



Artículo



Revista



Ciencia
y Naturaleza

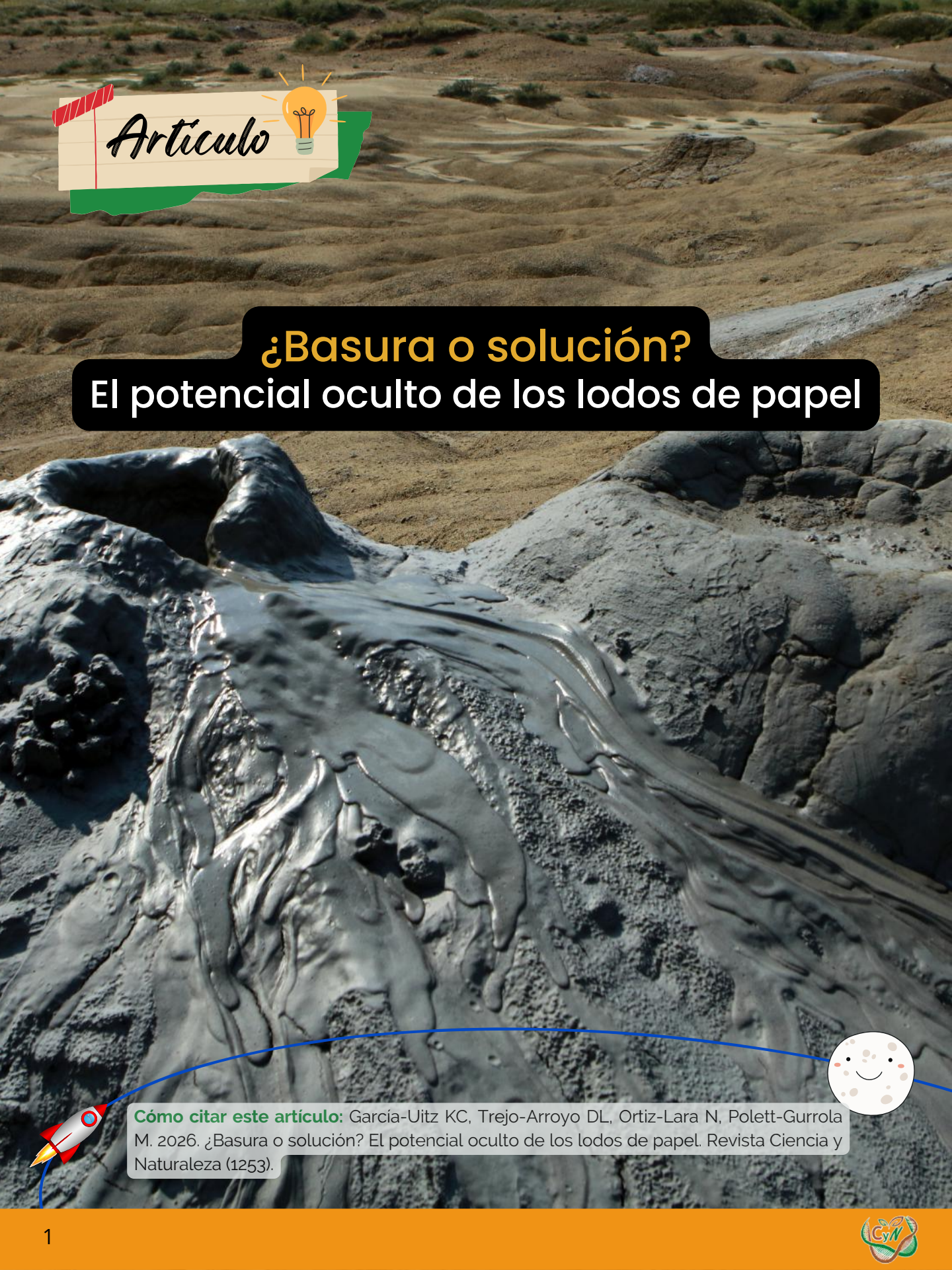
¿Basura o solución?

El potencial oculto de los lodos de papel



Ciencia al Instante

Cada año, la industria papelera genera más de un millón de toneladas de lodos de cal, un residuo que suele terminar en rellenos sanitarios contaminando suelo, agua y aire. Sin embargo, lo que parece simple basura esconde un enorme potencial. Compuestos principalmente por calcio, silicio y aluminio, estos lodos pueden transformarse en materiales cementantes sostenibles para la construcción, fertilizantes agrícolas o materia prima para plásticos y pinturas. La ciencia está convirtiendo este desecho en una pieza clave de la economía circular, reduciendo emisiones de CO₂ y abriendo camino hacia una industria más amigable con el planeta.



Artículo



¿Basura o solución?

El potencial oculto de los lodos de papel



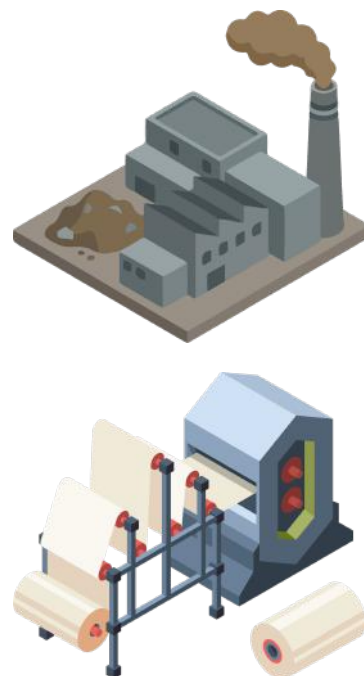
Cómo citar este artículo: García-Uitz KC, Trejo-Arroyo DL, Ortiz-Lara N, Polett-Gurrola M. 2026. ¿Basura o solución? El potencial oculto de los lodos de papel. Revista Ciencia y Naturaleza (1253).





¿Qué son los lodos de papel?

Los lodos de papel o lodos de cal, es un subproducto o residuo generado en el proceso de recuperación química de la industria papelera. Cada año se producen más de 1 millón de toneladas métricas, lo que genera un impacto ambiental por la degradación de ecosistemas por el uso de suelo, contaminación de agua por lixiviación de los lodos, contaminación de aire por volatilización de pequeñas partículas tóxicas y el agotamiento de recursos naturales, por lo cual es importante desarrollar estrategias para proteger el medio ambiente y garantizar la sostenibilidad.



La generación de lodos de papel ocurre durante la etapa de recuperación química de la industria papelera, específicamente en el proceso de recuperación de cal (CaO). Este proceso inicia cuando el **licor negro** (ver cuadro de conceptos) es quemado en un horno de recuperación para generar energía térmica, generando también material fundido (Figura1).



Figura 1. Obtención de residuos de lodos de papel.



Posteriormente, este fundido se disuelve en un tanque para formar **licor verde**, compuesto principalmente por carbonato de sodio (Na_2CO_3) y sulfuro de sodio (Na_2S). En la siguiente etapa, el licor verde reacciona con cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en el sistema de caustización, conformado por una serie de tanques donde se completa la reacción química y se produce el **licor blanco**, integrado principalmente por hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na_2S). Durante este proceso de caustización, además de generarse NaOH , también se forma carbonato de calcio (CaCO_3) como subproducto, conocido comúnmente como “lodo de papel”. Finalmente, el licor blanco obtenido es reutilizado en el proceso de fabricación de papel.

Impactos ambientales del manejo tradicional

Idealmente, el lodo de papel se genera en grandes cantidades y en teoría se podría reciclar dentro de la misma fábrica para recuperar la cal empleada en el proceso industrial inicial. Sin embargo, si se compara con otros procesos, la reutilización requiere demasiada energía, lo que incrementa los costos y emisiones de gases tóxicos como el dióxido de carbono (CO_2).

Además, el lodo contiene compuestos como el óxido de silicio (SiO_2), que pueden provocar daños y acumulaciones dentro de los hornos utilizados en las plantas papeleras, reduciendo su eficiencia y dificultando su operación. Debido a las complicaciones mencionadas, muchas industrias prefieren desechar el lodo en rellenos sanitarios o en depósitos a cielo abierto, en lugar de reciclarlos.





Actualmente, solo el 30% logra reutilizarse. Esta situación genera diversos problemas ambientales como la ocupación de grandes áreas de terrenos, la producción de lixiviados, entre otros (Figura 2). Frente a este panorama, investigadores y especialistas han comenzado a buscar nuevas formas de aprovechar este residuo en lugar de considerarlo simplemente basura. Es importante mencionar que la composición del lodo de papel, como carbonato de calcio, óxido de silicio y óxido de aluminio, son elementos que pueden ser recuperados y/o utilizados en otras áreas.



Figura 2. Principales problemas ambientales que representa la disposición de lodos de papel.



Estos problemas no sólo representan un desafío para los sistemas de protección ambiental, sino que también incrementan los gastos operativos y evidencian las limitaciones de la gestión tradicional de lodos. Ante este panorama, surge la necesidad de desarrollar alternativas sustentables que ayuden a reducir el impacto asociado a su disposición final. En este contexto, las regulaciones cada vez más estrictas y la creciente demanda social de prácticas basadas en la economía circular han impulsado la búsqueda de nuevas estrategias para el aprovechamiento de los lodos de papel antes de su eliminación (Figura 3). De esta manera, la gestión sostenible de estos residuos busca resolver problemáticas que afectan de manera significativa al planeta, promoviendo soluciones más responsables para la industria y el medio ambiente.

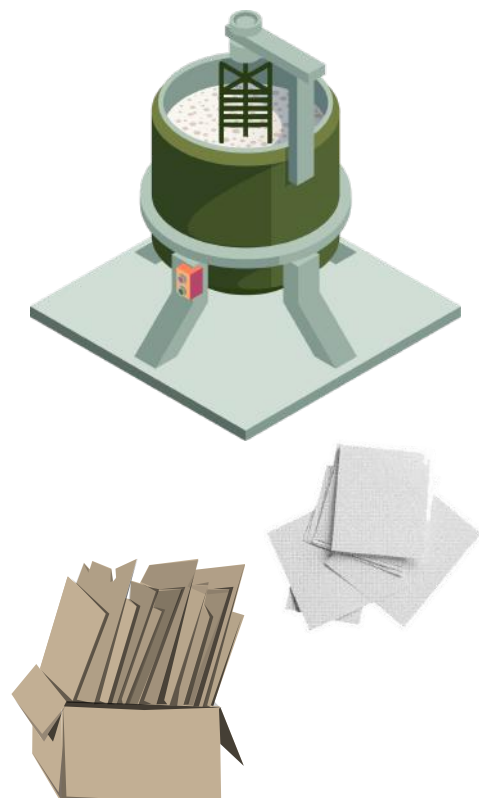


Figura 3. Soluciones sustentables basadas en economía circular y valorización de residuos

El uso de lodos de papel, en la agricultura, con su alto contenido de materia orgánica y bajas concentraciones de metales traza y contaminantes orgánicos, como recuperador del suelo, es una alternativa porque permite la recuperación de costos y mejora las propiedades físicas del suelo y recicla el carbono del suelo. Trabajos previos realizados han descrito beneficios en la fertilidad del suelo aumentando los nutrientes y los organismos beneficiosos y disminuyendo la acidificación y los patógenos en las plantas.



Otra alternativa de aprovechamiento es la recuperación de minerales y componentes de valor mediante técnicas avanzadas de separación. Estas tecnologías permiten extraer fibras residuales de celulosa que pueden reincorporarse a la fabricación de papel u otros productos fibrosos. De igual manera, el carbonato de calcio presente en los lodos puede recuperarse y emplearse como materia prima de bajo costo en industrias como la de plásticos, pinturas y materiales de construcción. La recuperación de estos componentes resulta de gran relevancia, ya que permite transformar residuos en recursos aprovechables, disminuyendo la demanda de materias primas vírgenes y promoviendo estrategias de economía circular.



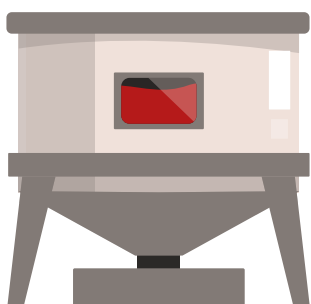
Por otra parte, la industria de la construcción representa una de las rutas de valorización más prometedoras para los lodos de papel. Estos residuos pueden incorporarse en la fabricación de materiales como ladrillos, bloques, paneles y otros productos constructivos, actuando como sustitutos parciales de materiales convencionales como la arcilla o los agregados pétreos.

Mediante tratamientos térmicos, químicos o su combinación con distintos aglutinantes, los componentes minerales presentes en los lodos pueden desarrollar propiedades similares a las de materiales cementantes. Además, su contenido orgánico favorece la formación de estructuras celulares o porosas, lo que puede mejorar propiedades aislantes y térmicas de los materiales obtenidos.



Avances científicos y retos actuales

Investigadores trabajan todos los días para encontrar nuevas formas de aprovechar los lodos de papel y convertirlos en materiales útiles en lugar de desecharlos. Para lograrlo, es necesario combinar la investigación, el apoyo de las leyes ambientales y la participación de la sociedad. Gracias a estos esfuerzos, hoy existen nuevas tecnologías que ayudan a reutilizar estos residuos de una manera más segura y eficiente. Uno de los principales retos de los lodos de papel es que contienen mucha agua, lo que dificulta su manejo y reutilización.



Por ello, los investigadores han desarrollado diferentes métodos para secarlos y prepararlos mejor. Algunas técnicas utilizan calor a bajas temperaturas para eliminar el agua consumiendo menos energía. Otras emplean máquinas especiales, como prensas y centrífugas, que ayudan a extraer la humedad más rápidamente.



También existen tratamientos que modifican el material para hacerlo más resistente y útil en nuevas aplicaciones. Gracias a estas innovaciones, los lodos de papel son más fáciles de transportar, manipular y transformar en nuevos productos. Sin embargo, todavía existen desafíos importantes.

Aunque muchos países cuentan con reglas para controlar la eliminación de residuos industriales, aún faltan normas específicas que indiquen cómo reutilizar de forma segura los lodos de papel, especialmente en sectores como la construcción y la agricultura.



Por esta razón, es necesario crear leyes y lineamientos claros que ayuden a proteger el medio ambiente y la salud de las personas. El desarrollo de estas normas será fundamental para que, en el futuro, los lodos de papel puedan aprovecharse a gran escala y convertirse en una alternativa sostenible que beneficie tanto a la industria como al planeta.



¿Cómo estamos trabajando con lodos de papel?

Para que los lodos de papel puedan transformarse en materiales útiles y seguros, nuestro trabajo es realizar diferentes etapas de estudio y preparación. Todo este proceso es muy importante, ya que ayuda a obtener materiales de buena calidad que puedan utilizarse nuevamente en distintas áreas, como la construcción, sin causar daños al medio ambiente. Además, cada paso permite comprobar que los nuevos materiales sean resistentes, seguros y sostenibles. Nuestro trabajo comienza con la caracterización de los lodos de papel. Esto significa que se estudian cuidadosamente sus propiedades utilizando diferentes pruebas científicas.



Por ejemplo, analizan de qué sustancias están hechos, cómo reaccionan al calor y qué minerales contienen. Gracias a estos estudios, es posible conocer mejor el material y decidir cómo puede reutilizarse. Después, los lodos pasan por un proceso de preparación llamado pretratamiento. En esta etapa se elimina parte del agua que contienen, se secan y se trituran hasta obtener partículas más pequeñas. También se tamizan, es decir, se



separan según su tamaño, y en algunos casos se les aplican tratamientos químicos para mejorar sus propiedades y hacerlos más útiles. Una vez preparados, los lodos tratados se mezclan con cemento u otros materiales alternativos para fabricar nuevos productos.

Después de crear estos materiales, se realizan diferentes pruebas para conocer qué tan resistentes y duraderos son. Por ejemplo, verifican que tan aglutinantes pueden llegar a ser, si soportan peso, cómo es su estructura interna y si funcionan de manera similar o mejor que los materiales tradicionales. Finalmente, se estudia el impacto ambiental de todo el proceso mediante el análisis de ciclo de vida. Esto les permite comparar cuánto afecta al planeta fabricar estos nuevos materiales frente a los materiales convencionales.

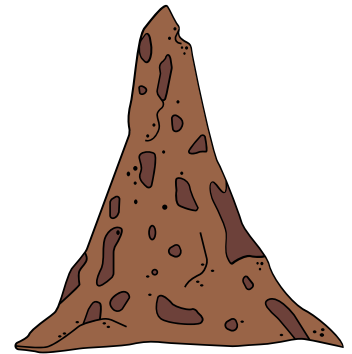


Resultados esperados

Con la información obtenida de los lodos de papel, su caracterización y resultados de las pruebas, se generará un valor agregado al residuo o al lodo de papel, proporcionando un aprovechamiento que beneficie a la industria y contribuya para mitigar el impacto ambiental. Entre esos resultados se determinó un pretratamiento de los lodos de papel con un mínimo consumo energético papel. Además, se reveló que los lodos de papel están compuestos principalmente de calcio, seguido de silicio y aluminio y otros elementos en traza. Adicionalmente, el tamaño promedio de partícula fue de 25 micrómetros.



Estas características nos indican que los lodos de papel poseen un alto potencial para formar productos de hidratación característicos de materiales aglutinantes lo que los posiciona como una alternativa viable como un material cementante suplementario o bien como un material cementante alternativo al cemento convencional para aplicaciones constructivas sostenibles.



Dando paso a su utilización sostenible, ya que los lodos de papel activados mostrarán una mayor reactividad y contribuirán a la disminución en el consumo de cemento tradicional, se disminuirá el consumo de recursos naturales no renovables como los materiales tradicionales para la fabricación del cemento tradicional y, por último, los productos valorizados basados en residuos industriales demostrarán un menor impacto ambiental en comparación con los productos convencionales. Esto abrirá caminos a la valorización de lodo de cal como una forma de convertirlo en un producto de valor agregado, objetivo de las investigaciones actuales con miras de un desarrollo sustentable.

Retos y perspectivas

Aunque el equipo de trabajo ha logrado grandes avances en el aprovechamiento de los lodos de papel, todavía existen algunos retos importantes. Uno de ellos es que este material no siempre es igual, ya que puede cambiar dependiendo del tipo de papel o del proceso de fabricación del que provenga. Esto hace que, en ocasiones, los materiales obtenidos no tengan siempre las mismas propiedades o resultados. Además, preparar y transformar los lodos de papel en grandes cantidades sigue siendo un desafío, porque se necesitan tecnologías que sean eficientes y que no resulten demasiado costosas para la industria.



RECYCLING ONLY

Otro reto importante es que aún existen pocas normas y reglas que indiquen cómo deben utilizarse de manera segura estos materiales reciclados. Debido a esto, algunas personas y empresas todavía tienen dudas sobre su uso en áreas como la construcción.

Por ello, es necesario crear reglamentos y certificaciones que ayuden a garantizar que estos materiales sean seguros, resistentes y amigables con el medio ambiente. En el futuro, será muy importante que trabajen juntos diferentes grupos de personas, como científicos, industrias y autoridades ambientales.



Gracias a esta colaboración, será posible desarrollar materiales más sostenibles y con mayor potencial de uso. Además, el aprovechamiento de los lodos de papel podría ayudar a disminuir la cantidad de residuos que contaminan el planeta, reducir el uso de recursos naturales no renovables y disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que se generan durante la producción de materiales tradicionales, como el cemento.

De esta manera, la ciencia y la innovación pueden transformar un residuo en una oportunidad para cuidar mejor nuestro planeta y construir un futuro más sostenible para todos.

"La naturaleza siempre vela por la preservación del universo, ayuda a cuidarla reduciendo el uso de papel".." Robert Boyle



Para llevar

El lodo de cal, un subproducto o desecho de la industria papelera con alto contenido de carbonato de calcio y características similares a materiales cementantes ofrece una alternativa valiosa. Primero su uso eficiente permitiría gestionar de manera sostenible los residuos industriales, transformando un problema ambiental en una solución práctica. Segundo, al reducir la dependencia de los recursos naturales no renovables. Tercero al disminuir las emisiones de CO₂ vinculadas en la producción de materiales cementantes, especialmente en la producción del cemento convencional y contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Cuarto, al dar valor agregado a estos residuos de papel, se impulsa la economía circular, permitiría genera nuevas oportunidades de empleo y promueve el desarrollo de tecnologías más accesibles y sostenibles. Finalmente, podría reducir los costos de construcción y facilitar el acceso a viviendas más eficientes y amigables con el medio ambiente. Los avances en el área demuestran que los lodos de papel pueden revalorizarse en varios sectores, principalmente contribuyendo al desarrollo de productos alternativos para la industria de la construcción. Los datos obtenidos hasta el momento indican que se tiene un material con características que permiten su uso en la industria de construcción, el camino por seguir implica realizar un análisis completo de las propiedades químicas y físicas para determinar los beneficios ambientales y optimizar su utilización para expandir su uso en procesos industriales a escala comercial. 

Agradecimientos

El grupo de investigación agradece el financiamiento de este proyecto al Tecnológico Nacional de México (Proyecto 23185.25-P), “Estudio potencial de residuos de lodos de cal como material cementante alternativo para la industria de la construcción”) y la colaboración del Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales de la UMSNH.



Conceptos

Licor negro: líquido oscuro que se obtiene después de separar las fibras de la madera. Contiene restos de madera y diferentes sustancias químicas. Como tiene mucha agua, primero debe concentrarse antes de aprovecharse para producir energía en grandes calderas.

Licor verde: material líquido que contiene sustancias químicas que ayudan a continuar el reciclaje y recuperación de materiales dentro de la fábrica de papel.

Licor blanco: líquido más importante del proceso, ya que separa las fibras de la madera para fabricar papel nuevo. Este líquido tiene sustancias especiales que permiten romper la madera y facilitar la producción del papel.

Para Consulta

- Maslennikov A, Peretz R, Vadivel VK, *et al.* 2022. Recycled Paper Sludge (RPS)-Derived Nanocellulose: Production, Detection and Water Treatment Application. *Applied Sciences* 12: 3077. [\[Link\]](#)
- Thang B, Hayano K, Yamauchi H, *et al.* 2025. Impact of accelerated carbonation on geotechnical properties of recycled soil from construction sludge stabilized with paper sludge ash-based stabilizer and blast furnace cement. *Results in Engineering* 28: 108044. [\[Link\]](#)
- Quintana E, Valls C y Roncero MB, 2024. Valorization of waste paper sludge as a sustainable source for packaging applications. *Polymer Bulletin* 81: 9321–9345. [\[Link\]](#)
- Mehrvan K, Jonoobi M, Ashori A, *et al.* 2024. Optimizing paper sludge content and particle size to enhance particleboard properties. *Scientific reports* 14: 21501. [\[Link\]](#)
- Hassan M, Hassan E, Abou W, *et al.* 2025. Utilization of paper sludge in preparation of high-purity calcium formate. *Biomass Conversion and Biorefinery* 15: 4565–4578. [\[Link\]](#)
- Prabhat V, Yanchen O, Jinyan S, *et al.* 2024. Application of lime mud as a sustainable alternative construction material: A comprehensive review of approaches. *Journal of Building Engineering* 87. [\[Link\]](#)



Crédito de imágenes en orden de aparición: Portada proporcionada por autores (ChatGTP), Tomasz Dutkiewicz, Getty Images Signature, robyun, crownlab, Getty Images, PhonlamaiPhoto's Images, Sensvector, pixaby, Gambar Deylotus Creative Design, Pexels, Aryo Hadi's Images, valueinvestor, Pexels, sparklestroke, spacecreav, Yuliya Furman. Créditos de figuras: Proporcionadas por los autores, adaptado de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 2019. Los autores declaran que utilizaron ChatGPT como herramienta de apoyo durante la elaboración del manuscrito y que ningún párrafo fue generado íntegramente ni contiene más del 50 % de su contenido redactado mediante esta herramienta de inteligencia artificial.

Dra. Beatriz Escobar
Editora Asociada Revista CyN

Diseño de publicación: Sofia Paz



Karla del Carmen García Uitz

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chetumal. Doctora en Ciencias Químicas y Bioquímicas, Profesora-Investigadora en el Instituto Tecnológico de Chetumal. Sus áreas de interés son la química ambiental, síntesis verde y el uso de materiales orgánicos y su potencial uso en la construcción. Candidato al Sistema Nacional de Investigadores (SNII).

contacto: karla.gu@chetumal.tecnm.mx



Danna Lizeth Trejo Arroyo

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chetumal. Doctora en Ciencias en Metalurgia y Ciencias de los Materiales. Investigadora Nacional Nivel I del SNII. Enfocada en el desarrollo de materiales cementantes alternativos para la construcción sustentable y desarrollo de materiales avanzados con propiedades funcionales, dirigidos hacia la sustentabilidad con aplicaciones ambientales.

contacto: danna.ta@chetumal.tecnm.mx



Noemí Ortiz Lara

Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales. Es Ingeniera en Materiales por el Instituto Tecnológico de Morelia, con Maestría y Doctorado en Metalurgia y Ciencias de los Materiales por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Actualmente es Investigadora por México en el Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Enfocada en el sector minero-metalúrgico, valorización de residuos industriales, materiales cementantes y procesos metalúrgicos sustentables. Miembro del SNII, Nivel I.

contacto: noemi.ortiz@umich.mx



Mayra Polett Gurrola

Doctora en Electroquímica, Investigadora por México adscrita al TecNM Campus Chetumal. Es miembro del SNII nivel II desde 2025. Líder del Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica (LABMyN-sede TecNM/ITChetumal). Sus áreas de interés son el desarrollo de proyectos enfocados a sistemas para la generación de energía, el desarrollo de materiales avanzados con aplicaciones en la industria de la construcción, así como la caracterización e identificación de Microplásticos.

contacto: mayra.pg@chetumal.tecnm.mx