



Gestión del lodo para el mejoramiento del suelo provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cusco

Sludge management for soil improvement from the Cusco wastewater treatment plant

Gestão de lamas para a melhoria dos solos da estação de tratamento de águas residuais de Cuzco

ARTÍCULO ORIGINAL



Maribel Canchari Medina¹ 
mmarimedina@hotmail.com

Carlos Alberto Villafuerte Álvarez¹ 
villafuertealvarezc@gmail.com

César Paniagua Chacón² 
cesarpaniagua2000@yahoo.es

¹Universidad César Vallejo. Lima, Perú

²Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Cusco, Perú

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.366>

Artículo recibido: 18 de marzo 2025 / Arbitrado: 23 de abril 2025 / Publicado: 1 de mayo 2025

RESUMEN

El presente estudio aborda la gestión y aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR de Cusco, en el contexto de la crisis hídrica y la necesidad de soluciones sostenibles. El objetivo principal fue describir la gestión actual de los lodos y su potencial uso agrícola, en línea con la normativa ambiental y los principios de la economía circular. La investigación se desarrolló en Cusco, una región donde la reutilización de aguas residuales y subproductos es aún limitada, pese a la urgencia de fortalecer la infraestructura de saneamiento. Los resultados evidencian que los lodos tratados pueden transformarse en recursos valiosos como compost o abonos, mejorando la fertilidad del suelo y reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos. Sin embargo, persisten desafíos técnicos y normativos que dificultan su aprovechamiento integral. Se concluye que la valorización de lodos es viable y beneficiosa, pero requiere inversiones, actualización normativa y sensibilización de los actores involucrados.

Palabras clave: Economía circular; Gestión ambiental; Lodos de PTAR; Saneamiento; Uso agrícola; Valorización

ABSTRACT

This study addresses the management and utilization of sludge generated at the Cusco WWTP (Wastewater Treatment Plant) within the context of the water crisis and the need for sustainable solutions. The main objective was to describe the current sludge management practices and their potential agricultural use, in line with environmental regulations and circular economy principles. The research was conducted in Cusco, a region where the reuse of wastewater and by-products is still limited, despite the urgency to strengthen sanitation infrastructure. The results show that treated sludge can be transformed into valuable resources such as compost or fertilizers, improving soil fertility and reducing dependence on chemical fertilizers. However, technical and regulatory challenges persist, hindering its comprehensive use. It is concluded that sludge valorization is feasible and beneficial, but requires investments, regulatory updates, and increased awareness among involved stakeholders.

Key words: Circular economy; Environmental management; WWTP sludge; Sanitation; Agricultural use; Valorization

RESUMO

Este estudo aborda a gestão e o aproveitamento dos lodos gerados na ETA de Cusco, no contexto da crise hídrica e da necessidade de soluções sustentáveis. O objetivo principal foi descrever a gestão atual dos lodos e seu potencial uso agrícola, em consonância com a legislação ambiental e os princípios da economia circular. A pesquisa foi realizada em Cusco, uma região onde a reutilização de águas residuais e subprodutos ainda é limitada, apesar da urgência de fortalecer a infraestrutura de saneamento. Os resultados demonstram que os lodos tratados podem se transformar em recursos valiosos, como composto ou fertilizantes, melhorando a fertilidade do solo e reduzindo a dependência de fertilizantes químicos. No entanto, desafios técnicos e regulatórios ainda dificultam seu uso integral. Conclui-se que a valorização dos lodos é viável e benéfica, mas requer investimentos, atualizações regulatórias e sensibilização dos atores envolvidos.

Palavras-chave: Economia circular; Gestão ambiental; Lodos de ETA; Saneamento; Uso agrícola; Valorização

INTRODUCCIÓN

La crisis hídrica ha impactado a millones de personas en todo el mundo, planteando serias amenazas para la sostenibilidad, el desarrollo equitativo y la estabilidad social. Alrededor del 50% de la población mundial enfrenta escasez de agua al menos una vez al año, y el 25% se encuentra bajo un estrés hídrico severo, utilizando más del 80% de su disponibilidad anual de agua dulce.

Este desafío se ha visto agravado por el cambio climático, que genera variaciones extremas en la disponibilidad de agua, afectando especialmente a las regiones más vulnerables. Además, la insuficiencia en el tratamiento de aguas residuales en países de bajos ingresos ha contribuido a la contaminación de los recursos hídricos, mientras que, en economías más desarrolladas, las escorrentías agrícolas constituyen un reto importante para la calidad del agua (Programa Mundial de la UNESCO, 2024).

La gestión de aguas residuales es un reto fundamental que incide directamente en la salud pública, la protección ambiental y el desarrollo económico. Alrededor del 56% de las aguas residuales domésticas reciben tratamiento seguro, pero existen marcadas desigualdades regionales, ya que cerca de la mitad de las aguas residuales a nivel mundial se descarga sin tratamiento, deteriorando los ecosistemas acuáticos y afectando la calidad de vida de las comunidades cercanas (Naciones Unidas, 2021). En los países en desarrollo, la falta

de infraestructura y recursos económicos limita el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la gestión del agua.

La demanda de agua ha crecido aproximadamente un 1% anual, impulsada principalmente por el uso agrícola, que representa cerca del 70% del consumo global. Para lograr el acceso universal al agua y saneamiento, se estima que se requieren inversiones de 114 mil millones de dólares anuales hasta 2030 (Programa Mundial de la UNESCO, 2024), lo que resalta la necesidad de fortalecer la infraestructura de saneamiento en la región.

Investigaciones como las del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2023) sugieren que, mediante políticas y tecnologías adecuadas, las aguas residuales podrían convertirse en un recurso valioso, capaz de cubrir hasta el 10% de la demanda mundial de agua para riego agrícola, además de ofrecer alternativas sostenibles para la generación de energía y la reducción del uso de fertilizantes. La valorización de las aguas residuales también podría contribuir a mitigar el cambio climático, ya que los efluentes no tratados emiten gases de efecto invernadero comparables a los de la industria aeronáutica.

El Banco Mundial (2020) ha enfatizado la necesidad de invertir en infraestructura para el manejo adecuado de aguas residuales y la importancia de fortalecer los marcos regulatorios que permitan su reutilización segura. Igualmente,

resalta la colaboración internacional y la innovación en modelos de financiamiento para transformar una fuente de contaminación en una oportunidad de desarrollo, generando ahorros operativos y recursos valiosos para la agricultura, promoviendo así la economía circular tanto en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) como en las comunidades agrícolas.

En América del Sur, países como Chile y Uruguay han alcanzado coberturas superiores al 99% en servicios de agua potable y saneamiento, mientras que en Perú y Bolivia el acceso adecuado aún está por debajo del 70% y 50% respectivamente, y en Ecuador solo se trata aproximadamente el 5% de las aguas residuales (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019; citado en Alvarado y Marrache, 2020; Izurieta, 2020).

En Perú, solo una pequeña parte de las aguas residuales tratadas es reutilizada, mientras que la mayor parte se desecha, desaprovechando el potencial de los subproductos derivados del tratamiento para su uso agrícola y en otras actividades productivas (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2022). El avance tecnológico ha supuesto un reto para el Instituto Nacional de Calidad, ya que muchas industrias emplean tecnologías obsoletas que no cumplen con los estándares actuales, dificultando los análisis de control de calidad del agua.

Por ello, el tratamiento de aguas residuales y sus derivados, como los lodos, suele estar limitado

por restricciones financieras y de recursos, lo que impide la adopción de tecnologías avanzadas o el mantenimiento adecuado de la infraestructura (MINAM, 2021). Según el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento en su artículo N° 015-2017-VIVIENDA (2017), estas deficiencias han llevado a que los lodos no estén estabilizados, y el 50% de las PTAR que usan lagunas de estabilización carecen de sistemas adecuados para la remoción de lodos. Además, muchas de estas plantas enfrentan problemas de sobrecarga orgánica o hidráulica.

El Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (2022) ha identificado la saturación de las lagunas de oxidación como uno de los problemas más graves; se estima que el 85% de estas lagunas están llenas de lodo, lo que reduce su capacidad de tratamiento y afecta el funcionamiento del sistema. Los lodos generados en las PTAR, aunque contienen residuos orgánicos de origen vegetal y animal, representan un reto por su volumen y composición, pero también ofrecen oportunidades para la agricultura si se tratan y estabilizan conforme a la normativa.

El lodo puede transformarse en recursos útiles como compost o emplearse en lombricultura, mejorando la calidad del suelo y promoviendo la agricultura orgánica. Los microorganismos presentes en el lodo aceleran la descomposición de la materia orgánica, convirtiéndolo en un recurso valioso para la fertilidad y sostenibilidad agrícola.

El uso de lodos como abono mejora la calidad y fertilidad del suelo, cierra el ciclo de nutrientes y reduce la dependencia de fertilizantes químicos; al aplicar este enfoque en las PTAR, se disminuye el volumen de residuos y se facilita el uso de agua tratada en agricultura, aumentando la resiliencia del sector agrícola (Raheem et al., 2018). En Cusco, se han dado pasos hacia la economía circular, como la venta de lodos como fertilizante por la PTAR de San Jerónimo, lo que representa un esfuerzo por reutilizar los subproductos del tratamiento (Paredes, 2019).

Esta investigación se enmarca en el ODS 6, orientándose a mejorar la calidad del agua y fomentar el reciclaje seguro de los lodos, potenciando la sostenibilidad agrícola y el entorno natural, así como el bienestar de las comunidades locales (United Nations Sustainable Development, 2023).

La aplicación de estos lineamientos en la gestión de los lodos de la PTAR de Cusco convierte un residuo en un recurso útil para la agricultura y la mejora del suelo, disminuyendo los impactos ambientales y fomentando su reaprovechamiento en compostaje y fertilización orgánica, lo que incrementa la productividad agrícola y reduce la necesidad de abonos químicos.

El objetivo general de este estudio es describir la gestión actual de los lodos generados por la PTAR de Cusco y su potencial para aplicaciones en el sector agrícola, conforme a la normativa ambiental y los beneficios económicos de la economía circular.

Marco teórico

Diversos estudios internacionales han sido considerados en esta investigación. Centeno et al. (2024) examinan el tratamiento de aguas residuales en Costa Rica desde una perspectiva tecnológica, enfocándose en los sistemas anaeróbicos y la recuperación de subproductos como energía, agua y nutrientes. Para ello, se empleó una metodología mixta que incluyó el análisis de bases de datos institucionales, encuestas a expertos y talleres participativos con técnicos y académicos nacionales. Los resultados indicaron que la mayoría de las plantas de tratamiento emplean tecnologías aeróbicas, especialmente lodos activados, debido a la experiencia técnica existente, mientras que las tecnologías anaeróbicas son poco utilizadas.

Se observó que los sistemas anaeróbicos presentan menores niveles de cumplimiento de los estándares de vertido, salvo cuando se complementan con tratamientos aeróbicos. A nivel institucional, se identificaron carencias normativas, falta de liderazgo claro y ausencia de incentivos para la adopción de tecnologías innovadoras. También se detectaron obstáculos económicos, como la falta de sostenibilidad financiera de los proyectos y la limitada capacidad de pago de los usuarios. En síntesis, los autores concluyeron que es fundamental actualizar el marco normativo, fortalecer la capacitación técnica, incentivar la investigación en sistemas anaeróbicos y promover la economía circular para alcanzar un saneamiento universal y sostenible.

Por su parte, Ararat (2023) se enfocó en los efectos de reemplazar materiales tradicionales de construcción por productos derivados de lodos de PTAR, utilizando un estudio de casos para evaluar la viabilidad e impacto del uso de desechos en la construcción. Se encontró que el uso de lodos de PTAR en la producción de concreto disminuyó la dependencia de recursos naturales y la generación de residuos, promoviendo prácticas responsables y sostenibles en la industria de la construcción. El estudio resaltó los beneficios ambientales y económicos del reciclaje de materiales e incentivó a las industrias a adoptar enfoques sostenibles, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

Aller (2023) abordó la gestión eficiente de lodos generados en plantas industriales, analizando alternativas de uso, viabilidad y fomento de la economía circular. A través de un análisis exploratorio, se determinó que los lodos tratados pueden ser utilizados de manera efectiva en el compostaje, lo que mejora las propiedades del suelo y favorece la productividad agrícola y la sostenibilidad.

Ghimire et al. (2021) examinó el impacto de la economía circular en las plantas de tratamiento de aguas residuales en Europa mediante una revisión sistemática, destacando que los lodos residuales, bien gestionados, pueden emplearse como fertilizantes, cerrando el ciclo de nutrientes y reduciendo la dependencia de productos químicos. Además, el uso de aguas tratadas en la agricultura

demonstró mejorar la resiliencia de los cultivos frente a condiciones adversas.

Ramírez-Calderón et al. (2021) analizaron las características fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos en la PTAR de Acapulco, México, para determinar su idoneidad en el compostaje conforme a la normativa ambiental mexicana. Los resultados mostraron que los nutrientes, patógenos y metales pesados no siempre cumplen con los estándares mínimos de la NOM-004-SEMARNAT-2002, y el producto final tampoco cumplió con la NMX-AA-180-SCFI-2018. Se concluyó que, aunque los lodos pueden mejorar la calidad del suelo y ser aplicados en usos agrícolas y forestales, no son aptos para aplicaciones urbanas con contacto directo.

En el ámbito nacional, Mory y Salinas (2024) señalaron que la producción de lodos puede causar contaminación si no se gestiona adecuadamente. Su estudio experimental sobre el reciclaje de aguas residuales y el uso de lodo seco como fertilizante demostró que los lodos secos contienen suficiente nitrógeno y fósforo para su uso agrícola, promoviendo prácticas sostenibles. Además, se destacó que el manejo de lodos representa un costo operativo considerable para las plantas de tratamiento, pero su valorización puede reducir gastos y generar ingresos mediante la venta de fertilizantes. Ambientalmente, reciclar nutrientes en el suelo disminuye la dependencia de fertilizantes químicos y favorece la economía circular.

Pacheco et al. (2023) buscaron optimizar los procesos de la PTAR Doris Mendoza en Concepción, Junín, ante problemas de ineficiencia y altos costos energéticos. Mediante un análisis técnico y estructural, recalcularon caudales y ajustaron parámetros operativos, logrando una degradación eficiente de la materia orgánica y una mayor estabilidad del sistema. El rediseño técnico propuesto permitió un tratamiento más eficiente y una gestión integral de mejora continua.

Gil y Natividad (2023) investigaron la deshidratación de lodos en la PTAR de Santa Clara, Lima, para reducir su volumen y evaluar su uso como fertilizante. Usando un secador conectivo rotacional y enalado, lograron una humedad mínima del 17.74% y eliminaron E. coli, sin detectar huevos de helmintos. El lodo deshidratado contenía nutrientes y niveles permitidos de metales, sugiriendo su posible reutilización agrícola bajo condiciones controladas.

Chipana (2022) evaluó el potencial de reutilización agrícola de lodos de la PTAR “La Escalerilla” en Arequipa, donde el 98% de las aguas residuales se tratan, aunque la gestión de lodos requiere mejoras. La caracterización de los lodos mostró cumplimiento de la NTP 311.557:2013, con parámetros microbiológicos aptos para uso agrícola y una eficiencia del 94.42% en la eliminación de aceites y grasas, demostrando la efectividad del proceso.

Espinoza y Santos (2021) analizaron siete PTAR gestionadas por la Empresa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, caracterizando la producción de lodos y evaluando su potencial como fertilizante. A través de entrevistas, detectaron interés en el uso agrícola de lodos, condicionado a la mejora de su calidad, y señalaron su potencial energético. Se destacó la necesidad de integrar aspectos ambientales, comerciales y legales para desarrollar prácticas sostenibles que beneficien al ambiente y la economía.

De acuerdo con Smol (2023) el tratamiento inadecuado de lodos puede liberar contaminantes y patógenos al ambiente, afectando la biodiversidad y la calidad del agua. Existen lineamientos internacionales y nacionales para mejorar la gestión de lodos. En Europa, políticas como la Directiva de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas (1991), los Planes de Acción para la Economía Circular (2015 y 2020), el Reglamento sobre el Reúso del Agua (2020), el Programa de Residuos Cero (2014) y el Pacto Verde Europeo han impulsado la modernización de las plantas hacia la economía circular.

En Perú, la Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA y el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA establecieron normas para el manejo y reaprovechamiento de lodos y biosólidos, diferenciando su aplicabilidad y estableciendo requisitos de calidad, toxicidad

e higiene. Estas normativas también regulan el registro y supervisión de productores y comercializadores de biosólidos. El Decreto Supremo N° 016-2021-VIVIENDA y el Decreto Legislativo 1620 permiten la comercialización de residuos y subproductos generados en el tratamiento de aguas, favoreciendo la recuperación de recursos y la protección ambiental (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2017; 2021; 2023).

Según Pacheco et al. (2023), la gestión de lodos es clave para la eficiencia y sostenibilidad de las plantas de tratamiento. Salcedo et al. (2007) destacan que su aplicación en suelos agrícolas mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, aumentando la materia orgánica, la retención de humedad y el aporte de nutrientes, lo que beneficia el desarrollo de cultivos. El manejo de lodos implica su tratamiento y disposición adecuada, y su uso en agricultura promueve la economía circular, especialmente en regiones con escasez de agua y nutrientes (Aller, 2023; Mehmeti y Canaj, 2022).

MÉTODO

El estudio fue de tipo básico, cuyo objetivo fue examinar y explicar la gestión de los lodos procedentes de la PTAR de Cusco, con énfasis en su posible uso en actividades agrícolas como fertilizante y abono. Este enfoque permitió identificar las características, propiedades y

condiciones vinculadas a la gestión de lodos en la zona, enfocándose en caracterizar las prácticas actuales sin intervenir directamente en el proceso.

Se empleó un enfoque cualitativo y un diseño transversal, ya que se buscó comprender las prácticas vigentes de manejo de lodos y su potencial aplicación mediante la recolección de datos no cuantificables, tales como percepciones, experiencias y conocimientos de los participantes, a través de entrevistas y análisis interpretativos. El diseño transversal permitió obtener una visión general de la situación en un periodo determinado.

El diseño de estudio de caso se utilizó para abordar la particularidad y complejidad del fenómeno dentro de su contexto, facilitando una interpretación detallada de los acontecimientos y sus significados. El estudio fue no experimental, dado que no se manipuló la categoría de interés, sino que se observaron los fenómenos tal como ocurrieron en su entorno natural.

La categoría general del estudio fue la gestión de lodos, subdividida en tres categorías específicas: 1) Uso agrícola, 2) Compostaje y 3) Fertilizante. La población estuvo conformada por actores vinculados con la PTAR de Cusco. La muestra, seleccionada, incluyó a 10 técnicos encargados de gestionar los lodos en las instalaciones. Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando individuos disponibles durante la recolección de datos.

La técnica de recopilación de datos fue la entrevista semiestructurada, diseñada para obtener información sobre las prácticas actuales de manejo de lodos, percepciones sobre su uso agrícola y los desafíos para su implementación. El análisis de datos se realizó mediante un método inductivo, identificando patrones, categorías y significados a partir de las observaciones, lo que facilitó la generación de interpretaciones y teorías sobre la gestión y potencial de los lodos en la PTAR de Cusco.

Se garantizó el rigor científico mediante la transparencia en el proceso investigativo y la aplicación de procedimientos validados en la literatura académica para la recolección y análisis de datos. La selección de la muestra aseguró la representación de los actores clave. Además, se aplicaron estrategias de triangulación para corroborar la información obtenida en entrevistas con datos contextuales y análisis documentales, reduciendo sesgos y fortaleciendo la validez de los resultados.

Finalmente, el desarrollo de la investigación se llevó a cabo en estricto cumplimiento de los principios éticos fundamentales. Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes, a quienes se les comunicaron de manera clara y comprensible los objetivos del estudio, garantizando en todo momento la confidencialidad de la información recabada. Asimismo, se fomentó la transparencia y el respeto

hacia los involucrados, procurando minimizar cualquier efecto adverso. Los resultados se orientaron a contribuir al bienestar colectivo y a la promoción de la sostenibilidad ambiental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este artículo presenta los resultados de un estudio sobre la gestión y aprovechamiento del lodo proveniente de una PTAR enfocado en su potencial para el mejoramiento del suelo. A través del análisis realizado se pudo constatar los siguientes resultados:

La nube de palabras mostrada en la Figura 1 y creada con Atlas.ti ofrece una síntesis visual de los términos más frecuentes hallados en el análisis cualitativo de entrevistas, documentos y registros sobre la gestión de lodos en la PTAR de Cusco y su uso en el sector agrícola. Esta representación facilitó la identificación de los conceptos principales, los procesos implicados y los aspectos técnicos, sanitarios y productivos relacionados con la reutilización de los lodos.

Las palabras más relevantes, como “lodos”, “tratados”, “compostaje”, “fertilizantes”, “aplicación” y “suelo”, señalaron que el enfoque central de la investigación giró en torno al tratamiento de los lodos y su conversión en insumos útiles para la agricultura. La inclusión de “tratados” junto a “lodos” destacó la importancia de contar con procesos técnicos que aseguren la seguridad y eficacia del residuo antes de su

La red semántica que se muestra en la Figura 2 permitió, además, comprender de forma estructurada el proceso de gestión de los biosólidos en la PTAR de Cusco y su potencial en la agroindustria, evidenciando un enfoque técnico y sostenible desde el tratamiento inicial hasta su valorización en suelos agrícolas.

El código central “Gestión de lodos” se destacó como el eje principal que articuló todo el proceso. Este concepto abarcó la recolección y tratamiento de los residuos generados en la planta y procesos especializados como el “compostaje”, que aparece en la red vinculada a esta. El compostaje fue una etapa que permitió transformar el lodo estabilizado en un producto homogéneo, higienizado y con mejores propiedades agronómicas, listo para su uso en la agricultura.

A partir de este proceso de compostaje, junto con la higienización y el secado, la gestión culminó en la producción de “Fertilizantes”,

lo cual representó el cierre de una cadena de tratamiento y una estrategia de valorización que convirtió un problema ambiental en un recurso útil. Los fertilizantes derivados del lodo aportaron nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, mejorando la estructura del suelo y favoreciendo el crecimiento vegetal.

El código “Sector Agrario” simbolizó el destino final y estratégico de toda esta cadena de gestión. La red mostró que la adecuada gestión del lodo facilitó su aplicación en la agricultura, interpretándose como un cierre de ciclo enmarcado en la economía circular. Gracias a los controles técnicos, sanitarios y normativos implementados, el fertilizante obtenido fue apto para su uso en cultivos, aportando beneficios como el aumento del rendimiento, la reducción de costos de producción y la mejora en la salud del suelo.

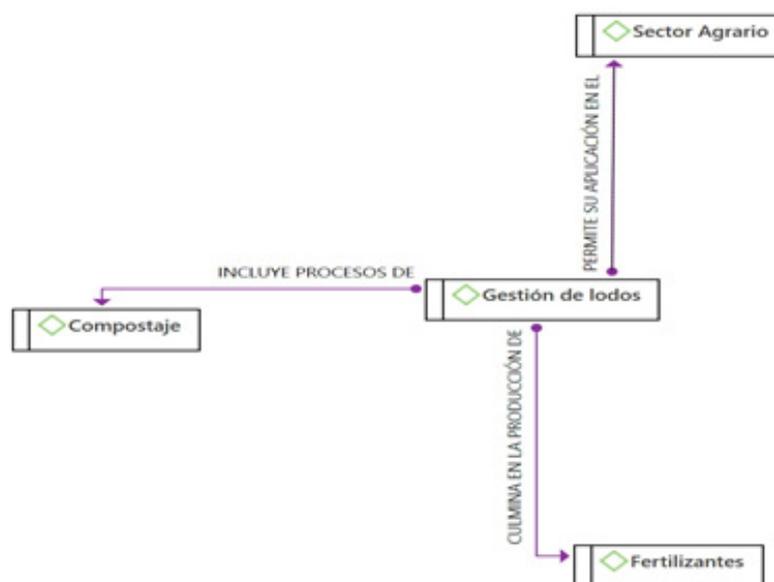


Figura 2. Red semántica de la categoría.

En la Figura 3, respecto a la primera subcategoría, la red de citas facilitó identificar de manera estructurada y relacional el potencial de los lodos generados, respondiendo así al objetivo planteado. A través de los códigos y conexiones identificados, quedó evidenciado que dicho potencial era de carácter agronómico, pero también abarcaba aspectos técnicos, sanitarios y normativos, asegurando un uso seguro y eficiente en la agricultura local. Desde una perspectiva agronómica, la red mostró que los lodos tratados contribuyeron a mejorar la fertilidad del suelo, como se destacó en la cita 5:1 f 3 de la Entrevista 10, en la cual se indicó que estos biosólidos aumentaron significativamente los niveles de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y otros micronutrientes, favoreciendo la porosidad, la aireación radicular y la utilización eficaz del agua.

Asimismo, se evidenció que los lodos aportaron nutrientes esenciales para la agricultura, detalle destacado en la cita 2:18 f 3 de la Entrevista 7, donde se mencionó que los biosólidos mejoraron la capacidad de intercambio catiónico del suelo y aumentaron la disponibilidad de macro y micronutrientes, favoreciendo un crecimiento vegetal más eficiente. No obstante, estos beneficios solo fueron posibles cuando los procesos técnicos y sanitarios estuvieron debidamente garantizados. La red resaltó la importancia del código “Higienización de lodos”, cuyo rol fue fundamental era asegurar un uso seguro en la agricultura. En la cita 7:2 f 6 de la

Entrevista 5, se explicó que los biosólidos pasaron por un proceso de estabilización que disminuyó su capacidad de transmitir organismos patógenos, permitiendo su utilización sin riesgos sanitarios.

Otro aspecto esencial fue el “Control de metales pesados”, que previno posibles riesgos en el sector agrícola. La cita 6:3 f 9 en la Entrevista 3 mostró que se implementó un plan de monitoreo aprobado por la Resolución N° 154-2017 de SEDACUSCO S.A., mediante análisis frecuentes por medio de espectrometría ICP-MS en laboratorios acreditados, garantizando el cumplimiento de las normas para el uso agrícola de los lodos.

Complementariamente, la verificación normativa funcionó como un mecanismo regulador clave. En la cita 2:5 f 12 de la Entrevista 7, se indicó que se revisaron los certificados analíticos, se verificaron las autorizaciones y se proporcionó capacitación a los beneficiarios, asegurando que la aplicación se realizara conforme a la normativa vigente. La trazabilidad en el proceso, como se mencionó en la cita 1:6 f 5 en la Entrevista 6, fue vital para garantizar la transparencia: se entregaba una ficha técnica a los agricultores, estableciendo un mecanismo de seguimiento desde la producción del lodo hasta su aplicación en los campos. Es decir, en las citas 7:13 f 8 y 8:13 f 14-16, quedó comprobado que los biosólidos pasaron por procedimientos analíticos rigurosos, incluyendo digestiones de laboratorio y verificaciones normativas, asegurando su idoneidad para el uso agrícola.

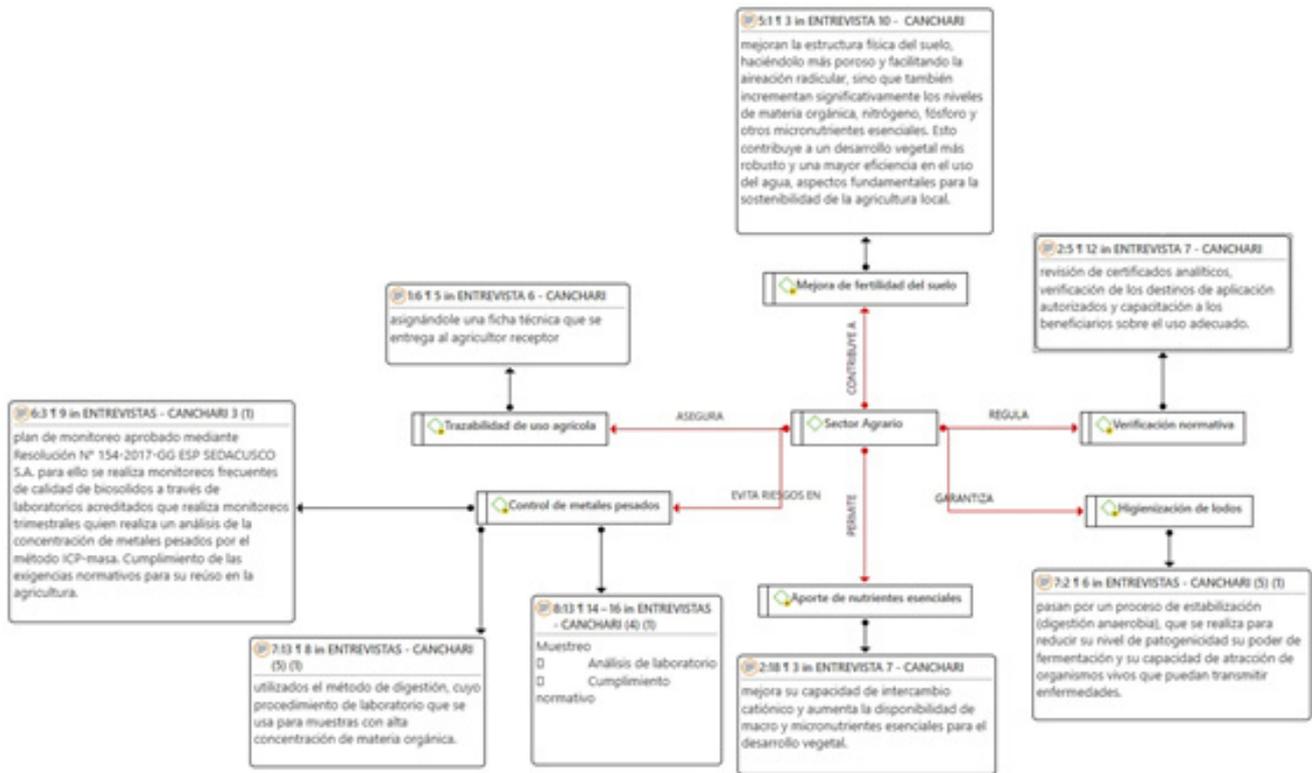


Figura 3. Red de citas de la subcategoría 1

Respecto a la segunda subcategoría Figura 4, la red semántica facilitó una comprensión integral sobre la viabilidad de los lodos, en consonancia con el objetivo propuesto. A través de los códigos y citas interrelacionadas, se interpretó que, una vez estabilizados y adecuados en su manejo, los lodos podían ser transformados en compost de calidad, siempre que se cumplieran los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y las condiciones ambientales establecidas en la normativa nacional.

El nodo central “Compostaje” se vinculó con el código “Técnica de compostaje aeróbico”, identificada como el método predominante en su aplicación. En la cita 5:5 f 16 de la Entrevista 10, se explicó que esta técnica consistió en el uso de

pilas volteadas, favoreciendo una descomposición controlada y promoviendo la oxigenación natural. Gracias a este proceso, se lograron eliminar agentes patógenos y obtener humus de alta calidad, demostrando que el compost generado a partir de lodos era apto para uso agrícola, siempre que se mantuvieran las condiciones controladas del proceso.

Asimismo, la incorporación de material estructurante fue clave. La cita 2:20 f 16 en la Entrevista 7 señaló que el uso de materiales ricos en carbono estimuló la actividad de microorganismos aeróbicos responsables de la estabilización y sanitización del compost. Esto se complementó con la cita 5:5 f 17 en la Entrevista 3, que indicó

que los lodos sometidos a digestión anaerobia en las PTAR, tras un proceso de centrifugado, podían ser utilizados en compostaje previo, garantizando así un sustrato estabilizado y seguro.

Este proceso de estabilización previa fue fundamental para asegurar un sustrato inocuo y mejorar la calidad inicial del lodo, facilitando su posterior tratamiento en compostaje. Desde este punto, la red resaltó que los “Parámetros del compostaje”, como oxígeno, pH, temperatura y humedad, eran esenciales para obtener un compost maduro y sanitariamente seguro. La cita 10:6 f 17 en Entrevista CPCH destacó que mantener variables como temperatura entre 55 °C y 65 °C durante varias semanas era indispensable para lograr una adecuada higienización y generar un compost con buena carga nutricional, especialmente cuando la relación carbono/nitrógeno era óptima.

El cumplimiento de estos parámetros garantizó la “Evaluación sanitaria del compost”, evidenciado en las citas 7:15 f 18 y 6:7 f 27, en las que se detallaron los requisitos del Decreto Supremo N° 015-2017 VIVIENDA, incluyendo límites en metales pesados, coliformes, salmonella, huevos de

helmintos, además de parámetros fisicoquímicos como sólidos totales, humedad y pH. Este control validó la seguridad sanitaria del compost producido.

Por otro lado, la red abordó un componente ambiental clave: el “Control de olores y emisiones”, que contribuyó a mitigar los impactos negativos del proceso. En la cita 2:10 f 25 de la Entrevista 7, se explicó que el volteo frecuente y la regulación de la humedad ayudaron a reducir la formación de compuestos volátiles desagradables. Además, el uso de coberturas estructurantes, como poda triturada, y una aireación rigurosa, evitó la acumulación de gases olorosos, según se indica en la cita 1:11 f 11 en la Entrevista 6.

Asimismo, se utilizaron biocoberturas porosas y biofiltros naturales hechos con astillas de madera para captar compuestos volátiles causantes de malos olores, como se menciona en la cita 4:14 f 25. Las técnicas complementarias, como el uso de aditivos, planificación del sitio, aireación semanal y la aplicación de bicarbonato para neutralizar gases, contribuyeron en conjunto a mejorar las condiciones ambientales del proceso, garantizando así un compost seguro y sustentable.

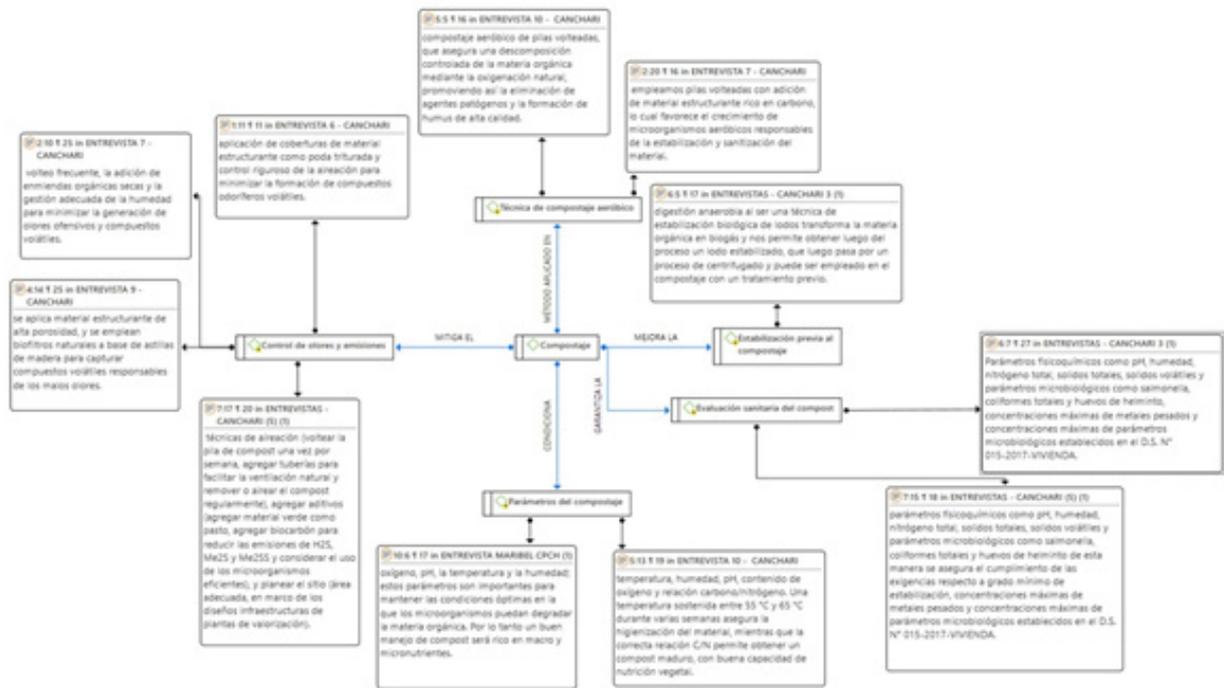


Figura 4. Red de citas de la subcategoría 2.

Respecto a la identificación del potencial de los lodos como fertilizantes (Figura 5), la red semántica evidenció, mediante los códigos, conexiones y citas, que los lodos tratados con condiciones técnicas, normativas, agronómicas y ambientales que respaldan su utilización como fertilizantes orgánicos sostenibles y viables.

En primer lugar, se identificó que el nodo “Fertilizantes” está relacionado con diversos factores que aseguran su aplicación efectiva. Uno de estos fue la “Accesibilidad local del biosólido”, que destacó la disponibilidad constante de este recurso cerca del área agrícola, como se indica en la cita 9:11 f 29. Esta proximidad

facilitó su uso recurrente y logísticamente viable para los agricultores, además de vincularse con los “Beneficios agronómicos y económicos”. En la cita 4:12 f 38 de la Entrevista 9, se menciona que la aplicación del biosólido incrementó los rendimientos en un 20%, redujo costos de producción, minimizó la lixiviación de nutrientes y fortaleció la resiliencia de los cultivos frente al estrés hídrico.

No obstante, para que estos beneficios agronómicos fueran alcanzados, era imprescindible un “Proceso de higienización” adecuado, que garantizara la eliminación de agentes patógenos y asegurara la inocuidad del fertilizante. La cita 8:11

f 40 de la Entrevista 4 explicó que este proceso incluía la deshidratación térmica y la estabilización química del lodo. Complementariamente, la cita 9:10 f 27 aseguró que los lodos son estabilizados, deshidratados y sometidos a controles de parámetros de higienización que confirman la eliminación de patógenos, garantizando así la calidad sanitaria del fertilizante final.

La calidad del producto también dependió del cumplimiento de las normativas técnicas y legales. En la cita 10:10 f 28 de la Entrevista CPCH, se indicó que, para contar con la autorización oficial para usar estos fertilizantes, era necesario cumplir con los parámetros establecidos en el decreto supremo que regula el aprovechamiento de residuos, lo cual contribuyó a consolidar su legitimidad como insumo agrícola.

Además, se define el “Perfil nutricional del fertilizante”, asegurando que aportara los elementos esenciales para los cultivos y estuviera

libre de contaminantes. En la cita 6:9 f 35 de la Entrevista 3, se explicó que se realizó un análisis de estabilización, toxicidad química y parámetros de higienización en conformidad con el D.S. N° 015-2017-VIVIENDA, garantizando que su composición fuera adecuada para nutrir los cultivos sin representar riesgos sanitarios.

Finalmente, la “Sostenibilidad del uso de biosólidos” reforzó la estrategia de emplear estos materiales tratados como fertilizantes, considerándose una práctica más ecológica. La cita 10:12 f 32 en la Entrevista CPCH destacó que su uso reduce emisiones de gases, no contamina el suelo y resulta de bajo coste, haciendo accesible su adopción a pequeños agricultores. Además, su calidad permitió la formalización de convenios regionales y la generación de oportunidades comerciales, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles en línea con los principios de economía circular.

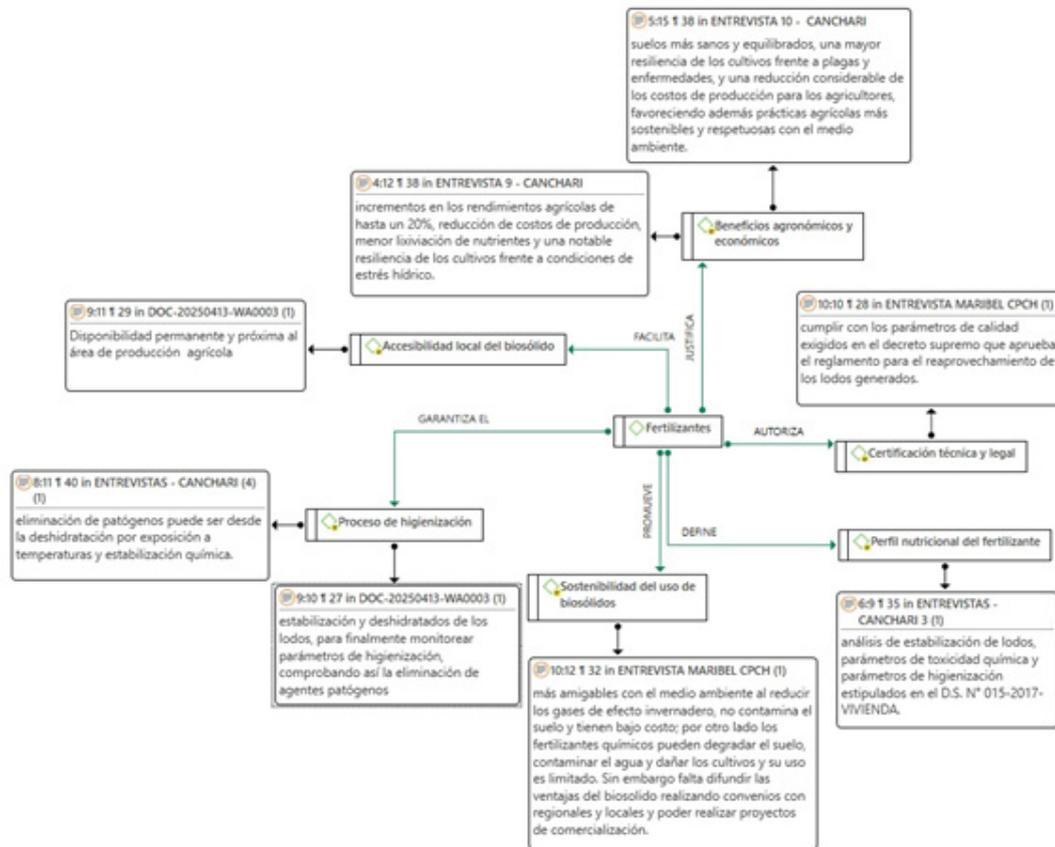


Figura 5. Red de citas de la subcategoría 3.

Discusión

El presente estudio analiza la gestión y el potencial aprovechamiento de los lodos generados por la PTAR de Cusco, con énfasis en su aplicación agrícola y su contribución a la economía circular. Los hallazgos obtenidos coinciden con la literatura nacional e internacional en cuanto a los beneficios ambientales y económicos del uso de lodos tratados como enmienda para suelos, aunque también identifican retos técnicos, normativos y operativos para su implementación a mayor escala.

A nivel internacional, la experiencia europea ha demostrado que la valorización de los lodos de PTAR, cuando se realiza bajo estrictos controles de calidad, permite cerrar el ciclo de nutrientes y reducir la dependencia de fertilizantes químicos, contribuyendo a la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático (Ghimire, 2021). Sin embargo, también se ha evidenciado la necesidad de monitorear contaminantes como metales pesados y patógenos para evitar riesgos a la salud y al ambiente, tal como lo señala Smol (2023).

En el contexto latinoamericano, estudios como el de Ramírez-Calderón et al. (2021) en México y Chipana (2022) en Perú han mostrado que, si bien los lodos pueden cumplir parámetros normativos para uso agrícola, existen desafíos recurrentes relacionados con la variabilidad en su composición y el cumplimiento de estándares de inocuidad. Ramírez-Calderón et al., (2021) encontraron que los lodos de la PTAR de Acapulco no siempre cumplen con los límites para patógenos y metales pesados, limitando su uso a aplicaciones agrícolas y forestales, pero no urbanas. De manera similar, Chipana (2022) reportó que los lodos de la PTAR “La Escalerilla” en Arequipa cumplen con la normativa peruana para uso agrícola, aunque la gestión integral aún requiere mejoras.

En el caso peruano, Espinoza y Santos (2021) identificaron el interés de las empresas operadoras de agua en el uso agrícola de lodos, condicionado a la mejora de su calidad y a la integración de aspectos regulatorios, comerciales y ambientales. El presente estudio coincide en que, pese al potencial de los lodos como fertilizante, la falta de infraestructura moderna y la escasa adopción de tecnologías avanzadas en las PTAR limitan su valorización efectiva. Un ejemplo concreto es la PTAR de San Jerónimo en Cusco, donde la venta de lodos como fertilizante representa un avance hacia la economía circular, aunque persisten desafíos

en el control de calidad y la sensibilización de los agricultores (Paredes, 2019).

En cuanto a la valorización de los lodos, otros autores han destacado su potencial para la producción de compost y su uso en lombricultura (Aller, 2023), así como la posibilidad de emplearlos en la industria de la construcción para reducir el uso de recursos naturales (Ararata, 2023). No obstante, el tratamiento inadecuado de los lodos puede liberar contaminantes y patógenos al ambiente, afectando la biodiversidad y la calidad del agua (Mory y Salinas, 2024).

Se considera que existe una caracterización limitada de los lodos ya que el estudio se basa principalmente en la revisión documental y en la descripción de la gestión actual de los lodos en la PTAR de Cusco, sin una caracterización fisicoquímica y microbiológica exhaustiva de los lodos producidos. Esto limita la capacidad de evaluar con precisión su idoneidad para aplicaciones agrícolas bajo diferentes escenarios y normativas. Además, se concibe la falta de evaluación de impactos a largo plazo porque no se incluye un análisis de los posibles impactos ambientales y sociales a largo plazo derivados del uso de lodos en suelos agrícolas, como la acumulación de metales pesados, la alteración de la microbiota del suelo o la percepción social y aceptación por parte de los agricultores y consumidores.

La gestión y aprovechamiento de los lodos de PTAR como recurso agrícola es una alternativa viable y alineada con los principios de la economía circular, siempre que se cumplan los estándares de calidad y se fortalezcan los marcos regulatorios y operativos. El estudio aporta evidencia relevante sobre el potencial de los lodos como fertilizante, pero también subraya la necesidad de superar limitaciones técnicas y de gestión para garantizar su uso seguro y sostenible. Futuros trabajos deberían profundizar en la caracterización de los lodos, la evaluación de riesgos y beneficios a largo plazo, y el desarrollo de estrategias de sensibilización y capacitación para los actores involucrados.

CONCLUSIONES

El análisis de la gestión y aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR de Cusco revela que, pese a los desafíos técnicos y normativos, existe un alto potencial para su valorización en el sector agrícola. El estudio demuestra que los lodos, correctamente tratados y estabilizados, pueden convertirse en recursos valiosos como compost o abonos orgánicos, contribuyendo a la mejora de la fertilidad del suelo, el cierre del ciclo de nutrientes y la reducción de la dependencia de fertilizantes químicos.

Sin embargo, la realidad nacional muestra que la mayoría de las PTAR en Perú aún enfrentan limitaciones significativas, como la falta de

tecnologías modernas, la insuficiente estabilización de lodos y la ausencia de sistemas adecuados para su remoción y tratamiento. Estos obstáculos dificultan la adopción de prácticas sostenibles y limitan el aprovechamiento de los subproductos del tratamiento de aguas residuales. La experiencia de la PTAR de San Jerónimo, que ha iniciado la venta de lodos como fertilizante, evidencia que es posible avanzar hacia modelos circulares, aunque es indispensable fortalecer los sistemas de control de calidad y sensibilizar a los usuarios finales sobre los beneficios y riesgos asociados.

La revisión de experiencias internacionales y nacionales indica que la gestión eficiente de lodos no solo aporta beneficios ambientales, sino también económicos y sociales. Países europeos y latinoamericanos han demostrado que, mediante políticas adecuadas y la incorporación de tecnologías innovadoras, es factible transformar los lodos de residuo problemático a insumo útil para la agricultura y otras industrias, como la construcción. No obstante, es fundamental garantizar el cumplimiento de las normativas de calidad, toxicidad e higiene para evitar riesgos a la salud y al ambiente, así como promover la investigación y la capacitación técnica de los operadores y usuarios.

En último lugar, se concluye que la valorización de los lodos de PTAR es una estrategia viable y necesaria para avanzar hacia una gestión más

sostenible de los recursos hídricos y agrícolas en el Perú. Para lograrlo, se recomienda fortalecer el marco normativo, invertir en infraestructura y tecnologías modernas, y fomentar la colaboración entre el sector público, privado y la academia. Solo así se podrá garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad en el uso de los lodos, contribuyendo al bienestar de las comunidades y a la protección del entorno natural.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

- Aller Díaz, A. (2023, julio). Alternativas de gestión de lodos de una estación depuradora de aguas residuales industriales [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Cantabria]. Repositorio Institucional UC. <https://hdl.handle.net/10902/29519>
- Alvarado Aldana, J., y Marrache Echaiz, I. (2020). Agua y Saneamiento en el Perú: Estado, retos y reflexiones. *Revista De Derecho Administrativo*, (19), 383-410. Recuperado a partir de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/24314/23121>
- Ararat Gómez, C. A. (2023). Metodología para el uso de lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) para la elaboración de bloques de concreto y su impacto en la economía circular. Casos de estudio [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstreams/51e4ba7c-36ae-4e27-a165-93ee21ef0f59/download>
- Banco Interamericano de Desarrollo (2019). *Cómo llevar agua y saneamiento al ritmo del crecimiento urbano de Lima. Infraestructura para el Desarrollo* Revista de Derecho Administrativo 3(4). <https://cutt.ly/6xdrtyU>
- Banco Mundial. (2020, 19 de marzo). El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías [Comunicado de prensa]. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>
- Centeno Mora, Erick, Cruz Zúñiga, Nidia, & Vidal Rivera, Paola. (2024). Tratamiento de aguas residuales ordinarias en costa rica: perfil tecnológico y perspectivas de sostenibilidad. *Ingeniería*, 34(1), 7-22. <https://dx.doi.org/10.15517/ri.v34i1.55222>
- Chipana Pari, J. V. (2022). Caracterización y evaluación de los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) la escalerilla, para su reaprovechamiento en la agricultura. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio Institucional de la UNSA. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/15000>
- Espinoza Eche, J. J., y Santos de la Cruz, E. G. (2021). Innovación en la gestión de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico en Lima-Perú. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 24(48), 205-215. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21773>
- Ghimire, U., Sarpong, G., y Gude, V. G. (2021). Transitioning wastewater treatment plants toward circular economy and energy sustainability. *ACS Omega*, 6(18), 11794–11803. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05827>

- Gil-Villanueva, Alfonso, y Natividad-Marín, Leynard. (2023). Deshidratación de lodo residual a escala piloto en un secador convectivo rotacional, Caso: Planta de tratamiento de aguas santa clara, provincia de Lima, Perú. *Tecnia*, 33(1), 21-33. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v33i1.1550>
- Izurieta Pazmiño, V. H. (2020). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Poatug, Cantón Patate, provincia de Tungurahua [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional de la UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30630>
- Mehmeti, A.; Canaj, K. (2022). Environmental Assessment of Wastewater Treatment and Reuse for Irrigation: A Mini-Review of LCA Studies. *Resources* 2022, 11, 94. <https://doi.org/10.3390/resources11100094>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2017, 5 de abril). Resolución Ministerial N° 128-2017-vivienda. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/12302-128-2017-vivienda>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2021, 28 de agosto). Decreto Supremo N.° 016-2021-VIVIENDA. <https://www.gob.pe/institucion/pnsr/normas-legales/2325797-016-2021-vivienda>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2023, 21 de diciembre). Decreto Legislativo N.° 1620. <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2247004-3>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2017, 22 de junio). Decreto Ley N.° 15-2017-Vivienda. <https://nike.vivienda.gob.pe/dgaa/Archivos/DS-015-2017-VIVIENDA-norma%20legales.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú. Tratamiento de aguas residuales y lodos residuales. Lima-Perú https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/733091/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_y_lodos_residuales.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2017). Resolución Ministerial N° 154-2017-MINAM [Modificación del Texto Único de Procedimientos Administrativos]. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-154-2017-minam>
- Mory Mejia, M. D., y Salinas Hernandez, K. S. (2024). Optimización de parámetros de deshidratación de lodos en la concentración de nitrógeno y fósforo, provenientes de la PTAR de DANPER [Tesis de Ingeniería Química]. Repositorio de la UNT. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/22594>
- Naciones Unidas. (2021). Progresos en el tratamiento de las aguas residuales. Estado mundial y necesidades de aceleración del indicador 6.3.1. de los ODS. https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/10/sdg6_indicator_report_631_progress-on-wastewater-treatment_2021_es.pdf
- Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento. (2022, noviembre). Guía de capacitación EC1: Ejecutar las operaciones y procesos básicos en el tratamiento de agua residual, controlando los parámetros de operación que aseguren la calidad del efluente final. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4495377/Gu%C3%ADa%20De%20Capacitaci%C3%B3n%20-Tratamiento%20Aguas%20Residuales-EC1.pdf?v=1683042128>
- Pacheco, Karina Y., Espinoza Rojas, W.I., Alhúa Lozano, B.J., y Cornejo Tueros, J.V. (2024). Reingeniería y optimización de los procesos de la planta de tratamientos de aguas residuales "Doris Mendoza". *Prohominum. Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 6(1), 134-150. <https://doi.org/10.47606/acven/ph0233>
- Paredes, M. (2019). Manejo de lodos en PTAR Cusco (Biosólidos). Scribd. <https://es.scribd.com/document/433457284/06-Manejo-de-Lodos-en-Ptar-Cusco-Biosolidos-Mariela-Paredes>

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2024). Informe anual 2023. <https://unep.org/es/resources/informe-anual-2023>
- Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2024). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2024: Agua para la prosperidad y la paz. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391195>
- Raheem, A., Sikarwar, V. S., He, J., y Dastyar, W. (2018). Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: A review. *Chemical Engineering Journal*, 337, 616–641. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.149>
- Ramírez-Calderón, S., Ávila-Caballero, L. P., González-González, J., Rosas-Acevedo, J. L., Reyes-Umaña, M., y Hernández Cocoltzi, H. (2021). Caracterización fisicoquímica y microbiológica para el aprovechamiento de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales de Acapulco, Guerrero, México. *AyTBUAP*, 6(23), 20–36. <http://doi.org/10.5281/zenodo.5173223>
- Salcedo-Pérez, E., Vázquez-Alarcón, A., Krishnamurthy, L., Zamora-Natera, F., Hernández-Álvarez, E., y Rodríguez Macías, R. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Interciencia*, 32(2), 115-120. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000200009&lng=es&tlng=es
- Smol, M. (2023). Circular Economy in Wastewater Treatment Plant—Water, Energy and Raw Materials Recovery. *Energies*, 16(9), 3911. <https://doi.org/10.3390/en16093911>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2022). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3212482/Informe%20de%20diagn%C3%B3stico%20de%20las%20PTAR.pdf?v=1654900510>
- United Nations Sustainable Development. (2023). Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>