



EFICIENCIA DE CAPTURA DE CO₂ MEDIANTE PELLETS DE BIOCHAR DESDE EMISIONES DE LA DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA DEL BICARBONATO DE SODIO

Efficiency of CO₂ capture using biochar pellets from emissions generated by the thermal decomposition of sodium bicarbonate

Walter Pardavé Livia
Nehimes Castro Castro

RESUMEN

La generación de CO₂ en las industrias del petróleo continúa en aumento debido a la creciente demanda de energía comercial y doméstica. Aunque el presente estudio se desarrolla en Bucaramanga, Santander, se aborda una problemática de alcance industrial: las elevadas emisiones de dióxido de carbono que impactan negativamente al medio ambiente y contribuyen al cambio climático. Ante esta situación, el proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema de captura de CO₂ mediante adsorción, utilizando pellets de biochar como medio adsorbente. Se empleó una metodología experimental basada en la obtención de biochar por pirólisis de materia orgánica, seguido de su paletización con cemento como aglomerante. Se formaron pellets de distintos tamaños y se caracterizaron mediante estereomicroscopía (Olympus SZ61), evidenciando una alta porosidad entre partículas, favorable para la adsorción de CO₂. Los pellets presentaron una densidad aparente de 0.9885 g/ml, lo que refleja una alta proporción de porosidad respecto a su masa. Se realizaron ocho pruebas experimentales variando el tamaño del pellet, la densidad y la altura del lecho. La capacidad de adsorción se determinó mediante la diferencia entre el porcentaje volumétrico de CO₂ de entrada y salida del sistema. Este proyecto propone una alternativa sostenible y de bajo costo para la mitigación de gases contaminantes. Es aplicable en regiones con alta actividad industrial, promoviendo la reducción de emisiones y la valorización de residuos orgánicos. En conclusión, se diseñó un sistema funcional para la captura de CO₂ con potencial de aplicación industrial.

PALABRAS CLAVE: adsorción, biochar, captura, CO₂, pellet.

ABSTRACT

CO₂ emissions from the petroleum industry continue to rise due to increasing commercial and domestic energy demand. Although this study was conducted in Bucaramanga, Santander, it addresses a broader industrial issue: high carbon dioxide emissions that negatively affect the environment and contribute to climate change. In response, this project aims to develop a CO₂ capture system through adsorption using biochar pellets as the adsorbent material. An experimental methodology was applied, involving the production of biochar through pyrolysis of organic matter, followed by pelletization using cement

as a binder. Pellets of various sizes were produced and characterized using stereomicroscopy (Olympus SZ61), revealing high porosity between particles, favorable for CO₂ adsorption. The pellets showed an apparent density of 0.9885 g/ml, indicating a significant porosity-to-mass ratio. Eight experimental trials were conducted, varying pellet size, bed density, and bed height. Adsorption capacity was determined by calculating the difference between the CO₂ volume percentage at the system inlet and outlet. This project offers a sustainable, low-cost alternative for mitigating pollutant gas emissions. It is applicable in regions with high industrial activity, promoting emission reduction and the valorization of organic waste. In conclusion, a functional CO₂ capture system was successfully developed, with strong potential for industrial implementation to reduce environmental impacts.

KEYWORDS: adsorption, biochar, capture, CO₂, pellets.

INTRODUCCIÓN

La industria del petróleo es una de las principales fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial (Cabrera, 2024), siendo el dióxido de carbono (CO₂) uno de los más relevantes por su elevada persistencia en la atmósfera y su capacidad para absorber radiación solar (Fawzy et al., 2020). Este gas representa aproximadamente el 64% del aumento del efecto invernadero, contribuyendo al calentamiento global con un incremento estimado entre 0,4 y 0,6 °C en el último siglo (Bachú, 2000). Las emisiones de CO₂ en la industria petrolera se generan principalmente durante las fases de exploración, explotación y refinación, lo que posiciona a este sector como responsable de cerca del 25% de las emisiones globales de GEI.

En respuesta a esta problemática, se han desarrollado diversas tecnologías orientadas a la captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS). Una de las líneas de investigación actuales se centra en el uso de biochar, un material carbonoso derivado de la pirólisis de biomasa orgánica, caracterizado por su alta porosidad y capacidad de adsorción (Barrezueta-Unda, 2023). También se ha demostrado utilidad en la mejora de suelos degradados y la remoción de metales pesados (Rehman et al., 2017).

Este estudio utilizó residuos de poda como materia prima para la producción de biochar. Se diseñó un sistema experimental compuesto por una columna de vidrio de borosilicato (954,26 ml de volumen útil) rellena con pellets de biochar. El CO₂ fue generado térmicamente a partir de NaHCO₃, lo que permitió evitar gases tóxicos derivados de combustibles fósiles. Se realizaron pruebas factoriales controlando tres variables: altura del lecho, tamaño del pellet y densidad del lecho, resultando en ocho ensayos para determinar la eficiencia de captura mediante el análisis del %VOL de CO₂ a la entrada y salida. Los pellets fueron caracterizados mediante estereomicroscopía y SEM, evidenciando una estructura altamente porosa.

Así, este trabajo busca contribuir al desarrollo de tecnologías sostenibles para la captura de CO₂, promoviendo el aprovechamiento de residuos orgánicos y fortaleciendo estrategias de mitigación del cambio climático.

HALLAZGOS O RESULTADOS

Las pruebas físicas demostraron que el material presenta una densidad aparente de 0.9885 g/ml y un tamaño promedio de partícula de 250 µm, con una textura porosa adecuada para procesos de adsorción. Durante los ensayos de generación de CO₂, utilizando 10g de NaHCO₃ a 150 °C en un balón aforado de 500 ml, se alcanzó una concentración estable de 0.08 %VOL de CO₂ durante 30 minutos, mientras que la concentración de O₂ se mantuvo constante en 20.8%VOL. En ensayos teóricos a mayor temperatura (hasta 200 °C), se alcanzaron concentraciones de hasta 0.15%VOL. En el sistema de columna de lecho fijo, se realizaron pruebas de adsorción donde se registró una ruptura inicial del lecho a los 6 minutos ($C/C_0 > 0.05$), y una

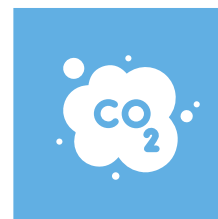
concentración de salida de CO₂ cercana al 95 % de la entrada tras 30 minutos. Esto indica una transferencia efectiva del gas a través del medio adsorbente. El análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) confirmó la estructura porosa del biochar. Además, el espectro EDS mostró la presencia de Ca (36.61%), O (42.33%), K y Mn, elementos vinculados a procesos de captura química de CO₂.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que los pellets de biochar elaborados a partir de poda de arbustos presentan características físicas favorables para la captura de CO₂, como alta porosidad, buena cohesión estructural y una densidad aparente adecuada (0.9885 g/ml). La generación controlada de CO₂ mediante la descomposición térmica del bicarbonato de sodio permitió evaluar la eficiencia del sistema de forma segura y reproducible, alcanzando concentraciones apropiadas para ensayos de adsorción.

El sistema de columna de lecho fijo mostró un comportamiento eficiente, permitiendo un flujo estable del gas a través del medio adsorbente. La capacidad del biochar para retener CO₂ fue evidente desde los primeros minutos del experimento, sin signos de saturación durante los primeros 30 minutos, lo que sugiere un buen desempeño en condiciones de baja concentración del contaminante. La ruptura inicial del lecho a los 6 minutos y la liberación progresiva de CO₂ hasta alcanzar el 95 % de la concentración de entrada evidencian un rendimiento consistente.

En conclusión, el biochar en forma de pellets representa una alternativa viable, económica y sostenible para la captura de CO₂, con potencial de aplicación en procesos de mitigación de emisiones.



REFERENCIAS

- Bachu, S. (2000). Sequestration of CO₂ in geological media: Criteria and approach for site selection in response to climate change. *Energy Conversion and Management*, 41(9), 953–970. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00149-1](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00149-1)
- Barrezueta-Unda, S. B. (2023). Características principales del biocarbón derivado de restos de *Theobroma cacao* L. para su uso en suelos agrícolas. *Revista Colombiana de Química*, 19–24.
- Cabrera, G. F. (2024). Potencial económico, social y ambiental de las tecnologías bioenergéticas con captura de CO₂ en biorrefinerías. *Ingeniería y Competitividad*, 2(e-30213360), 1–26.
- Negiş, C. Ş., & Hamza, A. (2020). Effects of biochar and compost applications on penetration resistance and physical quality of a sandy clay loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*.
- Iftikhar, S., Shahzad-Ahmad, K., & al-Ghamdi, A. (2018). Low-cost and environmental-friendly *Triticum aestivum*-derived biochar for improving plant growth and soil fertility. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(22).