

G. Sostenibilidad y Medio Ambiente

## CAPACIDAD DE CARGA EN ZONAS PREFERENTES PARA LA ACUICULTURA MARINA EN EL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL: VALIDACIÓN Y APLICACIÓN MEDIANTE SIG

**Kilian Toledo-Guedes<sup>1</sup>, Linda Fourdain<sup>1</sup>, Victoria Fernandez-Gonzalez<sup>1</sup>, Pablo Sánchez-Jerez<sup>1</sup>, Estela Carbonell-Garzón<sup>1</sup>, Francisca Romero<sup>1</sup>, Llorenç Belda<sup>1</sup>, María M. Agraso<sup>2</sup>, Aitor Forcada<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada, Universidad de Alicante.

<sup>2</sup>Centro Tecnológico de Acuicultura de Andalucía - CTAQUA.

### Abstract

In this study, the MACCAM model (Romero et al., 2023) is validated and applied as a proxy to carrying capacity for finfish aquaculture in the Spanish Mediterranean. Samplings were conducted at facilities with different production levels, demonstrating that those surpassing the theoretical carrying capacity exhibit altered environmental parameters. The model's application in a GIS environment enabled the visualization of carrying capacity in areas of interest under various technical-productive scenarios. The results indicate that the model could be useful for making informed decisions regarding annual production granted and for the industry to identify areas of interest with higher production and lower environmental impact.

### Resumen

En este estudio se valida y aplica el modelo MACCAM (Romero et al., 2023), como una aproximación a la capacidad de carga para la acuicultura de peces marinos en el Mediterráneo español. Se realizaron muestreos en instalaciones con diferentes niveles de producción, demostrando que aquellas que superan la capacidad de carga teórica presentan parámetros ambientales alterados. La aplicación del modelo en un entorno SIG permitió visualizar la capacidad de carga en zonas de interés y bajo distintos escenarios técnico-productivos. Los resultados indican que el modelo puede ser útil para tomar decisiones informadas sobre la concesión de producciones anuales y para que las empresas identifiquen zonas de interés con mayor producción y menor impacto ambiental.

### Introducción

En los últimos años se han desarrollado en España los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM). En ellos se integra la información sobre las zonas de interés para la acuicultura de peces marinos y su delimitación en las diferentes comunidades autónomas. Sin embargo, no existe un cálculo de la capacidad de producción máxima sostenible para dichas zonas de interés, y las producciones para cada instalación de acuicultura son concedidas caso por caso. Recientemente ha sido publicado un modelo de aproximación a la capacidad de carga para la acuicultura de peces marinos en el Mediterráneo español (MACCAM; Romero et al., 2023). El presente trabajo tiene dos objetivos: por un lado, validar MACCAM en condiciones operativas reales, determinando si aquellas instalaciones que superan la capacidad de carga calculada por el modelo presentan parámetros ambientales alterados, tal y como se encuentran definidos en la literatura (JACUMAR, 2012). Por otro, aplicar MACCAM en un entorno SIG que permita visualizar la capacidad de carga en zonas de interés para la acuicultura y bajo distintos escenarios técnico-productivos.

### Material y métodos

Con el fin de validar el modelo en condiciones operativas, se realizaron muestreos de sedimento en tres instalaciones de acuicultura de peces con diferentes niveles de producción concedida por parte de la administración: baja (450 t/año), media (1000 t/año) y alta (3900 t/año). Para cada instalación, los muestreos (n=4) se hicieron en zonas control (>500 m desde la instalación) e impacto (bajo la instalación). Las tres variables escogidas para establecer el buen estado ambiental de los sedimentos fueron: porcentaje de la fracción fina de sedimento (%<63 µm), sulfuros libres totales (TFS mM) y número de familias de poliquetos (nº familias). Dichas variables se analizaron bajo las premisas de comparación impacto-control de JACUMAR, 2012.

Para la aplicación espacial de MACCAM se diferenciaron aquellos factores del modelo que tenían un componente geográfico (distancia entre instalaciones, distancia a hábitats prioritarios, profundidad, velocidad de corriente y empleo proporcionado), frente aquellos que dependían de cuestiones técnico-productivas intrínsecas (toneladas de alimento por hectárea, distribución de las jaulas en la concesión y el coste de producción). Para estos últimos se tuvieron en cuenta, de forma combinatoria, diferentes escenarios para valorar los cambios en la capacidad de carga en función de aspectos intrínsecos a la producción.

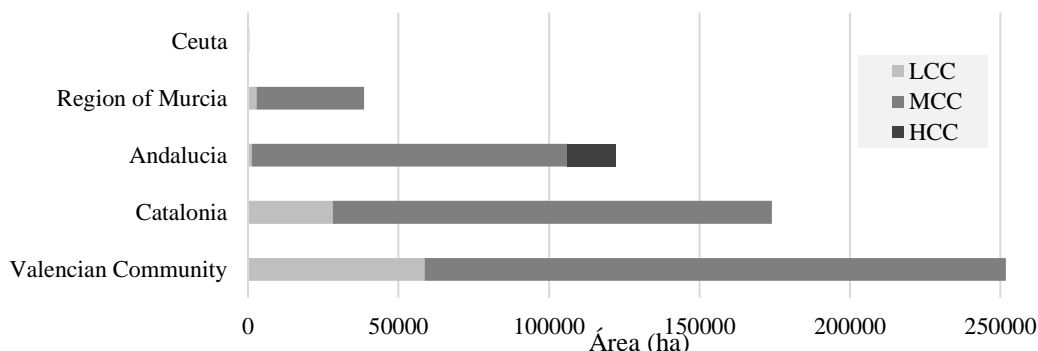
## Resultados y discusión

Las variables indicadoras de buen estado ambiental mostraron valores alterados únicamente en las instalaciones cuya producción anual concedida se situaba por encima de la capacidad de carga teórica calculada (Tabla 1). Esto indicaría que la capacidad de carga ha sido superada en estos lugares de producción, tal y como predice el modelo MACCAM, validando su utilidad. En estos casos, en los que las instalaciones se encuentran operando, se puede valorar el desplazamiento de la instalación a lugares contiguos con una capacidad de carga teórica más alta, reducir la producción anual concedida o mejorar aspectos técnico-productivos de la instalación para que la capacidad de carga teórica se acerque a la producción anual concedida, promoviendo que las variables ambientales se mantengan dentro de los márgenes deseables.

**Tabla 1.** Resultados de la validación del modelo MACCAM en tres instalaciones de acuicultura.

Nivel de producción	Producción anual concedida (t/año)	Capacidad de Carga (t/año)	Granulometría (%<63µm)	TFS (mM)	Nº familias poliquetos
Baja	450	82	✓	X	✓
Media	1000	1223	✓	✓	✓
Alta	3900	3114	✓	✓	X

En cuanto a la distribución espacial de la capacidad de carga teórica, nos encontramos con diferencias entre comunidades autónomas en función de las características de las zonas de interés para la acuicultura que han sido identificadas. Sin tener en cuenta los escenarios técnico-productivos, la única comunidad autónoma con zonas de alta capacidad de carga fue Andalucía, mientras la Comunidad Valenciana presentó un 23,3% de zonas con una baja capacidad de carga en las que sería inviable la actividad (Figura 1). Estas cifras mejoraron cuando se aplicaron los escenarios técnico-productivos más favorables.



**Figura 1.** Zonas de capacidad de carga baja (LCC; <math><10.7 t ha^{-1} año^{-1}</math>), capacidad de carga media (MCC; <math>10.7-187.5 t ha^{-1} año^{-1}</math>) y capacidad de carga alta (HCC; <math>>187.5 t ha^{-1} año^{-1}</math>)

Gracias a su sencillez, y una vez validado, este modelo puede servir de base para llevar un paso más allá la ordenación de la acuicultura marina en España. La posibilidad de una futura integración en herramientas de visualización SIG, tales como AcuiVisor (MAPA), puede servir para que las administraciones tomen decisiones informadas a la hora de conceder producciones anuales. Además, ayudará a que las empresas identifiquen zonas de interés para llevar a cabo su actividad con un mayor rendimiento y un menor impacto sobre el medio.

## Palabras Clave:

Capacidad de carga, indicadores ambientales, ordenación espacial, sostenibilidad.

## Bibliografía

JACUMAR. 2012. Propuesta metodológica para la realización de los planes de vigilancia ambiental de los cultivos marinos en jaulas flotantes. Ed.: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 181 pp.

Romero, F., P. Sanchez-Jerez, G. Martínez, A. Hernandez-Contreras, V. Fernandez-Gonzalez, M.M. Agraso and K. Toledo-Guedes. 2023. A proxy for carrying capacity of Mediterranean aquaculture. *Aquaculture* 565:739119.

## Agradecimientos

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico a través del Programa Pleamar, cofinanciado por el FEMP. Este estudio forma parte del programa ThinkInAzul apoyado por el MCIN con fondos NextGenerationEU de la Unión Europea (PRTR-C17.I1) y por la Generalitat Valenciana (THINKINAZUL/2021/044-TOWARDS)

## Correo del Autor

ktoledo@ua.es