

Desarrollo de filtros modulares de Biochar funcionalizado mediante pirolisis asistida por grabado láser a partir de bagazo de agave para el tratamiento de aguas contaminadas en el AMG

I - Resumen

La creciente necesidad de soluciones sostenibles y eficientes para el tratamiento de cuerpos hídricos en el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) motiva la exploración de nuevas tecnologías de filtración avanzadas. En este trabajo, se propone la fabricación de filtros funcionalizados a base de Biochar obtenido del bagazo de agave mediante un proceso innovador que combina pirolisis y grabado laser para impresión de micro canales en obleas bidimensionales.

El uso de ablación láser facilita el diseño de estructuras porosas con flujo laminar optimizado, mejorando la eficiencia en la remoción de contaminantes. Estudios recientes destacan el potencial del micro - mecanizado láser en materiales carbonosos como plataforma para dispositivos microfluídicos de purificación (KUHNKE, 2006); (Barbhuiya, 2021). Paralelamente, la pirolisis controlada de residuos lignocelulósicos permite la obtención de Biochar con alta porosidad jerárquica y funcionalización química para adsorción específica (Ruiz-Velducea, 2024); (Tian, 2025)). La escalabilidad industrial de este método es viable gracias al control preciso del grabado láser, lo que permite adaptar los filtros a distintos volúmenes y tipos de cuerpos hídricos, desde arroyos urbanos hasta plantas de tratamiento.

Este enfoque propone una alternativa nacional viable frente a soluciones importadas, integrando economía circular, tecnología accesible y adaptabilidad local.

II - Justificación

El Río Santiago presenta concentraciones críticas de Pb^{2+} , Hg^{2+} y $As(V)$ (hasta 500% sobre límites permisibles, IMECOCAL 2023). Las tecnologías comerciales de remediación (ej. carbón activado) son costosas, importadas y poco adaptables a contextos descentralizados.

Biochar de bagazo de agave, funcionalizado y estructurado con micro canales láser, ofrece:

- Alta área superficial ($\geq 400 \text{ m}^2/\text{g}$) y porosidad jerárquica (micro/mesoporos).
- Selectividad para metales pesados vía grupos funcionales ($-OH$, $-COOH$).

- Bajo costo (≈\$50 MXN/kg vs. \$300 MXN/kg de carbón activado).

Estudios han demostrado que Biochar pirolizado a 600 °C en atmósfera inerte presenta alta estabilidad estructural y eficiencia en adsorción ((Wang, 2020)), mientras que el grabado láser a 1064 nm genera canales y sitios reactivos que mejoran el desempeño hidráulico ((Barbhuiya, 2021)).

Este proyecto representa una oportunidad estratégica para la Universidad de Guadalajara: avanzar hacia patentes institucionales, publicación científica de alto impacto y generación de tecnología nacional con impacto real en la salud pública y el ambiente. México enfrenta una brecha crítica en soluciones de remediación hídrica: el 90% de los filtros avanzados son importados (INEGI, 2023), con costos prohibitivos y poca adaptabilidad a contextos locales. Este proyecto propone la primera generación de filtros modulares diseñados y producidos nacionalmente, combinando residuos agroindustriales (bagazo) con tecnología láser accesible.

III - Objetivo General

Diseñar, fabricar y caracterizar un sistema modular de filtración basado en Biochar funcionalizado derivado del bagazo de agave, orientado al tratamiento descentralizado de aguas contaminadas en el AMG.

Objetivos Específicos

1. Preparar y caracterizar coloides de bagazo de agave
2. Optimizar condiciones de pirolisis para generar Biochar con porosidad jerárquica.
3. Diseñar patrones de grabado láser para generar funcionalización superficial y micro canales hidráulicos.
4. Ensamblar filtros modulares mediante apilamiento y encapsulado.
5. Evaluar desempeño hidráulico y capacidad de adsorción (Pb⁺⁺, Cr, contaminantes orgánicos).
6. Analizar viabilidad técnica y económica del sistema para aplicaciones rurales e industriales.

IV - Hipótesis

La integración de pirolisis controlada y grabado láser permitirá desarrollar filtros modulares de bajo costo, alta eficiencia, y regenerables, adaptables a contextos urbanos e industriales.

V - Metodología

Fase 1: Preparación de materiales

Recolección, secado y molienda de bagazo de agave.

Dispersión en soluciones coloidales.

Fase 2: Procesamiento

Pirolisis a temperaturas entre 400–700 °C, en atmósferas inertes y dopadas.

Grabado láser con patrones específicos (1064 nm, 100 nano segundos) para canales y funcionalización.

Fase 3: Ensamblado

Apilamiento de obleas y encapsulado polimérico.

Pruebas de modularidad y sustitución por etapas.

Fase 4: Evaluación

Flujo, caudal, presión hidráulica.

Adsorción de contaminantes metálicos y orgánicos.

Fase 5: Modelado y escalamiento

Modelado de flujos micro hidráulicos.

Estimaciones de costo, tiempos de fabricación y replicabilidad.

VI - Resultados Esperados

- Filtros con eficiencia $\geq 80\%$ para Pb^{2+} , Cr y compuestos orgánicos.
- Diseño modular con capacidad de regeneración o recambio.
- Costo estimado de fabricación $< \$100$ por módulo.
- Prototipo viable para tesis, publicación y propuesta de patente institucional.

VI - Cronograma Tentativo

Mes	Actividad Principal
Julio	Revisión de literatura y síntesis de coloides
Agosto	Pirolisis y caracterización de Biochar
Septiembre	Grabado láser y diseño de patrones funcionales
Octubre	Ensamblado y pruebas hidráulicas
Noviembre	Análisis Químico, SEM-EDS, Pruebas de adsorción
Diciembre	Redacción de tesis y preparación de publicaciones

VII – Bibliografía

Barbhuiya, N. H. (2021). A Journey of Laser-Induced Graphene in Water Treatment. *Indian National Academy of Engineering* 2021, 13.

INEGI. (2023). Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/>

KUHNKE, M. (2006). Micromachining of Carbon Materials and Laser Micropatterning of Metal Films used as Masks for Reactive Ion Etching . *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*, 7.

Lehmann, J. (2015). *Biochar for Environmental Management*. 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN: Routledge.

Ruiz-Velducea, H. A. (2024). Valorization of Agave angustifolia Bagasse Biomass from the Bacanora Industry in Sonora, Mexico as a Biochar Material: Preparation, Characterization, and Potential Application in Ibuprofen removal. *sustainable chemistry*, 19.

Tian, K. (2025). Functionalization of biochar using SDS/SAP nanomicelles enhanced its immobilization capacity for dyes and heavy metals in water . *scientific reports*, 31.

Wang, S. (2020). Effects of hemicellulose, cellulose and lignin on the ignition behaviors of. *Bioresource Technology*, 7.

Yuan, Y. (2021). Quantum Dot Photocatalysts for Organic Transformations. *The Journal of Physycal Chemistry Letters*, 14.

