

**CONAMA 2024**

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Spouted bed cónico para  
aplicación en la eliminación  
de fármacos de aguas  
residuales con adsorbentes  
no convencionales



# CONAMA 2024

## TÍTULO

---

**Autor Principal:** María José San José (Universidad del País Vasco)

**Otros autores:** Sonia Alvarez (Universidad del País Vasco); Raquel, López (Universidad del País Vasco)

## TÍTULO

---

## ÍNDICE MÍNIMO

1. Título	1
2. Palabras clave	3
3. Resumen	3
4. Introducción	3
5. Metodología	4
6. Resultados	5
6.1. Fluidodinámica	5
6.2. Adsorbentes	6
6.3. Adsorción	6
7. Conclusiones	7
8. Nomenclatura	7
9. Bibliografía	7

## PALABRAS CLAVE

Adsorción, aguas residuales, fármacos, spouted beds cónicos

## RESUMEN

Con objeto de llevar a cabo la eliminación de fármacos de aguas residuales por adsorción en un reactor spouted bed cónico, se ha llevado a cabo la adsorción de determinados fármacos con un adsorbente no convencional y de bajo coste tras ser activado termoquímicamente, realizando un estudio fluidodinámico y del índice de mezcla en los lechos de adsorbente con cada fármaco.

## INTRODUCCIÓN

El consumo creciente de fármacos constituye un problema ambiental debido al aumento de la presencia de fármacos inalterados y de sus metabolitos en aguas residuales urbanas e

## TÍTULO

---

industriales [1]. Las tecnologías convencionales utilizadas actualmente en las plantas de aguas residuales municipales (EDAR) sólo eliminan una pequeña cantidad de estos contaminantes [2]. El Nuevo Plan de Acción sobre la Economía Circular [3] especifica los contaminantes que se deben eliminar del agua. La adsorción es una tecnología eficaz para eliminar contaminantes diluidos de las aguas residuales [4]. Sin embargo, su aplicabilidad industrial es limitada debido al elevado coste de los adsorbentes.

El contactor spouted bed cónico se ha aplicado en el tratamiento térmico de biomasa residual mediante secado [5-7], combustión [8-9] y digestión anaerobia [10-12].

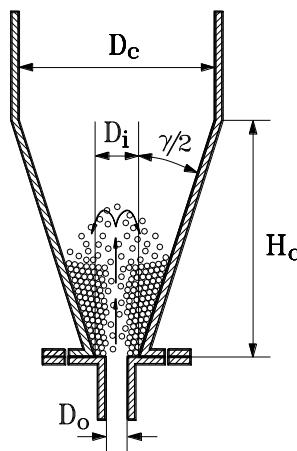
En este estudio se realizó la adsorción de tres fármacos diferentes de las aguas residuales en un contactor spouted bed en el régimen de spouting, utilizando un lecho de adsorbente no convencional de bajo coste.

## METODOLOGÍA

El proceso de adsorción de fármacos de aguas residuales se ha realizado en un reactor spouted bed cónico a escala de laboratorio, Figura 1, cuyos factores geométricos se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Factores geométricos del reactor spouted bed cónico

Angulo del cono	$\gamma$ (º)	36
Diámetro de sección cilíndrica	$D_c$ (m)	0.10
Diámetro de la base	$D_i$ (m)	0.03
Diámetro de entrada del fluido	$D_o$ (m)	0.02
Diámetro de la superficie superior del lecho	$D_b$ (m)	$D_i + 2 H_o \tan (\gamma/2)$
Altura de la sección cónica	$H_c$ (m)	0.13
Altura de la sección cilíndrica	$H_{cil}$ (m)	0.10



**Figura 1.** Geometría del reactor spouted bed cónico y situación de partículas en el régimen de spouted bed

## TÍTULO

---



**Figura 2.** (a) Foto del reactor spouted bed cónico a escala de laboratorio, (b) Foto del reactor spouted bed cónico a escala de planta piloto.

En el contactor spouted bed cónico, el fluido se impulsa por la base del contactor, abre una zona central, denominada zona de spout, por donde asciende el lecho describiendo una fuente en la región superior del lecho. Posteriormente, el lecho desciende por la zona anular y se incorpora a la zona de spout a diferentes niveles del lecho, recirculando el fluido al lecho. El buen comportamiento de esta tecnología se basa en el vigoroso movimiento cíclico que proporciona una alta turbulencia en el lecho, garantizando un buen contacto entre el fármaco y el adsorbente, una alta transferencia de materia [7, 13-14] en la adsorción, respecto al lecho fijo y al lecho fluidizado y un lecho homogéneo al evitar la segregación del adsorbente en el lecho [15].

El adsorbente obtenido a partir de biomasa residual, para lograr el residuo neto cero, según el Nuevo Plan de Acción Circular para la Economía Circular 2020 de la UE [3], se pretrató mediante activación termoquímica.

## RESULTADOS

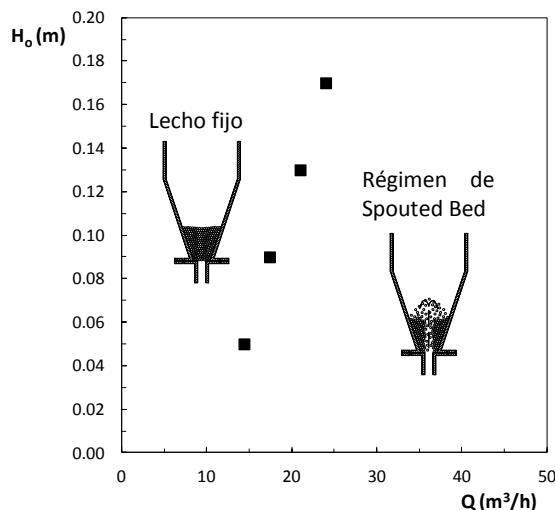
### Fluidodinámica

Con objeto de llevar a cabo la eliminación de contaminante emergentes de aguas residuales mediante adsorción en un reactor spouted bed cónico, la velocidad mínima de fluido requerida para alcanzar el régimen de spouted bed de lechos de agua residual con adsorbente se determinó experimentalmente a partir de las fluctuaciones de la pérdida de carga del lecho con una desviación estándar inferior a 10 Pa [16].

El mapa de operación en el que se representa la altura de los lechos de agua con adsorbente frente a la velocidad del fluido, en un reactor spouted bed cónico a escala de laboratorio se representa en la Figura 3. Como se observa al aumentar la velocidad del fluido el lecho pasa del lecho fijo al régimen de spouted bed.

## TÍTULO

---



**Figura 3.** Mapa de operación de lechos de aguas residuales con adsorbente en un reactor spouted bed cónico

Se cuantificó la segregación de los lechos de agua residual con adsorbente en un reactor spouted beds cónico mediante el índice de mezcla. La cuantificación de la segregación se ha realizado recogiendo muestras de lecho en diferentes posiciones radiales y longitudinales del reactor mediante una bomba de succión y calculando el índice de mezcla a partir de los porcentajes experimentales de partículas de adsorbente en cada muestra. Los lechos de agua residual con adsorbente presentan baja segregación con pequeña variación del índice de mezcla con la posición del lecho.

## Adsorbente

Se preparó adsorbente de bajo coste a partir de residuos de la industria de transformación de la madera mediante activación termoquímica. En primer lugar los residuos se trituraron en el molino Fritsch Pulverisette 15 mill (Fritsch, Germany) para reducir el tamaño de partícula y se separó una fracción de diámetro de partícula entre 1 y 2 mm en la tamizadora Filtra FTI-0300 (Filtra Vibracion, S.L., Spain). A continuación, se activaron químicamente y posteriormente térmicamente. El área superficial del adsorbente activado se determinó mediante isoterma de adsorción de nitrógeno.

## Adsorción

La adsorción de tres fármacos diferentes pertenecientes a la categoría terapéutica de analgésicos, se llevó a cabo a temperatura ambiente en un reactor spouted bed cónico en el régimen de spouted bed. Se partió de lechos constituidos por aguas residuales con una concentración inicial de fármaco conocida (entre 5 y 50 mg/l) y una cantidad determinada de adsorbente activado. Se tomaron muestras del lecho con el tiempo y se determinó la concentración de cada fármaco a partir de la absorbancia medida en el espectrofotómetro (SHIMADZU UV-1280), previa obtención del calibrado de la concentración con la absorbancia.

## TÍTULO

---

Se obtuvieron los resultados experimentales de la evolución de la concentración de los fármacos en el agua residual con el tiempo, hasta alcanzar la concentración de equilibrio. Los valores experimentales de la capacidad de eliminación de los fármacos con adsorbente obtenido por activación termoquímica a partir de residuos de la industria de transformación de la madera en un reactor spouted bed cónico son superiores a los obtenidos en mezcla perfecta con bagazo de caña de azúcar y esponja vegetal [17], con residuos de estación depuradora de aguas residuales [18], con cáscara de arroz [19], y con hueso de aceituna [20].

## CONCLUSIONES

Se ha tratado la eliminación de tres fármacos, pertenecientes a una misma categoría farmacológica, presentes en aguas residuales, mediante un adsorbente no convencional de bajo coste, obtenido a partir de biomasa residual, en un reactor spouted bed cónico. Como resultado del proceso se ha obtenido una mayor capacidad de adsorción que en otros sistemas de operación en la eliminación de dichos fármacos en aguas residuales, que podría presentar aplicación a escala industrial en estaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.

## Agradecimientos

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i PID2021-126331OB-I00 financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033/ y por FEDER Una manera de hacer Europa y del proyecto TED2021-130150B-I00 financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033/ y por EU NextGenerationEU/PRTR.

## NOMENCLATURA

$D_b$ , $D_c$ , $D_i$ , $D_o$	diámetro superior del lecho estancado, del cono, de la base del reactor y de la entrada del gas, respectivamente (m)
$d_p$	diámetro de partícula (m)
$H_c$ , $H_{cil}$ , $H_o$	altura de la sección cónica, de la sección cilíndrica y del lecho estancado (m)
$u$ , $u_{ms}$	velocidad del gas y velocidad mínima de spouting, respectivamente (m/s)
Símbolos	
$\gamma$	ángulo del reactor (deg)

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Fernández, C, González-Doncel, M, Pro, J, et al., (2010). Occurrence of pharmaceutical active compounds in surface waters in the Henares-Jarama-Tajo river (Madrid-Spain) and a potential risk characterization. *Science of the Total Environment*, 408, 543-551. 10.1016/j.scitotenv.2009.10.009
- [2] Rout, P. R., Zhang, T. C., Bhunia, P. y Surampalli, R. Y. (2021). Treatment Technologies for emerging contaminants in wastewater treatment plants. A review. *Science of the Total*

# CONAMA 2024

## TÍTULO

---

*Environment*, 753, 141990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141990>

- [3] Comisión Europea. (2020). Nuevo Plan de Acción sobre la Economía Circular. (COM(2020) 98 final.
- [4] Varsha, M., Kumar, P. S. y Rathi, B.S. (2022). A review on recent trends in the removal of emerging contaminants from aquatic environment using low-cost adsorbents. *Chemosphere*, 287, 132270. [10.1016/j.chemosphere.2021.132270](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132270)
- [5] San José, M. J., Alvarez, S. y López, R. (2019). Drying of industrial sludge waste in a conical spouted bed dryer. Effect of air temperature and air velocity. *Drying Technology*, 37, 118-128. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1441155>.
- [6] San José, M. J., Alvarez, S. y López, R. (2021). Drying kinetics of sawdust in conical spouted beds: Influence of geometric and operational factors. *Fuel Processing Technology*, 221, 106950. [10.1016/j.fuproc.2021.106950](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106950)
- [7] San José, M. J., Alvarez, S. y López, R. (2024) Jet-spouted bed in conical contactor for winery waste drying. *Powder Technology*, 436, 119455. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.119455>.
- [8] San José, M. J., Alvarez, S. y López, R. (2018). Catalytic combustion of vineyard pruning wastes in a conical spouted bed combustor. *Catalysis Today*, 305, 13-18. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2017.11.020>.
- [9] San José M. J., Alvarez S. y López R. (2023). Conical spouted bed combustor to obtain clean energy from avocado waste. *Fuel Processing Technology*, 239, 107543. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107543>
- [10] San José M. J., Alvarez S. y López R. (2017). Anaerobic digestion of sewage sludge in Conical Spouted Beds. European Congress on Applied Biotechnology. Barcelona, Spain.
- [11] San José M. J., Alvarez S. y López R. (2018). Performance of conical spouted beds technology for anaerobic digestion of wastes from wine production. Natural Gas Utilization Work. Texas, USA.
- [12] San José M. J., Alvarez S. y López R. (2021). Co-digestion of sewage sludge with sludge from the Paper industry and digestate remediation. International Symposium on Environmental Catalysis Processing Engineering. Morocco.
- [13] Mathur, K. y Epstein, N. (1974). Spouted Beds, Academic Press, New York.
- [14] Hoffmann, T., Hailu Bedane, A., Peglow, M., Tsotsas, E. y Jacob, M. (2011). Particle–gas mass transfer in a spouted bed with adjustable air inlet. *Drying Technology*, 29, 257–265. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.483046>.
- [15] San José, M. J., Olazar, M., Peñas, F. J. y Bilbao, J. (1994). Segregation in conical spouted beds with binary and ternary mixtures of equidensity spherical particles. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 33, 1838-1844. <https://doi.org/10.1021/ie00031a025>.
- [16] San José, M. J. y Alvarez, S. (2015). Bed pressure drop in conical spouted beds with a draft tube in thermal treatment of wastes of different particle diameter, density and shape. *Chemical Engineering Technology*, 38(4), 709-714. [10.1002/CEAT.201400650](https://doi.org/10.1002/CEAT.201400650)
- [17] Ribeiro, A. V. F. N., Belisário, M., Galazzi, R. M., Balthazar, D. C., Pereira, M. D. G. y Ribeiro, J. N., 2011. Evaluation of two bioadsorbents for removing paracetamol from aqueous

## TÍTULO

---

media. *Electronic Journal of Biotechnology*, 14 (6), 1–10.

- [18] Lladó, J., Lao-Luquea, C., Ruiz, B., Fuente, E., Solé-Sardansa, M. y Dorado, A. D. (2015). Role of activated carbon properties in atrazine and paracetamol adsorption equilibrium and kinetics. *Process Safety and Environmental Protection*, 95, 51–59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2015.02.013>
- [19] Nche, N. A. G., Bopda, A., Tchuifon, D. R., Ngakou, C. S., Kuete, I. H. T. y Gabche, A. S. (2017). Removal of Paracetamol from aqueous solution by adsorption onto activated carbon prepared from rice husk. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 9(3), 56–68.
- [20] Al-Sharify, Z. T., Faisal, M. A. L., Al-Sharify, T. A., Al-Sharify, N. A. y Faisal, M. A. F. (2018). Removal of analgesic paracetamol from wastewater using dried olive stone. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9 (13), 293–299.