CONAMA 2026

Las aguas residuales como recurso en Carrícola

Sistemas basados en la Naturaleza para depuración de aguas residuales

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: Sofía Sanz López. Estudiante. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente - Universitat Politècnica de València.

Otros Autores: Carmen Hernandez-Crespo. Profesora titular. Instituto Ingeniería del Agua y Medio Ambiente - Universitat Politècnica de València.

Maite Cháfer Nácher. Catedrática. Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos-FoodUPV.

Miguel Martín Monerris. Profesor titular. Instituto Ingeniería del Agua y Medio Ambiente - Universitat Politècnica de València.

Sara Sanjuan García. Estudiante. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente - Universitat Politècnica de València.

Índice

1. Antecedentes. 1

1.1. El municipio de Carrícola. 1

1.1.1. La problemática presente. 1

1.2. Humedales artificiales. 1

2. Objetivos 2

3. Metodología. 3

3.1. Área de estudio: La Ecodepuradora de Carrícola. 3

3.2. Toma de muestras 4

4. Resultados. 4

5. Discusión y conclusiones 5

6. Bibliografía 6

1. Antecedentes.

1.1. El municipio de Carrícola.

Carrícola es un pequeño municipio interior situado en la sierra de Benicadell, en la provincia de Valencia. Con sus 95 habitantes censados, se presenta como un pueblo ejemplar en cuanto a sus iniciativas sostenibles. La economía de Carrícola ha sido tradicionalmente agrícola: olivares, naranjos y otros frutales y hortalizas son parte de su paisaje. En 1985 optaron por la instalación de riego por goteo para el ahorro de recursos hídricos y, a partir de esta década, se comenzó a apostar por la agricultura ecológica, suponiendo el primer empuje hacia prácticas sostenibles.

Destaca la gestión de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos ya que, desde hace años se realiza a nivel local en la planta de compostaje del municipio, mejorando los suelos a los que se aplica el compost y suponiendo un ahorro en costes ambientales y económicos.

1.1.1. La problemática presente.

En Carrícola, las aguas subterráneas son extraídas mediante bombeos que garantizan el suministro de agua para la localidad. Una de las consecuencias de un suelo cada vez más impermeabilizado y la ocurrencia de eventos climáticos cada vez más extremos es el descenso del nivel piezométrico. Cuando la masa de agua subterránea se encuentra en capas más profundas, los costes de bombeo se incrementan, lo cual se traduce en el encarecimiento de un recurso esencial para la supervivencia y la economía.

En este contexto, en el cual la agricultura es el sustento económico de sus habitantes, el esfuerzo por evitar el desperdicio de agua ha dado lugar a la necesidad de innovación: como más arriba se describía: la instalación de riego por goteo en los campos de cultivo y, como se desarrollará más adelante, implantando un sistema de regeneración para su planta de tratamiento de aguas residuales que permitirá la desinfección y reutilización.

1.2. Humedales artificiales.

Los humedales, en la naturaleza, son ecosistemas que se encuentran permanente o temporalmente saturados de agua. En ellos, se dan condiciones para la vida tanto acuáticas como terrestres, por tanto, sirven de hábitat a gran variedad de especies de fauna y flora. También aportan beneficios hidrológicos: pueden almacenar agua, moderar el flujo, reducir algunos efectos de las inundaciones e incluso en ciertos humedales, el agua almacenada se liberarse gradualmente durante los periodos secos (Sonia et al. 2025).

Los humedales artificiales o construidos son sistemas que pueden estar diseñados para el tratamiento de agua mediante la combinación de: un lecho filtrante o sustrato, vegetación y poblaciones microbianas. Se trata de una tecnología Basada en la Naturaleza que se ha expandido

en los últimos años y que, dependiendo de la configuración y los objetivos con los que se construyen, tienen múltiples aplicaciones de tratamiento: para aguas residuales, escorrentías agrícolas, efluentes de la industria, escorrentías urbanas o aliviaderos (Dotro et al., 2021).

Respecto a los humedales artificiales de tratamiento de aguas residuales urbanas, se construyen con un revestimiento impermeable que evita la filtración del agua al subsuelo. Además, se seleccionan especies vegetales que toleran condiciones de saturación y de concentración de contaminantes característicos. La vegetación puede llegar a absorber nutrientes para incorporarlos a sus tejidos, servir de soporte a las comunidades microbianas que degradan los contaminantes y de mantener las condiciones de permeabilidad del sustrato sobre el que crecen, manteniendo, por acción de sus raíces, la porosidad del medio filtrante, en el caso de algunos tipos de humedales.

En estos humedales artificiales (HA), se imitan algunos procesos que se dan en la naturaleza, mejorando la calidad del agua y el entorno a nivel paisajístico o de hábitat.

2. Objetivos

- Evaluar la idoneidad del efluente en la depuradora de Carrícola, tras el tratamiento terciario, para su reutilización en agricultura.
- Comunicar el potencial de los HA para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones.
- Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)
    - ODS 6. Agua limpia y saneamiento.
    - ODS 12: Producción y consumo responsables. Gestión de los residuos (evita lodos de EDAR convencionales)
    - ODS 14: Vida submarina: minimizando la dispersión de contaminantes en los ecosistemas acuáticos.
    - ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres: los humedales son sistemas naturalizados que pueden albergar vida.
    - ODS 3, 11 y 13: Salud y bienestar: mejora de la calidad del aire y el agua en las zonas urbanas y periurbanas; Ciudades y comunidades sostenibles: fomento de la urbanización inclusiva y sostenible; y Acción por el clima: los HA son sistemas con un bajo consumo energético. La depuración de aguas y posterior reutilización, reduce la presión sobre los recursos disponibles.

3. Metodología.

3.1. Área de estudio: La Ecodepuradora de Carrícola.

Hasta 2014, en Carrícola, el tratamiento que se realizaba para aguas residuales urbanas resultaba insuficiente para su vertido al medio natural, por ello se realizaron propuestas para el diseño de un tratamiento adecuado. Una alternativa para mejorar el tratamiento fue la implementación de biodiscos, muy extendidos en poblaciones pequeñas. Sin embargo, la propuesta no era coherente con las iniciativas sostenibles del municipio. Por ello, en colaboración con el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad politécnica de Valencia, se implementó un sistema de humedales.

El tratamiento de las aguas que llegan a la EDAR de Carrícola se inicia a cota menor que el núcleo urbano y, en todo su recorrido, funciona por gravedad. La etapa de pretratamiento está compuesta de una reja de desbaste de limpieza manual, fundamental para la retención de solidos de gran tamaño que podrían perjudicar las siguientes fases de tratamiento y sus conducciones.

Seguidamente a la reja, se encuentra el tratamiento primario compuesto por dos tanques Imhoff en serie, rehabilitados de la antigua instalación que daba servicio a la población. En estos tanques, los sólidos en suspensión y los contaminantes asociados a estos sedimentan, dando como resultado un agua más clarificada y por tanto, protegiendo los humedales de tratamiento, cuyo lecho filtrante podría verse colmatado con rapidez en ausencia de sedimentación primaria.

El tratamiento, a partir de este momento, se compone de un sistema de humedales artificiales de diferente tipología. El inicio del sistema son dos humedales en paralelo de flujo subsuperficial horizontal, vegetados por carrizo, lirios, juncos y narcisos sobre un sustrato de gravas. En estos humedales, el agua se depura por procesos de filtración y degradación biológica, conformando lo que sería el tratamiento secundario.

Para el tratamiento terciario, se construyeron, por medio del proyecto LIFE Renaturwat, dos humedales verticales secuenciales dispuestos en serie. Estos, contienen en su medio filtrante sustrato adsorbente de fósforo procedente de la valorización de lodos de potabilizadora, ricos en sales de aluminio. Además, el funcionamiento secuencial implica que se suceden ciclos de vaciado en los cuales se alternan condiciones aerobias y anaerobias que permiten la proliferación de bacterias nitrificantes y desnitrificantes. Un valor añadido a estos humedales fue la plantación de aromáticas alrededor, favoreciendo la presencia de insectos beneficiosos.

En el último año, en el marco del proyecto “Carrícola más que circular” (MITERD) se implantó un tratamiento de desinfección de bajo costo: dos lámparas ultravioletas diseñadas para bajo caudal y conectadas a un sistema de energía solar. Este sistema es el objeto de nuestro estudio.

Por último, el vertido del efluente al cauce receptor no se realiza sin antes pasar por otro humedal de flujo subsuperficial horizontal de 200m^2 y una laguna de renaturalización, cuyo funcionamiento es el de un humedal artificial de flujo superficial. Este humedal bautizado como “charca de anfibios” sirve de hábitat para algunas especies de anfibios y reptiles y otros organismos acuáticos además de permitir la desinfección de agua por diferentes procesos naturales.

3.2. Toma de muestras

El estudio de la calidad del agua se realiza a partir del tratamiento terciario, es decir de los humedales verticales. Los puntos de muestreo son: entrada al primer humedal de flujo vertical (P1), entrada al segundo humedal vertical (P2), salida del segundo humedal vertical (P3), salida tras pasar por una lampara ultravioleta (P4), salida tras atravesar dos lámparas ultravioletas (P5), entrada a la laguna de renaturalización (P6) y salida de la laguna al medio receptor (P7).

En los muestreos se evalúan, in-situ mediante sondas (WTW 340i multiparameter portable meter), los parámetros de oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica. En laboratorio se analizan las muestras obteniendo las concentraciones de DQO (Hach test: ISO 6060), nitrógeno (Hach test: ISO 11905-1 + photometry) y fosforo total (Hach test: digestion + ISO 6878), nitratos (Hach test: ISO 7890-1- 2), nitritos (Hach test: ISO 26777), amonio (Hach test: ISO 7150-1) y fosfatos (Hach test: ISO 6878).

Para el control de calidad de aguas regeneradas, según el Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, se realiza mediante la cuantificación de bacterias indicadoras de contaminación fecal: *Escherichia coli* con el método Colilert-18 Quanti-Tray™.

4. Resultados.

La media obtenida de los análisis fisicoquímicos en el efluente desde la implantación de los humedales verticales es:

Parámetro	Valor medio
DQO	27.22 mg DQO/l
P_T	2.19 mg P/l
PO_4^{3-}	1.88 mg PO_4^{3-}/l
N_T	32.91 mg N/l
NH_4^+	20.12 mg NH_4^+/l
NO_3	7 mg NO_3/l

NO_2	0.30 mg NO_2/l
SST	15.43 mg SST/l

Tabla 1. Concentraciones medias de los principales contaminantes en el efluente.
Fuente: Elaboración propia.

Desde principio de la monitorización, en junio de 2026, de las bacterias indicadoras de contaminación fecal, los resultados obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo son:

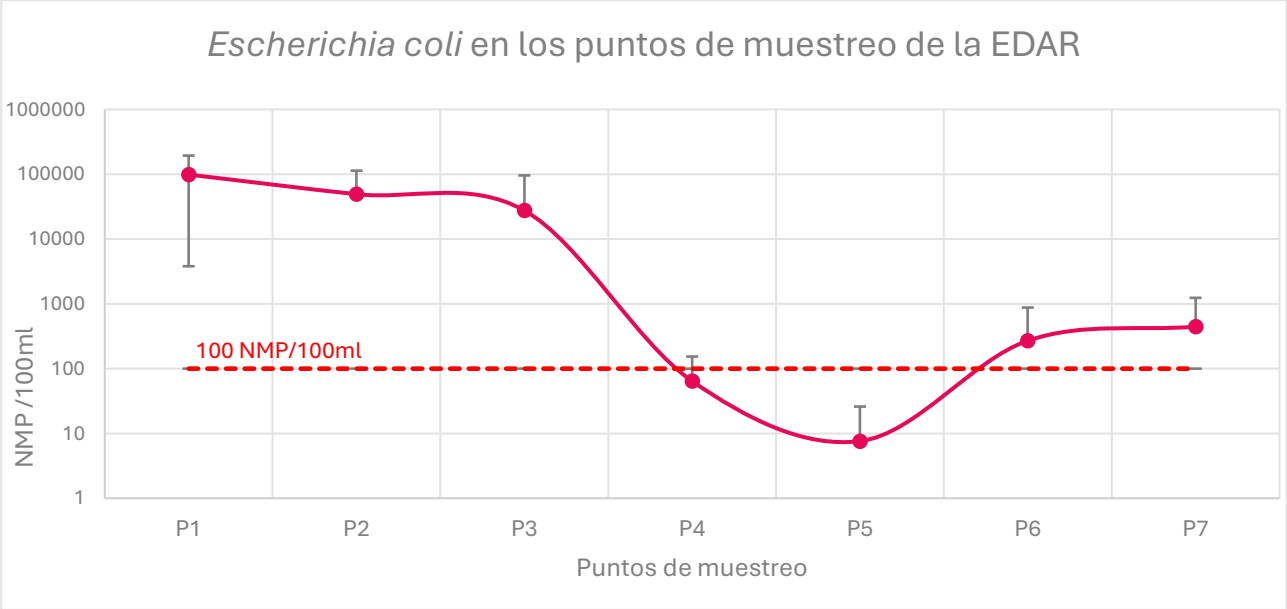


Figura 1. Gráfico de la media de las concentraciones de *E.coli* a través de las diferentes fases del sistema de humedales. En rojo se muestra el límite establecido por la normativa para su reutilización agrícola.
Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión y conclusiones

Los datos obtenidos a lo largo del periodo de muestreo en la EDAR reflejan la evolución y el comportamiento dinámico del sistema de depuración. En las etapas iniciales del tratamiento terciario, se aprecian cargas elevadas características de las aguas residuales brutas. Al atravesar los humedales artificiales de flujo vertical, se produce una reducción progresiva de la contaminación, evidenciando el papel depurador del lecho filtrante y la vegetación.

Se observan algunos picos en la concentración asociados a mayor carga hidráulica debido a las lluvias por lo que la monitorización seguirá realizándose para comprobar la idoneidad del tratamiento. A pesar de ello, la concentración de *Escherichia coli* tras atravesar las dos lámparas ultravioletas nunca sobrepasa la concentración limite para la calidad B (100 NMP/100 ml), por lo que se considera apta para uso agrícola con riego sin contacto con los alimentos.

La Ecodepuradora de Carrícola es una Solución basada en la Naturaleza que depura adecuadamente las aguas residuales generadas en el municipio, sin apenas consumo energético y sin insumos de materias primas, alcanzando un nivel de depuración tan elevado que el agua puede reutilizarse para algunos de los usos contemplados en la normativa de aguas regeneradas. Y todo ello aportando una serie de beneficios ambientales o servicios ecosistémicos cuyo valor económico se ha estimado en 7 veces el coste de implantación (Hernández-Chover et al., 2026).

La implementación de humedales de tratamiento para poblaciones pequeñas es una solución económicamente asequible y técnicamente viable. Esta tecnología aporta una nueva fuente de recursos hídricos no convencionales, contribuyendo a la mitigación del estrés hídrico.

El enfoque integral del sistema se refuerza con la valorización de lodos de depuradora que pueden ser reutilizados cerrando el ciclo de la economía circular.

6. Bibliografía

[1] Bobbink, R., Beltman, B., Verhoeven, J. T. A., & Whigham, D. F. (Eds.). (2006). *Wetlands: Functioning, biodiversity conservation, and restoration*. Springer.

[2] Sonia, Sita, K., & Kumar, V. (2025). Wetlands: Crucial ecosystem service providers: A contemporary review. *International Journal of Science and Research Archive*, *14*(2), 64–76. https://doi.org/10.30574/ijsra.2025.14.2.0222

[3] Hernández-Chover, Vicent; Castellet-Viciano, Lledó; Bellver-Domingo, Águeda; Hernández-Sancho, Francesc; Hernández Crespo, Carmen. (2026) Integrating multicriteria analysis and economic valuation to assess nature-based water reuse systems (LIFE Renaturwat). Environmental Science and Pollution Research, 33, 16084 - 16105. 10.1007/s11356-026-38244-3.

[4] Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & von Sperling, M. (2021). *Humedales para tratamiento* (Vol. 7). IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/9781789062526

CONAMA 2026