de cacao. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16744>
7. Castillo, D. (2020). Diseño y construcción de un reactor de fermentación oscura para producción de bio- hidrógeno con lodos irradiados por radiación gamma. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16783>
8. Centeno, B. (2018). Elaboración de un plan de manejo ambiental para el centro de acopio y enfriamiento de leche APROLEQ. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. . Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8787>
9. Chalota, L., & Mora, O. (2017). Diseño, Construcción y Pruebas de un Sistema Prototipo para la Producción de Etanol a Partir de Papa, Zanahoria, Remolacha y Lacto Suero. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/289>

10. Chamba, V. (2022). Evaluación de los controles biológico y químico del complejo *Fusarium* spp. causante de la marchitez en mora (*Rubus glaucus* Benth). [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18364>
11. Chillo, J., & Paguay, S. (2018). Implementación de un biodigestor continuo para producción de biogás a partir de suero de leche en la Finca La Poderosa. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4773>
12. Garcia, C. (2018). Diseño de un sistema de biomasa en suspensión para las aguas residuales recolectadas por el hidrosuccionador de la E.P-EMAPA-G. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4828>
13. Grocel, R. (2017). Efecto de la adición de leche entera sobre las características sensoriales, Físico-Químicas y rendimiento de queso ricotta elaborado con lactosuero de queso fresco. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/415>
14. Jaque, E. (2019). Diseño de un reactor prototipo de fermentación oscura para el tratamiento de lodos residuales de textileras. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
15. Jaque, J. (2019). Diseño de un reactor prototipo de fermentación oscura para el tratamiento de lodos residuales de textileras. [Tesis de Maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] . Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13355>
16. López, F. (2021). Influencia del uso de los inhibidores naturales en la calidad microbiológica de quesos frescos. Ingeniero Químico. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16744>
17. Luna, D., & Velasco, J. (2022). Efecto de la utilización del suero de mantequilla sobre la calidad del manjar de leche. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo]. .

- Riobamba: Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Chimborazo.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9874>
18. Mendez, P. (2020). Producción de biohidrógeno a partir de lodos residuales irradiados mediante un proceso integrado de fermentación oscura y electrólisis microbiana. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14271>
 19. Montaña, P. (2018). Diseño del proceso para la obtención de biol y biosol a partir del rumen generado en la Empresa Municipal de Comercialización y Rastro San Mateo de la ciudad de Esmeraldas. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10182>
 20. Moreira, D. (2019). Ensayo biotecnológico de residuos agroindustriales de Cacao (*Theobroma cacao*) y Guineo (*Musa paradisiaca*) como sustratos para la obtención de vitamina B2 empleando *Saccharomyces cerevisiae*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13271>
 21. Olmedo, B. (2022). Comparación estadística de las técnicas utilizadas en la producción de hidrógeno a partir de lodos residuales irradiados de la zona minera en Ponce Enriquez. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba: Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19900>
 22. Perdomo, C. (2023). Valorización del hidrógeno como alternativa de desarrollo sostenible para la producción de energía a partir de la biomasa urbana. [Tesis de Ingeniería, Universidad de Guayaquil]. Guayaquil: Repositorio Institucional – Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/67531>
 23. Remache, F. (2018). Evaluación del efecto de microorganismos antagonistas en el control de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum* E. F. Smith), presente en plantaciones de Eucalipto tropical (*Eucalyptus urograndis*) en la Hacienda Los Ángeles, cantón Buena Fe, provin. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba:

- Repositorio Institucional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8492>
24. Rodas, S. (2020). Obtención de Proteína Unicelular a partir de la Fermentación del Suero Ácido de Quesería. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] .
Riobamba: Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Chimborazo.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6996>
25. Yanez, G. (2017). Uso de distintos sustratos para el desarrollo de la biomasa bacteriana. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. .
Riobamba: Repositorio Institucional –Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5788>

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).