

CONTROL DEL LIXIVIADO DE COBRE DE CATALIZADORES DURANTE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA ORIENTADOS A LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES

Resumo: La oxidación avanzada con peróxido de hidrógeno constituye una alternativa prometedora para la eliminación de contaminantes orgánicos presentes en agua. Entre los catalizadores tipo Fenton heterogéneo, aquellos basados en Cu han demostrado elevada actividad catalítica, aunque su aplicación se ve limitada por la lixiviación de la fase activa. En este trabajo se evaluó la influencia del precursor de Cu y de la temperatura de calcinación sobre la actividad, estabilidad y grado de mineralización de catalizadores Cu/La-Al₂O₃ destinados a procesos de oxidación avanzada (POAs). Los materiales fueron preparados mediante impregnación húmeda utilizando nitrato, sulfato y cloruro de Cu como precursores y posteriormente calcinados a 400, 650 y 900 °C. La actividad catalítica se evaluó en la oxidación de fenol en fase acuosa empleando H₂O₂ como agente oxidante. Todos los catalizadores alcanzaron la conversión completa de fenol, evidenciando una elevada actividad catalítica independientemente de las condiciones de síntesis. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en el grado de mineralización y en la estabilidad de los materiales. El incremento de la temperatura de calcinación redujo la lixiviación de Cu, favoreciendo la estabilidad del catalizador, aunque condujo a una disminución de la mineralización de los productos de reacción. Los resultados sugieren la coexistencia de contribuciones homogéneas y heterogéneas durante el proceso oxidativo. Asimismo, la incorporación de La permitió disminuir la pérdida de Cu respecto a sistemas Cu/Al₂O₃ previamente reportados, manteniendo elevadas conversiones de fenol.

Palavras-chave: Procesos de oxidación avanzada; Fenol; Catalizadores Cu/La-Al₂O₃; Lixiviación de cobre; Mineralización

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

CONTROL DEL LIXIVIADO DE COBRE DURANTE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA CATALÍTICA ORIENTADOS A LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES

Alejandra Verónica Devard – alejandradevard@gmail.com

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE, CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina.

María José Bordón – mariajosebordon@xxxx.xxx

Facultad de ingeniería química (FIQ) Universidad Nacional del Litoral (UNL)

Nicolas Alejandro Sacco – nsacco@fiq.unl.edu.ar

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE, CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina.

Fernanda Albana Marchesini – albana@fiq.unl.edu.ar

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE, CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina.

Abstract: Advanced oxidation processes based on hydrogen peroxide constitute a promising alternative for the removal of organic contaminants from water. Among heterogeneous Fenton-like catalysts, Cu-based materials have demonstrated high catalytic activity; however, their practical application is often limited by the leaching of the active phase. In this work, the influence of the Cu precursor and calcination temperature on the activity, stability, and mineralization degree of Cu/La-Al₂O₃ catalysts for advanced oxidation processes (AOPs) was investigated. The catalysts were prepared by wet impregnation using copper nitrate, sulfate, and chloride as precursors, followed by calcination at 400, 650, and 900 °C. Catalytic activity was evaluated in the oxidation of phenol in aqueous solution using H₂O₂ as the oxidizing agent. All catalysts achieved complete phenol conversion, demonstrating high catalytic activity regardless of the synthesis conditions. However, significant differences were observed in both mineralization degree and catalyst stability. Increasing the calcination temperature reduced Cu leaching, thereby improving catalyst stability, although it also led to lower mineralization of the reaction products. The results suggest the coexistence of homogeneous and heterogeneous contributions during the oxidation process. Furthermore, the incorporation of La reduced Cu loss compared with previously reported Cu/Al₂O₃ systems while maintaining complete phenol conversion.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Keywords: Advanced oxidation processes; Phenol; Cu/La-Al₂O₃ catalysts; Copper leaching; Mineralization.

1. INTRODUÇÃO

En las últimas décadas, el incremento de las actividades industriales, agrícolas y urbanas ha provocado una creciente contaminación de los recursos hídricos debido a la presencia de contaminantes emergentes (CEs), compuestos que no son eliminados eficientemente por los tratamientos convencionales y que pueden generar efectos adversos sobre los ecosistemas y la salud humana incluso a bajas concentraciones. Dentro de este grupo se incluyen fármacos, productos de cuidado personal, pesticidas y diversos compuestos fenólicos (KUMAR *et al.*, 2021, NECIBI *et al.*, 2021).

El fenol es ampliamente utilizado como compuesto modelo para la evaluación de tecnologías de tratamiento de aguas debido a su elevada toxicidad, persistencia y similitud estructural con numerosos contaminantes orgánicos aromáticos presentes en efluentes industriales (BRILLAS & GARCIA-SEGURA, 2020). Entre las alternativas más eficientes para su eliminación se encuentran los procesos de oxidación avanzada (POAs), basados en la generación de especies altamente reactivas capaces de degradar compuestos orgánicos recalcitrantes hasta alcanzar elevados niveles de mineralización (BOKARE & CHOI, 2014).

Dentro de los POAs, los procesos tipo Fenton heterogéneo basados en Cu han despertado un creciente interés debido a la elevada capacidad redox del sistema Cu²⁺/Cu⁺ para activar H₂O₂ y promover la degradación de contaminantes orgánicos. Sin embargo, uno de los principales desafíos asociados a estos materiales es la lixiviación de la fase activa durante la reacción, lo que afecta la estabilidad del catalizador y puede generar contaminación secundaria (LYU *et al.*, 2015; SINGH; REKHA; CHAND, 2016). Diversas estrategias han sido propuestas para minimizar este fenómeno, entre ellas la modificación del soporte mediante la incorporación de promotores capaces de fortalecer la interacción metal-soporte. En este contexto, el lantano ha demostrado mejorar la estabilidad estructural de materiales basados en alúmina y favorecer una mayor fijación de las especies metálicas activas, reduciendo potencialmente su pérdida durante la reacción (NISHIO; OZAWA, 2008).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia del precursor de Cu y de la temperatura de calcinación sobre la actividad catalítica, la mineralización y la estabilidad de catalizadores Cu/La-Al₂O₃ destinados a procesos de oxidación avanzada para la remoción de contaminantes orgánicos modelo. Particularmente, se analizó el efecto de estas variables sobre la lixiviación de Cu y su relación con el desempeño oxidativo de los materiales.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Síntesis de catalizadores

Se sintetizaron catalizadores basados en Cu soportado sobre Al₂O₃ que fue modificada mediante el agregado de lantano (Cu/La-A), con el objetivo de evaluar el efecto de dicho metal sobre

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

la estabilidad estructural del material y la minimización del lixiviado de Cu durante procesos de oxidación avanzada (POAs). Además, se investigó la influencia del precursor de Cu empleado sobre la naturaleza de las especies activas y sus propiedades catalíticas.

Modificación de soporte: se realizó mediante impregnación húmeda (IH) a 80 °C de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ sobre Al_2O_3 para lograr una carga de La del 5 % p/p.

Impregnación de Cu: se realizó mediante impregnación húmeda de diferentes sales precursoras sobre el soporte Al_2O_3 o $\text{La-Al}_2\text{O}_3$, con el objetivo de obtener una carga nominal de Cu del 5 % p/p. Se emplearon como precursores $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ y $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. La impregnación se llevó a cabo en las mismas condiciones utilizadas para la modificación del soporte. Luego de la evaporación del solvente, los sólidos fueron secados y posteriormente calcinados a 400, 650 y 900 °C durante 4 h. De este modo, se obtuvieron nueve sistemas catalíticos diferentes, resultantes de la combinación de tres precursores de Cu y tres temperaturas de calcinación y se nombraron de la siguiente manera: X-T, donde X representa el precursor de Cu empleado (N: nitrato, S: sulfato, C: cloruro), T la temperatura de calcinación (400, 650, o 900 °C).

2.2 Ensayos de oxidación catalítica

La actividad catalítica de los materiales se evaluó mediante la oxidación catalítica de fenol en fase acuosa empleando un reactor batch de tres bocas, partiendo de una solución inicial de fenol de 1000 ppm. En cada experimento, 100 mL de solución de fenol se calentaron hasta 70 °C bajo agitación constante y posteriormente se incorporaron 100 mg del catalizador. La reacción oxidativa se inició mediante el agregado de 10 mL de H_2O_2 (100 vol.), considerándose este momento como tiempo inicial de reacción (t_0) y con una duración de 2 h. Durante el ensayo se extrajeron muestras a diferentes tiempos para determinar la conversión de fenol y el consumo de H_2O_2 . Finalizada la reacción, el medio se filtró mediante membranas de 0,2 μm para separar el catalizador sólido. Sobre el filtrado se determinaron la concentración de Cu lixiviado y la demanda química de oxígeno (DQO), utilizada como parámetro indirecto del grado de mineralización alcanzado.

2.3 Caracterización

Los catalizadores se caracterizaron mediante difracción de rayos X (DRX) con el fin de identificar las fases cristalinas presentes y evaluar el efecto del precursor de Cu y la temperatura de calcinación sobre la estructura de los materiales.

2.4 Análisis del medio

El análisis del medio de reacción permitió determinar los siguientes parámetros:

- **Fenol residual:** cuantificado mediante el método colorimétrico estándar 5530-D (BAIRD et al., 2017).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

- **H₂O₂ residual:** determinado por titulação com KMnO₄ 0,1 M em meio ácido.
- **Cu lixiviado:** quantificado mediante el método colorimétrico estándar 3500-Cu B (BAIRD et al., 2017).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** utilizada para estimar el grado de mineralización mediante el método estándar (BAIRD et al., 2017).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Desempeño catalítico

En la Tabla 1 se presentan los resultados de porcentaje de conversión de fenol y de H₂O₂ para los distintos catalizadores estudiados. Además, es posible ver los tiempos en los cuales se llega a conversión total de fenol, es decir, la reacción procede durante 120 minutos en todos los casos pero se observa conversión de fenol completa durante los primeros, quedando el resto del tiempo convirtiendo los subproductos orgánicos de la oxidación de fenol

Tabla 1: Resultados de % de conversión de fenol y H₂O₂, y DQO para cada catalizador a los 120 minutos

Catalizador	Conversión de fenol (%)	Tiempo (min)	Conversión de H ₂ O ₂ (%)	DQO (ppm O ₂)
N-400	100	32	49	3799
N-650	100	21	33	5003
N-900	100	20	42	5326
S-400	100	9	43	3363
S-650	100	20	36	4954
S-900	100	50	43	6626
C-400	100	8	67	1690
C-650	100	15	37	4679
C-900	100	10	43	4235

En general, no se observaron diferencias significativas en el desempeño catalítico de los sistemas preparados a diferentes temperaturas ni utilizando distintos precursores de Cu. Todos los catalizadores alcanzaron conversiones completas de fenol durante las primeras etapas de la reacción, requiriéndose entre 8 y 50 min para lograr la conversión total según el material empleado. Al comparar los materiales calcinados a 400 y 900 °C, se observó una ligera mejora en la velocidad inicial de reacción para los catalizadores preparados a partir del precursor clorado. Aunque se

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

observaron diferencias en los tiempos requeridos para alcanzar la conversión completa de fenol, todos los materiales presentaron una elevada actividad catalítica, logrando conversiones del 100 % bajo las condiciones ensayadas. Por lo tanto, el precursor de Cu y la temperatura de calcinación no modificaron significativamente la conversión final alcanzada.

3.2 Resultados de DQO y mineralización

Además de alcanzar la conversión completa del fenol, resulta fundamental evaluar el grado de mineralización obtenido, es decir, la fracción de carbono orgánico transformada en CO_2 y H_2O . Este aspecto es especialmente relevante debido a que la oxidación parcial del fenol puede generar intermediarios potencialmente más tóxicos que el compuesto original, tales como hidroquinonas, benzoquinonas y ácidos carboxílicos de cadena corta.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) constituye un parámetro indirecto del grado de mineralización alcanzado, ya que permite estimar la cantidad de materia orgánica residual presente en el medio de reacción mediante la determinación del oxígeno necesario para su oxidación química completa.

Los valores de DQO obtenidos para los distintos catalizadores se presentan en la Tabla 1. En términos generales, se observa que el incremento de la temperatura de calcinación conduce a valores más elevados de DQO residual, indicando una menor mineralización de los productos de reacción. Esta tendencia se verificó para los tres precursores de Cu estudiados.

Por otra parte, los catalizadores calcinados a 400 °C presentaron menores valores de DQO residual, destacándose particularmente el material preparado a partir de cloruro de Cu (C-400), que exhibió el mayor grado de mineralización entre todos los sistemas evaluados. Estos resultados sugieren que las condiciones de síntesis podrían influir más significativamente sobre la mineralización de los intermediarios de reacción que sobre la conversión global de fenol.

3.3 Lixiviación de Cu

En relación con la estabilidad de los catalizadores, la Figura 1 presenta los porcentajes de Cu lixiviado al final de la reacción, agrupados según la temperatura de calcinación para facilitar el análisis comparativo. Los resultados muestran que el incremento de la temperatura de calcinación disminuye significativamente la cantidad de Cu lixiviado durante la reacción. Este comportamiento sugiere una interacción más fuerte entre la fase activa y el soporte a medida que aumenta la temperatura de tratamiento térmico, favoreciendo una mayor estabilidad del material bajo las condiciones de operación, en concordancia con observaciones previas reportadas para sistemas $\text{Cu}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (DEVARD et al., 2019). Las diferencias asociadas al precursor de Cu fueron menos pronunciadas que las observadas con la temperatura de calcinación. En este sentido, la temperatura de calcinación resultó ser la variable de síntesis con mayor influencia sobre la estabilidad de los catalizadores.

Por otra parte, al comparar estos resultados con los obtenidos previamente para catalizadores $\text{Cu}/\text{Al}_2\text{O}_3$ sin modificar (DEVARD et al., 2019; DEVARD et al., 2025), se observa que la incorporación de La al soporte permite disminuir la lixiviación de Cu manteniendo

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

elevadas conversiones de fenol. Estos resultados sugieren que la modificación de la alúmina con La podría ser una estrategia efectiva para mejorar la estabilidad de la fase activa durante el proceso oxidativo.

Resulta además relevante analizar conjuntamente los resultados de lixiviación y mineralización, ya que el objetivo no sólo consiste en minimizar la pérdida de la fase activa, sino también en mantener una elevada eficiencia oxidativa. En este contexto, ARENA et al. (2006) reportó una contribución significativa de las especies de Cu en fase homogénea durante la oxidación catalítica de compuestos fenólicos. De acuerdo con ello, el aumento de la temperatura de calcinación conduce a una mayor fijación del Cu sobre el soporte, disminuyendo la concentración de especies lixiviadas en solución y, en consecuencia, reduciendo la contribución homogénea al proceso oxidativo.

Esta interpretación resulta consistente con los resultados de DQO obtenidos, ya que los catalizadores calcinados a 400 °C presentaron simultáneamente los mayores niveles de lixiviación y los menores valores de DQO residual, es decir, los mayores grados de mineralización. Por el contrario, los materiales calcinados a temperaturas más elevadas exhibieron menores niveles de Cu lixiviado, pero también una menor capacidad para mineralizar los intermediarios de reacción.

En conjunto, estos resultados evidencian la coexistencia de contribuciones homogéneas y heterogéneas durante la oxidación catalítica de fenol. Mientras que el incremento de la temperatura de calcinación mejora la estabilidad del catalizador y reduce el lixiviado metálico, también disminuye la disponibilidad de especies de Cu en solución que podrían participar en la generación de especies oxidantes activas. En consecuencia, se observa un compromiso entre estabilidad catalítica y grado de mineralización, donde los materiales más estables no necesariamente son los que alcanzan los mayores niveles de mineralización.

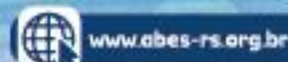
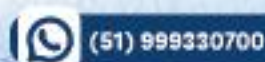
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



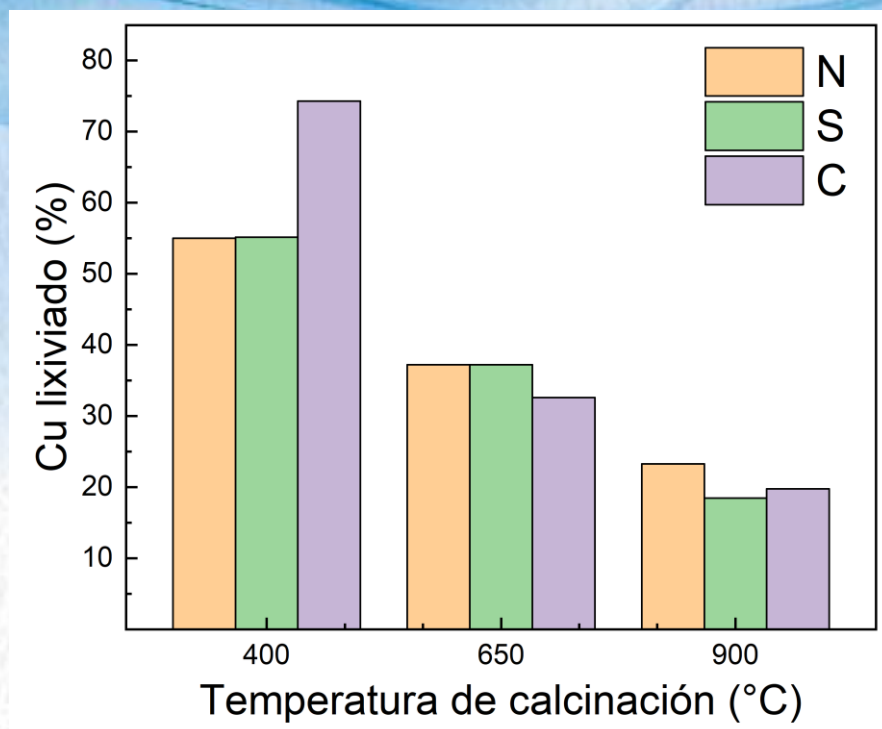


Figura 1. % de Cu lixiviado, según temperatura de calcinación y precursor empleado.

3.4 Caracterización por DRX

Los patrones de difracción de rayos X correspondientes al soporte modificado y a los catalizadores preparados utilizando diferentes precursores de Cu se presentan en la Figura 2. En todos los materiales se observan las reflexiones características de la $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, indicando que la estructura general del soporte se conserva luego de la incorporación de las especies activas y de los tratamientos térmicos aplicados.

No se detectaron señales claramente atribuibles a fases cristalinas de CuO , lo que sugiere una elevada dispersión de las especies de Cu sobre la superficie del soporte o la presencia de dominios cristalinos de tamaño inferior al límite de detección de la técnica.

Por otra parte, los catalizadores preparados a partir de nitrato y calcinados a 650 y 900 °C presentaron un incremento relativo de la intensidad de algunas reflexiones localizadas alrededor de $2\theta = 32^\circ$ y 60° . Este comportamiento podría estar asociado a una mayor interacción entre las especies de Cu, La y el soporte, favorecida por las altas temperaturas de calcinación. Sin embargo, debido a la superposición de señales y a la ausencia de reflexiones

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

adicionales claramente identificables, no resulta posible confirmar la formación de fases cristalinas específicas.

Las diferencias observadas mediante DRX son consistentes con los resultados de lixiviación obtenidos. Los materiales calcinados a mayores temperaturas presentaron menores pérdidas de Cu durante la reacción, lo que sugiere una interacción más fuerte entre la fase activa y el soporte. En consecuencia, el tratamiento térmico aparece como una variable clave para mejorar la estabilidad de los catalizadores bajo condiciones de oxidación avanzada.

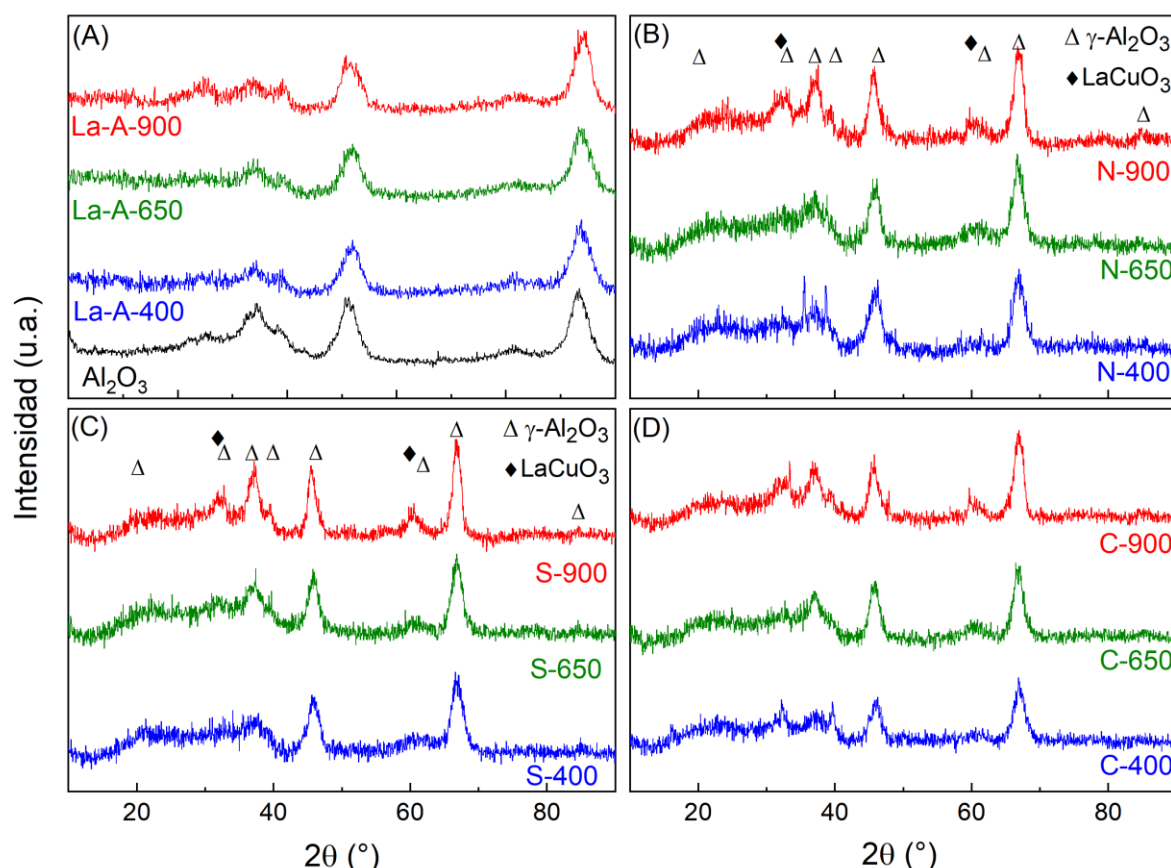


Figura 2. Patrones de difracción de rayos X de (A) el soporte modificado, y los catalizadores preparados a partir de diferentes precursores de Cu a las tres temperaturas (B) Nitrato, (C) Sulfato y (D) Cloruro

Los planos de difracción 200 ($2\theta = 33^\circ$) y 005 ($2\theta = 60^\circ$) presentan una intensidad del 100 % y el 70 %, respectivamente, que contribuyen al aumento de la intensidad en esos valores de 2θ . El efecto resulta más evidente para el catalizador N-900, lo que sugiere que el

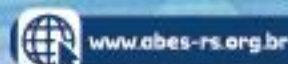
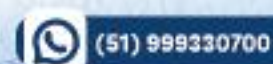
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



aumento de la temperatura de calcinación promueve una mayor interacción entre las especies de Cu y La presentes en el material. Las diferencias estructurales observadas permiten explicar las tendencias previamente encontradas en los ensayos de lixiviación y mineralización. En particular, los materiales calcinados a mayores temperaturas presentaron menores niveles de Cu lixiviado, lo que indica una interacción más fuerte entre la fase activa y el soporte. Esta observación resulta consistente con los cambios detectados en los difractogramas, especialmente para los catalizadores preparados a partir de nitrato y calcinados a 650 y 900 °C, donde la posible formación de especies mixtas Cu-La o una mayor interacción metal-soporte podrían contribuir a una fijación más efectiva del Cu.

4 CONCLUSIONES

Los catalizadores Cu/La-Al₂O₃ preparados utilizando diferentes precursores de Cu y temperaturas de calcinación mostraron elevada actividad en la oxidación catalítica de fenol, alcanzando conversiones completas bajo las condiciones evaluadas. Sin embargo, las variables de síntesis ejercieron una influencia significativa sobre la estabilidad del material y el grado de mineralización alcanzado. El incremento de la temperatura de calcinación permitió disminuir considerablemente la lixiviación de Cu, evidenciando una mayor interacción entre la fase activa y el soporte. No obstante, esta mejora en la estabilidad estuvo acompañada por un aumento de la DQO residual, indicando una menor mineralización de los productos de reacción. Los resultados sugieren que los sistemas con mayor lixiviación presentan una contribución homogénea más importante durante el proceso oxidativo, favoreciendo la mineralización de los intermediarios generados. En consecuencia, se observa un compromiso entre estabilidad catalítica y eficiencia de mineralización.

La incorporación de La permitió reducir la pérdida de Cu respecto a sistemas Cu/Al₂O₃ previamente reportados, manteniendo elevadas conversiones de fenol. Estos resultados confirman el potencial de la modificación con lantano como estrategia para el diseño de catalizadores más estables destinados a procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas contaminadas.

5 AGRADECIMENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, CAID 2024 50320260100156LI, Red CYTED, Economía circular na industria Iberoamericana: resíduos em produtos de valor acrescentado (323RT0143) RECIRCULA.

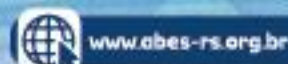
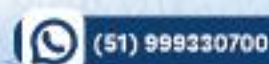
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



6 REFERENCIAS

ARENA, F.; ALONGI, E.; FAMULARI, P.; et al. **Basic evaluation of the catalytic pattern of the CuCeOx system in the wet oxidation of phenol with oxygen.** Catalysis Letters, v. 107, p. 39-46, 2006.

BOKARE, A. D.; CHOI, W. **Review of iron-free Fenton-like systems for activating H₂O₂ in advanced oxidation processes.** Journal of Hazardous Materials, v. 275, p. 121-135, 2014.

BRILLAS, E.; GARCIA-SEGURA, S. **Benchmarking recent advances and innovative technology approaches of Fenton, photo-Fenton, electro-Fenton, and related processes: A review on the relevance of phenol as model molecule.** Separation and Purification Technology, v. 237, p. 116337, 2020.

DEVARD, A.; BRUSSINO, P.; MARCHESINI, F. A.; ULLA, M. A. **Cu(5%)/Al₂O₃ catalytic performance on the phenol wet oxidation with H₂O₂: Influence of the calcination temperature.** Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 7, p. 103201, 2019.

DEVARD, A.; SACCO, N.; MIRANDA ZOPPAS, F.; BURNA, E.; MARCHESINI, F. A. **Influence of copper precursor on the activity and stability of Cu/Al₂O₃ catalysts for AOPS reaction.** Journal of Chemical Technology and Biotechnology, v. 101, p. 617-626, 2025.

KUMAR, M.; XIONG, X.; HE, M.; et al. **Emerging contaminants in wastewater: A critical review on occurrence, existing legislations, risk assessment, and sustainable treatment alternatives.** Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 9, p. 105966, 2021.

LYU, L.; ZHANG, L.; HU, C. **Enhanced Fenton-like degradation of pharmaceuticals over framework copper species in copper-doped mesoporous silica microspheres.** Chemical Engineering Journal, v. 274, p. 298-306, 2015.

NECIBI, M. C.; DHIBA, D.; EL HAJJAJI, S. **Contaminants of Emerging Concern in African Wastewater Effluents: Occurrence, Impact and Removal Technologies.** Sustainability, v. 13, p. 1125, 2021.

NISHIO, Y.; OZAWA, M. **Microstructure of La-modified Al₂O₃ support with LaAlO₃ nanoparticles.** Journal of the Ceramic Society of Japan, v. 116, n. 1360, p. 1295-1298, 2008.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br



13º Simpósio
Internacional de
Qualidade Ambiental

Tecnologias Ambientais e Inovação

23, 24 e 25 de setembro de 2026

SINGH, L.; REKHA, P.; CHAND, S. **Cu-impregnated zeolite Y as highly active and stable heterogeneous Fenton-like catalyst for degradation of Congo red dye.** Separation and Purification Technology, v. 170, p. 321-336, 2016.

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



REBOB
Rede Brasileira de
Biotecnologia e Bioeconomia



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br