CONAMA 2026

Efecto de la protección ambiental sobre las poblaciones de *Phorcus turbinatus*

Un estudio en el Mediterráneo occidental

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: Rosa Visconti. Doctoranda. Departamento de Ecología e Hidrología, Facultad de Biología, Universidad de Murcia.

Otros Autores: Josefina Zapata. Profesora Titular de Universidad. Departamento de Zoología y Antropología Física, Facultad de Biología, Universidad de Murcia.

Igor Gutiérrez-Zugasti. Profesor Titular en Prehistoria. Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria, Universidad de Cantabria, Gobierno de Cantabria, Banco Santander.

Asier García-Escárzaga. Investigador Ramón y Cajal. 4IsoTOPIK Lab, Departamento de Historia, Geografía y Comunicación, Facultad de Humanidades y Comunicación, Universidad de Burgos.

Arnaldo Marín. Profesor Titular de Ecología. Departamento de Ecología e Hidrología, Facultad de Biología, Universidad de Murcia.

Índice

RESUMEN **1**

1. Introducción **2**

2. Objetivos **3**

3. Materiales y métodos **3**

3.1. Área de estudio 3

3.2. Diseño de muestreo y estimación de la densidad poblacional 5

3.3. Caracterización de la variabilidad espacial 6

3.4. Análisis estadísticos 6

3.4.1. Comparación de densidades entre áreas 6

3.4.2. Modelos de abundancia y estructura del muestreo 7

3.4.3. Consideraciones sobre el efecto de la protección 7

3.4.4. Tratamiento de los datos y representación gráfica 8

4. Resultados **8**

4.1. Variación espacial de la densidad poblacional de *Phorcus turbinatus* 8

4.2. Heterogeneidad espacial de las densidades entre sectores 10

4.3. Variación de la densidad según la categoría de protección 11

4.4. Variabilidad espacial de la densidad poblacional 12

5. Discusión y Conclusiones **13**

5.1. Variabilidad espacial de la densidad poblacional 13

5.2. Heterogeneidad espacial y distribución de los individuos 14

5.3. Influencia potencial del régimen de protección 14

5.4. Implicaciones para el seguimiento y la conservación 15

5.5. Limitaciones del estudio y perspectivas futuras 16

5.6. Conclusiones 17

6. Bibliografía 18

RESUMEN

Los ecosistemas intermareales rocosos del Mediterráneo presentan una elevada variabilidad ambiental y pueden modificar la abundancia y distribución de los invertebrados bentónicos, especialmente de especies de movilidad limitada y accesibles durante los periodos de emersión. El gasterópodo *Phorcus turbinatus* (Born, 1778), constituye una especie adecuada para estudiar la variabilidad espacial de las poblaciones intermareales.

El objetivo de este estudio fue evaluar la variabilidad espacial de la densidad poblacional de *P. turbinatus* en dos localidades del litoral mediterráneo de la Región de Murcia con diferentes condiciones de protección y accesibilidad: Isla Grosa, con acceso restringido, y Calblanque, espacio protegido con acceso público. Se compararon tres áreas de muestreo, de forma descriptiva: Grosa_3 y Grosa_8, en Isla Grosa, y Calblanque_1, en Calblanque. Se aplicó un diseño jerárquico, registrando el número de individuos en cuadrados distribuidos en diez sectores por área y estimando las densidades en individuos por metro cuadrado.

Los resultados mostraron diferencias espaciales marcadas. Calblanque_1 y Grosa_3 presentaron las mayores densidades medias, con valores aproximados de 16 y 15 ind. m^{-2}, respectivamente, mientras que Grosa_8 registró una densidad cercana a 8 ind. m^{-2}. Sin embargo, las áreas también difirieron en su heterogeneidad: Grosa_3 mostró una elevada variabilidad entre cuadrados y sectores, con concentraciones locales de individuos, mientras que Grosa_8 presentó densidades menores y más homogéneas. Calblanque_1 mostró una distribución relativamente uniforme. Las diferencias entre las dos áreas de Isla Grosa, sometidas al mismo régimen de protección, sugieren que los factores locales podrían ser importantes. Además, el diseño no permite separar el efecto de la protección del efecto de la localidad, por lo que no es posible establecer una relación causal entre ambos.

En conjunto, los resultados destacan la necesidad de considerar la variabilidad espacial a pequeña escala en el seguimiento y la conservación de *P. turbinatus*, complementando las densidades medias con información sobre su distribución entre sectores y las características del hábitat.

Palabras clave: *Phorcus turbinatus*, protección ambiental, accesibilidad humana, intermareal rocoso, densidad poblacional, variabilidad espacial, conservación.

1. Introducción

Los ecosistemas intermareales rocosos se cuentan entre los medios costeros más expuestos a la actividad humana: su accesibilidad los ha hecho susceptibles a múltiples perturbaciones, entre las que destacan la recolección de organismos, la contaminación y el uso turístico y recreativo (Thompson et al., 2002). En el Mediterráneo, estas presiones se concentran en una franja costera estrecha y muy frecuentada, donde las mareas son de poca amplitud y los organismos del intermareal permanecen continuamente al alcance de las personas. La recolección, por su parte, actúa de manera selectiva sobre las especies de interés alimentario y, dentro de ellas, sobre los individuos de mayor tamaño. Esta extracción por talla altera la estructura de las poblaciones, disminuye su abundancia y reduce su potencial reproductor (Fenberg y Roy, 2008), especialmente en los desovadores de emisión libre, cuya fecundidad aumenta con el tamaño corporal y cuyo éxito de fecundación depende de altas concentraciones de gametos (Espinosa et al., 2009). La lapa *Patella ferruginea* es el ejemplo mediterráneo más conocido de declive asociado a la explotación (Espinosa et al., 2014). Los gasterópodos del género *Phorcus* han sido, además, recolectados tradicionalmente para consumo humano, y las evidencias más sólidas de los efectos de esta explotación proceden de *Phorcus sauciatus* en el Atlántico (Sousa et al., 2020). En Madeira, donde la especie se explota desde hace siglos, el tamaño medio, la proporción de individuos reproductores y la abundancia fueron generalmente menores en las zonas próximas a los núcleos de población y en las costas más accesibles (Sousa et al., 2019). Un análisis comparativo posterior, basado en 10.480 individuos de Portugal continental, Azores, Madeira y Canarias, mostró que los mayores tamaños se registraban donde no existe presión de recolección y que las áreas marinas protegidas albergaban los individuos de mayor talla media, independientemente de la región y del nivel de explotación (Sousa et al., 2020). Además, la baja movilidad, la facilidad de muestreo, la abundancia durante todo el año y la amplia distribución de las especies de *Phorcus* las hacen buenas candidatas como indicadores biológicos del efecto de la actividad humana sobre los ecosistemas costeros (Sousa et al., 2017). El género *Phorcus* Risso, 1826 (Trochidae) incluye nueve especies vivas de gasterópodos herbívoros que habitan las costas rocosas del Mediterráneo y del Atlántico nororiental, incluida la Macaronesia (Donald et al., 2012; Sousa et al., 2017). La distribución del género muestra una separación clara entre ambas cuencas, atribuida a la barrera biogeográfica que suponen el estrecho de Gibraltar y el frente de Alborán para organismos con larvas de corta duración (Patarnello et al., 2007; Donald et al., 2012). Cuatro especies son exclusivas del Mediterráneo (*P. turbinatus*, *P. mutabilis*, *P. articulatus* y *P. richardi*), y *P. turbinatus* se distribuye desde España hasta Chipre (Donald et al., 2012). Estos gasterópodos se alimentan raspando con la rádula las biopelículas microbianas de la roca, son activos principalmente durante la marea baja y responden con rapidez a los cambios meteorológicos (Crothers, 2012). Su

zonación vertical está limitada por la tolerancia a la temperatura, lo que da lugar a migraciones estacionales a lo largo de la costa (Little y Kitching, 1996). El tamaño y la edad de los individuos están positivamente relacionados, lo que permite inferir la estructura de las poblaciones a partir de la distribución de tallas. El crecimiento depende de la disponibilidad de alimento, la competencia y el oleaje, mientras que la densidad poblacional está controlada sobre todo por el éxito del asentamiento larvario y la depredación (Underwood, 1979; Crothers, 2012). Los sexos están separados y la fertilización es externa, con liberación de gametos al agua, una estrategia de alto riesgo que solo resulta eficaz si la especie es localmente abundante (Crothers, 2001). La fase larvaria planctónica dura como máximo entre seis y siete días (Crothers, 2001; Patarnello et al., 2007) y, en el caso de *P. turbinatus*, se ha descrito un periodo reproductor prolongado, con actividad reproductiva durante la mayor parte del año (Küçükdermenci et al., 2025). En conjunto, la reducción de individuos grandes y de la densidad local puede comprometer el éxito reproductor de estas poblaciones (Sousa et al., 2017).

2. Objetivos

Este estudio tuvo como objetivo describir la variabilidad espacial de la densidad poblacional de *Phorcus turbinatus* en dos localidades del litoral mediterráneo de la Región de Murcia con diferentes regímenes de protección y accesibilidad: Isla Grosa, con acceso restringido, y Calblanque, espacio protegido con acceso público. Para ello, se compararon descriptivamente dos áreas de Isla Grosa (Grosa_3 y Grosa_8) y una de Calblanque (Calblanque_1), y se caracterizó la heterogeneidad de las densidades entre sectores dentro de cada área.

Se plantearon dos expectativas: (i) que las densidades en Isla Grosa fueran mayores que en Calblanque, como posible consecuencia de una menor presión humana, aunque el diseño no permite separar el efecto de la protección del de la localidad; y (ii) que existieran diferencias de densidad entre las dos áreas de Isla Grosa, sometidas al mismo régimen de protección, reflejando la heterogeneidad espacial dentro de una misma localidad.

3. Materiales y métodos

3.1. Área de estudio

El estudio se desarrolló en dos localidades del litoral mediterráneo de la Región de Murcia (sureste de la península ibérica): Isla Grosa y Calblanque. Ambas localidades presentan

hábitats intermareales rocosos ocupados por poblaciones de *P. turbinatus*, aunque difieren en su régimen de protección y accesibilidad (Fig.1).



Figura 1 Área de estudio y sitios de muestreo en el sureste de España (Región de Murcia). (A) Localización regional de las dos localidades de muestreo: Isla Grosa y Calblanque. (B) Isla Grosa, situada frente a La Manga del Mar Menor y sometida a un régimen de protección estricta que restringe el acceso público y el desembarco; los puntos rojos indican las dos áreas de muestreo, Grosa_3 y Grosa_8, seleccionadas para evaluar la variabilidad espacial de las densidades dentro de una misma localidad protegida. (C) Calblanque, en el Parque Regional de Calblanque (litoral de Cartagena), espacio natural protegido con acceso público sujeto a regulación; el punto amarillo indica el área de muestreo Calblanque_1. Imágenes: Google Earth.

Isla Grosa es una isla situada frente a La Manga del Mar Menor, sometida a un régimen de protección total que restringe el acceso público y el desembarco. En esta localidad se seleccionaron dos áreas de muestreo, denominadas Grosa_3 y Grosa_8, con el objetivo de evaluar la variabilidad espacial de las densidades dentro de una misma localidad protegida.

Calblanque se localiza en el litoral de Cartagena, dentro del Parque Regional de Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila. A diferencia de Isla Grosa, se trata de un espacio natural protegido en el que está permitido el acceso público, sujeto a las

regulaciones establecidas para su conservación. En esta localidad se seleccionó un área de muestreo denominada Calblanque_1.

Las localidades se clasificaron en dos categorías de protección: protección total (Isla Grosa) y protección con acceso público (Calblanque).

Esta clasificación permitió describir las diferencias de densidad entre localidades con distintos niveles de accesibilidad humana, aunque el diseño no permite separar completamente los efectos de la protección de las características particulares de cada localidad

3.2. Diseño de muestreo y estimación de la densidad poblacional

Se utilizó un diseño de muestreo espacial jerárquico, estructurado en tres niveles: áreas, sectores y cuadrados de muestreo.

Se seleccionaron tres áreas de estudio: dos en Isla Grosa (Grosa_3 y Grosa_8) y una en Calblanque (Calblanque_1). En cada área se establecieron diez sectores de muestreo, numerados del 1 al 10, con el objetivo de caracterizar la variabilidad espacial de las poblaciones a escala local.

Dentro de cada sector se realizaron tres cuadrados de muestreo, obteniéndose un diseño previsto de 30 cuadrados por área y un total de 90 unidades de muestreo para el conjunto del estudio.

En cada cuadrado de muestreo se contabilizó el número de individuos de *Phorcus turbinatus*, expresando la densidad poblacional como el número de individuos por metro cuadrado (ind. m^{-2}).

Para cada sector se calculó la densidad media a partir de los cuadrados correspondientes. Posteriormente, se estimaron las densidades medias de cada área de muestreo y sus respectivos errores estándar.

Este diseño permitió evaluar la variabilidad espacial a dos escalas complementarias: entre áreas de muestreo y entre sectores dentro de cada área.

3.3. Caracterización de la variabilidad espacial

La distribución espacial de las densidades se examinó mediante estadísticos descriptivos y representaciones gráficas.

Para cada área de muestreo se calcularon el número de observaciones, la densidad media, la desviación estándar, el error estándar, la mediana y los valores mínimo y máximo. Las distribuciones se representaron mediante diagramas de caja, acompañados de los valores individuales de cada cuadrado.

La variabilidad entre sectores se examinó mediante las densidades medias sectoriales y sus respectivos errores estándar, calculados a partir de los cuadrados de cada sector.

Esta aproximación permitió identificar diferencias en la heterogeneidad espacial de las poblaciones, incluyendo la presencia de sectores con densidades particularmente elevadas o reducidas.

Asimismo, se exploró la distribución de las densidades según las categorías de protección consideradas. Las comparaciones entre categorías se interpretaron de forma descriptiva, debido a que cada régimen de protección estuvo representado por una única localidad independiente.

3.4. Análisis estadísticos

3.4.1. Comparación de densidades entre áreas

Inicialmente, se evaluaron las diferencias de densidad entre las tres áreas de muestreo (Grosa_3, Grosa_8 y Calblanque_1) mediante un análisis de la varianza de un factor (ANOVA), considerando el área como factor fijo.

La normalidad de los residuos se examinó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene.

Cuando se cumplieron los supuestos del ANOVA, las diferencias entre pares de áreas se evaluaron mediante la prueba de Tukey HSD.

Como análisis complementario frente a posibles desviaciones de la homogeneidad de varianzas, se aplicó el ANOVA de Welch, acompañado de comparaciones múltiples mediante la prueba de Games-Howell.

Adicionalmente, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida de comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn, con ajuste de los valores de p para controlar el error asociado a las comparaciones múltiples.

Estos análisis se consideraron complementarios a los modelos que incorporan explícitamente la estructura jerárquica del muestreo.

3.4.2. Modelos de abundancia y estructura del muestreo

Para analizar las diferencias de abundancia entre áreas se utilizaron modelos lineales generalizados con distribución binomial negativa (GLM-NB), adecuados para datos de recuento con sobredispersión. El número de individuos por cuadrado se consideró la variable respuesta y el área de muestreo el factor explicativo. Se incorporó la superficie de cada cuadrado como término de compensación (*offset*) para expresar las diferencias en términos de densidad.
Posteriormente, se ajustaron modelos lineales generalizados mixtos (GLMM-NB), incorporando el sector como efecto aleatorio para tener en cuenta que los cuadrados de un mismo sector no son completamente independientes.
Las diferencias entre áreas se evaluaron mediante pruebas de significación y comparaciones múltiples de las medias marginales estimadas. Los resultados se expresaron como razones de tasas (IRR), que permiten cuantificar las diferencias relativas de densidad entre áreas. Finalmente, se comprobó la adecuación de los modelos mediante el análisis de residuos, prestando especial atención a la dispersión y a la presencia de valores extremos.

3.4.3. Consideraciones sobre el efecto de la protección

Las diferencias entre categorías de protección se analizaron de manera exploratoria, debido a las limitaciones de replicación espacial del diseño.

Aunque Isla Grosa incluyó dos áreas de muestreo y Calblanque una, las dos áreas de Isla Grosa pertenecen a una misma localidad y, por tanto, no constituyen réplicas independientes del régimen de protección total.

En consecuencia, la categoría de protección está confundida con la localidad, por lo que no resulta posible estimar de manera independiente un efecto general de la protección sobre la densidad poblacional.

Por este motivo, los contrastes estadísticos se centraron en las diferencias entre áreas de muestreo, mientras que las comparaciones entre categorías de protección se utilizaron para contextualizar ecológicamente los patrones observados.

3.4.4. Tratamiento de los datos y representación gráfica

El procesamiento de los datos, los análisis estadísticos y las representaciones gráficas se realizaron mediante R(v.4.4.1), utilizando los paquetes dplyr, ggplot2, car, rstatix, MASS, glmmTMB, DHARMa y emmeans.

Los resultados descriptivos y estadísticos se organizaron en tablas, mientras que las diferencias espaciales se representaron mediante diagramas de caja, gráficos de densidad media con errores estándar y gráficos de variación sectorial.

4. Resultados

4.1. Variación espacial de la densidad poblacional de *Phorcus turbinatus*

La densidad poblacional de *Phorcus turbinatus* mostró una variación espacial considerable entre las tres áreas de muestreo: Grosa_3 y Grosa_8, situadas en Isla Grosa, y Calblanque_1. Las mayores densidades medias se registraron en Calblanque_1 y Grosa_3, con valores aproximados de 16 y 15 ind. m^{-2}, respectivamente, mientras que Grosa_8 presentó una densidad inferior, próxima a 8 ind. m^{-2} (Fig. 2).

La distribución de las densidades individuales reveló diferencias importantes en la variabilidad de las poblaciones. Grosa_3 presentó la mayor dispersión, con valores comprendidos entre densidades prácticamente nulas y un máximo cercano a 90 ind. m^{-2}.

La distribución mostró una marcada asimetría positiva, asociada a la presencia de algunos cuadrados con densidades considerablemente superiores a las del resto de las observaciones. Esta heterogeneidad se reflejó en un error estándar relativamente elevado.

Por el contrario, Grosa_8 presentó densidades más homogéneas, con la mayoría de los registros inferiores a 15 ind. m^{-2} y una dispersión considerablemente menor que la observada en Grosa_3. Calblanque_1 mostró valores intermedios de variabilidad, con densidades concentradas principalmente entre 5 y 35 ind. m^{-2}.

Aunque Grosa_3 y Calblanque_1 presentaron densidades medias semejantes, sus distribuciones fueron diferentes. En Grosa_3, la media estuvo influida por la presencia de algunos cuadrados con abundancias excepcionalmente elevadas, mientras que en

Calblanque_1 las densidades se distribuyeron de manera más uniforme. Por tanto, las diferencias espaciales entre áreas no se limitaron a cambios en la densidad media, sino que también afectaron a la variabilidad y distribución de los individuos.

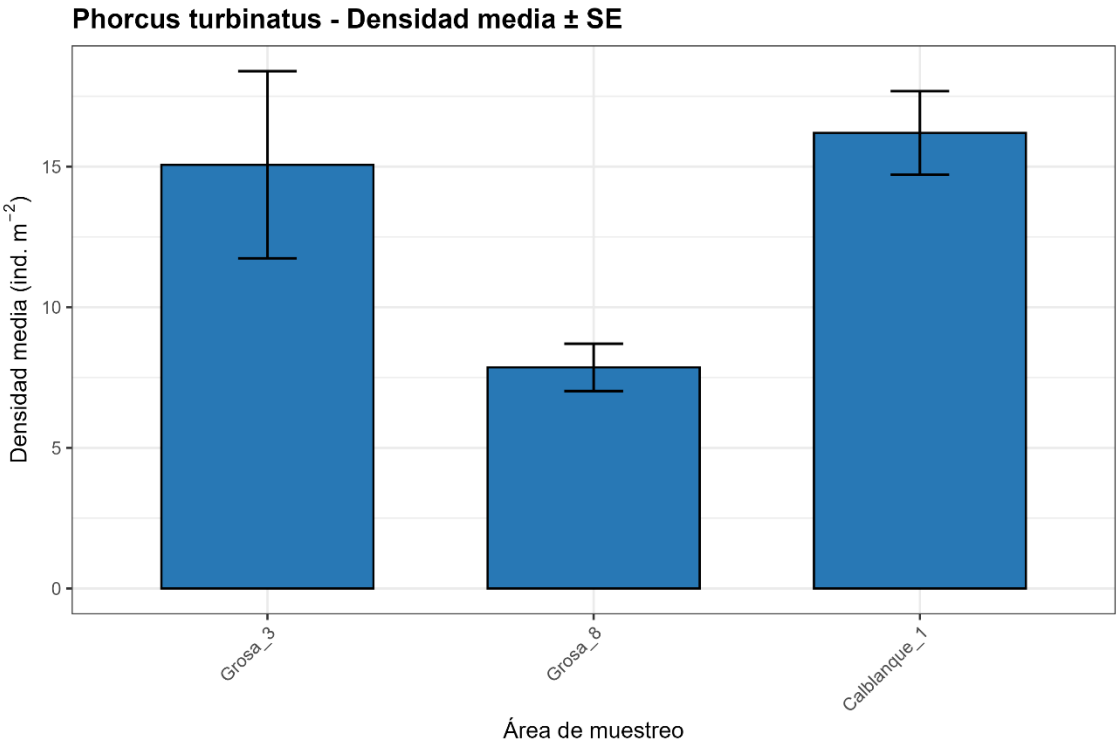


Figura 2. Variación espacial de la densidad poblacional de *Phorcus turbinatus* en las áreas Grosa_3 y Grosa_8 de Isla Grosa y Calblanque_1. (A) Distribución de las densidades individuales (ind. m^{-2}) mediante diagramas de caja. La línea horizontal representa la mediana, los límites de las cajas corresponden al intervalo intercuartílico y los puntos indican los valores registrados en cada cuadrado de muestreo.

4.2. Heterogeneidad espacial de las densidades entre sectores

El análisis de la distribución de las densidades entre los diez sectores de cada área evidenció diferencias importantes en la heterogeneidad espacial de las poblaciones (Fig.3).

En Grosa_3 se registró la mayor variabilidad entre sectores, con densidades medias comprendidas aproximadamente entre 2 y 50 ind. m^{-2}. El sector 7 destacó por presentar la densidad más elevada del conjunto de sectores estudiados, próxima a 50 ind. m^{-2}, acompañada de una elevada variabilidad entre cuadrados. Los sectores 4, 5 y 8 también presentaron densidades relativamente altas, mientras que los sectores 2, 3 y 9 registraron valores considerablemente inferiores. Este patrón indica una distribución espacial heterogénea, caracterizada por la existencia de sectores con concentraciones elevadas de individuos.

En Grosa_8, las densidades sectoriales fueron generalmente inferiores a las de Grosa_3 y mostraron una distribución más homogénea. La mayoría de los sectores presentó densidades medias comprendidas entre 5 y 13 ind. m^{-2}, con diferencias relativamente reducidas entre sectores. El sector 10 registró la menor densidad, próxima a 1 ind. m^{-2}, mientras que los sectores 2 y 6 mostraron los valores más elevados.

En Calblanque_1, las densidades se distribuyeron de manera relativamente uniforme entre los sectores, con valores medios comprendidos aproximadamente entre 11 y 23 ind. m^{-2}. Los sectores 2, 3 y 10 presentaron las mayores densidades, mientras que los sectores 1, 6 y 8 mostraron valores inferiores. A diferencia de Grosa_3, no se observaron sectores con densidades excepcionalmente elevadas respecto al conjunto del área.

En consecuencia, Grosa_3 presentó una marcada heterogeneidad espacial, mientras que Grosa_8 y Calblanque_1 mostraron distribuciones sectoriales más regulares. Estas diferencias indican que la organización espacial de las poblaciones varió entre áreas, incluso cuando sus densidades medias fueron similares.

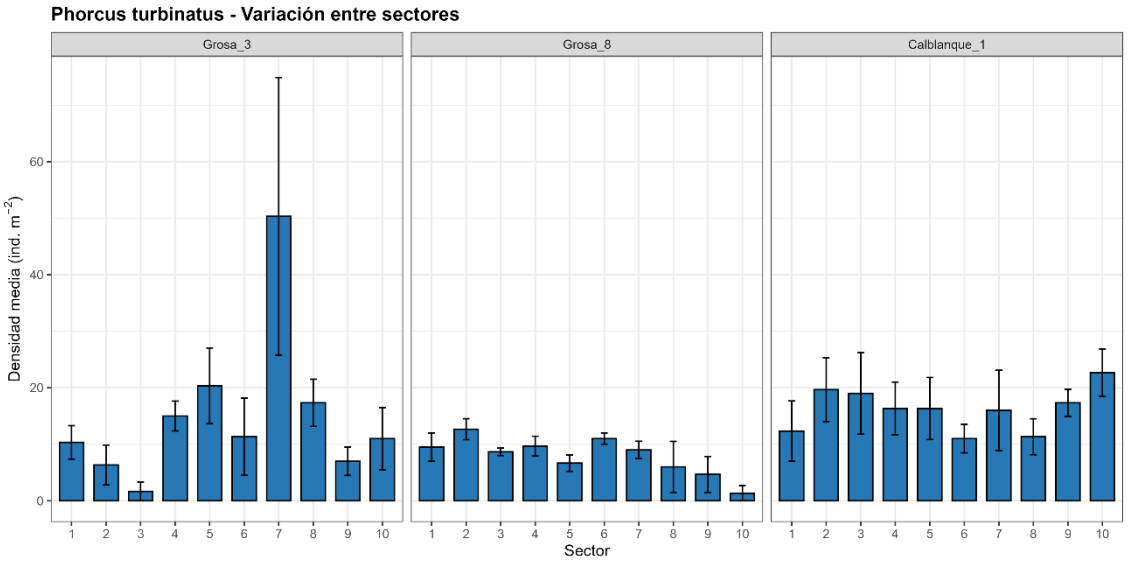


Figura 3. Variación de la densidad poblacional de *Phorcus turbinatus* entre los diez sectores de muestreo de Grosa_3, Grosa_8 y Calblanque_1. Las barras representan la densidad media (ind. m^{-2}) y las líneas verticales indican el error estándar (SE) calculado a partir de los cuadrados de cada sector.

4.3. Variación de la densidad según la categoría de protección

La distribución de las densidades de *P. turbinatus* mostró diferencias descriptivas entre las dos categorías de protección consideradas: protección total, correspondiente a Isla Grosa, y protección con acceso público, representada por Calblanque (Fig.4).

La categoría de protección con acceso público presentó una mediana próxima a 15 ind. m^{-2}, con la mayoría de los registros concentrados entre aproximadamente 8 y 22 ind. m^{-2}. La distribución mostró una variabilidad moderada, con valores máximos próximos a 35 ind. m^{-2}.

Por el contrario, la categoría de protección total presentó una mediana inferior, próxima a 9 ind. m^{-2}, y una distribución más heterogénea. Las densidades oscilaron entre valores prácticamente nulos y un máximo cercano a 90 ind. m^{-2}. Esta elevada dispersión estuvo asociada tanto a las diferencias entre las áreas Grosa_3 y Grosa_8 como a la presencia de algunos cuadrados con densidades excepcionalmente elevadas.

La comparación descriptiva mostró que la población de Calblanque presentó densidades centrales superiores a las del conjunto de Isla Grosa en términos descriptivos. Sin embargo, las diferencias existentes entre Grosa_3 y Grosa_8 evidenciaron una variabilidad espacial importante dentro de la categoría de protección total.

En particular, Grosa_3 presentó una densidad media semejante a la de Calblanque_1, mientras que Grosa_8 mostró valores considerablemente inferiores. Por tanto, las diferencias observadas entre categorías de protección estuvieron condicionadas por la heterogeneidad espacial existente entre las áreas de muestreo.

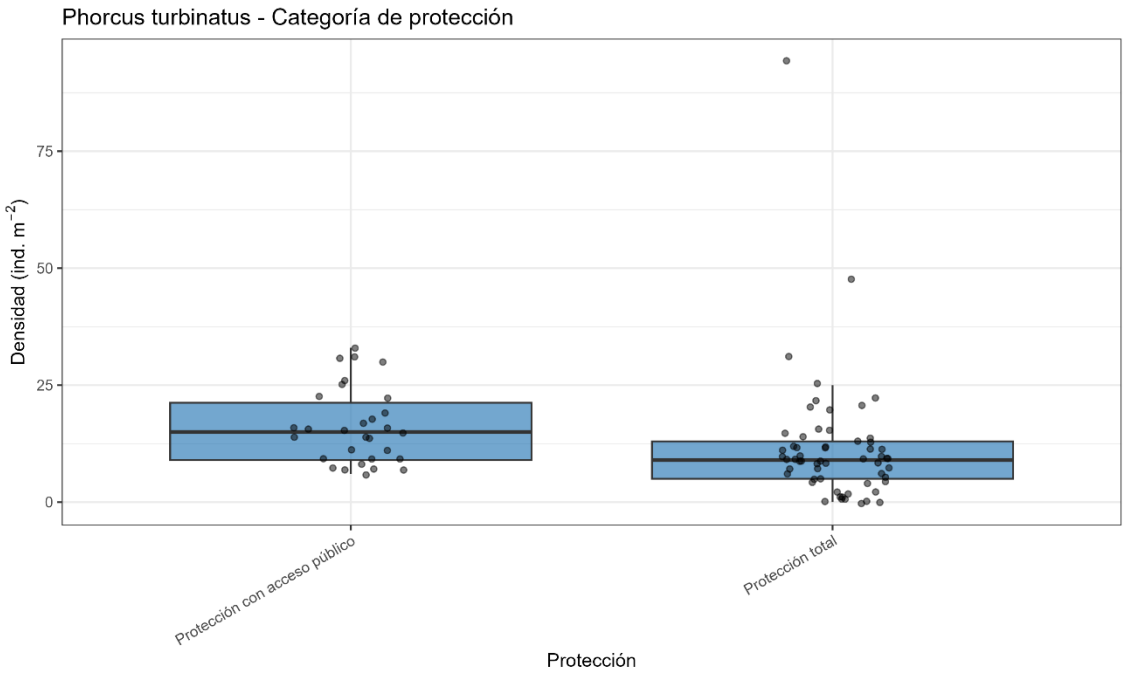


Figura 4. Distribución de las densidades poblacionales de *Phorcus turbinatus* según la categoría de protección. La protección total corresponde a Isla Grosa (Grosa_3 y Grosa_8), mientras que la protección con acceso público corresponde a Calblanque_1. Los diagramas de caja representan la mediana y el intervalo intercuartílico, y los puntos indican los valores individuales registrados en los cuadrados de muestreo.

4.4. Variabilidad espacial de la densidad poblacional

En conjunto, los resultados mostraron que la densidad poblacional de *P. turbinatus* varió tanto entre áreas como entre sectores dentro de una misma área. Calblanque_1 y Grosa_3 presentaron densidades medias relativamente elevadas y semejantes, mientras que Grosa_8 mostró valores inferiores.

Sin embargo, las diferencias más destacadas estuvieron relacionadas con la heterogeneidad espacial. Grosa_3 presentó una distribución marcadamente desigual, con sectores de elevada abundancia y otros con densidades reducidas. Por el contrario, Calblanque_1 mostró una distribución relativamente uniforme, con densidades moderadas o elevadas en la mayoría de los sectores. Grosa_8 también presentó una distribución relativamente homogénea, aunque caracterizada por densidades inferiores.

Estos patrones evidencian que la densidad media por área no describe completamente la estructura espacial de las poblaciones. La variabilidad entre sectores constituye un componente relevante de la distribución de *P. turbinatus* y permite distinguir poblaciones con densidades medias similares, pero con diferentes grados de heterogeneidad espacial.

5. Discusión y Conclusiones

5.1. Variabilidad espacial de la densidad poblacional

Los resultados de este estudio muestran una considerable variabilidad espacial en la densidad poblacional de *P. turbinatus* en el litoral mediterráneo del sureste ibérico. Las mayores densidades medias se registraron en Calblanque_1 y Grosa_3, mientras que Grosa_8 presentó valores inferiores. Sin embargo, las diferencias más destacadas no estuvieron relacionadas únicamente con la abundancia media, sino también con la distribución espacial de los individuos, que mostró patrones claramente diferentes entre las áreas estudiadas.

La similitud de las densidades medias entre Calblanque_1 y Grosa_3 contrasta con sus diferencias en la variabilidad espacial. Mientras que Calblanque_1 presentó una distribución relativamente homogénea, Grosa_3 mostró una marcada heterogeneidad, caracterizada por sectores con densidades muy elevadas y otros con abundancias reducidas. Por su parte, Grosa_8 presentó densidades generalmente inferiores, pero distribuidas de manera más uniforme. Esto concuerda con la idea general de que la abundancia de los organismos del intermareal rocoso varía a múltiples escalas espaciales, incluida la de decenas de metros a la que se muestreó (Underwood y Chapman, 1996; Benedetti-Cecchi, 2001; Fraschetti et al.,2005), lo que pone de manifiesto la importancia de considerar la variabilidad a pequeña escala en los estudios poblacionales de organismos intermareales.

La distribución heterogénea observada en Grosa_3 podría estar relacionada con la disponibilidad de microhábitats favorables, las características del sustrato rocoso o las diferencias locales en la exposición al oleaje. En los ambientes intermareales, pequeñas variaciones en la pendiente, rugosidad y orientación del sustrato pueden modificar las condiciones de humedad, temperatura y exposición durante la emersión, influyendo potencialmente en la distribución de los organismos.
Asimismo, la existencia de grietas, depresiones y otras irregularidades del sustrato podría favorecer la concentración de individuos en determinados sectores. No obstante, estas

interpretaciones deben considerarse hipótesis, ya que las características físicas del hábitat no fueron cuantificadas en este estudio.

5.2. Heterogeneidad espacial y distribución de los individuos

La concentración de individuos en sectores concretos es un patrón de distribución agregada, frecuente en especies de movilidad limitada (Begon et al., 1996). Entre los factores que podrían explicarla destacan la disponibilidad de microhábitats (grietas, depresiones, rugosidad y orientación del sustrato), que modifican la humedad y la temperatura durante la emersión (Raffaelli y Hawkins, 1999; Little y Kitching, 1996), así como la variabilidad espacial del reclutamiento y de la supervivencia (Underwood, 1979; Crothers, 2012). Los gasterópodos del género *Phorcus* se alimentan de biopelículas de la roca y son activos principalmente durante la bajamar (Crothers, 2012), por lo que la distribución del sustrato y de las condiciones de emersión podría influir en dónde se concentran. Estas interpretaciones son hipótesis: las características del hábitat no se cuantificaron en este estudio.

En contraste, la distribución más homogénea registrada en Calblanque_1 podría indicar una mayor continuidad de las condiciones favorables a lo largo del área muestreada. Del mismo modo, la menor variabilidad observada en Grosa_8 sugiere una distribución relativamente regular, aunque con densidades inferiores. Sin embargo, la homogeneidad espacial no implica necesariamente una mayor calidad del hábitat, ya que puede presentarse tanto en poblaciones abundantes como en poblaciones de baja densidad.

Estas diferencias ponen de manifiesto las limitaciones de utilizar exclusivamente la densidad media para caracterizar el estado de las poblaciones. En particular, la presencia de sectores con abundancias excepcionalmente elevadas puede incrementar considerablemente la media de un área sin representar necesariamente las condiciones predominantes en el conjunto del hábitat. Por ello, la incorporación de medidas de dispersión y de análisis a diferentes escalas espaciales proporciona una descripción más completa de la organización de las poblaciones.

5.3. Influencia potencial del régimen de protección

La comparación entre localidades sometidas a diferentes regímenes de protección no mostró un patrón descriptivo consistente con una relación positiva entre el nivel de restricción del acceso humano y la densidad poblacional de *P. turbinatus*. Calblanque, un

espacio natural protegido con acceso público, presentó una densidad media semejante a la de Grosa_3 y superior a la registrada en Grosa_8, ambas situadas en Isla Grosa, donde el acceso se encuentra estrictamente restringido.

Este resultado sugiere que la protección estricta no se traduce necesariamente en mayores densidades en todas las áreas de una localidad. Sin embargo, esta observación no debe interpretarse como una ausencia de efectos positivos de la protección. Las diferencias entre localidades pueden estar condicionadas por factores ambientales, características del hábitat y procesos demográficos que actúan independientemente de las restricciones de acceso.

Además, el diseño de muestreo presenta una limitación importante para evaluar el efecto de la protección. Las dos áreas de Isla Grosa pertenecen a una misma localidad y comparten el mismo régimen de protección, mientras que Calblanque representa una única localidad con acceso público. Por tanto, el efecto de la protección está confundido con el efecto de la localidad, lo que impide atribuir causalmente las diferencias observadas al régimen de protección.

La variabilidad registrada entre Grosa_3 y Grosa_8 resulta especialmente relevante en este contexto. Ambas áreas están sometidas al mismo régimen de protección, pero presentan diferencias considerables en densidad y distribución espacial. Esto indica que factores locales distintos de la protección pueden desempeñar un papel importante en la estructura de las poblaciones.

En consecuencia, los resultados destacan la necesidad de considerar la heterogeneidad ambiental y espacial al interpretar las diferencias de abundancia entre áreas protegidas. La evaluación del efecto de la protección requeriría incorporar un mayor número de localidades independientes para cada categoría, así como información sobre las condiciones ambientales y la intensidad de las actividades humanas.

5.4. Implicaciones para el seguimiento y la conservación

Los resultados tienen implicaciones para el diseño de programas de seguimiento de *P. turbinatus* en el litoral mediterráneo. La elevada variabilidad espacial observada, especialmente en Grosa_3, demuestra que las estimaciones de densidad pueden depender considerablemente de la localización de los sectores de muestreo.

Por ello, los programas de seguimiento deberían incluir un número suficiente de sectores distribuidos a lo largo de cada área, evitando que las estimaciones poblacionales estén

condicionadas por sectores con abundancias excepcionalmente elevadas o reducidas. Asimismo, resulta conveniente mantener una estructura jerárquica de muestreo que permita diferenciar la variabilidad entre localidades, áreas y sectores.

La identificación de sectores con densidades elevadas puede resultar útil para orientar futuras investigaciones sobre las características ambientales asociadas a la distribución de la especie. No obstante, estas concentraciones no deben interpretarse directamente como indicadores de mayor calidad del hábitat o de mayor éxito reproductivo sin disponer de información adicional sobre la estructura de tamaños, el reclutamiento y la supervivencia.

Desde una perspectiva de conservación, los resultados sugieren que la evaluación de las poblaciones de *P. turbinatus* no debería basarse exclusivamente en la comparación de densidades medias entre espacios protegidos. La incorporación de información sobre la distribución espacial y la estructura demográfica permitiría detectar cambios poblacionales que podrían pasar inadvertidos mediante indicadores de abundancia agregados.
En particular, el seguimiento temporal de sectores con diferentes densidades permitiría determinar si las concentraciones locales observadas constituyen patrones espaciales persistentes o responden a fluctuaciones temporales del reclutamiento y la supervivencia.

5.5. Limitaciones del estudio y perspectivas futuras

La principal limitación del estudio es la ausencia de replicación independiente de las categorías de protección, que impide separar sus posibles efectos de las diferencias ambientales entre localidades. Asimismo, el análisis se basa en una caracterización espacial de las densidades y no permite establecer si los patrones observados se mantienen a lo largo del tiempo.

Otra limitación es la ausencia de información cuantitativa sobre las características del hábitat, especialmente la rugosidad del sustrato, la disponibilidad de refugios y la exposición al oleaje. Estas variables podrían contribuir a explicar la heterogeneidad espacial observada, particularmente en Grosa_3.

Futuros estudios deberían incorporar estas características ambientales y realizar muestreos repetidos en el tiempo. También sería conveniente analizar la distribución de tamaños de los individuos, lo que permitiría distinguir entre áreas caracterizadas por una elevada presencia de juveniles y aquellas dominadas por ejemplares adultos.

La combinación de densidad, estructura de tamaños y características del hábitat proporcionaría una aproximación más completa al estado de conservación de las

poblaciones y permitiría evaluar con mayor precisión la contribución relativa de los factores ambientales y antrópicos.

5.6. Conclusiones

Las poblaciones de *P. turbinatus* estudiadas mostraron diferencias importantes tanto en densidad como en heterogeneidad espacial. Calblanque_1 y Grosa_3 presentaron densidades medias semejantes, pero patrones de distribución diferentes, mientras que Grosa_8 mostró densidades inferiores y una distribución relativamente homogénea.

Las diferencias registradas entre las dos áreas de Isla Grosa, sometidas al mismo régimen de protección, ponen de manifiesto la importancia de los factores locales en la organización espacial de las poblaciones. Por tanto, los resultados no permiten establecer una relación causal entre el nivel de protección y la densidad poblacional.

En conjunto, el estudio destaca la necesidad de incorporar la variabilidad espacial a pequeña escala en la evaluación y seguimiento de las poblaciones intermareales de *P. turbinatus*, complementando las estimaciones de densidad media con información sobre su distribución entre sectores y las características del hábitat.

6. Bibliografía

Begon, M., Harper, J. L., & Townsend, C. R. (1996). *Ecology: Individuals, populations and communities* (2.ª ed.). Blackwell Scientific Publications.

Benedetti-Cecchi, L. (2001). Variability in abundance of algae and invertebrates at different spatial scales on rocky sea shores. *Marine Ecology Progress Series, 215*, 79–92. https://doi.org/10.3354/meps215079

Crothers, J. H. (1998). A hot summer, cold winters, and the geographical limit of *Trochocochlea lineata* in Somerset. *Hydrobiologia, 378*, 133–141.

Crothers, J. H. (2001). Common topshells: An introduction to the biology of *Osilinus lineatus* with notes on other species in the genus. *Field Studies, 10*, 115–160.

Crothers, J. H. (2012). *Snails on rocky sea shores*. Pelagic Publishing.

Donald, K. M., Preston, J., Williams, S. T., Reid, D. G., Winter, D., Alvarez, R., Buge, B., Hawkins, S. J., Templado, J., & Spencer, H. G. (2012). Phylogenetic relationships elucidate colonization patterns in the intertidal grazers *Osilinus* Philippi, 1847 and *Phorcus* Risso, 1826 (Gastropoda: Trochidae) in the northeastern Atlantic Ocean and Mediterranean Sea. *Molecular Phylogenetics and Evolution, 62*(1), 35–45. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.09.002

Espinosa, F., Rivera-Ingraham, G. A., Fa, D., & García-Gómez, J. C. (2009). Effect of human pressure on population size structures of the endangered ferruginean limpet: Toward future management measures. *Journal of Coastal Research, 25*(4), 857–863. https://doi.org/10.2112/08-1005.1

Espinosa, F., Rivera-Ingraham, G. A., Maestre, M., González, A. R., Bazairi, H., & García-Gómez, J. C. (2014). Updated global distribution of the threatened marine limpet *Patella ferruginea*

(Gastropoda: Patellidae): An example of biodiversity loss in the Mediterranean. *Oryx, 48*(2), 266–275. https://doi.org/10.1017/S0030605312000580

Fenberg, P. B., & Roy, K. (2008). Ecological and evolutionary consequences of size-selective harvesting: How much do we know? *Molecular Ecology, 17*(1), 209–220. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03522.x

Fraschetti, S., Terlizzi, A., & Benedetti-Cecchi, L. (2005). Patterns of distribution of marine assemblages from rocky shores: Evidence of relevant scales of variation. *Marine Ecology Progress Series, 296*, 13–29. https://doi.org/10.3354/meps296013

Henriques, P., Delgado, J., & Sousa, R. (2017). Patellid limpets: An overview of the biology and conservation of keystone species of the rocky shores. En S. Ray (Ed.), *Organismal and molecular malacology* (pp. 71–95). InTech. https://doi.org/10.5772/67862

Küçükdermenci, A., Lök, A., Serdar, S., Acarlı, S., Kırtık, A., & Hamzaçebi, S. (2025). Reproductive pattern of the *Phorcus turbinatus* (Born, 1778) on littoral zones in Aegean Sea. *Aquaculture International, 33*(1). https://doi.org/10.1007/s10499-024-01718-7

Little, C., & Kitching, J. A. (1996). *The biology of rocky shores*. Oxford University Press.

Patarnello, T., Volckaert, F. A. M. J., & Castilho, R. (2007). Pillars of Hercules: Is the Atlantic–Mediterranean transition a phylogeographical break? *Molecular Ecology, 16*, 4426–4444. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03477.x

Raffaelli, D., & Hawkins, S. (1999). *Intertidal ecology* (2.ª ed.). Kluwer Academic Publishers.

Ramírez, R., Tuya, F., Sánchez-Jerez, P., Fernández-Gil, C., Bergasa, O., Haroun, R. J., & Hernández-Brito, J. J. (2005). Population structure and spatial distribution of the gastropod molluscs *Osilinus atrata* and *Osilinus sauciatus* in the rocky intertidal zone of the Canary Islands (Central East Atlantic). *Ciencias Marinas, 31*(4), 697–706. https://doi.org/10.7773/cm.v31i4.35

Schifano, G. (1983). Allometric growth as influenced by environmental temperature in *Monodonta turbinata* shells. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 44*, 215–222. https://doi.org/10.1016/0031-0182(83)90104-9

Stearns, S. C. (1992). *The evolution of life histories*. Oxford University Press.

Sousa, R., Delgado, J., González, J. A., Freitas, M., & Henriques, P. (2017). Marine snails of the genus *Phorcus*: Biology and ecology of sentinel species for human impacts on the rocky shores. In S. Ray (Ed.), *Biological resources of water*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.71614

Sousa, R., Vasconcelos, J., & Riera, R. (2020). Unravelling the effects of exploitation on the size–structure of the intertidal topshell *Phorcus sauciatus* in harvested and non-harvested Atlantic regions. *Regional Studies in Marine Science, 38*, Article 101387. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101387

Sousa, R., Vasconcelos, J., Riera, R., Delgado, J., González, J. A., Freitas, M., & Henriques, P. (2019). Disentangling exploitation of the intertidal grazer *Phorcus sauciatus* (Gastropoda: Trochidae)

in an oceanic archipelago: Implications for conservation. *Marine Ecology, 40*(2), Article e12540. https://doi.org/10.1111/maec.12540

Thompson, R. C., Crowe, T. P., & Hawkins, S. J. (2002). Rocky intertidal communities: Past environmental changes, present status and predictions for the next 25 years. *Environmental Conservation, 29*(2), 168–191. https://doi.org/10.1017/S0376892902000115

Underwood, A. J. (1979). The biology of gastropods. *Advances in Marine Biology, 16*, 111–210.

Underwood, A. J., & Chapman, M. G. (1996). Scales of spatial patterns of distribution of intertidal invertebrates. *Oecologia, 107*(2), 212–224. https://doi.org/10.1007/BF00327905

CONAMA 2026