



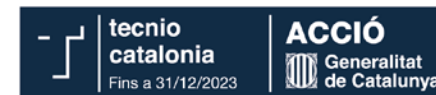
PhD dissertation by **Miguel Osset Álvarez**

Bioelectrochemical systems for ammonium removal in contaminated water

Supervisors: Dr Sebastià Puig Broch, Dr Maria Dolors Balaguer and Dr Narcís Pous Rodríguez

Wednesday 8th March 2023, 10:30h, “Aula Magna” of UdG Faculty of Sciences

Carrer Maria Aurèlia Capmany, 69, Campus Montilivi, 17003 Girona



Abstract

Ammonium (NH_4^+) is a pollutant present in all kinds of water bodies, leading to multiple environmental and health issues. There are several commercial ammonium-removing technologies available, but all of them are high-energy-consuming and, subsequently, very costly. Microbial electrochemical technologies (METs), which use electroactive microorganisms, have emerged as a low-energy-consuming biotechnological alternative to convert ammonium into harmless nitrogen gas (N_2). However, further research and industrial development is still needed to achieve competitive results at full scale. The doctoral thesis “**Bioelectrochemical systems for ammonium removal in contaminated water**” by Miguel Osset Álvarez aims to contribute to the industrial development of the two main ammonium-removing METs: bioelectrochemical nitrification and the combination of aerobic nitrification with bioelectrochemical denitrification.

Bioelectrochemical nitrification is a very promising technology to remove NH_4^+ . However, the mechanisms behind this process have not been fully unveiled. In this thesis, a new nitrifying bioelectrochemical system (niBES) was built, operated and studied for 550 days. A nitrifier bacteria (*Achromobacter* sp.) was found to be the dominant microorganism in the niBES, while hydroxylamine (NH_2OH) and nitrite (NO_2^-), two nitrification intermediates, were revealed as electroactive compounds. Overall, these results suggest that ammonium was converted into dinitrogen gas (N_2) by a process combining bioelectrochemical NH_4^+ oxidation, denitrification and, to a lesser extent, anaerobic ammonium oxidation (*anammox*).

On the other hand, a new **ammonium-removing bioelectrochemical system (BES), the e-biofilter**, was built to integrate bioelectrochemical denitrification into a biotrickling filter. E-biofilters were used to transform the NH_4^+ in synthetic aquaculture wastewater into nitrate (NO_3^-) and N_2 , enabling the reuse of this water for hydroponic culture. Moreover, the e-biofilters were capable of removing most of the ammonium, organic matter and suspended solids present in the secondary effluent of an urban wastewater treatment plant (WWTP), showing that e-biofilters can provide holistic wastewater treatment.

The PhD dissertation, which is open to the public, will take place on Wednesday 8th March 2023 at UdG Faculty of Sciences. This doctoral thesis was directed by Dr Sebastià Puig Broch, Dr Maria Dolors Balaguer Condom and Dr Narcís Pous Rodríguez from the Laboratory of Chemical and Environmental Engineering of the University of Girona (LEQUIA).

Main publications

- Pous, N., Korth, B., Osset-Álvarez, M., Balaguer, M. D., Harnisch, F., & Puig, S. (2021). Electrifying biotrickling filters for the treatment of aquaponics wastewater. *Bioresource Technology*, 319, 124221. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124221>
- Osset-Álvarez, M., Pous, N., Hasan, S. W., Naddeo, V., Balaguer, M. D., & Puig, S. (2021). Electrified biotrickling filters as tertiary urban wastewater treatment. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100143. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100143>
- Osset-Álvarez, M., Pous, N., Chiluita-Ramos, P., Bañeras, L., Balaguer, M. D., & Puig, S. (2022). Unveiling microbial electricity driven anoxic ammonium removal. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100975. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100975>

Resum

L'amoni (NH_4^+) és un contaminant present a tot tipus d'aigües, fet que ocasiona múltiples problemes mediambientals i de salut. Actualment, hi ha diverses tecnologies disponibles al mercat per eliminar amoni, però totes consumeixen molta energia i, conseqüentment, són molt cares. Les tecnologies electromicrobianes (en anglès, METs) utilitzen microorganismes electro-actius i són una alternativa biotecnològica de baix consum energètic per convertir l'amoni en nitrogen gas (N_2). Tot i així, encara fa falta realitzar recerca i desenvolupament industrial per assolir resultats competitius a escala real. La tesi doctoral **“Bioelectrochemical systems for ammonium removal in contaminated water” de Miguel Osset Álvarez** té com a objectiu contribuir al desenvolupament de dues de les principals METs d'eliminació d'amoni: la nitrificació bioelectroquímica i la combinació de nitrificació aeròbica amb desnitrificació bioelectroquímica.

La **nitrificació bioelectroquímica** és una tecnologia molt prometedora per eliminar NH_4^+ . Tot i això, els mecanismes darrere d'aquest procés no han estat completament dilucidats. Miguel Osset va construir, operar i estudiar un sistema bioelectroquímic nitrificant (niBES; sigles en anglès) durant 550 dies. Es va descobrir que el microorganisme dominant al niBES era un nitrificant (*Achromobacter* sp.), i que la hidroxilamina (NH_2OH) i el nitrit (NO_2^-), dos intermediaris de la nitrificació, són compostos electroactius. En general, aquests resultats suggereixen que l'amoni es va transformar en nitrogen gas (N_2) mitjançant un procés que combina l'oxidació bioelectroquímica de NH_4^+ , la desnitrificació i, menys, l'anammox.

D'altra banda, es va construir un nou **sistema bioelectroquímic (BES; sigles en anglès) d'eliminació d'amoni, l'e-biofiltre**, integrant la desnitrificació bioelectroquímica en un biofiltre percolador. Es van utilitzar els e-biofiltres per transformar l' NH_4^+ present en aigua sintètica d'aqüicultura en nitrat (NO_3^-) i N_2 , cosa que va permetre reutilitzar aquesta aigua per a cultiu hidropònic. A més, els e-biofiltres van ser capaços d'eliminar la major part de l'amoni, la matèria orgànica i els sòlids en suspensió presents a l'efluent secundari d'una planta de tractament d'aigües residuals (EDAR) urbana, cosa que demostra que els e-biofiltres poden proporcionar un tractament holístic de les aigües residuals.

La defensa, que és pública, tindrà lloc el proper dimecres 8 de març a l'Aula Magna de la Facultat de Ciències de la UdG. Aquesta tesi doctoral ha estat dirigida pel Dr. Sebastià Puig Broch, Dra. Maria Dolors Balaguer Condom i Dr. Narcís Pous Rodríguez del Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental de la Universitat de Girona (LEQUIA).

Publicacions principals

- Pous, N., Korth, B., Osset-Álvarez, M., Balaguer, M. D., Harnisch, F., & Puig, S. (2021). Electrifying biotrickling filters for the treatment of aquaponics wastewater. *Bioresource Technology*, 319, 124221. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124221>
- Osset-Álvarez, M., Pous, N., Hasan, S. W., Naddeo, V., Balaguer, M. D., & Puig, S. (2021). Electrified biotrickling filters as tertiary urban wastewater treatment. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100143. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100143>
- Osset-Álvarez, M., Pous, N., Chiluita-Ramos, P., Bañeras, L., Balaguer, M. D., & Puig, S. (2022). Unveiling microbial electricity driven anoxic ammonium removal. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100975. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100975>

Resumen

El amonio (NH_4^+) es un contaminante presente en todo tipo de aguas, hecho que ocasiona múltiples problemas medioambientales y de salud. Actualmente, existen diversas tecnologías en el mercado para eliminar amonio, pero todas consumen mucha energía y, consecuentemente, son muy caras. Las tecnologías electromicrobianas (en inglés, METs) utilizan microorganismos electro-activos y son una alternativa biotecnológica de bajo consumo energético para convertir el amonio en nitrógeno gas (N_2). Sin embargo, todavía se debe realizar investigación y desarrollo industrial para lograr resultados competitivos a escala real. La tesis doctoral **“Bioelectrochemical systems for ammonium removal in contaminated water”** de Miguel Osset Álvarez tiene como objetivo contribuir al desarrollo de dos de las principales METs de eliminación de amonio: la nitrificación bioelectroquímica y la combinación de nitrificación aerobia con desnitrificación bioelectroquímica.

La **nitrificación bioelectroquímica** es una tecnología muy prometedora para la eliminación de NH_4^+ . Sin embargo, los mecanismos detrás de este proceso no han sido completamente relevados. Se construyó, operó y estudió un sistema bioelectroquímico nitrificante (niBES; siglas en inglés) durante 550 días. Se descubrió que el microorganismo dominante en el niBES era un nitrificante (*Achromobacter* sp.), y que la hidroxilamina (NH_2OH) y el nitrito (NO_2^-), dos intermediarios de la nitrificación, son compuestos electroactivos. En general, estos resultados sugieren que el amonio se transformó en nitrógeno gas (N_2) mediante un proceso que combina la oxidación bioelectroquímica de NH_4^+ , la desnitrificación y, en menor medida, el anammox.

Por otro lado, se construyó un **nuevo sistema bioelectroquímico (BES; siglas en inglés) de eliminación de amonio, el e-biofiltro**, integrando la desnitrificación bioelectroquímica en un biofiltro percolador. Se utilizaron los e-biofiltros para transformar el NH_4^+ presente en agua sintética de acuicultura en nitrato (NO_3^-) y N_2 , lo que permitió reutilizar esta agua para cultivo hidropónico. Además, los e-biofiltros fueron capaces de eliminar la mayor parte del amonio, la materia orgánica y los sólidos en suspensión presentes en el efluente secundario de una planta de tratamiento de aguas residuales (EDAR) urbana, lo que demuestra que los e-biofiltros pueden proporcionar un tratamiento holístico de las aguas residuales.

La defensa, que es pública, tendrá lugar el próximo miércoles 8 de marzo de 2023 en el Aula Magna de la Facultad de Ciencias de la UdG. Esta tesis doctoral ha sido dirigida por el Dr. Sebastià Puig Broch, la Dra. Maria Dolors Balaguer Condom y el Dr. Narcís Pous Rodríguez del Laboratorio de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad de Girona (LEQUIA).

Principales publicaciones

- Pous, N., Korth, B., Osset-Álvarez, M., Balaguer, M. D., Harnisch, F., & Puig, S. (2021). Electrifying biotrickling filters for the treatment of aquaponics wastewater. *Bioresource Technology*, 319, 124221. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124221>
- Osset-Álvarez, M., Pous, N., Hasan, S. W., Naddeo, V., Balaguer, M. D., & Puig, S. (2021). Electrified biotrickling filters as tertiary urban wastewater treatment. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100143. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100143>
- Osset-Álvarez, M., Pous, N., Chiluíza-Ramos, P., Bañeras, L., Balaguer, M. D., & Puig, S. (2022). Unveiling microbial electricity driven anoxic ammonium removal. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100975. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100975>