

Aplicación de la teledetección a la cuantificación de la defoliación provocada por *Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758) en el Parque Natural de Los Alcornocales (Cádiz, España) (Lepidoptera: Erebidae)

Iván Bernal, Luis Javier Sánchez-Martínez, Sergio Zambrano-Martínez & José Luis Viejo

Resumen

Se calcula el alcance y la gravedad de la defoliación provocada por *Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758) en el Parque Natural de Los Alcornocales (Cádiz, España) en la primera mitad de la década de los 90 mediante el uso de imágenes Landsat-4 desde 1990 hasta 1998. El daño forestal se cuantificó a través de las diferencias del índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI) de las imágenes de los años con defoliación (1994 y 1995) y los años previos a la defoliación (1990 a 1993). Los resultados, obtenidos muestran un patrón similar en la distribución del daño con otros estudios, donde las zonas con un mayor grado de defoliación se encuentran alrededor de las áreas urbanas. **Palabras clave:** Lepidoptera, Erebidae, *Lymantria dispar*, NDMI, imagen satélite, Landsat, Cádiz, España.

Application of remote sensing to the quantification of defoliation caused by *Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758) in the “Los Alcornocales” Natural Park (Cadiz, Spain) (Lepidoptera: Erebidae)

Abstract

The extent and severity of defoliation caused by *Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758) in “Los Alcornocales” Natural Park in the first half of the 90s is calculated using Landsat-4 images from 1990 to 1998. Forest damage was quantified through differences in Normalized Difference Moisture Index (NDMI) of images from the years with defoliation (1994 and 1995) and the years before defoliation (1990 to 1993). The results obtained show a similar pattern in the distribution of damage with other studies, where the areas with the highest degree of defoliation are found around urban areas.

Keywords: Lepidoptera, Erebidae, *Lymantria dispar*, NDMI, imagen satellite, Landsat, Cadiz, Spain.

Introducción

Los bosques de alcornoque (*Quercus suber* L) se distribuyen alrededor del mediterráneo occidental. En España, representan aproximadamente 500.000 hectáreas de las masas forestales ubicadas principalmente en el sudoeste de la península ibérica (Jurado, 2002). Los alcornoques configuran dehesas con un alto valor ecológico y mantienen una estrecha relación con el ser humano por sus recursos forestales (Jurado, 2002; Reyes & Burdett, 2019). En la actualidad, los alcornocales mediterráneos están sufriendo un declive a consecuencia de la actividad humana, el sobrepastoreo, la presencia de patógenos, la deforestación y la fragmentación del terreno (Mundet et al. 2018; Reyes & Burdett, 2019). Una de

las causas que provoca el deterioro de los alcornoques es la presencia de polillas defoliadoras. Entre las especies más problemáticas en la cuenca mediterránea, podemos destacar *Lymantria dispar* (L.) (Lepidoptera: Erebididae) y *Tortrix viridana* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Tortricidae) (Tiberi et al. 2016).

Lymantria dispar, es una de las especies más dañinas de las masas forestales de *Quercus sp.*, originaria de Eurasia, actualmente se distribuye a lo largo del hemisferio norte causando el deterioro de encinares, alcornoques y pinares (Tiberi et al. 2016). Especie univoltina, las orugas provocan episodios de defoliación entre los meses de abril y julio. La dinámica de sus poblaciones se caracteriza por alternar períodos de altas densidades, provocando importantes defoliaciones durante tres años, seguido de períodos de latencia de cinco o seis años o incluso de 10 a 12 años (Cocco et al. 2010; Villemant, 2010). Varias de las defoliaciones históricas sucedidas en el paleártico han ocurrido en las regiones mediterráneas (Villemant, 2010).

En España, las defoliaciones más importantes se han registrado en Cataluña y en el centro y sudoeste peninsular (Justicia et al. 2007; Villemant, 2010; Stefanescu et al. 2020). Destacando la ocurrida en el Parque Natural de Los Alcornocales (Cádiz, España) en 1995 con 41.000 ha tratadas y en 2005 con 36.000 ha tratadas. La primera comenzó a principios de los 90, apareciendo pequeños focos de *L. dispar* que fueron aumentando hasta alcanzar en 1995, 41.000 ha afectadas de puestas. Tras un tratamiento de casi 55.000 ha consiguieron controlar su población (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2013).

En los últimos años, la teledetección es uno de los métodos más utilizados para caracterizar los daños producidos por insectos defoliadores en las masas boscosas (Pasquarella, 2021). A lo largo del hemisferio norte se han realizado trabajos de teledetección para estudiar los efectos de *L. dispar* en las masas forestales (Pasquarella et al. 2018; Choi et al. 2021). En España, podemos destacar los estudios realizados en León a través del satélite Landsat 8 (Castedo-Dorado et al. 2016) y en Cataluña mediante el satélite Sentinel-2 (Tardà et al. 2020).

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es contribuir al conocimiento del evento de defoliación ocurrido en 1995 en el Parque Natural de Los Alcornocales a través de imágenes satelitales de Landsat-4.

Material y métodos

El Parque Natural (PN) de Los Alcornocales se ubica en el extremo occidental de la cordillera bética de la península ibérica (173.648 ha). El clima es de carácter mediterráneo con una temperatura media de 18° C y un régimen anual medio entre los 700-1.800 mm (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2018).

Para cuantificar las defoliaciones se analizaron imágenes satelitales del PN desde 1990 hasta 1998. Las imágenes se adquirieron del satélite Landsat 4 (TM) Level-1 a través del visualizador global USGS (<https://glovis.usgs.gov/>). Se seleccionaron imágenes limpias y sin contaminación (nubosidad, reflectancia, etc). En total se emplearon nueve imágenes, una por cada año entre los meses de julio y agosto para así cuantificar la última etapa de defoliación. Cuatro imágenes desde 1990 hasta 1993 se utilizaron para obtener información antes del evento de defoliación (etapa de predefoliación), dos imágenes de 1994 y 1995 se utilizaron para evaluar el daño causado por la defoliación (etapa de defoliación) y tres imágenes desde 1996 hasta 1998 fueron usadas para obtener información después del evento (etapa de postdefoliación).

Las imágenes Landsat se analizaron de acuerdo con Choi et al. (2021) calculando el índice radiométrico a través del índice NDMI (Índice de humedad de diferencia normalizada), siguiendo la fórmula (1):

$$\text{NDMI} = \frac{\text{Banda 4} - \text{Banda 5}}{\text{Banda 4} + \text{Banda 5}} \quad (1)$$

El valor del píxel en la banda 4 corresponde con la banda de infrarrojo cercano (NIR: 0,77-0,90 m) y el valor del píxel en la banda 5 corresponde con la banda de infrarrojo cercano (SWIR: 1,57-1,65 m). Las áreas defoliadas fueron evaluadas a través de la reducción de la media del índice NDMI de la etapa de predefoliación (1990 a 1993) y el NDMI de cada año de la etapa de defoliación (1994 y 1995). También, se analizó la diferencia de NDMI con la etapa de postdefoliación (1996 a 1998), para

corroborar que no hubo defoliación en dichos años. Para evitar errores con otras especies vegetales y calcular únicamente el índice NDMI de los alcornoques emplazados en el PN, las imágenes Landsat se recortaron con el mapa del perímetro del PN Los Alcornocales originario del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y con el mapa de la distribución de los alcornoques en la península ibérica procedente del Mapa Forestal de España (MFE).

Los valores obtenidos de NDMI variaron de -2 a 1, un valor más cercano a 1 equivale una mayor cobertura del dosel forestal. Posteriormente las imágenes se reclasificaron de acuerdo con Choi et al. (2021) para evitar errores de proceso, las áreas donde el NDMI se redujo en más de 0,05 fueron consideradas defoliadas por *L. dispar*. Por lo tanto, el grado de defoliación del bosque se clasificaron en tres niveles: defoliación alta (reducción del NDMI de = 0,2), defoliación media (reducción del NDMI de > 0,125 a 0,2) y defoliación baja (reducción del NDMI de 0,05 a 0,125). De modo que el análisis de la información espacial, el análisis de imágenes y el estadístico se realizaron a través de los programas SNAP 8.0.0, QGIS 3.22.2 y R 4.0.5, respectivamente.

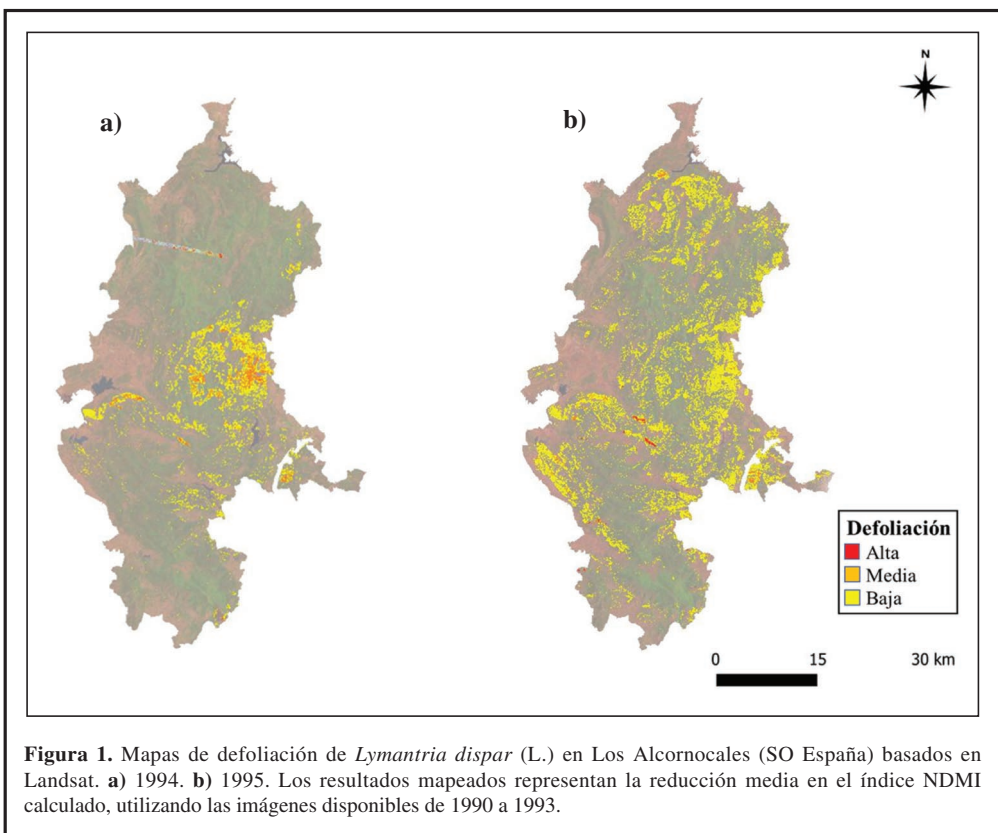


Figura 1. Mapas de defoliación de *Lymantria dispar* (*L.*) en Los Alcornocales (SO España) basados en Landsat. **a)** 1994. **b)** 1995. Los resultados mapeados representan la reducción media en el índice NDMI calculado, utilizando las imágenes disponibles de 1990 a 1993.

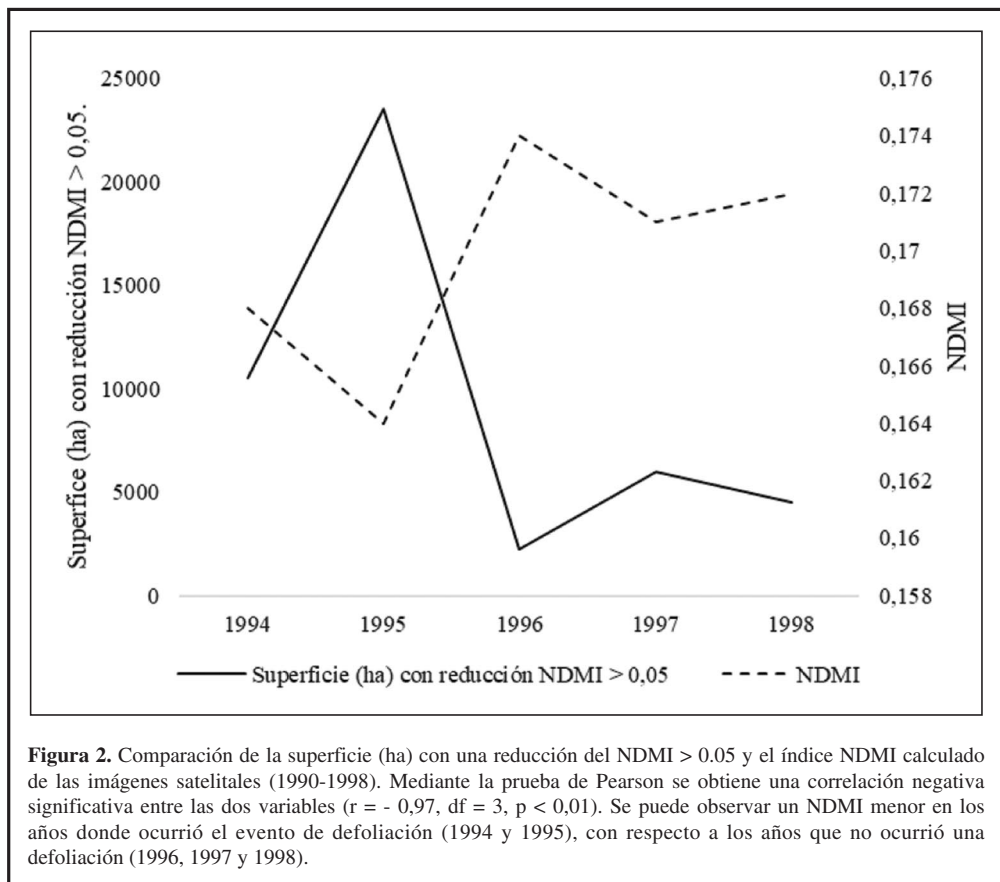
Resultados

El área total del PN Los Alcornocales es de 173.648 ha, de las cuales, el 41 % (70.648 ha) están formados por alcornoques. Los valores obtenidos en la reducción media del NDMI > 0,05 (superficie defoliada), fueron de 10.490 ha (15 %) de alcornocal en 1994 y de un 33 % (23.552 ha) en 1995 (Figura 1). En cuanto a los valores obtenidos en las tres clases de defoliación, en el año 1994 el 79 % (8.324 ha) de los alcornoques afectados sufrieron una defoliación baja, el 20,5 % (2.105 ha) una

defoliación media y el 0,5 % (61 ha) una defoliación alta. Mientras que, en 1995 el 95 % (22.377 ha) de los alcornoques registraron una defoliación baja, el 4 % (1.044 ha) una defoliación media y el 1 % (130 ha) una defoliación alta.

Las defoliaciones en 1994 se focalizaron en el centro y este del parque natural, destacando las áreas cercanas al municipio de Jimena de la Frontera y al sur del embalse de Barbate, en el municipio de Alcalá de los Gazules. Sin embargo, en 1995 las áreas afectadas se distribuyen especialmente en el centro y norte del PN, destacando los municipios de Alcalá de los Gazules, Agar, Castellar de la Frontera, Jerez de la Frontera, Jimena de la Frontera y Ubrique.

Los índices de NDMI calculados en los años del evento de defoliación (1994 y 1995) presentaron unos valores cercanos a cero, mientras que los índices NDMI de la etapa de postdefoliación (1996, 1997 y 1998) mostraron unos valores cercanos a uno. A través de la prueba de Pearson los índices NDMI presentan una correlación negativa significativa con respecto a la superficie con una reducción del $\text{NDMI} > 0,05$ ($r = -0,97$, $df = 3$, $p < 0,01$). En los años con eventos de defoliación encontramos un NDMI más cercano a 0 y por lo tanto una menor cobertura del dosel forestal, mientras que, en los años de la postdefoliación, mayor cobertura del dosel forestal se obtiene un NDMI más cercano a 1. En consecuencia, podemos deducir en nuestro caso que el índice NDMI reducido de los años 1994 y 1995 se puede utilizar para estimar la superficie de los alcornoques afectados por el evento de defoliación (Figure 2).



Discusión

Numerosos países han realizado planes de seguimiento de insectos defoliadores a través de la teledetección para caracterizar, monitorizar y predecir defoliaciones en las masas forestales. En EE.UU. en las últimas décadas se han llevado a cabo seguimientos de las defoliaciones provocadas por *L. dispar* en bosques de *Quercus sp* a través de los satélites Landsat y Modis. En España, la mayoría de los seguimientos fueron llevados a cabo para monitorizar *Thaumetopoea pityocampa* ([Denis & Schiffermüller], 1775) (Lepidoptera: Notodontidae) en Pinaceae mediante el satélite AHS y *Gonipterus scutellatus* (Gyllenhal, 1833) (Coleoptera: Curculionidae) en bosques de *Eucalyptus globulus* (Labill) mediante imágenes satelitales Landsat (Rullan-Silva et al. 2013). Aunque en los últimos años se están realizando seguimientos de *L. dispar* en Cataluña a través del satélite Sentinel- 2 (Tardà et al. 2020).

Para el presente estudio se utilizaron imágenes del satélite Landsat 4, ya que es el único satélite disponible a principio de la década de los 90. Mientras que, la estimación realizada de la superficie defoliada se correlacionó con la reducción media del índice NDMI. Este índice es utilizado por autores para caracterizar defoliaciones, Choi et al. (2021) cuantificaron episodios de defoliación ocurridos en bosques de *Larix kaempferi* (Lamb.) en la provincia de Wonju, en Corea del Sur. Por otro lado, De Beurs & Townsend (2008) y Townsend et al. (2012) utilizaron el índice NDMI para cuantificar daños por *L. dispar* en bosque de *Quercus sp.* en el este de los EE.UU.

Choi et al. (2021) observaron como la mayor parte de los pinares defoliados se ubicaban alrededor de núcleos urbanos y en menor parte en zonas remotas de la masa forestal. Este patrón, también es recogido en el presenta trabajo, ya que las mayores zonas defoliadas se ubican alrededor del núcleo urbano de Jimena de la Frontera. Según Choi et al. (2021), puede deberse a varias razones, una de ellas es que los depredadores o parásitos naturales encargados de controlar las poblaciones de *L. dispar* se encuentran más presentes en las masas forestales que en los núcleos urbanos, lo que favorece una proliferación de *L. dispar* en las zonas cercanas a las áreas urbanas. Otra de las razones es la atracción que puede sufrir *L. dispar* por las áreas urbanas, debido a la presencia de luces artificiales y temperaturas templadas en invierno, favoreciendo la supervivencia y por lo tanto aumentando la puesta de huevos en esas áreas, provocando defoliaciones al año siguiente. Por otro lado, Villemant (2010) recoge que una de las causas que favorece los episodios de defoliaciones por *L. dispar*, es la degradación de los bosques debido al sobrepastoreo, la poda descontrolada y la actividad humana.

La defoliación en los alcornoques genera problemas económicos, sociales y ambientales, las defoliaciones severas provocan pérdidas de alimentos para aves, mamíferos y otros invertebrados, junto con cambios en la caída de la hojarasca y la disponibilidad de luz, provocan alteraciones en los ciclos de nutrientes de las cuencas hidrográficas y terrestres, por lo tanto, alterando la dinámica del ecosistema (Pasquarella et al. 2018).

A pesar de realizarse este trabajo a posterior y no poder comparar los datos obtenidos con los datos de campo, junto con otras variables que influyen en el resultado del índice NDMI, como el estrés hídrico, defoliaciones u otros patógenos, contaminaciones en las imágenes satelitales; los resultados obtenidos contribuyen a conocer como fue el patrón y la superficie defoliada por *L. dispar* a principios de la década de los años 90 en el PN Los Alcornoques y así poder ayudar a su gestión en futuros episodios de defoliación.

Referencias

Castedo-Dorado, F., Lago-Parra, G., Lombardero, M. J., Liebhold, A. M., & Álvarez-Taboada, M. F. (2016).

- European gypsy moth (*Lymantria dispar dispar* L.) completes development and defoliates exotic radiata pine plantations in Spain. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 46, 18.
- Choi, W. I., Kim, E. S., Yun, S. J., Lim, J. H., & Kim, Y. E. (2021). Quantification of One-Year Gypsy Moth Defoliation Extent in Wonju, Korea, Using Landsat Satellite Images. *Forests*, 12, 545.
- Cocco, A., Cossu, A. Q., Erre, P., Nieddu, G., & Luciano, P. (2010). Spatial analysis of gypsy moth populations in Sardinia using geostatistical and climate models. *Agricultural and Forest Entomology*, 12, 417-426.
- De Beurs, K., & Townsend, P. (2008). Estimating the effect of gypsy moth defoliation using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3983-3990.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2013). *Plan de lucha integrada contra la lagarta peluda Lymantria dispar (Linnaeus, 1758) en la Comunidad Autónoma de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2018). *II Plan de Desarrollo Sostenible. Parque Natural de Los Alcornocales y su área de influencia socio-económica*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- Jurado, V. (2002). *Los bosques de la Sierras del Aljibe y del Campo de Gibraltar: (Cádiz - Málaga): Ecología, transformaciones históricas y gestión forestal*. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía).
- Justicia, I., Soto, A., Martínez González, M., & Pérez-Laorga, A. (2007). Distribución y abundancia de *Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Lymantriidae) en las principales masas de carrasca *Quercus ilex* (L.) subsp. *rotundifolia* (Lam.) y alcornoque *Quercus suber* (L.) de la Comunitat Valenciana. *Boletín de Sanidad Vegetal*, 33, 491-502.
- Mundet, R., Baiges, T., Beltrán, M., & Torrell, A. (2018). *Guía de recomendaciones y medidas de adaptación al cambio climático en la gestión de Quercus suber*. Proyecto Life+SUBER.
- Pasquarella, V., Elkinton, J., & Bradley, B. (2018). Extensive gypsy moth defoliation in Southern New England characterized using Landsat satellite observations. *Biological Invasions*, 20, 3047-3053.
- Pasquarella, V., Mickleby, J., Barker Plotkin, A., Maclean, R., Anderson, R., Brown, L., Wagner, D., Singer, M., & Bagchi, R. (2021). Predicting defoliator abundance and defoliation measurements using Landsat-based condition scores. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7(4), 592-609.
- Reyes, P., & Burdett, E. (2019). Evolución de la cobertura forestal en los alcornocales próximos al estrecho de Gibraltar a través del índice de vegetación EVI. *Ecosistemas*, 28(3), 73-80.
- Rullan-Silva, C., Olthoff, A., Delgado De La Mata, A., & Pajares-Alonso, J. (2013). Remote monitoring of forest insect defoliation. A review. *Forest Systems*, 22(3), 377-391.
- Stefanescu, C., Soldevila, A., Gutiérrez, C., Torre, I., Ubach, A., & Miralles, M. (2020). Explosions demogràfiques de l'eruga peluda del suro, *Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758), als boscos del Montnegre el 2019 i 2020: possibles causes, impactes i idoneïtat dels tractaments per combatre la plaga. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 84, 267-279.
- Tardà, A., Corbera, J., & Riera R. (2020). *Estudi de l'àrea d'afectació de l'eruga peluda del suro al massís del montnegre a partir d'imatges sentinel-2*. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.
- Tiberi, R., Branco, M., Bracalini, M., Croci, F., & Panzavolta, T. (2016). Cork oak pests: a review of insect damage and management. *Annals of Forest Science*, 73, 219-232.
- Townsend, P., Singh, A., Foster, J., Rehberg, N., Kingdon, C., Eshleman, K., & Seagle, S. (2012). A general Landsat model to predict canopy defoliation in broadleaf deciduous forests. *Remote Sensing of Environment*, 119, 255-265.

*Iván Bernal
 Departamento de Biología
 Facultad de Ciencias
 Universidad Autónoma de Madrid
 Darwin, 2, Cantoblanco
 E-28049 Madrid
 ESPAÑA / SPAIN
 E-mail: bernalsofia.ivan@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5432-5041>

José Luis Viejo
 Departamento de Biología
 Facultad de Ciencias
 Universidad Autónoma de Madrid
 Darwin, 2, Cantoblanco
 E-28049 Madrid
 ESPAÑA / SPAIN
 E-mail: joseluis.viejo@uam.es
<https://orcid.org/0000-0003-3160-6892>

Luis Javier Sánchez-Martínez
Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución
Facultad de Biología
Universidad Complutense de Madrid
Av. Séneca, 2
ESPAÑA / SPAIN
E-mail: luisja02@ucm.es
<https://orcid.org/0000-0002-9700-3608>

Sergio Zambrano-Martínez
ProOcean
Marine Research, Conservation & Innovation
E-08230 Matadepera (Barcelona)
ESPAÑA / SPAIN
E-mail: sergio.zambrano.m@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7993-9448>

*Autor para la correspondencia / *Corresponding author*

(Recibido para publicación / *Received for publication* 13-VIII-2022)

(Revisado y aceptado / *Revised and accepted* 10-XII-2022)

(Publicado / *Published* 30-IX-2023)

Derechos de autor: El autor(es). Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons (CC BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite al autor original y la fuente. / **Copyright:** The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.