

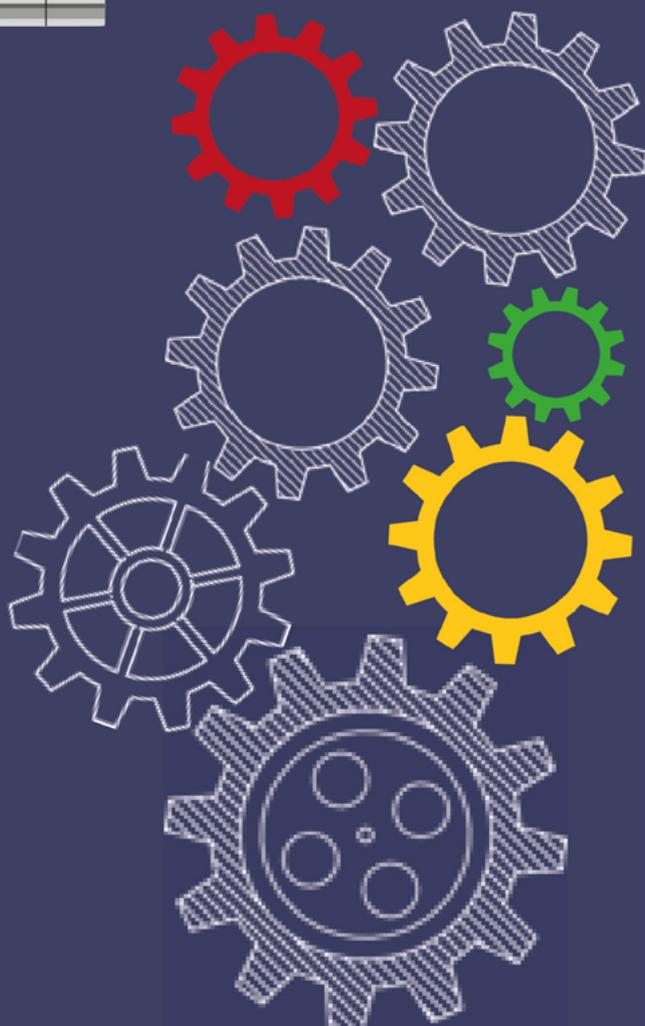
ISSN: 3028-970X

FACULTAD DE
INGENIERÍA
INDUSTRIAL



INGENIERÍA
SIGLO XXI
REVISTA

Nº7 Vol. 7



Abril-2025

REVISTA INGENIERÍA
SIGLO XXI
Nº7 Vol. 7 Abril-2025



Créditos

INGENIERÍA SIGLO XXI
PRIMERA EDICIÓN
N.º7, Vol.7
2025

Rectora

Dra. Jeri Gloria Ramón Ruffner de Vega

Vicerrector académico y pregrado

Dr. Carlos Francisco Cabrera Carranza

Vicerrector de investigación y posgrado

Dr. José Segundo Niño Montero

Decano de la facultad de ingeniería industrial

Dr. Julio Alejandro Salas Bacalla

Vicedecano académico

Mg. Luis Ruez Guevara

Vicedecano investigación y posgrado

Dr. Jorge Inche Mitma

Director instituto de investigación

Mg. Daniel Humberto Mávila Hinojoza

COMITÉ EDITORIAL

Editor general

Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez

Miembros

Dr. Carlos Augusto Shigyo Ortiz
Mg. Ana María Medina Escudero
Mg. Fiorella Vanessa Güere Salazar
Mg. Juan Cancio Suárez Fuentes
Mg. Ernesto Altamirano Flores
Mg. Marco Antonio Tello Miranda
Dr. Francisco J. Wong Cabanillas

**Edición, diagramación y
corrección de estilo**

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

©UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
Calle Germán Amézaga Nro 375-Lima, Perú
Teléfono: 619-7000 Anexo 1814
email: lifi@unmsm.edu.pe
Edición: Abril 2025

ISSN: 3028-970X (En línea)

La revista Ingeniería Siglo XXI publica artículos resultado de los trabajos de investigación realizados por los alumnos de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM (FII) o de cualquier otra facultad de ingeniería de cualquier universidad; ya sea como investigación primaria o revisión bibliográfica, siempre y cuando cumplan con la guía de autor y superen el proceso de revisión.

En el caso de articulistas de los programas de maestría o doctorado, la presentación de artículos no aplica a los trámites de sustentación de tesis.

La revista depende funcionalmente del instituto de Investigación de la FII.

CONTENIDO

Introducción.....7

El desarrollo del proyecto Camisea en Cusco8

Isaías Joel Revoredo Jiménez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Ronald David Ulloa Armas
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Walter Manuel Vallejos Llanca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Roger Jairo Villegas Cayllahua
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Alvaro Yerson Vizares Navidad Universidad
Nacional Mayor de San Marcos Leonardo
Fabrizio Yarasca Escurra Universidad
Nacional Mayor de San Marcos

La minería aurífera ilegal en la región de Madre de Dios20

Nayeli Yomira Ramírez Tello
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Oriana Diane Rodríguez Olórtegui
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Alison Ariadna Trujillo Flores
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Mary Cielo Uriol Condori
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Sheyla Naomi Valverde Isampa
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Jesús Miguel Velásquez Bazán
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Impacto económico y desafíos ambientales del litio en la región Puno: una revisión31

Sebastián Eduardo Mamani Huamaní
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Angie Nicole Tribeño Vásquez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Narciso Eduardo Ypanaqué Elías
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Valeria Antonella Siomara Vargas Apaella
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Denzel Manuel O'Besso Mendoza
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Cristofer Josue Emerson Tapia Repetto
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Análisis cualitativo de la relación socioeconómica y ambiental entre la minería y la agricultura en Cajamarca	47
---	----

Fiorela Quispe Vásquez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Víctor Raúl Rafael Vilca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Salvatore Smith Sánchez Aldazabal
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Yarly Dianeth Vásquez Idrogo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Stefany Diana Vásquez Janampa
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Medalith Janina Vilchez Arones
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Jesús Darwin Yauri Arellano
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Diversificación de las actividades económicas en el departamento de Loreto: sector agrícola y sector petrolero	56
--	----

Liliana Alejandra Zegarra Castro
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Paola Elizabeth Teves Chamorro
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Angel Daniel Pomayay Yaranga
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Samaria Belén Chanduvi Reyes
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Jhadyra Mishel Soto Ilahuala
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Josué Daniel Ñingle Cangahuala
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Carolina Esmeralda Tinoco Pezo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

De residuos a recursos: un enfoque científico en la economía circular y su impacto en la sustentabilidad	68
--	----

Rommel Junior Carhuallanqui Alfaro
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Paul Diego Mamani Cuestas
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Karla Milagros Sosa Roca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Dra. Julissa Marleni Icho Yacupoma
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Impacto del biodiésel en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, efectividad para aumentar la vida útil de los motores y su potencial sostenible en el Perú	85
---	----

Diego Eduardo Fernández Pariachi
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Rodrigo Gabriel Herrera Mariano
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
André Fabián Zanelli San Martín
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Dra. Julissa Marleni Icho Yacupoma
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Keke de Ñuña: Innovación Nutricional para Aliviar el Desgaste Mental en la Vida Universitaria..97

Jéssica Smith Alvites Almeida
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Dra. Julissa Marleni Icho Yacupoma
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

El impacto de la tecnología en el tratamiento de aguas residuales en la minería 106

Jerson Paolo Delgado Castro
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Luis Piero Marin Gamboa
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Pablo Daniel Huamaní Sasari
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Dra. Julissa Marleni Icho Yacupoma
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Pioneras fibras del maíz: innovadora extracción de fibra de panca de choclo 119

Alisson Xiomara Jacinto Escalante
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
María Fernanda Paytán Carrillo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
María Paula Villafuerte Quispe
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Fibras textiles naturales a partir de residuos vegetales: inspiración en agralooop 129

Dassy Tamani Manuyama
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Lady Huamán Baldeón
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Sebastián Panduro Guevara
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Coralí Salón Puerta
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

INTRODUCCIÓN

Llegamos a la séptima edición de la Revista “Ingeniería siglo XXI”, revista de investigación formativa en el ámbito de las ciencias e ingeniería, con el auspicio y apoyo incondicional de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en especial de su Instituto de Investigaciones.

En este volumen se han seleccionado trabajos de investigación formativa de estudiantes de pre grado y posgrado, de las especialidades de Ingeniería Industrial, Ingeniería Textil y Confecciones, Ingeniería de Seguridad y Salud en el Trabajo, así como de Ingeniería Química.

Los temas que se presentan en esta séptima edición van desde la economía circular, la sostenibilidad ambiental, tratamiento de aguas residuales, perspectivas de proyectos como el del gas de Camisea o el potencial económico de diversas regiones del Perú; así como innovación en las fibras textiles con base a fibras naturales. Varios de ellos fueron presentados en eventos de la facultad de Ingeniería Industrial como el Coloquio de Estudiantes de Ingeniería Textil (CODITEX) o el Congreso Internacional de Estudiantes de Ingeniería Industrial (CIDDEII) del año 2024.

Un reconocimiento especial a los docentes de la facultad que impulsan y conducen la realización de estos trabajos, al Mg. Daniel Humberto Mavila Hinojosa, Director del Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial, al Dr. Jorge Inche Mitma, Vice Decano de Investigación y PosGrado y al Dr. Julio Alejandro Salas Bacalla, Decano.

Comité Editorial Marzo 2025

EL DESARROLLO DEL PROYECTO CAMISEA EN CUSCO

The development of the Camisea project in Cuzco

Isaías Joel Revoredo Jiménez
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos
 Correo electrónico: isaias.revoredo@unmsm.edu.pe

Rogger Jairo Villegas Cayllahua
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos
 Correo electrónico: rogger.villegas@unmsm.edu.pe

Ronald David Ulloa Armas
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos
 Correo electrónico: isaias.revoredo@unmsm.edu.pe

Alvaro Yerson Vizares Navidad
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos
 Correo electrónico: alvaro.vizares@unmsm.edu.pe

Walter Manuel Vallejos Llanca
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos
 Correo electrónico: walter.vallejosl@unmsm.edu.pe

Leonardo Fabrizio Yarasca Escurra
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos
 Correo electrónico: leonardo.yarasca@unmsm.edu.pe

Resumen: El proyecto Camisea es una de las iniciativas más significativas en el sector energético de Perú, centrada en la extracción de gas natural y líquidos de gas. Ubicado en la región de Cusco, este proyecto incluye dos lotes principales: el Lote 88 para la producción de gas y líquidos, y el Lote 57 para gas natural. Su extensa red de ductos de aproximadamente 1,000 km conecta las áreas de producción con los principales centros de consumo, garantizando el suministro energético tanto a nivel nacional como para exportación (Oni, A. et al, 2022). Desde sus inicios, Camisea ha tenido un impacto considerable en la economía peruana, generando ingresos anuales de miles de millones de dólares y favoreciendo la inversión social en las comunidades cercanas. No obstante, el proyecto ha suscitado críticas relacionadas con su impacto ambiental y su relación con las comunidades indígenas. Estos retos han llevado a un llamado a una mayor regulación y a esfuerzos para asegurar que el desarrollo de recursos naturales se realice de manera sostenible y equitativa (Howarth, R. W. 2020).

Palabras Clave: Gas natural, suministro energético, impacto ambiental, comunidades indígenas, sostenible

Abstract: The Camisea project is one of the most significant initiatives in Peru's energy sector, focused on the extraction of natural gas and gas liquids. Located in Cusco, this project includes two main lots: Lot 88 for gas and liquids production, and Lot 57 for natural gas. Its extensive pipeline network of approximately 1,000 km connects production areas with the main consumer centers, guaranteeing energy supply both nationally and for export (Oni, A. et al, 2022). Since its inception, Camisea has had a considerable impact on the peruvian economy, generating annual revenues of billions of dollars and promoting social investment in nearby communities. However, the project has attracted criticism related to its environmental impact and its relationship with indigenous communities. These challenges have led to calls for greater regulation and efforts to ensure that natural resource development is carried out in a sustainable and equitable manner (Howarth, R. W. 2020).

Keywords: natural gas, energy supply, environmental impact, indigenous communities, sustainable

1. Introducción

El proyecto Camisea, ubicado en la región de Cusco, Perú, representa una de las iniciativas más cruciales en el sector energético nacional. La motivación principal de este trabajo es entender cómo un proyecto de tal envergadura ha influido en diversos aspectos económicos, ambientales y sociales, tanto a nivel local como internacional. La extracción de gas natural y líquidos de gas no solo es vital para el suministro energético del país, sino que también tiene implicaciones significativas para las comunidades cercanas y el medio ambiente (EIA, 2020; MINEM, 2021).

En el contexto nacional, el proyecto Camisea ha sido un motor económico desde su inicio, contribuyendo significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) de Perú y generando miles de millones de dólares en ingresos anuales (Ministerio de Economía y Finanzas, 2019). Este proyecto ha facilitado el acceso a energía limpia y eficiente, además de atraer inversiones y promover el desarrollo social en las regiones involucradas (Proinversión, 2020). No obstante, ha enfrentado críticas relacionadas con su impacto ambiental y las consecuencias para las comunidades indígenas (Paredes, 2018).

Además de su impacto económico, el proyecto Camisea ha generado importantes debates en cuanto a su gestión ambiental. Ha habido varios informes sobre las fugas de gas y su impacto en la biodiversidad de la región amazónica (WWF, 2017). A su vez, las comunidades indígenas han expresado sus preocupaciones sobre cómo el proyecto afecta sus tierras y modos de vida, llevando a una serie de consultas y negociaciones para asegurar que sus derechos sean respetados (CIDH, 2019).

A nivel internacional, el proyecto Camisea es comparado con otros desarrollos similares de gas natural en América Latina y el resto del mundo. En países como Bolivia y Argentina, la explotación de recursos naturales ha seguido patrones similares, enfrentando desafíos y oportunidades comparables (YPFB, 2020; YPF, 2019). La experiencia internacional ofrece valiosas lecciones sobre la gestión sostenible de recursos energéticos y la necesidad de regulación para mitigar impactos negativos y maximizar beneficios sociales y económicos (Banco Mundial, 2021).

Este trabajo pretende evaluar diversas opiniones y fuentes sobre el manejo del proyecto Camisea, basándose en una revisión exhaustiva de la literatura disponible. El análisis permitirá entender mejor las dinámicas en juego y proponer recomendaciones para futuros desarrollos en el sector energético.

1.1. Base teórica

Gas Natural: El gas natural es un hidrocarburo gaseoso altamente inflamable, fruto de una mezcla de gases livianos de origen natural, en su mayoría alcanos. Es uno de los combustibles más explotados del mundo, extraído del subsuelo en yacimientos similares (y a veces incluso en el mismo lugar) a los petroleros. (Kim, Y. 2023).

El gas natural es un combustible fósil que se utiliza de forma muy extendida hoy en día debido a que presenta una serie de ventajas cuando se lo compara con los derivados del petróleo o el carbón. Sin embargo, esto no significa que sea una energía limpia o renovable. (Marconi, P., & Rosa, L. 2023). No obstante, para algunos, el gas natural podría ser lo que se denomina como “energía de transición” durante el período en el que se suprimen las energías contaminantes y se sustituyen por energías limpias. En realidad, se trata de una energía que presenta tanto ciertas ventajas como inconvenientes. (Roudari, S, et al, 2023).

Composición del gas natural: La composición del gas natural es fundamental para entender su eficiencia y versatilidad como fuente de energía. Predominantemente compuesto por metano (CH_4), su estructura simple y altamente inflamable lo convierte en una opción ideal para diversas aplicaciones, desde el ámbito doméstico hasta el industrial y el transporte.

Sin embargo, el gas natural no se limita solo al metano; también contiene pequeñas cantidades de otros hidrocarburos y gases que influyen en sus propiedades y aplicaciones. (Howarth, R. W. 2020)

Está compuesto adicionalmente por etano (C_2H_6), aunque también puede contener cantidades de gases livianos como butano (C_4H_{10}) y propano (C_3H_8), especialmente cuando se encuentra diluido en petróleo (o sea, en el mismo yacimiento, el llamado “gas natural asociado”), además puede contener trazas de otros compuestos y elementos, como dióxido de carbono, nitrógeno, ácido sulfhídrico o helio. (Oni, A. et al, 2022)

En agosto del 2004, Pluspetrol se encarga de las actividades de exploración y explotación de los yacimientos de gas natural lote 56 y 88 de Camisea, 4 años más tarde, desde que se obtuvo la licencia de explotación. La operación comercial del gas natural está conformado por un consorcio, donde Pluspetrol, es el socio mayoritario, con una participación 27.2%, seguido de la estadounidense *Hunt Oil* (25.2%), la coreana *SK Innovation* (17.6%), la española *Repsol* (10%), la argelina *Sonatrach* (10%) y la argentina *Tecpetrol* (10%). Desde el 2004, Pluspetrol se encarga de las actividades de exploración y explotación de los yacimientos de gas natural lote 56 y 88 de Camisea (Olarte E, Ortigas L & Cortez X, 2021).

Camisea: Es el mega yacimiento de gas más importante del Perú y uno de los más representativos de Latinoamérica. Es un ícono y modelo a nivel internacional. Se trata de una muestra ejemplar de ingeniería, desarrollo logístico e infraestructura en un entorno de alta sensibilidad social y ambiental, en el corazón de la Amazonía de Cusco. Allí se lleva a cabo una operación de tipo off shore in land, que consiste en operar en tierra como si se tratara de una producción en mar (logística aérea, fluvial y sin apertura de caminos). (Hagos, D. A., Ahlgren, E. O. 2019).

De los países de Centro y Sudamérica, el Perú es el segundo con mayor cantidad de reservas de gas natural (PROMIGAS 2022). Las principales actividades de extracción de este recurso se centran en la región amazónica, especialmente en los lotes correspondientes al yacimiento de Camisea (García & Vasquéz 2021), ubicado al sureste del territorio, en el departamento de Cusco.

El gas de Camisea es transportado desde la Amazonía hasta el litoral costero del Pacífico, mediante una red de tuberías que atraviesan diferentes localidades y áreas, entre las que destacan algunas áreas naturales protegidas como: el Parque Nacional Otishi y la Reserva Comunal Machiguenga (Sagua 2019). Las empresas a cargo de la extracción y transporte de este gas realizan periódicamente evaluaciones de impacto ambiental, como parte de los requisitos de operación impuestos por el gobierno peruano a través de sus organismos de control y fiscalización (Palomares & Novoa 2022).

El documento “Propuestas para el fortalecimiento del mercado de Gas Natural” de Francisco Torres Madrid, publicado por el Ministerio de Energía y Minas en agosto de 2014, destaca la importancia del gas natural en la seguridad energética del Perú, especialmente a diez años del proyecto Camisea. Torres argumenta que la seguridad energética debe ser considerada un concepto de interés público, fundamentado en la confiabilidad del suministro, el acceso a los recursos y un desarrollo ambientalmente sostenible. Además, resalta que el proyecto Camisea ha sido crucial para mejorar la infraestructura energética del país y ha generado beneficios significativos para las comunidades locales, contribuyendo así al crecimiento económico sostenible del Perú (Torres Madrid, 2014).

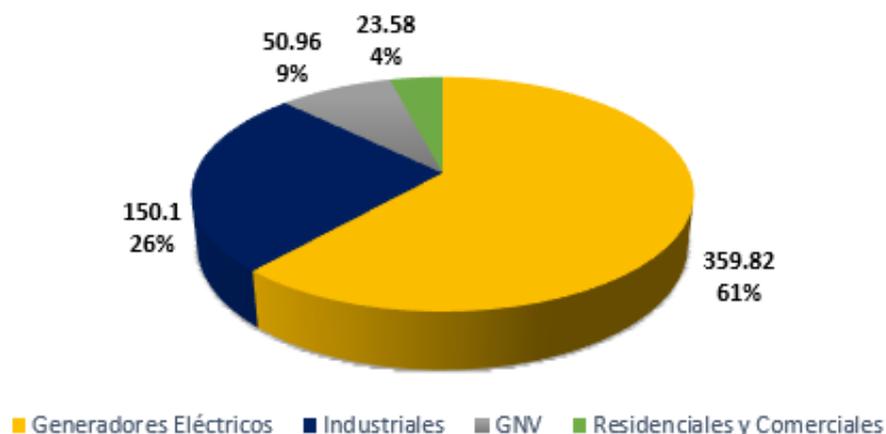
El análisis de Francisco Torres Madrid en “Propuestas para el fortalecimiento del mercado de Gas Natural” subraya que, a lo largo de una década, el proyecto Camisea ha sido un pilar fundamental en la evolución del sector energético peruano.

El estudio de Energiminas subraya el papel crucial de Camisea en la masificación del gas natural en el Perú, con más de 2 millones de hogares, industrias y comercios beneficiados en 10 regiones del país. Esta expansión, entre los años 2004 y 2023 ha permitido ahorros para los usuarios del gas de Camisea por S/ 414 mil millones y ha contribuido a una mejora significativa en la calidad del aire, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 15%. Así también contribuye significativamente a la cocina. “Cocinar con el gas de Camisea es un ahorro total, porque antes consumíamos unos 12 balones y ahora consumimos un equivalente a 6 balones. Aparte, gracias al gas natural hoy podemos atender a 120 personas en lugar de 80”, declara María Ocaña, presidenta del Comedor Popular Fe y Alegría en El Agustino (Lima).

En la zona denominada Camisea se encuentran tres lotes en producción que constituyen la principal fuente de gas natural del país, con una producción promedio estimada en el cuarto trimestre del 2020 de 1 747,35 millones de pies cúbicos de gas y 87,228 barriles de líquidos de gas natural por día. La producción de los lotes 56 y 57, que constituyen entre el 35% y 40% de la producción total, se destina a la exportación. Mientras que la producción del Lote 88, está destinada para consumo Interno (Cortés, X; Ortigas, L.; Olarte, E., 2021).

Gráfico N°1

**Mercado Interno de Gas Natural de Camisea
 2021-2**

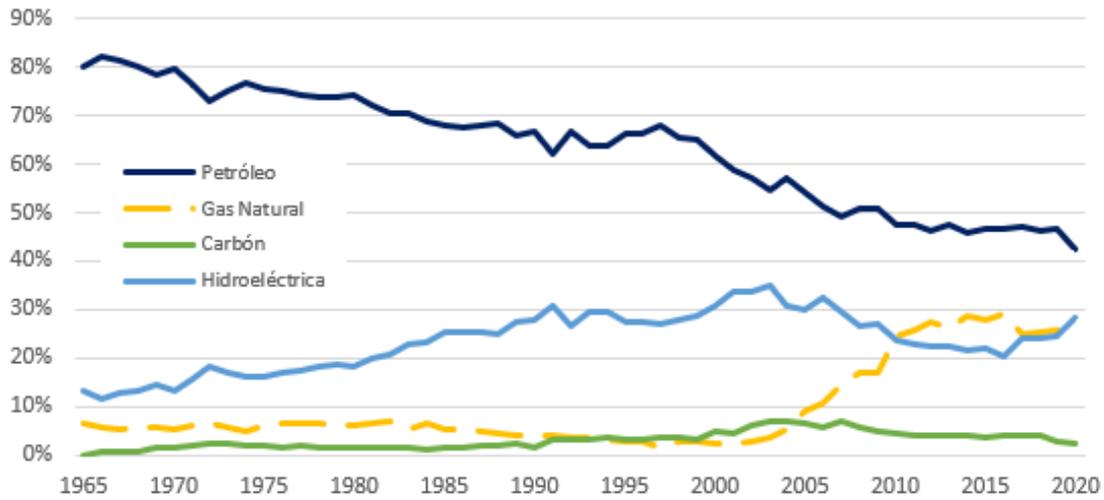


Consumo Promedio del Trimestre 2021-2 del Mercado Interno de Gas Natural de Camisea – (en MMPCD)

Fuente: División de Supervisión de Gas Natural – OSINERGMIN / Elaboración FRI ESAN

En el año 2000, previo al ingreso del Proyecto Camisea al Perú, tan solo el 4% de la energía eléctrica era proveniente de la producción del gas natural, siendo más específico de los yacimientos de la costa norte. Actualmente se está implementando una tendencia cambiante en la participación del mercado energético peruano, disminuyendo el consumo de carbón y petróleo para utilizar nuevas fuentes de energía primaria más limpias, como el gas natural y la energía renovable. Como se observa a continuación en el siguiente gráfico, en 2020, el gas natural registró una participación del 25.5% en el mercado energético y un 34% de la energía eléctrica se produjo en base a este recurso.

Gráfico N°2
Matriz de Consumo Energía: Perú
(%)



Consumo de Energía Primaria por Combustible, Perú, 1965-2020 (en Exajoules)

Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2021 / Elaboración/FRI ESAN

En el ámbito ambiental, es importante las distintas actividades como las exploratorias y de explotación de algún recurso como el gas, petróleo, entre otros, etc. El Proyecto Camisea es una actividad eco amigable, esto se demuestra en el bajo impacto en el ambiente por la producción de agentes contaminantes principalmente por el , además de ser una alternativa de solución para satisfacer el acceso de energía de la población, esto se demuestra según el siguiente cuadro:

Tabla N°1

Combustible	Factor de emisión
Sector eléctrico (Ton CO₂/MWh) ¹	
Gas Natural	0.430
Diésel y Residual	0.818
Carbón	0.955
Sector industrial (Ton CO₂/GJ) ²	
Petróleo Industrial N° 6	0.077
Carbón	0.096
Gas Natural	0.055
Sector transporte (Ton CO₂/GJ) ³	
Gasolinas	0.059
GNV	0.039

Fuente: Sánchez (2011), IPCC (2000), Mosquera et al. (2010).

2.Método

La metodología a utilizar será principalmente descriptiva, basándose en datos estadísticos que puedan explicar la realidad del proyecto de camisea y su importancia para el país.

El presente trabajo utiliza la metodología no experimental de la investigación, puesto que no existe manipulación de las variables, se recopila la data de las fuentes de información tal y como son encontradas. Los datos del presente estudio son recogidos de un periodo determinado de tiempo, teniendo como propósito tener la data y variables suficientes para poder hacer una proyección de la variable dependiente en un periodo de tiempo de la empresa seleccionada. El presente estudio pretende evaluar tres escenarios, ya que se espera saber si realmente se obtendrá una demanda importante de gas natural de la mina seleccionada. Además, para evaluar la factibilidad de la adopción de GNL se tomará como referencia a un equipo representante de consumo importante de combustible.(Hernández, 2018).

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el impacto del proyecto del gas de camisea en el Perú en términos económicos, sociales y ambientales. La pregunta central de la investigación radica en si este proyecto tiene un impacto en el bienestar de las comunidades locales y la economía local y nacional.

Para desarrollar este estudio se llevará a cabo una evaluación exhaustiva de artículos de investigación, reportes de impacto ambiental y social, estudios previos, etc. Esta revisión permitirá identificar y establecer un marco comparativo con proyectos similares en otras regiones.

La investigación se guiará por una hipótesis que plantee que el proyecto de Camisea impulse el desarrollo económico y mejore la calidad de vida en ciertas áreas, aunque también genere desafíos ambientales. Se optará por un enfoque de investigación mixta, es decir, recopilar o utilizar métodos cualitativos(Creswell, 2014), tomando como ejemplo, entrevistas a expertos que ofrezcan una percepción más profunda del problema, además de analizar datos económicos nacionales y regionales provenientes de fuentes oficiales, así como informes de impacto ambiental y social realizados por entidades públicas y ONGs.

Una vez culminada la etapa de la recolección de información, se procederá a analizar mediante técnicas estadísticas las variables cuantitativas, y mediante análisis temático las cualitativas, permitiendo una interpretación comparativa entre los efectos económicos y ambientales que pudiesen darse.

Los resultados se interpretarán para evaluar si los beneficios económicos del proyecto justifican los impactos sociales y ambientales observados, y para identificar posibles diferencias en el impacto entre regiones externas al proyecto. La discusión resumirá los hallazgos más relevantes, presentará recomendaciones basadas en otros resultados y sugerirá áreas para futuras investigaciones que profundicen los impactos que dicho proyecto pueda generar.

3. Resultados

El Proyecto Camisea ha sido un verdadero cambio en el acceso energético para Perú. No solo ha traído una inyección vital de dinero a la economía, sino que también ha creado miles de empleos, mejorando la vida de muchas personas. Gracias a este proyecto, la infraestructura energética del país ha avanzado, además permite una mayor inversión. Este proyecto ha significado una mejora real en la calidad de vida de las personas, proporcionando acceso a energía asequible y eficiente. Las regiones involucradas han visto un desarrollo significativo, que se traduce en comunidades más prósperas, con un desarrollo sostenible. Asimismo, vale recalcar que con este proyecto el Perú ha logrado una mayor independencia energética, reduciendo los niveles de las importaciones de hidrocarburos, este proyecto es un claro ejemplo de cómo gestionar adecuadamente los recursos y cómo estos pueden ser un pilar para el desarrollo económico de nuestro país. Según algunos estudios realizados se estima que el proyecto incrementará el PBI del Perú en un 0.8% anual hasta el año 2033. Es importante subrayar el impacto y beneficios que tiene dicho proyecto a nivel social, económico y ambiental.

Beneficios Sociales:

El Proyecto Camisea ha permitido la conexión de más de 4,900 viviendas a la red de distribución de gas natural, con el potencial de incrementar este número hasta diez veces mediante un esfuerzo más vigoroso en ventas y financiamiento (Energiminas, 2023).

Impacto Ambiental:

Ambientalmente, el proyecto ha adoptado medidas para reducir su impacto, mejorando la calidad del aire y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero en un 15%. El Proyecto Camisea ha enfrentado preocupaciones de las poblaciones indígenas sobre posibles impactos negativos en sus territorios y actividades. Para abordar esto, la empresa implementó técnicas que minimizan el impacto ambiental, ganando el Premio Desarrollo Sostenible 2021.

El proyecto utiliza una logística "Offshore-inland" para evitar la construcción de carreteras, empleando medios fluviales y aéreos para el transporte. Los ductos verdes fue una medida ambiental que permitió reducir el impacto en los ecosistemas, vale decir, que una vez acabada la construcción se inició un proyecto de revegetación, además, se mantiene un monitoreo constante de especies vegetales y animales para asegurar la recuperación del bosque intervenido.

Beneficio en la economía:

Ha generado aproximadamente 56,000 empleos anuales en total, incluyendo empleos directos e indirectos (Energiminas, 2023), además por estudios y cálculos realizados por algunos interesados en el tema, se estima que dicho proyecto permite la reducción de la importación de hidrocarburos, por ejemplo: desde su funcionamiento hasta el año 2023 se ha reducido las importaciones en 8400 millones de dólares.

4. Discusión

Composición del gas:

El gas natural es un hidrocarburo gaseoso altamente inflamable, compuesto principalmente por metano (CH_4), aunque también contiene etano, butano, propano y trazas de otros compuestos como dióxido de carbono y helio. Su alta inflamabilidad y simplicidad lo convierten en una opción eficiente y versátil para diversas aplicaciones, desde el uso doméstico hasta el industrial y el transporte (Harold J. 2023).

Ventajas y Desventajas:

El gas natural es preferido sobre otros combustibles fósiles como el petróleo y el carbón debido a su menor impacto ambiental y mayor eficiencia energética. No obstante, no es una energía limpia o renovable, aunque se considera una “energía de transición” hacia fuentes más limpias, todavía conlleva riesgos medioambientales y no puede ser vista como una solución permanente (Castillo A, 2023).

Aplicaciones industriales y energéticas:

En Perú, el gas natural de los yacimientos de Camisea ha transformado el sector energético, proporcionando una fuente de energía confiable y relativamente limpia. La explotación y transporte del gas, gestionados por consorcios liderados por Pluspetrol, han permitido el acceso al gas natural a millones de hogares y negocios, mejorando la infraestructura energética del país y contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Olarte E, Ortigas L & Cortez X, 2021).

Importancia Económica:

El proyecto Camisea es crucial para la economía peruana, generando beneficios significativos y contribuyendo a la seguridad energética del país. Ha permitido ahorros sustanciales para los usuarios y ha mejorado la calidad del aire. A nivel macroeconómico, también ha sido fundamental en la reducción de la pobreza y el desarrollo sostenible (Torres Madrid 2014 Energiminas).

El proyecto Camisea es decisivo para la economía peruana, logrando mejoras y proporcionando al acceso energético del país. A nivel macroeconómico, ha reducido la pobreza y ha favorecido el desarrollo sostenible según Torres Madrid..

Impacto Ambiental y Social:

Las actividades en Camisea se llevan a cabo con atención a la sostenibilidad ambiental, respetando áreas protegidas y realizando evaluaciones de impacto ambiental regularmente. Sin embargo, siempre existe el reto de balancear el desarrollo energético con la conservación del medio ambiente, especialmente en un área tan sensible como la Amazonía (Palomares & Novoa 2022).

5. Conclusiones

El Proyecto Camisea ha representado un hito significativo para el desarrollo energético, social y económico del Perú, marcando un antes y un después en la infraestructura energética del país. A través de la extracción y distribución de gas natural, ha permitido mejorar el acceso a energía asequible y eficiente para millones de peruanos, transformando tanto la vida de las comunidades locales como la economía nacional. Con la creación de más de 56,000 empleos anuales, una significativa reducción en las importaciones de hidrocarburos y un aporte directo al Producto Interno Bruto (PIB), el proyecto ha demostrado ser un motor clave para el crecimiento económico sostenible del Perú.

A nivel social, el Proyecto Camisea ha generado una mejora en la calidad de vida de muchas familias, gracias a la conexión de viviendas a la red de gas natural y el ahorro significativo en el consumo energético. Además, ha contribuido a la reducción de la pobreza en diversas regiones del país y al fortalecimiento de la seguridad energética, lo que ha hecho posible un desarrollo más autónomo y robusto.

El Proyecto Camisea ha sido una fuente de grandes beneficios para el Perú, pero también ha generado retos que requieren atención continua. La clave para su éxito a largo plazo radica en equilibrar el aprovechamiento del recurso natural con la protección del medio ambiente y el respeto a los derechos de las comunidades locales. Si se gestionan adecuadamente estos aspectos, el proyecto podrá seguir siendo un pilar fundamental en el desarrollo económico y energético del país, contribuyendo a una transición energética hacia un futuro más limpio y sostenible.

6. Bibliografía

- Academy, E. (2023). *Engineering topic: Traditional Energies vs. Alternative Energies, A More Sustainable and Clean Future*. Revista. <https://www.revistaeyaa-academy.mx/articulos/c/0/i/72364040/engineering-topic-traditional-energies-vs-alternative-energies-more-sustainable-and-clean-future-topico-de-ingenieria-energia>
- Agencia de Promoción de la Inversión Privada - PROINVERSION. (2025). Plataforma Del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/proinversion>
- Comisión Interamericana de Derechos Humanos. (2024). Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CIDH). Comisión Interamericana De Derechos Humanos (CIDH). <https://www.oas.org/es/cidh/>
- Hagos, D. A., & Ahlgren, E. O. (2018). Well-to-wheel assessment of natural gas vehicles and their fuel supply infrastructures – Perspectives on gas in transport in Denmark. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 14–35.
- Home. (2024). <https://www.ypf.com/>
- Howarth, R. W. (2014). A bridge to nowhere: Methane emissions and the greenhouse gas footprint of natural gas. *Energy Science and Engineering*, 2(2), 47–60.

- Ishtiaq, M. (2021). Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage. www.academia.edu. https://www.academia.edu/57201640/Creswell_J_W_2014_Research_Design_Qualitative_Quantitative_and_Mixed_Methods_Approaches_4th_ed_Thousand_Oaks_CA_Sage
- Kim, Y., (2023). Advanced natural gas liquefaction and regasification processes: Liquefied natural gas supply chain with cryogenic carbon capture and storage. *Energy Conversion and Management*, 292.
- Marconi, P., & Rosa, L. (2023). Role of biomethane to offset natural gas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 187.
- Ministerio de Economía y Finanzas - MEF. (2024). Plataforma Del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/mef>
- Ministerio de Energía y Minas - MINEM. (2024). Plataforma Del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/minem>
- Oni, A. O., Anaya, K., Giwa, T., Di Lullo, G., & Kumar, A. (2022). Comparative assessment of blue hydrogen from steam methane reforming, autothermal reforming, and natural gas decomposition technologies for natural gas-producing regions. *Energy Conversion and Management*, 254.
- Palomares CIP, Novoa JAA. 2022. Validación de estudios individuales de impacto ambiental: Caso del megaproyecto de Gas de Camisea, Perú. *Natura@economía* 1(2):111-133
- Paredes, M. (2018). Evaluación de Impactos Ambientales en el Proyecto Camisea. Recuperado de <https://repositorio.unmsm.edu.pe/>
- Roudari, S., Sadeghi, A., Gholami, S., Mensi, W., & Al-Yahyaee, K. H. (2023). Dynamic spillovers among natural gas, liquid natural gas, trade policy uncertainty, and stock market. *Resources Policy*, 83.
- Sagua Vilca NE. 2018. Impuesto ambiental, un instrumento de política ambiental por la producción de gas natural en el Perú. Tesis de Máster. Universidad Politécnica de Madrid.
- Somos energía. (2024, November 15). <https://www.yxfb.gob.bo/es/>
- Torres Madrid, F. (2014). Propuestas para el fortalecimiento del mercado de Gas Natural. Ministerio de Energía y Minas.
- Torrice, J. H. F. (2023). Unidades de endulzamiento por aminas de planta de gas. *Revista Científica Sinapsis*, 1(22). <https://doi.org/10.37117/s.v1i22.779>
- WorldBank. (2023). World Bank Group - International Development, Poverty and Sustainability. <https://www.worldbank.org/ext/en/home>

WWF - Endangered Species Conservation | World Wildlife Fund. (n.d.). World Wildlife Fund. <https://www.worldwildlife.org/>

YPF. (2019). Desarrollo de Vaca Muerta. Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Recuperado de <https://www.ypf.com/>

YPFB. (2020). Proyecto Margarita-Huacaya: Lecciones Aprendidas. Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. Recuperado de <https://www.ypfb.gob.bo/>

LA MINERÍA AURÍFERA ILEGAL EN LA REGIÓN DE MADRE DE DIOS

Illegal gold mining in the Madre de Dios region

Nayeli Yomira Ramírez Tello
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: nayeli.ramirez@unmsm.edu.pe

Mary Cielo Uriol Condori
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: mary.uriol@unmsm.edu.pe

Oriana Diane Rodríguez Olórtegui
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: oriana.rodriguez@unmsm.edu.pe

Sheyla Naomi Valverde Isampa
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: sheyla.valverdei@unmsm.edu.pe

Alison Ariadna Trujillo Flores
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: alison.trujillo@unmsm.edu.pe

Jesús Miguel Velásquez Bazán
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jesus.velasquez@unmsm.edu.pe

Resumen: Este trabajo analiza el impacto ambiental de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios mediante un enfoque cualitativo y un análisis comparativo con otras regiones amazónicas afectadas. Se identificó que esta actividad ha perjudicado 49 sectores de la Amazonía, especialmente en Perú, Brasil y Ecuador, generando pérdidas económicas significativas, estimadas en 12.500 millones de euros para el Perú. Una encuesta reveló que el 58 % de los encuestados reconoce la contaminación ambiental, mientras que el 45 % considera la situación no alarmante, el 33 % grave y el 22 % muy grave. Es así que el análisis realizado muestra que las deficiencias en la regulación y supervisión, combinadas con la falta de responsabilidad de las empresas y personas involucradas en la minería ilegal, han permitido la expansión de esta actividad y con ello un mayor impacto ambiental afectando a más de 23 881 hectáreas de bosques en los últimos 3 años, también existe una percepción generalizada de ineficiencia en la gestión de las autoridades, además se presentan repercusiones sociales porque la comunidad enfrenta diversos desafíos derivados de la minería ilegal.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de un marco regulatorio más efectivo y de mayor sensibilización social para mitigar los efectos de la minería ilegal en la región.

Palabras claves: minería aurífera, Madre de Dios, impacto ambiental.

Abstract: This paper analyzes the environmental impact of illegal gold mining in Madre de Dios through a qualitative approach and a comparative analysis with other affected Amazonian regions. It was identified that this activity has damaged 49 sectors of the Amazon, especially in Peru, Brazil and Ecuador, generating significant economic losses, estimated at 12.5 billion euros for Peru. A survey revealed that 58 % of those surveyed recognize environmental pollution, while 45 % consider the situation not alarming, 33 % serious and 22 % very serious. Thus, the analysis shows that deficiencies in regulation and supervision, combined with the lack of responsibility of companies and individuals involved in illegal mining, have allowed the expansion of this activity and with it a greater environmental impact affecting more than 23,881 hectares of forest in the last 3 years, there is also a generalized perception of inefficiency in the management of the authorities, and there are also social repercussions because the community faces various challenges derived from illegal mining. These findings underscore the need for a more effective regulatory framework and greater social awareness to mitigate the effects of illegal mining in the region.

Key words: gold mining, Madre de Dios, environmental impact.

1. Introducción

La minería es una de las actividades productivas más antiguas de la humanidad, cuya práctica se remonta a miles de años atrás. Desde la Edad de Bronce, esta actividad marcó un hito en la historia con la masificación del uso de aleaciones como el bronce (cobre y estaño), revolucionando la fabricación de armas y herramientas agrícolas. Además, en varias civilizaciones, la minería estuvo ligada al desarrollo de tecnologías, manifestaciones culturales, religiosas, artísticas y económicas (Rahmann, 2021).

En la actualidad, la minería aurífera enfrenta cuestionamientos significativos, especialmente en regiones en desarrollo. Durante la última década, se ha debatido ampliamente su incapacidad para aliviar la pobreza en las comunidades donde se lleva a cabo, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas sustentables que permitan maximizar los beneficios económicos y sociales generados por esta actividad (Tarra et al., 2021).

En el Perú, el departamento de Madre de Dios se ha consolidado como el epicentro de la minería aurífera. Esta actividad constituye la principal fuente económica de la región, con una explotación que abarca grandes zonas auríferas en cuencas y subcuencas. Originalmente realizada mediante métodos artesanales, como el uso de canaletas y bateas, la minería en Madre de Dios ha evolucionado con el tiempo hacia técnicas más sofisticadas que permiten extraer mayores volúmenes de mineral (Velásquez, 2020).

Sin embargo, este crecimiento tecnológico no ha estado exento de consecuencias negativas. La minería aurífera ilegal en Madre de Dios ha generado problemas ambientales alarmantes, como la deforestación masiva, el tráfico ilegal de madera y la destrucción de tierras agrícolas aluviales. Desde la década de los 80, esta actividad ha sido la principal causa de deforestación en la región, agravando los impactos socioeconómicos y ecológicos. En la actualidad, Madre de Dios es la región del Perú con la mayor extracción de oro, pero también una de las más afectadas por la minería ilegal y sus repercusiones (Cerón, 2021).

Este artículo busca analizar el impacto ambiental y social de la minería aurífera en Madre de Dios, revisando las principales problemáticas asociadas a esta actividad y proponiendo alternativas que contribuyan a una gestión más sostenible y responsable de los recursos naturales.

1.1. Marco teórico

Minería ilegal

La minería ilegal se refiere a la extracción de minerales, especialmente aquellos de alto valor como el oro, que se realiza sin la debida autorización y regulación de las autoridades competentes. Esta actividad opera fuera del marco legal, eludiendo los controles establecidos por el Estado en materia ambiental, social y fiscal. En muchas ocasiones, la minería ilegal se lleva a cabo en áreas de difícil acceso y en regiones ambientalmente vulnerables, como es el caso de Madre de Dios, una zona que forma parte de la Amazonía peruana (Ministerio de Energía y Minas de Perú, 2021).

Una característica distintiva de la minería ilegal es la falta de infraestructuras y técnicas apropiadas para minimizar el impacto ambiental. Los mineros ilegales suelen recurrir a métodos rudimentarios, como el uso de mercurio para separar el oro de otros materiales, lo que resulta en la liberación de contaminantes peligrosos en los cuerpos de agua y el suelo, afectando gravemente a los ecosistemas y las comunidades locales que dependen de esos recursos para su subsistencia.

Es importante hacer una distinción entre minería ilegal y minería informal. La minería informal incluye actividades mineras llevadas a cabo por personas o grupos que, aunque carecen de los permisos necesarios, eventualmente se regularizarán y cumplirán con las normativas vigentes. En contraste, la minería ilegal opera de manera clandestina y no tiene la intención de someterse a regulaciones, lo que la coloca fuera de la ley.

En el caso de Madre de Dios, la minería ilegal ha proliferado rápidamente, impulsada por la creciente demanda de oro en el mercado internacional y las dificultades que enfrentan las autoridades para controlar estas actividades en una región extensa y densamente forestada. Esta situación ha generado un clima de violencia y competencia desleal, donde los mineros ilegales trabajan sin las debidas medidas de seguridad, lo que los exponen a accidentes y enfermedades, y afecta a las comunidades y ecosistemas circundantes (ONG Conservación Amazónica, 2019).

Contexto histórico de la minería en Madre de Dios

La minería en Madre de Dios tiene un contexto histórico que se remonta a la década de 1980, cuando comenzó a intensificarse la búsqueda de oro en la región, impulsada por la demanda internacional. Esta actividad, inicialmente legal, fue rápidamente superada por la minería informal e ilegal, lo que llevó a una explotación desmedida de recursos. A lo largo de los años, la falta de regulación y el crecimiento de redes criminales han permitido que la minería se expanda sin control, resultando en una devastación ambiental significativa. (Álvarez et al., 2021).

El texto “La Amazonía peruana y el cambio climático”, refiere que la actividad minera en Madre de Dios, practicada durante tres décadas “ha devastado 95.750 hectáreas de bosque (Cincia 2018), el 67,5% de la destrucción ocurrió en los últimos ocho años (64.586 hectáreas, equivalentes a 30 veces la extensión del centro de Lima (Ráez, 2019, p. 22). El Programa Presupuestal 0144, “Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos”, en su diagnóstico, señala que las principales zonas con presencia de minería ilegal son las provincias de Tambopata (Laberinto, las Piedras, Guacamayo, La Pampa) y Manu (Huepetuhe, Mazuko, Manuani, Malinowsky, Delta)(MINAM, 2017). Según el MAAP, entre los años 2018 y 2019 la minería ilegal aurífera ha consumido un total de 18 440 hectáreas de bosques amazónicos, principalmente en la región sureña de Madre de Dios, fronteriza con Bolivia y Brasil, pero también en las regiones vecinas de Cusco y Puno” (Rumbo Minero, 2019). Mongabay, por su parte, en el año 2019, advirtió que la deforestación en esta región ha alcanzado niveles jamás registrados (Sierra, 2019). La Pampa, según diversos estudios nacionales e internacionales, es el territorio con más alta incidencia de minería ilegal en el país. En 2017 y 2018 se levantaron 1 685 hectáreas de selva que se ubican dentro de concesiones de reforestación y de la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata (Sierra, 2019).

Marco legal y regulación

En torno a la minería aurífera ilegal en Madre de Dios se basa en una serie de normas nacionales y regionales que buscan regular la actividad minera, proteger el medio ambiente y garantizar los derechos de las comunidades. Entre las normativas destacadas está la Constitución Política del Perú, cuyos artículos proporcionan una base sólida para estas regulaciones:

Tabla N°1: Tabla de artículos referentes a la minería ubicados en la Constitución Política del Perú

Constitución Política	
Artículo 66	Los Recursos Naturales (Renovable y No Renovable) son Patrimonio de la Nación y el Estado es soberano en su aprovechamiento.
Artículo 67	El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales
Artículo 68	El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.
Leyes de Medio Ambiente	
Ley 29338: Ley de Recursos Hídricos	Establece el marco normativo para la gestión, protección y conservación del agua en Perú. Su objetivo es garantizar el uso sostenible del recurso hídrico, priorizando el consumo humano y el medio ambiente.
Ley 28611: Ley General del Ambiente	Establece que para la protección ambiental en Perú. Su propósito es garantizar el derecho de las personas a un ambiente saludable y equilibrado.
Ley 28245: Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental	Artículo 2°. El Sistema Nacional de Gestión Ambiental tiene por finalidad orientar, integrar, coordinar, supervisar, evaluar y garantizar la aplicación de las políticas, planes, programas y acciones destinados a la protección del ambiente y contribuir a la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Fuente: Elaboración propia

Esfuerzos de control y erradicación de la minería ilegal

En la región de Madre de Dios, los esfuerzos para controlar y erradicar la minería ilegal han incluido operativos de interdicción por parte de las Fuerzas Armadas y la Policía Nacional del Perú. Estas intervenciones buscan desmantelar campamentos de minería ilegal, confiscar equipos y maquinaria, y detener a las personas involucradas en estas actividades. Sin embargo, estos operativos enfrentan constantes desafíos debido a la resistencia de los mineros ilegales y la posibilidad de conflictos sociales.

Además de la intervención directa, el gobierno peruano ha promovido la formalización de los pequeños mineros, ofreciendo programas y capacitaciones que permitan a los mineros acceder a permisos y cumplir con los requisitos ambientales y de seguridad. Con el decreto legislativo N.º 1105, del año 2012 del Ministerio del Ambiente, cuyo objetivo es establecer disposiciones para el proceso de formalización de aquellas actividades de pequeña minería y minería artesanal que se realizan en zonas prohibidas

El Ministerio de Energía y Minas de Perú, estima actualmente una población de 12.000 personas dedicadas a la actividad minera en la Región de Madre de Dios; donde aproximadamente el 30% (3.6000) son mineros informales, El 9.2% del oro del Perú, proviene de Madre de Dios, así mismo, el estado peruano en enero del 2002, promulgó una Ley N° 27651, Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería. En ella se aprobaron normas y Decretos Legislativos con la finalidad de constituir una estrategia integral para afrontar la problemática de la minería ilegal (Velásquez, G., 2020).

2. Metodología

Para esta investigación se adoptó un enfoque cualitativo.

Artículos utilizados

Los artículos que se utilizarán en el informe serán publicaciones hechas a partir del año 2017, ya que mientras mayor sea la diferencia de años, existe un mayor margen de error o inconsistencia con la actualidad.

Revisión Documental y Normativa

Se señala que “la revisión de documentos legislativos permite identificar los vacíos legales que perpetúan actividades extractivas no reguladas” (INDAGA, 2021). Se analizaron las principales leyes mineras, ordenanzas ambientales y políticas de gestión regional emitidas entre 2019 y 2023, destacando los aspectos que no han sido implementados de manera efectiva en la región amazónica de Perú y que afectan a las comunidades aledañas.

Análisis de datos sobre los efectos causados

Identificamos la existencia, desarrollo y consecuencia de la minería ilegal e informal. No se trata solo de ser conscientes respecto a lo que hay, si no que además es necesario manifestar un determinado interés, una forma, una postura concreta y diseñar una estrategia.

Análisis Comparativo con Otras Regiones Amazónicas

Se realizó un análisis comparativo con otras zonas amazónicas afectadas por este problema en distintos países, buscando identificar patrones comunes en la gestión de la minería ilegal, con el objetivo de aprender estrategias exitosas.

3. Resultados

De acuerdo con el informe del Proyecto Monitoreo de la Amazonía Andina (MAAP, 2023), la minería aurífera ilegal ha afectado a 49 sectores de la Amazonía, impactando áreas protegidas y territorios indígenas en países como Perú, Brasil y Ecuador. En Madre de Dios, las zonas más afectadas son la Reserva Nacional de Tambopata y la Reserva Comunal Amarakaeri. En tres años, la minería ilegal ha causado la pérdida de 23.881 hectáreas de bosques, un daño similar al de otros territorios amazónicos, como los parques nacionales en Brasil y Venezuela. Este fenómeno de deforestación y contaminación con mercurio también afecta a comunidades nativas que dependen de los ríos cercanos para su agua potable, un problema generalizado en la región amazónica, que se extiende desde Perú hasta Guyana.

A nivel económico, la minería ilegal en Madre de Dios representa una significativa evasión de impuestos. En 2009, se estimó que el Estado peruano dejó de recibir hasta 12.500 millones de euros debido a la informalidad de la minería, lo que también ocurre en regiones de Bolivia y Guyana. Esta falta de contribución al fisco se combina con la interferencia de la minería ilegal en otras actividades económicas, como la agricultura y el ecoturismo. En el caso de Madre de Dios, la presencia de minería en áreas como el río Tambopata ha provocado una disminución del 40% en el número de turistas, afectando tanto la economía local como el desarrollo de proyectos de conservación y ecoturismo (Zapata, 2020).

De acuerdo con los hallazgos de Yampara Vilca (2023), un 58% de los encuestados en el departamento de Madre de Dios reconoció la existencia de contaminación ambiental vinculada a la minería ilegal, mientras que un 25% opinó que el problema se encuentra sobredimensionado y un 17% negó su existencia. En cuanto a las causas de la contaminación, un 45% señaló a la minería ilegal como principal responsable, seguido por la inacción de las autoridades (24%), el uso indiscriminado de sustancias tóxicas (20%) y la deforestación (11%).

Respecto a la percepción sobre la gravedad de la contaminación, un 45% consideró que la situación no es alarmante, un 33% opinó que es grave y un 22% la calificó como muy grave. Por último, en relación al rol de las autoridades, un 64% de los encuestados lo evaluó negativamente, un 21% lo calificó como regular, y solo un 15% lo consideró positivo.

Estos resultados reflejan la complejidad de la problemática ambiental en la región y la percepción generalizada de ineficiencia en la gestión de las autoridades.

4. Discusión

En similitud con la postura de Yampara Vilca (2023), se evidencia una percepción local de la problemática. El 58% de los encuestados en Madre de Dios reconoció la contaminación ambiental vinculada a la minería ilegal, aunque un porcentaje significativo (25%) minimizó el problema, sugiriendo que la magnitud del daño podría estar siendo sobredimensionada. Sin embargo, las cifras del MAAP (2023) y las evidencias sobre la contaminación con mercurio confirman que la minería ilegal no solo es un desafío ambiental sino también un riesgo para la salud de las poblaciones locales. Estos resultados reflejan la complejidad del conflicto, donde persiste una división de opiniones sobre la gravedad de la situación, pero también una conciencia creciente sobre la responsabilidad de la minería ilegal en la destrucción del ecosistema.

En cuanto a la responsabilidad de las autoridades es un tema clave en el análisis de la problemática ambiental, social y económica que enfrenta la región de Madre de Dios. El estudio de Yampara Vilca (2023), revela una clara insatisfacción popular, ya que el 64% de los encuestados evaluó negativamente la gestión del gobierno en la lucha contra la minería ilegal. Esto coincide con la crítica que se ha hecho a la falta de políticas públicas efectivas para frenar este fenómeno y a la evasión de impuestos derivada de la informalidad de la minería, como se menciona en el informe de MAAP (2023). La evasión fiscal no solo afecta al Estado peruano, sino que también interfiere con otras actividades económicas de la región, como la agricultura y el ecoturismo, que se ven perjudicadas por la presencia de minería ilegal, como en el caso del río Tambopata, donde el número de turistas ha disminuido en un 40% (Zapata, 2020). Con lo anterior, se demuestra que la minería ilegal no solo tiene repercusiones ambientales, sino también económicas y sociales. A pesar de la creciente conciencia sobre los impactos negativos, la falta de una respuesta efectiva por parte de las autoridades y la persistencia de la informalidad en el sector dificultan la solución del problema.

5. Conclusiones

- La minería ilegal en Madre de Dios es un problema de gran magnitud que requiere responsabilidad compartida entre entidades públicas y particulares. El análisis realizado muestra que las deficiencias en la regulación y supervisión, combinadas con la falta de responsabilidad de las empresas y personas involucradas en la minería ilegal, han permitido la expansión de esta actividad y su impacto negativo en el ambiente y la salud pública.
- Impacto Ambiental y Deforestación: La minería ilegal ha devastado más de 23,881 hectáreas de bosques en los últimos tres años, afectando áreas protegidas como la Reserva Nacional de Tambopata. La contaminación por mercurio y la deforestación generan riesgos graves para los ecosistemas locales y la salud de las comunidades cercanas.

- Falta de Regulación Efectiva: Existe una percepción generalizada de ineficiencia en la gestión de las autoridades, con el 64% de los encuestados evaluándose negativamente. La inacción y los vacíos legales perpetúan la expansión de la minería ilegal, mientras que los esfuerzos de formalización y regulación no han logrado resultados significativos.
- Repercusiones Sociales: Las comunidades locales enfrentan serios desafíos derivados de la minería ilegal, incluyendo contaminación del agua, pérdida de tierras agrícolas y conflictos sociales. A pesar de ello, una parte de la población minimiza la gravedad del problema, evidenciando la necesidad de una mayor sensibilización y educación ambiental.

6. Recomendaciones

Es crucial fortalecer la gestión interinstitucional y desarrollar políticas públicas integrales que incluyan programas de monitoreo ambiental, formalización de mineros informales y promoción de actividades económicas alternativas. Estas medidas deben priorizar la sostenibilidad y la protección del medio ambiente, así como el bienestar de las comunidades afectadas.

7. Bibliografía

- Cerón, L.; Miranda, N. & Rubin-de-Celis, E. (2021). Deforestación por actividad minera en el departamento de Madre de Dios-Perú para los años 2000 y 2017. *Anales Científicos*. 82(1), 122-129. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v82i1.1748>
- Clavo, N. (2018). Minería ilegal y proceso de formalización: Breve reseña del impacto en los bosques y la cuenca amazónica. Lima Perú. Recuperado de; http://www.derecho.usmp.edu.pe/cedemin/revistaminasyderecho/edicion_3/seccion_opinion/Nadia_Clavo.pdf.
- CooperAcción. (2024, enero 30). *Durante 2023, la minería ilegal afectó 49 sectores en Perú y otros países amazónicos*. <https://cooperaccion.org.pe/durante-2023-mineria-ilegal-afecto-49-sectores-en-peru-y-otros-paises-amazonicos/>
- Fernández et al. (2022). *IMPACTOS AMBIENTALES PREVISTOS DE LA ACTIVIDAD MINERA AURÍFERA ILEGAL EN CUERPOS DE AGUA DE LA AMAZONÍA PERUANA*. Centro de Innovación Científica Amazonica. https://cincia.wfu.edu/wp-content/uploads/2022.03.14_-DSC-1_IMPACTOS-AMBIENTALES-PREVISTOS-AC-TIVIDAD-MINERA-ILEGAL-EN-CUERPOS-DE-AGUA-DE-LA-AMAZONIA-PERUANA.pdf
- INDAGA. Observatorio Nacional de política criminal. (2021). *La minería ilegal en la amazonía peruana*. <https://preveniramazonia.pe/wp-content/uploads/Documento-La-mineria-ilegal-en-la-Amazonia-peruana-versio.pdf>
- Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo (IIED). (2020). *Impactos socioeconómicos de la minería informal en áreas rurales de Perú* .

- Lillo, J. (s.f.). *Impactos de la minería*. Universidad Complutense de Madrid. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf>
- Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). (2019). *Informe sobre el impacto ambiental y social de la minería ilegal en Madre de Dios*. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/mineria_aurifera_en_madre_de_dios.pdf
- Ministerio del Ambiente . (2021). Minam presenta Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/508193-minam-presenta-informe-nacional-sobre-el-estado-del-ambiente>
- Ministerio de Justicia y Derechos Humanos (2021). La minería ilegal en la Amazonía peruana. <https://preveniramazonia.pe/wp-content/uploads/Documento-La-miner%C3%ADa-ilegal-en-la-Amaz%C3%B3n-peruana-versi%C3%B3n-ingles.pdf>
- Muñoz-Duque, L. A., Osorno, M. M. P., & Vargas, A. B. (2020). Despojo, conflictos socioambientales y violación de derechos humanos. Implicaciones de la gran minería en América Latina. *rev. udca actual. divulg. cient*, e988-e988. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/988>
- Pérez-Cebada, J. D., & Beltrán Muñoz, M. J. (2020). La remineralización de Europa: una aproximación. *Estudios Críticos del Desarrollo*, 19, 207-237. <https://estudiosdeldesarrollo.mx/estudioscriticosdeldesarrollo/numero-19/>
- Rahmann, M. J. O. (2021). Vida, muerte y resurrección de las ciudades mineras: estrategias territoriales para escribir una historia diferente. *Identidades: territorio, cultura, patrimonio*, 1(10). https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/361159/08_10671_Ortega_VIDA_MUE_RTE_Y_RESURRECCION_DE_LAS_CIUDADES_MINERAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sierra (2023). *Perú: Deforestación por minería en Madre de Dios supera las 23 mil hectáreas en los últimos tres años*. <https://es.mongabay.com/2023/11/peru-deforestacion-mineria-madre-de-dios-estudio/> Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT). (2018). *Informe sobre el impacto fiscal del contrabando en Perú*. USAID. (2021). *El precio del oro y su impacto en la minería ilegal en Perú*. https://2017-2020.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/llegal-mining-Spanish-30set1_8_1.pdf
- Tarazona (2024). Contaminación por mercurio de minería ilegal ya puede detectarse en aves de Madre de Dios en Perú. <https://es.mongabay.com/2024/03/contaminacion-por-mercurio-de-mineria-ilegal-ya-puede-detectarse-en-aves-de-madre-de-dios-en-peru/#spotim-specific>
- Tarra-Almario, Jorge Armando, & Restrepo Baena, Oscar Jaime. (2021). Diversificación económica y creación de contenido local en el marco del desarrollo de la minería aurífera en Colombia.

Boletín de Ciencias de la Tierra, (50), 68-76. Epub February 11, 2022. <https://doi.org/10.15446/rbct.n50.92933>

Velásquez, G. (2020). Problemas medioambientales de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios (Perú). *Observatorio medio ambiental*, 23, 229-241. <https://doi.org/10.5209/obmd.73177>

Zapata, GY (2020). Problemas medioambientales de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios (Perú). <https://www.semanticscholar.org/paper/Problemas-medioambientales-de-la-miner%C3%ADa-aur%C3%ADfera-Zapata/2a6e2015a0eb5d4c-3b1ac4df2d77db065ac0492b?p2df>

IMPACTO ECONÓMICO Y DESAFÍOS AMBIENTALES DEL LITIO EN LA REGIÓN PUNO: UNA REVISIÓN

Economic impact and environmental challenges of lithium in the Puno region: a review

Sebastián Eduardo Mamani Huamani
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: mary.uriol@unmsm.edu.pe

Valeria Antonella Siomara Vargas Apaella
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: mary.uriol@unmsm.edu.pe

Angie Nicole Tribeño Vásquez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: sheyla.valverdei@unmsm.edu.pe

Denzel Manuel O'Besso Mendoza
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: sheyla.valverdei@unmsm.edu.pe

Narciso Eduardo Ypanaqué Elías
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jesus.velasquez@unmsm.edu.pe

Cristofer Josue Emerson Tapia Repetto
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jesus.velasquez@unmsm.edu.pe

Resumen: El sector minero en Perú es un pilar esencial para la economía nacional y representa una oportunidad estratégica con la explotación de litio en la región de Puno. Este trabajo analiza el impacto económico, social y ambiental de la minería de litio en Puno, destacando su relevancia en el mercado global y los desafíos asociados con la sostenibilidad. Los hallazgos muestran que, a pesar de los riesgos ambientales, la minería del litio tiene el potencial de generar ingresos significativos, fomentar el desarrollo regional y contribuir a la transición energética global. Sin embargo, se requiere la implementación de prácticas de economía circular, innovación tecnológica como el método de extracción directa (DLE) y un marco de gobernanza robusto para garantizar un desarrollo sostenible. Este estudio enfatiza la importancia de equilibrar el crecimiento económico con la protección ambiental y el bienestar de las comunidades locales.

Palabras clave: minería, litio, Puno, impacto ambiental, desarrollo económico.

Abstract: The mining sector in Peru is a key pillar of the national economy and presents a strategic opportunity with lithium exploitation in the Puno region. This study analyzes the economic, social, and environmental impacts of lithium mining in Puno, highlighting its global market relevance and sustainability challenges. Findings indicate that despite environmental risks, lithium mining has the potential to generate significant revenues, foster regional development, and contribute to the global energy transition. However, implementing circular economy practices, technological innovations such as the Direct Lithium Extraction (DLE) method, and a robust governance framework is essential to ensure sustainable development. This research underscores the importance of balancing economic growth with environmental protection and the well-being of local communities.

Keywords: mining, lithium, Puno, environmental impact, economic development.

1. Introducción

El sector minero en Perú ha sido históricamente uno de los motores más sólidos de la economía nacional. Contribuye aproximadamente al 10% del Producto Interno Bruto (PIB) y representa más del 60% de las exportaciones nacionales, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2020). Estas cifras consolidan a la minería como un pilar esencial para el desarrollo económico y social del país (MINEM, 2022). Perú, además, es reconocido internacionalmente como uno de los principales productores de minerales estratégicos, como el cobre, oro y zinc, atrayendo inversión extranjera directa y manteniendo su relevancia en el mercado global (Agboola et al., 2020).

En este contexto, la región de Puno a 1,354 Km de la ciudad de Lima, capital del Perú, se encuentra la ciudad de Puno, capital del departamento del mismo nombre, el cual es privilegiado por tener la reserva natural del Titicaca, la cual posee en la actualidad una superficie aproximada de 8,200 kilómetros cuadrados y sus aguas son compartidas con el Estado Plurinacional de Bolivia, esta emerge como un punto clave para el desarrollo minero del Perú. Reconocida históricamente por la extracción de plata desde la época colonial en minas como Laykota y San Antonio de Esquilache (Zevallos Yana, 2020), Puno ha adquirido relevancia global por su riqueza en litio. En particular, las minas de Macusani y Falchani, en la provincia de Carabaya, se proyectan como algunas de las mayores reservas de litio en América Latina.

El descubrimiento, divulgado en 2017 por el Financial Times, reveló la existencia de 2.43 millones de toneladas de carbonato de litio y 124 millones de libras de uranio en un lago prehistórico en el distrito de Corani. Posteriormente, estudios realizados por Plateau Energy Metals elevaron estas estimaciones a 4.71 millones de toneladas de litio en roca, destacando áreas adicionales de extracción en Quelcaya y el cerro Tres Hermanas (Loarte R., 2022). La mina Falchani, con inversiones que superan los 800 millones de dólares, representa una oportunidad única para posicionar a Perú como un proveedor estratégico en la transición global hacia energías limpias (IIMP, 2023).

El litio es considerado uno de los minerales más estratégicos del siglo XXI debido a su rol central en la transición energética. Su uso principal está en las baterías de iones de litio, esenciales para vehículos eléctricos, dispositivos electrónicos y sistemas de almacenamiento de energía. Entre 2010 y 2016, la demanda global de litio en la electromovilidad creció de 5,101 toneladas a 42,593 toneladas, impulsada por el desarrollo de autobuses eléctricos en China y la adopción masiva de vehículos eléctricos de pasajeros (Jones, 2021).

La disminución de costos de fabricación, liderada por empresas como Tesla y fabricantes chinos, ha acelerado esta tendencia, haciendo del litio un recurso indispensable para el futuro de las energías renovables (Jones B. et al., 2021). Además, su alta densidad energética permite aplicaciones que van desde dispositivos médicos, como marcapasos, hasta sistemas de respaldo energético en redes eléctricas (Milla G., 2023).

A pesar de las oportunidades económicas, la minería en Puno enfrenta importantes desafíos. Los ecosistemas de la región, como los bofedales y humedales andinos, son esenciales para la regulación hídrica y la captura de carbono, pero se ven amenazados por la minería informal e ilegal (Blinova et al., 2022). La contaminación del suelo, agua y aire por el uso de sustancias tóxicas, junto con una gestión inadecuada de residuos, afecta tanto a la biodiversidad como a las comunidades locales (Luza Eyzaguirre, 2022). Por ello, la sostenibilidad debe ser un eje central en el desarrollo de la minería del litio en Puno. La implementación de prácticas responsables y una gobernanza efectiva serán clave para equilibrar el crecimiento económico con la conservación ambiental y la estabilidad social (Malavé Figueroa, 2021).

El fin del presente trabajo es analizar el potencial de las reservas de litio en la región de Puno, destacando su impacto en la economía local y nacional. Asimismo, busca identificar las oportunidades y desafíos asociados con el desarrollo sostenible de la minería del litio, enfatizando la necesidad de prácticas responsables que equilibren el crecimiento económico con la protección ambiental y el bienestar social de las comunidades locales.

1.1. Base teórica

La minería en Perú, particularmente en la región de Puno, se destaca por su contribución a la economía nacional y su potencial estratégico en el mercado global, especialmente con el auge del litio en la zona de Macusani, que cuenta con una de las mayores reservas de este mineral en Sudamérica (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2023). Sin embargo, el desarrollo minero enfrenta importantes desafíos ambientales y sociales, como la contaminación de los recursos hídricos y la generación de conflictos con las comunidades locales (Cano & Flores, 2021; Ccapa, 2022). En este marco, el análisis teórico se centrará en los principios de sostenibilidad y responsabilidad social aplicados al sector minero, considerando también las estrategias de mitigación y gestión de riesgos necesarias para equilibrar el desarrollo económico con la preservación ambiental y el bienestar de las comunidades (Blinova et al., 2022; Luza Eyzaguirre, 2022).

1.2. Proceso Productivo en la Minería y su Contribución al Valor Económico

El proceso productivo de la minería comprende diversas etapas que permiten transformar los recursos minerales en productos comercializables, generando valor económico y promoviendo el desarrollo regional. Estas etapas incluyen exploración, explotación y procesamiento, todas ellas fundamentales para la cadena de valor de la minería.

Exploración y Evaluación de Recursos Minerales

La fase de exploración es crucial para identificar y evaluar los recursos minerales presentes en el subsuelo. Según Kinnunen et al. (2022), esta etapa utiliza técnicas geofísicas, geoquímicas y perforación para determinar la viabilidad económica del yacimiento y los tipos de minerales presentes. Esta información facilita la toma de decisiones respecto a futuras inversiones, además de ser el punto de partida para la generación de valor económico.

Explotación de Yacimientos

Una vez confirmada la viabilidad del yacimiento, se da inicio a la explotación minera, la cual puede realizarse mediante minería subterránea o a cielo abierto, dependiendo de la ubicación y profundidad de los recursos. Esta etapa implica la extracción física de minerales estratégicos como el litio, aumentando el valor económico mediante la comercialización de materiales de alta demanda. Además, según el Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2023), la explotación genera empleo en las comunidades locales y fomenta subcontrataciones en sectores complementarios como transporte y servicios de ingeniería.

Procesamiento y Producción de Valor Agregado

La fase de procesamiento transforma los recursos extraídos en productos comercializables mediante operaciones como trituración, molienda y procesos de concentración. Estas técnicas incluyen flotación e hidrometalurgia, que optimizan la recuperación de metales estratégicos mientras minimizan los residuos. La economía circular, según Sarker et al. (2022), ofrece una perspectiva innovadora en esta etapa al promover la reutilización de residuos mineros para la recuperación de metales en las colas de los procesos, contribuyendo a una operación más sostenible.

Impacto Económico y Desarrollo Regional

La minería no solo genera ingresos mediante la venta de minerales, sino que también promueve la creación de empleo y el desarrollo de infraestructura local. Según el Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2023), el proceso productivo fomenta el crecimiento de industrias de apoyo y genera beneficios económicos significativos para las comunidades locales, destacando su contribución al desarrollo sostenible de las regiones donde se lleva a cabo.

El Litio como Recurso Estratégico

En el caso del litio, este mineral se ha consolidado como un recurso estratégico debido a su creciente demanda en sectores como el transporte eléctrico. De acuerdo con el U.S. Geological Survey (2023), Perú cuenta con un potencial significativo en la explotación de litio, con reservas estimadas en 880 mil toneladas, posicionándose como un posible actor clave en el mercado global. La Dirección General de Promoción y Sostenibilidad Minera del Ministerio de Energía y Minas (Minem) destaca que la transición hacia vehículos eléctricos incrementará la demanda de litio, consolidando su relevancia económica.

Contexto Global del Litio

El litio se concentra principalmente en el “triángulo del litio,” una zona estratégica que abarca el Salar de Atacama en Chile, el Salar del Hombre Muerto en Argentina y el Salar de Uyuni en Bolivia. Chile lidera las reservas mundiales con un 36%, seguido de Australia con un 24% y Argentina con un 10.4% (Cabrera, 2023). Esta distribución global subraya la importancia de desarrollar políticas y procesos eficientes para maximizar el potencial económico del litio.

1.3. Impacto de la Minería en el Desarrollo Regional de Puno

La minería en el Perú ha desempeñado un papel trascendental en el desarrollo económico regional, actuando como un motor de progreso en áreas tradicionalmente aisladas. En particular, la región de Puno se ha beneficiado de la actividad minera mediante la generación de empleo, la mejora de la infraestructura y la dinamización económica. Según Leyton (2019), los ingresos generados por la minería son fundamentales para financiar proyectos de infraestructura esenciales, como carreteras, redes de transporte y servicios básicos, lo cual contribuye a la integración regional y al desarrollo territorial.

En este contexto, la minería no solo ha sido un pilar económico, sino también un catalizador para el fortalecimiento de otras actividades económicas, como la agricultura y el comercio. La mejora en la conectividad y el acceso a mercados derivados de proyectos mineros permite que estos sectores crezcan de manera sostenible, maximizando los beneficios locales (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2023).

Una de las contribuciones más importantes de la minería en el desarrollo regional es la generación de empleo. La fase de explotación minera emplea directamente a trabajadores locales en actividades de extracción y procesamiento, mientras que la minería formal fomenta la creación de empleos indirectos en sectores secundarios y terciarios, tales como transporte, construcción y servicios de apoyo (Cano y Flores, 2021). Este efecto multiplicador es crucial para dinamizar las economías locales y mejorar los ingresos familiares en las comunidades aledañas a los proyectos mineros.

Además, las prácticas de responsabilidad social corporativa (CSR) implementadas por empresas mineras son un factor clave para maximizar los beneficios económicos y sociales de la minería. Nguyen et al. (2022) destacan que estas prácticas no solo fortalecen las relaciones entre las empresas y las comunidades, sino que también impulsan el desarrollo sostenible mediante inversiones en educación, salud y otras áreas del bienestar social. La CSR desempeña un papel importante en contextos de alta dependencia minera, ya que asegura que los beneficios económicos lleguen a las comunidades locales y contribuyan a mejorar sus condiciones de vida (Luza Eyzaguirre, 2022).

En el caso específico de la minería de litio en Puno, proyectos como el de Falchani representan una oportunidad única para transformar la economía regional. La inversión en la exploración y explotación de litio tiene el potencial de diversificar la economía, reducir el desempleo y generar ingresos fiscales significativos mediante el canon minero y regalías. Este marco regulatorio permite que los ingresos provenientes de la minería sean destinados a proyectos de infraestructura, como carreteras, electrificación y mejoramiento de servicios educativos y de salud, fortaleciendo así el desarrollo territorial.

La minería también actúa como un puente hacia la modernización económica al atraer inversiones extranjeras directas (IED). Estas inversiones no solo impulsan la infraestructura física de las regiones mineras, sino que también estimulan la transferencia de tecnologías y capacidades técnicas, lo cual es crucial para mejorar la productividad y competitividad de la región (Leyton, 2019). Sin embargo, la integración de estas oportunidades requiere un marco de gobernanza sólido que permita gestionar de manera efectiva los ingresos mineros y mitigar los impactos ambientales y sociales de la actividad.

1.4. Sostenibilidad y Desafíos Ambientales en la Minería de Puno

La actividad minera, si bien representa un pilar económico en muchas regiones, plantea desafíos significativos en términos de sostenibilidad ambiental y social. En Puno, la explotación de minerales estratégicos como el litio ha intensificado estas preocupaciones, debido a los impactos negativos en ecosistemas sensibles como los bofedales andinos y en recursos hídricos esenciales para las comunidades locales.

Impactos Ambientales de la Minería en Puno

La minería en Puno afecta principalmente los cuerpos de agua y los suelos, siendo el río Ramis y las lagunas Cumunni y Lunar ejemplos emblemáticos de contaminación. Según Cano Esquinarila y Flores Pino (2021), los sedimentos del río Ramis presentan altos niveles de metales pesados, como mercurio y arsénico, lo que genera riesgos a largo plazo para la biodiversidad y la salud humana. De manera similar, los estudios de Brousett-Minaya et al. (2021) destacan que las aguas de estas lagunas son extremadamente ácidas y contienen altas concentraciones de sustancias tóxicas, incumpliendo estándares de calidad internacional. Los impactos ambientales también incluyen la degradación de ecosistemas sensibles como los bofedales andinos, cuya función es crucial para la regulación hídrica y la captura de carbono. Según Michilot (2020), estos ecosistemas han perdido el 50% de su extensión en los últimos 15 años, como resultado del cambio climático y las actividades mineras, lo que pone en riesgo su biodiversidad y los servicios ecosistémicos que ofrecen.

Prácticas de Sostenibilidad y Economía Circular

La sostenibilidad en la minería se centra en reducir los impactos ambientales y optimizar el uso de recursos. La economía circular se presenta como una estrategia clave para minimizar la generación de residuos y maximizar la reutilización de materiales. Según Blinova, Ponomarenko y Knysh (2022), esta estrategia incluye el reciclaje de residuos mineros y la recuperación de metales valiosos de los relaves, contribuyendo a una operación más eficiente y menos contaminante. Asimismo, prácticas como la rehabilitación de áreas degradadas después de la explotación y el tratamiento de aguas residuales son esenciales para restaurar ecosistemas locales y mitigar los daños provocados por la minería (Nguyen et al., 2022).

Innovaciones Tecnológicas: Extracción Directa de Litio (DLE)

Una de las principales innovaciones en la minería de litio es el método de extracción directa (DLE), que utiliza materiales absorbentes para separar el litio de las salmueras subterráneas o geotérmicas sin necesidad de grandes volúmenes de agua. Este proceso, según Calvo (2022), reduce significativamente el consumo hídrico, aumenta la eficiencia (rendimientos del 70-90%) y minimiza la generación de residuos. El DLE representa una alternativa prometedora para abordar los desafíos ambientales asociados con la minería tradicional, especialmente en regiones sensibles como Puno. Sin embargo, su implementación enfrenta barreras como altos costos iniciales y limitaciones técnicas, lo que restringe su adopción en países en desarrollo.

Regulaciones y Gobernanza en la Minería de Litio

La minería en Perú está regulada por la Ley General de Minería (Decreto Legislativo N° 109) y su Texto Único Ordenado (Decreto Supremo N° 014-92-EM), que establecen los principios para la gestión de recursos mineros. Sin embargo, estas normativas carecen de disposiciones específicas para el litio. La Ley N° 31283, aprobada en 2021, declara la exploración y explotación del litio como de interés nacional, marcando un primer paso hacia la regulación de este recurso estratégico (Daza, 2023). A pesar de estos avances, la minería informal sigue siendo un desafío significativo. Según Luza Eyzaguirre (2022), las políticas de sostenibilidad en América Latina son limitadas, especialmente en zonas ricas en recursos naturales, donde la informalidad exacerba los impactos negativos.

Modelos Internacionales de Gobernanza

Ejemplos como el Fondo Soberano de Noruega y la Gobernanza del Litio en Chile destacan como modelos exitosos de gestión sostenible. Noruega ha utilizado los ingresos del petróleo para crear un fondo soberano que invierte en proyectos globales, garantizando estabilidad económica para futuras generaciones. Por otro lado, Chile ha implementado asociaciones público-privadas para gestionar la minería de litio, destinando recursos a proyectos de desarrollo regional en infraestructura, educación y medio ambiente (Poveda, 2020). Estos modelos ofrecen lecciones importantes para Perú, donde la creación de un fondo soberano específico para el litio podría asegurar una distribución equitativa de los beneficios y una gestión responsable de los ingresos mineros.

Marco de Gobernanza y Sostenibilidad para Puno

- Para que la minería de litio en Puno sea sostenible, es esencial implementar un marco de gobernanza que integre:
- Regulación efectiva: Fortalecer las normativas existentes para incluir disposiciones específicas sobre el litio y garantizar la fiscalización de la minería informal.
- Inversión en tecnología: Promover la adopción de métodos como el DLE, incentivando la transferencia de tecnología y la colaboración internacional.

- Fondos de desarrollo regional: Establecer un fondo soberano para reinvertir los ingresos mineros en proyectos de infraestructura, educación y conservación ambiental.
- Participación comunitaria: Incluir a las comunidades locales en la planificación y toma de decisiones, asegurando que los beneficios económicos lleguen directamente a estas poblaciones.

2. Método

2.1. Enfoque de Investigación

Este estudio adopta un enfoque cualitativo-descriptivo, orientado a analizar los impactos económicos, sociales y ambientales de la minería de litio en la región de Puno. A través de un análisis interdisciplinario, se busca comprender las interacciones entre el desarrollo minero, la sostenibilidad y el bienestar comunitario, considerando tanto los beneficios económicos como los desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental y los conflictos sociales (Leyton, 2019; Nguyen et al., 2022).

2.2. Tipo de Investigación

La investigación descriptiva permite detallar los efectos de la minería en Puno, proporcionando un panorama integral sobre las transformaciones en las comunidades y su entorno natural. Este enfoque es adecuado para identificar las características clave de las actividades mineras y sus implicancias para el desarrollo regional sostenible, abordando aspectos económicos, sociales y ambientales (Cano Esquinarila & Flores Pino, 2021).

2.3. Procedimiento de Recolección de Información

La recolección de información se centró en fuentes bibliográficas y estadísticas relevantes, a través de los siguientes pasos: Se consultaron artículos académicos, informes gubernamentales y estudios de caso publicados en bases de datos como Scopus, Google Scholar, SciELO, Redalyc y la revista PUCP. Se emplearon palabras clave como litio, minería, sostenibilidad, economía circular, impacto ambiental y Puno.

Las fuentes seleccionadas incluyeron publicaciones del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y el Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, asegurando un enfoque técnico y actualizado. Análisis de Datos Secundarios: Se revisaron informes oficiales sobre desarrollo económico, impacto ambiental y empleo en Puno, los datos estadísticos fueron contrastados con reportes académicos para proporcionar una visión completa de la situación minera en la región.

2.4. Criterios de Selección de Información

La validación y selección de información siguieron criterios estrictos, considerando:

- Actualidad: Se priorizaron estudios de los últimos cinco años, asegurando que reflejaran las tendencias y problemáticas contemporáneas.

- Relevancia Temática: Solo se incluyeron fuentes directamente relacionadas con la minería de litio, sostenibilidad y economía circular.
- Confiabilidad de las Fuentes: Las publicaciones seleccionadas provinieron de revistas indexadas y bases reconocidas. Se consideraron fuentes institucionales de alto reconocimiento, como entidades gubernamentales peruanas y organismos internacionales especializados.
- Triangulación de Datos: Se compararon múltiples fuentes para corroborar la veracidad de los hallazgos y garantizar la integridad del análisis.

2.5. Análisis de Datos

El análisis se realizó mediante la integración de información procedente de fuentes confiables, contrastando estadísticas oficiales con hallazgos cualitativos de estudios previos. Los datos sobre impacto ambiental y desarrollo económico fueron interpretados desde una perspectiva interdisciplinaria, complementados con estudios de caso específicos y referencias teóricas (Blinova et al., 2022; Luza Eyzaguirre, 2022). Esto permitió construir una narrativa robusta y contextualizada sobre los efectos de la minería de litio en Puno.

3. Resultados

Proceso Productivo en la Minería y su Contribución al Valor Económico

- Exploración y Evaluación: Perú cuenta con un estimado de 880 mil toneladas de litio, según el U.S. Geological Survey (2023). La identificación de recursos mediante técnicas geofísicas y geoquímicas ha permitido determinar la viabilidad de yacimientos como los de Puno.
- Producción y Procesamiento: Las técnicas de flotación e hidrometalurgia optimizan la recuperación de metales estratégicos como el litio, aumentando su valor agregado. La adopción de prácticas basadas en la economía circular ha contribuido a la recuperación de metales en los residuos, reduciendo el impacto ambiental.
- Contribución al Desarrollo Regional: La minería fomenta la creación de empleo directo e indirecto, dinamizando las economías locales en Puno. El proceso productivo genera ingresos significativos para las comunidades locales e impulsa industrias de apoyo, como transporte y servicios de ingeniería.
- Contexto Global del Litio: Perú se posiciona como un potencial actor clave en el mercado de litio, en el marco del crecimiento de la demanda por su uso en vehículos eléctricos. Los yacimientos peruanos compiten en un mercado dominado por países como Chile (36% de las reservas globales), Australia (24%) y Argentina (10.4%).

Iniciativas Comunitarias y Generación de Empleo: Según Vilca Arpasi (2020), la empresa Macusani Yellowcake ha implementado múltiples iniciativas en las comunidades de Isivilla, Tantamaco, Chacaconiza, Quelcaya, Chimboya, Pacaje y Corani:

- Generación de empleo local: Se han creado puestos de trabajo en sectores como la construcción de plataformas de exploración, monitoreo ambiental y prospección. Esto ha contribuido a reducir el desempleo y aumentar los ingresos de las familias locales.
- Proyectos comunitarios: La construcción de un recinto ferial en Isivilla, la mejora de infraestructuras viales entre comunidades y el apoyo a tejedoras locales han fortalecido las actividades económicas tradicionales y han mejorado la conectividad regional.
- Programas sociales y de salud: Se han organizado campañas de salud como “Unidos por tu salud”, patrocinado festividades locales y donado equipos para mejorar infraestructuras comunales, elevando la calidad de vida de los habitantes.
- Capacitación laboral: La implementación de programas de capacitación ha incrementado las habilidades de los trabajadores locales, preparándolos para futuras oportunidades laborales en el sector minero y otros sectores.

Acuerdos Económicos con Comunidades: Además, se han establecido acuerdos económicos con las comunidades de Chacaconiza y Quelcaya:

- Chacaconiza: Macusani Yellowcake entregó 100,000 soles, parte de los cuales se destinaron a la compra de un vehículo para la comunidad. La empresa se comprometió a contratar personal no calificado entre los comuneros y a realizar proyectos sociales, capacitaciones y campañas de salud.
- Quelcaya: Se firmó un convenio por 165,000 soles para iniciar labores de exploración. Aunque la empresa no contaba con la autorización para operar, se comprometió a similares términos que en Chacaconiza. Estos acuerdos generaron controversias debido a la falta de autorizaciones operativas.

Incremento de Ingresos por Canon Minero: La tesis de Collanqui Sucasaca y Condoni Salas (2024) indica que los ingresos derivados del canon minero han mostrado un aumento constante en la Municipalidad Distrital de Potoni entre 2010 y 2022:

- Los ingresos acumulados alcanzaron 84,976.32 soles durante este período.
- Este incremento ha tenido un impacto directo en obras públicas, financiando proyectos que contribuyen al desarrollo local.

Proyecciones Económicas del Proyecto Falchan: Según el estudio de César Reyna Ugarriza y Jean Osorio Colqui (2024):

- A partir del octavo año de operaciones, la región de Puno se beneficiará con más de 1,400 millones de soles anuales gracias al proyecto Falchani.
- Estos recursos adicionales permitirán financiar más proyectos de infraestructura, generar empleo formal y atraer nuevas inversiones, impulsando el desarrollo económico regional.

Proyectos Financiados mediante el Canon Minero en 2024: El Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2024) reporta que los proyectos financiados mediante el canon minero incluyen:

- Infraestructura sanitaria y educativa: Adquisición de una unidad dental para el distrito de Pedro Vilcapaza (17,130 soles). También la construcción de campos deportivos con césped sintético en instituciones educativas, como la I.E.S. N°791780 General Pedro Vilcapaza Alarcón (151,305 soles). Además de la mejora de infraestructura educativa en la I.E. San Martín de Huayllapata (4,467,518 soles).
- Mejora de servicios básicos y conectividad: Ampliación de servicios de electrificación en el distrito de Putina (455,131 soles). Construcción de dos puentes peatonales en las comunidades de San Juan de Chinquilla y Huayllapata (1,036,441 soles). Construcción y mejora de la carretera Desvío Vilquechico-Cojata-Sina-Yanahuaya (157,810,360 soles).
- Desarrollo económico y social: Mejoramiento de la cadena productiva en el sector pecuario en el distrito de Putina (2,518,839 soles). También la creación de una nueva plaza principal en el centro poblado de Potoni, distrito de Sina (549,786 soles).
- Infraestructura deportiva y seguridad ciudadana: Instalación de césped sintético en el centro poblado de Janansaya (1,224,389 soles). Además del mejoramiento del servicio de seguridad ciudadana en el distrito de Ananea (239,575 soles).
- Gestión pública y programas de apoyo: Inversión significativa de 2,165,775,000 soles en gestión pública y programas de apoyo al transporte subnacional.

Efecto Multiplicador y Dinamización Económica: Los datos presentados evidencian que la minería de litio en Puno:

- Genera empleos directos e indirectos, dinamizando la economía local y reduciendo el desempleo.
- Fomenta el desarrollo de infraestructura, mejorando la conectividad y acceso a servicios básicos, lo que beneficia a otros sectores como la agricultura y el comercio.
- Impulsa programas sociales y de responsabilidad corporativa, fortaleciendo las relaciones entre las empresas mineras y las comunidades, y contribuyendo al bienestar social

Impactos Ambientales Identificados: Contaminación crítica de cuerpos de agua como el río Ramis y las lagunas Cumunni y Lunar debido a metales pesados como mercurio y arsénico (Cano Esquinarila y Flores Pino, 2021; Brousett-Minaya et al., 2021). Pérdida del 50% de los bofedales andinos en los últimos 15 años, afectando la biodiversidad y servicios ecosistémicos esenciales (Michilot, 2020).

Innovaciones Tecnológicas: El método de extracción directa de litio (DLE) reduce significativamente el consumo de agua y la generación de residuos, con un rendimiento del 70-90% (Calvo, 2022). Empresas internacionales realizan pruebas piloto de DLE en países como Bolivia, Chile y Argentina, mostrando su viabilidad como solución sostenible.

Prácticas de Economía Circular: Recuperación de metales valiosos de residuos mineros y relaves, contribuyendo a una minería más eficiente y menos contaminante (Blinova et al., 2022).

Limitaciones y Desafíos: La minería informal y la falta de regulaciones específicas sobre el litio exacerban los impactos ambientales en Puno. Costos iniciales elevados y barreras técnicas limitan la implementación de tecnologías como el DLE en regiones en desarrollo.

Avances Regulatorios y Gobernanza: La Ley N° 31283 reconoce al litio como un recurso estratégico de interés nacional, marcando un avance en la regulación minera en Perú (Daza, 2023). Se resalta la necesidad de implementar un fondo soberano o un modelo de gobernanza que reinvierta los ingresos mineros en proyectos sostenibles y desarrollo local.

Modelos Internacionales: Ejemplos como el Fondo Soberano de Noruega y la Gobernanza del Litio en Chile demuestran cómo una buena gestión de recursos naturales puede maximizar beneficios económicos y minimizar impactos ambientales.

4. Discusión

La minería de litio en la región de Puno ofrece un panorama complejo, donde convergen grandes oportunidades económicas y serios desafíos ambientales. Los resultados obtenidos reflejan cómo este sector puede actuar como un motor de desarrollo, siempre que se aborden adecuadamente los problemas inherentes al impacto ambiental, la gobernanza y la sostenibilidad.

Beneficios Económicos y Gobernanza

Los ingresos proyectados del proyecto Falchani, superiores a 1,400 millones de soles anuales a partir del octavo año de operación (Reyna Ugarriza y Osorio Colqui, 2024), representan una oportunidad clave para transformar la economía regional. Estos recursos podrían financiar proyectos en infraestructura, electrificación y servicios básicos, como ya se observa en los proyectos financiados mediante el canon minero (MINEM, 2024). No obstante, para que estos ingresos generen un impacto sostenible, es fundamental establecer un marco de gobernanza sólido.

Ejemplos internacionales como el Fondo Soberano de Noruega y el modelo de Gobernanza del Litio en Chile destacan cómo una gestión efectiva de los recursos naturales puede maximizar los beneficios económicos y minimizar los riesgos sociales y ambientales (Poveda, 2020; NBIM, 2020). En Perú, la Ley N° 31283 constituye un avance inicial al reconocer al litio como un recurso estratégico de interés nacional (Daza, 2023), pero aún se requiere una regulación más específica para garantizar la distribución equitativa de los beneficios y la fiscalización de la minería informal.

Impactos Ambientales y Sostenibilidad

Los resultados evidencian la magnitud de los impactos ambientales en Puno, como la contaminación crítica del río Ramis y las lagunas Cumunni y Lunar debido a la presencia de metales pesados como mercurio y arsénico (Cano Esquinari-la y Flores Pino, 2021; Brousett-Minaya et al., 2021). Estos problemas afectan tanto a los ecosistemas acuáticos como a las comunidades que dependen de estos recursos para consumo y agricultura, además de generar riesgos de salud pública a largo plazo. Asimismo, la pérdida del 50% de los bofedales andinos en los últimos 15 años (Michilot, 2020) agrava aún más la crisis ambiental, afectando servicios ecosistémicos cruciales como la regulación hídrica y la captura de carbono. En este contexto, el método de extracción directa de litio (DLE) se presenta como una alternativa innovadora para reducir el consumo de agua y la generación de residuos. Según Calvo (2022) y Viacava (2022), este método ofrece ventajas significativas, como un alto rendimiento (70-90%) y menor impacto ambiental, lo que lo posiciona como una solución prometedora para la minería sostenible. Sin embargo, los altos costos iniciales y las barreras técnicas limitan su adopción en regiones como Puno, donde la minería informal sigue siendo una problemática recurrente (Luza Eyzaguirre, 2022).

Economía Circular y Valor Agregado

La implementación de prácticas de economía circular, como la recuperación de metales en relaves, ha demostrado ser una estrategia efectiva para minimizar el impacto ambiental y maximizar el valor económico de los residuos mineros (Blinova et al., 2022). Estas prácticas pueden contribuir significativamente a una operación minera más sostenible en Puno, generando un valor adicional a través de la reutilización de recursos. Sin embargo, su adopción a gran escala enfrenta desafíos logísticos y financieros, destacando la necesidad de infraestructura adecuada y políticas públicas que incentiven su implementación.

Participación Comunitaria y Responsabilidad Social

Las iniciativas comunitarias implementadas por Macusani Yellowcake, como campañas de salud, mejoras en infraestructura comunal y programas de capacitación laboral (Vilca Arpasi, 2020), reflejan el impacto positivo que puede tener la minería en las comunidades locales.

Sin embargo, los acuerdos económicos controvertidos con comunidades como Quelcaya, donde se firmaron convenios sin contar con autorizaciones operativas (Vilca Arpasi, 2020), resaltan la necesidad de mayor transparencia y cumplimiento normativo para prevenir conflictos socioambientales. La participación activa de las comunidades en la planificación y gestión de los proyectos mineros es crucial para garantizar que los beneficios económicos se traduzcan en mejoras reales en su calidad de vida (Nguyen et al., 2022). Este enfoque puede fortalecer las relaciones entre las empresas y las comunidades, fomentando un desarrollo más inclusivo y sostenible.

5. Conclusión

Los resultados y análisis evidencian que la minería de litio en Puno tiene el potencial de convertirse en un motor de desarrollo económico, siempre que se implementen estrategias sostenibles e inclusivas. La adopción de prácticas como el DLE y la economía circular, combinadas con un marco de gobernanza robusto y la participación comunitaria, puede posicionar a Puno como un referente en minería responsable en América Latina. Si bien los desafíos son significativos, el aprendizaje de modelos internacionales y la implementación de políticas públicas específicas para el litio pueden asegurar que los beneficios económicos sean duraderos y equitativos. Este enfoque integral no solo mitigará los impactos ambientales, sino que también garantizará que la explotación del litio en Puno contribuya al bienestar de las generaciones presentes y futuras, mostrando de esta forma el potencial económico de la minería de litio en Puno para el Perú.

6. Bibliografía

- Agboola, O., Babatunde, D. E., Fayomi, O. S. I., & Sadiku, E. R. (2020). *A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management*. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100181>
- Blinova, E., Ponomarenko, T., & Knysh, V. (2022). *Analyzing the concept of corporate sustainability in the context of sustainable business development in the mining sector with elements of circular economy*. *Sustainability*, 14(8163). <https://doi.org/10.3390/su14138163>
- Calvo, E. J. (2022). *Nuevos métodos de extracción directa de litio: Impacto en la explotación sustentable de los salares de la puna*. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/210264/CONICET_Digital_Nro.1c25b517-a4d2-4e4b-b3a8-e41ba211ea61_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Cano Esquinarila, L. E., & Flores Pino, M. F. (2021). *Determinación de metales pesados en sedimentos del río Ramis procedentes de efluentes mineros informales, Puno*. Universidad César Vallejo.
- Collanqui Sucasaca, L. M., & Condori Salas, D. (2024). *Influencia de los ingresos en las obras públicas en la Municipalidad Distrital de Potoni - Puno, periodo 2010-2022* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional - UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/150550>

- Daza, P. R. (2023). *Explorando el potencial del litio peruano: retos y oportunidades. Derecho & Sociedad*, (60), 1-19. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoysociedad/article/view/28038>
- Gutiérrez, L. (2024, 8 agosto). Litio en América Latina. Demanda global contra daño socioambiental. COMESCO. <https://www.comesco.com/publicaciones/litio-en-america-latina-demanda-global-contra-dano-socioambiental>
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2023, diciembre 21). La refinera de litio más grande de Sudamérica se encontrará en Puno. <https://iimp.org.pe/raiz/la-refineria-de-litio-mas-grande-de-sudamerica-se-encontrara-en-puno>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). Indicadores económicos de la minería en el Perú. <https://www.inei.gob.pe>
- Jones, B., Acuña, F., & Rodríguez, V. (2021). *Cambios en la demanda de minerales: análisis de los mercados del cobre y el litio, y sus implicaciones para los países de la región andina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47136-cambios-la-demanda-minerales-analisis-mercados-cobre-litio-sus-implicaciones>
- Kinnunen, P., Karhu, M., & Yli-Rantala, E. (2022). A review of circular economy strategies for mine tailings. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100499>
- Leyton, C. (2019). Macrorregión sur, conflictos y desarrollo territorial. DESCO.
- Luza Eyzaguirre, I. A. (2022). *(In) sustentabilidade da mineração na América Latina?: Uma revisão sistemática de perspectivas y brechas. Revista del Departamento de Geografía, Universidade de São Paulo, 42, e190162*. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.190162>
- Malavé Figueroa, A. N. (2021). *Minería, planificación y gestión de riesgos: Una valoración de organizaciones no-gubernamentales en América Latina y el Caribe*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5155997>
- Michilot Yalan, M. E. Ch'ullunqani: red de caminos para la conservación de bofedales en el altiplano. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/19730>
- Milla G.(2023). Puno,Región del Altiplano a Orillas del Lago Titicaca y su Gran Desafío para Alcanzar su Desarrollo Sostenible. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/9124/13612>
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2024). *Mapa de Inversiones*. <https://mapainversiones.minem.gob.pe/#/proyectos/?zoom=9¢er=-14.7091661303391,-69.834486323672&topLeft=-13.750747666369008,-71.7296279252345&bottomRight=-15.663394433687671,-67.9393447221095&departamento=21&periods=2024&orgfinanciador=163&listMode=true>

- Nguyen, V. H., Agbola, F. W., & Choi, B. (2022). *Does corporate social responsibility enhance financial performance? Evidence from Australia*. *Journal of Business Ethics*, 177(2), 297-321. <https://doi.org/10.1007/s10551-020-04653-w>
- Poveda Bonilla, R. (2020). *Estudio de caso sobre la gobernanza del Litio en Chile*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/9452688c-444a-4d5e-a1d1-d2919966bb99/content>
- Reyna Ugarriza, C., & Osorio Colqui, J. (2024, abril). *Oportunidades y desafíos de la distribución de canon minero del proyecto de litio Falchani en los distritos, provincias y la región Puno*. *Revista Minería*. Recuperado de <https://revista-mineria.com.pe/tecnico-cientifico/oportunidades-y-desafios-de-la-distribucion-de-canon-minero-del-proyecto-de-litio-falchani-en-los-distritos,-provincias-y-la-re>
- Salvatierra, J. M. (2022). *Breve comparación de la gobernanza del fondo de sustentabilidad argentino y el fondo soberano noruego*. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas*, 28(1), 121-147. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/rfce/article/view/5946>
- Sarker, S. K., Haque, N., Bhuiyan, M., & Bruckard, W. (2022). Recovery of strategically important critical minerals from mine tailings. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107622>
- U.S. Geological Survey. (2023). Mineral Commodity Summaries 2023. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>
- Viacava, C., & Rodríguez Altamirano, L. (2022). Proceso de extracción del Litio y recuperación del agua. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/16856>
- Vilca Arpasi, P. C. (2020). *El proyecto de explotación de litio en Puno*. Asociación Servicios Educativos Rurales. Recuperado de https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/informe_litio_en_puno_online.pdf
- Zevallos Yana, J. F. (2020). *Concesiones mineras, comunidades campesinas y conflictos sociales en la región de Puno*. *Revista de Derecho*, 5(1), 54-70. <https://www.redalyc.org/pdf/6718/671872865004.pdf>

ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA RELACIÓN SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL ENTRE LA MINERÍA Y LA AGRICULTURA EN CAJAMARCA

Qualitative analysis of the socioeconomic and environmental relationship between mining and agriculture in Cajamarca

Fiorela Quispe Vásquez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: fiorela.quispev@unmsm.edu.pe

Stefany Diana Vásquez Janampa
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: stefany.vasquezj@unmsm.edu.pe

Víctor Raúl Rafael Vilca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: victor.rafaelv@unmsm.edu.pe

Medalith Janina Vilchez Arones
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: medalith.vilchez@unmsm.edu.pe

Salvatore Smith Sánchez Aldazabal
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: salvatore.sanchez@unmsm.edu.pe

Jesús Darwin Yauri Arellano
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jesus.yauri@unmsm.edu.pe

Yarly Dianeth Vásquez Idrogo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: yarly.vasquez@unmsm.edu.pe

Resumen: El presente artículo analiza la relación entre la minería y la agricultura en Cajamarca, Perú, desde una perspectiva cualitativa, analizando su impacto en el desarrollo económico, social y ambiental de la región. Se identifican impactos como la contaminación de recursos naturales, la reducción de tierras agrícolas y conflictos sociales debido a la percepción de desigualdad en los beneficios generados por la minería. A pesar de ello, la minería contribuye al empleo y al ingreso regional, mientras que la agricultura sigue siendo la principal fuente de sustento para la población rural. El estudio destaca la necesidad de políticas públicas que fomenten prácticas sostenibles, acceso equitativo al agua y una conciliación efectiva entre ambos sectores, promoviendo un desarrollo equilibrado y sostenible para la región. El análisis evidencia conflictos sociales derivados de la percepción de desigualdad en los beneficios mineros, contaminación de recursos naturales y reducción de tierras cultivables. Sin embargo, un 34% de la población obtiene beneficios económicos indirectos a través del empleo generado por la minería. Proyecciones señalan que medidas integrales podrían reducir la pobreza regional al 17.4% para 2031 si se implementan estrategias sostenibles y conciliadoras entre sectores. El estudio concluye que la coexistencia de ambos sectores requiere políticas públicas que prioricen la sostenibilidad, la equidad en el uso de recursos y la participación comunitaria.

Palabras clave: minería, agricultura, Cajamarca, desarrollo sostenible, conflictos socioambientales.

Abstract: This article analyzes the relationship between mining and agriculture in Cajamarca, Peru, from a qualitative perspective, analyzing its impact on the economic, social and environmental development of the region. Impacts such as contamination of natural resources, reduction of agricultural land and social conflicts due to the perception of inequality in the benefits generated by mining are identified. Despite this, mining contributes to employment and regional income, while agriculture remains the main source of livelihood for the rural population. The study highlights the need for public policies that promote sustainable practices, equitable access to water and an effective conciliation between the two sectors, promoting balanced and sustainable development for the region. The analysis highlights social conflicts arising from the perception of inequality in mining profits, contamination of natural resources, and reduction of arable land. However, 34% of the population obtains indirect economic benefits through employment generated by mining. Projections indicate that comprehensive measures could reduce regional poverty to 17.4% by 2031 if sustainable and conciliatory strategies between sectors are implemented. The study concludes that the coexistence of both sectors requires public policies that prioritize sustainability, equity in resource use, and community participation.

Key words: mining, agriculture, Cajamarca, sustainable development, socio-environmental conflicts.

1. Introducción

La presente investigación busca explorar el panorama económico de Cajamarca, una región ubicada en el norte de Perú, con un enfoque cualitativo de la relación socioeconómica y ambiental entre la minería y la agricultura. Este estudio pretende analizar cómo estos sectores impactan en el desarrollo económico y social de la región, utilizando una metodología adaptada a los recursos y conocimientos del equipo de investigación.

Para lograr este objetivo, se ha optado por un diseño cualitativo, que permite una exploración profunda y contextualizada de las experiencias y percepciones de los habitantes de Cajamarca. Mediante la revisión de la literatura científica y el análisis de fuentes secundarias, el estudio busca identificar patrones y tendencias que reflejen las particularidades de la economía local. Los criterios de selección de fuentes priorizan la relevancia, la credibilidad y la diversidad de perspectivas, con el fin de asegurar la calidad de la información recopilada, empleando fuentes académicas y documentos publicados en los últimos cinco años.

Este estudio no solo apunta a generar hallazgos significativos entre la minería y la agricultura en Cajamarca, sino también a contribuir a una comprensión integral de las dinámicas económicas que sustentan a la región, resaltando oportunidades y desafíos para su desarrollo sostenible.

1.1. Base teórica

Actividad económica.

Según Diana Frederick (2020), actividades económicas son aquellos procesos que tienen lugar en la obtención, producción o distribución de un bien o servicio, este concepto comprende cualquier clase de operación ya sea de producción o comercialización, en la cual se pretenda suplir una determinada necesidad a partir de la utilización de los diferentes recursos y generando un beneficio económico para las empresas productoras.

Recursos naturales

Los recursos naturales son comúnmente reconocidos como bienes que se encuentran en estado natural, sin ser alterados por la actividad humana, cabe recalcar que estos recursos cobran un gran impacto en las sociedades, ya que mediante su explotación permite el desarrollo y bienestar de nuestro entorno (Morán-Chilán et al., 2021).

Sector primario

El sector primario de la economía se refiere a la actividad en la cual el ser humano se dedica a la extracción de recursos naturales para que sirvan posteriormente como materia prima para producir otros bienes o los consume directamente como alimentos. (Quiroa, M. 2020)

Minería

El proceso por el cual se extraen diferentes tipos de minerales o materiales, ya sean metálicos o no metálicos, mediante la construcción de una mina que puede ser subterránea o a cielo abierto (Maldonado. Y, 2021).

Canon minero

Es la participación de la que gozan los Gobiernos Locales y Regionales sobre los ingresos y rentas obtenidos por el Estado por la explotación de recursos minerales, metálicos y no metálicos (Ministerio de Economía y Finanzas, s.f.).

Agricultura

Consiste en el cultivo de diversas plantas en la tierra, con el fin de producir alimentos para consumirlos y satisfacer las necesidades de algunos sectores derivados, tales como el textil, de cosméticos, industriales, farmacológicos, entre otros (Frederick.D, 2021).

Medio ambiente

El medio ambiente es el lugar en donde se desarrolla la vida y conviven los diferentes seres vivos como los animales, plantas y seres humanos. Este colectivo se enfrenta a problemas que afectan su bienestar tales como el agotamiento de la capa de ozono, el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad y de recursos naturales que ocurren mayormente por el inadecuado accionar de la humanidad al contaminar el planeta (Paz Sarmiento, 2019).

Contaminación ambiental

La contaminación es definida: en el ambiente, la presencia o incorporación de sustancias, elementos tóxicos, perjudiciales para el hombre y los ecosistemas (seres vivos), cuyos tipos de contaminación son diversos (Yalta Campos, 2022).

Desarrollo sostenible

Viene a ser la utilización racional de todos los recursos para la satisfacción de las necesidades presentes, teniendo en cuenta que estos recursos también deben de ser preservados para futuras generaciones (Andrade Alcívar, 2021).

Crecimiento económico

El crecimiento económico es la mejora en los estándares de vida de un territorio, generalmente países, medida por la capacidad productiva de su economía y su renta en un periodo específico (Sánchez Galán, 2024).

2. Metodología

Diseño y enfoque de la Metodología

Optamos por un enfoque cualitativo y diseño del estudio de análisis de contenido para esta investigación porque nos permite ser más eficientes con el tiempo y los recursos que tenemos. Al ser un equipo sin mucha experiencia en la elaboración de metodologías más complejas, esta opción nos brinda la oportunidad de explorar el tema de manera accesible y efectiva. Uno de los grandes beneficios de este enfoque es que nos permite profundizar en la comprensión de los fenómenos que estamos estudiando..

Criterios de Selección de Fuentes

En esta investigación, se han definido los siguientes criterios para seleccionar fuentes que garanticen la calidad y relevancia de la información:

- Tipo de fuentes: Priorizar fuentes secundarias como artículos académicos y libros digitales, así como fuentes primarias cuando sea posible.
- Relevancia: Seleccionar fuentes que aborden las dimensiones económicas del sector primario de Cajamarca tales como minería, agricultura y ganadería.
- Año de publicación: Elegir fuentes publicadas en los últimos 5 años para asegurar información actual.

- Credibilidad: Dar preferencia a publicaciones de material académico y de publicaciones bien justificadas.
- Diversidad de perspectivas: Incluir fuentes que ofrezcan distintos enfoques sobre la realidad económica de Cajamarca.
- Accesibilidad: Asegurar que las fuentes estén disponibles de manera digital para facilitar su consulta.

Proceso de Recolección de Datos

Las fuentes que seleccionamos nos servirán para recolectar datos mediante la revisión de literatura y el análisis de documentos. Esto nos permitirá descubrir patrones y tendencias significativas que enriquecerán nuestra comprensión de la relación entre la relación socioeconómica y ambiental de la agricultura junto con la minería en la ciudad de Cajamarca.

Validez y Confiabilidad

Como grupo de investigación, adoptamos un enfoque riguroso en la recolección de información para evitar datos ambiguos, falsos o poco convincentes. Empleamos diversas técnicas de búsqueda, incluyendo el uso de identificadores DOI y otras herramientas especializadas.

Por ello se trabajará con buscadores como Google Scholar principalmente, Scielo, repositorios de universidades, entre otros.

La información encontrada deberá ser citada y referenciada en APA versión 7 de manera correcta para evitar problemas por derechos de autor.

Limitaciones de la Metodología

- La forma en que se interpretan los datos puede estar afectada por los puntos de vista personales de los investigadores, lo que puede poner en duda la precisión de los hallazgos.
- Los resultados obtenidos pueden no reflejar la realidad de otras regiones o contextos, lo que dificulta la aplicación de las conclusiones a un grupo más amplio de personas.

3. Resultados

Según el Congreso de la República (citado por Aguilar, Tafur, Cubas y Revilla, 2023), las inversiones mineras en Cajamarca enfrentan riesgos debido a conflictos sociales derivados de la percepción de que estas actividades no generan beneficios directos para la población local. Esta situación ha contribuido a perpetuar altos niveles de pobreza y a exponer a las comunidades a entornos contaminados. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2022), Cajamarca, aunque lidera la participación nacional en proyectos mineros con un 22%, experimentó una disminución del 5.5% en dicha participación desde 2019, lo que resulta preocupante dada su relevancia en el sector extractivo.

Estos conflictos se originan en denuncias relacionadas con la contaminación de recursos naturales, muertes de animales, y reclamos de campesinos que demandan acceso libre a sus tierras y al agua. Estudios locales destacan que el agua destinada a actividades mineras afecta las fuentes utilizadas para la agricultura, disminuyendo la productividad de los cultivos tradicionales como papa, maíz y quinua, que son esenciales para el sustento de las familias rurales (Eulices, Gutiérrez). Además, los campesinos señalan que el vertido de relaves mineros en ríos y lagunas ha reducido la disponibilidad de agua limpia para riego, afectando gravemente la calidad de los suelos agrícolas (Aguilar, Tafur, Cubas y Revilla, 2023).

A pesar de estos desafíos, un 34% de la población cajamarquina obtiene beneficios directos o indirectos de la minería, principalmente a través de empleo y oportunidades económicas. Sin embargo, persiste una percepción de inequidad en la distribución de dichos beneficios. Las comunidades agrícolas cercanas a las operaciones mineras argumentan que, aunque se generan recursos para la región, estos no se traducen en mejoras tangibles para la población afectada (Eyng, 2022).

Por otro lado, según la Cámara de Comercio y Producción de Cajamarca, los agricultores han experimentado pérdidas económicas debido a la reducción de tierras cultivables, ya que grandes extensiones han sido destinadas a la expansión minera. Esta situación ha incrementado los costos de producción, obligando a muchos pequeños productores a abandonar sus actividades tradicionales (Isla, 2017).

La coexistencia de minería y agricultura en Cajamarca enfrenta retos significativos que deben abordarse con un enfoque integral. Por ejemplo, según proyecciones de Rumbo Minero (2023), la minería podría reducir la tasa de pobreza en la región a un 17.4% para el año 2031, siempre que las empresas mineras implementen medidas efectivas para mitigar los impactos ambientales y que las autoridades locales promuevan el desarrollo de infraestructura hídrica para el uso agrícola (Chacón, 2022).

Finalmente, es necesario que las políticas públicas incluyan estrategias de conciliación que garanticen una gestión equitativa de los recursos naturales. Esto implica promover prácticas sostenibles en la agricultura y la minería, asegurar un acceso justo al agua y generar mecanismos efectivos de participación comunitaria. Solo mediante un diálogo abierto y transparente entre las empresas mineras, los agricultores y las autoridades será posible lograr un desarrollo equilibrado que beneficie a toda la región.

4. Discusión

Cajamarca es considerado uno de los mayores productores de oro a nivel nacional, según el ministerio de Energía y Minas (Minem, 2022), en el sector minería las inversiones sumaron US\$ 3,3 mil millones en el periodo dado entre 2013-2022; y en los años 2021 y 2022 US\$ 849,6 millones. Entre las principales inversiones destacan las realizadas por Yanacocha (Cajamarca).

La minería es una de las actividades económicas más importantes para el Perú, que lo coloca entre los primeros países con reservas mayores en zinc, plomo, estaño y oro a nivel mundial. Una de las minas más destacadas es Yanacocha (oro), donde la constante actividad minera trae problemas a su población. La minería provoca conflictos por derechos de utilización de la tierra y dar lugar al surgimiento descontrolado de asentamientos humanos ocasionando una problemática social, generando una disminución en el rendimiento de las labores de pescadores y agricultores debido al envenenamiento y cambios de curso en los ríos debido a la elevación de nivel por sedimentación. (Gonzales, 2019).

Este año se alertó sobre un avance en la minería ilegal y la actividad delictiva organizada en la región de Cajamarca, lo cual genera grandes y graves impactos en la vida cotidiana de los pobladores de las zonas donde se realiza dicha actividad, afectando sus cultivos por la remoción de la tierra o la contaminación de los mismos. El fiscal provincial en Materia Ambiental del Ministerio Público en Cajamarca (Malaver, 2024), destacó en una entrevista a la Red de Comunicación Regional (RCR) que la incidencia de estas actividades ilícitas ha aumentado considerablemente, afirmó que, aunque su equipo trabaja diligentemente para identificar a los responsables de estas prácticas ilegales y procesarlos, es crucial una colaboración estrecha con las autoridades sectoriales, especialmente la Dirección Regional de Energía y Minas para ponerle fin a esta problemática.

Los andes de la región Cajamarca constituyen un gran potencial productivo, por sus fértiles suelos, diversidad de climas y microclimas, apropiados para una gran variedad de cultivos y crianza de ganadería. La región Cajamarca cuenta con un potencial agrícola tangible, puesto que posee la tercera mayor superficie agrícola del país (523 mil ha). (Cienfuegos, 2021).

La agricultura tiene un peso considerable en Cajamarca, tanto económica como socialmente, este sector representa el 14% del producto regional (la minería y servicios tienen pesos casi tres veces mayores), pero es la principal fuente de ingreso y empleo para el 80% de los hogares cajamarquinos. El 64,6% de la población departamental de Cajamarca reside en la zona rural, en cifras se habla de 904 mil habitantes dedicados básicamente a labores de agricultura y ganadería, que constituye el primer soporte para la seguridad alimentaria en las trece provincias de la región. (Gobierno regional de Cajamarca, 2023).

La agricultura en Cajamarca enfrenta diversos problemas lo cual no permite aprovechar el gran potencial agrícola a pesar de poseer un amplio territorio para la actividad. Según el último censo agropecuario, Cajamarca es la tercera región con mayor superficie de potencial agrícola, sin embargo se encuentra en el puesto 14 de las tierras bajo riego, aquí es importante implementar infraestructura de riego y almacenamiento de agua para mejorar la competitividad de las localidades agropecuarias (Rumiche, 2022)

5. Conclusiones

Según el presente artículo, obtuvimos como conclusiones que en la región Cajamarca existen diversas actividades económicas que ayudan a la población, destacando entre ellas la minería y la agricultura. Estas poseen una relación directa, ya que la agricultura es el principal sustento para la población, sin embargo, la minería afecta negativamente a esta en el poco acceso al agua y el debilitamiento del suelo, además influye gravemente en la productividad agrícola y la calidad de vida de las comunidades.

La minería, si bien es cierto, provoca empleo y beneficios económicos al país, por otro lado, provoca pérdida de suelos cultivables, conflictos sociales y una percepción de inequidad, las comunidades rurales sienten que los beneficios de la minería no se distribuyen equitativamente.

Finalmente, solo mediante la cooperación entre empresas mineras, comunidades y el gobierno, se debe promover políticas públicas que promuevan sostenibilidad y equidad en el uso de los recursos.

6. Bibliografía

- Aguilar J., Tafur H., Cubas N., Revilla J. (2023). *Desarrollo sostenible y conflictos medioambientales causados por la minería en la Región Cajamarca*. <https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/883>
- Andrade Alcívar, L. D. (2021). *Gestión integrada del geoturismo para el desarrollo sostenible del cantón Pedernales, Manabí, Ecuador*. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/9b2d8a1e-ef06-41a9-b350-bce-82530b4ac/content>
- Chacón Takeshi (2022). *Minería reduciría la pobreza en Cajamarca en 33 puntos porcentuales hacia 2031*. <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/mineria-pobreza-cajamarca-2031/>
- Cienfuegos Viera, Cynthia (2017 - 2021). *¿La minería impulsa a la agricultura en Cajamarca?* <https://propuestaciudadana.org.pe/wp-content/uploads/2023/02/La-miner%C3%ADa-impulsa-a-la-agricultura-en-Cajamarca.pdf>
- Equipo editorial, Etecé. (2022). *Ganadería intensiva y extensiva*. Enciclopedia de Ejemplos. <https://www.ejemplos.co/10-ejemplos-de-ganaderia-intensiva-y-extensiva/#ixzz8qilPRLJ3>
- Eyng (2022). *34% de la población de Cajamarca se beneficia de la minería*. <https://eyng.pe/web/2022/02/11/34-de-poblacion-de-cajamarca-se-beneficia-de-la-mineria/>
- Frederick, D. (2020). *Actividades económicas*. <https://enciclopediaiberoamericana.com/actividades-economicas/>
- Frederick, D. (2021). *Agricultura*. <https://enciclopediaiberoamericana.com/agricultura/>

- Gonzales, Sheyla (2019) *Efectos de la actividad minera en centros poblados alto andinos del Perú*. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/4130/BC-TES-2945%20GONZALES%20VILLALOBOS.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Isla, Ana (2017). *¡Conga no va! Los Guardianes de las lagunas: Defendiendo la tierra, el agua y la libertad en Cajamarca, Perú*. <https://www.redalyc.org/journal/153/15352346004/html/>
- Julón Gutierrez, E. (2019). *La influencia de la minería en la producción agrícola y ganadera de la Región de Cajamarca 2007 - 2017*. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3802>
- Maldonado, Y. (2021). *¿Qué es la minería? ¿Por qué es importante?* <https://geologiaweb.com/mineria/que-es-mineria/>
- Mendoza Malaver (2024) *Cajamarca: Minería ilegal y el crimen organizado se expanden en la región* <https://iimp.org.pe/actualidad-minera/cajamarca-mineria-ilegal-y-el-crimen-organizado-se-expanden-en-la-region#:~:text=Adem%C3%A1s%2C%20mencion%C3%B3%20que%20las%20zonas,en%20el%20C%C3%B3digo%20Procesal%20Penal.>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (s.f). *Canon* https://www.mef.gob.pe/es/?option=com_content&language=es-ES&Itemid=100959&lang=es-ES&view=article&id=454
- Paz Sarmiento, S. S. (2019). *Estrategias de enseñanza para el desarrollo de la conciencia ambiental en alumnos del nivel primaria*. Repositorio Pontificia Universidad Católica del Perú. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21369/PAZ_SARMIENTO_SOPHYA_STHEFANNY%20%281%29.pdf
- Quiroa, M. (2020). *Sector primario, secundario y terciario: Qué son, características y ejemplos*. Economipedia. <https://www.economipedia.com/>
- Sánchez Galán, J. (2024). *Crecimiento económico: Qué es y cómo funciona*. <https://economipedia.com/definiciones/crecimiento-economico.html>
- Yalta Campos, M. (2022). *La contaminación ambiental: Un espacio de reflexión y sus consecuencias*. Paídagogo. <https://educas.com.pe/index.php/paidagogo/article/view/134/398>

DIVERSIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS EN EL DEPARTAMENTO DE LORETO: SECTOR AGRÍCOLA Y SECTOR PETROLERO

Diversification of economic activities in the department of Loreto: agricultural and oil sectors

Liliana Alejandra Zegarra Castro

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: liliana.zegarra@unmsm.edu.pe

Jhadyra Mishel Soto Ilahuala

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jhadyra.soto@unmsm.edu.pe

Paola Elizabeth Teves Chamorro

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: paola.teves@unmsm.edu.pe

Josué Daniel Ñingle Cangahuala

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: josue.ningle@unmsm.edu.pe

Angel Daniel Pomayay Yaranga

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: angel.pomayay@unmsm.edu.pe

Carolina Esmeralda Tinoco Pezo

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: carolina.tinoco@unmsm.edu.pe

Samaria Belén Chanduvi Reyes

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: samaria.chanduvi@unmsm.edu.pe

Resumen: La región de Loreto, en Perú, es un área de gran riqueza natural y biodiversidad, donde actividades como la agricultura, la pesca, la industria petrolera y la explotación de hidrocarburos son pilares fundamentales de su economía. La agricultura, practicada tanto en pequeña como en gran escala, abastece la demanda local y nacional, mientras que la pesca en el río Amazonas sostiene el sustento de muchas familias. Por otro lado, el sector petrolero, aunque ha experimentado una reducción en su contribución económica desde 2015 debido a factores como la caída de precios internacionales, sigue siendo una actividad económica relevante para la región. La combinación de estos sectores no solo impulsa el crecimiento económico, sino que también presenta desafíos relacionados con la sostenibilidad y la gestión adecuada de los recursos, esenciales para el desarrollo integral de Loreto.

Palabras claves: Loreto, Economía, Agricultura, Perú, Petróleo.

Abstract: The Loreto region in Peru is an area of immense natural wealth and biodiversity, where activities such as agriculture, fishing, and hydrocarbon extraction form the foundation of its economy. Agriculture, practiced on both small and large scales, meets local and national demand, while fishing in the Amazon River supports the livelihood of many families. On the other hand, the Petroleum Industry, though experiencing a decline in economic contribution since 2015 due to factors such as falling international prices, remains economically significant to the region. The combination of these sectors not only drives economic growth but also presents challenges related to sustainability and resource management, which are essential for Loreto's comprehensive development.

Keywords: Loreto, Economy, Agriculture, Peru, Petroleum.

1. Introducción

El departamento de Loreto, situado en el extremo nororiental del Perú, es el más grande del país con una superficie de 368,852 km², lo que equivale al 28.7% del territorio nacional. La explotación de recursos naturales, específicamente del petróleo y la madera, han sido las principales fuentes económicas de la región durante años, además de actividades como la pesca, el comercio, la agricultura y el turismo, este último recibiendo a personas interesadas en conocer la biodiversidad de la Amazonía peruana (Mongabay, 2024).

En términos económicos, Loreto tiene una economía relativamente diversa, aunque en 2022 su Valor Agregado Bruto (VAB) representó solo el 1.7% del total nacional, según el INEI. Entre las actividades más relevantes se incluye la extracción de petróleo, gas y minerales (18.7%), y el comercio (16.9%). También son importantes la agricultura, ganadería y silvicultura (8.7%), la administración pública y defensa (8.5%), y la manufactura (6.8%), lo cual evidencia una economía que combina actividades extractivas, comerciales y de servicios.

Sin embargo, a pesar de contar con abundantes riquezas naturales, Loreto es uno de los departamentos con más altos índices de pobreza y bajo desarrollo social. La economía de esta región ha dependido de la explotación de sus recursos naturales, desde el auge del caucho en el siglo XIX hasta la actualidad. lo cual ha generado un crecimiento económico inestable, aumentando la brecha con el resto del país.

Dourojeanni (2013) reconoce los desafíos que enfrenta Loreto, no obstante, destaca que la conservación de sus bosques aún permite plantear un desarrollo sostenible basado en el manejo forestal, la biodiversidad y la compensación por servicios ambientales. Según el autor, Loreto tiene la posibilidad de aprender de los errores de otras regiones amazónicas y planificar un futuro más sostenible.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo lograr examinar las actividades económicas de Loreto, sus retos, sus ventajas y sus posibilidades, siendo motivado por la necesidad de comprender y analizar estos aspectos de la región más extensa de nuestro país.

1.1. Marco teórico

1.1.1. Agricultura:

La región Loreto alberga variedades económicas fundamentales para el desarrollo y sustento de este. Los recursos naturales permiten diversas actividades como la pesca, la agricultura, el turismo y la extracción de los recursos naturales. Tanto como en el sector agricultura también encontramos diversos cultivos como el plátano, la yuca, el maíz.

La agricultura es fundamental para la economía local de Loreto, gracias a sus tierras fértiles que permiten producir alimentos tanto para el consumo local como para la exportación, tanto a nivel nacional e internacional contribuyendo así al crecimiento económico de la región.

En Loreto, la agricultura no es solo un pilar económico, sino una tradición que conecta profundamente a las familias con su tierra. Muchas personas dependen de ella para su vida cotidiana, destacando su relevancia en la región. Además, la sostenibilidad y la protección de la biodiversidad son principios fundamentales en sus prácticas agrícolas, ayudando a conservar el entorno natural. Para facilitar su labor, los agricultores necesitan permisos de suelo, licencias para comercializar, y deben conocer los apoyos disponibles que impulsan el desarrollo agrícola de forma legal y eficiente.

En Alto Amazonas, la agricultura se desarrolla en pequeña, mediana y gran escala con cultivos como arroz, maíz, palma aceitera y cacao. Los pequeños productores predominan en la región, practicando una agricultura migratoria de subsistencia y usando técnicas tradicionales; sin embargo, la falta de saneamiento legal de sus tierras limita su potencial económico. Los medianos productores emplean semillas certificadas y tecnologías intermedias, mientras que los grandes productores, concentrados en el cultivo de arroz y ganadería, utilizan tecnología avanzada pero son menos comunes.

Los suelos aluviales y de restinga de la región, con más de 1.5 millones de hectáreas, son altamente fértiles y permiten una agricultura temporal orientada a la seguridad alimentaria. Con un buen manejo de los calendarios de siembra y el uso de semillas certificadas, se puede mejorar la producción. Sin embargo, las inundaciones repentinas representan un desafío constante para la agricultura en esta zona.

Impacto Ambiental:

En la Amazonía peruana, específicamente en Loreto, se evidencia un alto índice de biodiversidad de flora y fauna. Estas mismas se encuentran vulnerables a la deforestación y la degradación de los bosques amazónicos, estos son dos de los problemas más críticos que enfrentan los países amazónicos (Sierra, 2024).

La práctica agrícola requiere extensiones amplias de territorio para un correcto desarrollo, el cual esté listo para la siembra. “En la Amazonía peruana, la quema de cultivos es una práctica común que aún se mantiene en algunas zonas, especialmente durante las épocas de siembra y cosecha” (Envolvert, 2023).

El sector agrícola afecta en gran proporción al medio ambiente, ya que en el apartado de cultivos se usan fertilizantes y pesticidas en los cultivos comerciales esto afecta negativamente al ambiente, lo que conlleva a la contaminación de suelo, expone a los agricultores y animales exponiéndolos a productos químicos los cuales pueden llegar a afectar su salud.

La deforestación es uno de los problemas que poseen mayor afección. Si bien Loreto tienen gran cantidad de áreas de bosques naturales, la expansión de la agricultura y la ganadería conlleva a la transición de bosques a tierras de cultivo o criado; Esto a su vez despoja a los habitantes de su barrera natural contra el clima tropical-húmedo, ya que los bosques cumplen el papel de drenaje de agua de lluvia gracias a su capacidad de taponamiento y moderador de inundaciones, a su vez equilibrar el cauce de los ríos. (Muys, Ellison, & Wander, 2022)

Impacto Social:

El impacto social en la región Loreto se refiere a los efectos que las actividades económicas y políticas ejercen sobre las comunidades locales y su bienestar. Estos impactos abarcan cambios en la calidad de vida, las relaciones sociales, la estructura económica y el acceso a recursos esenciales como salud, educación y agua potable. En Loreto, las principales actividades que generan impacto social son la explotación de recursos naturales, como la agricultura, la extracción de petróleo y la explotación de madera. Estos procesos pueden mejorar el acceso a empleo e infraestructura, pero también pueden agravar las desigualdades económicas y sociales, especialmente cuando la riqueza generada no se distribuye equitativamente. (Ascensión, 2021)

La contaminación del agua y del aire, derivada de la extracción de petróleo y la expansión agrícola, provoca problemas de salud graves en las poblaciones locales, como enfermedades respiratorias, dérmicas y digestivas. Las comunidades indígenas, que dependen directamente de los recursos naturales para su subsistencia, suelen ser las más vulnerables a estos impactos, ya que su modo de vida tradicional y su relación con el entorno natural se ven profundamente alterados (Margarita, 2020)

1.1.2. Sector petrolero

1.1.2.1. Importancia Económica del Sector Petrolero:

El impacto que tienen los ingresos del canon y sobrecanon petrolero en el bienestar de las personas que viven en las regiones que los reciben es un tema que merece ser estudiado con más profundidad. En el caso de Loreto, aunque la región es clave en la producción de petróleo del Perú gracias a sus grandes yacimientos, no hay información concreta que demuestre cómo estos ingresos contribuyen al desarrollo local. Esto hace que sea importante analizar si realmente se están aprovechando estas rentas para mejorar las condiciones de vida en la región.

A pesar de contar con ingresos provenientes de la explotación petrolera, el crecimiento económico de Loreto no ha sido suficiente para cerrar la brecha con el promedio nacional. Por ejemplo, en 2007, el Producto Bruto Interno (PBI) per cápita de Loreto era de S/ 9,800, frente a S/ 10,400 a nivel nacional. Sin embargo, para 2021, mientras el PBI per cápita del país creció en 45.7% hasta alcanzar S/ 15,200, en Loreto solo subió un 2.2%, llegando a S/ 10,100. Esto muestra que, a pesar de recibir ingresos por petróleo, el desarrollo económico regional no ha seguido el ritmo del crecimiento nacional.

Además, los datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) revelan que el Valor Agregado Bruto (VAB) de Loreto en 2021 fue de S/ 8,915 millones, y que solo el 16.3% de ese total provino del sector de extracción de petróleo, gas y minerales. Esto contrasta con 2007, cuando ese sector representaba el 35.1% del VAB. Este cambio se explica por la caída en la producción y el precio del petróleo en los últimos años, mientras que otros sectores, como el comercio, han crecido en importancia.

A nivel global, las actividades extractivas, como la explotación de petróleo, han sido un pilar económico para muchos países, generando ingresos y desarrollo. Sin embargo, en Loreto, parece que el impacto positivo de esta industria ha ido disminuyendo con el tiempo, mientras que otras regiones y sectores han crecido más rápidamente. Esto plantea la necesidad de reexaminar cómo se gestionan estos recursos para que los beneficios lleguen realmente a la población local. (Flores, 2024)

1.1.2.2. Impacto del Sector Petrolero a nivel social y ambiental:

La actividad petrolera en el departamento de Loreto tiene efectos profundos tanto en el ámbito social como ambiental, afectando directamente a las comunidades locales y los ecosistemas (Corbera, 2021).

Nivel ambiental

Uno de los impactos más significativos es la deforestación, ya que la construcción de infraestructuras para la extracción de petróleo, como pozos y oleoductos de hasta 45 kilómetros, causa una pérdida considerable de bosques. En la zona de Situche Central, esto incluye la apertura de trochas, la construcción de helipuertos y campamentos, y la instalación de tuberías lo cual altera la biodiversidad y los ecosistemas, poniendo en riesgo a numerosas especies que dependen de estos hábitats (E&E Perú S.A., 2022).

Por otro lado, en el distrito de Puinahua, provincia de Requena, se reportó un derrame de petróleo crudo tras la colisión de dos barcazas en el Canal Puinahua, cerca de la comunidad nativa Manco Cápac. Aunque la empresa responsable activó un Plan de Contingencia con barreras de contención y materiales absorbentes, el impacto ambiental sigue siendo evaluado por el OEFA para determinar las causas y responsabilidades del incidente (OEFA, 2024). Este caso refleja los riesgos ambientales asociados al sector petrolero en Loreto y subraya la necesidad de mejorar la prevención y respuesta ante emergencias, evitando daños irreparables a los ecosistemas y comunidades cercanas.

La contaminación, es otra preocupación grave asociada con la industria petrolera. Los derrames de petróleo, las filtraciones de crudo por el envejecimiento de tuberías y la liberación de residuos contaminantes, como los lodos de perforación, pueden tener efectos irreversibles, afectando la salud de los ecosistemas a largo plazo (Brañas et al., 2023)

Además, aunque el ruido y la iluminación generados por las operaciones pueden influir en el comportamiento de la fauna, estudios como los de Ruiz et al. (2006), Pepper et al. (2003) y Brouček (2014) indican que estas perturbaciones no son significativas para las especies biológicas, ya que tienden a adaptarse a estos impactos, evitando alteraciones relevantes en sus patrones ecológicos.

Nivel social

A pesar de los esfuerzos por controlar estos riesgos, las consecuencias de estas prácticas pueden persistir, afectando no solo al medio ambiente, sino también a la salud de las comunidades cercanas. La transformación del paisaje natural también representa un impacto significativo. Los cambios en el uso del suelo alteran la percepción del entorno y afectan las prácticas culturales de las comunidades que dependen de los recursos naturales para su subsistencia. Esto es especialmente relevante para las comunidades indígenas, cuyos modos de vida tradicionales se ven comprometidos por la actividad petrolera. La caza, la pesca y la recolección de productos del bosque son actividades esenciales para su bienestar y cultura, y su interrupción puede tener efectos devastadores (Manuel et al., 2023)

Finalmente, es crucial que las empresas del sector obtengan la aceptación de las comunidades para llevar a cabo sus operaciones. La falta de reconocimiento de los impactos económicos y sociales pueden generar conflictos y resistencia local. El sector petrolero en Loreto presenta desafíos significativos que requieren una evaluación integral de sus impactos sociales y ambientales. Es fundamental promover un desarrollo sostenible que respete tanto el bienestar de las comunidades locales como la conservación de ecosistemas. (Salvador, 2020).

1.1.2.3. Industria petrolera:

La explotación de petróleo es la principal actividad económica del departamento de Loreto. Está por encima de otras actividades económicas como el comercio, agricultura, ganadería, etc.

Según la red de comunicación regional, la explotación de petróleo representa el 16.8% del PBI, el sector de hidrocarburos es el más relevante para Loreto; es por ello que se debe tener en cuenta una correcta distribución de las transferencias para tener una dirección para contribuir a otros sectores principales como la educación y salud.

La industria del petróleo y gas ha tenido una presencia significativa en la Amazonía peruana desde la década de 1970, y su historia está marcada por una dualidad en sus impactos. Por un lado, esta industria ha sido un motor clave para el desarrollo socioeconómico y el avance tecnológico a nivel global, incluyendo Perú. La extracción de petróleo y gas ha generado riqueza para numerosos negocios relacionados, beneficiando a inversionistas, gobiernos regionales y al estado. Además, ha creado miles de empleos remunerados, contribuyendo así al bienestar económico de muchas comunidades. Sin embargo, esta riqueza viene acompañada de un registro variado de impactos ambientales y sociales, lo que subraya la necesidad de una gestión cuidadosa y responsable de los recursos naturales.

2. Método

En la metodología de este documento, se aplicó un enfoque descriptivo que permitió detallar las características y aspectos significativos del tema, esto facilitó una descripción clara y precisa de los elementos principales que se querían destacar.

Asimismo, se utilizó un enfoque informativo y documental, recopilando datos actualizados y relevantes, recurriendo a fuentes confiables como libros, tesis de universidades, repositorios, artículos científicos y reportes oficiales para fundamentar la información expuesta de repositorios como Scopus, Scielo y Google Académico.

La integración de estos enfoques contribuyó a que el documento fuera netamente descriptivo, informativo y respaldado por fuentes sólidas, lo cual mejoró la calidad y objetividad del contenido.

3. Resultados

Impacto Ambiental de las actividades extractivas

De un reporte del MINAM (2019) , tenemos que la región Loreto enfrenta impactos ambientales significativos derivados de las actividades agrícolas y petroleras. En el caso de la agricultura, la deforestación es uno de los problemas más críticos, con una pérdida acumulada de 430,280 hectáreas de bosque entre 2001 y 2018. Esto equivale a una tasa promedio de deforestación anual de aproximadamente 25,310 hectáreas, impulsada principalmente por el cambio de uso de suelo para cultivos y actividades agrícolas no planificadas. Esta pérdida contribuye al deterioro de la biodiversidad en una de las zonas más ricas del mundo en términos de especies endémicas.

Por otro lado, el sector petrolero ha causado contaminación en diversas áreas, con casos emblemáticos como el derrame de petróleo en el Lote 192 en noviembre de 2019, que afectó a comunidades indígenas como los Achuar. Este evento, además de comprometer la calidad del agua y los ecosistemas circundantes, ha puesto en riesgo la salud de las comunidades locales, especialmente de niños y niñas. Asimismo, se han destinado más de S/ 183 millones en 2019 para remediar áreas impactadas por las actividades de hidrocarburos, reflejando la magnitud del daño ambiental.

En conjunto, estas actividades económicas evidencian la necesidad de fortalecer la planificación territorial y la fiscalización ambiental en Loreto, así como de promover prácticas sostenibles que reduzcan los impactos negativos. Los datos subrayan una urgencia en equilibrar el desarrollo económico con la conservación del medio ambiente, especialmente en una región tan vital para el equilibrio ecológico global.

Impacto social en agricultura y extracción de petróleo

En Loreto, las actividades agrícolas y petroleras han tenido como consecuencias profundas desigualdades económicas, ya que los beneficios de estas industrias rara vez llegan a las comunidades locales, especialmente a comunidades locales y a los indígenas, que permanecen en condiciones de pobreza y exclusión.

Las comunidades indígenas enfrentan graves impactos, como la contaminación de sus territorios, pérdida de acceso a recursos naturales esenciales y debilitamiento de sus formas de vida tradicionales, lo que agrava su vulnerabilidad. Además, la calidad de vida social se ve afectada por la precariedad laboral, la falta de acceso a servicios básicos y los conflictos sociales derivados de la explotación indiscriminada de los recursos, lo que perpetúa ciclos de pobreza y marginación en la región.

Loreto es considerada una de las regiones con mayor biodiversidad y recursos naturales, esto es en específico llamativo e influyente para impulsar el turismo en la región. Loreto ha mostrado un crecimiento respecto al turismo los últimos años, su característica biodiversidad justifica el crecimiento del turismo.

La economía de Loreto se encuentra fuertemente vinculada a actividades extractivas, como la agricultura y la explotación petrolera, las cuales constituyen pilares fundamentales de su desarrollo económico. Sin embargo, esta dependencia limita el crecimiento sostenible de la región a mediano y largo plazo. A pesar de ser una actividad clave, el sector petrolero no ha logrado cerrar la brecha de desarrollo entre Loreto y el promedio nacional. En 2021, mientras el Producto Bruto Interno (PBI) per cápita a nivel nacional creció un 45.7%, en Loreto el crecimiento fue de apenas un 2.2%, evidenciando un rezago económico significativo (Flores Franco, 2024).

Por otro lado, la agricultura, aunque crucial para la seguridad alimentaria y la economía regional, enfrenta desafíos importantes, como la falta de legalización de tierras y los efectos de fenómenos climáticos adversos, como inundaciones. No obstante, se identifican oportunidades para diversificar la economía de la región mediante el desarrollo de prácticas sostenibles, el agregado de valor a los productos agrícolas y la promoción de actividades alternativas, como el turismo y la gestión forestal sostenible (EnvolVert, 2023). Estas estrategias permitirían equilibrar el desarrollo económico con la conservación ambiental, factores esenciales para el progreso integral de Loreto.

4. Discusión

La diversificación de las actividades económicas en Loreto, con prioridad en los sectores agrícola y petrolero, representa las fortalezas y debilidades de esta región amazónica. El análisis realizado, con base en las indicaciones del texto, explica la forma en que hasta ahora la riqueza natural ha sido el principal impulso de la economía de Loreto, pero también la dependencia de las actividades extractivas como límite al desarrollo sostenible.

El sector agrícola de Loreto es considerado un eje económico importante por su impacto en la seguridad alimentaria y aporte a la economía regional. Según Shapiama (2014), los suelos aluviales y de bancos de arena proporcionan fertilidad para cultivar productos como arroz, palma aceitera y cacao que son vitales para las comunidades locales. Sin embargo, la agricultura enfrenta grandes desafíos, como frecuentes inundaciones y falta de legalización de tierras, que afectan principalmente a los pequeños agricultores. A pesar de estas limitaciones, como señala EnvolVert (2023), las iniciativas de capacitación de tecnologías sostenibles y asociaciones de productores han demostrado ser herramientas clave para fortalecer el sector y promover una gestión más efectiva de los recursos.

El sector petrolero, por su parte, históricamente uno de los motores del desarrollo de Loreto, ha perdido relevancia en los últimos años. La caída de los precios internacionales del petróleo y la disminución de la producción local tienen impactos negativos en los ingresos por regalías y sobretasas, limitando así la cantidad de dinero que el gobierno regional puede gastar en inversiones en proyectos de desarrollo según Salvador (2020). Pero los impactos económicos no agotan los efectos del sector petrolero. Como mencionan Brañas et al. (2023), el daño ambiental que produce es profundo a través de la deforestación, los derrames y la contaminación de los cuerpos de agua; se afecta la biodiversidad y las comunidades indígenas que se sustentan en dichos ecosistemas.

En este contexto, las oportunidades de diversificación económica para Loreto pueden liberarse de la antigua dependencia de las actividades extractivas y abrirse a un modelo de desarrollo más sostenible. La complejidad económica y la necesidad de fomentar el desarrollo de funciones de mayor valor agregado, como el procesamiento de productos agrícolas, podrían cambiar toda la economía de la región (Hausmann et al., 2020). Según Dourojeanni (2020), la gestión forestal sostenible y el pago por servicios ambientales son opciones viables que permitan generar ingresos sin destruir la riqueza natural de Loreto.

5. Conclusiones

- La región Loreto cuenta con una economía basada en recursos naturales, en donde las principales son las actividades agrícolas y petroleras; pero tienen una dependencia con gran magnitud de estas actividades extractivas en donde se demuestra que es insostenible a un mediano-largo plazo; por otro lado la diversificación económica de estos sectores como el turismo, manejo forestal sostenible y hasta los valores agregados a productos agrícolas permiten un crecimiento equilibrado.
- La región de Loreto, dada su carácter extractivo, recibe un importante impacto ambiental al ser alta la demanda de materia prima. Un sector vital para la economía y subsistencia para los ciudadanos de la región Loreto es la agricultura, sin embargo se presentan retos como la falta de legalización de tierras de cultivo, desastres naturales, prácticas tradicionales que limitan la productividad de tierras, para lo cual la implementación de técnicas sostenibles ayudarían a maximizar el impacto económico-social.
- Se comprende como las actividades económicas del sector agrícola influyen en el ambiente reduciendo las áreas de bosques forestales además de contaminación de agua, suelo y aire. Las consecuencias de estas prácticas se verían mitigadas con la diversificación económica, la cual realiza prácticas sostenibles las que mantienen un crecimiento económico; este modelo respeta los límites del medio ambiente mientras proporciona los requisitos y cubre la demanda del sector agrícola.

- El sector petrolero en Loreto ha generado ingresos significativos, sin embargo, esto no ha significado un desarrollo sostenible ni en mejoras proporcionales para la población. A pesar de ser clave en la economía regional, su crecimiento económico está rezagado frente al promedio nacional, lo que evidencia la falta de una distribución adecuada de los recursos para promover sectores esenciales como la salud y la educación. Además los impactos ambientales y sociales, como la deforestación, contaminación y afectación a comunidades locales, evidencian la necesidad de una gestión más responsable. Es urgente diversificar la economía, invertir en sectores clave como salud y educación, y garantizar la participación de las comunidades para lograr un desarrollo equilibrado y sostenible.

6. Bibliografía

- Alejandro, C. R. V., Alejandro, C. R. V., & Palma, U. R. (2024). *Análisis del impacto económico del canon y sobre canon petrolero en la región Loreto, 2007-2021*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7888>
- Asención, C. C. J. (2021). *Evaluación económica de los impactos ambientales por la extracción de petróleo en la zona del Situche, distrito de Morona, departamento de Loreto, 2020-2035*. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5597>
- Banco Central de Reserva del Perú, Sucursal Iquitos. (2023). *Caracterización del departamento de Loreto*. Banco Central de Reserva del Perú. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Iquitos/loreto-caracterizacion.pdf>
- Brañas, M. M., Fabiano, E., Del Castillo Torres, D., Roucoux, K. H., Mendoza, G. G., Georgiou, S., Gloor, E., Hastie, A., Honorio Coronado, E., Hoorn, M. C., Lawson, I. T., Schulz, C., del Águila Pasquel, J., Del Águila Villacorta, M., Dávila Cardozo, N., Córdova Oroche, C., Ríos Paredes, M., Cole, L. E. S., Charpentier Uraco, E., ... Davies, A. L. (2023). Donde habitan los neba: Naturaleza, cultura e impactos ambientales en los territorios del pueblo urarina. <https://hdl.handle.net/20.500.12921/738>
- Chirif, A. (2023). Más coincidencias que divergencias: lo ilegal y lo legal en la economía de Loreto. *Amazonía Peruana*, **36**, 15-30. <https://doi.org/10.52980/revistaamazonaperuana.vi36.347>
- Corbera Cubas, J. A. (2021). Evaluación económica de los impactos ambientales por la extracción de petróleo en la zona del Situche, distrito de Morona, departamento de Loreto, 2020-2035. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/5597>
- Dourojeanni M. (2013). *Loreto sostenible al 2021*. https://dar.org.pe/archivos/publicacion/lsostenible2021_p2.pdf
- EnvolVert (2023). *Controlar la quema de cultivos en Perú: un llamado a la acción - Envol Vert*. Envol Vert. <https://envol-vert.org/es/act/controlar-la-quema-de-cultivos-en-peru-un-llamado-a-la-accion/#:~:text=La%20quema%20de%20cultivos%20produce,la%20disminuci%C3%B3n%20de%20la%20biodiversidad.>

- E&E Perú S.A. (2018). Estudio de Impacto Ambiental Detallado - Proyecto de Desarrollo del Área Noroeste (Situche Central) Lote 64. Lima.
- Flores Franco, G. B. (2024). Análisis del impacto económico del canon y sobrecanon petrolero en la región Loreto, 2007-2021. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7888>
- GAS y PETRÓLEO: PRINCIPAL ACTIVIDAD ECONÓMICA EN LA REGIÓN LORETO.** (2021, 27 octubre). RCR Perú. <https://www.rcrperu.com/gas-y-petroleo-principal-actividad-economica-en-la-region-loreto/>
- Gomez. (2024, 1 enero). Descubre las principales actividades económicas de Loreto: Guía completa para emprendedores y empresarios en. *Diario Central Perú*. <https://diariocentral.pe/actividades-economicas-de-loreto/>
- Hausmann, R., Santos, M. Á., Tudela Pye, J., Li, Y., & Grisanti, A. (2020). La riqueza escondida de Loreto: Análisis de complejidad económica y oportunidades de diversificación productiva. *CID Working Paper Series*. <https://growthlab.hks.harvard.edu/publications/la-riqueza-escondida-de-loreto-analisis-de-complejidad-economica-y>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2022). Evolución de la pobreza monetaria 2010-2021. Informe técnico. Lima: INEI. Disponible en https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/pobreza2021/Pobreza2021.pdf
- Manuel, M. B., Fabiano, E., Dennis, D. C. T., Trust, L., Nerc, Nerc, Nerc, & Council, S. F. (2023, 1 septiembre). La industria petrolera en la cuenca del Pastaza-Marañón y sus impactos ambientales y sociales. <https://research-repository.st-andrews.ac.uk/handle/10023/29117>
- Margarita, L. B. A. M. (2020). *Criterios para la protección de la integridad familiar de las comunidades indígenas ante desplazamientos o migraciones por contaminación hidrocarburífera en el departamento de Loreto*. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2427>
- Ministerio del Ambiente (2019). *Loreto: estadísticas ambientales, Diciembre 2019*. Gobierno del Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/loreto-estadisticas-ambientales-diciembre-2019>
- Muys B. , Ellison D. , & Wander S. (2022). ¿Qué papel desempeñan los bosques en el ciclo del agua? | *European Forest Institute*. <https://european PI>
- Oficina de Prensa e Imagen Institucional. (2024, 30 de junio). *Loreto: Combate a la minería ilegal en la región alcanza las 74 dragas destruidas este año y supera lo logrado en el 2023*. Noticias - Presidencia del Consejo de Ministros - Plataforma del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/noticias/980797-loreto-combate-a-la-mineria-ilegal-en-la-region-alcanza-las-74-dragas-destruidas-este-ano-y-supera-lo-logrado-en-el-2023>

- OjoPublico. (2024, 9 junio). Los nexos entre las joyerías de Iquitos y el oro ilegal del río Nanay. *Ojo Público*. <https://ojo-publico.com/ambiente/territorio-amazonas/los-nexos-entre-las-joyerias-iquitos-y-el-oro-ilegal-del-rio-nanay>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2024). *Loreto: OEFA supervisa derrame de petróleo por choque de barcasas en Lote 95*. Gobierno del Perú. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/oefa/noticias/915958-loreto-oefa-supervisa-derrame-de-petroleo-por-choque-de-barcasas-en-lote-95>
- Perú, A., & Perú, A. (2024, 26 marzo). *Loreto: Presentarán innovadores alimentos elaborados con yulilla, gamitana y paiche*. AGRO PERÚ Informa. <https://www.agroperu.pe/loreto-presentaran-innovadores-alimentos-elaborados-con-yulilla-gamitana-y-paiche/>
- Prevenir Amazonía Delitos ambientales Amazonía peruana*. (2024, 24 junio). Prevenir Amazonía. <https://preveniramazonia.pe/>
- Region. (s. f.). *La agricultura en Loreto: realidad y propuestas de acción – Diario de Noticias y Actualidad de Loreto – Iquitos – Ucayali – Requena – Datem del Marañon – Mariscal Ramon Castilla – Alto Amazonas – Loreto – Maynas – El Diario Judicial de Loreto*. <https://diariolaregion.com/la-agricultura-en-loreto-realidad-y-propuestas-de-accion/>
- Salvador, C. F. (2020, 10 septiembre). *Estudio de la actividad extractiva petrolera y su impacto en la economía de la región Loreto, periodo 2010 - 2018*. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1141>
- Sauñe-Ramos E. J., & Madrid-Ibarr F. M., (2018). COMPARACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN SONORA EN CUATRO LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE LORETO, PERÚ. *Biotempo*, 15 (2). <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo/article/view/2053/8184>
- Shapiama, J. C. (2014, 16 de mayo). *“PARCELAS TÍPICAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA, EVALUACIÓN Y ESTIMACIONES DE VALORACIÓN ECONÓMICA EN COMUNIDADES DE LA CARRETERA MAZAN-INDIANA, RÍO AMAZONAS, REGIÓN LORETO” (Tesis de título profesional, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana)*. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/3245>
- Sierra Y. (2024, 8 enero). *Amazonía al límite: deforestación, degradación y actividades ilícitas están acabando con el bosque tropical más grande del planeta*. Noticias Ambientales. <https://es.mongabay.com/2024/01/amazonia-al-limite-deforestacion-degradacion-y-actividades-ilicitas-estan-acabando-con-el-bosque-tropical-mas-grande-del-planeta/>
- Spda, W. (2024, 20 febrero). Loreto: minería ilegal y concesiones mineras amenazan importantes humedales. *SPDA Actualidad Ambiental*. <https://www.actualidadambiental.pe/loreto-mineria-ilegal-y-concesiones-mineras-amenazan-importantes-humedales/>

DE RESIDUOS A RECURSOS: UN ENFOQUE CIENTÍFICO EN LA ECONOMÍA CIRCULAR Y SU IMPACTO EN LA SUSTENTABILIDAD

From waste to resources: a scientific approach to the circular economy and its
impact on sustainability

Rommel Junior Carhuallanqui Alfaro
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: rommel.carhuallanqui@unmsm.edu.pe

Paul Diego Mamani Cuestas
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: paul.mamani@unmsm.edu.pe

Karla Milagros Sosa Roca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: karla.sosa@unmsm.edu.pe

Dra. Julissa Marleni Icho Yacupoma
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jichoy@unmsm.edu.pe

Resumen: El presente trabajo de investigación, tuvo como finalidad utilizar el enfoque de la economía circular para ofrecer soluciones innovadoras; en la reducción de desechos y la reducción de la huella ambiental que dejan las industrias, contribuyendo a una gestión más eficiente de la transformación de los residuos en recursos sostenibles a través de prácticas de reciclaje. Pasando de un sistema lineal, en el cual los productos se consumen y se desechan; a un sistema circular, en el cual los residuos son recursos y no solamente basura planteándose el modelo mariposa. Se abordaron temas como: Reutilización de plásticos, modelo mariposa, manejo de residuos plásticos de un solo uso, alternativas biodegradables, la economía circular como restaurativa y regenerativa, simbiosis industrial, reciclaje químico. Generando un empleo “verde”, tanto para trabajadores no calificados en tareas de reciclaje como para especialistas en innovación y diseño sostenible, constituyendo una base exportadora de materias primas a nivel mundial a través de prácticas limpias como lo es el reciclaje de plásticos industriales. Por último, la implementación de prácticas limpias, prácticas de eficiencia energética, tecnologías limpias de reutilización de carbono y la implementación de subsidios o incentivos fiscales que faciliten la adopción de tecnologías de captura y la utilización del carbono (CCU), ya que son necesarias para generar el avance en la economía circular.

Palabras clave: Economía circular, impacto ambiental, sustentabilidad, residuos industriales, recursos sostenibles.

Abstract: The purpose of this research work was to use the circular economy approach to offer innovative solutions in reducing waste and reducing the environmental footprint left by industries, contributing to more efficient management of the transformation of waste into sustainable resources. through recycling practices. Going from a linear system, in which products are consumed and discarded, to a circular system, in which waste is resources and not just garbage, considering the butterfly model. Topics were addressed such as: Reuse of plastics, butterfly model, management of single-use plastic waste, biodegradable alternatives, the circular economy as restorative and regenerative, industrial symbiosis, chemical recycling. Generating “green” employment, both for unskilled workers in recycling tasks and for specialists in innovation and sustainable design, constituting an export base of raw materials worldwide through clean practices such as the recycling of industrial plastics. Finally, the implementation of clean practices, energy efficiency practices, clean carbon reuse technologies and the implementation of subsidies or tax incentives that facilitate the adoption of carbon capture and utilization (CCU) technologies, as they are necessary to generate progress in the circular economy.

Key words: Circular economy, environmental impact, sustainability, industrial waste, sustainable resources.

1. Introducción

El presente artículo aborda la posibilidad de implementación de la economía circular en la transformación de desperdicios industriales en recursos sostenibles a nivel mundial, dentro del marco temporal 2021-2023. La economía circular es definida por Circle Economy (2021) como “un sistema que busca reducir el impacto ambiental al limitar la generación de desperdicios mediante la reutilización y reciclaje de materiales en los procesos productivos”. (p. 3) Esta metodología representa un cambio frente al modelo económico tradicional, que se enfoca únicamente en extraer, producir y desechar.

El problema clave que aquí se discute es: ¿De qué manera la economía circular influye en la transformación de sobrantes en recursos sostenibles? Esta cuestión es importante en un mundo en el cual el manejo de los residuos industriales y escasez de recursos son problemas críticos. Es por ello que la economía circular ofrece soluciones innovadoras para reducir desechos, aprovechar materiales apartados y reducir la huella ambiental que dejan las industrias, contribuyendo así a una gestión más eficiente de los recursos. Por ejemplo, (Gabisa et al., 2023) destacan como es que el reciclaje de plásticos puede reducir la liberación de gases climáticos nocivos y minimizar la presencia de microplásticos. lo cual permite preservar el medio ambiente así como reducir la necesidad de uso de recursos fósiles.

El logro de una economía circular eficiente es beneficiosa y viable pues contribuye de manera significativa a la sustentabilidad por medio de reducción de desechos, reutilizando los materiales y fomentando la innovación tecnológica como lo sugieren diversos estudios recientes. Al respecto, McGinty (2021), resalta que la economía circular no solo puede reducir las emisiones globales en un 39%, sino también generar 6 millones de empleos netos para el año 2030.

Se han encontrado varios argumentos orientados a concientizar la relevancia de incorporar estrategias de producción circular en la industria, promoviendo la conversión de desechos en recursos valiosos, mejorando la calidad de vida y la economía en el mundo.

La implementación de la economía circular en la transformación de residuos industriales en recursos sostenibles es viable para transformar residuos en recursos valiosos a través de prácticas de reciclaje. La cuarta revolución estará marcada por tecnologías emergentes que apuestan por el cuidado del medio ambiente y la sostenibilidad, no solo por la convicción que tenemos, sino que necesitamos producir más con menos recursos, que a su vez estos productos llegan a ser más costosos y limitados. Asimismo, lo que se busca es tratar de pasar de un sistema lineal, en el cual los productos se consumen y se desechan; a un sistema circular, en el cual los residuos son recursos y no solamente basura. Ahora bien, en la economía circular se plantea el modelo mariposa, en el cual se trata de trabajar los subsistemas tanto biológicos y técnicos McDonough y Bollinger (2007),

El modelo se estructura de la siguiente manera; las alas de la mariposa llegan a representar los subsistemas ya mencionados, el cuerpo simboliza la interfaz entre los subsistemas, y las antenas llegan a representar la gestión del sistema. En el subsistema biológico se hace referencia a recursos biodegradables que se obtienen de la naturaleza, como por ejemplo las plantas y animales; de este modo, los recursos se dirigen hacia el sistema de producción donde se llegan a transformar en recursos y al final, cuando estos productos ya no se utilicen se devuelven a la naturaleza en composta. Por consiguiente, el subsistema técnico engloba a los recursos no biodegradables, como pueden ser los metales, plásticos, etc. Al igual que los recursos biodegradables, estos también se extraen de la naturaleza, luego se procesan y pasan a ser productos manufacturados; al momento de llegar a su vida útil bien se pueden ser reutilizados o reparados, o simplemente llevados al vertedero. La clave de este modelo económico radica en mantener ambos subsistemas funcionando de manera conjunta y así poder maximizar la reutilización de los recursos. Por otro lado, tenemos la reutilización de plásticos, en el cual veremos la forma más adecuada de utilizar los desechos y volverlos a reutilizar, para poner fin al sistema lineal.

2. Método

Caso Manejo de Residuos Plásticos de un solo uso:

Específicamente, el modelo circular en cuestión del manejo de los residuos plásticos de un solo uso, implica implementar estrategias que permitan reducir, reutilizar, reciclar y recuperar estos materiales. Asimismo, en estos tiempos el plástico es un material muy importante pero, al mismo tiempo, muy perjudicial para los seres vivos, ya que contamina grandes cantidades de mar y tierra y hace que esto derive en que los alimentos que provienen ya sea del mar o la tierra, sean perjudiciales para nuestra salud, incluso llegando a consumir pequeñas partículas de plástico. No es extraño pensar que la mayor cantidad de basura en el mundo es de residuos sólidos, y a esto le sumamos que los plásticos constituyen el 10% de toda esa basura sólida. Una manera de reutilizar los plásticos puede ser en forma de fibras plásticas en el campo de la construcción, como en morteros de cemento. Todo esto evidencia que es necesario que al final del ciclo de producción de un material plástico no se considere desechable, sino que este pueda ser reincorporado nuevamente en el mercado mediante procesos de reutilización (Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2023). También podemos contar con alternativas de uso de otros envases de materiales no plásticos. Países de la región como Chile, Colombia y Brasil aprobaron leyes que prohíben los envases plásticos de un solo uso, esto obliga a los establecimientos a buscar nuevos empaques biodegradables. Sin ir más lejos, en el tiempo de la pandemia se llevó a cabo mucha comida por delivery, lo que generó un aumento masivo de envases plásticos.

Ante este aumento se planteó y realizó la idea de fabricar envases a base de materiales orgánicos, como por ejemplo: coco, bambú, pulpa de madera, entre otros. Al igual que los empaques de plásticos, también tenemos el problema de las bombillas a base de plástico que son de un solo uso, el cual representa un gran daño medioambiental. De acuerdo a un informe publicado por (Greenpeace, 2018) sólo en el continente europeo se utilizaron alrededor de 36.500 millones de bombillas al año. Este problema se acrecienta puesto que, la mayoría de bombillas no se reciclan y terminan contaminando los mares y afectando a los propios seres vivos. Para frenar este problema se desarrollaron varias alternativas sostenibles, como por ejemplo, bombillas elaboradas de papel o bambú. Otra alternativa sería reemplazar las bombillas plásticas por bombillas fabricadas de materiales reciclados como vidrio, acero y polímeros provenientes del maíz; y con esto ayudaríamos a generar un menor impacto ambiental. Estas alternativas son muy beneficiosas para el medio ambiente, ya que pasan por un proceso de biodegradación mucho más rápido. Estos envases orgánicos se degradan alrededor de 5 años, mientras que los envases a base de plástico toman alrededor de 1000 años en degradarse. (Winterhalter, 2022) advirtió que es prioridad desarrollar alternativas biodegradables y reemplazar los plásticos de un solo uso, ya que de no ser así, para el año 2050 habrá más cantidad de plásticos en el mar que peces.

Ahora bien, ¿Cuáles serían las propuestas de mitigación? Antes de brindar propuestas entendamos que la economía circular es restaurativa y regenerativa, tomando este punto se propone que, al momento de adquirir productos, como por ejemplo comida, evitar comprar en envases plásticos de un solo uso y en su lugar adquirir envases biodegradables, también diseñar productos que sean duraderos y reparables, y así permitir su reutilización. Además, es crucial establecer políticas públicas que incentiven nuevas prácticas sostenibles, como por ejemplo subsidios a empresas circulares o regulaciones que promuevan un ecodiseño. Es fundamental que gobiernos, empresas y ciudadanos trabajen juntos para promover transformaciones estructurales, educar sobre consumo responsable y construir un sistema donde los recursos se mantengan en uso por más tiempo, reduciendo significativamente los desechos y la dependencia de recursos naturales.

Por otro lado, tenemos algunos países que adoptaron algunas propuestas para mitigar la contaminación; por el caso de Europa tenemos a Países Bajos, que tiene como objetivo convertirse en una economía 100% circular para el 2050, promoviendo la reutilización de materiales de construcción, por el lado asiático tenemos a China, que adoptó el concepto de economía circular entre los años (2006-2010) e integró estrategias de desarrollo económico. Entre sus propuestas tenemos el establecimiento de parques industriales de “simbiosis industrial”, en donde los desechos de una empresa son insumos para otra, también tenemos la reducción de desechos electrónicos y reciclaje masivo. Mirando hacia América Latina, tenemos a Chile, el cual lanzó su Estrategia Nacional de Economía Circular en 2021, con metas para el 2040, enfocados en disminuir la producción de desechos y fomentar su reutilización, entre sus propuestas tenemos la prohibición de plásticos de un solo uso, implementación de sistemas de reciclaje inclusivo contando con la participación de recicladores de base (personas que se dedican a recolectar, clasificar y vender materiales reciclables), que vienen a ser el primer eslabón de la cadena de recuperación de materiales valiosos y desempeñan un papel fundamental en el proceso de reciclaje.

Por último, por el lado de África tenemos a Sudáfrica, el cual adoptó políticas para la economía circular en respuesta a problemas de gestión de residuos y escasez de recursos, entre sus propuestas claves tenemos programas de reciclajes inclusivo con comunidades locales y estrategias de reutilización de agua en zonas afectadas por las sequías.

En el caso del transporte, podemos adaptar nuevas medidas como por ejemplo, el uso de bicicletas que disminuye la huella de carbono, ya que gran parte del transporte todavía depende de derivados del petróleo que a su vez genera contaminación. Además, las propuestas buscan examinar el contexto relacionado con la problemática ambiental y explorar alternativas más beneficiosas. En este sentido, la economía circular se presenta como una excelente opción para reducir el impacto ambiental y avanzar hacia el cumplimiento de los objetivos establecidos en la Agenda 2030 (Zottele, 2022).

Entre unas de las tecnologías emergentes, tenemos al reciclaje químico. Ahora, en qué consiste el reciclaje químico; es un proceso en el cual se descomponen las moléculas de plástico lo que permite volver a llegar a utilizarlas en la fabricación de nuevos productos. Esta técnica presenta principalmente 2 metodologías, la despolimerización y el craqueo (Sintac Recycling, 2022). En el proceso de despolimerización se presentan 3 plásticos recurrentes los cuales son poli (tereftalato de etileno), el policarbonato y la poliamida Nylon-6. El tereftalato lo podemos encontrar de manera doméstica como en los envases de cosméticos, detergentes y en las botellas de plástico; por su lado el policarbonato por su alta dureza y resistencia al impacto lo encontramos en las partes de vehículos, teléfonos y computadoras, y por último la poliamida Nylon-6 es el plástico más comercial, ya que se encuentra en las fibras e hilos.

Por su parte, el reciclaje químico nos ofrece varios beneficios al permitir reutilizar plásticos que normalmente terminan en vertederos. A diferencia de otros reciclajes, que degradan la calidad del plástico ciclo a ciclo, el reciclaje químico convierte los residuos en materiales de calidad casi nueva, ampliando su vida útil. Además, reduce la dependencia de recursos fósiles al reutilizar los materiales ya existentes, disminuye la contaminación ambiental y apoya la economía circular al generar nuevas materias primas a partir de desechos. Como resultados beneficiosos, ayuda a convertir un desecho común y difícil de reciclar en una ventaja para el medio ambiente, también reduciría los costos y ayudaría a obtener materias primas de mejor calidad. También, podemos invertir en tecnologías que promuevan su uso en las industrias que generan grandes cantidades de residuos plásticos. Esto no solo facilita la gestión de plásticos de difícil reciclaje, sino que a su vez apoya la economía circular al transformar desechos en nuevos materiales de alta calidad, reduciendo así la dependencia de recursos nuevos. Ahora, si bien la implementación de la economía circular en países desarrollados va por buen camino, en los países en vías de desarrollo se trata de llegar a un acercamiento al modelo; ya que es incierto que existan las condiciones propicias para que se lleve a cabo.

Lo que busca la economía circular es fomentar el desarrollo y mejorar el bienestar social de la población, utilizando estrategias de reducción, reciclaje y reutilización de los recursos que se ven involucrados en la producción (Kirchherr et al. 2018). Podemos implementar innovación tecnológica que permita la creación de un modelo circular; también, infraestructura tecnológica para poder llegar a adquirir herramientas capaces de aprovechar los recursos de manera más eficaz (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

En países como Haití, Honduras y Nicaragua, la implementación de la economía circular puede ser una solución estratégica para abordar problemas relacionados con la pobreza, el desempleo y la gestión inadecuada de residuos, estos países tienen una alta dependencia de recicladores informales y se podría fomentar su inclusión mediante cooperativas, capacitación técnica y acceso a infraestructura de reciclaje, también podrían optar por implementar proyectos de compostaje de residuos orgánicos en comunidades rurales y urbanas para producir fertilizantes para la agricultura, en cuestión económica podrían aprovechar los residuos agrícolas (como cáscaras de café o bagazo de caña) para la producción de biogás, biochar o fertilizantes naturales, a su vez también fomentar negociar con modelo circular, creando talleres comunitarios para reparar y reacondicionar electrodomésticos, herramientas y ropa, generando empleo local.

Estas iniciativas no solo enfrentan los desafíos ambientales, sino que también contribuyen a la creación de empleo y al impulso de las economías locales, lo que repercute positivamente en la calidad de vida de las comunidades. En naciones como Haití, Honduras y Nicaragua, la economía circular puede convertirse en una clave fundamental para promover un desarrollo sostenible a largo plazo. No obstante, la falta de apoyo financiero y los altos costos, hacen que la implementación de esta economía en países tercermundistas sea complicada de instalar. Siguiendo con la idea anterior, acerca de que los países en vías de desarrollo logren concretar una economía sustentable, profundizaremos en la economía circular como eje de desarrollo de los países de América latina y el Caribe. Es posible que aún no estén lo suficientemente preparados, para lograr consolidar una EC.

Sin embargo, está claro que ya existen una serie de propuestas e iniciativas por parte de algunos países latinoamericanos que se dirigen a brindar una mayor centralidad en materia económica. Unas de las razones por la cual sería un buen eje desarrollador es fomentar nuevos sectores como el reciclaje, la reparación y la reutilización de productos, así como la creación de empresas sostenibles. Esto genera empleo “verde”, tanto para trabajadores no calificados en tareas de reciclaje como para especialistas en innovación y diseño sostenible, a su vez la región es una de las principales exportadoras de materias primas a nivel mundial. Implementar prácticas de economía circular permitiría agregar valor a los recursos naturales antes de exportarlos, reduciendo la dependencia de la extracción y fomentando la industrialización sostenible.

En el Perú se adoptaron diversas medidas para promover la economía circular como parte de su estrategia de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático. Entre las principales acciones se destaca la implementación de la Hoja de Ruta hacia una Economía Circular en la Industria, lanzada por el Ministerio de la Producción en 2020, que promueve la transición de un modelo lineal a uno circular mediante el reciclaje, la reutilización y el ecodiseño en procesos productivos. Además, el país ha fortalecido el marco normativo con leyes como la de Gestión Integral de Residuos Sólidos y la regulación del uso de plásticos de un solo uso, fomentando alternativas más sostenibles.

Perú también ha priorizado la formalización de recicladores, el desarrollo de plantas de valorización de residuos y la promoción de proyectos innovadores financiados a través de programas como Innóvate Perú. Estas iniciativas, complementadas con campañas de educación y alianzas internacionales, reflejan el compromiso del país para optimizar recursos, reducir la generación de residuos y combatir el cambio climático, posicionando a la economía circular como un eje estratégico para su infraestructura.

Estas medidas buscan optimizar el uso de recursos y fomentar la sostenibilidad en sectores importantes como la industria, la agricultura. Es importante que el Perú fortalezca la educación y concientización sobre la economía circular tanto a los ciudadanos y empresas, promoviendo un consumo responsable y sostenible. Esto se puede lograr promoviendo campañas y talleres informando la importancia de reducir y reutilizar. Y por último una mayor colaboración entre el gobierno, las industria y la sociedad; facilitando una transición hacia una economía circular, obteniendo beneficios ambientales y económicos a largo plazo.

Así pues, la realidad de los países de ALC es que generan bastante cantidad de basura, según datos de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2021), en toda la región se genera en promedio a 1 kg diario de residuos per cápita, que vendría a ser la cantidad de basura que genera una persona de población en un día, aproximadamente el 85% son residuos de las urbes, aunque, depende del país del que estemos hablando, por ejemplo, en las urbes de países como Colombia y Uruguay la tasa de residuos llega a ser del 95%, mientras que por otro lado tenemos a Haití que no sobrepasa del 12%; ahora bien, menos del 75% de los residuos se llegan a desechar en lugares sanitarios, y más del 20% terminan en vertederos abiertos, contaminando el aire, solamente el 4% se recicla, lo cual es una cifra muy pobre si lo comparamos con otras regiones como Europa o Asia que llegan al 20%.

Otro aspecto a considerar es que la mitigación de la huella de carbono y la expansión en la eficiencia de los recursos es necesaria para promover el uso sostenible de los recursos, especialmente a través de prácticas limpias, como lo es el reciclaje de plásticos industriales, en pro de disminuir los residuos de material no renovable causado por la intensa producción industrial humana, que a su vez contribuye con el cambio climático. De acuerdo con Gabisa, Rataatamskul y Gheewala (2023), la sustitución de materiales vírgenes por reciclados puede reducir las emisiones en aproximadamente 67 millones de toneladas de CO₂ equivalente, una cantidad significativa que destaca el impacto positivo de esta estrategia en la reducción de gases de efecto invernadero. Esta afirmación resalta que el reciclaje de plásticos es una medida efectiva no sólo para reducir la dependencia de las industrias hacia los recursos fósiles altamente contaminantes, sino que además permite dar los pasos necesarios para estar cada vez más cerca de una economía circular sostenible donde los materiales se rehúsan y reintegran en la cadena productiva en lugar de desecharse.

De manera complementaria, Circle Economy (2024) calcula que las estrategias basadas en economía circular podrían reducir en un 39% las emisiones globales de carbono. Esto refuerza la idea de que las prácticas previamente mencionadas son claves para reducir la huella de carbono y enfrentar de raíz al cambio climático.

Aunque objetivamente, el reciclaje representa ser una alternativa eficaz ante la problemática, es fundamental también tener en cuenta que las operaciones de reciclado, cumplan con las altas especificaciones de calidad necesarias para que estos puedan competir con los plásticos vírgenes sin generar desconfianza en el cliente y consumidor, asegurando que el producto reciclado sea una alternativa segura de elegir, sumado a esto, es importante tener en cuenta que, en muchos casos, el proceso de reciclaje puede generar emisiones tóxicas y residuos adicionales si no son realizados de manera eficiente o con los equipos necesarios, por lo que se está enfrentado a un reto difícil pero no imposible de llevar a cabo.

Sin embargo, Circularity Gap Report (2021) subraya que la economía circular, al promover el reutilizado de materiales en sectores como la construcción, transporte y alimentación, tiene el potencial de eliminar 22.8 gigatoneladas de emisiones anuales de CO₂ liberadas en el ambiente, representando un avance significativo en lo que a sostenibilidad y reducción de la contaminación se refiere. Esta estrategia planteada sin embargo, a pesar de los beneficios evidentes resaltados, necesita del respaldo de políticas que promuevan la inversión en reciclaje de alta calidad y establezcan normativas para la adopción de materiales reciclados en la industria. La ausencia de estos apoyos normativos podría ser un gran obstáculo para la transición de economía lineal a circular. Teniendo esto en cuenta, es recomendable que las autoridades respectivas en cada país instalen ciertas políticas gubernamentales que incentiven el uso de materiales reciclados, para darles un segundo uso en lugar de materiales vírgenes, a fin de consolidar un modelo económico circular y disminuir la explotación indiscriminada de los recursos naturales limitados, preservando los ecosistemas para las siguientes generaciones, reafirmando el compromiso hacia un desarrollo verdaderamente sostenible preocupado por el futuro de la humanidad.

3. Resultados

Prácticas de Eficiencia Energética

Constituyen un punto clave dentro de la ejecución y avance de la economía circular, debido a que optimizan el uso de recursos y mitigan los impactos negativos sobre el medioambiente, además que pueden ser practicadas tanto por las empresas como también por todos los individuos, sin necesidad de recurrir a la tecnología avanzada o infraestructura especializada necesitados indispensablemente en otros métodos, lo que amplía su alcance y adopción a corto plazo sin dificultades del ámbito económico. Como explica Greentology (2023), “la economía circular aboga por reducir el consumo energético mediante la reutilización de productos y materiales, lo que disminuye la necesidad de extraer nuevos recursos y la generación de residuos”. Este enfoque se centra en explicar cómo reducir la dependencia de recursos primarios y contribuir significativamente con los principios planteados para conseguir el desarrollo sostenible que va de la mano con la economía circular, pues al reutilizar no sólo se ahorran recursos materiales y energía, sino que también se reducen las emisiones altamente tóxicas innecesarias .

Asimismo, Ecolec (2023) complementa la idea mencionada subrayando que “la reparación y prolongación de la durabilidad de los productos no solo logran reducir el gasto energético, sino que también limitan las emisiones de gases de efecto invernadero”, afirmación que refuerza el impacto positivo de prolongar la vida útil de los productos, ahorrando energía y materiales asociados a los procesos de fabricación para el planeta tanto en términos ambientales como económicos. Estas prácticas no solo benefician al planeta al limitar el desperdicio y el uso excesivo de energía, sino que también mejoran la rentabilidad de las empresas, creando un equilibrio entre la sostenibilidad y la economía sin arriesgar la prosperidad del medio ambiente y de la humanidad.

En conjunto, integrar la eficiencia energética dentro de un modelo de economía circular se convierte en un paso crucial hacia un futuro más resiliente y consciente sobre el uso de los recursos agotables de la tierra y lo potencialmente beneficioso que es reutilizar materiales que se crearían inservibles dando una segunda vida útil, permitiendo a las generaciones venideras el uso de estos mismos y para avanzar en el rubro de la economía circular. Siendo así, la adopción de costumbres de eficiencia energética no solo reduce los costos de fabricación y disminuye la huella de carbono, sino que también fomenta la adopción de una mentalidad de responsabilidad entre empresas y consumidores, impulsando una transformación que no solo se limita al sector empresarial, sino que involucra a la sociedad en general en el camino hacia la salud del ecosistema y de la población en general.

Además, del punto anteriormente mencionado, el uso de **tecnologías limpias y de reutilización** como la Captura y Utilización del Carbono (CCU) es otro aspecto fundamental de la economía circular, ya que permite convertir el CO₂ en materias primas para la fabricación de plásticos y combustibles dándole un uso beneficioso a algo que se creía era totalmente negativo para la salud y el ambiente. Según Ojea (2020), estas tecnologías de captura de CO₂ son una alternativa viable que simplifica la conversión de emisiones en recursos valiosos, representando así una gran oportunidad para reducir estas emisiones en procesos industriales clave comprometidos con la reducción de uso de material nocivo a largo plazo. Esta afirmación demuestra que la CCU puede transformar residuos en insumos productivos al darle una segunda vida, promoviendo el modelo circular que introduce a la sostenibilidad que tanto se desea alcanzar.

Sin ir más lejos, Engineering for Change (2021) también destaca que la ingeniería juega un papel esencial en la ejecución de tecnologías circulares como la CCU, ya que facilita el desarrollo de soluciones industriales sostenibles que minimizan el desperdicio generado por las industrias. Aun así, estas tecnologías suelen implicar costos iniciales elevados y una infraestructura difícil de realizar, aún más en países de segundo o tercer mundo que se ven limitados por sus presupuestos o desconocimiento al quedarse en sus métodos industriales tradicionalistas, lo que puede limitar su adopción del sistema a gran escala. Para enfrentar estos desafíos, el World Resources Institute sugiere que un cambio hacia la economía circular no solo puede reducir las emisiones de carbono, sino también crear un aumento neto de 6 millones de empleos para 2030 (McGinty, 2021).

En este contexto, sería recomendable que los gobiernos tengan en cuenta la **implementación de subsidios o incentivos fiscales que faciliten la adopción de tecnologías de CCU**, especialmente en sectores y países principalmente enfocados a la industria con altas emisiones de CO₂. Este enfoque podría apresurar la evolución hacia un modelo económico bajo en emisiones de carbono, al mismo tiempo que promovería el desarrollo de miles de empleos sostenibles y de calidad.

Ahora bien, en ese sentido, pongamos por caso lo siguiente: En Estados Unidos los créditos fiscales permiten que las empresas dirijan una porción significativa de sus presupuestos a la inversión en tecnologías CCU, incentivando así la adopción de estas en sectores con altas emisiones, por ejemplo, según Larsen et al. (2019), el Crédito Fiscal 45Q en Estados Unidos ha sido un incentivo crucial para que las empresas consideren inversiones en tecnología de captura de carbono, ofreciendo un incentivo financiero directo para contrarrestar los altos costos de implementación iniciales asociados a estas tecnologías. Esto debido a que ofrece hasta 35 dólares por tonelada de CO₂ capturado para el almacenamiento o uso en la industria del petróleo y hasta 50 dólares por tonelada para otras aplicaciones relacionadas. Así, estos créditos ayudan a reducir los costos iniciales y animan a las empresas e industrias a sumarse a la iniciativa de cambio por el avance de la economía circular.

De igual manera **los subsidios directos para la investigación y desarrollo de las CCU** anteriormente mencionados permiten a las empresas el realizar investigaciones avanzadas en mejora de la eficiencia de las tecnologías de captura de carbono, pues de acuerdo con International Energy Agency (IEA, 2020), los subsidios gubernamentales en investigación y desarrollo son críticos para el avance de la tecnología CCU, ya que permiten a las empresas reducir la barrera de costos iniciales y mejorar la eficiencia de los sistemas de captura. Esta alternativa es de las mejores a implementar en empresas que ya están encaminadas en el uso de las tecnologías de Captura y Utilización del Carbono (CCU), y requieren de apoyo económico para continuar con sus proyectos de investigación e implementación del sistema dentro de sus instalaciones, asegurando que no lo dejen de lado por dificultades económicas al escaparse de su presupuesto.

Por su lado, las **bonificaciones por reducción de emisiones basadas en resultados** vendrían a ser una opción de incentivo eficaz para llegar al cometido de reducir las emisiones de carbono, al ser una de sus condiciones el tener efectos de reducción visibles; ya sea mediante gráficas o estadísticas controladas y proporcionadas por la empresa interesada en recibir el beneficio. Climate Policy Initiative (CPI, 2021) argumenta que las bonificaciones basadas en resultados para la captura de carbono no solo incentivan la adopción de la tecnología, sino que también motivan una operación continua y óptima de los sistemas de captura. Siendo así que los gobiernos podrían ofrecer subsidios proporcionales a la cantidad de dióxido de carbono que haya sido eficazmente reducido y reutilizado por las industrias después de un riguroso estudio de resultados, generando así un incentivo continuo para que las empresas mantengan vigentes los sistemas de Captura y Utilización del Carbono CCU en su ciclo de producción sin desistir por falta de apoyo o presupuesto.

Continuando con el tema de los incentivos para la puesta en práctica eficaz de la tecnología de Captura y Utilización del Carbono (CCU), **la reducción en impuestos a la importación** de equipos de captura de carbono se presenta como una alternativa muy interesante de tratar y discutir, sobre todo en países en vía de desarrollo. Esto debido a que en estos países la infraestructura industrial está aún en crecimiento continuo pero limitado al acceso de tecnologías innovadoras por los altos costos de importación, por ello resultaría particularmente útil el permitir conseguir la maquinaria necesaria sin los recargos extras que conlleva traerlas del extranjero, agilizando el proceso de implementación de un sector industrial más limpio y respetuoso con el medio ambiente. Según la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU DI, 2020), la reducción de impuestos a la importación de tecnologías verdes como la Captura y Utilización del Carbono (CCU) es una estrategia eficaz que permite la adopción de tecnologías sostenibles en países con menor capacidad industrial, promoviendo así un crecimiento económico más inclusivo al permitir que los países que no cuentan con el poder adquisitivo necesario; también puedan apostar por adoptar la tecnología más limpia y circular en pro de mejorar sus prácticas de fabricación obsoletas ligadas a la economía lineal, sin verse limitados por las barreras fiscales.

En síntesis la implementación de **prácticas limpias, prácticas de eficiencia energética, tecnologías limpias de reutilización de carbono y la implementación de subsidios o incentivos fiscales que faciliten la adopción de tecnologías de Captura y Utilización del Carbono (CCU)**, son necesarias para generar el avance en la economía circular. La transición progresiva, sustentable y eficaz hacia una economía circular es clave para abordar las crisis ambientales actuales ocurridas en distintas partes del mundo, ya que fomenta la reutilización y optimización de los recursos dándoles un segundo uso, así reduciendo la dependencia que se tiene hacia los materiales no renovables y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero, generando un impacto positivo en el ambiente y permitiendo a generaciones futuras disfrutar de los mismos beneficios de los que goza la sociedad de hoy.

Recalcar también que a pesar de sus beneficios, estas estrategias no están exentas de retos importantes, incidiendo principalmente en los altos costos iniciales de implementación de infraestructura especializada que se requiere, particularmente en los países en crecimiento progresivo. Aquí es donde ver la presencia de los gobiernos de cada país resulta fundamental, ya sea con incentivos económicos y fiscales, subsidios dirigidos a la investigación y desarrollo de aquellas tecnologías, como también brindando facilidad de ingresos de las máquinas necesarias reduciendo los impuestos de importación. Por ejemplo: Los créditos fiscales específicos, como el Crédito Fiscal 45Q en Estados Unidos, han sido eficaces en incentivar a las empresas a implementar tecnologías de captura de carbono, al ofrecer un beneficio financiero proporcional a las toneladas de CO₂ capturadas según Larsen et al. (2019). Asimismo, subsidios directos para la investigación permiten mejorar la eficiencia de los sistemas de captura de carbono, superando los obstáculos financieros iniciales que enfrentan muchas empresas.

Finalmente, estas prácticas mencionadas y políticas analizadas no solo promueven la adopción de prácticas sostenibles y tecnológicamente avanzadas, sino que también aportan beneficios socioeconómicos, tales como la creación de millones de empleos en sectores sostenibles. La economía circular, apoyada por estos incentivos, se convierte en un motor de desarrollo que no solo respalda el crecimiento económico, sino que lo orienta hacia un modelo regenerativo que asegura el bienestar del planeta dejando de lado la presente pero ya anticuada economía lineal. Este enfoque permite construir una economía menos dependiente de los recursos fósiles y más consciente del impacto ambiental negativo en el presente, preservando los recursos para futuras generaciones y contribuyendo a lograr un modelo industrial más sostenible y menos contaminante, asegurando por fin, la implementación eficaz de la economía circular y sostenible que objetivamente se busca cumplir.

En resumen, se entiende que la evolución hacia un modelo circular resalta la presencia tecnológica que trae consigo un desarrollo e innovación favoreciendo la transición hacia una economía circular. Podemos observar también el caso de la impresión 3D que nos ejemplifica cómo se puede ir aplicando el modelo circular y sostenible con respecto al aprovechamiento del plástico. Otro aspecto para el paso hacia una economía circular es el desarrollo de nuevos modelos económicos que apliquen los principios de la sostenibilidad y reduzcan así la sobreproducción que está causando la fuerte demanda y el consumismo a la que la sociedad está acostumbrada. Entonces es donde nos damos cuenta que el papel del estado y la sociedad, así como las industrias privadas, es fundamental para fomentar el desarrollo de la innovación tecnológica sin embargo es necesario un cambio cultural que busque dar a conocer los aspectos negativos a los que nos tiene acostumbrados el consumismo y la generación de residuos que este conlleva, ya que solo se ve la parte fácil del proceso económico pero no profundizamos más con lo que conlleva el proceso de generación de los desechos.

Finalmente, la economía circular nos presenta una alternativa a la preocupante contaminación que se vive actualmente donde observamos que los residuos abundan; pero los métodos de recolección y gestión de los residuos son pocos, y donde podemos resaltar que las herramientas tecnológicas no nos brindan el apoyo necesario para tratar con estos problemas. Entonces es necesaria una revolución tecnológica, que sea innovadora y sostenible para desarrollar así un nuevo camino a la sostenibilidad, se requiere así dar paso a la economía circular. Esta innovación tecnológica debe crear soluciones más eficientes y sostenibles para la gestión de los residuos. Aunque si bien el desarrollo tecnológico nos presenta una nueva oportunidad de sostenibilidad dentro de la economía circular, debemos resaltar también que se debe buscar nuevos modelos económicos, como propone la economía circular, que prioricen la sostenibilidad, circularidad y la reducción de la sobreproducción.

Es entonces en donde se debe reconocer que es necesaria la participación de los gobiernos, la sociedad y los grandes grupos empresariales, brindando la oportunidad de invertir en nuevas tecnologías y desarrollar nuevos modelos económicos. Así también señalar que lo que se busca es un gran cambio en las prácticas culturales sobre los patrones de consumo. Con todo lo presentado el cambio hacia una economía circular es una alternativa que está cada vez más presente para la solución de la problemática ambiental causada con el exceso de residuos generados en el proceso productivo. Además se presentan grandes desafíos con el desarrollo tecnológico, la creación de nuevos modelos económicos y la participación pública-privada

4. Conclusiones

- La implementación de la economía circular en la transformación de residuos industriales en recursos sostenibles es directamente viable para la transformación de residuos de forma considerable en recursos valiosos a través de prácticas de reciclaje, reutilización de plásticos, alternativas de uso de otros envases de materiales no plásticos; propuestas de mitigación, reciclaje químico, implementaciones de la economía circular podríamos optar en países en vías de desarrollo, economía circular como eje de desarrollo de los países de América latina y el caribe. Por ende, la economía circular representa una solución necesaria para mitigar los problemas ambientales y económicos que enfrenta todo el mundo, por medio de prácticas sostenibles como reciclaje, reutilización y reducción, a su vez optimizando el uso de recursos y minimizando el uso de recursos nuevos, disminuyendo el impacto ambiental. Aunque su implementación enfrenta desafíos en algunos países debido a las limitaciones tecnológicas y financieras especialmente en ALC, existen claras oportunidades para fomentar empleo, mejorar la gestión de residuos y fortalecer la economía local. Para seguir avanzando es fundamental que tanto el gobierno, empresas y ciudadanos trabajen en conjunto en el cumplimiento de políticas públicas, incentivos y campañas o talleres que fomenten esta transición. Lo que busca la economía circular no es solo atender la necesidad de reducir la contaminación, sino que también la urgencia de construir una sociedad más sostenible a largo plazo.

- La reducción de la huella de carbono y el aumento en la eficiencia de los recursos es **necesaria** para promover el uso sostenible de los recursos a través de **reutilización consciente, prácticas de eficiencia energética y tecnologías limpias**. En este contexto, el reciclaje de plásticos es una estrategia clave, ya que, como afirman Gabisa, Rataatamskul y Gheewala (2023), puede reducir hasta 67 millones de toneladas de CO₂, subrayando el impacto positivo de esta práctica en la reducción continua de los gases de efecto invernadero. Además, según Circle Economy (2024), las estrategias circulares podrían reducir en un 39% las emisiones globales de carbono, lo que resalta aún más la relevancia de adoptar estos enfoques. Por otro lado, la eficiencia energética, como explica Greentology (2023), no solo optimiza el uso de recursos, sino que también disminuye el consumo de energía y la generación de residuos, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y mejorando la rentabilidad empresarial. Así, integrar estos enfoques en un modelo económico circular, respaldado por políticas que fomenten tecnologías limpias y reciclaje de alta calidad, se convierte en una estrategia crucial para avanzar hacia un futuro más sostenible y con menor impacto ambiental.
- La reutilización de materiales y la innovación tecnológica es **viable** para el paso hacia un modelo circular y representa desarrollar oportunidades en el aprovechamiento de los residuos para **desarrollo tecnológico , nuevos modelos económicos y la asociación pública-privada**. Es decir que el desarrollo tecnológico es fundamental para desarrollar soluciones eficientes y creación de nuevos materiales aprovechando los residuos. Así como también los nuevos modelos económicos que van a aprovechar este importante desarrollo y buscarán un cambio en los sistemas de producción, resultando así una industria circular que cambie todos los paradigmas económicos, favoreciendo al desarrollo de la economía circular. Todo este cambio resulta posible con el compromiso y la asociación de los sectores públicos- privados ,resaltando así la toma de conciencia con respecto a su accionar en el planeta y el impacto causado por las tendencias que fomentan la sobreproducción y el alto consumo que se genera.

5. Bibliografía

- Circle Economy. (2021). *Circular economy strategies can cut global emissions by 39%*. Circle Economy. <https://www.circle-economy.com/news/circular-economy-strategies-can-cut-global-emissions-by-39>
- Circle Economy. (2024). *Circular economy strategies can cut global emissions by 39%*. Circle Economy. <https://www.circle-economy.com/news/circular-economy-strategies-can-cut-global-emissions-by-39>
- Ecolec. (2023). *Economía circular*. Recuperado de: <https://ecolec.es/informacion-y-recursos/economia-circular/>
- Engineering for Change. (2021). *Engineering a Circular Economy in the Built Environment*. Retrieved from <https://www.imeche.org/news/news-article/engineering-the-circular-economy>

- Engineering for Change. (2021). *Engineering a Circular Economy in the Built Environment*. Retrieved from <https://www.imeche.org/news/news-article/engineering-the-circular-economy>
- Gabisa, E. W., Ratanatamskul, C., & Gheewala, S. H. (2023). Recycling of plastics as a strategy to reduce life cycle GHG emission, microplastics and resource depletion. *Sustainability*, 15(15), 11529. <https://doi.org/10.3390/su151511529>
- Graziani, P. (2018). Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina. Caracas: CAF. Retrieved from <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1247>
- Greentology. (2023). ¿Qué es la economía circular?. Recuperado de: <https://greentology.life/2023/02/23/que-es-la-economia-circular/>
- Grillo-Méndez, A., Marzo-Navarro, M., & Pedraja-Iglesias, M. (2022). Participación ciudadana en sistemas de economía circular de residuos textiles: una primera aproximación. *CIRIEC-España, Revista De economía Pública, Social Y Cooperativa*, (106), 235–266. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.106.18274>
- Hernández, J. (2022). Implementación de economía circular en la industria de impresión 3D mediante el reciclaje de plásticos de un solo uso. *Revista Integra: Investigación Aplicada, Desarrollo Tecnológico E Innovación*, 12. <https://doi.org/10.23850/24628034.4451>
- Merma Luque, J. (2024). Caracterización de residuos sólidos domiciliarios para incentivar la economía circular en el distrito de Corani provincia de Carabaya–Puno 2023.
- McGinty, D. B. (2021). *5 Opportunities of a Circular Economy*. World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/5-opportunities-circular-economy>
- López-González, M. (2023). V Encuentro de sostenibilidad, envase en la economía circular y tecnologías de reciclado.
- Ojeda, L. (2020). La captura y utilización del CO₂, la alternativa de economía circular al almacenamiento para reducir las emisiones en la Unión Europea. *El Periódico de la Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/la-captura-y-utilizacion-del-co2-la-alternativa-de-economia-circular-al-almacenamiento-para-reducir-las-emisiones-en-la-union-europea/>
- Ortiz, E. A., CYTBIA, I. A., & Castillo, H. S. V. Macetas biodegradables a base de recursos renovables: una acción concreta hacia la economía circular Biodegradable pots based on renewable resources: a concrete action towards circular economy. *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca Popayán*, 2024, 55.

- ResearchGate. (2018). *La economía circular como estrategia para reducir la huella de carbono*. https://www.researchgate.net/publication/327655672_SULFATED_ZIRCONIA_SUPPORTED_WITH_PALLADIUM_AS_A_BIFUNCTIONAL_CATALYST_FOR_TRANSESTERIFICATION_AND_BRANCHING_OF_CARBON_CHAINS_FROM_PALM_OLEIN_OIL
- Romero Martínez, S. F. (2024). *Economía circular y responsabilidad social de los emprendimientos en el Malecón cantón La Libertad, año 2023* (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2024).
- Spin Ingenieros. (2021). ¿Qué es la economía circular y qué aporta a la ingeniería circular? <https://spiningenieros.com/que-es-la-economia-circular-y-que-aporta-a-la-ingenieria-circular/>
- Ulloa, M. J. V., & Virgen, L. R. (2022). El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular. *CEDAMAZ*, 12(2).
- Vergara-Quezada, R. A., de Jesús Pozos-Texon, F., Gasca-Caballero, C. J., & Reyes-Olán, C. (2024). Exploración de tecnologías para el reciclaje de palas de aerogeneradores. *Revista Ingeniantes*, 11(1), 2.
- Villalba, L., Acosta, A., & Velázquez, D. E. (2022). El rol de la tecnología en una economía circular adaptada al contexto local: Reflexiones a partir del desarrollo de paneles de telgopor reciclado para el mejoramiento de viviendas sociales. *Otra Economía*, 15(28), 76-97.
- Waisberg, S. V. (2024). Propuesta para la adaptación del sector de envases de uso agroalimentario a los requisitos de economía circular de la Unión Europea.

IMPACTO DEL BIODIÉSEL EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO, EFECTIVIDAD PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS MOTORES Y SU POTENCIAL SOSTENIBLE EN EL PERÚ

Impact of biodiesel on reducing greenhouse gas emissions, its effectiveness in extending engine life, and its sustainable potential in Peru.

Diego Eduardo Fernández Pariachi
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: diego.fernandezp@unmsm.edu.pe

Rodrigo Gabriel Herrera Mariano
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: rodrigo.herreram@unmsm.edu.pe

André Fabián Zanelli San Martín
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: andre.zanelli@unmsm.edu.pe

Dra. Julissa Marleni Icho Yacupoma
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jichoy@unmsm.edu.pe

Resumen: La finalidad del presente trabajo fue poner en relieve los beneficios del biodiésel, promoviendo su adopción y el desarrollo de políticas que favorezcan su producción y uso en Perú como parte de la transición hacia energías más limpias. Los principales temas abordados en esa dirección fueron: Menor emisión de carbón, empleo de microalgas, promoción de la economía circular, menor necesidad de aditivos lubricantes y la reducción de depósitos y menos carbonización. Siendo una alternativa viable como modelo energético sostenible bastante rentable en la reducción de costos y sostenibilidad. Todo ello, aunado a la disminución del cambio climático y la reducción de la huella de carbono como determinante del combustible verde.

Palabras clave Biodiésel, gases de efecto invernadero, efectividad, motores, potencial sostenible

Abstract: The purpose of this work was to highlight the benefits of biodiesel, promoting its adoption and the development of policies that favor its production and use in Peru as part of the transition towards cleaner energies. The main topics addressed in this direction were: Lower carbon emissions, use of microalgae, promotion of the circular economy, less need for lubricant additives and the reduction of deposits and less carbonization. Being a viable alternative as a sustainable energy model that is quite profitable in reducing costs and sustainability. All this, combined with the reduction of climate change and the reduction of the carbon footprint as a determinant of green fuel.

Key words: Biodiesel, greenhouse gases, effectiveness, engines, sustainable potential.

1. Introducción

Los gases de efecto invernadero (GEI) son aquellos que atrapan el calor de la atmósfera como dice la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2024), siendo los más comunes: CO_2 , CH_4 , N_2O y los clorofluorocarbonados; y en menor medida en términos de impacto ambiental se puede considerar al O_3 (Ozono troposférico) y al vapor de agua. Debemos apreciar que los GEI son componentes clave en la discusión sobre el cambio climático, ya que contribuyen al calentamiento global al promover el efecto invernadero de manera descontrolada.

La problemática abordada se resume en la siguiente pregunta: **¿Es el biodiésel una opción factible y sostenible al diésel tradicional en la población peruana?** Teniendo en cuenta que este tipo de combustible es fabricado a partir de aceites vegetales y grasas animales las cuales tienen propiedades parecidas a las del petróleo (Medina, et al., 2012). En tanto que, su parecido al diésel convencional, lo convierte en un potencial sustituto debido a las materias primas que emplea. Asimismo, podemos decir que se prevé que la demanda de biocombustibles sea incrementada un 6% o 5.700 millones de litros entre los años 2022 y 2024 en las economías más destacadas, ya que la Norma sobre Combustibles Renovables y la Ley de Reducción de la Inflación en Estados Unidos tienen como fin, la mejora de la seguridad energética según la International Energy Agency (IEA, 2021). Dicho todo ello se propone un propósito general, que es determinar el impacto ambiental y económico del biodiésel en la población peruana, destacando sus beneficios en la reducción de GEI y prolongando la vida útil del motor.

El biodiésel se presenta como una alternativa energética sostenible, capaz de disminuir significativamente las emisiones de estos gases. Además, ofrece una opción más económica en comparación con los combustibles fósiles y ayuda a extender la vida útil de los motores que lo emplean.

Según la EPA (2024), el biodiésel puede disminuir la liberación de dióxido de carbono hasta en un 76%, gracias a su ciclo de carbono cerrado. Esta capacidad de reducir significativamente las emisiones convierte al biodiésel en una alternativa muy favorable a los combustibles convencionales. Si nos basamos en la capacidad de trabajar en un ciclo del carbono más sostenible, esta indica un modelo energético menos dependiente de los recursos fósiles, con mayores tasas de emisión y mayor impacto en el medio ambiente, asimismo el biodiésel tiene el potencial de producirse localmente, reduciendo así la necesidad de importar combustible y ayudando a fortalecer la economía local. Sin embargo, es importante señalar que la eficacia del biodiésel puede depender de factores como el tipo de cultivo utilizado, los métodos de producción y los recursos hídricos utilizados, que pueden afectar su sostenibilidad.

Por otro lado, los beneficios del biodiésel en materia de reducción de emisiones son innegables, lo que lo convierte en una opción viable para la transición a una energía más limpia. Para ello, recomendamos promover la investigación sobre técnicas agrícolas sostenibles, políticas de incentivación, educación al público sobre los beneficios del biodiésel e incentivar la aplicación de tecnologías avanzadas para optimizar su producción y sostenibilidad, lo que fortalecería su papel en la migración hacia un sistema energético más sostenible.

La producción de biocombustibles contribuye a la diversificación de fuentes energéticas en la transición hacia energías más limpias, lo que refuerza el rol estratégico que posee en la mitigación del cambio climático (Hanaki y Portugal-Pereira, 2018). Esta diversificación es esencial para minimizar la dependencia de los combustibles fósiles y construir un sistema energético más resiliente y sostenible.

Bajo un enfoque de economía circular, es necesario enfatizar que el biodiésel se puede generar a partir de diferentes fuentes de materias primas, como aceites vegetales, aceites de algas, grasas animales, aceites microbianos y aceites usados para la producción de esta (Singh et al., 2020). Esta flexibilidad de materiales permite utilizar recursos naturales y subproductos que de otro modo podrían generar residuos, promoviendo así una producción energética más sostenible y eficiente.

Por ello, concordamos en que esta diversidad de materias primas contribuye a una reducción significativa de los desperdicios, ya que esta, permite reducir la presión en la producción de alimentos y en el uso de la tierra. Asimismo, al utilizar aceites no convencionales como algas o aceites usados, transforman al biodiesel en una alternativa innovadora que aprovecha recursos no utilizados, además que nos concede adaptarnos a la fluctuante disponibilidad de materias primas, que lo convierte en una alternativa más sólida y adaptable en diferentes contextos regionales.

Una de estas materias primas es el aceite de palma, que se destaca por ser uno de los aceites más comercializados en el mundo, y es más económico a comparación de otros aceites. Esta ventaja permite reducir el costo de la producción de biodiésel (Vega, et al., 2021). En Perú, el cultivo de palma representa un 6% del área cultivada en la Amazonía, lo que sugiere que este recurso puede aprovecharse para fortalecer la industria de biocombustibles en la región. El hecho de la abundancia de esta especie da importantes beneficios económicos, ya que es un recurso barato y ampliamente disponible en países productores como Perú, reduciendo los costos de producción. También ayuda a impulsar la economía local en las zonas rurales, creando nuevas oportunidades de ingresos, sin embargo, debe abordarse la gestión de las plantaciones de palma para evitar problemas ambientales como la deforestación, que puede amenazar la biodiversidad y el desarrollo sostenible de la región amazónica. Para ello, lo ideal sería implementar políticas de manejo sustentable en las plantaciones de palma y desarrollar prácticas de producción que maximicen los beneficios económicos del biodiésel, al mismo tiempo que protejan ecosistemas vulnerables como la Amazonía.

Da la casualidad de que no solo los aceites vegetales pueden ser materia prima, y es que, según los resultados de un estudio, se exhibió que hay una posibilidad de generar biodiésel a través de aceite de cocina ya usado, dando una menor tarifa que el del aceite virgen (López et al., 2015). Esta alternativa proporciona una manera de reciclar recursos residuales potencialmente contaminados. Debido a esto, estamos de acuerdo en que la creación de biocombustible a partir de los aceites sobrantes es una solución adecuada desde los puntos de vista económicos y ecológicos, dado que, al convertir estos desechos en energía renovable, los contaminantes y la dependencia de productos vegetales se reducen. La siembra y extracción es lenta, lo que aumenta los costos y tiene un impacto significativo en el medio ambiente, impulsando así, una economía cíclica que contribuye a una sociedad más sostenible. Además, el aceite usado se puede utilizar para producir biodiésel en zonas urbanas y rurales donde se producen residuos con frecuencia.

Según un estudio, se abordaron diversas opciones de adquisición de combustible verde a partir de grasas remanentes, por ende, se indagaron diversas variables que inciden en la calidad del biodiésel, que se proponen como potenciales sustitutos técnicamente hablando, revalorizando los desechos orgánicos y aliviando la contaminación (Tejada et al., 2013). El uso de estas grasas animales, como materia prima para la producción de biodiésel, es una estrategia efectiva para reducir los residuos, ya que estas pueden ser transformadas en biodiésel a través de procesos como la transesterificación. Además, estas grasas se pueden convertir en biodiésel de alta calidad mediante el proceso de transesterificación, ampliando las posibilidades de producción de biocombustibles en lugar de depender únicamente de aceites vegetales o cultivos agrícolas, convirtiéndose en una estrategia prometedora y económicamente viable.

Además, presenta características importantes como ser renovable, biodegradable, no inflamable, no explosivo y no tóxico, convirtiéndose en una alternativa para la industria de los motores como sustituto del diésel común. (Zandie et al., 2022) Estas propiedades lo hacen más seguro y respetuoso con nuestro entorno en comparación con los combustibles de siempre y favorecen su integración en la industria del automóvil. Debido a esto es que nos encontramos a favor de esta idea, ya que esta mejora significativamente el ambiente en comparación con la gasolina convencional gracias a su biodegradabilidad y baja toxicidad. Su baja temperatura y sus propiedades no explosivas no solo ayudan a reducir los riesgos ambientales, ya que aumenta la seguridad durante el almacenamiento y el transporte, haciéndolo ideal para la integración en la industria automotriz. Esta opción concuerda con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles, que causan una importante contaminación del aire debido al bajo nivel de impacto sanitario y ambiental.

Para reforzar esta última idea se debe señalar que el biodiésel no debería ser tóxico en caso de ingesta, ya sea por peces o mamíferos, ya que su toxicidad por deglución oral es muy baja. Esto implica que una persona con alrededor de 80 kg tendría que consumir aproximadamente 1600 mL para poder experimentar consecuencias fatales. Este bajo nivel de toxicidad es un factor clave al evaluar la idoneidad de un combustible para su uso comercial. (Llanes et al., 2017). Este bajo nivel de toxicidad refuerza el potencial del biodiésel como una opción más segura para la manipulación y el tratamiento que brindan las personas en comparación con los combustibles tradicionales. Sin embargo, aunque su bajo impacto tóxico es un punto a favor, es crucial seguir promoviendo investigaciones sobre su manejo y almacenamiento para salvaguardar su invulnerabilidad en las etapas de elaboración y distribución que sea necesaria.

El biodiésel de tercera generación, obtenido mediante microalgas como *Chlorella vulgaris* y *Chlorella protothecoides*, ofrece una alternativa de gran valor en un sentido tanto ambiental como energético. Este tipo de biodiésel se logra diferenciar de otros biocombustibles debido a la capacidad de las microalgas para lograr un doble beneficio: no solo producen biomasa rica en lípidos necesaria para el biodiésel, sino que además depuran aguas residuales al absorber nutrientes contaminantes, como nitrógeno y fósforo (Almeida et al., 2021). A nivel económico, las microalgas presentan una opción viable, ya que pueden ser cultivadas en terrenos no agrícolas y en aguas residuales, evitando el uso de tierras fértiles y el consumo de agua dulce, lo que reduce la competencia con cultivos alimentarios. (Galván, 2011) destaca que este modelo de producción de biodiésel reduce de manera significativa los costos de producción, ya que el sistema de cultivo optimizado permite una mayor acumulación de biomasa en un menor espacio y tiempo, logrando superar la productividad de otros métodos de obtención de biocombustible. Las microalgas tienen una capacidad de producción de hasta 30 veces más en comparación con otros cultivos biocombustibles, lo que vuelve su producción en un proceso económicamente viable.

El biodiésel de microalgas, como *Chlorella vulgaris* y *Chlorella protothecoides*, ofrece ventajas tanto energéticas como ambientales, al purificar aguas residuales y generar biomasa para la producción de biocombustibles. Este proceso, además de ser económicamente viable, evita la competencia con tierras agrícolas al cultivarse en terrenos no agrícolas y en aguas residuales. Se coincide con la idea de que la producción de biodiésel en base a microalgas es una alternativa viable como sostenible, tanto en términos económicos como ambientales. La capacidad de las microalgas para purificar aguas residuales mientras producen biocombustibles representa una solución eficiente que no compite con la producción de alimentos. Esta alternativa también destaca por su eficiencia en el gasto de recursos, ya que el cultivo de microalgas se puede realizar en terrenos no agrícolas y en aguas residuales, lo que reduce significativamente los costos en comparación con otros métodos.

El biodiésel de tercera generación se presenta como una fuente de energía renovable, que resulta prometedora debido a su capacidad de capturar dióxido de carbono de manera efectiva, lo que resulta en la reducción de emisiones de GEI. Además, las microalgas poseen un gran porcentaje lipídico, lo que permite su conversión eficiente en biocombustible. (Zhang et al., 2022). El biodiésel a base de microalgas resalta, respecto a otros métodos de obtención, debido a su alto contenido en lípidos y su disposición para capturar dióxido de carbono, cualidades que lo hacen óptimo para ser transformado en biocombustible, convirtiéndolo en una alternativa energética prometedora. Se coincide con que el biodiésel de microalgas puede llegar a ser una opción eficaz para el paso a un modelo energético sostenible. Su capacidad para reducir las emisiones de CO₂, junto con su eficiencia en la conversión a biocombustible, lo convierte en una posible solución viable. Se recomienda, en tal sentido, implementar políticas públicas que favorezcan este tipo de biocombustibles para acelerar su integración en el mercado energético.

La producción de biodiésel de segunda generación, el cual usa materias primas como lo son los aceites reciclados y residuos orgánicos, puede reducir enormemente los costos de producción, que llegan a representar entre el 60 % al 80 % del total (Curvelo et al., 2021). Utilizar aceites de cocina usados y grasas animales hace que el proceso sea más económico y viable. El uso de aceites reciclados y residuos orgánicos reduce considerablemente los costos de producción del biodiésel, que suelen representar entre el 60 % y el 80 % del costo total. Esta estrategia no solo hace el proceso más económico, sino que también aprovecha recursos que de otro modo serían desechados, promoviendo una economía. Se considera que esta estrategia de utilizar materiales reciclados en la producción de biodiésel es bastante rentable, contribuyendo a la reducción de costos como a la sostenibilidad; al evitar desperdiciar esos recursos. Se recomienda fomentar el uso de aceites reciclados y residuos orgánicos mediante políticas que faciliten su recolección.

Según (Pacheco-López et al., 2021) el biodiésel es un biocombustible que, a través del proceso de transesterificación, convierte aceites y grasas en ésteres y glicerina. Este tipo de biodiésel se puede utilizar en motores diésel sin que sea necesario realizar modificaciones, lo que lo convierte en una opción más fácil de adoptar. Además, existe la opción de mezclarlo con combustible fósil en un porcentaje de hasta un 20 %, sin que ello genere un problema para el funcionamiento de los motores, lo que hace que su implementación sea económica y accesible.

Es recomendable promover la producción de biodiésel mediante la transesterificación, apoyando políticas públicas que incentiven el uso de este biocombustible en motores diésel actuales sin la necesidad de adaptaciones costosas. Se debería considerar el impulso de la mezcla de biodiésel con diésel convencional en proporciones del 20 % o mayores, para acelerar la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y minimizar las emisiones de GEI. Además, se podrían implementar incentivos fiscales o subsidios para fomentar la adopción de biodiésel en la industria del transporte, lo cual contribuiría al logro de metas ambientales globales.

Núñez (2011), realizó un estudio en el departamento del Meta (Colombia) en donde se generan grandes cantidades de residuos agrícolas, especialmente biomasa, lo que podría aprovecharse para la producción de biodiésel, En esta zona se produce biomasa que puede ser convertida en biodiésel, lo que reduciría la dependencia de combustibles fósiles y ayudaría a mitigar la acumulación de los residuos de origen biológico en general. Importante iniciativa, ya que esta idea de conversión de residuos agrícolas en biodiésel representa la posibilidad de mejorar la seguridad energética en áreas rurales. Se recomienda entonces promover proyectos de investigación sobre la producción de biodiésel, establecer instalaciones piloto y capacitar a los agricultores en la conversión de residuos agrícolas en biocombustibles.

Según un estudio realizado por Masera y colaboradores (2019, p. 15) en la UNAM (México), es posible abastecer completamente el transporte universitario con biodiésel producido a partir de aceites de cocina reciclados proporcionados por pequeños negocios. Esto requiere establecer acuerdos con comercios comprometidos a donar sus residuos y, además, desarrollar una campaña de concienciación ambiental dirigida a los restaurantes interesados en participar. Entonces pequeños negocios pueden cubrir el 100% del transporte universitario donando sus residuos para la elaboración de biodiesel. Se concuerda con la idea de que los pequeños comercios pueden contribuir al transporte universitario mediante la donación de sus residuos para la producción de biodiesel, de esta manera reduciendo casi todo el costo debido a que en las materias primas recae la mayoría de este.

2. Métodos

La presente investigación se desarrolló a través de un diseño de investigación cualitativa con una investigación Hermenéutica analítico – crítico, valorativo de carácter descriptivo, bibliográfico – documental. Bajo un enfoque de economía circular.

3. Resultados

Por otro lado, Buitrago (2023) señala que la producción de biodiésel a partir de la reutilización de aceite vegetal también puede tener efectos positivos en la economía local, generando empleo en la cadena de suministro. La conversión de aceite vegetal usado en biodiésel crea empleos y reduce la dependencia de combustibles importados. Se concuerda en que el reaprovechamiento de aceite vegetal resulta una buena estrategia para diversificar las fuentes de energía renovable en la agroindustria y fomentar prácticas sostenibles que fortalezcan la economía circular.

Respecto a la performance de los motores, Amaris et al. (2015, citado en Díaz y Pérez 2021), señalan que el biodiesel favorece la lubricación del motor, reduciendo partículas de metal y carbón presentes en esta. Sin embargo, algunos motores fabricados con anterioridad a 1994 pueden experimentar degradación y ablandamiento al usar el biodiesel, debido a la presencia de elastómeros en sus mangueras. El biodiesel posee una mejor lubricación, reduce las partículas de metal y carbón en el aceite, prolongando así la vida útil del motor. Al reducir la acumulación de partículas en el aceite del motor, contribuye a la durabilidad del motor, lo que a largo plazo disminuye costos de reparación y mantenimiento del motor, resultando en un beneficio económico.

En el mismo sentido, según Molina y Calzada (2017), el biodiésel presenta una lubricidad superior en comparación con el diésel fósil debido a su composición química, que es rica en ésteres y ácidos grasos de cadena larga, ambos elementos que mejoran de forma natural la lubricación de los sistemas de inyección. Estos compuestos actúan al formar una capa protectora entre las superficies metálicas del motor, lo que reduce el contacto directo entre piezas y, en consecuencia, el desgaste mecánico que se produce por fricción. Esta lubricación natural se mantiene efectiva incluso en mezclas bajas de biodiésel, como B5 o B20 (que contienen solo un 5% y un 20% de biodiésel, respectivamente), permitiendo que el biodiésel mejore considerablemente la lubricación en motores de alta presión. En los motores modernos, esta lubricación es crucial para evitar la fricción y el desgaste de los componentes, especialmente bajo condiciones de alta carga y exigencia. Además, la reducción de la fricción genera menos calor durante la operación, lo que previene el sobrecalentamiento y la fatiga de los componentes del motor. El biodiésel también contribuye a reducir el riesgo de fallos mecánicos en el sistema de inyección y disminuye la frecuencia de intervenciones de mantenimiento, lo que resulta en un menor costo operativo a largo plazo. Es por ello que, concordamos en que el uso del biodiésel tiene un gran beneficio en la prolongación de vida útil en los motores de vehículos y maquinaria debido a su gran lubricidad.

De igual manera, las combinaciones de biodiésel B20 ofrecen una lubricación superior a varios aditivos químicos en diésel de bajo azufre, aumentando el rendimiento y la durabilidad del motor (Rocha et al., 2019). El biodiésel B20 aumenta la vida útil del motor y su rendimiento, ya que posee mejores propiedades lubricantes que el diésel de bajo azufre. El biodiésel al tener mayor lubricidad actúa también como un protector contra la corrosión de piezas metálicas, lo que muchos aditivos químicos presentes en el diésel convencional no pueden lograr de manera efectiva. Esto hace que, con menor frecuencia, tengamos que cambiar las piezas esenciales del motor. En la industria esto es aprovechado para reducir costos operativos y mejorar el rendimiento de los motores. Recomendamos estas mezclas B20 en áreas demandantes, como el transporte y la construcción, para optimizar la durabilidad y el rendimiento de los motores.

4. Discusión

También Semsamran y Suthisripok (2018) mencionan que los motores que funcionan con diésel fósil tienden a acumular depósitos de carbono lo que provoca un aumento en la fricción y el desgaste de piezas, como los pistones y los inyectores afectando en la eficiencia y el rendimiento del motor. La combustión se vuelve más complicada, se reduce la potencia del motor y se incrementan las emisiones contaminantes. En contraste, el biodiésel B20 produce una combustión más limpia, lo que significa que genera menos residuos de carbono, ayudando a que los motores mantengan sus componentes internos en mejor estado y permite alargar el tiempo entre los mantenimientos. Los motores que usan biodiésel B20 producen menos acumulación de carbono en los pistones y en los inyectores disminuyendo así la necesidad de mantenimiento frecuente y extendiendo la durabilidad del motor.

En los motores con diésel convencional, se produce hollín de manera constante, lo que puede obstruir los filtros y otros elementos del sistema de combustión mermando la vida útil del motor. La acumulación de hollín aumenta el consumo de combustible, empeora las emisiones y acorta la vida útil de los filtros. En cambio, al utilizar biodiésel, se genera menos hollín, lo que reduce la necesidad de cambiar filtros y hacer mantenimiento (Bietresato & Friso, 2014). El biodiésel genera menos hollín que el diésel tradicional, disminuyendo la obstrucción de filtros y aumentando la eficiencia del motor, permitiendo su uso prolongado con menos residuos. La reducción de hollín implica que los sistemas de combustión operan eficientemente, prolongando así la vida útil del motor.

En lo referente a condiciones exigentes de trabajo del motor, Liu (2015) destaca que un punto de ignición más alto ofrece una mejor estabilidad térmica, lo que resulta muy útil en entornos de trabajo exigentes, donde los motores enfrentan largas horas de operación y altas temperaturas. Esta estabilidad reduce el riesgo de sobrecalentamiento, lo que disminuye el desgaste por fatiga en componentes críticos del motor. El biodiésel presenta una temperatura de encendido superior al diésel fósil, lo que significa que es menos probable que genere sobrecalentamiento en los motores en funcionamiento. Además de reducir el sobrecalentamiento del motor, la estabilidad térmica del biodiésel minimiza el riesgo de fugas y fallos en el sistema de combustible, lo que mejora la seguridad operativa en las industrias demandantes. Es por ello que, en aplicaciones exigentes, se recomienda usar biodiesel para evitar sobrecalentamientos, riesgo de fugas y fallos en el sistema combustible.

Por su parte, Bhale et al. (2009), mencionan que el biodiésel produce menos calor excesivo en los motores, lo que ayuda a reducir el desgaste y la fatiga de sus componentes, alargando así su vida útil. Esto se debe a que la combustión del biodiésel es más suave y controlada, lo que evita que se generen temperaturas tan altas y permite que el motor funcione de manera más estable. Esto es especialmente importante en situaciones de alta carga y uso continuo. Al operar a temperaturas más bajas, los componentes del motor experimentan menos fatiga térmica, lo que hace que el motor no necesite muchas reparaciones. El uso de biodiésel es especialmente beneficioso en sectores como la agricultura y la industria, donde los motores suelen funcionar durante muchas horas y bajo condiciones de alta carga. Al reducir el exceso de calor, el biodiésel ayuda a disminuir el desgaste del motor, lo que mejora su rendimiento general.

Puma (2021) señala que el biodiésel tiene un alto contenido de cetano, hecho que permite que el motor encienda de forma más suave y controlada en comparación al motor diesel convencional, haciendo que funcione con menos vibración y esfuerzo en sus componentes internos, lo que ayuda a alargar la vida útil del motor. Al contener cetano, el biodiésel hace que el motor se encienda de manera más gradual y controlada, haciendo que el motor haga menos esfuerzo. El biodiésel hace que el motor mantenga un rendimiento constante y eficiente durante más tiempo, lo cual es importante para asegurar una operación más estable en diferentes aplicaciones.

5. Conclusiones

- El biodiésel como alternativa energética sostenible es beneficioso, ya que contiene la capacidad de reducir en gran medida las emisiones de GEI. Esta menor emisión de carbono en comparación con el diésel convencional derivado del petróleo convierte al combustible verde en un elemento clave para disminuir el cambio climático y reducir la huella de carbono, aportando de forma notable, un gran paso hacia un sistema energético más ecológico y con menos dependencia de los combustibles fósiles. El hecho de que este pueda emplearse a base de aceites vegetales y reutilizados transforma al biodiesel en un combustible económicamente viable, ya que el costo de producción puede verse reducido al emplear los sobrantes de aceites en diversos locales; de igual manera, los aceites vegetales menos comercializados en nuestro país podrían incrementar su valor en el mercado de estos mismos. Asimismo, la utilización de grasas animales como materia prima para la producción de biodiésel, es una estrategia efectiva para reducir los residuos, ya que las grasas animales, que a menudo son residuos de la industria alimentaria, pueden ser transformadas en combustible a través de procesos como la transesterificación.
- El biodiésel como alternativa energética sostenible es beneficioso, ya que destaca por su capacidad de reducir costos de producción al poder utilizar materias primas como algas y microalgas, las cuales producen biomasa rica en lípidos necesaria y muy eficiente para su producción, asimismo contribuyen en el proceso de depuración de aguas residuales al absorber nutrientes contaminantes como lo son el nitrógeno y fósforo. Esto último nos permite aprovechar terrenos no agrícolas y aguas residuales, evitando la competencia con cultivos destinados a la alimentación y reduciendo significativamente los costos de oportunidad.
- De igual manera, el biodiésel promueve la economía circular al reutilizar recursos como aceites usados y residuos orgánicos, que de otro modo serían desechados. Este modelo de producción disminuye tanto los desperdicios como el impacto ambiental, además de impulsar el desarrollo económico local al generar oportunidades de empleo en la cadena de producción y reducir la dependencia de combustibles fósiles.
- Se puede concluir que el biodiésel como alternativa energética sostenible es conveniente ya que prolonga la vida útil del motor en tanto proporciona una mayor lubricidad a comparación del diesel convencional y presenta un proceso de combustión más puro, generando menos problemas en los componentes del motor y reduciendo la emisión de gases tóxicos.
- Debido a que posee un punto de ignición más bajo que el diésel tradicional, reduce el deterioro de los motores y la regularidad del mantenimiento, lo que mejora la eficiencia y la duración en áreas como el transporte y la industria, generando ventajas económicas y operativas. Además, hace que el motor se encienda de forma suave y controlada haciendo que el motor funcione con menos vibración y esfuerzo en sus componentes internos, lo que ayuda a prolongar la vida útil del motor.

6. Bibliografía

- AIE (2021), Global Energy Review 2021 , AIE, París <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>, Licencia: CC BY 4.0
- Almeida, R. (2022). Revisión Meta-Analítica sobre el Biodiésel de Tercera Generación *Meta-Analytic Review on Third-Generation Biodiesel | BioEnergy Research* ([springer.com](https://www.springer.com))
- Bhale, P. V., Deshpande, N. V., & Thombre, S. B. (2009). Improving the low temperature properties of biodiesel fuel. *Renewable energy*, **34**(3), 794-800. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148108001651>
- Bietresato, M., & Friso, D. (2014). Durability test on an agricultural tractor engine fuelled with pure biodiesel (B100). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **38**(2), 214-223. DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-1302-51>
- Buitrago, L (2023) *Obtención de biodiésel a partir de aceite vegetal usado y modelación de una planta de producción* <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/32f639a7-eb2a-48bd-87e2-d6d153746ca/ctent>
- Curvelo, J. (2021). Producción limpia de biocombustible a partir de aceite de cocina usado para reducir emisiones, costos de combustible y hospitalizaciones por enfermedades respiratorias. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/16/9185>
- Galván, J. (2011) Producción de biodiésel por microalgas, como una estrategia de fuentes alternas de energía http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-21262015000100008&script=sci_arttext
- Hanaki, K., & Portugal-Pereira, J. (2018). *The Effect of Biofuel Production on Greenhouse Gas Emission Reductions*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-4-431-54895-9_6#citeas
- Llanes, et al. (2017). *Producción e impacto del biodiésel: una revisión*. <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/229/333>
- López, L., Bocanegra, J., & Malagón-Romero, D. (2015). *Obtención de biodiésel por transesterificación de aceite de cocina usado*.
- Liu, G. (2015). Development of low-temperature properties on biodiesel fuel: a review. *International Journal of Energy Research*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.3334>
- Masera, O. R., García, S., & López, A. (2019). *Producción de biodiésel proveniente de aceites residuales de cocina para el transporte universitario*. <https://ecotec.unam.mx/proyectos-ecotec/produccion-de-biodiesel-proveniente-de-aceites-residuales-de-cocina-para-el-transporte-universitario>
- Medina, I., Chávez, N., & Jaúregui, J. (2012). *Biodiésel, un combustible renovable*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67424409008>

- Molina, J. C. C., & Calzada, C. (2017). La industria del biodiésel en Argentina. *Bolsa de comercio de Argentina*. Recuperado de: http://carbio.com.ar/wp-content/uploads/2017/10/Articulos-Semanal-BCR-17_09_01.pdf
- Nuñez, D. (2011) *Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta* Redalyc. *Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta*
- Pacheco-López, A., Lechtenberg, F., Somoza-Tornos, A., Graells, M., & Espuña, A. (2021). *Economic and Environmental Assessment of Plastic Waste Pyrolysis Products and Biofuels as Substitutes for Fossil-Based Fuels*. *Front. Energy Res.* <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.676233>
- Puma, S. (2021). *Uso de las mezclas diésel-biodiésel-etanol y sus efectos sobre el proceso de combustión, desempeño energético y emisiones contaminantes de un motor de encendido por compresión de 240 kW* (Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú). Repositorio PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/20569>
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S.L., Sharma, S., Sharma, P. K., & Jhalani, A. (2020). *A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236119319076>
- Suthisripok, T., & Semsamran, P. (2018). *The impact of biodiesel B100 on a small agricultural diésel engine*. *Tribology International*, 128, 397-409. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.042>
- Rocha-Hoyos, Juan C., Llanes-Cedeño, Edilberto A., Celi-Ortega, Santiago F., & Peralta-Zurita, Diana C.. (2019). *Efecto de la Adición de Biodiésel en el Rendimiento y la Opacidad de un Motor Diésel*. *Información tecnológica*, 30(3), 137-146. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000300137&script=sci_arttext
- Tejada, C., Tejada, L., Villabona, Á., & Monroy, L. (2013). Obtención de biodiésel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742013000100002&script=sci_arttext
- United States Environmental Protection Agency. (2024). *Greenhouse Gas Overview*. <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard-program>
- United States Environmental Protection Agency. (2024). *Overview of the Renewable Fuel Standard Program*. Renewable Fuel Standard Program. <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard-program>

KEKE DE ÑUÑA: INNOVACIÓN NUTRICIONAL PARA ALIVIAR EL DESGASTE MENTAL EN LA VIDA UNIVERSITARIA

Keke de Ñuña: Nutritional Innovation to Alleviate Mental Exhaustion in University Life

Jéssica Smith Alvites Almeida

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: Jessica.alvitesa@unmsm.edu.pe

Dra. Julissa Marleni Icho Yacupoma

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jichoy@unmsm.edu.pe

Resumen: El propósito del presente trabajo es concientizar a la comunidad universitaria sobre el potencial de la ñuña como alimento innovador, incorporado en un keke diseñado para contribuir al bienestar mental de los estudiantes como la capacidad de adaptarse a diversas aplicaciones de la industria alimentaria. Asimismo, se abordó sobre las propiedades nutritivas y sus beneficios para la salud que regulan el estado de ánimo y apoyan las funciones cerebrales dentro de la salud mental como combatir el estrés oxidativo, la disminución de la concentración del colesterol en la sangre de manera natural. Enfatizando la relevancia de incluir alimentos que fortalezcan el sistema inmunológico, así como el desarrollo cognitivo y el alivio del desgaste mental.

Palabras clave: Ñuña, innovación nutricional, desgaste mental, vida universitaria, salud cognitiva.

Abstract: The purpose of this work is to raise awareness in the university community about the potential of **ñuña** as an innovative food, incorporated in a keke designed to contribute to the mental well-being of students and the ability to adapt to various applications of the food industry. Likewise, the nutritional properties and their health benefits that regulate mood and support brain functions within mental health, such as combating oxidative stress, reducing the concentration of cholesterol in the blood naturally, were discussed. Emphasizing the relevance of including foods that strengthen the immune system, as well as cognitive development and relief from mental wear.

Key words: Ñuña, nutritional innovation, mental exhaustion, university life, cognitive health.

1. Introducción

El desenvolvimiento físico y mental de las personas, requiere de un equilibrio del consumo de nutrientes y energía; en particular de los estudiantes universitarios, quienes con frecuencia presentan malos hábitos alimentarios, los excesos y muchas veces las carencias (Meza et al). Un informe de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021) reveló que a nivel mundial 2370 millones de personas presentaron mal nutrición, en su mayoría mujeres.

La ñuña o numia (*Phaseolus vulgaris* L.) es un grano originario de la región central andina del Perú y es fundamental en la dieta del poblador rural andino. (Cruz et al, 2009). Precisamente, el presente trabajo tiene como finalidad concientizar a la comunidad universitaria sobre el potencial de la ñuña como alimento innovador, incorporado en un keke diseñado para contribuir al bienestar mental de los estudiantes. Esto cobra relevancia en un contexto en el que el desgaste mental, el estrés y la ansiedad afectan el rendimiento académico y la salud general. A continuación se procederá a desarrollar los siguientes temas como **contenido de polifenoles, potencial energético y vitamínico**, producción de aminoácidos esenciales y antioxidantes, así como la presencia de sustancias químicas(neurotransmisores) , estado de ánimo y funciones cerebrales.

Por otro lado, la versatilidad de la ñuña la hace adecuada para la creación de snacks o bocadillos, y también puede transformarse en harina para su uso en la industria de la plantación y confitería (Espinoza, 2020). La versatilidad de la ñuña destaca su potencial como un recurso alimentario valioso, no solo por sus propiedades nutricionales, sino por su capacidad de adaptarse a diversas aplicaciones de la industria alimentaria. Teniendo como problemática principal lo siguiente: ¿Cómo puede el consumo de keke a base de ñuña influenciar con la disminución del desgaste mental en los universitarios?. La ñuña presenta un alto contenido proteico, alrededor del 20%, y es rica en aminoácidos esenciales, además de ser una buena fuente de carbohidratos, minerales y vitaminas del complejo B (Rojas Fuentes, 2021). Motivo por el cual, se propone como propósito general el determinar cómo el Keke de Ñuña es una innovación nutricional para aliviar el desgaste mental en la vida universitaria.

El keke de ñuña representa una nueva y nutritiva opción para que los estudiantes universitarios disfruten de un alimento saludable. Es un pseudocereal que ofrece una variedad de propiedades nutricionales, que en conjunto, convierte a este pseudocereal en un aliado para favorecer la salud cognitiva. El contenido de proteínas de la ñuña es muy variado, ya que contiene entre 16.54% y 25.23%, siendo así necesario para el cuerpo, lo que demuestra que es esencial como fuente de proteína vegetal (Sangronis & Machado.2018).

El consumo de un keke a base de ñuña es una solución innovadora para aliviar el desgaste mental de los estudiantes universitarios, ya que los ingredientes utilizados potencian el valor nutricional de la ñuña al aportar una variedad de propiedades nutricionales, que juegan un papel crucial para la producción de aminoácidos esenciales y antioxidantes. Por ello, **el keke de ñuña tiene excelentes fuentes de aminoácidos esenciales de alta calidad, lo que contribuye a un buen funcionamiento del cuerpo.**

El beneficio dietético de la vitamina D es lo más primordial en los niños, y alimentos como el huevo son una fuente natural de esta vitamina. Además, el huevo contiene una amplia variedad de aminoácidos, vitaminas, minerales y proteínas que contribuyen al bienestar general. Sin embargo, el consumo insuficiente de esta vitamina puede provocar alteraciones a nivel esquelético, fracturas, infecciones como la gripe o enfermedades autoinmunes, tales como la artritis reumatoide y enfermedad de Crohn (Rodríguez et al., 2019). La intención principal de este enfoque es resaltar la importancia de la vitamina D y cómo el huevo actúa como una fuente natural de vitaminas, aportando una variedad de nutrientes esenciales que benefician la salud en general. Se comparte la perspectiva del autor, ya que el huevo contiene una mezcla única de nutrientes que a su vez pueden ayudar en la salud del cerebro. Como sugerencia, se debe incluir el huevo en la dieta diaria debido a su valor nutricional. Para potenciar sus beneficios es recomendable consumirlo por métodos de cocción saludables.

El keke de ñuña contiene ingredientes que son excelentes fuentes de antioxidantes de alta calidad y que, además, aportan una variedad de nutrientes esenciales para el organismo. Asimismo, la miel es un alimento natural que contiene una variedad de componentes beneficiosos para la salud. Entre sus principales constituyentes se encuentran enzimas, minerales y vitaminas, así como compuestos volátiles y antioxidantes. Además, al igual que la ñuña, la miel también es rica en flavonoides y ácidos orgánicos, lo que contribuye a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Estos alimentos hacen de la miel un recurso muy valioso (Singh et al., 2023).

El propósito principal de este estudio es dar a conocer los valiosos nutrientes que contiene la miel. A través de este análisis, se pretende informar sobre las propiedades nutritivas y sus beneficios para la salud. Se apoya la postura del autor, ya que la miel contiene enzimas, minerales y vitaminas que contribuyen a diversas funciones metabólicas en el cuerpo. Se recomienda incluir la miel en la dieta diaria. Al ser nutritiva debemos aprovechar todas sus propiedades. Se sugiere elegir miel cruda o no procesada, para maximizar la obtención de sus nutrientes y beneficios potenciales.

La harina de quinua se caracteriza por su elevado contenido de polifenoles, lo que le confiere una destacada capacidad antioxidante. Además, investigadores han demostrado que la incorporación de harina de quinua en la elaboración de pan no solo mejora la digestibilidad de las proteínas, sino que también contribuye a reducir el índice glucémico del producto final (Montemurro et al., 2019). El propósito principal de este estudio es conocer las proteínas y beneficios que nos puede brindar la harina de quinua, ya que es una buena opción para ayudarnos en la reducción del índice glucémico. En este sentido, se está de acuerdo con el planteamiento del autor, quien señala que la harina de quinua se presenta como una opción rica en vitaminas y polifenoles, lo que, junto con sus beneficios proteicos, contribuye a disminuir el índice glucémico. Se aconseja incorporar la harina de quinua en la dieta, ya que es una excelente fuente de proteínas, fibra y nutrientes esenciales. Además, al ser mezclada con otras harinas puede mejorar la textura y el sabor de los productos, haciéndolos más satisfactorios y nutritivos.

Así mismo, el consumo de un keke a base de ñuña es una solución innovadora para aliviar el desgaste mental de los estudiantes universitarios. La ñuña, como pseudo-cereal, es conocida por su riqueza en vitaminas del complejo B, que son esenciales para la salud cognitiva. Estas vitaminas juegan un papel crucial en la producción de sustancias químicas (neurotransmisores) que regulan el estado de ánimo y apoyan las funciones cerebrales.

2. Métodos

El presente trabajo de investigación se desarrolló con un diseño de carácter cualitativo con una investigación Hermenéutica, analítico – crítico, valorativo de carácter descriptivo, bibliográfico – documental, interpretativo - teoría fundamentada y la técnica de datos con un enfoque nutricional para comprender las experiencias de las personas.

3. Resultados

En primer lugar, la ñuña contiene algunas sustancias químicas que juegan un papel importante en nuestra salud mental. Según lo expuesto por Santos y García (2020) sustentan que la ñuña provee una fuente de antioxidantes y poseen sustancias químicas, como los flavonoides y las antocianinas, presentándose como un factor fundamental en la protección celular contra el estrés oxidativo y la inflamación. Siendo así de mucha importancia para la prevención de enfermedades crónicas (cardiovasculares y el cáncer.). Lo que se busca es generar un beneficio alimentario, por ello, se ha centrado en las propiedades químicas de la ñuña. Además, se apoya el enfoque de los autores, debido a que en la ñuña están presentes abundantes flavonoides y antocianinas, es decir, actúan como antioxidantes y ayudan a reducir el estrés oxidativo. A modo de recomendación, se debe de consumir la ñuña, con todo y cáscara, de tal modo, así aprovecharemos las antocianinas, siendo estas necesarias para diversas funciones corporales.

La ñuña o numia (*Phaseolus vulgaris* L) almacena 23.95 % de proteína siendo incluso mayor que otras especies similares. También brinda aminoácidos esenciales tales como son la lisina, fenilalanina y tirosina. Del mismo modo, suministra fibra soluble como insoluble, siendo su rol principal el del cuidado de la salud digestiva (Verduga, 2022). El objetivo principal es cuidar la salud digestiva. Por ello, se recurre al consumo de la ñuña. Se coincide con el autor que la ñuña contiene un 24% (aproximadamente) de proteína, con lo que supera a otras especies comunes. Por esa razón, se recomienda su consumo, ya que proporciona tanto fibra soluble como insoluble, lo que contribuye al cuidado de la salud digestiva.

En segundo lugar, la ñuña contiene vitaminas que contribuyen al estado de ánimo y desempeñan un papel importante en la salud mental. De acuerdo con lo planteado por Martínez y Gutiérrez (2021) resaltan que el frijol común es destacado por su triptófano, un aminoácido precedente de la serotonina, un neurotransmisor esencial para manejar el estado de ánimo y estrés. La serotonina, producida en el cerebro a partir del triptófano, converge con sensaciones de bienestar y reducción de la ansiedad. Lo que se busca es reducir la ansiedad y manejar el estado de ánimo, por ello, se ha centrado en el aminoácido triptófano, una de las propiedades de la ñuña. Asimismo, se respalda lo señalado por los autores debido a que el triptófano es un aminoácido que contribuye a la producción de serotonina, teniendo así un efecto positivo en el estado de ánimo. Desde una perspectiva recomendativa, se debe de incorporar este frijol en la dieta, ya que al tener este aminoácido se convierte en un neurotransmisor que ayuda a mejorar el estado de ánimo y promover el bienestar en general.

Según el estudio de Pérez et al. (2019), se da suma importancia a los niveles altos de vitamina B6 y ácido fólico en la ñuña, por consiguiente, ayudan en la síntesis de neurotransmisores tales como, la dopamina y la serotonina, los cuales son esenciales en la regulación del estado de ánimo. La baja producción de estas vitaminas conducen a un posible caso de depresión y fatiga mental. Se plantea como objetivo combatir el estrés oxidativo, por ello, es importante el consumo de la ñuña. Ya que, contienen antioxidantes, tales como las antocianinas y los flavonoides. Se respalda lo señalado por los autores debido a que la ñuña ayuda en funciones cerebrales, evitando así la ansiedad y un mal estado de ánimo. Por esto, se recomienda su consumo para poder evitar, síntomas de ansiedad o actitudes de desánimo a través del consumo de ñuña.

El hierro que se encuentra en la ñuña contribuye de mejor manera el abastecimiento de oxígeno al cerebro y disminuye síntomas de fatiga, como consecuencia ayuda en la motivación y en el estado de ánimo, mejorando así la actitud y la vitalidad general. (Rodrigo y Morales, 2020). Lo que se busca es mejorar la llegada de oxígeno al cerebro, según esto, se trata de utilizar el hierro presente en la ñuña. Se coincide con los autores, debido a que el consumo de la ñuña ayuda en el estado de ánimo y su motivación. Por esto se recomienda su consumo para tener un mejor temple y vitalidad.

En tercer lugar, la ñuña contiene vitaminas B, que contribuyen a las funciones cerebrales y desempeñan un papel importante en la salud mental. Por lo tanto, la ñuña brinda una fuente abundante de energía debido a su contenido de carbohidratos, vitaminas del complejo B y nutrientes que son parecidos y/o similares a los del frijol común lo cual es sugerido para niños en la etapa preescolar, madres lactantes o gestantes, la ñuña almacena abundante cantidad de polifenoles que se ejecutan como antioxidantes, ayudando a demorar el deterioro precipitado, así como fibra que promueve el tránsito intestinal saludable y ayuda a disminuir la concentración de colesterol en la sangre (Agronoticias, 2019). El objetivo es conocer cómo las propiedades de la ñuña pueden disminuir la concentración de colesterol en la sangre de manera natural. Se está de acuerdo con el planteamiento del autor en que su contenido de polifenoles actúan como antioxidantes, ayudando a retrasar el envejecimiento y promoviendo un tránsito intestinal saludable. Se sugiere que tanto como los niños y madres gestantes lo consuman ya que, puede brindar un bienestar general.

La ñuña se ha consolidado como una de las principales fuentes de nutrientes a nivel mundial, beneficiando a más de 300 millones de personas gracias a su composición rica en minerales, carbohidratos, proteínas y diversas vitaminas esenciales para la salud (Huertas et al., 2023). Se plantea como propósito el consumo de la ñuña por aportar minerales, carbohidratos, proteínas y minerales que contribuyen a las funciones cerebrales, es decir, por contener un buen valor nutricional, lo que causa un buen rendimiento en el cerebro. Se comparte la postura del autor respecto a las buenas cantidades de nutrientes que contiene el frijol y al proporcionar muchos beneficios a quien los consume. Por ello, es recomendable su consumo por contener un alto valor nutricional que puede ayudar muchísimo a la salud y bienestar del cerebro.

La ñuña contribuye significativamente a la dieta diaria de las personas, proporcionando hasta el 65% de las proteínas y el 32% de la energía necesaria. Además, este alimento se distingue por su alto contenido de minerales esenciales como hierro, zinc, ácido fólico y tiamina. Las vitaminas del complejo B presentes en la ñuña son esencialmente beneficiosas para las funciones cerebrales, lo que convierte a este alimento en un recurso importante para el mantenimiento de la salud mental (Rodríguez et al., 2022). Lo que se plantea como propósito es mejorar las funciones cerebrales, esto conlleva al aporte de buena cantidad de proteínas. Se coincide con el autor en que la ñuña presenta buenas cantidades de nutrientes, (favoreciendo a más de 300 millones de personas), en donde se divide con 65% de proteínas y 32% de energía, y cantidades adecuadas de zinc, hierro, etc. atribuyendo las vitaminas del complejo B que ayudan a las funciones cerebrales. Por lo tanto, se recomienda su consumo ya que contiene alto contenido de nutrientes que ayudan en la salud mental, brindando así un buen funcionamiento en el cuerpo.

4. Discusiones

En un estudio de López et al. (2021), se informa que la ñuña contiene compuestos antioxidantes, como los flavonoides y las antocianinas, que pueden mejorar la lucha contra el estrés oxidativo. Este efecto antioxidante es de suma importancia para las funciones cerebrales, lo que a su vez puede contribuir a un mejor manejo del estado de ánimo y disminuir los síntomas de ansiedad. Lo que se busca es combatir el estrés oxidativo, por ello, es importante el consumo de la ñuña ya que, contienen, antioxidantes, tales como las antocianinas y los flavonoides. Por consiguiente, se concuerda con el autor debido a que la ñuña ayuda en funciones cerebrales, evitando así la ansiedad y un mal estado de ánimo. Por esto se recomienda su consumo para poder evitar manifestaciones de ansiedad, o un mal estado de ánimo a través del consumo de ñuña.

Benedetti y Pirela (2020) remarcan que la ñuña contiene muchos ácidos grasos como el omega-3 y omega-6, que son muy importantes para el desarrollo y la función del cerebro. Estos ácidos grasos son lo primordial para la formación de membranas celulares en el cerebro y están conectados con el mejoramiento de la cognición y la memoria. Su consumo puede ser aprovechado de manera positiva en las funciones cognitivas y en la prevención de trastornos neurológicos. Lo que se busca es mejorar la memoria y la cognición, por ello, se destaca la cantidad de ácidos grasos que posee. Asimismo, se concuerda con los autores debido a que la ñuña contiene estos ácidos grasos cruciales para las membranas celulares del cerebro, por lo que ayuda en su cognición y su memoria. Recomendando así este producto; ya que ayuda positivamente en las funciones cognitivas y en futuros trastornos neurológicos que afecten a la persona.

La combinación de proteínas y carbohidratos complejos presentes en la ñuña suministra un contenido esencial de energía al cerebro, mejorando las funciones cerebrales. Esto es de suma importancia para mantener la concentración y la atención, lo que por consecuencia ayuda en mejorar el rendimiento académico y laboral (Gómez y Rodríguez, 2019). El propósito es brindar más conocimiento sobre las propiedades de la ñuña y en cómo puede ayudar en las funciones cerebrales. Además, se comparte la postura del autor respecto a que la ñuña, contiene proteínas y carbohidratos complejos que administran una cantidad de energía que favorece al cerebro, a la mejora de las funciones cerebrales. A modo de recomendación, el consumo de la ñuña favorece en la concentración, por consiguiente esto ayudará de manera positiva en el rendimiento académico y laboral de las personas.

5. Conclusiones:

- Se llega a la conclusión de que el consumo de un keke de ñuña representa una opción novedosa y nutricionalmente rica en nutrientes, para ayudar en la salud mental y física de los estudiantes universitarios. La combinación de ingredientes como la harina de quinua, el huevo y la miel, aportan aminoácidos esenciales, antioxidantes, vitaminas y minerales que no solo enriquecen la dieta, sino que también favorecen la capacidad de concentración. Este enfoque alimenticio enfatiza la relevancia de incluir alimentos que fortalezcan el sistema inmunológico, impulsen el desarrollo cognitivo y contribuyan al alivio del desgaste mental.
- Para finalizar se puede señalar que el keke elaborado con ñuña se presenta como una opción nutritiva para mitigar el agotamiento mental en estudiantes universitarios. Gracias a su contenido de vitaminas del complejo B, antioxidantes, ácidos grasos esenciales, proteínas y minerales, la ñuña favorece las funciones cerebrales, contribuye a mejorar el estado de ánimo y ayuda a reducir el estrés oxidativo. Este alimento apoya el bienestar mental, al potenciar la concentración y el rendimiento académico, consolidándose así como recurso valioso para la salud mental y física.

6. Bibliografía:

- Agronoticias (17 de enero 2019). Propiedades nutricionales de la ñuña o frijol reventón. Revista Agronoticias. <https://agronoticias.pe/alimentacion-y-salud/propiedades-nutricionales-de-la-nuna-o-frjol-reventon>
- Aminoácidos. (s/f). Medlineplus.gov. Recuperado el 4 de noviembre de 2024, de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002222.htm>
- Cueto Torres et al. (2019). Hojuelas de ñuña con miel de abeja y cacao. [Tesis de bachiller] Repositorio institucional de la Universidad San Ignacio de Loyola. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/9262>
- Cruz, José; Camarena, Félix; Baudoin, Jean; Huaranga, Amelia, & Blas, Raúl. (2009). Evaluación Agromorfológica y caracterización molecular de la ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.). *Idesia (Arica)*, 27(1), 29-40. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292009000100005>
- De la Cruz Lázaro, E., W. Félix, J., Sánchez-Chávez, E., Tosquy-Valle, O., Preciado-Rangel, P., & Márquez-Quiroz, C. (2024). Biofortificación de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Variedad Verdín con Quelato y Sulfato de Hierro. *Terra Latinoamericana: órgano científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.18311>
- Finetti, F., Biagi, M., Ercoli, J., Macrì, G., Miraldi, E., & Trabalzini, L. (2020). *Phaseolus vulgaris* L. var. Venanzio grown in Tuscany: Chemical composition and in vitro investigation of potential effects on colorectal cancer. Antioxidants (Basel, Switzerland). . <https://doi.org/10.3390/antiox9121181>

- Fuertes, Y. B. L., & Duque, J. F. S. Formación, estructura y funcionalidad de propiedades interfaciales en sistemas alimentarios multifásicos: una revisión bibliométrica. Formation, structure and functionality of interfacial properties in multiphase food systems: a bibliometric review. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca Popayán, 2024. https://www.researchgate.net/profile/Camilo-Romero/publication/383276257_Reflexiones_de_los_Proyectos_de_Jovenes_Investigadores_e_Innovadores_en_el_departamento_del_Cauca_2023/links/66c64cefc2eaa500230cd147/Reflexiones-de-los-Proyectos-de-Jovenes-Investigadores-e-Innovadores-en-el-departamento-del-Cauca-2023.pdf#page=329
- Laiza Vasquez, R. F. (2024). Efecto de la proporción de harina de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) y pajuro (*Erythrina edulis*) en la aceptabilidad sensorial de galletas en estudiantes universitarios. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/97e9d437-204d-4024-9fa5-e3263ba23a9b/content>
- Maza, F., Caneda, M., & Vivas, A. (2022). Hábitos Alimenticios y sus Efectos en la Salud de los Estudiantes Universitarios. Una revisión Sistemática de la Literatura. *Psicogente*, 25(47), 1-31. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-01372022000100110.
- Office of Dietary Supplements, National Institutes of Health. (s.f.). Vitamina B12: Datos en español. Recuperado el 9 de octubre de 2024 <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/VitaminB12-DatosEnEspañol.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas ONU. (20 de Diciembre de 2021). Desafíos Globales Alimentación. Obtenido de Paz, Dignidad e Igualdad en un Planeta Sano: <https://www.un.org/es/global-issues/food> Rodríguez-rodríguez, E., Aparicio Vizueté, A., Sánchez-Rodríguez, P., Lorenzo Mora, A. M., López-Sobaler, A. M., & Ortega, R. M. (2019). Deficiencia en vitamina D de la población española. Importancia del huevo en la mejora nutricional. *Nutrición hospitalaria: órgano oficial de la Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral*. <https://doi.org/10.20960/nh.02798>
- Rojas Fuentes, G. Y. (2021). Catálogo de la Colección de Ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.). Instituto Nacional de Innovación Agraria. https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/1404/5/Santa-cruz_&_Vasquez_2021_catalogo_nuna.pdf
- Salazar-Coll, D. F., López Alvarado, J. S., Huamán-Barragán, D. A., & Cava-Vergíu, C. L. (2023). Efecto de una intervención nutricional sobre los hábitos alimentarios de estudiantes universitarios en el Perú. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, <https://revistanutricionclinicametabolismo.org/index.php/nutricionclinicametabolismo/article/view/358>
- Salvador, C., & Leonardo, G. (2022). Contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante, composición proximal y digestibilidad proteica de las variedades roja y negra de ñuñas nativas del Perú. *Universidad Norbert Wiener*. <https://hdl.handle.net/20.500.13053/9397>

EL IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA MINERÍA

The impact of technology on wastewater treatment in mining

Jerson Paolo Delgado Castro
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jerson.delgado@unmsm.edu.pe

Luis Piero Marin Gamboa
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: luis.maring@unmsm.edu.pe

Pablo Daniel Huamaní Sasari
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: huamani.sa@unmsm.edu.pe

Dra. Julissa Marleni Icho Yacupoma
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jichoy@unmsm.edu.pe

Resumen: El presente artículo explora el rol de las innovaciones tecnológicas en el tratamiento de aguas residuales bajo un enfoque biotecnológico generadas por las actividades mineras. La tecnología surge como una alternativa para combatir el agua residual proveniente de la actividad minera, por ello surge la siguiente problemática: ¿Cómo han avanzado las tecnologías de tratamiento de aguas residuales en la minería y cuál es su impacto en el medio ambiente? Entonces podemos concluir que la tecnología guarda una relación y es una alternativa viable y sostenible para la separación de contaminantes en aguas residuales, sobre todo las provenientes de las zonas mineras, ya que esta desfavorece a la población y al medio ambiente. Dicho esto, se plantea el siguiente propósito general, el cual es contrastar el impacto de la tecnología en el tratamiento de aguas residuales en la industria minera. Se trata de sensibilizar a la comunidad científica e industrial sobre la importancia de adoptar tecnologías avanzadas en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria minera a través de adsorbentes naturales, como materiales agroindustriales y residuos vegetales. Se abordaron los siguientes temas: filtración por membranas y la desalinización, adsorbentes naturales, aplicación de tecnologías fisicoquímicas y la aplicación de microalgas en el tratamiento del drenaje ácido en minas.

Palabras clave: Aguas residuales, tecnología, adsorbentes naturales, drenaje ácido, minería.

Abstract: This article explores the role of technological innovations in the treatment of wastewater under a biotechnological approach generated by mining activities. The technology emerges as an alternative to combat wastewater from mining activity, which is why the following problem arises: How have wastewater treatment technologies in mining advanced and what is their impact on the environment? Then we can conclude that technology is related and is a viable and sustainable alternative for the separation of contaminants in wastewater, especially those from mining areas, since this disfavors the population and the environment. That said, the following general purpose is proposed, which is to contrast the impact of technology on wastewater treatment in the mining industry. The aim is to raise awareness in the scientific and industrial community about the importance of adopting advanced technologies in the treatment of wastewater from the mining industry through natural adsorbents, such as agro-industrial materials and plant waste. The following topics were addressed: membrane filtration and desalination, natural absorbents, application of physicochemical technologies and the application of microalgae in the treatment of acid mine drainage.

Key words: Wastewater, technology, natural adsorbents, acid drainage, mining.

1. Introducción

La actividad minera hace uso intensivo del recurso agua en sus diferentes procesos. Por ejemplo, se utiliza para la perforación y reducción de polvo en suspensión; para la concentración del mineral; en los procesos de lixiviación es utilizada para obtener la solución del ácido sulfúrico u otros y disolver el mineral. En todos ellos se generan diversos niveles de contaminación del agua y del medio ambiente.

Por otro lado, la tecnología se define como el conjunto de conocimientos, habilidades, métodos y técnicas que permiten transformar la materia y la energía para satisfacer necesidades humanas (Perez, 2023).

Por ello, el tratamiento de aguas residuales, según Aduvire (2018), es importante para eliminar contaminantes y metales pesados del agua generada en las operaciones mineras, asegurando que el efluente cumpla con las regulaciones ambientales antes de su liberación al medio ambiente.

Beleño Sáenz et al. (2022) destacan que el tratamiento de aguas residuales en la industria es crucial para soportar el impacto ambiental que se genera por los contaminantes. En su estudio, utilizaron un sistema automatizado y una combinación de óxido de calcio (CaO) y floculantes poliméricos, logrando disminuir sólidos sedimentables y disueltos, así como recuperar el 75 % del agua tratada. Este enfoque demostró ser eficiente tanto en términos de reducción de contaminantes como en el tiempo que duró todo el proceso.

Para la minería es favorable la aplicación de tecnologías como la filtración por membranas y la desalinización, a través del uso de absorbentes naturales, aplicación de tecnologías fisicoquímicas y la aplicación de microalgas en el tratamiento del drenaje ácido en minas.

De acuerdo a lo mencionado por Valladares (2017), se ha demostrado que el uso de adsorbentes naturales, como materiales agroindustriales y residuos vegetales, es una alternativa viable y sostenible para la separación de contaminantes en aguas residuales, debido a su bajo costo y su capacidad de regeneración y degradación. La utilización de absorbentes surge como una vía nueva, que es sostenible y sirve para separar contaminantes que se ubican en las aguas residuales mineras, en especial los provenientes de materiales naturales, lo que resulta favorable en un contexto donde la minería arroja grandes cantidades de contaminantes tóxicos y pesados.

Asimismo, teniendo en cuenta a Huarachi y Huanacuni (2021) en el trato de aguas residuales del matadero municipal, la esencia de reactores anaeróbicos de corriente ascendente fue considerada la más adecuada. Este tipo de tratamiento implica reacciones químicas y biológicas que permiten la descomposición de materia orgánica, complementadas por otras unidades como sedimentadores primarios y secundarios, que ayudan a eliminar sólidos y otros contaminantes del agua. En el tratamiento de aguas residuales en el municipio, el uso de reactores anaeróbicos fue escogido por su gran utilidad en descomponer la materia orgánica, esto sucedió gracias al apoyo de sedimentos para eliminar sólidos y contaminantes. El buen funcionamiento del proceso se ve apoyado con la utilización de técnicas de precipitación, lo cual contribuye a capturar partículas de mayor tamaño antes de que el agua entre en el reactor. Entonces, se coincide con lo mencionado anteriormente, ya que los reactores anaeróbicos surgen como una alternativa adecuada para tratar las aguas residuales mineras, aprovechando los procesos biológicos los cuales descomponen la materia que se encuentra circulando por estas aguas. En este contexto, dicho proceso nos permite la reducción de elementos nocivos en el agua, y a una menor demanda de energía eléctrica.

También es importante la aplicación de tecnologías fisicoquímicas en el tratamiento del drenaje de ácido en minas, como lo menciona Denegri-Muñoz e Iannacone (2020), en los tratamientos activos para el drenaje ácido de minas, se emplea principalmente la adición de componentes alcalinos, como son, la cal o la caliza, para neutralizar el pH y precipitar metales pesados como el hierro y el manganeso. Se destaca entonces, que estos procesos necesitan un sistema operativo constante y un mantenimiento seguido, utilizando sustancias básicas lo cual permite la precipitación por la formación de hidróxidos, lo cual ayuda a una remoción más rápida de contaminantes. Se apoya este enfoque del autor sobre el uso de reactivos básicos o alcalinos para tratar el drenaje ácido de las aguas residuales, para neutralizar el pH y precipitar algunos metales presentes en el agua residual.

Asimismo, según Younger (1997), citado por Denegri-Muñoz e Iannacone (2024), los humedales son importantes para el tratamiento de aguas ácidas contaminadas provenientes de minas, especialmente las de carbón, logrando eliminar más de la mitad de hierro que se encontraba en el agua. En febrero de 1995, se logró establecer en Quaking Houses, el que es el primer humedal anaeróbico, el cual redujo en un 70% la acidez del agua y un 62% su contenido en Fe. El autor destaca la importancia de los humedales en la separación de metales pesados, como el hierro, a través de procesos naturales de filtración y absorción. Se menciona además un caso específico en el que un humedal logró disminuir de manera drástica la acidez del agua, mejorando su calidad. Este proceso es importante porque, al disminuir la acidez y eliminar contaminantes tóxicos, se obtiene agua de mayor calidad la cual se destina a diversos usos, como el riego de parques que benefician a la comunidad.

También es importante lo que argumenta Aduvire (2006) sobre las tecnologías fisico-químicas utilizadas en el saneamiento de aguas contaminadas en minas, que buscan modificar parámetros como la acidez y el potencial redox del agua, promoviendo la sedimentación de metales y la neutralización de los compuestos ácidos. El autor resalta que, estas tecnologías incluyen el uso de sustancias alcalinas para producir la precipitación de oxihidróxidos metálicos y el uso de filtros que retienen y eliminan contaminantes, logrando así una reducción en el impacto ambiental de los drenajes ácidos. Estos procesos se muestran efectivos frente a la complejidad de la contaminación que se encuentran en estos drenajes, ya que esto permite neutralizar ácidos, ayudando a proteger la salud humana y a minimizar el daño a los ecosistemas afectados.

Por otro lado, la aplicación de microalgas en el proceso de tratamiento sostenible de aguas residuales que provienen de actividades mineras es favorable para mejorar la efectividad y la calidad del agua, que luego serán utilizadas en apoyo a la población. Así como menciona Guillermo (2020) las microalgas se han utilizado exitosamente para remover nitrógeno y fósforo de los residuos industriales, impulsando procesos sostenibles que mejoran la calidad del agua y generan bioproductos. Esta tecnología ofrece ventajas al disminuir las expulsiones de vapores de efecto invernadero y al reducir la necesidad de insumos costosos, como los cationes utilizados en procesos convencionales. Las microalgas son capaces de separar eficazmente compuestos de nitrógeno y fósforo, los cuales se encuentran presentes en los residuos mineros, lo que no solo ayuda a la purificación del agua, sino que además permite la generación de bioproductos de valor añadido. Esta doble función hace a las microalgas en una herramienta; que promete para optimizar los tratamientos de aguas residuales, ya que, además de mejorar el tratado del agua, la biomasa que se genera puede ser utilizada en sectores como la agricultura, y la fabricación de fertilizantes orgánicos.

Así mismo, como mencionó Ulloa (2017), la aplicación de microalgas como *Chlorella sp.* en el tratamiento de aguas residuales ofrece una solución sostenible debido a su capacidad de crecimiento eficiente en aguas residuales crudas, proporcionando una fuente viable de biomasa para la producción de biocombustibles. Estas microalgas muestran una alta tasa de separación de contaminantes, superando el 80% de la DQO y de nutrientes críticos como el fosfato, nitrato y amonio, esenciales en la remediación de aguas residuales mineras, que suelen tener altos niveles de estos compuestos. El alga *Chlorella sp.* surge como una alternativa sostenible para combatir los contaminantes del agua provenientes de las aguas residuales mineras. Además de su capacidad de separación de contaminantes, estas algas producen biomasa que puede ser utilizada para producir biocombustibles a partir de aguas con residuo petrolero, lo que añade un valor agregado al proceso, al convertir un compuesto contaminado en una fuente de energía renovable. Los resultados que se obtuvieron hasta ahora respaldan la efectividad de *Chlorella sp.*, dado que se ha demostrado una eliminación superior al 80% en la demanda química de oxígeno y en nutrientes críticos.

Además, según investigaciones recientes como la de Lopez-Garcia (2020), las microalgas no solo contribuyen a la remoción de nutrientes y contaminantes, sino que también juegan un rol importante en la captura de metales presentes en las aguas residuales mineras. Esto se debe a la capacidad de las microalgas, como *Scenedesmus* y *Chlorella sp.*, para bioadsorber metales como el zinc, cobre y el plomo, que son comúnmente encontrados en este tipo de efluentes. Este enfoque biotecnológico contribuye no solo a elevar la calidad del agua, sino que también presenta una alternativa ecológica frente a los métodos convencionales de tratamiento, que suelen generar subproductos tóxicos o requieren de grandes cantidades de energía. Se destaca que las microalgas, como las mencionadas *Scenedesmus* y *Chlorella sp.*, no solo eliminan nutrientes sino que también capturan metales pesados que se encuentran en las aguas residuales mineras.

En síntesis, la implementación de tecnologías avanzadas en el tratamiento de aguas, así como el uso de adsorbentes naturales, cavitación ultrasónica y microalgas, nos brinda soluciones que son sostenibles y económicas para disminuir contaminantes tóxicos y metales que se encuentran flotando en el agua. Estas técnicas no solo permiten reutilizar el agua, sino que también reducen residuos y el uso de productos químicos, mejorando la calidad del agua para riego público. La combinación de estos métodos que son biológicos y fisicoquímicos agudiza la eficiencia y sostenibilidad del proceso, favoreciendo tanto la salud ambiental como la protección de los recursos hídricos.

Por otro lado, la gestión eficiente del agua en la minería es fundamental para reducir su impacto ambiental. En primer lugar, la reutilización de aguas residuales permite disminuir la necesidad de extraer agua fresca. En segundo lugar, la implementación de prácticas de conservación, como el uso de sistemas de riego por goteo en operaciones de minería,. Finalmente, el monitoreo y análisis constante del consumo de agua permiten a las empresas identificar áreas de mejora y optimizar sus procesos, asegurando un uso más responsable del recurso hídrico

Según Díaz (2021, citado en Freire-Vinueza et al., 2023) señala que la reutilización de aguas residuales para recuperar recursos hídricos, nutrientes o energía se ha vuelto en una estrategia vital. En muchos países en desarrollo, estos recursos se utilizan cada vez más para fines como el riego. Sin embargo, la contaminación del agua y el mal saneamiento de este recurso están en relación con la propagación de enfermedades como lo son el cólera, diarreas, disentería, hepatitis y poliomielitis. Cuando los servicios de agua y saneamiento son inadecuados, mal administrados o inexistentes, las personas enfrentan riesgos relacionados con la salud.

En este sentido, lo que se busca es el reaprovechamiento de aguas residuales para extraer recursos, especialmente en naciones en desarrollo, donde se usa cada vez más para el riego. Sin embargo, la falta de saneamiento adecuado y el agua contaminada incrementan el riesgo de propagación de enfermedades. Para optimizar sus ventajas, se sugiere invertir en infraestructura y establecer políticas de control que reduzcan los riesgos para la salud.

Asimismo, tomando en consideración lo planteado por Rodríguez y Herrera (2022), el uso de aguas residuales tratadas para fines agrícolas y la reposición de acuíferos es una alternativa que requiere de mayor investigación e implementación, especialmente en regiones con limitada disponibilidad de este recurso hídrico. Esta actividad también generará empleos tanto directos como indirectos en sectores que dependen de este recurso, aportando beneficios significativos para la salud humana, el desarrollo socioeconómico y la sostenibilidad ambiental. El objetivo es promover la reutilización de aguas residuales usadas en la agricultura y la recarga de acuíferos, ya que esta actividad no solo conserva los recursos hídricos, también produce empleos en sectores relacionados y dependientes de este recurso hídrico, así beneficiando la salud humana, el desarrollo y la sostenibilidad ambiental.

Según WWAP (2017), citado por Opolenko (2022), las aguas residuales que son tratadas, tienen la capacidad de convertirse en una fuente alternativa para el riego y la recarga de acuíferos, especialmente en lugares donde existe escasez. Aun así, para aprovechar todo su potencial, es importante cambiar la perspectiva de poder tratar estas aguas como un problema, y empezar a considerarlas como una solución sostenible en ayuda a la población. Promover el uso de aguas residuales tratadas como una fuente segura y sostenible para el riego y la recarga de acuíferos, especialmente en áreas de escasez hídrica, transformando su percepción de desecho problemático a recurso valioso para la sostenibilidad hídrica.

En segundo lugar, de acuerdo con Pérez (2015), citado por Castro y Moncada-Rangel (2022), la crisis que existe actualmente del agua, es una consecuencia de varios factores, como una mala gestión de recursos provenientes de la naturaleza, el uso ineficaz por parte de algunas poblaciones y los efectos que producen el cambio climático. Esto resalta lo tan importante que es adoptar una gestión del agua que la trate como un activo y no simplemente como un recurso económico. La mala administración y el uso ineficiente del agua se han vuelto en factores críticos que agravan la crisis mundial del agua.

Estos problemas remarcan la necesidad de adoptar un enfoque mucho más amplio y que no solo se limite a considerar el agua como un simple recurso económico, sino valorarlo como un activo eco-social, cuyo manejo y conservación es vital. Este enfoque permitiría integrar la sostenibilidad ambiental con la igualdad social, reconociendo el papel vital que tiene el agua en el desarrollo de comunidades y preservación del medio ambiente.

Por otro lado, teniendo en consideración a Sánchez y Acosta (2023), destacan que, a lo largo del tiempo, la tecnología ha adquirido un papel importante en distintos ámbitos, incluyendo también el sector agronómico de Lima. En este contexto, se han llevado a cabo una serie de proyectos de investigación que abordan el consumo del recurso hídrico en este sector. Uno de los enfoques más importantes se centra en la aplicación de prácticas agrícolas eficientes y sistemas de riego efectivos, con el fin de disminuir el uso del agua y fomentar así una gestión más responsable de este recurso. Se trata de promover la implementación de prácticas agrícolas responsables y técnicas de riego más eficientes para poder mermar el consumo de agua y así asegurar que su utilización sea de manera sostenible. Esto contribuye a la conservación del recurso y promueve así la gestión consciente del sector agronómico.

Por último, también se considera lo que nos dice (Tecnología Minera, 2024). Asimismo, se está fomentando la desalinización en áreas donde el acceso al agua dulce es escaso. Esta tecnología no solo permite obtener agua potable a partir del agua de mar, sino que también se utiliza para tratar y reutilizar el agua contaminada generada en las operaciones mineras. Este proceso es fundamental en regiones donde las minas enfrentan dificultades relacionadas con la disponibilidad de agua. Se busca impulsar la desalinización y la reutilización de agua en regiones con escasez de agua dulce, aprovechando tecnologías que permitan producir agua potable a partir de agua de mar y tratar el agua contaminada de las minas.

Finalmente, el monitoreo y análisis constante del consumo de agua permiten a las empresas para identificar áreas de mejora y optimizar sus procesos, asegurando un uso más responsable del recurso hídrico, por lo tanto, basándonos en lo señalado por (Grupo Hidráulica, 2021), la conservación del agua ha progresado a lo largo del tiempo, impulsada por el compromiso de las empresas de proteger este recurso vital. La gestión integrada de los recursos hídricos se orienta a lograr un equilibrio entre el agua como recurso natural y las necesidades humanas, asegurando su uso responsable y sostenible.

En el sector minero, se prioriza el consumo del agua de las cuencas de tal manera que no perjudique a las comunidades circundantes, y se fomenta la reutilización del agua en la mayor medida posible para maximizar su eficiencia y reducir el impacto ambiental. Promover la conservación del agua y su uso responsable en el sector minero, a través de la gestión integrada de los recursos hídricos, asegurando un equilibrio entre las necesidades humanas y la protección del recurso natural.

De igual manera, como señalan Walteros y Ramírez (2020) como se cita en ,Ubillús et al. (2022), en varias ciudades de Latinoamérica, por más que se tenga presente el sistema de alcantarillado, no siempre se cuenta con las plantas de tratamiento. Como consecuencia, las aguas residuales suelen ser descargadas directamente en cuerpos de agua, pero sin recibir el tratamiento adecuado. Se lleva a cabo el proceso de gestión de aguas residuales en gran parte de Latinoamérica, sin contar el tratamiento adecuado. Esto se debe a que por más que sí existan sistemas de alcantarillado en muchas áreas urbanas, no siempre cuentan con una planta de tratamiento. Como consecuencia las aguas residuales son vertidas a cuerpos de agua naturales sin recibir un previo tratamiento, lo que genera impactos negativos tanto al ambiente como a la salud pública.

2. Métodos

La presente investigación se desarrolló a través de un diseño de carácter cualitativo con una investigación Hermenéutica, analítico – crítico, valorativo de carácter descriptivo, bibliográfico – documental, interpretativo - teoría fundamentada y la técnica de datos con un enfoque biotecnológico

3. Resultados

La principal causa de contaminación del agua es el tratamiento inadecuado de las aguas residuales, especialmente las domésticas, según Paucar e Iturregui (2020), como se cita en Ubillús et al. (2022), la Municipalidad Provincial de Lima ha implementado varias ordenanzas que fomentan una gestión ambiental enfocada a la adaptación del cambio climático. Un destacado ejemplo de esta gestión es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nestlé, que reutiliza aguas tratadas para el riego de áreas verdes. Asimismo, el Estado peruano ha establecido metas específicas para impulsar la reutilización de aguas residuales tratadas como fuente alternativa de abastecimiento de agua. Se incita a usar una correcta gestión de las aguas residuales, especialmente de las domésticas, esto mediante ordenanzas y proyectos que puedan favorecer a su reutilización como una fuente alternativa de agua.

En síntesis; las fuentes de contaminación hídrica de la industria minera son la gestión ineficiente del agua. Aunque el reciclaje de aguas residuales conserva el agua dulce, su uso para riego y recarga de acuíferos ha ganado importancia en zonas áridas donde hay escasez de recursos hídricos. Pero la falta de un tratamiento adecuado y la contaminación del agua potencian los canales de enfermedades y, por tanto, los riesgos para la salud pública; tecnologías como la desalinización y el tratamiento de aguas contaminadas en la minería permiten producir agua potable y reutilizar recursos en regiones donde el agua es seca.

Otro aspecto importante lo constituyen las barreras existentes para implementar estas tecnologías. A pesar de los avances logrados en la gestión del agua dentro del sector minero, todavía persisten desafíos considerables que dificultan la adopción de prácticas sostenibles. Entre estos obstáculos se incluyen barreras tecnológicas y económicas, la ausencia de normativas claras y la resistencia cultural al cambio. Según Español (2012) la minería artesanal y de pequeña escala tiene grandes problemas para adoptar tecnologías de tratamiento de aguas residuales, principalmente debido al elevado costo y a la falta de acceso a tecnologías adecuadas. A pesar de los intentos por mejorar el rendimiento ambiental, muchos mineros continúan usando técnicas primitivas que agravan la contaminación por mercurio y otros contaminantes. Esta situación muestra los retos que enfrentan los mineros para adoptar prácticas más sostenibles, a pesar de la creciente necesidad de cuidar el medio ambiente y la salud de las comunidades.

Uribe Salas et al. (2019) destacan que los avances en tecnologías de tratamiento, incluidos los sistemas hidráulicos y nuevas aleaciones para la conducción de energía, han permitido una reducción de costos operativos en ciertos sectores de la minería. Sin embargo, implementar estas tecnologías en toda la industria sigue siendo un desafío debido a los altos costos que conlleva actualizar la infraestructura existente. El autor indica que, aunque las nuevas tecnologías han disminuido costos en algunos sectores, su implementación completa es limitada debido a los altos costos de las modificaciones en infraestructura, lo que dificulta una adopción general en la minería.

Concluyendo con el estudio de Lara, Naranjo y Manosalva-Sánchez (2017) que indica que los altos costos de implementar tecnologías de tratamiento en la minería artesanal y pequeña constituyen un obstáculo importante para su formalización. A pesar de que estas actividades representan una fuente vital de ingresos, muchos mineros enfrentan limitaciones significativas debido a la falta de acceso a tecnologías adecuadas y a presiones económicas que los obligan a operar en la informalidad.

La carencia de regulación y normativas claras en el tratamiento de aguas en minería limita considerablemente la adopción de prácticas sostenibles. En este sentido, Aggarwal-Khan (2022) ilustra que en regiones de extracción de litio, como el desierto de Atacama, enfrentan una grave escasez de agua, y que la situación se ve agravada por la falta de normas internacionales que regulen el uso del agua en estos entornos frágiles. Esto pone de manifiesto una problemática global: mientras que la extracción de recursos continúa aumentando, la falta de regulación a nivel internacional deja sin protección a los ecosistemas sensibles y a las comunidades locales que dependen del agua en estas áreas.

Maennling et al. (2024) indican que la división en los derechos de uso del agua y la exigencia de permisos distintos para la minería y el acceso al agua provocan importantes ineficiencias en la administración de este recurso. La obtención de permisos independientes ralentiza los trámites y complica la gestión del agua, ocasionando pérdida de tiempo y recursos en un sector donde la eficiencia es crucial.

Concluyendo con Sankaran (2023), quien señala que, aunque la sostenibilidad es un objetivo clave, la creciente demanda de minerales esenciales para la transición energética ha generado una presión financiera sobre las empresas mineras. Esta situación plantea un dilema: aunque las empresas valoran la importancia de la sostenibilidad a largo plazo, los elevados costos y los riesgos financieros de la urgencia por extraer minerales críticos restringen los proyectos para iniciativas sostenibles. De este modo, priorizar la demanda inmediata dificulta la implementación de prácticas ambientales más responsables.

4. Discusión

En América Latina, la oposición cultural al cambio revela un choque entre la conservación de modos de vida tradicionales y las demandas del sector extractivo. Así como Padilla (2023) resalta que la resistencia de las comunidades locales a los proyectos mineros ejemplifica la tensión entre el desarrollo económico y la conservación ambiental. Si bien la minería ofrece beneficios económicos importantes, también conlleva riesgos importantes para el acceso al agua, la seguridad alimentaria y la salud ecológica. Esta resistencia, basada en la defensa de derechos culturales y territoriales, ha fomentado la formación de movimientos sociales que buscan opciones sostenibles, enfocándose en la conservación de sus recursos naturales y modos de vida. En este sentido, las comunidades locales cuestionan los proyectos mineros que, si bien pueden impulsar el desarrollo económico, ponen en riesgo su entorno natural y sus formas de vida. En la misma perspectiva, el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM, 2019) señala que la industria minera se ha enfocado en ganancias inmediatas, lo que ha limitado su capacidad para implementar tecnologías sostenibles. Esta búsqueda de ganancias inmediatas ha condicionado la percepción de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales, considerándose más un gasto que una inversión futura. Se puede entonces deducir que, ya establecida en las prácticas tradicionales, en la cual se prioriza la maximización de beneficios en corto tiempo sobre el desarrollo sostenible, es una barrera para el avance hacia una minería más sostenible con el medio ambiente. Este enfoque limita la capacidad del sector para adaptarse a las crecientes demandas de sostenibilidad y responsabilidad ambiental que la sociedad y el mercado exigen cada vez más. Es evidente que una estrategia de beneficios a corto plazo no es viable en el largo plazo, de manera específica en un contexto donde el daño ambiental es cada vez más visible y crítico. Si continúa esta mentalidad puede no solo poner en riesgo la reputación y sostenibilidad del sector minero, sino también generar impactos negativos sobre las comunidades locales.

Finalmente, Rubiano, Rojas y Díaz (2011) destacan que la industria minera ha encontrado obstáculos en la implementación de tecnologías sostenibles para el manejo de aguas residuales, en gran parte debido a una notable resistencia cultural. Este reto es especialmente notable entre los empleados de mayor edad, quienes a menudo suelen manifestar más temores al cambio, lo que resalta la dificultad de implementar innovaciones en un ambiente tradicional. En conclusión, la resistencia cultural, especialmente entre los trabajadores más antiguos, dificulta la adopción de tecnologías sostenibles en minería.

5. Conclusiones

- La implementación de tecnologías avanzadas para el tratamiento de aguas residuales en la minería es favorable ya que incluye métodos como la filtración por membranas y la desalinización que a través del uso de absorbentes naturales como materiales agroindustriales y residuos vegetales permite minimizar el impacto ambiental. Además, la utilización de tecnologías fisicoquímicas, como reactores anaeróbicos y cavitación ultrasónica, complementan estos procesos al mejorar la eficiencia en la remoción de contaminantes. Asimismo, la aplicación de microalgas en el tratamiento del drenaje ácido en minas representa una solución biológica al ser capaz de reducir metales pesados y mejorar la calidad del agua.
- La gestión eficiente del agua en la minería porque reduce el impacto ambiental asociado a esta actividad. En primer lugar, la reutilización de aguas residuales permite disminuir la necesidad de extraer agua fresca. Además, la implementación de prácticas de conservación, como el uso de sistemas de riego por goteo en operaciones de minería. Finalmente, el monitoreo y análisis constante del consumo de agua permiten a las empresas identificar áreas de mejora y optimizar sus procesos, asegurando un uso más responsable del recurso hídrico
- La necesidad de superar barreras tecnológicas, económicas y culturales, y de establecer normativas claras, también es importante porque mejora la gestión del agua en la minería. Reconocer que, a pesar de los avances, persisten obstáculos que dificultan la adopción de prácticas sostenibles. Se enfatiza la importancia de invertir en infraestructura, ofrecer incentivos gubernamentales y desarrollar marcos regulatorios coherentes para garantizar una transición hacia tecnologías más limpias y responsables.

6. Bibliografía

- Aduvire, O. (2006). *Tratamiento de aguas ácidas de mina*. Instituto Geológico y Minero de España. https://info.igme.es/sidpdf/113000/258/113258_0000001.pdf
- Agudelo-Valencia, R. N., Camargo-Vargas, G. J., Rojas-Molano, H. F., Garcés-Polo, S. I., Arias-Sierra, S. y Agudelo-Carrascal, I. C. (2022). Cavitación ultrasónica para el tratamiento de aguas residuales. Una revisión. *Ingeniería y Competitividad*, 24(2). https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/11661.
- Beleño, K., Coll, J., De la Hoz, J., Donado, A., Reyes, J., Castellar, G., & Díaz, C. (2022). Tratamiento de aguas residuales en la industria metalúrgica. *J. Comput. Electrón. Sci.: Theory Appl.*, 3(1), 19–33. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.03>
- Castro, O. E., y Moncada-Rangel, J. A. (2022). Educación ambiental para el manejo sustentable del agua en la comunidad Toro muerto, río Caroní. *Areté. Revista Digital del Doctorado en Educación de la Universidad Central de Venezuela*, 8(15), 61-84. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S2443-45662022000100061&script=sci_arttext

- Consejo Minero. (2019). *Buenas prácticas y gestión ambiental en la minería* [Informe]. Consejo Minero. <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2019/04/Buenas-practicas-y-gestion-ambiental.pdf>
- Denegri-Muñoz, J. E., e Iannacone, J. (2020). Tratamiento de drenaje ácido de minas mediante humedales artificiales. *Biotempo*, 17(2), 345-369.
<https://doi.org/10.31381/biotempo.v17i2.3349>
- Español, S. (2012). Contaminación con mercurio por la actividad minera. *Biomédica*, 32(3), 309-311. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-41572012000300001&script=sci_arttext
- Freire-Vinueza, J. A., Hurtado, J. M., Mújica, M. C., & Pachas, L. (2023). Contaminación ambiental y salud pública: Un análisis desde la perspectiva de la salud ambiental. *Revista de Salud Pública*, 25(3), 257-268. <https://doi.org/10.22209/rsp.v25i3.257>
- Grupo Hidráulica. (2021). *Gestión eficiente del agua en minería: soluciones sostenibles*. <https://grupohidraulica.com/noticias/2021/09/17/gestion-eficiente-del-agua-en-mineria>
- Huarachi, Y. y Huanacuni, C. (2021). Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales del matadero municipal de Tacna. *Ingeniería Investiga*, 3(1), 547-559. <https://doi.org/10.47796/ing.v3i1.480>
- IIUNAM. (19 de mayo de 2017). *Aislamiento y aplicación de microalgas en tratamiento de aguas residuales* [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=s-K3IHSOSF8&t=126s>
- Jácome-Pilco, C., Ballesteros, C., Rea, E., Rea Cayambe, L. M., y Poma-Villafuerte, P. C. (2021). *Microalgas en el tratamiento de aguas residuales generadas en industrias de curtiembres*. *Ciencia y Tecnología UTEQ*, 14(2), 47-55. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i2.502>
- Lara-Rodríguez, J., Naranjo-Merchán, Naranjo-Merchán, & Manosalva-Sánchez, S. (2017). Formación de capacidades para la formalización minera en Colombia Un estudio de investigación acción. *Cuadernos del Cendes*, 34(94), 097-127. Recuperado en 10 de octubre de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-25082017000100006&lng=es&lng=es.
- Lewis, J., Hoover, J., & MacKenzie, D. (2017). Mining and environmental health disparities in native American communities. *Current Environmental Health Reports*, 4(2), 130–141. <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0140-5>
- Maennling, N., Thomashausen, S., Nielsen, D., & Vempati, A. R. (s/f). Mining and water: A perspective on legal and regulatory risks. Columbia.edu. Recuperado el 10 de octubre de 2024, de <https://water.columbia.edu/sites/default/files/content/publications/Mining-and-Water--A-Perspective-on-Legal-and-Regulatory-Risks.pdf>

- Opolenko, V. (2022). Potencialidad de uso de aguas servidas para riego y recarga de acuíferos: Cuenca del río La Villa, República de Panamá. *Revista Geográfica de América Central*, 68(1), 265-300. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rge/n68/2215-2563-rge-68-265.pdf>
- Padilla, C. (10 de octubre de 2011). Minería y resistencias. *Centro Tricontinental*. <https://www.cetri.be/Mineria-y-resistencias?lang=fr>
- Ramírez Mérida, L. G. (2020). Uso de microalgas en el tratamiento de aguas residuales. En *Agrobiología: Una visión general y sus aplicaciones*. Mérida Publishers. <https://doi.org/10.4322/mp.2020.001.02>.
- Rodríguez, C., y Herrera, J. (2022). Estrategias sostenibles para la gestión del agua. *Revista de Medio Ambiente*. Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-25632022000100265&lang=pt
- Sánchez Arzapalo, L. E., & Acosta Sánchez, A. P. M. (2023). *Optimización del consumo de agua agrícola en Lima: Buenas prácticas y métodos de riego eficientes*. ALFA. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, 7(20), 464-473 <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.229>
- Sankaran, A. (2023, octubre 12). ESG remains the top focus for miners, but capital risks increase as mineral demand pressure builds amid energy. EY. https://www.ey.com/en_gl/newsroom/2023/10/esg-remains-the-top-focus-for-miners-but-capital-risks-increase-as-mineral-demand-pressure-builds-amid-energy-transition
- Tecnología Minera. (2024). *Tecnologías destacadas para la gestión del agua en operaciones mineras*. <https://tecnologiaminera.com/noticia/tecnologias-destacadas-para-la-gestion-del-agua-en-operaciones-mineras-1701092938>
- Ubillús Farfán, S. W., Contreras Rivera, R. J., López Sánchez, R. N., Patiño Ramírez, S., y Sáenz Avila, J. C. (2022). Políticas públicas y la gestión de la calidad ambiental para la descontaminación de ríos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 927-952. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3586
- Valladares-Cisneros, M. G., Valerio Cárdenas, C., de la Cruz Burelo, P., & Melgoza Alemán, Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales
- R. M. (2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55-73. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/1802>.

PIONERAS FIBRAS DEL MAÍZ: INNOVADORA EXTRACCIÓN DE FIBRA DE PANCA DE CHOCLO

Pioneer corn fibers: innovative extraction of corn shell fiber

Alisson Xiomara Jacinto Escalante
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: alisson.jacinto@unmsm.edu.pe

María Fernanda Paytán Carrillo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: mari.paytan@unmsm.edu.pe

María Paula Villafuerte Quispe
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: maria.villafuerte4@unmsm.edu.pe

Resumen: En este trabajo se detalla exhaustivamente el proceso de extracción de fibras de la panca de choclo, destacando su potencial más allá del uso alimentario convencional. A partir de investigaciones previas, se explora el valor subestimado del pelo de maíz, conocido por sus propiedades medicinales y su resistencia como fibra textil. El método comprende varias fases: pretratamiento con soda cáustica y agua destilada, seguido de hidrólisis alcalina para separar las fibras. Además, se llevó a cabo el lavado y neutralización con ácido acético, junto con un proceso de blanqueamiento mediante cloro para mejorar la blancura, y opcionalmente se tiñeron las fibras para aplicaciones estéticas. A pesar de los desafíos encontrados, como ajustes en las cantidades de reactivos y tiempos de tratamiento, el estudio logró obtener fibras robustas y visualmente atractivas, idóneas para aplicaciones ecoamigables en la industria textil y otras áreas innovadoras.

Palabras clave: Hidrólisis alcalina, soda cáustica, ácido acético.

Abstract: This work exhaustively details the fiber extraction process from corn kernels, highlighting its potential beyond conventional food use. Drawing on previous research, the underrated value of corn hair, known for its medicinal properties and strength as a textile fiber, is explored. The method includes several phases: pretreatment with caustic soda and distilled water, followed by alkaline hydrolysis to separate the fibers. Additionally, washing and neutralization with acetic acid was carried out, along with a chlorine bleaching process to improve whiteness, and the fibers were optionally dyed for aesthetic applications. Despite the challenges encountered, such as adjustments in the amounts of reagents and treatment times, the study managed to obtain robust and visually attractive fibers, ideal for eco-friendly applications in the textile industry and other innovative areas.

Keywords: Alkaline Hydrolysis, Caustic soda, Acetic acid.

1. Introducción

En el presente trabajo se detalla el procedimiento para la extracción de fibras de la panca de choclo a través de varios procesos esto con ayuda de la investigación realizada previamente mediante papers de investigaciones de otros autores de diferentes partes del mundo, con ese aporte estamos realizando este proceso de extracción.

Son diversos los beneficios del pelo de choclo o maíz, un cereal americano que se utiliza desde hace muchos años como fuente de alimentación. La mayoría de las personas consumen solo los granos, por su sabor, que va muy bien en las sopas, tortas o postres.

En tanto que el pelo, junto con las hojas de la cáscara, suelen desecharse al momento de preparar el alimento. No obstante se considera que la barba de maíz, como también se le dice, concentra ciertas propiedades que se podrían aprovechar con fines medicinales. (Betancourth, 2023)

La panca de choclo tiene propiedades medicinales y de alimentación como dice Betancourth pero siempre se suele botar la panca de choclo o se le da a los conejos que se tiene en casa; pero creo que nadie se ha puesto a pensar que se puede extraer fibra de esta panca y hasta coser algún producto dentro de la industria textil ya que es una fibra bastante fuerte. Se debe aprender a realizar productos ecoamigables y aportar de esta manera en nuestra industria, en la cual estamos estudiando actualmente esa panca, que todos botamos luego de preparar las comidas y que no le tomamos mucha importancia, nos puede servir para hacer algo innovador de ella. Y de hecho eso es lo que estamos buscando realizar con este trabajo.

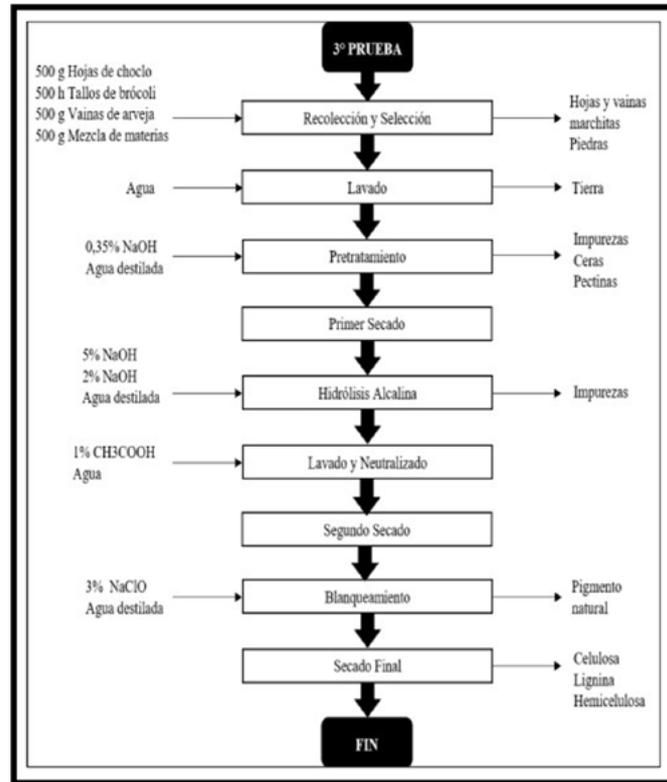
2. Conceptos

Hidrólisis alcalina: La Hidrólisis Alcalina es un proceso que se realiza con agua a temperaturas entre 150 y 180 Grados Centígrados y para acelerar dicho proceso se agrega Hidróxido de Potasio (KOH), el cual es un agente activo para descomponer material biológico tales como: proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos, en una solución a base de agua estéril compuesta de aminoácidos y azúcares. (Delgado, 2013). Soda cáustica: Es muy corrosiva, es especialmente útil en el proceso de extracción debido a sus propiedades para eliminar impurezas. (Amoquimicos, 2023). Ácido acético: Es una sustancia química orgánica, es un líquido incoloro con un olor muy característico. En la industria textil se usa para teñir telas y producir tejidos. (DC Fine Chemicals, 2022)

3. Metodología

Este es el formato del proceso del cual nos hemos guiado para realizar la extracción de las fibras.

Imagen N°1



Fuente: Matute, K. N. y Plaza, M. (2023)

Nota: Reproducido de "Diagrama de procesos del tercer tratamiento para la obtención de la fibra" por Matute, K. N. y Plaza, M., 2023, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Pretratamiento

Lo primero que realizamos fue el lavado y la selección de la panca de choclo para eliminar la suciedad a la que estuvo expuesta y quedarnos con las que tienen mejor aspecto. Realizamos el procedimiento en 2 partes; la primera para una solución de 400 g de panca de choclo y la segunda para una solución de 200 g de panca de choclo.

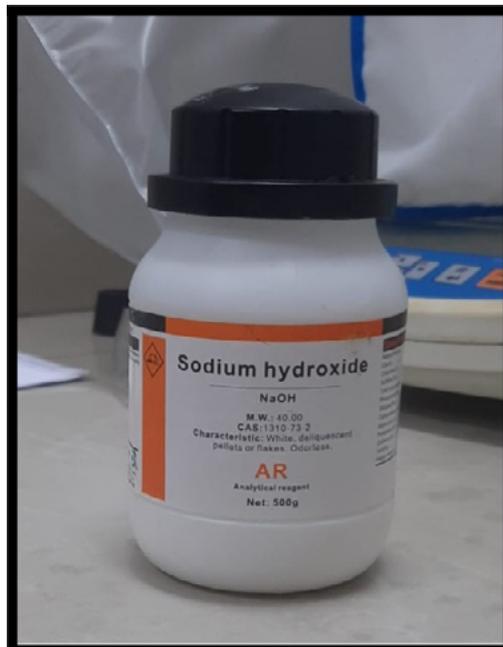
Foto N°1



Fuente: Elaboración propia.

Realizamos el cálculo con ayuda de la profesora y salió como resultado que debemos usar 1.75 g de soda cáustica + 2000 L de agua destilada.

Foto N°2



Fuente: Elaboración propia.

Foto N°3



Fuente: Elaboración propia.

Para cada uno de los casos de 400 g de panca de choclo utilizamos 400 mL de solución de soda caústica + 800 mL de agua destilada y en el caso de 200 g de panca de choclo utilizamos 200 mL de solución de soda caústica + 400mL de agua destilada, colocamos ambas soluciones en una olla por separado y las ponemos a hervir hasta que llegue al punto de ebullición a 90°C . Una vez que ya hirvió colocamos los 400 y 200 g de panca de choclo en cada una de las ollas y lo dejamos hirviendo en punto de ebullición durante 1h y 30 min.

Foto N°4



Fuente: Elaboración propia.

Foto N°5



Fuente: Elaboración propia

Una vez pasado el tiempo se retira el exceso de agua y se coloca la panca de choclo en la estufa durante 4 horas a 75°C.

Foto N°6



Fuente: Elaboración propia

Hidrólisis Alcalina

Para este paso también con la ayuda de la profesora del curso, sacamos los cálculos y obtuvimos que necesitamos 4,01755 g de soda cáustica para la panca de choclo que de pesar 400 g ahora pesa 32.2226g en una solución y 500 mL de agua destilada. Para la panca de choclo que en un primer momento pesaba 200 g ahora pesa 48.7721g, utilizamos 2.4386 g de soda cáustica + 500 mL de agua destilada.

Colocamos ambas soluciones de soda cáustica en 2 ollas y le agregamos a cada una de ellas 1 L de agua destilada y ponemos a hervir hasta que llegue a 90° punto de ebullición, luego que llega a esa temperatura colocamos la panca de choclo en las respectivas ollas y lo dejamos hervir durante 90 minutos.

Foto N°7



Fuente: Elaboración propia

Foto N°8



Fuente: Elaboración propia

Pasado del tiempo lo colocamos en la estufa a 65°C durante 1 hora

Lavado y neutralización

En el siguiente paso, el peso de la panca de choclo de 200 g ahora es de 26 g y el peso de la panca de 400 g ahora es de 30 g. Entonces realizamos los cálculos y obtuvimos que necesitamos pesar 10 g de ácido acético para la panca de 26 g y 15 g de ácido acético para la panca de 30 g.

Se lavaron en agua potable ambas fibras y en una olla colocamos el ácido acético y agua destilada hasta que cubra toda la fibra para ambos, vamos lavando y controlando que su pH esté entre 4.5-5. El tiempo es relativo pero en este caso salió en 30 minutos más o menos. Una vez que ya tenemos el pH como lo esperado botamos el agua y enjuagamos con agua potable.

Blanqueamiento

En el proceso de blanqueamiento debido al tiempo aceleramos colocando una buena cantidad de NaClO. Para la fibra de panca de choclo de 26 g colocamos 15 g de NaClO + 500 mL de agua destilada y para la panca de 30 g colocamos 22 g de NaClO + 500 mL de agua destilada.

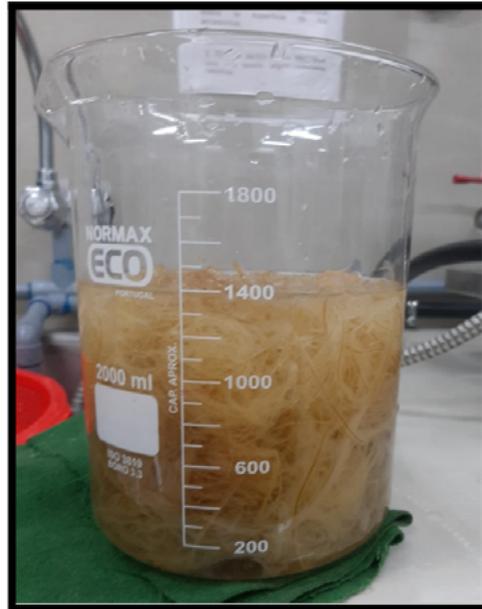
Colocamos ambas soluciones en 2 vasos de precipitado de 1800 mL, colocamos las fibras según su respectivo vaso de precipitado y le añadimos a ambas 100 mL de agua destilada, seguimos añadiendo agua destilada hasta que cubra toda la fibra aproximadamente 800 mL más. Los dejamos remojando durante 40 minutos pero esto puede variar depende de qué tan rápido veas que se está blanqueando, una vez culminado el tiempo procedemos a botar las soluciones y lavamos con abundante agua.

Foto N°9



Fuente: Elaboración propia

Foto N°10



Fuente: Elaboración propia

Escarmenado

Este proceso se realiza para separar los hilos que se encuentran enredados; y tener mayor facilidad para obtener la fibra, siempre teniendo cuidado que no se rompa la fibra y obtener los hilos de mayor longitud para realizar el producto.

Teñido

Esta parte es opcional, pero para darle color al producto que vamos a realizar le añadimos color para que se vea más bonito y llamativo. Para este paso utilizamos los colorantes Escarlata BNLE al 2% en 56 ml de agua blanda y Rojo FBB al 0.7% en 19.6 ml, ambas soluciones las ponemos a calentar hasta que se disuelvan para cada colorante. Una vez que ya se tiene la solución, combinamos ambos un poco de cada colorante y lo colocamos en un vaso de precipitado de 1800 mL, colocamos 0.42 g de humectante y 0.42 g de secuestrante, todo ello lo llevamos al vaso de precipitado y añadimos agua blanda hasta llegar a 840 mL. Una vez que se coloca todo le añadimos la fibra de 30 g, lo ponemos a hervir hasta que llegue a 90°C punto de ebullición y luego en vaso aparte disolvemos la sal textil una vez obtenida la solución lo agregamos al vaso en ebullición; y lo dejamos hervir durante 40 minutos, pasado este tiempo lo dejamos enfriar hasta que llegue a 50°C y por últimos procedemos a lavarlo 2 veces con agua que esté a 40°C de temperatura.

Foto N°11



Fuente: Elaboración propia

Foto N°12



Fuente: Elaboración propia

FIBRAS TEXTILES NATURALES A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES: INSPIRACIÓN EN AGRALOOOP

Natural textile fibers from plant waste: inspiration in AGRALOOOP

Dassy Tamani Manuyama

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: dassy.tamani@unmsm.edu.pe

Lady Huamán Baldeón

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: lady.huaman1@unmsm.edu.pe

Sebastián Panduro Guevara

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: sebastian.panduro@unmsm.edu.pe

Coralí Salón Puerta

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: corali.salon@unmsm.edu.pe

Resumen: El presente estudio se centra en la extracción de fibras a partir de residuos vegetales, específicamente de la panca del choclo (*Zea mays*) y la vaina de la arveja (*Pisum sativum*), para su uso en la industria textil. Se utilizaron métodos de pretratamiento e hidrólisis alcalina para obtener celulosa. Los resultados evidencian que los residuos vegetales constituyen una fuente viable de fibras textiles con propiedades óptimas para su utilización en diversos artículos. Este estudio se fundamenta en la metodología de Agralooop, destacando su innovación en el uso de residuos agrícolas y su contribución a la sostenibilidad y la economía circular.

Palabras clave: Extracción de fibras, residuos vegetales, celulosa, industria textil, sostenibilidad, Agralooop.

Abstract: The present study focuses on the extraction of fibers from plant residues, specifically from the kernel of the corn (*Zea mays*) and the pod of the pea (*Pisum sativum*), for use in the textile industry. Pretreatment and alkaline hydrolysis methods were used to obtain cellulose. The results show that plant waste constitutes a viable source of textile fibers with optimal properties for use in various articles. This study is based on the Agralooop methodology, highlighting its innovation in the use of agricultural waste and its contribution to sustainability and the circular economy.

Keywords: Fiber extraction, plant residues, cellulose, textile industry, sustainability, Agralooop.

1. Introducción

La constante demanda de fibras textiles sostenibles ha impulsado la exploración de residuos vegetales como una fuente alternativa. La empresa Agralooop ha demostrado la viabilidad de transformar residuos agrícolas en fibras textiles de alta calidad, promoviendo la sostenibilidad y la economía circular. Este estudio se centra en la extracción de celulosa de la panca del choclo (*Zea mays*) y la vaina de la arveja (*Pisum sativum*), empleando métodos químicos sostenibles para evaluar su viabilidad y eficiencia, basándose en la metodología de Angamarca y Plaza Zamora (2023). La investigación busca contribuir a la reducción de desechos vegetales y fomentar la producción de textiles sostenibles.

Antecedentes

La investigación sobre la extracción de fibras textiles a partir de residuos vegetales ha ganado relevancia debido a la necesidad de encontrar soluciones sostenibles y ecológicas en la industria textil. En este contexto, Agralooop se presenta como una innovadora tecnología concebida por Circular Systems, prometiendo alterar fundamentalmente la producción de fibras textiles (Circular Systems, s.f.). Este procedimiento transforma los residuos de cultivos agrícolas en fibras naturales de alto valor y sostenibles mediante procesos de pretratamiento e hidrólisis enzimática. Agralooop combina estos residuos para obtener fibras que son más sostenibles.

Por otra parte, en Ecuador se han realizado investigaciones en la obtención de fibras textiles a partir de residuos agrícolas como hojas de piña, bagazo de caña y hojas de maíz. La extracción de celulosa en estos casos se llevó a cabo utilizando NaOH, seguido de un proceso de blanqueo con NaClO. Entre los residuos evaluados, la fibra de coco mostró mejores propiedades para el hilado manual (Zhapán & Mosquera, 2019, p. 30).

La investigación previa llevada a cabo por Matute Angamarca y Plaza Zamora (2023), se enfocó en la elaboración de fibras textiles mediante la extracción de celulosa de residuos agrícolas generados en el Mercado Simón Bolívar de Riobamba. Este proyecto de investigación brindó la base metodológica para el procedimiento empleado en este estudio, centrado en la obtención de fibras naturales a partir de la panca del choclo (*Zea mays*) y la vaina de la arveja (*Pisum sativum*), mediante diversos procedimientos para obtener la celulosa.

Los métodos y procesos anteriores han sido una fuente de inspiración para la presente investigación, la cual pretende obtener fibras sostenibles para la industria textil a partir de residuos vegetales, utilizando métodos respetuosos con el medio ambiente. Asimismo, estudios sobre la extracción de celulosa a partir de hojas de maíz han demostrado la eficacia de combinar tratamientos mecánicos y alcalinos con el fin de obtener fibras de alta calidad (Mayta-Paucara et al., 2023).

Estas investigaciones resaltan el potencial de los residuos vegetales como fuente de fibras textiles, ofreciendo una alternativa viable y sostenible a las fibras sintéticas, y contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental de la industria textil.

2. Metodología

2.2. Materiales y reactivos

Se emplearon los siguientes residuos vegetales para la extracción de la fibra celulósica:

- 500 g Panca de choclo (*Zea mays*)
- 500 g Vainas de arveja (*Pisum sativum*)

Además; se usó agua destilada, aguablanda, NaOH (hidróxido de sodio), H₂O₂ (peróxido de hidrógeno), CH₃COOH (ácido acético). Y materiales de laboratorio y caseros como:

- Vaso de precipitado
- Balanza analítica
- Reverberos
- Pipeta graduada
- Balón aforado
- Varilla de agitación
- Estufa/horno
- Colador
- Fuentes y ollas

2.3. Procedimiento

Recolección y Preparación: Las hojas de maíz (*Zea mays*) y vainas de arveja (*Pisum sativum*) se recolectaron de la sección de vegetales de mercados locales.

Lavado: Los residuos vegetales se lavaron con agua blanda para eliminar cualquier impureza como tierra, polvo y otros que pudieran afectar los siguientes procesos.

Pretratamiento: Se preparó una solución de NaOH (hidróxido de sodio) al 0,35% en un balón aforado de 500 mL. seguidamente en un vaso de precipitación de 2L, se añadió la solución de NaOH (hidróxido de sodio) y agua destilada hasta los 1500 mL. La solución se llevó a ebullición. Luego se colocaron las muestras lavadas en la solución en ebullición y se mantuvieron durante 90 minutos.

Primer secado: La materia pretratada se retiró de la solución, se eliminó el exceso de agua y se colocó en bandejas. Luego, se secaron en una estufa a 65°C durante 4 horas.

Hidrólisis Alcalina: El material pretratado se sumergió en una solución de NaOH (hidróxido de sodio), con el objetivo de separar la lignina y la hemicelulosa de la celulosa presente en la muestra.

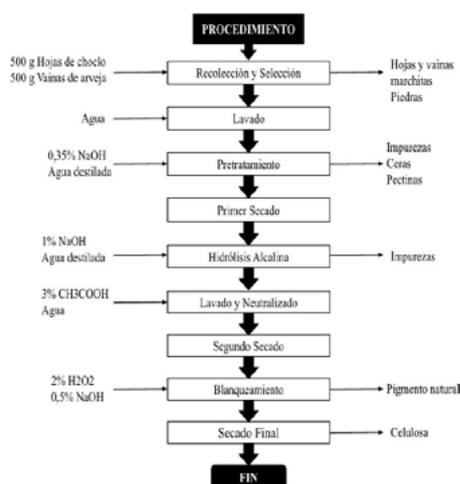
Lavado y Neutralización: Se lavó con agua destilada y se neutralizó con ácido acético al 1%.

Segundo secado: Las fibras neutralizadas se secaron al aire libre por un día para asegurar que se eliminara toda la humedad residual.

Blanqueamiento: Primero se preparó una solución de NaOH (hidróxido de sodio) al 0.5% y H₂O₂ al 2% (peróxido de hidrógeno) en un balón aforado de 500 mL. Luego las fibras se colocaron en vasos de precipitación con 100 mL de la solución de NaOH y otros 100 mL de la solución de H₂O₂, se agitaron cada 10 minutos y se dejaron reposar por 40 minutos. Y por último las fibras blanqueadas se lavaron con abundante agua destilada para eliminar cualquier residuo de NaOH y H₂O₂.

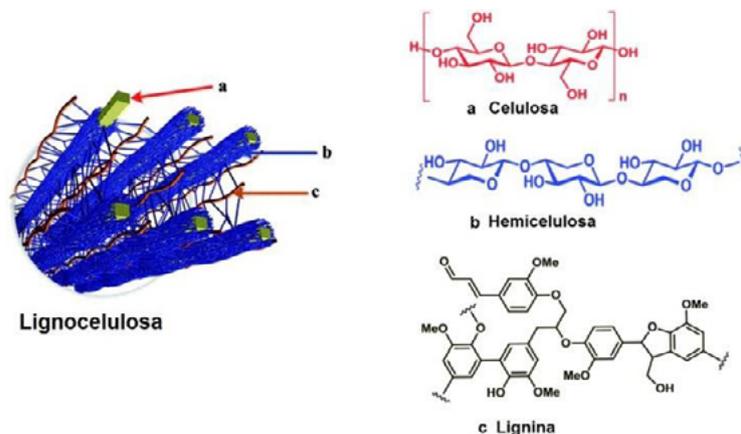
Secado final: Las fibras celulósicas obtenidas se secaron al aire libre por un día.

Figura N°1: Diagrama de procedimiento de extracción



2.4. Determinación de fibra celulósica

Figura N°2: Biomasa lignocelulósica, (a) Celulosa, (b) hemicelulosa, (c) Lignina



Fuente: Brandt, Gräsvik, Hallett y Welton (2013); Kobayashi y Fukuoka (2013).

Cada procedimiento realizado tuvo como objetivo final la separación de la celulosa de la lignocelulosa y lignina en las muestras de panca de choclo (*Zea mays*) y vaina de arveja (*Pisum sativum*).

2.5. Proceso de hilado

El proceso de hilado, en general, se refiere a la acción de torcer fibras animales o vegetales con el objetivo de obtener un hilo continuo y en expansión infinita para tejer (FYI Tester, 2023).

La hilatura por torsión manual es un procedimiento mecánico empleado para convertir las fibras textiles en hilos mediante la torsión. Durante este proceso, las fibras se estiran y retuercen, resultando en una estructura firme y unida.

3. Resultados y discusión

En primer lugar, los resultados de la extracción de fibras celulósicas a partir de la panca de choclo (*Zea mays*) y la vaina de arveja (*Pisumsativum*) revelan el potencial de estos residuos vegetales como una fuente viable de fibras para la industria textil. A través de los procedimientos de pretratamiento e hidrólisis alcalina, se logra una separación efectiva de la celulosa de otros componentes lignocelulósicos.

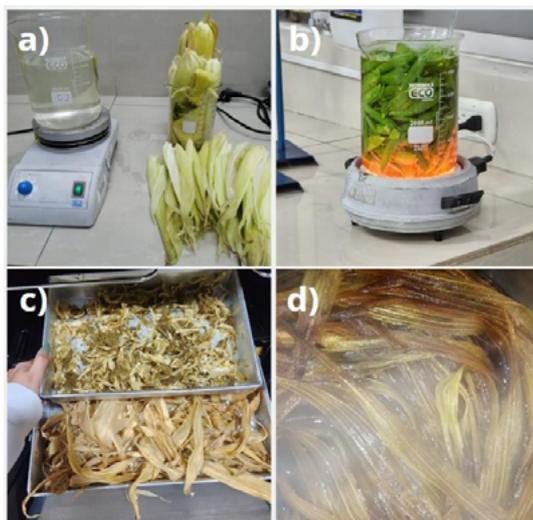
Además, las fibras extraídas de la panca de choclo (*Zeamays*), exhibieron una adecuada cohesión y resistencia, a la par de las características del cáñamo y el lino. No obstante, el proceso de blanqueo no logró una decoloración completa, lo que indica la necesidad de optimizar este proceso para mejorar la pureza visual del producto final.

Por otro lado, las fibras obtenidas de la vaina de arveja (*Pisum sativum*) presentan propiedades mecánicas apropiadas para su uso textil, aunque con una menor resistencia en comparación con las fibras de panca de choclo (*Zeamays*). La variabilidad en la calidad de las fibras puede deberse a las diferencias intrínsecas en la composición de los residuos vegetales utilizados.

Mediante la metodología de Agralooop, se destaca la relevancia de la innovación en la utilización de residuos agrícolas. La metodología Agralooop ha demostrado su eficacia en la producción de fibras sostenibles. Este estudio ha seguido una línea similar, demostrando que, mediante ajustes y optimizaciones, es factible replicar el éxito de Agralooop en otros contextos.

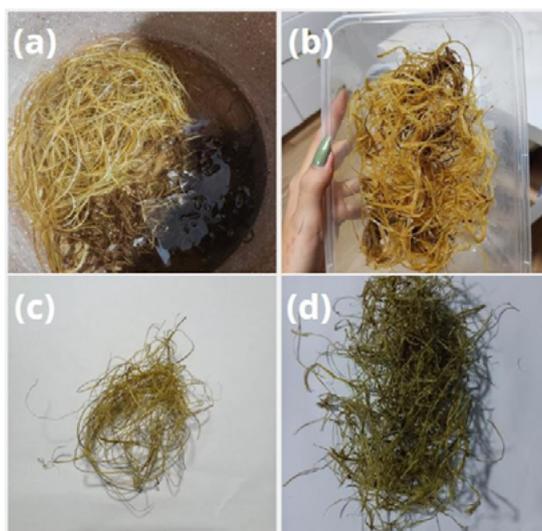
Asimismo, la utilización de residuos vegetales no solo proporciona una alternativa viable a las fibras sintéticas, sino que también contribuye significativamente a la economía circular y la disminución de los desechos agrícolas. Este enfoque sostenible tiene la capacidad de disminuir la dependencia de recursos no renovables y disminuir el impacto ambiental en la industria textil.

Figura N°3: Recolección y preparación (a), pretratamiento (b), primer secado (c), hidrólisis alcalina (d).



Fuente: Elaboración propia

Figura N°4: Blanqueo(a), secado final(b), fibra de panca (c), fibra de arveja (d).



Fuente: Elaboración propia

Figura N°5: Resultado del hilado por torsión manual (mezcla íntima).



Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

- La extracción de fibras de celulosa a partir de residuos vegetales, concretamente de la panca de choclo (*Zea mays*) y la vaina de arveja (*Pisum sativum*), ha demostrado ser una técnica viable y prometedora para la industria textil. Los resultados de este análisis, basado en la metodología de Agralooop, evidencian la viabilidad de producir fibras textiles de alta calidad mediante métodos químicos sostenibles.
- La extracción y tratamiento de los residuos vegetales pueden producir fibras de celulosa con propiedades mecánicas apropiadas para aplicaciones textiles.
- La utilización de residuos para la producción de fibras textiles no solo contribuye a disminuir los desechos, sino también fomenta una economía circular al armonizar los principios de sostenibilidad ambiental.
- En cuanto, a la metodología empleada en este estudio, inspirada en Agralooop, destaca la relevancia de continuar explorando y adaptando tecnologías innovadoras para la fabricación de textiles sostenibles. La mejora de estos procedimientos puede propiciar la viabilidad comercial y la adopción a gran escala.
- Finalmente, esta investigación establece las bases para el desarrollo de tecnologías sostenibles en la industria textil y representa un paso significativo hacia la reducción del impacto ambiental a través del aprovechamiento de residuos vegetales. Al convertir estos residuos en materias primas valiosas, no solo se reduce el número de desechos que terminan en los vertederos, sino que también se fomenta una economía circular que maximiza el uso de recursos naturales. Este enfoque innovador puede transformar la estructura de la industria textil, reduciendo la dependencia de fibras tradicionales que a menudo requieren procesos de producción intensivos en recursos y energía.

5. Referencias

- Agralooop: sistemas circulares. (Dakota del Norte). Sistemas circulares. Obtenido el 18 de junio de 2024 de <https://circularsystems.com/agralooop>
- Matute Angamarca, K. N., & Plaza Zamora, M. de L. Á. (2023). Elaboración de fibras textiles a partir de la extracción de celulosa de residuos agrícolas generados en el mercado Simón Bolívar de Riobamba [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20350>
- Zhapán, M. & Mosquera, J. (2019). Obtención de fibras textiles a partir de Residuos Orgánicos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20350>
- Jácome Pilco, C. R., Carrillo Davila, J. D., Taco Amangandi, N. M., & Pasto Tandapilco, M. V. (2023). Obtención de fibras textiles a partir de residuos orgánicos: Obtaining textile fibers from organic waste. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(1). <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.355>
- Mayta Paucara, S. M., Quintana Caceda, M. E., Norabuena Meza, E. W., & Tello Sánchez, R. A. (2023). Extracción de Celulosa a partir de residuos de hojas de maíz. *Revista TECNIA*, 33(2), 77–93. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v33i2.1676>

Brandt,A.,Gräsvik,J.,hallett,J.PAG., &welton,T.(2013).Deconstrucción de lignocelulósico biomasa con líquidos iónicos. Química verde. <https://doi.org/10.1039/c2gc36364j>

Fyi-Tester. (2023, 18 de febrero). Proceso de hilado: los pasos principales. FYI Tester. Recuperado de <https://fyitester.com/es/proceso-de-hilado/#:~:text=El%20proceso%20de%20hilado%2C%20en,o%20hilo%20mixto%20de%20algod%C3%B3n>

Textil,E.(2019,24enero).Hilados: Características en torsión, resistencia y velloidad. Eureka Textil. <https://eurekatextilrevista.wordpress.com/2017/08/26/hilos-torsion-resistencia/>

REVISTA INGENIERÍA
SIGLO XXI
N°7 Vol. 7 **Abril-2025**

©UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
Calle Germán Amézaga Nro 375-Lima, Perú Teléfono:619-7000 Anexo1814
Correo electrónico: iifi@unmsm.edu.pe
Edición: Abril 2025

Diseño, maquetación y elaboración de carátula: Carlos Alberto Vega Vidal



INGENIERÍA
SIGLO XXI
REVISTA Nº7 Vol.7 Abril-2025
Nº7 Vol. 7
Abril-2025
ISSN: 3028-970X

FACULTAD DE
INGENIERÍA
INDUSTRIAL

