

► Efecto de la aplicación de campos magnéticos al proceso biológico de depuración por fangos activados y a la desinfección de efluentes de EDAR

**Silvia Doñate Hernández<sup>a\*</sup>,  
Estefanía Escudero Díaz<sup>a</sup>,  
María Deseada Esclapez Vicente<sup>a</sup>,  
Ana María Maciá Hernández<sup>b</sup>,  
Ana Belén Lozano Avilés<sup>c</sup>,  
Carlos Lardín Mifsut<sup>d</sup>.**

- a) Depuración de Aguas del Mediterráneo S.L. Av. Benjamin Franklin, 21, Parque Tecnológico, Paterna (Valencia)
- b) EDAR Molina-Alguazas UTE. Av. Juan Carlos I nº55, 6ºA, Murcia
- c) Vectoris S.L. Av. Juan Carlos I nº55, 6ºA, Murcia
- d) Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia. Complejo Espinardo CN-301, C Santiago Navarro, Murcia

\*silvia.donate@dam-aguas.es

# Efecto de la aplicación de campos magnéticos al proceso biológico de depuración por fangos activados y a la desinfección de efluentes de EDAR

## Resumen

Las tecnologías convencionales de desinfección que permiten eliminar microorganismos y nutrientes en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) en ocasiones resultan insuficientes para alcanzar los niveles de exigencia reflejados en la nueva normativa para ciertos usos del agua regenerada conforme al reglamento europeo 2020/741. Con el fin de investigar soluciones aplicables a estos nuevos retos, en el presente trabajo se ha testeado un tratamiento innovador avalado por numerosos artículos científicos con aguas reales de proceso. La Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia (ESAMUR) y las empresas de la UTE encargadas de la operación y mantenimiento de la EDAR de Molina del Segura, han colaborado en la investigación de los efectos de la aplicación de campos magnéticos para la mejora de los procesos biológicos en los procesos de fangos activados y en la desinfección del efluente de la EDAR. Se han obtenido resultados dispares para los intereses de los gestores de EDARs, en función del proceso objetivo ya que se logra aumentar la velocidad de desnitrificación hasta en un 98%, pero en el caso de la desinfección encontramos un importante aumento en las unidades formadoras de colonias de *Escherichia Coli*, sugiriendo en ambos casos un favorecimiento de la actividad de los microorganismos al aplicar campos magnéticos.

## Palabras clave

Campos magnéticos, agua residual, proceso biológico, desinfección

## 1. Introducción

La comunidad internacional se enfrenta al desafío de hacer frente al gran aumento de la demanda de agua por el rápido crecimiento de la población, la urbanización y las crecientes necesidades de agua de la agricultura, la industria y los sectores energéticos. Esta preocupación se refleja en el sexto objetivo de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible establecida por la ONU. De hecho se insta explícitamente a aunar esfuerzos para mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando los vertidos y minimizando la liberación de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad la proporción de aguas residuales no tratadas y aumentando sustancialmente el reciclaje y la reutilización segura a nivel mundial para el año 2030 [1]. Para lograr alcanzar este ambicioso objetivo es preciso investigar acerca de las potencialidades de las tecnologías disponibles para obtener efluentes aptos para su reutilización en los diversos usos regulados por el reglamento 2020/741 del Parlamento Europeo y del consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua [2].

Para aportar nuevas soluciones en este sentido, en los últimos años se han publicado varios trabajos acerca del efecto de la aplicación de campos magnéticos en varias partes del proceso de tratamiento de aguas residuales, así como su potencial en la mejora de la calidad de las aguas tratadas [3], pudiendo alterar, por ejemplo, la actividad de los fangos activos [4, 5]. El uso de campos magnéticos junto con partículas de alta susceptibilidad magnética fueron los primeros tratamientos descritos en la literatura en esta área de interés [6]. Estos procesos se usaron en procesos de floculación con partículas de baja o nula susceptibilidad magnética que están presentes en la suspensión. La distribución de partículas de alta susceptibilidad permite la formación de pequeñas láminas paramagnéticas que se pueden extraer mediante imanes. El método ha sido utilizado en varios procesos industriales como la extracción de fosfato del agua, la recuperación de minerales magnéticos como hematita y cromita, y la separación de metales pesados en aguas de deshecho [7].

En relación a la mejora del proceso de depuración por fangos activos, se han realizado varios estudios sobre el efecto de campos magnéticos cuyos resultados dependen de la metodología utilizada, así como de los microorganismos estudiados, encontrándose resultados tanto desfavorables [8] como favorables [9,10]. Por otro lado, Krzemieniewski et al. [11] investigaron el efecto de campos electromagnéticos en los procesos de extracción de fósforo y compuestos orgánicos de aguas residuales domésticas, encontrando una notable mejoría. En el trabajo de Wahid et al. [12] se hicieron pasar aguas residuales a través de campos magnéticos estáticos encontrando que la extracción de sólidos se mejoraba en un 45% cuando el campo aplicado era de 0,045 T. En su trabajo concluye que el tratamiento magnético presenta ventajas significativas, y que su uso permite reducir el volumen del tanque de sedimentación y, por tanto, aumentar la eficiencia de la planta de tratamiento. Por otro lado, respecto a la desinfección de los efluentes, aunque los efectos del campo magnético sobre los organismos vivos dependen de la intensidad, duración y orientación del campo magnético, además del propio microorganismo, se han encontrado resultados favorables en determinadas condiciones [4].

De este modo, puede concluirse que las líneas de trabajo encontradas en la bibliografía parecen indicar que, aunque existen discrepancias, la aplicación de campos magnéticos estáticos o pulsantes, pueden acelerar ciertos procesos involucrados en la depuración de aguas residuales, especialmente aquellos relacionados con la eliminación de nutrientes mediante los fangos activos y la desinfección en determinadas circunstancias específicas. En consecuencia, en el presente trabajo se testeó el efecto de la aplicación de campos magnéticos al fango activo del proceso biológico, así como la desinfección de efluentes de la EDAR de Molina de Segura. Para ello, se diseñó, construyó e implementó un piloto de laboratorio capaz de generar campos magnéticos de manera controlada.

## 2. Materiales y métodos

### Sistema generador de campos magnéticos

El sistema de generación de campos magnéticos que se construyó se conformó con un solenoide de 66 cm de altura de cobre con 11.000 espiras (Figura 1), 30 cm de diámetro interior de espira y 37 cm de diámetro exterior. El solenoide contiene 10 bobinas con 1.100 espiras cada una y una resistencia de 25 ohm por bobina. Las bobinas se conectaron en paralelo, haciendo pasar una corriente máxima por espira de 2 A, sumando una intensidad total por el solenoide de 20 A. El solenoide construido produce un campo magnético controlable al hacer circular una corriente (continua o alterna) por las espiras y de valor prácticamente constante en la zona central de su interior donde se alojará un reactor cilíndrico de 30 cm de altura y 20 cm de diámetro con una capacidad de tratamiento de 6 litros. La altura y radio interior del solenoide permiten alojar tanto el reactor como las conexiones y tubos de entrada y salida de fluidos. En los ensayos se emplearon una fuente de corriente continua (Aim-TTi, QPX1200SP, con potencial de 0 a 60V, corriente de 0 a 50 A y potencia máxima 1.2kW) y una alterna (Chroma 61601 (potencial de salida: de 0 a 300 V, intensidad de salida de 4 A, 24 A pico, potencia máxima 500 VA y Banda de trabajo: 15 Hz a 1000 Hz).

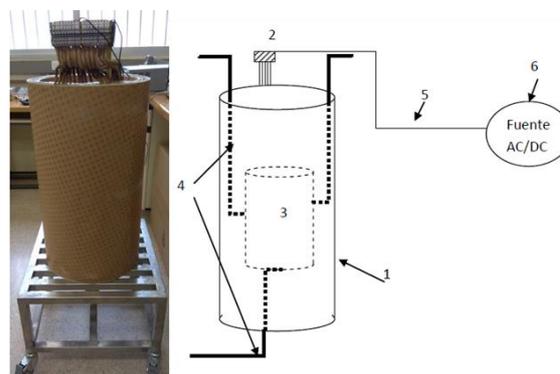


Figura 1. Izquierda: Fotografía del solenoide generador de campos magnéticos con soporte móvil para su transporte. Derecha: esquema del equipo al completo que incluye solenoide (1) con caja de conexiones (2), reactor (3) con tubos de entrada y salida de fluidos (4), cable de conexión (5), fuente de alimentación (6).

### Descripción de la EDAR Molina del Segura

Las muestras empleadas para el ensayo provienen de la EDAR de Molina del Segura (Murcia) que trata aguas residuales de componente urbano e industrial. Se trata de una depuradora que tiene de capacidad media de tratamiento de agua residual (25.000 m<sup>3</sup> al día), cuya línea de aguas está conformada formada por una etapa de desbaste, seguida de un proceso biológico de fangos activos de doble etapa para eliminar materias orgánicas y nutrientes. La depuradora, dispone de tratamiento terciario compuesto por una etapa de coagulación-floculación, decantación lamelar y filtros de arena, seguido de una etapa de desinfección UV y cloración con adición de hipoclorito de sodio. El fango producido, es utilizado para producir energía mediante digestión anaerobia en la propia depuradora.

### Ensayos del efecto de la aplicación de campos magnéticos sobre la actividad de fangos activos

Se realizaron un total de 10 ensayos empleando fangos activos del reactor biológico de la EDAR Molina del Segura en los que se trabajó con dos reactores en paralelo que contenían 6 L de muestra, de modo que en uno de ellos se aplicaron campos magnéticos (reactor de trabajo), mientras que el segundo se empleó como reactor de referencia (Figura 2). Se aplicó a la bobina del reactor de trabajo una intensidad de corriente constante de 10 A (correspondiente a un campo magnético de 19,5 mT) durante 5h. En cada uno de los tests realizados se determinó el oxígeno disuelto (OD), potencial redox, temperatura (T), el volumen ocupado por el fango cuando un litro de muestra del licor mezcla del reactor es decantado durante 30 minutos ( $V_{30}$ ), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total ( $N_T$ ), nitrógeno amoniacal ( $NH_4^+$ ), nitritos ( $NO_2^-$ ), nitratos ( $NO_3^-$ ) y la tasa de respiración (OUR), así como la desviación estándar para cada parámetro (SD). Los análisis realizados a las diferentes muestras, se han llevado a cabo según las normas UNE-EN 12260:2003, ISO 6060:1989, UNE-EN 872:2006 y métodos estandarizados.

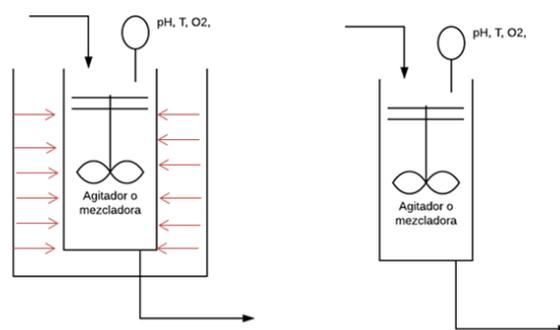


Figura 2. Esquema del montaje experimental que incluye un solenoide que genera el campo magnético (izquierda) Aplicado a un reactor de trabajo y un blanco idéntico como referencia al que no se aplican campos magnéticos (derecha).

### Ensayos del efecto de la aplicación de campos magnéticos sobre la actividad de los organismos nitrificantes

Se realizaron ensayos para verificar como se ven afectados los organismos nitrificantes de los fangos activos cuando se someten a un campo magnético de 19,5 mT durante 8 horas. Para ello se monitorizaron los sólidos totales (SST),  $V_{30}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ , DQO y OUR cada 2 horas, empleando también un reactor paralelo como blanco. Previo al inicio de los ensayos se verificó que la concentración inicial de amonio estuviera entre 30-40 mg  $NH_4^+ \cdot L^{-1}$ . En los ensayos se ha empleado una concentración de OD  $\leq 1$  mg  $L^{-1}$ , SST = 6880 mg  $L^{-1}$  y SSV= 88,2%. Además, se adicionó una concentración de DQO suficiente para desnitrificar todo el nitrato (2,86 mg DQO/mg  $NO_3^-$ ). Concentración de  $DQO_{sol} = 35,5$  mg  $L^{-1}$ .

### Ensayos del efecto de la aplicación de campos magnéticos sobre la actividad de los organismos desnitrificantes

Se determinó el consumo de nitrato, nitrito y DQO por parte de los organismos desnitrificantes tras someter la biomasa a un campo magnético de 19,5 mT, en este caso durante 3,5 horas, con agitación y sin aireación. Se siguieron los valores de  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$  y DQO soluble a diferentes intervalos de tiempo en el reactor de trabajo y el blanco de control, hasta la eliminación completa de nitrato y nitrito. Para adecuar las condiciones de reacción se adicionó un patrón de nitrato para tener al inicio del ensayo una concentración entre

15 - 20mgNO<sub>3</sub> ·L<sup>-1</sup> y una concentración de DQO<sub>sol</sub> suficiente para desnitrificar todo el nitrato.

#### Ensayos del efecto de la aplicación de campos magnéticos en la desinfección del efluente de la EDAR

Se realizaron ensayos empleando corriente alterna en las siguientes condiciones: F = 15 Hz, 32 V, I = 2 A siguiendo las recomendaciones de la bibliografía [4]. Se testaron efluentes de la EDAR después de pasar por el tratamiento UV y sin la adición de hipoclorito en tratamientos, manteniendo aireación y agitación continua. Como en los casos anteriores, se usó un reactor blanco de referencia. Para un adecuado mayor control de patógenos se realizó una limpieza exhaustiva y la desinfección de los reactores antes de proceder con los ensayos y, posteriormente, se adicionaron 50 mL de la muestra de efluente caracterizada a 6 litros de agua a cada reactor. En los ensayos se siguieron las UFC de *Escherichia Coli* a los 10 min y tras 2 horas de ensayo.

### 3. Resultados y discusión

#### Efecto de la aplicación de campos magnéticos sobre la actividad de fangos activos

En la Tabla 1 se muestran los valores medios obtenidos para cada uno de los parámetros seguidos en los 10 tests listados en la sección anterior, con y sin exposición al campo magnético de los fangos activos del reactor biológico. En general se observa que los valores obtenidos en ambos casos son similares, excepto en el caso de la tasa OUR obtenida al realizar ensayos respirométricos de los lodos. El valor promedio OUR en el blanco fue de 177,3 mientras que el OUR medido en los ensayos aplicando el campos magnético fue de 241,5, lo que indica un mayor velocidad de consumo de oxígeno por los organismos presentes, indicando un efecto del campo magnético en los organismos presentes en el fango activo.

Tabla 1: Resultados medios con y sin campos magnético.

Parámetro	Reactor de trabajo	Reactor blanco
OD inicial (mg ·L <sup>-1</sup> )	1,68 ± 0,75	1,57 ± 0,91
Redox (mV)	-14,78 ± 10,56	-25,75 ± 36,48
Temperatura (°C)	28,04 ± 1,10	28,70 ± 0,95
V <sub>30</sub> (mL)	226,67 ± 26,46	271,00 ± 104,61
SST (mg ·L <sup>-1</sup> )	4611,11 ± 668,18	4455,56 ± 632,89
SSV (%)	87,00 ± 0,03	84,90 ± 4,39
DQO (mg ·L <sup>-1</sup> )	41,30 ± 5,91	39,41 ± 8,77
N <sub>T</sub> (mg ·L <sup>-1</sup> )	14,40 ± 6,09	14,10 ± 8,38
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg ·L <sup>-1</sup> )	0,40 ± 0,20	0,40 ± 0,43
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg ·L <sup>-1</sup> )	8,30 ± 6,08	7,92 ± 6,23
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg ·L <sup>-1</sup> )	0,40 ± 0,36	0,41 ± 0,56
OUR endógena (mg O <sub>2</sub> ·L <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	241,50 ± 46,54	177,3 ± 69,34

#### Efecto de la aplicación de campos magnéticos sobre la actividad de los organismos nitrificantes

En la Tabla 2 se muestra los resultados obtenidos en los primeros ensayos específicos con organismos nitrificantes utilizando aplicando un campo magnético y en el ensayo blanco de referencia. Se observa que al aplicar el campo magnético en el sistema hay una reducción de amonio del 31% desde el inicio del ensayo hasta las primeras 4 horas del experimento. La concentración de amonio pasa de una concentración inicial de 16 mg ·L<sup>-1</sup> hasta una concentración de 11 mg ·L<sup>-1</sup> en la cuarta hora de experimento. A partir de este momento la concentración de amonio se mantiene sin variación significativa, cercana a 10 mg ·L<sup>-1</sup>, hasta la octava hora del experimento. En el reactor usado como blanco, se observa una reducción de amonio ligeramente mayor, alrededor del 41%, pasando de una concentración inicial de 15 mg ·L<sup>-1</sup> hasta una concentración de 8,79 mg ·L<sup>-1</sup> en la cuarta hora del experimento. Después de la cuarta hora la concentración alcanza un máximo de 10,2 mg ·L<sup>-1</sup> y vuelve a bajar hasta 8,31 mg ·L<sup>-1</sup> en la octava hora de experimento.

► Efecto de la aplicación de campos magnéticos al proceso biológico de depuración por fangos activados y a la desinfección de efluentes de EDAR

Tabla 2. Cuantificación de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , OD y balance total de N en los ensayos de nitrificación aplicando campos magnéticos.

Reactor de trabajo ( $T^a$ : 22°C)				
T (h)	$\text{NH}_4^+$ (mg L <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_2^-$ (mg L <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_3^-$ (mg L <sup>-1</sup> )	OD (mg L <sup>-1</sup> )
0	16,00	0,019	0,166	0,73
2	16,10	0,048	0,248	0,63
4	11,00	0,008	0,229	0,59
6	9,98	0,000	0,277	
8	9,82	0,000	0,258	
N <sub>T</sub> :	Inicial: 16,396 mg L <sup>-1</sup>		Final: 10,078 mg L <sup>-1</sup>	
Reactor blanco ( $T^a$ : 19°C)				
T (h)	$\text{NH}_4^+$ (mg L <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_2^-$ (mg L <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_3^-$ (mg L <sup>-1</sup> )	OD (mg L <sup>-1</sup> )
0	15,00	0,011	0,252	0,55
2	14,30	0,020	0,190	0,70
4	8,79	0,018	0,478	0,63
6	10,20		0,265	
8	8,31		0,251	
N <sub>T</sub> :	Inicial: 15,263 mg L <sup>-1</sup>		Final: 8,561 mg L <sup>-1</sup>	

#### Efecto de la aplicación de campos magnéticos sobre la actividad de los organismos desnitrificantes

La Tabla 3 muestra que al aplicar campos magnéticos hay una acumulación de amonio de un 55,6 % frente a un 45,3 % en el blanco, junto con una disminución de nitrito del 65,6% con campo magnético y del 45,7 % en el caso de no aplicarlo. Además se observa una reducción importante de nitrato cuando se aplica el campo magnético (55,4 %), frente al blanco (30,8 %). De estos resultados se puede deducir que en los ensayos de desnitrificación la aplicación del campo magnético ha mostrado un mejor comportamiento que cuando no se usa un campo magnético. Los resultados obtenidos permitieron calcular la velocidad de desnitrificación sin la aplicación del campo magnético (2,07 mgN L<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) y con campo (4,1 mgN L<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), lo que significa un aumento en la velocidad del 98%. Todos los ensayos descritos se repitieron en una segunda tanda de tests, llegando a conclusiones coherentes.

#### Efecto de la aplicación de campos magnéticos en la desinfección del efluente de la EDAR

En la Figura 3 se muestra las imágenes tomadas a las placas Petri donde se han inoculado 0,5 mL de muestra recogida a los 10 minutos y 2 horas de ensayo, de modo que a los 10 minutos de

tratamiento se contabilizaron 600 UFC · 100 mL<sup>-1</sup> y 800 UFC · 100 mL<sup>-1</sup> tras 2 h de tratamiento con campos magnéticos.

Tabla 3. Cuantificación de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , DQO y balance total de N en los ensayos de desnitrificación aplicando campos magnéticos.

Reactor de trabajo ( $T^a$ : 29°C)				
T (h)	$\text{NH}_4^+$ (mg L <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_2^-$ (mg L <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_3^-$ (mg L <sup>-1</sup> )	DQO (mg L <sup>-1</sup> )
0	2,70	2,53	26,70	50,10
1		1,96	21,30	36,40
3		1,71	18,50	39,10
3,5	4,02	0,87	11,90	32,20
N <sub>T</sub> :	Inicial: 31,93 mg L <sup>-1</sup>		Final: 16,79 mg L <sup>-1</sup>	
Reactor blanco ( $T^a$ : 28°C)				
T (h)	$\text{NH}_4^+$ (mg L <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_2^-$ (mg L <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_3^-$ (mg L <sup>-1</sup> )	DQO (mg L <sup>-1</sup> )
0				
1	2,47	2,47	22,70	48,10
2		1,90	20,10	35,40
3,5		1,43	16,40	31,50
N <sub>T</sub> :	Inicial: 27,64 mg L <sup>-1</sup>		Final: 20,63 mg L <sup>-1</sup>	

Sin embargo, en el reactor control las UFC de *Escherichia Coli* permanecieron constantes en 200 UFC · 100 mL<sup>-1</sup>. Este resultado sugiere un efecto de reactivación de estos microorganismos tras la aplicación del campo magnético

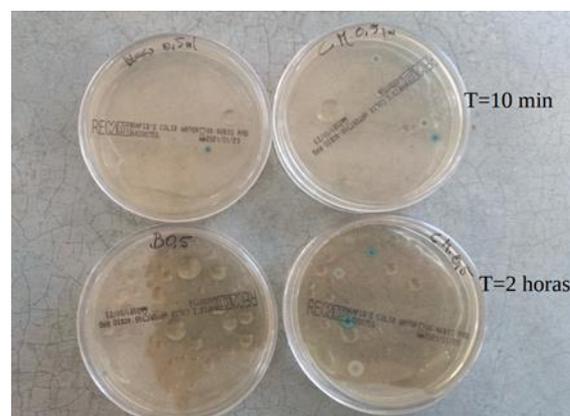


Figura 3. Imágenes de los inóculos de muestras tras los ensayos realizados a los 10 minutos y a 2 horas. Las muestras de la izquierda son los del reactor control y la derecha los reactores de trabajo.

#### 4. Conclusiones

De los ensayos llevados a cabo en el presente trabajo se pudo concluir que la aplicación de los campos magnéticos a los fangos activos de la EDAR Molina de Segura ha dado lugar a un

incremento en el valor del OUR, lo que indica un mayor velocidad de consumo de oxígeno por los organismos presentes, evidenciando que hay un efecto del campo magnético en los organismos presentes en el fango activo. Al evaluar el efecto del campo aplicado sobre los organismos nitrificantes presentes en los fangos activos no se han mostrado cambios significativos, aunque en el caso de los organismos desnitrificantes la situación es diferente ya que aumenta considerablemente la velocidad de desnitrificación. Sin embargo, se ha observado un aumento significativo en el número de colonias de *Escherichia Coli* al aplicar campos magnéticos a los efluentes de la EDAR.

Los resultados obtenidos, por tanto, resultan dispares para los intereses de los gestores de EDARs en función del proceso testado. Si bien se logra aumentar la velocidad de desnitrificación hasta en un 98%, lo cual tendría un impacto favorable en el tratamiento secundario de la EDAR, en el caso de la desinfección encontramos un importante aumento en las unidades formadoras de colonias de *Escherichia Coli*. Sin embargo, aunque los resultados obtenidos resultan de interés opuesto, no dejan de ser concordantes, pues en ambos casos sugieren un favorecimiento de la actividad de los microorganismos al aplicar campos magnéticos.

## 5. Referencias

- [1] WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO
- [2] Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua
- [3] Rongfan Chen, Jia Shuai, Yijia Xie, Bin Wang, Xiaoling Hu, Wenbin Guo, Wanlin Lyu, Dao Zhou, Ahmed Mosa, Hongyu Wang, Aerobic granulation and microbial community succession in sequencing batch reactors treating the low strength wastewater: The dual effects of weak magnetic field and exogenous signal molecule, *Chemosphere*, Volume 309, Part 1, 2022, 136762, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136762>
- [4] Yilin Wang, Xin Gu, Jianing Quan, Guohua Xing, Liwei Yang, Chuanliang Zhao, Pei Wu, Fan Zhao, Bo Hu, Yuansheng Hu, Application of magnetic fields to wastewater treatment and its mechanisms: A review, *Science of The Total Environment*, Volume 773, 2021, 145476, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145476>.
- [5] Hutaowang, Liang Guo, Xiaomin Ren, Mengchun Gao, Chunji Jin, Yangguo Zhao, Junyuan Ji, Zonglian She, Enhanced aerobic granular sludge by static magnetic field to treat saline wastewater via simultaneous partial nitrification and denitrification (SPND) process, *Bioresource Technology*, Volume 350, 2022, 126891, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126891>.
- [6] Ozaki, H., Z. Liu, and Y. Terashima, Utilization of microorganisms immobilized with magnetic particles for sewage and wastewater treatment. *Water Science & Technology*, 1991; 23(4-6): p. 1125-1136.
- [7] Guat Teng Tee, Xie Yuen Gok, Wai Fen Yong, Adsorption of pollutants in wastewater via biosorbents, nanoparticles and magnetic biosorbents: A review, *Environmental Research*, Volume 212, Part B, 2022, 113248, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113248>.
- [8] Maria Łebkowska, Anna Rutkowska-Narożniak, Elżbieta Pajor, Zbigniew Pochanke, Effect of a static magnetic field on formaldehyde biodegradation in wastewater by activated sludge, *Bioresource Technology*, Volume 102, Issue 19, 2011, Pages 8777-8782, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.040>.
- [9] Hülya Yavuz, Serdar S. Çelebi, Effects of magnetic field on activity of activated sludge in wastewater treatment, *Enzyme and Microbial Technology*, Volume 26, Issue 1, 2000, Pages 22-27, ISSN 0141-0229.
- [10] Yulan Ji, Yanhong Wang, Jinsheng Sun, Tingyan Yan, Jing Li, Tingting Zhao, Xiaohong Yin, Changjiang Sun, Enhancement of biological treatment of wastewater by magnetic field, *Bioresource Technology*, Volume 101, Issue 22, 2010, Pages 8535-8540, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.094>.
- [11] Krzemieniewski, M., et al., The influence of different intensity electromagnetic fields on phosphorus and COD removal from domestic wastewater in steel packing systems. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2004; 13(4): p. 381-387
- [12] Z.A. Wahid, F. Othman, J. Sohaili, Electromagnetic Technology on Sewage Treatment, *Journal Kejuruteraan Awam*, 2011, 13 (1). pp. 22-36.