



La desecación de humedales favorece la emisión de CO₂ desde los sedimentos emergidos

Sofía Rodríguez-Gómez¹ , Jorge J. Montes-Pérez¹ , Paula Warren-Jiménez¹ , Teresa Gil² , Teresa Conejo-Orosa¹ , Enrique Moreno-Ostos¹

(1) Grupo de Ecología Marina y Limnología (GEML), Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, Boulevard Louis Pasteur S/N, 29071 Málaga, España.

(2) WWF España, Gran vía de San Francisco 8, 28005 Madrid, España.

* Autor de correspondencia: Sofía Rodríguez-Gómez [sofiarg@uma.es]

> Recibido el 04 de noviembre de 2022 - Aceptado el 07 de febrero de 2023

Cómo citar: Rodríguez-Gómez, S., Montes-Pérez, J.J., Warren-Jiménez, P., Gil Gil, T., Conejo-Orosa, T., Moreno-Ostos, E. 2023. La desecación de humedales favorece la emisión de CO₂ desde los sedimentos emergidos. *Ecosistemas* 32(1): 2494. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2494>

La desecación de humedales favorece la emisión de CO₂ desde los sedimentos emergidos

Resumen: La elevada producción primaria de los humedales y las condiciones anaeróbicas del sedimento los convierten en sumideros de carbono atmosférico. Su desecación pone en contacto con el aire sedimentos previamente inundados, potenciando la respiración aeróbica microbiana y la removilización del carbono orgánico almacenado durante largos periodos. Así, el humedal puede transformarse en una fuente de CO₂. En este trabajo se midieron los flujos de CO₂ en sedimentos emergidos de un humedal restaurado durante un evento de desecación parcial. Sólo los sedimentos anegados se comportaron como sumidero de carbono, mientras que todos los demás lechos sedimentarios fueron fuentes de CO₂. La emisión se relacionó con la humedad del sedimento mediante una tendencia polinomial. El flujo de CO₂ correlacionó directamente con la temperatura del sedimento, e inversamente con su pH. Se señalan algunas implicaciones para la gestión del humedal restaurado.

Palabras clave: cambio hidrológico; contracción de masas de agua continentales; emisiones de dióxido de carbono; restauración de humedales

Wetland desiccation promotes carbon dioxide emissions from air-exposed sediments

Abstract: High primary production in wetlands, together with the anaerobic conditions prevailing in their flooded or waterlogged sediments, make these ecosystems sinks of atmospheric carbon on a global scale. Water shrinking exposes previously flooded sediments to the atmosphere, enhancing microbial aerobic respiration and remobilizing organic carbon stored for long periods. In agreement, the wetland becomes a source of CO₂ to the atmosphere. Here, CO₂ fluxes from the air-exposed sediments during a water shrinking event in a restored wetland were measured. Only waterlogged sediments remained as a carbon sink. All other air-exposed sediments became a CO₂ source to the atmosphere. Emissions were related to sediment moisture through a polynomial trend. CO₂ fluxes were positively correlated with air-exposed sediment temperature, and inversely related to sediment pH. Implications for restored wetland management are pointed out.

Keywords: carbon dioxide emissions; hydrological change; shrinking inland waters; wetlands restoration

Introducción

Los humedales bien conservados constituyen ecosistemas autótrofos, donde las tasas de producción superan normalmente a las de respiración (Mitsch et al. 2012). Esta elevada producción neta y las condiciones anaeróbicas que normalmente prevalecen en sus sedimentos inundados o anegados favorecen la acumulación de carbono orgánico en el sedimento, donde puede conservarse durante largos periodos. En consecuencia, los humedales pueden constituir sumideros de carbono a escala global y son herramientas útiles para la mitigación del cambio climático.

Para que los humedales puedan secuestrar y acumular carbono en su sedimento es necesario que mantengan una adecuada integridad ecológica (Morant et al. 2020). Los cambios hidrológicos (reducción de las precipitaciones,

aumento de la evaporación, desviación de caudales, sobre-explotación de acuíferos) pueden promover su desecación total o parcial. La reducción de la superficie inundada expone al contacto con la atmósfera sedimentos previamente inundados y anóxicos, potenciando la respiración aeróbica microbiana y la removilización del carbono orgánico (Keller et al. 2021). Como resultado, el humedal puede perder su servicio de regulación del ciclo del carbono y convertirse en una fuente de CO₂ a la atmósfera.

El objetivo de este trabajo es analizar el efecto de la desecación de humedales y la emersión de sedimentos sobre su dinámica como sumideros o fuentes de CO₂ a la atmósfera. Para ello, se midieron flujos de CO₂ desde sedimentos emergidos en un humedal restaurado por World Wildlife Fund (WWF) durante un evento de desecación parcial.

Material y métodos

El Lucio de Trebujena (Cádiz, suroeste de España) es un pequeño humedal a orillas del río Guadalquivir, en su tramo inferior (**Fig. 1**), restaurado en 2018 por WWF. Los objetivos de esta restauración incluyen, entre otros, la recuperación de servicios ecosistémicos clave como la regulación del ciclo del carbono.

La superficie del humedal restaurado es de 6 ha, con una superficie máxima inundada de 4.5 ha. Su funcionamiento hidrológico está regulado artificialmente. El agua procedente del río Guadalquivir y de una instalación de acuicultura sostenible vecina entra por un canal situado en la orilla noroeste (50 cm sobre el nivel del mar), y fluye siguiendo el gradiente topográfico para salir por otro canal situado en el extremo noreste (-10 cm bajo el nivel del mar) (**Fig. 1**).

En febrero de 2022 se llevó a cabo la desecación parcial de la zona inundada por motivos de gestión. El área inundada se redujo en un 40%, y alrededor de 2.5 ha de sedimento previamente inundado fueron expuestas al contacto con el aire. Durante este evento hidrológico se midió el flujo de CO₂ del sedimento emergido en 27 estaciones de muestreo distribuidas aleatoriamente, incluyendo áreas que habían estado secas mucho tiempo antes del evento hidrológico y aquellas recientemente expuestas a la atmósfera. Las observaciones cubrieron un amplio rango de humedad del sedimento, desde menos del 10% hasta un 100%.

En cada estación de muestreo se realizaron mediciones directas de los flujos de CO₂ desde el sedimento utilizando un analizador de gases por infrarrojos (IRGA PP-Systems) acoplado a una cámara de respiración del suelo (SRC-2) en un sistema cerrado. La concentración de CO₂ en el interior de la cámara de respiración se monitorizó cada segundo du-

rante un periodo máximo de 300 s, y con una precisión del 1 %. Los flujos se determinaron por regresión lineal entre la concentración de CO₂ en la cámara y el tiempo ($R^2 > 0.9$). Los flujos positivos corresponden con emisiones de CO₂ desde el sedimento a la atmósfera, mientras que lo contrario sucede con los flujos negativos.

Además, se midieron *in situ* el pH, la salinidad y la temperatura de los sedimentos con sondas Crison pH25+ y CM35+. La humedad del sedimento se estimó utilizando un higrómetro de campo (BlackFox).

Resultados y discusión

La humedad de los sedimentos expuestos osciló entre el 90-100% en las estaciones de muestreo recientemente emergidas, hasta valores en torno al 10% en las estaciones más alejadas de la orilla, que rara vez (o nunca) estuvieron inundadas desde la restauración del ecosistema.

La emisión media de CO₂ desde los lechos sedimentarios expuestos fue de 3.0 ± 2.7 g de CO₂ m⁻² d⁻¹. Las emisiones se relacionaron con el grado de desecación del sedimento a través de una función polinomial ($R^2 = 0.71$, **Fig. 2**). Sólo en tres estaciones de muestreo recientemente drenadas (humedad 100%) se registraron flujos negativos de CO₂ (i.e. captación de CO₂ atmosférico), con un valor medio de -0.18 ± 0.07 g CO₂ m⁻² d⁻¹. La mínima emisión de CO₂ (1.37 ± 1.63 g CO₂ m⁻² d⁻¹) se encontró en los bancos sedimentarios con humedad del 80-90%, donde el agua intersticial podría limitar la difusión del oxígeno atmosférico. La máxima emisión (8.31 ± 3.35 g CO₂ m⁻² d⁻¹) se registró en los sedimentos con una humedad en torno al 50%. Los sedimentos con valores de humedad inferiores a este umbral mostraron emisiones de CO₂ decrecientes, que alcanzaron

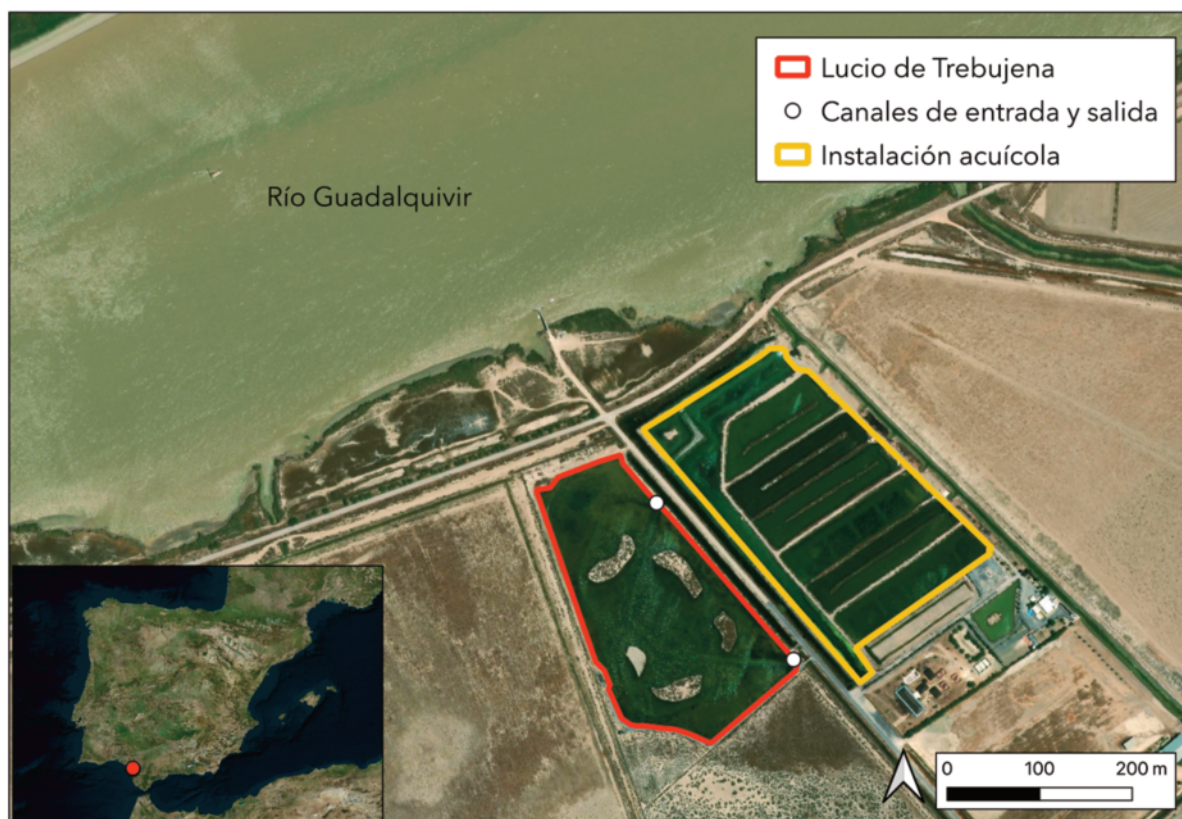


Figura 1. Localización del Lucio de Trebujena en la península ibérica y sus principales características de funcionamiento hidrológico.

Figure 1. Location of Lucio de Trebujena wetland in the Iberian Peninsula and its main hydrological functioning characteristics.

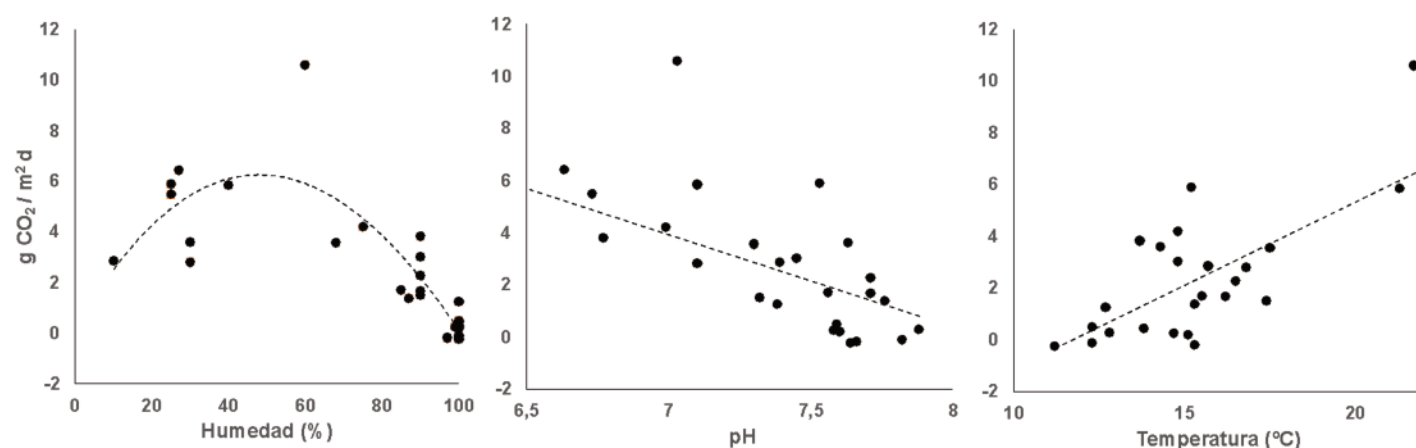


Figura 2. Relación entre las emisiones de CO₂ desde los sedimentos expuestos del Lucio de Trebujena y su humedad (a), pH (b) y temperatura (c).

Figure 2. Relationship between CO₂ emissions from air-exposed sediments at Lucio de Trebujena and their humidity (a), pH (b) and temperature (c).

un mínimo de 2.8 g de CO₂ m⁻² d⁻¹ para una humedad del 10 %. Martinsen et al. (2019) describieron recientemente una tendencia polinomial similar en lagunas desecadas de Suecia.

Los resultados también revelaron una relación directa entre la temperatura del sedimento y su emisión de CO₂ ($r=0.76$; $p<0.001$; Fig. 2), coherente con el papel central que juega la temperatura en el control del metabolismo microbiano sedimentario (Comer-Warner et al. 2018). Además, las emisiones se relacionaron inversamente con el pH del sedimento ($r= -0.53$; $p<0.01$; Fig. 2) como consecuencia de la acidificación del agua intersticial que puede inducir la oxidación de la materia orgánica (Müller et al. 2003), tal y como describieron previamente Hu et al. (2020) en humedales de China.

Por todo esto, la restauración y conservación de los humedales es una estrategia eficaz para mitigar los efectos del cambio climático mediante soluciones basadas en la naturaleza. Para ello, es fundamental que estos ecosistemas mantengan un adecuado estado de conservación que garantice su integridad ecológica (Morant et al. 2020), así como un régimen hidrológico que potencie el desarrollo de zonas inundadas y suelos anegados, minimizando la presencia de bancos sedimentarios expuestos al aire. Cualquier proceso hidrológico que implique la contracción de la superficie inundada y la emersión de sedimentos orgánicos trabajará en contra de la función del humedal como sumidero de carbono, y favorecerá su transformación en una fuente de CO₂ a la atmósfera. De manera análoga a lo expuesto en este trabajo, la reciente desecación de los humedales de Doñana (muy próximos al Lucio de Trebujena) podría estar potenciando sus emisiones de CO₂ y comprometiendo su servicio ecosistémico de regulación del ciclo del carbono. En base a nuestros resultados, recomendamos mantener el nivel de agua lo más alto posible en el humedal restaurado para reducir las emisiones de CO₂ y promover su papel como sumidero de carbono.

Contribución de las y los autores

Sofía Rodríguez-Gómez: Análisis formal, Conceptualización, Investigación, Redacción – revisión y edición, Visualización. Jorge J. Montes-Pérez: Análisis formal, Investigación, Redacción – revisión y edición. Paula Warren: Investigación, Redacción – revisión y edición. Teresa Gil: Recursos, Redacción – revisión y edición, Supervisión. Teresa Conejo-Orosa:

Investigación, Redacción – revisión y edición. Enrique Moreno-Ostos: Administración del proyecto, Adquisición de fondos, Análisis formal, Conceptualización, Investigación, Redacción – borrador original, Supervisión, Visualización.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por un contrato entre GEML Universidad de Málaga y WWF en el marco del Proyecto “Misión Posible: Desafío Guadalquivir” financiado por The Coca-Cola Foundation.

Referencias

- Comer-Warner, S.A., Romeijn P, Gooddy D.C, Ullah S., Kettridge N., Marchant B., Hannah D.M., et al. 2018. Thermal sensitivity of CO₂ and CH₄ emissions varies with streambed sediment properties. *Nature Communications* 9: 2803. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04756-x>
- Hu, M., Sardans, J., Yang, X., Peñuelas, J., Tong, C. 2020. Patterns and environmental drivers of greenhouse gas fluxes in the coastal wetlands of China: A systematic review and synthesis. *Environmental Research* 186. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109576>
- Keller, P.S., Marcé, R., Obrador, B., Koschorreck, M. 2021. Global carbon budget of reservoirs is overturned by the quantification of drawdown areas. *Nature Geoscience* 14: 402–408. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00734-z>
- Martinsen, K.T., Kragh, T., Sand-Jensen, K. 2019. Carbon dioxide fluxes of air-exposed sediments and desiccating ponds. *Biogeochemistry* 144: 165–180. DOI 10.1007/s10533-019-00579-0
- Mitsch, W.J., Bernal, B., Nahlik, A.M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C.J., Jørgensen, S.E., et al. 2013. Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape Ecology* 28(4): 583–597. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9758-8>
- Morant, D., Picazo, A., Rochera, C., Santamans, A.C. 2020. Influence of the conservation status on carbon balances of semiarid coastal Mediterranean wetlands. *Inland Waters* <https://doi.org/10.1080/20442041.2020.1772033>
- Müller, B., Wang, Y., Dittrich, M. Y Wehrli, B. 2003. Influence of organic carbon decomposition on calcite dissolution in surficial sediments of a freshwater lake. *Water Research* 37: 4524–4532. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00381-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00381-6)