

Caracterización ambiental de las zonas de pesca de artes de tiro en Pitiüses



Xisco Sobrado
GEN-GOB Àrea Marina

© GEN-GOB – 2022

Coordinación del informe

Grup d'Estudis de la Naturalesa – Grup Ornitològic Balear (GEN-GOB)

Carrer Músic Fermí Marí 34 - Cas Serres

07800 Eivissa (Eivissa)

lamar.gengob.org

Twitter: @laMarGEN2013

Facebook: La mar, una responsabilitat compartida

Instagram: @lamar.gengob

Youtube: La Mar, una responsabilitat compartida GEN-GOB

Autor del informe

Francisco Sobrado Llompart (GEN-GOB)

Col·laboradors tècnics

Balma Albalat Oliver (GEN-GOB)

Francisco Ruiz Ramírez (GALEF)

Amanda Cohen-Sánchez

Fotografies

GEN-GOB

Cita recomanada

Sobrado, F., Albalat, B., Ruiz, F. & Cohen, S. 2022. Caracterización ambiental de las zonas de pesca de artes de tiro en Pitiüses. GEN-GOB.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
1.2. Antecedentes	3
1.3. Posidonia oceanica	3
1.3.1. Biología	3
1.3.2. Servicios ecosistémicos	3
1.4. Objetivos	6
2. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS PRADERAS DE <i>Posidonia oceanica</i>	6
2.3. Zonas de estudio	6
2.3.3. Malvins	6
2.3.4. Cala Boix	7
2.3.5. Tagomago	8
2.3.6. Tagomago – Control	9
2.3.7. Cala Saona	10
2.4. Caracterización de las praderas de Posidonia oceanica	11
3. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS BANCOS DE ARENA	17
3.1. Zonas de estudio	17
3.1.1. Cala Xarraca	17
3.1.2. Cala Tarida	18
3.1.3. Es Jondal	19
3.1.4. Cala Saona	20
3.2. Caracterización granulometría de los bancos de arena	20
4. RESULTADOS	21
4. CONCLUSIONES	30
5. REFERENCIAS	32
ANEXO I. Caracterització ambiental de les zones de pesca d'arts de tir a Pitiüses. Avaluació de l'estat de les praderies de posidònia per mitjà de biomarcadors	34

1. INTRODUCCIÓN

1.2. Antecedentes

La pesca del gerret (*Spicara smaris*) se realiza con un arte de pesca de tiro denominado artet o bolitx. La red mide hasta 300 metros y se cala en fondos mixtos de posidonia y arena, sin pendiente, hasta un máximo de 30 metros de profundidad. Este tipo de pesca opera en caladeros fijos. Debido a la importancia de esta pesca en las Pitiusas, y la fragilidad de los hábitats que opera, es necesario tener información actualizada del estado ambiental de los ecosistemas de los que depende la pesquería.

1.3. Posidonia oceanica

1.3.1. Biología

Posidonia oceanica es una planta superior o angiosperma marina endémica del Mediterráneo. Al igual que las plantas terrestres, posee hojas, tallo, raíces y frutos. A nivel morfológico la pradera se puede dividir en estrato foliar y mata. El estrato foliar está formado por los haces de las hojas, que crecen de manera estolonar a partir de los rizomas. Las hojas son caducifolias, presentan un color verde intenso y pueden llegar a medir más de un metro de longitud. La mata es la parte enterrada o basal de la pradera, y está formada por los rizomas (los ortótropos —verticales— proporcionan el crecimiento en altura de la pradera y los plagiotropos —horizontales— el crecimiento en extensión), las raíces y el biotopo que generan a su alrededor.

1.3.2. Servicios ecosistémicos

Posidonia oceanica es una especie clave en los ecosistemas sumergidos del Mediterráneo ya que provee un gran número de servicios ecosistémicos que mencionamos a continuación.

- **Hábitat y sustrato para otras especies:** debido a su arquitectura tridimensional y a su elevadísima productividad, las praderas generan una gran cantidad de microhábitats y recursos, conformando “hotspots” o puntos calientes de alta concentración de biodiversidad marina. Pueden albergar más de 700 especies diferentes pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos como algas, hidrozoos, poríferos, briozoos, anfípodos, decápodos, moluscos, etc. La pradera renueva sus hojas durante el otoño, estas hojas muertas se acumulan en las playas favoreciendo la exportación de materia orgánica de los ecosistemas sumergidos a los emergidos, aumentando de este modo la biodiversidad de las playas (Terrados y Borum, 2004; Beltrán et al., 2020).
- **Oxigenación de las aguas:** al ser una planta marina produce oxígeno al realizar la fotosíntesis. Esta producción de oxígeno no solo se debe a la planta, sino también a la comunidad de algas epifitas que crecen sobre ella.

Las praderas de posidonia tienen una gran producción primaria, lo que determina que su producción de oxígeno sea también muy elevada. Duarte et al. (2000) estimaron en Córcega que una pradera situada a 10 metros de profundidad producía 14 litros de oxígeno por metro cuadrado y día.

- **Captación de carbono:** las praderas de fanerógamas marinas capturan grandes cantidades de CO₂ de la columna de agua, entre el 10 y el 15% de todo el carbono enterrado globalmente por los océanos, funcionando como importantes sumideros que mitigan los efectos del cambio climático (Duarte et al., 2005).
- **Transparencia de las aguas:** mediante la acción de las hojas y los rizomas las praderas fijan el sedimento en suspensión existente en la columna de agua, absorben nutrientes controlando la proliferación de fitoplancton, y estabilizan el sedimento de fondos arenosos evitando su resuspensión, favoreciendo de este modo la transparencia de las aguas (Ruiz et al., 2015).
- **Protegen la línea de costa:** estabilizan la línea de costa frente al oleaje gracias a las acumulaciones de hojas muertas que se depositan en la playa y protegen los reservorios de arena (Jeudy de Grissac et al., 1985). Las praderas de *Posidonia oceanica* amortiguan la fuerza de las olas, reducen su altura y su velocidad (Koch et al., 2006); disipan la energía de las olas, evitando que actúen sobre los sedimentos, impidiendo su resuspensión y erosión (Hendriks et al., 2008 y 2010). Los rizomas de *Posidonia oceanica* fijan el sedimento, dando lugar a estructuras como la mata o el arrecife-barrera, que amortiguan la acción de las olas.
- **Producción de arena:** en las hojas de la pradera viven una gran cantidad de organismos calcáreos. Estos organismos, al desprenderse las hojas de la pradera son arrastrados a la orilla, donde se descomponen y forman la arena de las playas (Duarte et al., 2000). Se calcula que las praderas de *Posidonia oceanica* producen al año entre 60 y 70 gramos de arena por metro cuadrado (Canals y Ballesteros, 1997).
- **Producción pesquera:** las praderas de posidonia son el lugar de reproducción, cría y alevinaje de especies de interés pesquero como *Scorpaena spp.*, *Sepia officinalis*, *Spicara spp.* y *Symphodus ocellatus*, entre otras (Boudouresque et al., 2010).
- **Usos tradicionales:** la posidonia era conocida como “alga de vidrieros”, porqué uno de sus usos era utilizarla como material de relleno en las cajas cuando se transportaban materiales frágiles. En la antigüedad se utilizaba también como lecho para el ganado, para abono en agricultura y como material de construcción en los tejados de las casas payesas.

- **Indicadores de salud ambiental:** las praderas son auténticos centinelas marinos, nos informan de los cambios en los ecosistemas gracias a su alta sensibilidad a las alteraciones y a su capacidad bioacumuladora.

1.3.3. Legislación ambiental

Legislación ambiental vigente para la protección de *Posidonia oceanica*.

- Internacional

- **Convenio de Barcelona**, celebrado en el año 1975, por el cual 16 países del Mediterráneo y la UE adoptan un plan de acción para proteger la cuenca del Mediterráneo amparados por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), que incorpora a *Posidonia oceanica* en el Anexo II (Lista de especies amenazadas o vulnerables).
- **Convención de Berna**, celebrada en 1979 pero puesta en vigor en 1982, y ratificada por España en 1986, que incluye *Posidonia oceanica* en el Anexo I como especie de flora estrictamente protegida.

- Europea

- **Directiva Hábitats de la Unión Europea (Directiva 92/43 CEE de 21/05/1992)**, que incluye a las praderas de *Posidonia oceanica* en su Anexo I (hábitat 1120) como hábitat prioritario a conservar en la UE. Esta directiva crea la Red Natura 2000 que establece Zonas de Especial Conservación (ZEC), muchos de los cuales albergan praderas de *Posidonia oceanica*.
- **Reglamento (CE) Nº1967/2006 del 21 de diciembre de 2006**, que establece medidas de gestión para la explotación sostenible de los recursos pesqueros en el Mediterráneo. Este reglamento, en su artículo 4 prohíbe explícitamente la pesca de arrastre, las dragas, artes de trampa, artes de cerco, sobre fondo con vegetación marina, particularmente *Posidonia oceanica* u otras fanerógamas marinas.

- Estatal

- **Ley 42/2007 del 13 de diciembre del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad**, que incorpora la Directiva Aves (2009/147/CE) y la Directiva Hábitats (92/43/CEE), que incluye las praderas de *Posidonia oceanica* como hábitat natural de interés prioritario (1120).
- **Real Decreto 139/2011 de 4 de febrero**, que desarrolla la Lista de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y el Catálogo Español de Especies Amenazadas, que incluye la *Posidonia oceanica* como especie silvestre en régimen de protección especial.

- Autonómica
- **Orden de la Conselleria de Agricultura y Pesca del 21 de septiembre de 1993**, que, entre otros aspectos, regula la pesca, el marisqueo y la acuicultura sobre praderas de fanerógamas marinas.
- **Ley 5/2006 del 26 de mayo**, que establece la Conservación de Espacios de Relevancia Ambiental (LECO) en el Archipiélago Balear.
- **Decreto 25/2018, del 27 de julio, sobre la conservación de la *Posidonia oceanica* en las Illes Balears**, mas conocido como Decreto Posidonia, que adapta el resto de jurisdicción mencionada al marco legal de Balears, con el objetivo de proteger *Posidonia oceanica* tanto a nivel de hábitat como de especie. Este decreto cataloga las principales praderas de *Posidonia oceanica* de Balears estableciendo dos categorías: praderas de Alto Valor y praderas a Regular.

1.4. Objetivos

La presente propuesta se realiza para avanzar en el conocimiento de la situación ambiental de las zonas de pradera de *Posidonia oceanica* donde operan las artes pesqueras tradicionales de tiro. Para ello se han estudiado en detalle las praderas de *Posidonia oceanica* de Cala Boix, Malvins, la Bahía de Tagomago, una zona control situada en la Reserva Marina de Tagomago en donde no se practica la pesca del gerret. Se ha caracterizado la granulometría de los bancos de arenas de las zonas donde operan las artes de tiro de Cala Xarraca, Cala Tarida, es Jondal y Cala Saona.

2. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS PRADERAS DE *Posidonia oceanica*.

2.3. Zonas de estudio

En los siguientes mapas podemos ver marcado con un triángulo las zonas de muestreo seleccionadas para caracterizar las praderas de *Posidonia oceanica*. El polígono gris indica el caladero donde operan las artes de tiro para la pesca del gerret (*Spicara smaris*).

2.3.3. Malvins

La zona de es Malvins está conformado por una serie de islotes (es Malví Redó, es Malví Pla y ses Xelles) incluidos en la reserva Marina de es Freus de Ibiza y Formentera. Esta zona cuenta con una pradera de posidonia muy extensa y es un lugar habitual para la práctica del buceo.

La zona se muestreó el 27/04/2021 y la profundidad media de la estación de muestreo fue de 9m.

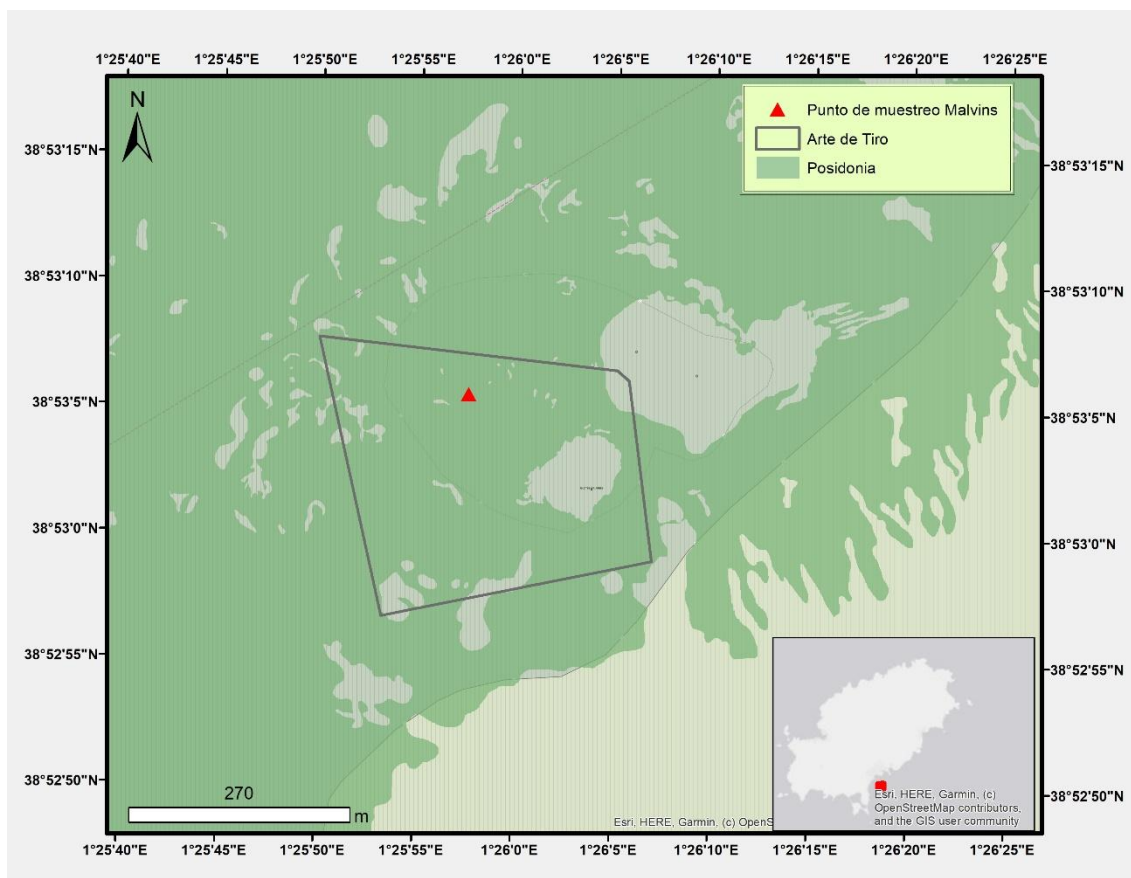


Ilustración 1. Zona de muestreo seleccionada en es Malvins. El triángulo rojo hace referencia a la zona de muestreo, el polígono gris al caladero donde operan las artes de tiro, y la capa verde representa la pradera de *Posidonia oceanica*.

2.3.4. Cala Boix

Cala Boix es una bahía semicircular constituida por una playa de arena fina de unos 160m de largo. Esta zona se encuentra incluida dentro de la Reserva Marina de la costa noreste de Ibiza – Tagomago, también se engloba dentro del espacios ZEC de la Red Natura 2000 Área marina de Tagomago (ES5310107).

La zona se muestreó el 05/06/2021 y la profundidad media de la estación de muestreo fue de 10m.

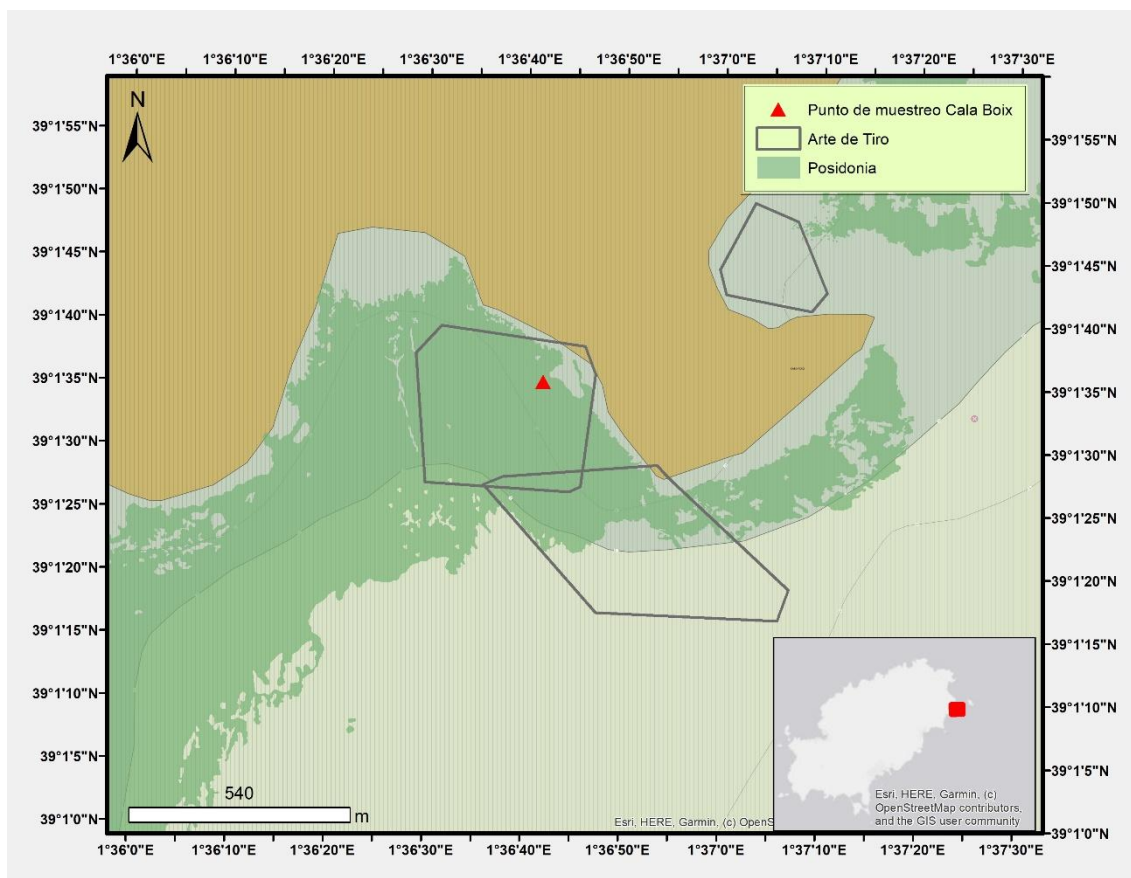


Ilustración 2. Zona de muestreo seleccionada en Cala Boix. El triángulo rojo hace referencia a la zona de muestreo, el polígono gris al caladero donde operan las artes de tiro, y la capa verde representa la pradera de *Posidonia oceanica*.

2.3.5. Tagomago

Tagomago es un islote situado en la zona nororiental de Ibiza que está incluido dentro de la Reserva Marina de la costa noreste de Ibiza – Tagomago y pertenece a los espacios ZEC/ZEPS de la Red Natura 2000 (ES0000082).

La zona se muestreó el 28/04/2021 y la profundidad media de la estación de muestreo fue de 10m.

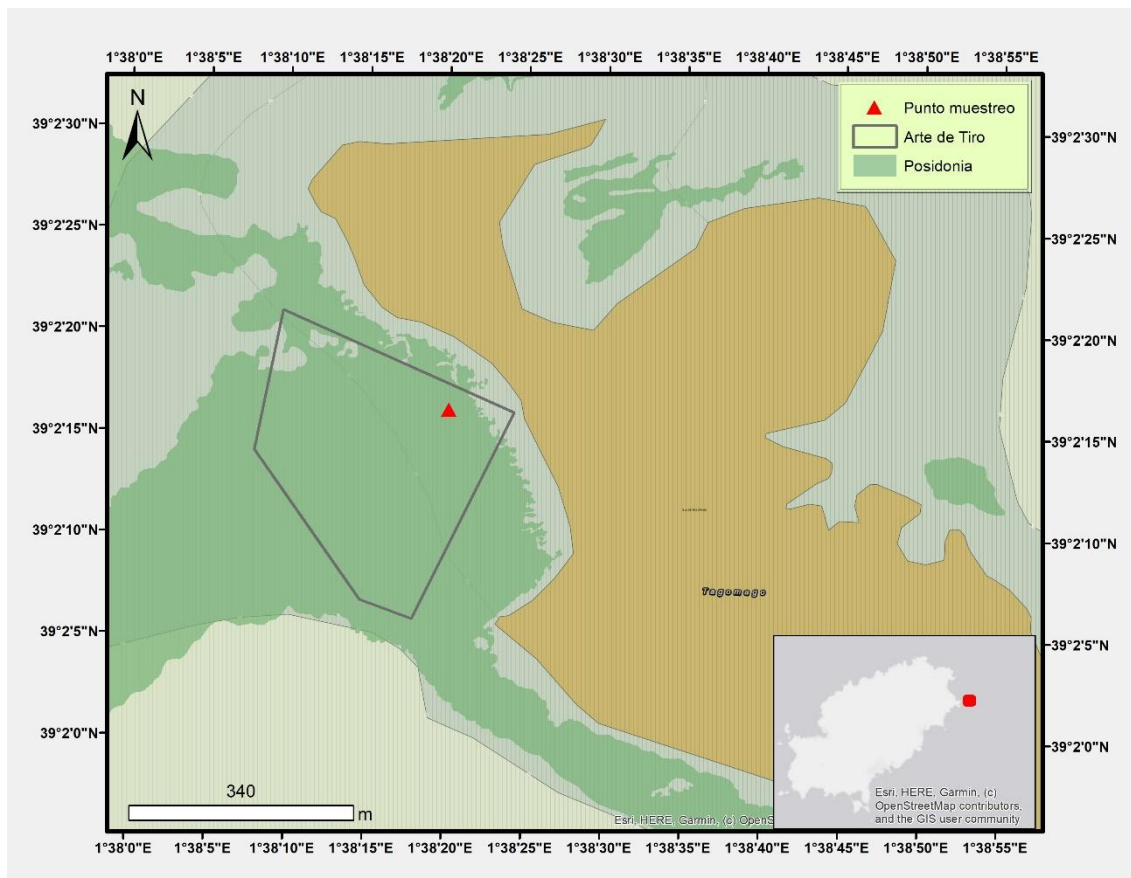


Ilustración 3. Zona de muestreo seleccionada en Tagomago. El triángulo rojo hace referencia a la zona de muestreo, el polígono gris al caladero donde operan las artes de tiro, y la capa verde representa la pradera de *Posidonia oceanica*.

2.3.6. Tagomago – Control

El sitio control se seleccionó en un punto con praderas de *Posidonia oceanica* cercana al límite de la reserva integral, donde cualquier actividad de pesca o buceo está prohibida. Este punto no constituye un caladero de artes de tiro. Esta zona está incluida dentro de la Reserva Marina de la costa noreste de Ibiza – Tagomago, también se engloba dentro del espacios ZEC de la Red Natura 2000 Área marina de Tagomago (ES5310107).

La zona se muestreó el 12/05/2021 y la profundidad media de la estación de muestreo fue de 9,5m.

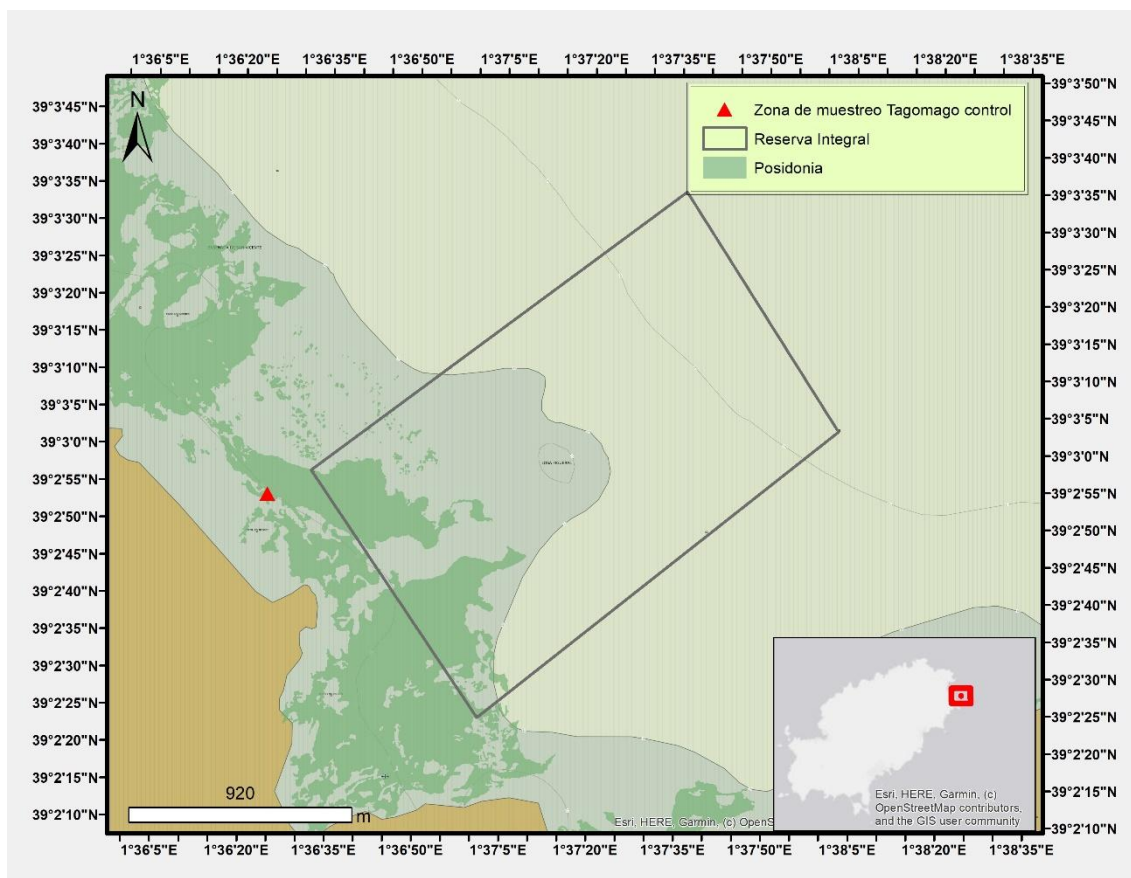


Ilustración 4. Zona de muestreo seleccionada en Tagomago-Control. El triángulo rojo hace referencia a la zona de muestreo, el polígono gris a la zona de reserva integral de la Reserva Marina de la costa noreste de Ibiza – Tagomago, y la capa verde representa la pradera de *Posidonia oceanica*.

2.3.7. Cala Saona

Cala Saona se encuentra en la costa occidental de la Isla de Formentera, está constituida por una playa de arena entre acantilados. Esta zona está incluida dentro de la Reserva Marina dels Freus d'Eivissa i Formentera. También se engloba dentro del espacios ZEC de la Red Natura 2000 ZEC Área marina de cala Saona (ES5310109).

La zona se muestreó el 09/05/2021 y la profundidad media de la estación de muestreo fue de 12m.

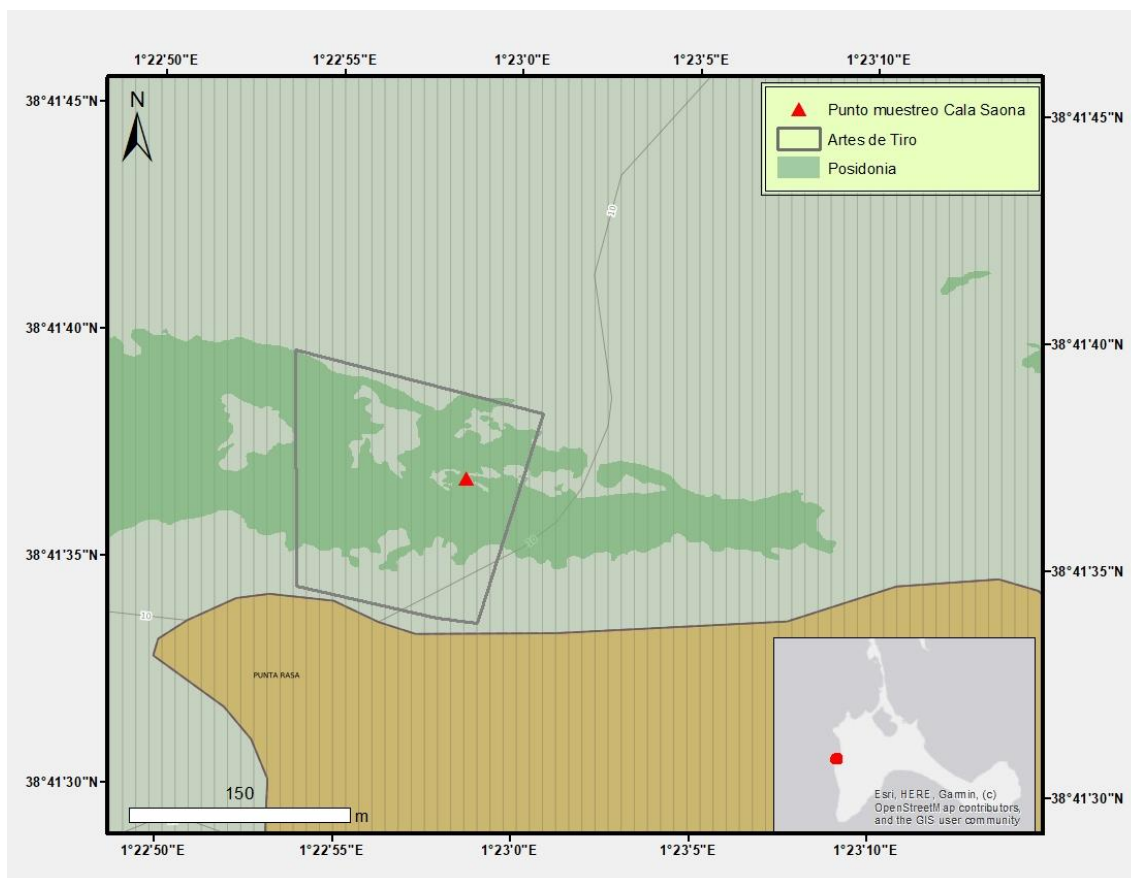


Ilustración 5. Zona de muestreo seleccionada en Cala Saona. El triángulo rojo hace referencia a la zona de muestreo, el polígono gris al caladero donde operan las artes de tiro, y la capa verde representa la pradera de *Posidonia oceanica*.

2.4. Caracterización de las praderas de *Posidonia oceanica*

En cada zona de estudio se han realizado cinco transectos lineales de 30 m de longitud. Tres de estos transectos se han realizado a partir de un punto fijo en las direcciones 0°, 120° y 240°. Los otros dos transectos al azar en las proximidades de la zona.

En cada transecto se han registrado los siguientes descriptores de la pradera de *Posidonia oceanica* según la metodología establecida por Marbà y Díaz 2009 (Cobertura lineal, microcobertura, índice de conservación, densidad máxima y densidad global) y biomarcadores propuestos por Sureda et al 2020.

2.4.3. Cobertura lineal

Este descriptor nos permite estimar el porcentaje que ocupa cada tipo de sustrato a lo largo de un transecto.

En los transectos se registra la longitud cubierta por la pradera de *Posidonia oceanica*, y la de otros sustratos y especies presentes (mata de posidonia muerta, arena, roca, *Cymodocea nodosa*, *Caulerpa prolifera*, algas invasoras, etc.) a lo largo de la cinta métrica

El valor medio de la cobertura de cada estación de seguimiento se comparó con la clasificación de referencia establecida por Montefalcone et al., (2006) que establece:

- Si el valor de cobertura es $< 65\%$ se considera pradera con cobertura baja.
- Si el valor está entre el 65% y 85% se considera pradera con cobertura media.
- Si el valor de cobertura es $> 85\%$ se considera pradera con cobertura alta.

2.4.4. Microcobertura

Este descriptor nos permite estimar el porcentaje de recubrimiento de la pradera de *Posidonia oceanica*. A lo largo de los transectos establecidos anteriormente se mide el porcentaje de recubrimiento de pradera de *Posidonia oceanica* en un cuadrado de 50x50 cm cada 2 metros, obteniéndose un total de 16 mediciones. Este cuadrado de 50*50 cm está subdividido en cuadrado de 25x25cm. Las hojas de la planta que quedan atrapadas debajo del cuadrado se liberan y se peinan hacia arriba para poder estimar mejor la cobertura de los rizomas. La cobertura se estima asignando a cada subcuadrado un valor entre 0% y 100% según la proporción de su superficie que se encuentra ocupada por haces (Ilustración 6).

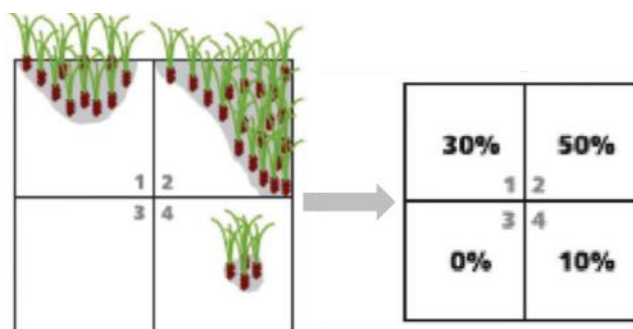


Ilustración 6. Estimaciones de la cobertura de *P. oceanica* en un cuadrado subdividido. Imagen extraída de Ruiz et al., 2006a.

2.4.5. Índice de conservación IC

Este descriptor nos permite determinar la proporción de posidonia muerta. Índice propuesto por Sánchez-Poveda et al., (1996) y, posteriormente, modificado por Moreno et al., (2001). Se basa en la comparación entre la cobertura de mata muerta y de posidonia viva. El índice de conservación de la pradera se obtiene dividiendo el porcentaje de cobertura de mata viva o pradera (P) por la suma de los porcentajes de mata muerta (MM) y mata viva o pradera (P). El cálculo del índice se realiza a partir de los datos de cobertura de pradera y mata muerta obtenido por el método de cobertura lineal.

$$IC = P / (MM + P)$$

El valor medio del índice de Conservación de cada estación de seguimiento se comparó con la clasificación de referencia establecida por Díaz y Marbà (2009) que incluye los siguientes estados:

- Favorable: el índice IC es igual o superior a 0,8.
- Desfavorable-inadecuado: el índice IC está entre 0,6 y 0,8.
- Desfavorable – malo: el índice IC es inferior a 0,6.

2.4.6. Densidad máxima de haces

Este descriptor nos permite determinar la densidad media de haces en una pradera de *Posidonia oceanica*. Para ello se cuenta el número total de haces en manchas de pradera con un 100% de cobertura, evitando en lo posible los claros con un cuadrante de 25 x 25 cm. Se coloca el cuadrante en una zona con cobertura del 100%, sujetando las hojas de los haces con el antebrazo, mientras que con la otra mano se cuentan los haces. Estos conteos se han realizado en las inmediaciones de las parcelas de seguimiento. En este descriptor hemos tenido en cuenta la densidad estimada en los conteos de los cuadrados y la densidad estimada en las parcelas de seguimiento poblacional.

Este valor medio de densidad de haces también se comparó con un estudio realizado por Álvarez et al., (2015) en donde se estudiaron praderas de *Posidonia oceanica* en las Illes Balears.

En este estudio se estimó que los valores de densidad de haces en praderas situadas a una profundidad entre 5 – 10 m oscilan entre 435.0 y 1368.7 haces/m², con una densidad media de 821,4 haces/m².

También se comparó el valor medio de densidad de haces con el indicador de la densidad máxima desarrollado por el OBSAM, a partir de una serie de datos recogidos en las praderas de *Posidonia oceanica* en la isla de Menorca durante los años 2004-2009 (Quintana et al., 2009).

Este indicador se ha construido específicamente para la isla de Menorca, pero al no existir indicadores similares para Eivissa y teniendo en cuenta la proximidad geográfica entre ambas islas lo utilizaremos como dato comparativo. Los umbrales del indicador se corresponden a diferentes curvas de densidad obtenidas a partir de datos recogidos entre el 2004 y 2009. Se establecen cuatro curvas de densidad: la de densidad óptima, la de densidad media, la curva secundaria del 25%, que representa una disminución de haces del 25% respecto a la densidad media; y la curva secundaria del 50%, que representa una disminución de haces del 50% respecto a la densidad media. Estas dos últimas curvas indican unos estados regular y deficiente, respectivamente (Quintana et al., 2009).

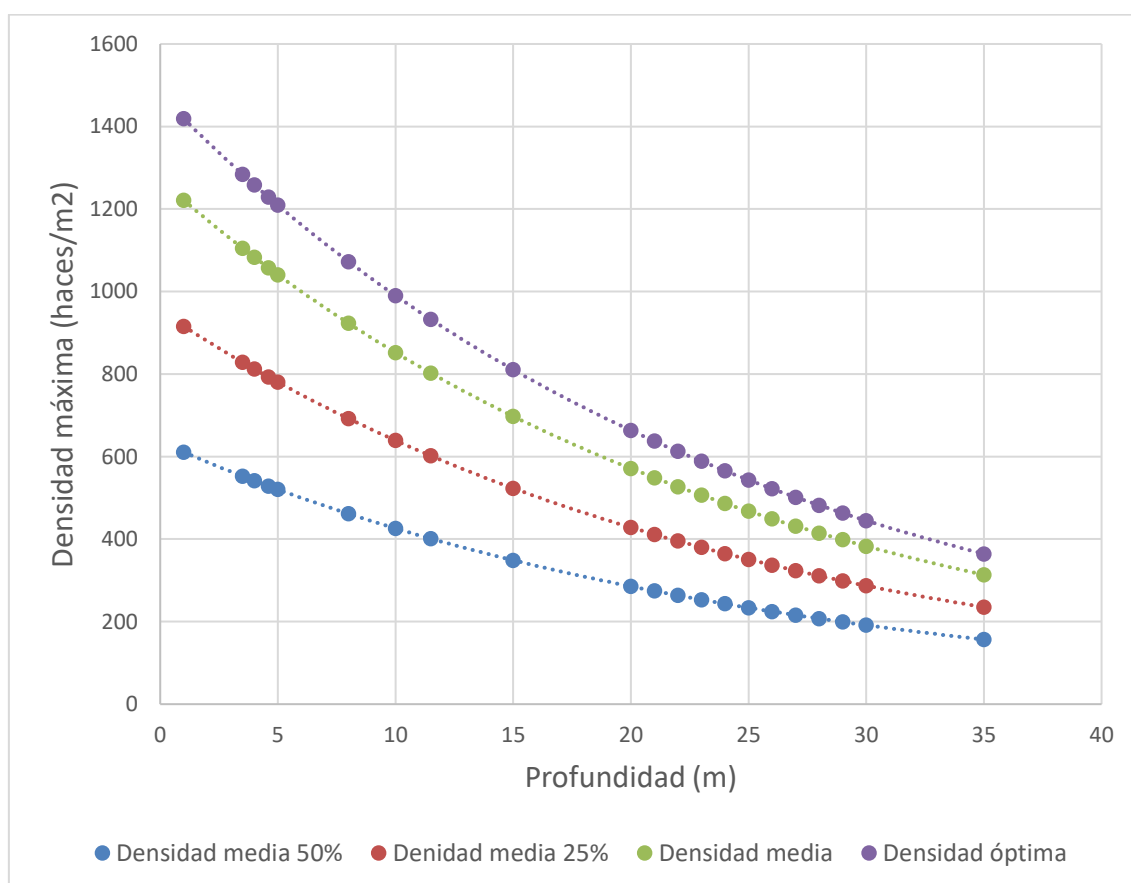


Figura 7. Indicador de la densidad máxima elaborado por el OBSAM. Relación entre la densidad máxima de haces con la profundidad. Las diferentes curvas son las funciones exponenciales de la densidad máxima óptima, la densidad máxima media, la densidad máxima media 25%, que representa una disminución de haces del 25% respecto a la densidad media; y la densidad máxima media 50%, que representa una disminución de haces del 50% respecto a la densidad media. Fuente: Quintana et al. (2009).

2.4.7. Densidad global

Este descriptor nos permite corregir los valores de densidad máxima obtenidos en el descriptor anterior con los descriptores espaciales. Se calcula combinando la densidad de haces con la cobertura media de la pradera (Romero, 1985).

El valor medio de densidad global de haces de cada zona de estudio se comparó con un indicador de referencia desarrollado por Pergent et al. (1995) y Pergent-Martini et al. (1996), recogida en Díaz y Marbà (2009) que relaciona la densidad global de haces y la profundidad mediante varias expresiones logarítmicas que clasifican el estado de las praderas en las siguientes categorías: desfavorable-malo, desfavorable-inadecuado, favorable-normal, favorable-alto (Figura 8).

Este estudio se basó en datos recopilados en la cuenca del mediterráneo noroeste, en zonas antropizadas y no antropizadas. Hay que tener en cuenta que las aguas de Balears son, en general, más cálidas, con mayor salinidad y más transparentes que el Mediterráneo noroccidental, lo que puede afectar la densidad media de haces. Es por ello que la comparación de nuestros datos con la clasificación realizada por Pergent et al. (1995) tiene que tomarse con cautela.

Los umbrales del indicador se establecen en función de tres curvas de densidad global. Una de densidad alta, otra de densidad normal y otra de densidad desfavorable. A partir de estas curvas se establecen los umbrales de conservación: Favorable-Alto, Favorable-Normal, Desfavorable-Inadecuado, Desfavorable-Malo.

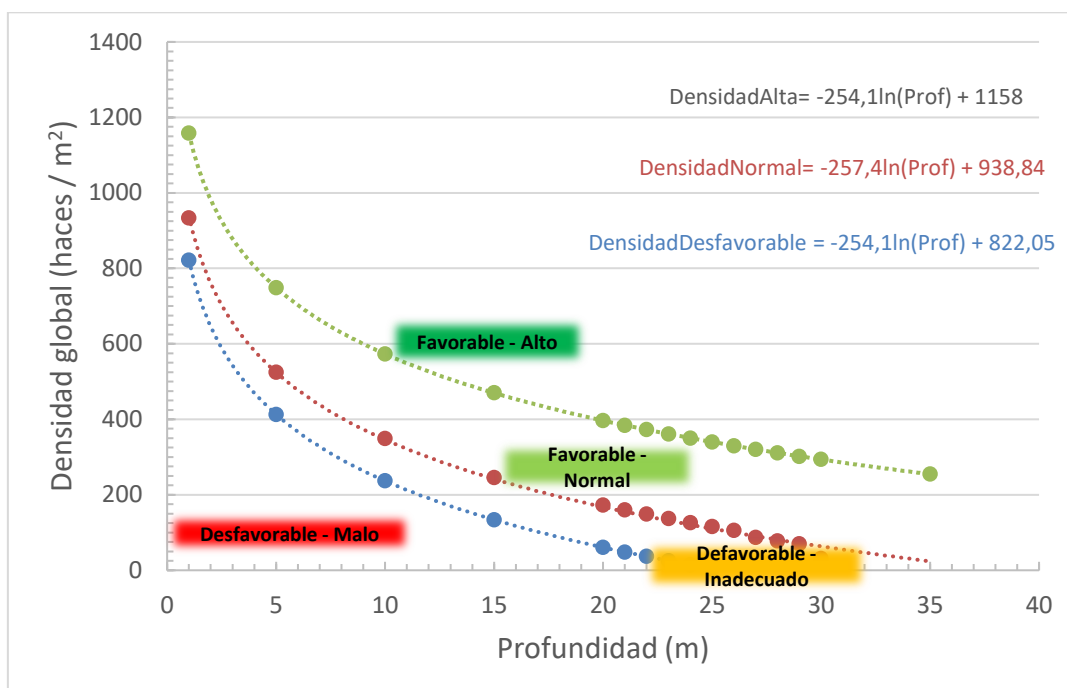


Figura 8. Indicador de la densidad global. Relación entre la densidad global de haces con la profundidad. Las diferentes curvas son las funciones logarítmicas de la densidad global alta, la densidad global normal y la densidad global desfavorable. A partir de estas curvas se establecen los umbrales de conservación: Favorable-Alto, Favorable-Normal, Desfavorable-Inadecuado, Desfavorable-Malo. Fuente: Pergent et al. (1995) y Pergent-Martini et al. (1996).

2.4.8. Biomarcadores de estrés oxidativo y detoxificación

Mediante biomarcadores se midió el estrés oxidativo a la que está sometida la pradera de *Posidonia oceanica* en las diferentes zonas de estudio. Estos biomarcadores son una medición indirecta de los impactos a los que está sometida la pradera (Capo et al., 2020). Se recogieron 8 muestras de hojas provenientes de rizomas independientes en el punto central donde empiezan los transectos a 0º, 120º y 240º. Las muestras se recogieron siguiendo la metodología de Capo et al., 2020. (Ver anexo I).

3. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS BANCOS DE ARENA

En cada zona de estudio se caracterizará la granulometría de los bancos de arena.

3.1. Zonas de estudio

3.1.1. Cala Xarraca

Cala Xarraca se sitúa en el norte de Ibiza y está conformada por fondos mixtos de *Posidonia oceanica*, manchas dispersas de *Cymodocea nodosa*, y bancos de arena. La zona se encuentra dentro de la ZEPA de la Red Natura 2000 Espacio marino del poniente y norte de Ibiza (ES0000516).

La zona se muestreó el 26/04/2021 y la profundidad media de la estación de muestreo fue de 10,9m.

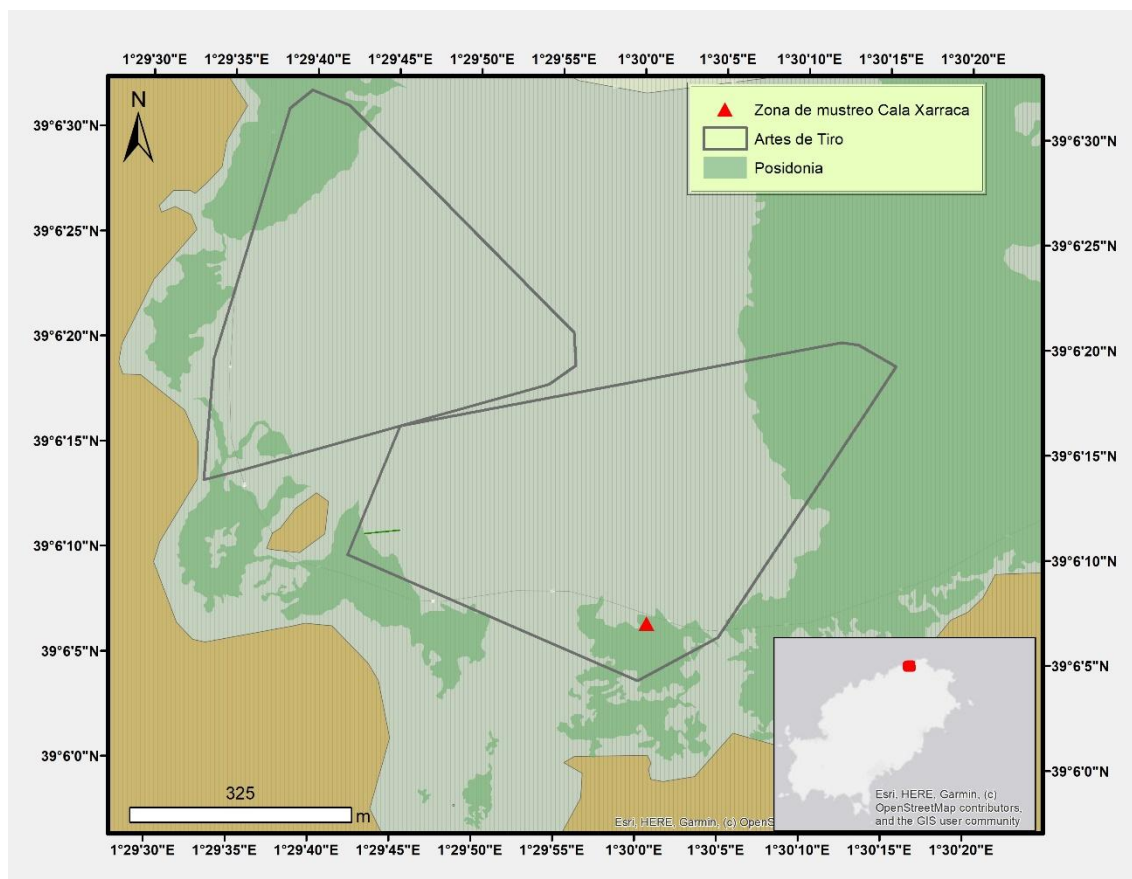


Ilustración 9. Zona de muestreo seleccionada en Cala Xarraca. El triángulo rojo hace referencia a la zona de muestreo, el polígono gris al caladero donde operan las artes de tiro, y la capa verde representa la pradera de *Posidonia oceanica*.

3.1.2. Cala Tarida

Cala Tarida se encuentra en la parte oeste de la isla de Ibiza y está conformada por fondos mixtos de *Posidonia oceanica* y bancos de arena. La zona se encuentra dentro de la ZEPA de la Red Natura 2000 Espacio marino del poniente y norte de Ibiza (ES0000516).

La zona se muestreó el 13/05/2021 y la profundidad media de la estación de muestreo fue de 12,05m.

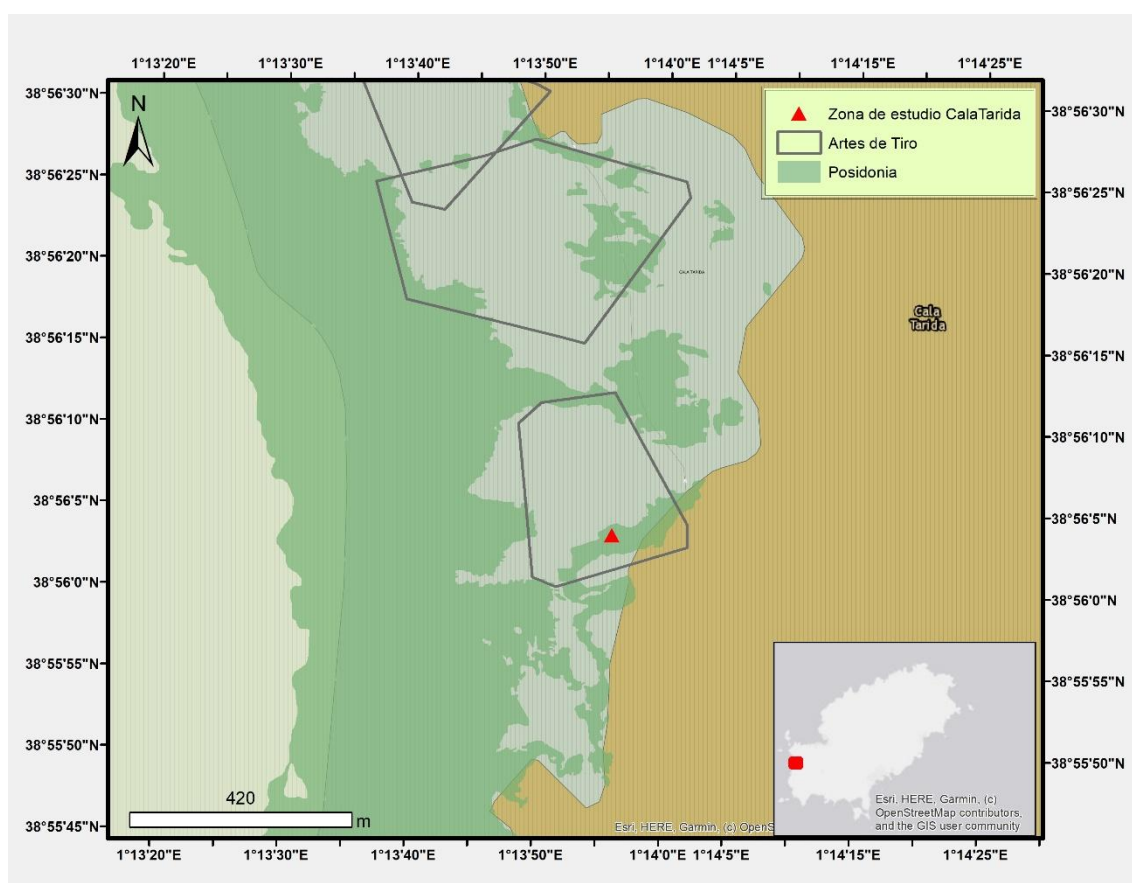


Ilustración 10. Zona de muestreo seleccionada en Cala Tarida. El triángulo rojo hace referencia a la zona de muestreo, el polígono gris al caladero donde operan las artes de tiro, y la capa verde representa la pradera de *Posidonia oceanica*.

3.1.3. Es Jondal

Es Jondal se ubica en el sur de Ibiza y sus fondos marinos están conformados por praderas de *Posidonia oceanica*, arena y gravas.

La zona se muestreó el 24/04/2021 y la profundidad media de la estación de muestreo fue de 9,9m.

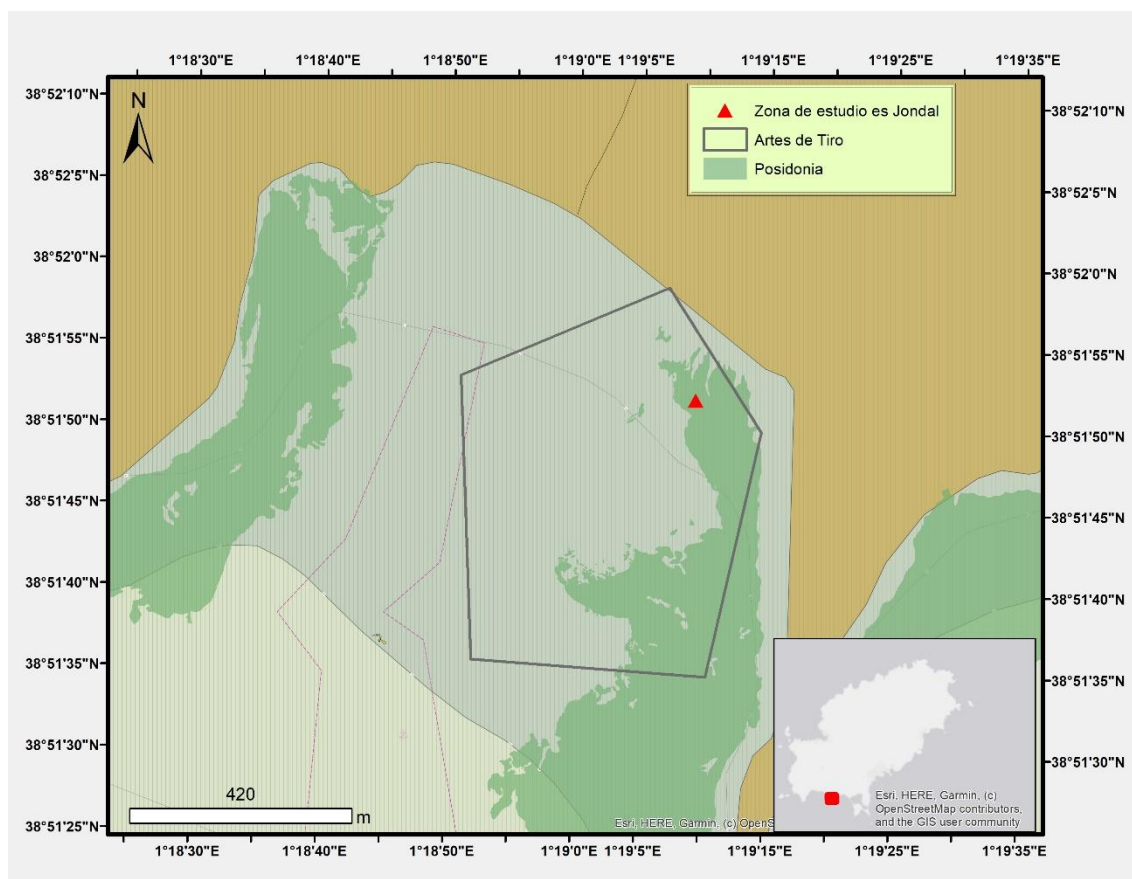


Ilustración 11. Zona de muestreo seleccionada en es Jondal. El triángulo rojo hace referencia a la zona de muestreo, el polígono gris al caladero donde operan las artes de tiro, y la capa verde representa la pradera de *Posidonia oceanica*.

3.1.4. Cala Saona

Cala Saona se muestreó el 09/05/2021 y la profundidad media de la estación de muestreo fue 12,3m.

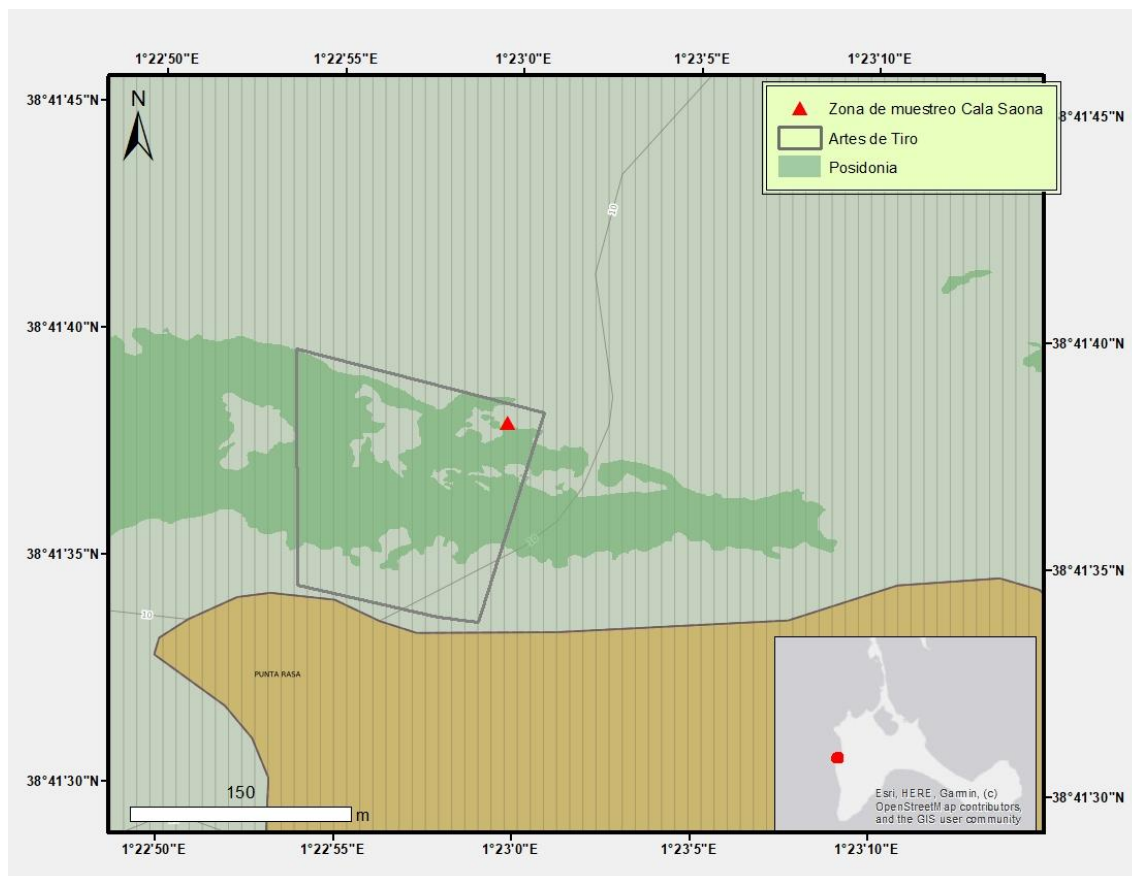


Ilustración 12. Zona de muestreo seleccionada en Cala Saona. El triángulo rojo hace referencia a la zona de muestreo, el polígono gris al caladero donde operan las artes de tiro, y la capa verde representa la pradera de *Posidonia oceanica*.

3.2. Caracterización granulometría de los bancos de arena

En cada zona de estudio se han realizado 3 transectos paralelos a la costa de 60 metros de longitud. Cada transecto estaba separado entre sí unos 20m. En cada transecto se han tomado 4 muestras de sedimento a 0, 20, 40 y 60m. La profundidad para realizar el muestreo se ha establecido en torno a los 10m. El transecto se iniciaba en el borde de la pradera (0m) y terminaba en la zona central del banco de arena (60m).

Las muestras se tamizaron en el laboratorio caracterizando las siguientes fracciones de tamaño de grano:

- Tamaño de grano superior a 2mm (2mm).
- Tamaño de grano entre a 2mm y 1 mm (1mm).
- Tamaño de grano entre 1 mm y 500 μm (500 μm).
- Tamaño de grano entre 500 μm y 250 μm (250 μm).
- Tamaño de grano entre 250 μm y 125 μm (125 μm).
- Tamaño de grano entre 125 μm y 63 μm (63 μm).
- Tamaño de grano inferior a 63 μm (<63 μm).

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de las praderas de *Posidonia oceanica*

4.1.1. Cobertura Lineal

El porcentaje de cobertura medio ha variado entre un $72,93 \pm 14,21$ % en Tagomago-Control, y un $95,40 \pm 2,14$ % en Cala Boix. Se han detectado diferencias significativas entre el porcentaje de cobertura de las diferentes zonas de estudio (ANOVA, $p > 0,05$).

Tagomago – Control ha mostrado un porcentaje de cobertura lineal significativamente menor que Cala Boix (Tukey, $p < 0,05$). Las otras zonas no han mostrado diferencias significativas entre ellas (Tukey, $p > 0,05$).

En Tagomago-Control la cobertura ha variado entre un 88,00 y un 46,33%. La cobertura media en esta zona ha sido $72,93 \pm 14,21$ %.

En la Cala Boix la cobertura ha variado entre un 93,33 y un 98,33%. La cobertura media en esta zona ha sido $95,40 \pm 2,14$ %.

En Malvins la cobertura ha variado entre un 66,33 y un 92,33%. La cobertura media en esta zona ha sido $75,20 \pm 10,18$ %.

En Tagomago la cobertura ha variado entre un 84,33 y un 95,33 %. La cobertura media en esta zona ha sido $90,33 \pm 3,98$ %.

En la Cala Saona la cobertura ha variado entre un 52,00 y un 93,67 %. La cobertura media en esta zona ha sido $79,60 \pm 14,3$ %.

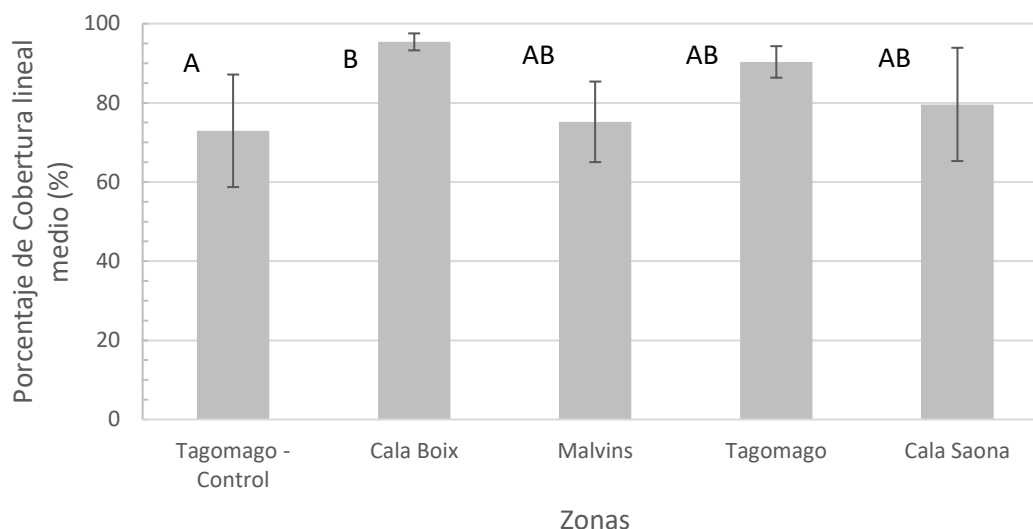


Ilustración 13. Porcentaje de cobertura lineal medio en las diferentes estaciones de seguimiento en 2021. Las barras muestran dos veces el error estándar (2SE). En las comparaciones dos a dos, las estaciones con diferentes letras muestran diferencias significativas (Tukey, $p < 0,05$).

4.1.2. Microcobertura

El porcentaje de microcobertura medio ha variado entre un $49,73 \pm 9,18$ % en Malvins, y un $56,35 \pm 10,51$ % en Tagomago. No se han detectado diferencias significativas entre el porcentaje de cobertura de las diferentes estaciones (ANOVA, $p > 0,05$).

En la Tagomago-Control la microcobertura ha variado entre un 38,44 y un 63,98%. La cobertura media en esta zona ha sido $55,53 \pm 10,01$ %

En la Cala Boix la microcobertura ha variado entre un 48,13 y 63,20 un %. La cobertura media en esta zona ha sido $54,38 \pm 6,74$ %

En Malvins la microcobertura ha variado entre un 34,92 y un 60,70%. La cobertura media en esta zona ha sido $49,03 \pm 9,79$ %.

En Tagomago la microcobertura ha variado entre un 45,00 y un 70,23 %. La cobertura media en esta zona ha sido $56,35 \pm 10,51$ %.

En la Cala Saona la microcobertura ha variado entre un 39,06 y un 66,41 %. La cobertura media en esta zona ha sido $53,10 \pm 11,07$ %.

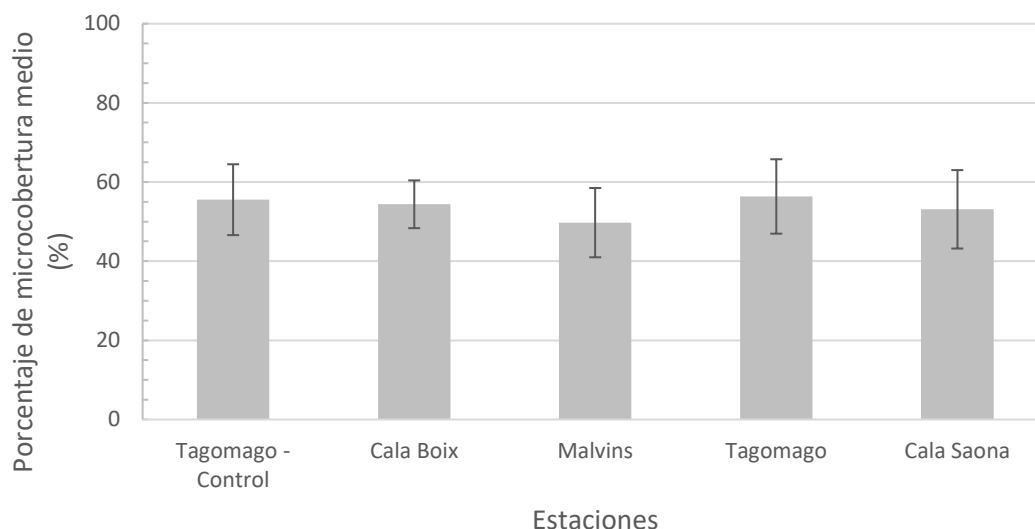


Ilustración 14. Porcentaje de microcobertura medio en las diferentes estaciones de seguimiento en 2021. Las barras muestras dos veces el error estándar (2SE).

4.1.3. Índice de Conservación (IC)

El Índice de Conservación medio ha variado entre un $0,86 \pm 0,08$ en Tagomago-Control, y un $0,98 \pm 0,02$ en Cala Boix. No se han detectado diferencias significativas en el Índice de Conservación entre las diferentes estaciones (ANOVA, $p < 0,05$).

En Tagomago-Control el Índice de Conservación ha variado entre 0,76 y 0,99, indicando que entre el 100 y el 94% de la pradera está viva. La media del Índice de Conservación ha sido $0,86 \pm 0,08$.

En Cala Boix el Índice de Conservación ha variado entre 0,94 y 1,00, indicando que entre el 94 y 100% de la pradera está viva. La media del Índice de Conservación ha sido $0,98 \pm 0,02$.

En Malvins el Índice de Conservación ha variado entre 0,78 y 0,85, indicando que entre el 78 y 85% de la pradera está viva. La media del Índice de Conservación ha sido $0,87 \pm 0,10$.

En Tagomago el Índice de Conservación ha variado entre 0,88 y 0,96, indicando que entre el 88 y 96% de la pradera está viva. La media del Índice de Conservación ha sido de $0,92 \pm 0,05$.

En Cala Saona el índice de Conservación ha variado entre 0,87 y 0,98, indicando que entre el 87 y 98% de la pradera está viva. La media del Índice de Conservación ha sido de $0,93 \pm 0,05$.

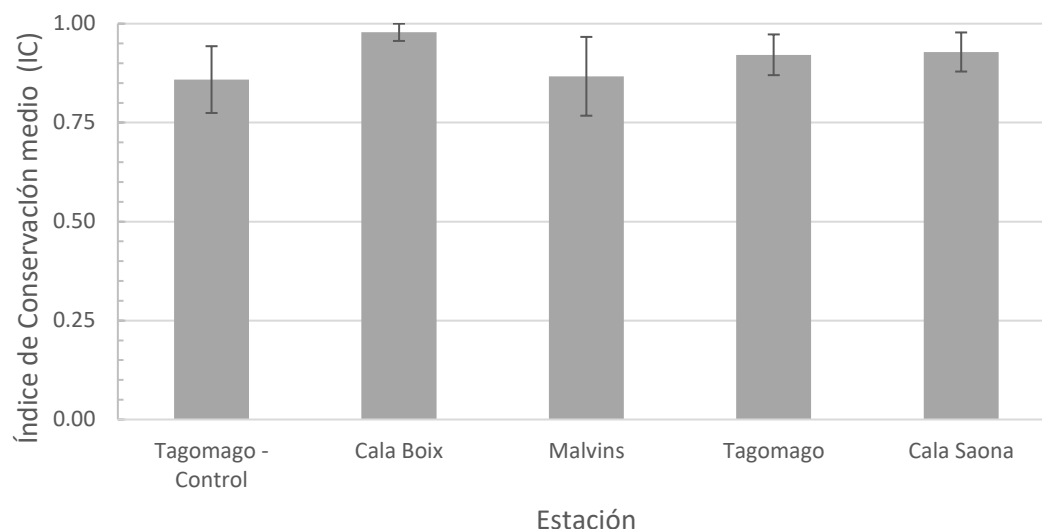


Ilustración 15. Índice de conservación (IC) medio en las diferentes estaciones de seguimiento en 2021. Las barras muestras dos veces el error estándar (2SE).

4.1.4. Densidad máxima

La densidad máxima media ha variado entre $886,40 \pm 112,03$ haces/m² en Malvins, y $1226,13 \pm 138,98$ haces/m² en Tagomago Control. Se han detectado diferencias significativas en la densidad máxima entre las diferentes estaciones (ANOVA, $p < 0,05$).

Tagomago - Control ha mostrado una densidad máxima superior a las zonas de Malvins, Tagomago y Cala Saona (Tukey, $p < 0,05$). El resto de las zonas no han mostrado diferencias significativas entre ellas (Tukey, $p > 0,05$).

En Tagomago-Control la densidad máxima ha variado entre 1069,33 y 1474,67 haces/m². La densidad máxima media ha sido $1226,13 \pm 138,98$ haces/m².

En Cala Boix la densidad máxima ha variado entre 784,00 y 1152,00 (haces/m²). La densidad máxima media ha sido $1027,73 \pm 128,13$ haces/m².

En Malvins la densidad máxima ha variado entre 709,33 y 1018,67 (haces/m²). La densidad máxima media ha sido $886,40 \pm 112,03$ haces/m².

En Tagomago la densidad máxima ha variado entre 661,33 y 1085,33 (haces/m²). La densidad máxima media ha sido $925,87 \pm 166,29$ haces/m².

En Cala Saona la densidad máxima ha variado entre 765,33 y 1074,67 haces/m². La densidad máxima media ha sido $933,87 \pm 100,90$ haces/m².

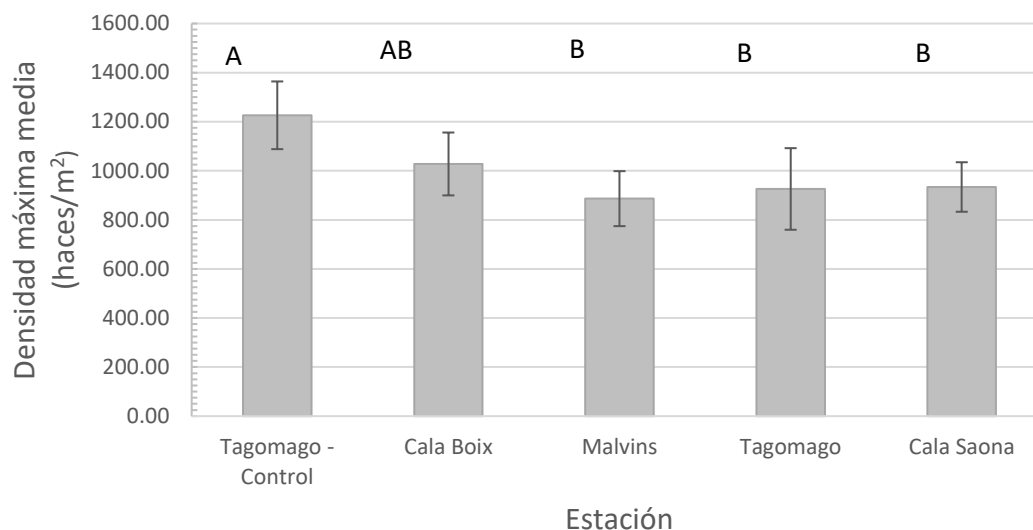


Ilustración 16. Densidad máxima media (haces/m²) en las diferentes estaciones de seguimiento en 2021. Las barras muestran dos veces el error estándar (2SE). En las comparaciones dos a dos, las estaciones con diferentes letras muestran diferencias significativas (Tukey, $p < 0,05$).

4.1.5. Densidad global

La densidad global media ha variado entre $673,22 \pm 157,26$ haces/m² en Malvins, y $981,22 \pm 128,78$ en Cala Boix. No se han detectado diferencias significativas en la densidad entre las diferentes zonas (ANOVA, $p > 0,05$).

En Tagomago-Control la densidad global ha variado entre 563,41 y 1096,17 haces/m². La densidad global media ha sido $890,10 \pm 180,14$ haces/m².

En Cala Boix la densidad global ha variado entre 736,96 y 1075,20 haces/m². La densidad global media ha sido $981,22 \pm 128,78$ haces/m².

En Malvins la densidad global ha variado entre 456,33 y 940,57 haces/m². La densidad global media ha sido $673,22 \pm 157,26$ (haces/m²).

En Tagomago la densidad global ha variado entre 619,45 y 1032,14 haces/m. La densidad global media ha sido $833,83 \pm 143,85$ haces/m².

En Cala Saona la densidad global ha variado entre 492,27 y 914,19 haces/m². La densidad global media ha sido $743,94 \pm 163,07$ haces/m².

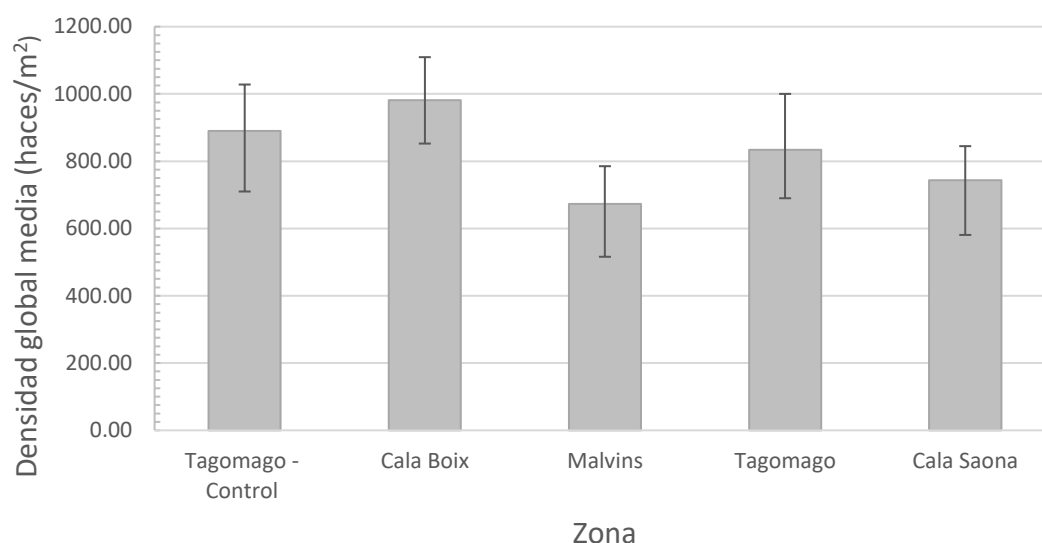


Ilustración 17. Densidad global media (haces/m²) en las diferentes estaciones de seguimiento en 2021. Las barras muestras dos veces el error estándar (2SE).

4.1.6. Comparación con valores de referencia y praderas degradadas

En la siguiente tabla podemos ver el estado de conservación de las praderas de posidonia de la zona de estudio (Tagomago – Control, Cala Boix, Malvins, Tagomago y Cala Saona) en función de los valores de referencia. Se tienen en cuenta la cobertura lineal, el índice de conservación, la densidad máxima y la densidad global. También se comparan los resultados obtenidos en este estudio con dos praderas degradadas situadas en la bahía de Talamanca (Sobrado et al., 2021).

Las praderas monitorizadas en este estudio presentan una cobertura media (Montefalcone et al., 2006). El índice de conservación se puede considerar favorable en todas las estaciones Díaz y Marbà (2009). Tagomago – Control, Cala Boix, y Cala Saona presentan una densidad máxima superior a la óptima, mientras que en Malvins y en Tagomago la densidad se encuentra entre la densidad media y la densidad óptima (Quintana et al., 2009). La densidad global es Favorable – Alto para las 5 zonas analizadas en este estudio

Las praderas de la Bahía de Talamanca (Talamanca – Illa Grossa y Talamanca -Profunda) presentan unos los valores de cobertura lineal, índice de Conservación, densidad máxima y densidad global, muy inferiores a las praderas analizadas en este estudio.

Tabla 1. Estado de conservación de las praderas de *Posidonia oceanica* de la zona de estudio (Tagomago – Control, Cala Boix, Malvins, Tagomago y Cala Saona) y de la bahía de Talamanca (Talamanca – Illa Grossa, Talamanca -Profunda) en función de valores de referencia. Para cada zona se da el valor obtenido en este estudio de los descriptores de cobertura lineal (%), índice de conservación, densidad máxima (haces/m²), y densidad global (haces/m²), junto con su estado de conservación según la literatura de referencia consultada.

Zona	Cobertura lineal (%)			Índice de conservación			Densidad máxima (haces/m ²)			Densidad global (haces/m ²)		
	Valor	Estado de conservación	Referencia	Valor	Estado de conservación	Referencia	Valor	Estado de conservación	Referencia	Valor	Estado de conservación	Referencia
Tagomago Control	72,93	Cobertura media	Montefalcone et al., (2006)	0,86	Favorable	Díaz Marbà y (2009)	1226,13	Densidad > Densidad óptima	Quintana et al., (2009)	890,10	Favorable - Alto	Pergent-Martini et al., (1996)
Cala Boix	95,40	Cobertura alta		0,98	Favorable		1027,73	Densidad > Densidad óptima		981,22	Favorable - Alto	
Malvins	75,20	Cobertura media		0,87	Favorable		886,40	Densidad media < Densidad > Densidad óptima		673,22	Favorable - Alto	
Tagomago	90,33	Cobertura alta		0,92	Favorable		925,87	Densidad media < Densidad > Densidad óptima		833,83	Favorable - Alto	
Cala Saona	79,60	Cobertura media		0,93	Favorable		933,87	Densidad > Densidad óptima		743,94	Favorable - Alto	
Talamanca – Illa Grossa	48,93	Cobertura baja		0,54	Desfavorable - malo		768,53	Densidad media 25% < Densidad > Densidad media		364,73	Favorable - Normal	
Talamanca Profunda	48,13	Cobertura baja		0,62	Desfavorable - inadecuado		683,84	Densidad media 25% < Densidad > Densidad media		323,14	Desfavorable - Inadecuado	

4.1.7. Biomarcadores de estrés oxidativo y detoxificación

Ver ANEXO I. **Caracterització ambiental de les zones de pesca d'arts de tir a Pitiüses. Avaluació de l'estat de les praderies de posidònia per mitjà de biomarcadors**

4.2. Caracterización granulométrica de los bancos de arena

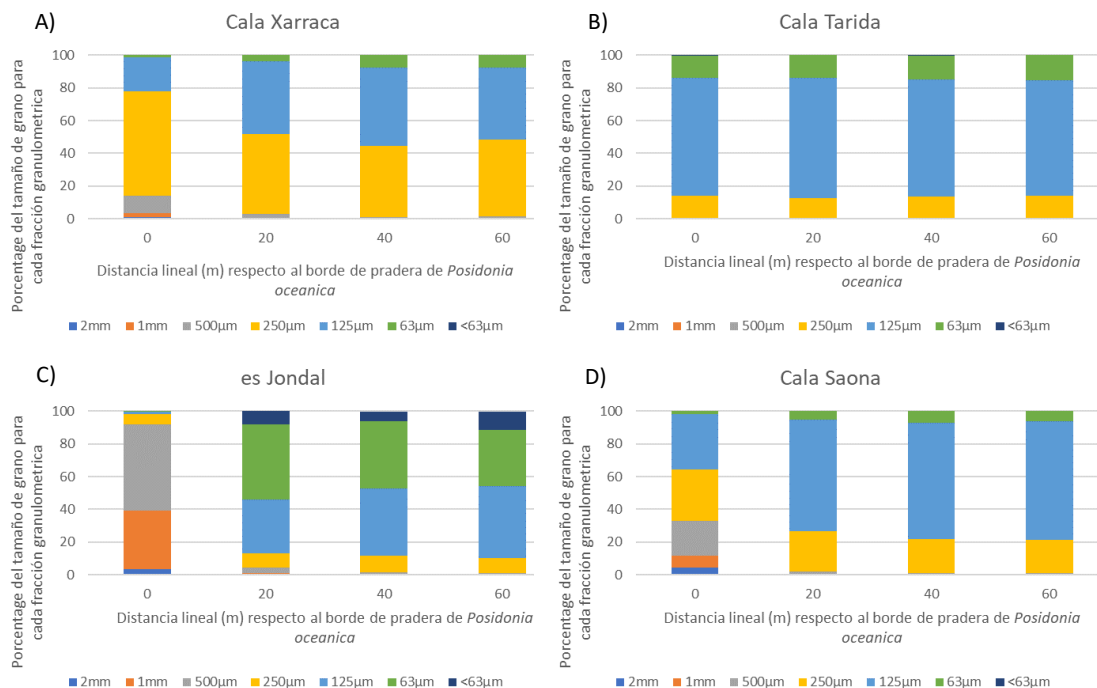
El siguiente gráfico nos muestra el tamaño de grano del sedimento en función de la distancia lineal al borde de pradera de *Posidonia oceanica* en las diferentes zonas de estudio.

En Cala Xarraca las fracciones con un tamaño de grano mayor (1 mm, 500µm y 250 µm) se encuentran en el borde de la pradera de *Posidonia oceanica* (0 metros de distancia lineal), mientras que los tamaños menores de grano (125 µm y 63 µm) son más abundantes a partir de los 20 metros, incrementándose ligeramente la fracción de granos de mayor tamaño en los 40 y 60m.

En Cala Tarida no se aprecia un cambio evidente del tamaño de grano del sedimento en función de la distancia al borde de pradera de *Posidonia oceanica*.

En es Jondal vemos una disminución del tamaño de grano a medida que nos alejamos del borde de la pradera de *Posidonia oceanica*. A los 0m la fracción del tamaño de grano mayoritario son 1 mm y 500 µm, a partir de los 20m las fracciones del tamaño de grano mayoritario son 125 µm, 63 µm, y <63 µm.

En Cala Saona las fracciones con un tamaño de grano mayor (2 mm, 1 mm y 500 µm) se encuentran en el borde de la pradera de *Posidonia oceanica*, mientras que los tamaños menores de grano (250 µm, 125 µm, y 63 µm) son más abundantes a partir de los 20m, siendo muy similares en los 40 y 60m.



Il·lustració 18. Tamañ de grano para cada fracció granulométrica expresado en porcentaje en función de la distancia lineal al borde de pradera de *Posidonia oceanica* de las diferentes zonas de estudio. A) Cala Xarraca, B) Cala Tarida, C) es Jondal, D) Cala Saona. La fracció granulométrica se muestra en una escala de color para los tamaños de grano de 2mm, 1mm, 500 µm, 250 µm, 125 µm, 63 µm y <63 µm.

4. CONCLUSIONES

Las praderas de posidonia son hábitats que sirven de refugio y alevinaje a una gran cantidad de especies de interés pesquero. *Spicara smaris* es la especie objetivo de la pesca del gerret que se realiza en fondos mixtos de praderas de *Posidonia oceanica* y bancos de arena. La pesca del gerret se realiza mediante artes de tiro en caladeros fijos a lo largo de la costa de Ibiza y Formentera, siendo necesario monitorizar la salud ambiental de estos hábitats para garantizar su funcionalidad ecológica y el mantenimiento de la actividad pesquera.

En este estudio se han analizado las praderas de *Posidonia oceanica* y los bancos de arena en los que se lleva a cabo la pesca del gerret para ver posibles afecciones en el ecosistema. Para determinar el estado ambiental de las praderas de *Posidonia oceanica*, se ha determinado la cobertura, densidad e índice de conservación. También se han analizado una serie de biomarcadores indicadores de estrés oxidativo y de procesos de detoxificación. Todos estos descriptores nos permiten determinar el estado de conservación de la pradera y son un indicador indirecto de los impactos antrópicos a lo que se ve sometida. También se han comparado estas praderas con praderas situada en la bahía de Talamanca muy afectadas por actividades antrópicas, tales como el fondeo de embarcaciones, los vertidos de salmuera y de aguas mal depuradas (Capo et al., 2020, Sobrado et al., 2021).

Las praderas situadas en las zonas de Tagomago-Control, Cala Boix, Malvins, Tagomago y Cala Saona se encuentran en un estado de conservación óptimo según los valores de referencia indicados en la Tabla 1. Si comparamos estos valores con los obtenidos en la Bahía de Talamanca podemos inferir que en estas zonas tenemos una menor presión antrópica en la pradera. Un dato que cabría señalar es el bajo porcentaje de pradera muerta en estas zonas comparado con Talamanca. Mientras en las zonas de estudio tenemos un porcentaje de pradera muerta que varía entre el 14 – 2%, en Talamanca el porcentaje varía entre el 46 – 38%.

Los resultados de los análisis de los biomarcadores de estrés oxidativo siguen la misma línea que los descriptores mencionados anteriormente. Ponen de manifiesto el mayor impacto antrópico de la pradera de la bahía de Talamanca, respecto a la zona de Tagomago – control, Cala Boix y Malvins. Cala Saona presenta un impacto antrópico intermedio que no se llega a apreciar en los descriptores de cobertura, densidad e índice de conservación.

Las praderas de Tagomago-Control, Cala Boix, y Malvins presentan un mejor estado de conservación que la pradera situada en la bahía de Talamanca. La pradera de Cala Saona, aunque tiene unos valores de cobertura, densidad e índice de conservación similares al resto de praderas analizadas en este estudio, los resultados de los indicadores de estrés oxidativo y detoxificación sugieren que su estado de conservación es peor que estas, pero mejor que la pradera situada en la bahía de Talamanca. Este hecho podría deberse a que Cala Saona es una

zona de fondeo habitual en la época estival, produciéndose un impacto mecánico en la pradera y una pérdida de calidad de aguas de la zona.

En cuanto a la caracterización granulométrica del tamaño de grano de las zonas de Cala Xarraca, es Jondal, Cala Saona y Cala Tarida, podemos ver que el mayor tamaño de grano se encuentra en el borde de la pradera, y a medida que vamos avanzando el tamaño de grano se incrementa paulatinamente. Este patrón de distribución de tamaño de grano se cumple para las zonas de Cala Xarraca, es Jondal y Cala Saona, mientras en Cala Tarida no se observa ninguna gradación del tamaño de grano. Hay que señalar que los mayores tamaños de grano se encuentran en es Jondal y Cala Saona, seguido por Cala Xarraca, y Cala Tarida con el tamaño de grano más pequeño. Con esta distribución de tamaño de grano, podemos afirmar que la pradera de *Posidonia oceanica* actúa como filtro granulométrico, favoreciendo la deposición de tamaños de grano más grueso en su borde. Posiblemente esto es debido a la acción filtradora de la propia pradera. Hay una acumulación de tamaños de grano más fino a medida que nos alejamos del borde de la pradera. Tenemos que señalar que esta distribución también puede estar afectada por las condiciones oceanográficas e hidrodinámicas de la zona.

Podemos concluir que la pesca del gerret mediante artes de tiro no se encuentran entre uno de los principales impactos que degradan las praderas de *Posidonia oceanica*. Las actividades antrópicas que generan un mayor impacto serían el fondeo de embarcaciones, el vertido de salmuera y de aguas mal depuradas.

5. REFERENCIAS

Álvarez, E., Grau, A.M., Marbà, N., & Carreras, D. 2015. Praderas de angiospermas marinas de Baleares. En: Ruiz, J.M., Guillén, J.E., Ramos Segura, A. & Otero, M.M. (Eds.). Atlas de las praderas marinas de España. IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga: 179-220 pp.

Beltran, R., Beca-Carretero, P., Marbà, N., Jiménez, M.A., Traveset, A. 2020. Spatio-temporal variation in macrofauna community structure in Mediterranean seagrass wrack. Food Webs, 25, e00178.

Boudouresque, C. 2010. Structure et fonctionnement des écosystèmes benthiques marins. L'écosystème à Posidonia oceanica.

Canals, M., & Ballesteros, E. 1997. Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea, Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography, 44, 611-629.

Capó, X., Tejada, S., Ferriol, P., Pinya, S., Mateu-Vicens, G., Montero-González, I., Box, A., & Sureda, A. 2020. Hypersaline water from desalinization plants cause oxidative damage in Posidonia oceanica meadows. Science of the Total Environment, 736, 139601.

Díaz, E., & Marbà, N. 2009. 1120 Posidonion oceanicae. Praderas de Posidonia oceanica (*). En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 129 p.

Duarte, C. M., Terrados, J., Marba, N., Massutí, E., & Grau, A. M. 2000. La posidònia: L'alga que no ho és, Quaderns de pesca, Conselleria d'Agricultura i Pesca, Direcció General de Pesca del Govern Balear, "SA NOSTRA" Obra Social i Cultural, Palma.

Hendriks, I. E., Sintès, T., Bouma, T. J., & Duarte, C. M. 2008. Experimental assessment and modeling evaluation of the effects of the seagrass Posidonia oceanica on Flow and particle trapping, Marine Ecology Progress Series, 356, 163-173.

Hendriks, I.E., Bouma, T.J., Morris, E.P., & Duarte, C.M. 2010. Effects of seagrasses and algae of the Caulerpa family on hydrodynamics and particle-trapping rates, Marine Biology, 157 (3), 473-481.

Jeudy de Grissac, A., & Boudouresque, C.F. 1985. Rôles des herbiers de phanérogames marines dans les mouvements des sédiments côtiers: les herbiers à Posidonia oceanica. Les

aménagements côtiers et la gestion du littoral, Coll. pluridisciplinaire franco-japonais océanographie, 143-151.

Koch, E.W., Ackerman, J.D., Verduin, J., & van Keulen M. 2006. Fluid dynamics on seagrass ecology - from molecules to ecosystems, in: Seagrasses: biology, ecology and conservation, edited by: Larkum, A. W. D., Orth, R. J., and Duarte, C. M., Springer, Dordrecht, Netherlands.

Marbà, N., Duarte, C. M., Diaz, E., Terrados, J., Alvarez, E., Martineez, R., Santiago, R., Gacia, E., & Grau, A. M. 2005. Direct evidence of imbalanced seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot population dynamics in the Spanish Mediterranean, *Estuaries*, 28, 53-62.

Montefalcone, M., Albertelli, G., Bianchi, C. N., Mariani, M., & Morri, C. 2006. A new synthetic index and a protocol for monitoring the status of *Posidonia oceanica* meadows: a case study at Sanremo (Ligurian Sea, NW Mediterranean), *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*, 16, 29-42.

Pergent, G., Pergent-Martini, C., & Boudouresque, C.F. 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia Oceanica* comme indicateur biologique de La qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mesogée* 54, 3-27.

Pergent-Martini, C. & Pergent, G. 1996. Spatio-Temporal Dynamics of *Posidonia oceanica* Beds Near a Sewage Outfall (Mediterranean - France). In *Seagrass Biology: Proceedings of an International Workshop* pp. 299-306 Rottnest Island (Western Australia).

Quintana, R., Marsinyach, E., & Pons, C. 2009. Campanya de seguiment del medi marí de Menorca – 2009: Seguiment biològic dels herbassars de *Posidonia oceanica*; Avaluació i seguiment d'espècies vulnerables a la pesca en fons de roca. Institut Menorquí d'Estudis – Observatori Socioambiental de Menorca. Consell Insular de Menorca - Agència Reserva de la Biosfera i Obra Social de la Caja Mediterráneo.

Romero, J. 1985. Estudio ecológico de las faneróamas marinas de la costa catalana: producción primaria de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en las islas Medes. Tesis de Doctorado de la Facultad de Biología. Universitat de Barcelona, Spain, 121 pp.

Ruiz J.M., Guillén, J.E., Ramos Segura, A., & Otero MM. (ed.). 2015. Atlas de las praderas marinas de España. IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga, 681 pp.

Sobrado, F., Álvarez, E., Albalat, B., Ruiz, F., Pitarch, D. & Aguilar, M. 2022. Seguiment tècnic de les praderies de *Posidonia oceanica* en la badia de Talamanca – Eivissa. GEN-GOB.

Terrados, J., & Borum, J. 2004. Why are seagrasses important? -Good and services provided by seagrass. *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. A publication by the EU project Monitoring and Managing of European Seagrasses (M&MS) EVK3-CT-2000-00044.

ANEXO I. Caracterització ambiental de les zones de pesca d'arts de tir a Pitiüses. Avaluació de l'estat de les praderies de posidònia per mitjà de biomarcadors

Caracterització ambiental de les zones de pesca d'arts de tir a Pitiüses. Avaluació de l'estat de les praderies de posidònia per mitjà de biomarcadors

Informe



Antoni Sureda Gomila

Palma a 20 de octubre de 2021

Resum

La *Posidonia oceanica* és la fanerògama marina més rellevant en els ecosistemes marins del mar Mediterrani. La seva importància radica amb el fet que és essencial pel desenvolupament d'altres organismes, però també participa en el cicle dels nutrients marins i proporciona estabilitat als sediments, evitant que es produeixi l'erosió de les zones costaneres. Les praderies de *P. oceanica* són molt sensibles als canvis ambientals com poden ser la contaminació, la pesca d'arrossegament i ancoratges, i la arribada d'espècies invasores, entre d'altres. Una de les formes per avaluar els efectes d'elements disruptors és per mitjà de biomarcadors d'estrès oxidatiu, el quals es veuen modificats quan un organisme sofreix algun tipus d'estrès. Amb tot això, l'objectiu del present treball va ser el d'analitzar l'estat de les praderies de *P. oceanica* a diverses zones utilitzades per la pesca amb arts de tir a les Pitiüses utilitzant de biomarcadors d'estrès oxidatiu. Les zones a estudia van ser quatre zones considerades com poc impactades, Tagomago (Control), Cala Boix, Tagomago i Malvins, una zona amb impacte mig, Cala Saona, i una darrera zona amb elevat impacte, Talamanca - Illa Grossa. Els resultats posen en evidència un augment dels enzims antioxidants i de l'antioxidant no enzimàtic glutatió a les zones amb major activitat humana. En canvi, referent als marcadors de dany oxidatiu a lípids i proteïnes, només s'observa un augment del malondialdehid – indicador de peroxidació lipídica – a la zona de Talamanca. Pel que fa a l'enzim de detoxificació, glutatió s-transferasa, la seva activitat es veu incrementada de forma important a Cala Saona i Talamanca. En conclusió, les zones amb major impacte antròpic presenten una activació generalitzada dels mecanismes de defensa antioxidant i de detoxificació, el que indicaria la presència en aquestes zones, principalment a Talamanca, d'elements disruptors capaços d'induir estrès oxidatiu a *P. oceanica*.



Universitat
de les Illes Balears

Departament
de Biologia Fonamental
i Ciències de la Salut



Unión Europea
Fondo Europeo Marítimo y
de Pesca (FEMP)



Consell d'Eivissa



Introducció

Rellevància i problemàtica de la *Posidònia oceànica*

El mar Mediterrani es troba, cada vegada més, amenaçat pels impactes associats a les activitats humanes que van degradant els ecosistemes marins, i per tant, disminuint de forma progressiva la seva biodiversitat. Per aquesta raó, són necessaris seleccionar espècies indicadores que permetin avaluar i monitoritzar la qualitat de les nostres aigües. Entre les espècies potencialment bioindicadores d'una bona qualitat de l'aigua marina és la *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813. En aquest sentit, la presència d'aquesta planta marina és una prova evident que l'entorn marí gaudeix d'una bona qualitat i un bon estat de conservació, ja que conforma l'ecosistema més complex i important del mar Mediterrani.

La *P. oceanica* és una fanerògama marina endèmica del mar Mediterrani on ocupa una extensió de més de 50000 km² i juga un paper essencial en els ecosistemes marins (Duarte et al 2005, Hendriks et al 2015). La superfície ocupada per les praderies de *P. oceanica* és aproximada, així i tot es calcula que al Mediterrani Balear hi ha uns 930 km² de superfície marina recoberts per aquesta fanerògama marina (Duarte 2003). La *P. oceanica* té una importància cabdal al ecosistema al ser un punt calent de biodiversitat, ja que acull al voltant del 20-25% de totes les espècies que viuen al mar Mediterrani. Les fulles i rizomes ofereixen substrats adequats per a l'assentament i el creixement d'un nombre d'organismes sèssils que formen un conjunt estratificat que garanteix el desenvolupament de micro-nínxols per a diferents grups taxonòmics (Vasarri et al 2021). Praderies d'una hectàrea poden acollir fins a 350 espècies diferents d'animals, residents o migrants, oferint així refugi i aliment a cefalòpodes, bivalves, gastròpodes, equinoderms, tunicats i peixos, també de considerable importància econòmica (Bellisario et al 2019). Tot plegat, la comunitat animal i vegetal rica i diversificada que pobla aquestes praderies contribueix a crear una xarxa tròfica complexa, altament eficient i productiva, capaç d'exportar energia a altres sistemes (El Din et al 2013). A més, les praderies de *P. oceanica* produeixen una gran quantitat de biomassa vegetal, que oscil·la entre els 400 i els 2500 g pes sec/m²/any⁻¹, amb valors decreixents a mesura que augmenta la profunditat. La contribució dels epífits autòtrofs associats habitualment a aquesta

planta fa augmentar aquests valors de forma espectacular fins a 2000-3000 g pes sec/m²/any⁻¹. A causa d'aquestes característiques, les praderies de *P. oceanica* són considerats com un dels ecosistemes més productius de la Terra (Bellisario et al 2019). Un altre aspecte de rellevància és la gran capacitat que té la *P. oceanica* per generar oxigen, arribant fins a 20 L d'oxigen al dia per metre quadrat de prats, cosa que la converteix en la font d'oxigen més important subministrada per les aigües costaneres (Campagne et al 2015). L'ecosistema de *P. oceanica* també és important en la dinàmica costanera, ja que estabilitza els sediments, protegeix la línia costanera de l'erosió mitjançant la consolidació dels fons marins i atenua les onades a través del moviment oscil·latori de les seves fulles (Dauby et al 1995). Les fulles mortes flotants de *P. oceanica* (massives a la tardor) que arriben a la costa creen dipòsits densos juntament amb altres restes que es poden consolidar i produir estructures essencials per protegir la costa de l'erosió (Mateo et al 2003).

Les praderies de *P. oceanica* només prosperen de forma adequada en aigües netes i sanes, es a dir en zones amb bona qualitat ambiental. El lent ritme de creixement de la *P. oceanica* en combinació amb la seva baixa capacitat de producció de llavors la fan especialment vulnerable i en molts casos les pèrdues de biomassa poden convertir-se en irreversibles o recuperables a molt llarg termini. Degut a la seva ubicació en la franja litoral, principalment entre 1 i 35-40 metres de profunditat, les praderies de *P. oceanica* es veuen afectades de forma directa i intensa per les activitats humanes, principalment costaneres. En aquesta franja s'hi donen les principals activitats humanes que de forma addicional poden tenir efectes negatius sobre la planta. En aquest sentit i, malgrat són ben reconeguts els seus rols estructurals i funcionals, les fanerògames marines disminueixen de manera progressiva a causa del canvi climàtic (escalfament i acidificació dels mars i oceans), invasió d'espècies exòtiques i activitats humanes directes a prop de les costes (per exemple, desenvolupament urbà costaner, activitats pesqueres, aquicultura, ancoratges, etc.) (Orth et al 2006; Telesca et al. 2015). Les estimacions indiquen que aproximadament cada any es perd almenys el 1,5% de les praderies de plantes marines (Waycott et al 2009). A tot això, se li suma el fet que la recuperació completa de les praderies de *P. oceanica* se sol considerar irrellevant a escala de temps humana, perquè és una espècie de creixement lent i amb una taxa de recuperació baixa. La gestió d'impactes directes, com l'arrossegament, l'ancoratge o el dragatge, pot ajudar a la

recuperació i promoure la resistència, tot i que això pot trigar molt de temps (Fraschetti et al 2013). A més, el trasplantament de fanerògames marines sovint no té èxit, principalment a causa del fet que els hàbitats encara estan massa deteriorats per permetre la supervivència de les plantes marines plantades (Fourqurean et al 2012).

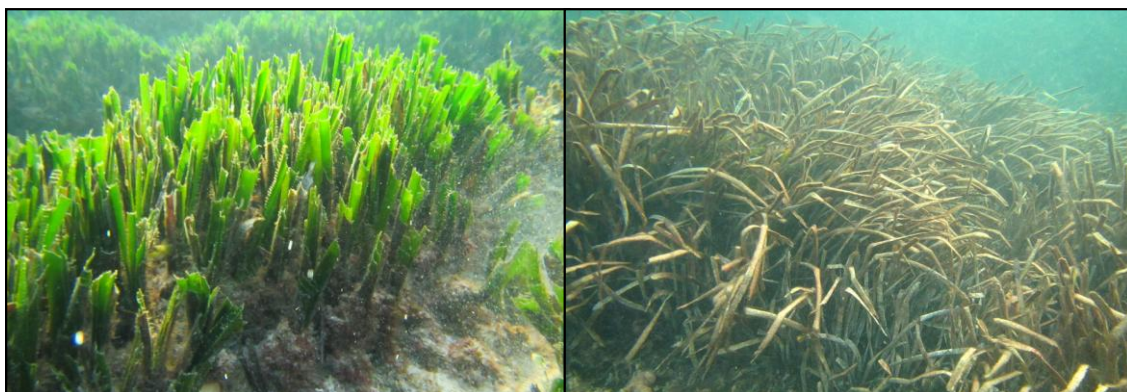


Figura 1. Imatge representativa d'una praderia de *P. oceanica* afectada per la salmorra de la dessaladora de Talamanca (Esquerra) on es veu la curta longitud de les fulles i, una praderia d'una zona control en bon estat (dreta).

Biomarcadors per avaluar l'estat de conservació

El metabolisme cel·lular en condicions normals produeix espècies reactives d'oxigen (EROS) en processos cel·lulars com pot ser la pròpia respiració mitocondrial o la resposta immunitària. Entre les principals EROS destaquen l'anió superòxid ($O_2^{\cdot-}$), el radical hidroxil ($OH^{\cdot}$) o el peròxid d'hidrogen (H_2O_2) (Halliwell i Gutteridge 2015). Aquestes espècies reactives sinó s'eliminen poden reaccionar amb components cel·lulars i danyar-los. Per evitar aquesta problemàtica, els organismes posseeixen tot un mecanisme de defensa antioxidant que en condicions normals li permeten eliminar aquestes espècies reactives i mantenir la normalitat cel·lular (Espinosa-Diez et al 2015).

El components del sistema de defensa antioxidant que protegeix les cèl·lules contra els efectes nocius de les EROS endògenes permeten mantenir el seu nivell en valors relativament baixos. El sistema de defensa antioxidant cel·lular es compon de molècules antioxidants petites no enzimàtiques com el glutatió reduït (GSH) o els polifenols i una sèrie d'enzims (Mironczuk-

Chodakowska et al 2018). Els principals enzims antioxidants són la catalasa (CAT), la glutatió peroxidasa (GPX) i la superòxid dismutasa (SOD), però també hi ha altres enzims que complementen la funció antioxidant com són la glutatió reductasa (GR), la peroxirredoxina reductasa o la tioredoxina reductasa (Halliwell i Gutteridge, 2015). La SOD constitueix el primer escut enfront dels radicals superòxid i la seva funció és la dismutació d'aquests radicals a H_2O_2 (molt menys reactiu que l' $O_2^{\cdot -}$) i oxigen. La GPX és un enzim que catalitza la reducció de H_2O_2 i hidroperòxids (ROOH) a H_2O i alcohols (ROH), respectivament. En aquest cas el GSH actua com a donador d'electrons, sent oxidat a disulfur de glutatió (GSSG o glutatió oxidat). La CAT catalitza, a l'igual que la GPX, la descomposició del H_2O_2 a H_2O . En aquest cas, però, no utilitza ni requereix de cap altre substrat per dur a terme la reacció. Degut a què la disponibilitat de GSH ha de ser constant per a una correcta funció de GPx, a part de la seva pròpia funció com antioxidant, la cèl·lula disposa d'un mecanisme de regeneració de GSH partir de GSSG. La glutatió reductasa (GR) és l'enzim encarregat de la reducció de GSSG a GSH, utilitzant NADPH com a cofactor.

En condicions fisiològiques normals, la taxa de generació de EROS és similar a la seva taxa d'eliminació per part de les defenses antioxidant. Quan hi ha una situació que provoca que les espècies reactives es produeixin a una velocitat major a la de la seva eliminació, aquestes poden atacar les biomolècules i estructures cel·lulars (Sureda et al 2017; Monserrat et al 2007). És llavors quan es diu que apareix estrès oxidatiu, definit com una situació de desequilibri en l'homeòstasi d'espècies reactives, i caracteritzat per un desequilibri del balanç redox cel·lular. Els àcids grassos poliinsaturats (PUFA), presents a les membranes cel·lulars, són especialment susceptibles de ser atacats pels radicals lliures. La peroxidació lipídica se sol determinar a través dels productes finals de reacció com ara malondialdehid (MDA). Les proteïnes també són molècules dianes de les ROS, a causa de la seva complexa estructura i elevat nombre de grups funcionals oxidables. La modificació oxidativa de les proteïnes comporten la formació de grups carbonil en les cadenes laterals i pot mesurar determinant els nivells de derivats carbonils generats.

A més, la presència de compostos potencialment tòxics també indueixen la maquinària de desintoxicació (enzims de fase I i II) per augmentar la seva solubilitat en aigua i facilitar la seva excreció (Iyanagi 2007; David Josephy et al 2005). Les reaccions de fase I converteixen un

agent exogen (contaminant, fàrmac, etc.) en metabòlits actius polars mitjançant la modificació o la inserció d'un grup funcional polar. Per tant, en la fase I, les principals reaccions que es produeixen són l'oxidació (sistema de citocrom p450 monooxigenasa), reducció (citocrom NADPH P450 reductasa), hidròlisi (esterases), etc. Les reaccions de fase II converteixen el compost derivat de la fase I en metabòlits inactius polars mitjançant la conjugació de grups funcionals polars, principalment GSH, però també grups metil, sulfat o àcid glucurònic. Entre tota aquesta bateria d'enzims que poden actuar sobre un compost la glutatíon *s*-transferasa (GST) que addiciona un grup GSH és el més amplament utilitzat com a biomarcador de destoxificació. Malgrat aquest procés de destoxificació és essencial per reduir la toxicitat d'un contaminant i poder eliminar-lo, en el procés molt sovint es generen EROS que poden contribuir a instaurar una situació d'estrès oxidatiu si l'exposició al tòxic és continuada (Dos Santos et al 2021).

Aspectes legislatius

L'entrada en vigor de la Directiva 92/43 / CEE relativa a la conservació dels hàbitats naturals i de la fauna i flora silvestres, ha suposat el desenvolupament de nombroses iniciatives per tal de crear una xarxa d'espais protegits de la Unió Europea a través de la xarxa Natura 2000. Concretament a les Illes Balears s'han designat tot un llistat de Llocs d'Importància Comunitària (LIC), que eventualment seran transformats a Zones d'Especial Conservació (ZEC). Alguns d'aquests espais naturals protegits s'han declarat per a la conservació de les praderies de *Posidonia oceanica*. Des del punt de vista normatiu les praderies de *P. oceanica* estan incloses dins de l'aliança vegetal *Posidonion oceanicae* i codificades pel codi atlas d'hàbitats 112010/1120. Aquestes comunitats vegetals tenen la consideració d'hàbitat prioritari per la Unió Europea pel que el seguiment dels seus efectius i el coneixement del seu estat de conservació és clau en les polítiques de gestió per a la conservació de la Biodiversitat d'Europa. En un rang normatiu inferior, però sent un instrument legal bàsic en la gestió de la biodiversitat a Espanya es troba la Llei 42/2007 de patrimoni natural i biodiversitat, que inclou l'esperit i les bases legals de la Directiva 92/43 / CEE, i manté la prioritat de conservació de les praderies de Posidònia a tota la regió mediterrània d'Espanya. A nivell de Comunitat

Autònoma, existeix el Decret 25/2018, de 27 de juliol, sobre la conservació de la *Posidònia oceànica* a les Illes Balears que té per objecte garantir la conservació de la *P. oceanica* i les comunitats biològiques de les que forma part, mitjançant la regulació d'aquells usos i activitats que puguin afectar l'espècie i l'hàbitat, i mitjançant la promoció d'accions que contribueixin de forma activa a l' manteniment i la consecució del seu estat favorable de conservació.

Referent a la legislació pesquera, es prohibeix utilitzar arts de pesca com l'arrossegament, el cèrcol o les dragues sobre fons marins que alberguen comunitats de fanerògames marines (CE nº1967 / 2006).

Justificació i objectius

Avui en dia, és crucial conèixer l'estat fisiològic de les fanerògames marines ja que permetrà emprendre accions específiques per mitigar les amenaces que causen la regressió i promoure bones pràctiques de conservació abans que aquestes plantes sofreixin una regressió irreversible, permetent així que aquests hàbitats compleixin el seu paper clau a les zones costaneres. La regressió que afecta a les praderies de Posidònia deriven principalment d'activitats d'origen antròpic generades gairebé totes en l'esfera terrestre, encara que poden realitzar-se en el medi marí. A més, les Illes Balears són la comunitat autònoma que posseeix la major superfície de praderies de Posidonia oceanica de l'Estat, concretament un 50% del total inventariat. A més, al voltant del 75% d'aquestes es troben dins d'àrees incloses en la Xarxa Natura 2000. Cal recordar, a més, que les praderies situades entre les illes d'Eivissa i Formentera van ser declarades Patrimoni de la Humanitat per la UNESCO el 1999. Tots aquests fets suposen una especial responsabilitat respecte a mantenir un bon estat de conservació.

Les arts de tir són unes arts de pesca amb de xarxa que es calen de fons mixtos d'arena i sorra. A les Pitiüses aquests arts formen part de la cultura de pesca tradicional que cal mantenir i preservar. Pel fet, si els elements de pesca propers a la costa es poden veure fàcilment afectats per l'acció de l'activitat humana i que puguin afectar els ecosistemes marins com pot ser el cas de la *P. oceanica*. Així, és important conèixer la salut ambiental de les praderies de posidònia per garantir la seva productivitat i poder-ne fer un seguiment amb el temps.

L'objectiu principal del present estudi és avaluar l'estat de les praderies de *P. oceanica* a diverses zones utilitzades per la pesca amb arts de tir de les Pitiüses per mitjà de biomarcadors d'estrès oxidatiu. Per assolir aquest objectiu s'han mesurat les activitats dels principals enzims antioxidants així com alguns antioxidants no enzimàtics (GSH i polifenols), marcadors de dany oxidatiu a lípids i proteïnes i l'enzim de detoxificació de fase II, GST.

Procediment experimental

Zones de mostreig

A les instal·lacions de la Universitat de les Illes Balears ens han arribat mostres procedents de 6 punts de mostreig al llarg de les zones costaneres de las Pitiüses caracteritzades per diferent grau d'afecció antròpica. Les zones d'estudi es presenten a la següent taula.

Zona	Data recollida	Profunditat (m)	Grau impacte
Talamanca - Illa Grossa	03/06/2021	8	Elevat
Tagomago (Control)	12/05/2021	9,5	Baix
Cala Saona	09/05/2021	12	Mig
Cala Boix	05/06/2021	10	Baix
Tagomago	28/04/2021	9,5	Baix
Malvins	27/04/2021	9	Baix

Taula 1. Característiques principals de les 6 zones d'estudi, indicant la data de recollida, profunditat i el grau d'impacte antròpic.

Processament de les mostres

De cada punt de mostreig es van recollir 8 mostres de fulles de posidònia provinents de rizomes independents. Es van seleccionar fulles els més netes possibles d'epibionts i dins cada fulla es va usar la part més jove i interior per reduir la possible variabilitat d'edat. Les mostres es van rentar amb aigua destil·lada per eliminar restes de sal i es van assecar amb paper de filtre.



Figura 2. Imatge representativa de les mostres de fulles seleccionades pel seu processament i anàlisi.

Seguidament les mostres es van congelar en nitrogen líquid i, una vegada evaporat, es van triturar amb l'ajut d'un morter. Els fragments de les diferents mostres de *P. oceanica* es van homogeneïtzar en cinc volums (p / v) de tampó Tris-HCl 100 mM pH 7,5. Els homogeneïtzats es centrifugar durant 10 min a 9.000 g a 4°C. Es van recollir els sobrenedants i es van utilitzar per dur a terme els anàlisis bioquímics.

Activitats enzimàtiques

Les activitats enzimàtiques es van mesurar amb un espectrofotòmetre Shimadzu UV-2401 a 25°C. L'activitat CAT (mK / mg proteïna; $K = s^{-1}$) es va determinar mitjançant el mètode basat en la descomposició de H_2O_2 en tampó fosfat 50 mM, monitoritzant la disminució d'absorbància a 240 nm. L'activitat de SOD (pKat / mg de proteïna) es va determinar pel grau d'inhibició de la reducció de citocrom C pel anió superòxid generat pel sistema xantina oxidasa / hipoxantina. L'activitat enzimàtica es va controlar a 550 nm i els càlculs es van basar en un coeficient d'absorció (ϵ) de $28,1 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. La GPX (nKat / mg de proteïna) es va determinar utilitzant H_2O_2 com a substrat i GR i NADPH com a indicadors enzimàtics i no enzimàtics, respectivament, i es va monitoritzar a 340 nm. L'activitat de GR (nKat / mg de proteïna) es va analitzar mesurant l'oxidació de NADPH a 340 nm utilitzant glutatió oxidat com a substrat.

L'activitat de l'enzim de destoxicació GST (nKat / mg de proteïna) es va determinar fent servir glutatió reduït (GSH) i 1-clor-2,4-dinitrobenzè (CDNB) com a substrats. L'activitat es va registrar a 340 nm i els càlculs es van basar en un coeficient d'absorció (ϵ) de $130 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

Marcadors de dany oxidatiu

Els nivells de MDA (nmol MDA / mg de proteïna) en els homogenats, com a marcador de la peroxidació lipídica, es van analitzar mitjançant un kit d'assaig colorimètric específic per a la determinació de MDA. El kit es basa en la reacció de MDA amb un reactiu cromogènic per produir un cromòfor estable amb absorbància màxima a 586 nm, seguint les instruccions de fabricant (Merk, Espanya). En breu, les mostres es van col·locar en tubs que contenien 1-metil-2-fenil-indol 10,3 mM a acetonitril: metanol (3: 1). Després, es va agregar HCl (12 N) i les mostres es van incubar durant 1 hora a 45°C . La absorbància es va mesurar a 586 nm.

Els grups carbonílics en proteïnes, com a indicadors d'oxidació proteica, es van analitzar mitjançant un mètode colorimètric basat en la reacció de les mostres desproteïnitades amb, 4-dinitrofenilhidracina (DNPH). Les mostres es van incubar a 37°C durant 60 minuts, es van rentar amb etanol: acetat d'etil (1: 1) i finalment re-suspendre en guanidina. La absorbància es va determinar a 340nm, i els grups carbonil de calcular usant un valor d'absorció molar de $22000 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

Nivells de glutatió

El GSH es va mesurar mitjançant la formació d'adductes de colors en reaccionar amb la solució 5,5'-ditio-bis (àcid 2-nitrobenzoic) (DTNB) per formar el derivat groc de l'àcid 5'-tio-2-nitrobenzoic. Les al·lòtotes sobrenedants es van col·locar en una placa de 96 pouets. Es va afegir àcid 5,5'- àcid ditiobis-2-nitrobenzoic (DTNB) diluït en tampó fosfat pH 7,4 a cada pouet. L'absorbància es va mesurar a 412 nm en un lector de microplates (Bio-Tek®, PowerWave XS), i la concentració es va calcular utilitzant GSH com a estàndard i es va informar com a proteïna pmol GSH / mg.

Nivells de polifenols

El contingut total de polifenols en homogenats de *P. oceanica* es va determinar mitjançant la modificació del mètode Folin-Ciocalteu (Kubiliene et al., 2015). La concentració de polifenols es va calcular mitjançant una corba estàndard de la concentració coneguda de L-tirosina. Els resultats s'expressen en mg de L-tirosina / mg de proteïna.

Nivells de proteïna

El contingut de proteïna total es determina en totes les mostres intestinals mitjançant un mètode colorimètric (Bradford), utilitzant albúmina de sèrum boví com a estàndard per normalitzar tots els resultats bioquímics.

Anàlisi estadístic

L'anàlisi estadística s'ha dut a terme mitjançant el programa SPSS v27 (IBM Software Group, Chicago, IL, USA). Els resultats s'expressen com la mitjana $\pm$ error estàndard de la mitjana, amb un nivell de significació establert en $p < 0.05$. Es va aplicar la prova Shapiro-Wilk W per avaluar la distribució normal de les dades experimentals. Les diferències estadístiques es van avaluar per mitjà d'una anàlisi de la variància (ANOVA) d'un factor. Si s'evidencien diferències significatives s'ha continuat amb una anàlisi post hoc LSD per determinar els grups involucrats en aquestes diferències.

Resultats

L'activitat dels enzims CAT i SOD es mostren en la Figura 3. Els resultats mostren uns valors d'activitat dels dos enzims significativament més elevats a la zona de Talamanca, considerada altament impactada, respecte a totes les zones considerades de baix impacte ($p < 0,05$). La zona

de Cala Saona presenta una activitat CAT significativament més elevada que les zones de baix impacte però menor a la de Talamanca, mentre que la SOD presenta una activitat major que la zona de Tagomago – Porroig, considerada com a zona control.

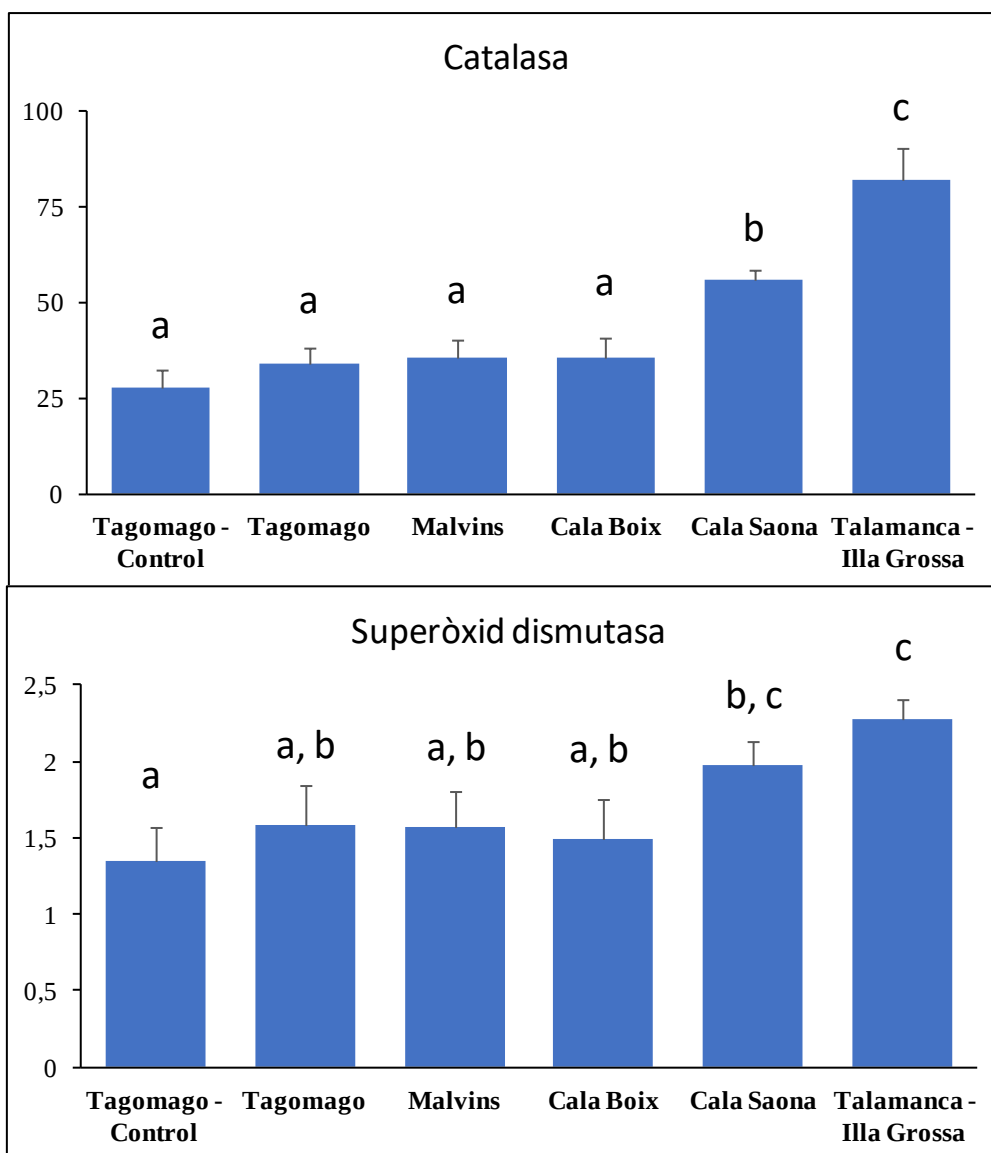


Figura 3. Activitats CAT (mK / mg proteïna) i SOD (pKat / mg proteïna) a les fulles de la *P. oceanica* recollida a 6 zones diferents de les Pitiüses. Anàlisi estadístic: ANOVA d'un factor; diferents lletres indiquen diferències significatives amb $p < 0,05$.

Les activitats dels enzims relacionats amb el GSH es presenten a la figura 4. L'activitat de la GPX mostra valors semblants en totes les estacions excepte en el cas de Talamanca, on l'activitat és estadísticament més elevada que la de la resta de zones estudiades ($p < 0,005$). L'activitat de la GR presenta un patró de resposta semblant, amb la diferència que l'activitat de Cala Saona no és estadísticament diferent a la determinada a la zona de Talamanca.

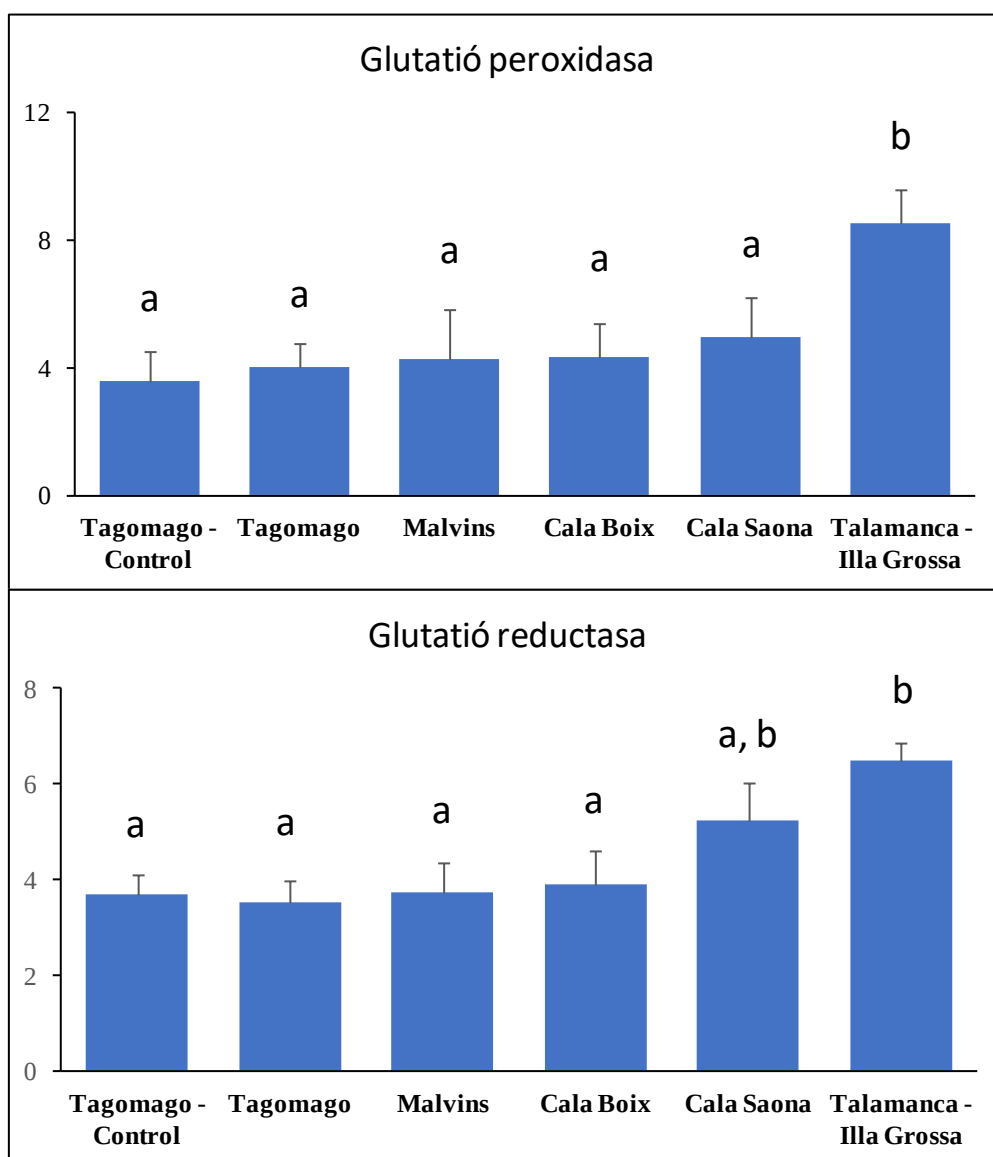


Figura 4. Activitats GPX (nKat / mg de proteïna) i GR (nKat / mg de proteïna) a les fulles de la *P. oceanica* recollida a 6 zones diferents de les Pitiüses. Anàlisi estadístic: ANOVA d'un factor; diferents lletres indiquen diferències significatives amb $p < 0,05$.

A la figura 5, es presenten els nivells de GSH a les fulles de *P. oceanica*, que es relaciona directament amb les activitats de la GPX i la GR. Els resultats mostren una tendència semblant a la de la resta de marcadors, amb nivells més elevats a les zones més impactades, sobretot Talamanca a i seguit per Cala Saona, mentre que la zona control mostra els valors més baixos. De fet, Talamanca, presenta valors significativament més elevats de GSH que la resta de zones ($p < 0,05$), excepte Cala Saona.

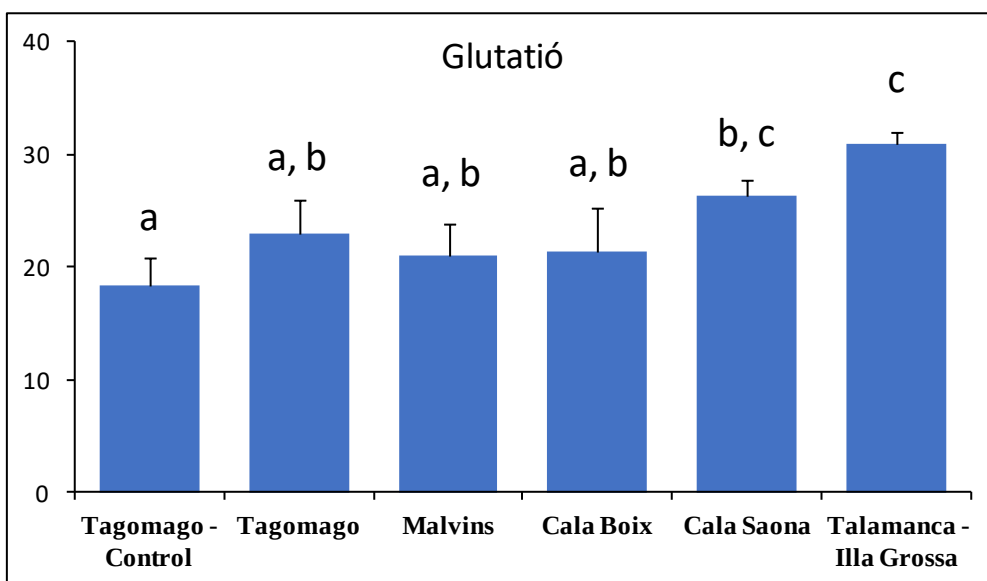


Figura 5. Nivells de GSH (nM/μg de proteïna) a les fulles de la *P. oceanica* recollida a 6 zones diferents de les Pitiüses. Anàlisi estadístic: ANOVA d'un factor; diferents lletres indiquen diferències significatives amb $p < 0,05$.

A la figura 6 es presenten els valors de polifenols mesurats als homogenats de *P. oceanica*. En aquest cas, malgrat hi ha una lleugera tendència a incrementar els seus valors a les zones amb

un major impacte antròpic, les diferències no són en cap cas significatives ($p=0,977$). Aquests resultats indicarien que la posidònia ha activat principalment la resposta enzimàtica per fer front a una situació estressant.

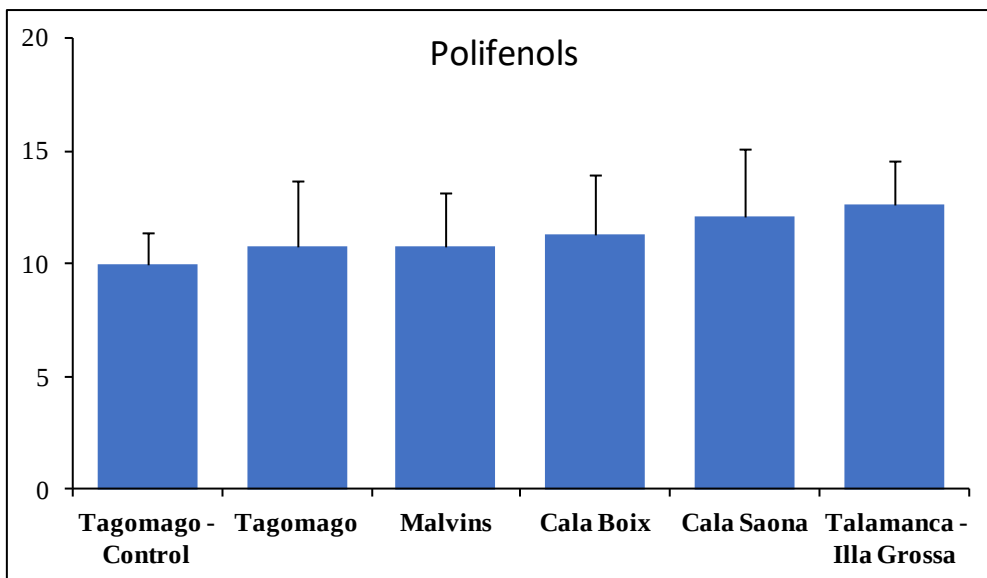


Figura 6. Nivells de polifenols (mg L-Tyr/mg de proteïna) a les fulles de la *P. oceanica* recollida a 6 zones diferents de les Pitiüses. Anàlisi estadístic: ANOVA d'un factor; diferents lletres indiquen diferències significatives amb $p<0,05$.

A la figura 7, es mostren els resultats dels biomarcadors d'estrès oxidatiu, com són els nivells de MDA (indicador de peroxidació lipídica) i els nivells dels grups carbonils (indicador de l'oxidació a proteïnes). Els nivells de MDA únicament mostren un augment significatiu a la zona de Talamanca respecte a la resta de zones ($p<0,05$), mentre que en el cas dels grups carbonils aquest augment no és suficient per ser estadísticament significatiu ($p=0,485$).

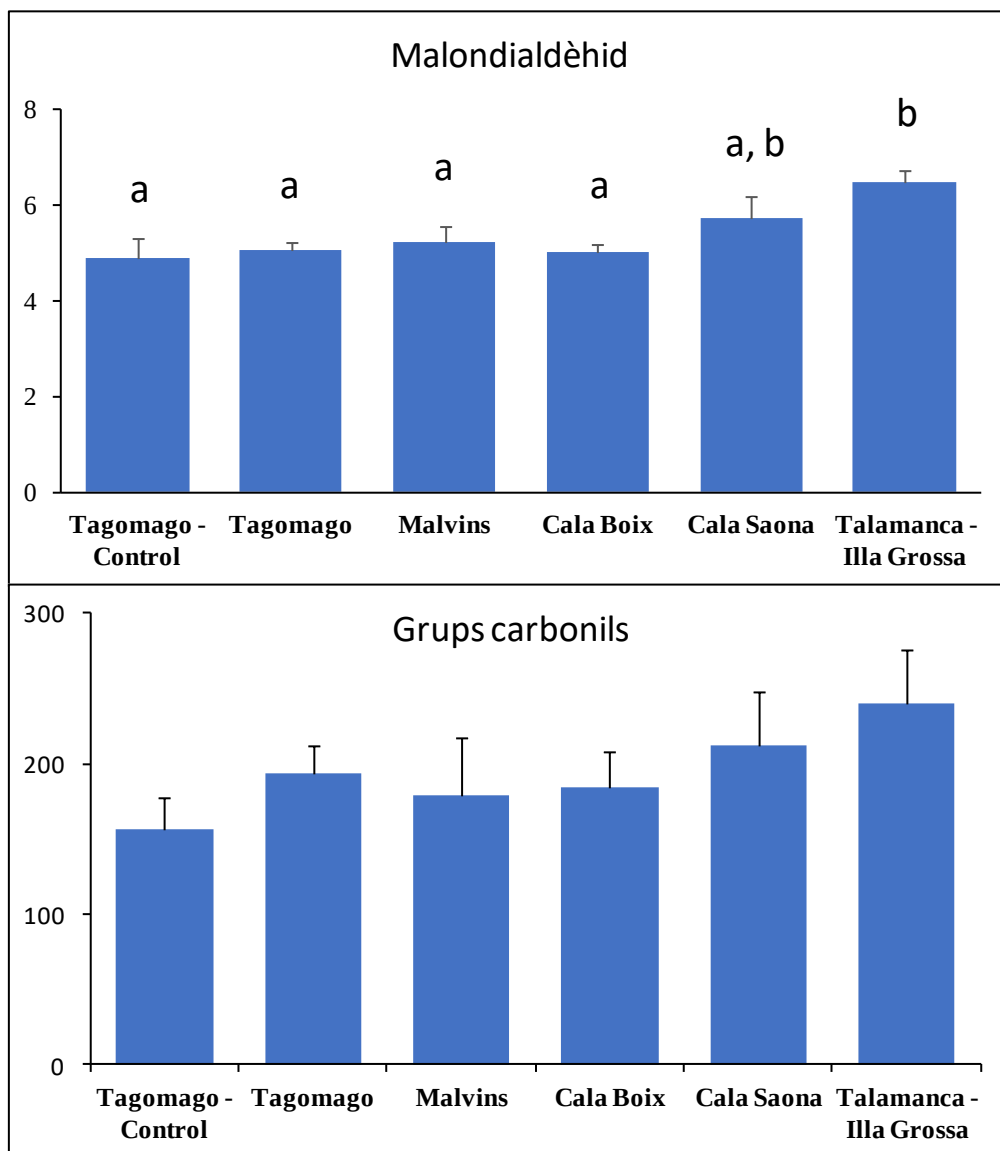


Figura 7. Nivells de MDA (uM/mg de proteïna) i de grups carbonils (mmol/mg de proteïna) a les fulles de la *P. oceanica* recollida a 6 zones diferents de les Pitiüses. Anàlisi estadístic: ANOVA d'un factor; diferents lletres indiquen diferències significatives amb $p < 0,05$.

L'activitat de l'enzim detoxificador de fase II, GST, es mostra a la figura 8. Els resultats posen de rellevància un augment considerable de l'activitat a les zones de Talamanca i de Cala Saona quan es comparen amb la resta de zones estudiades ($p < 0,005$). Malgrat els valors són més elevats en el cas de Talamanca, aquests no arriben a ser significatius respecte a Cala Saona ($p = 0,273$).

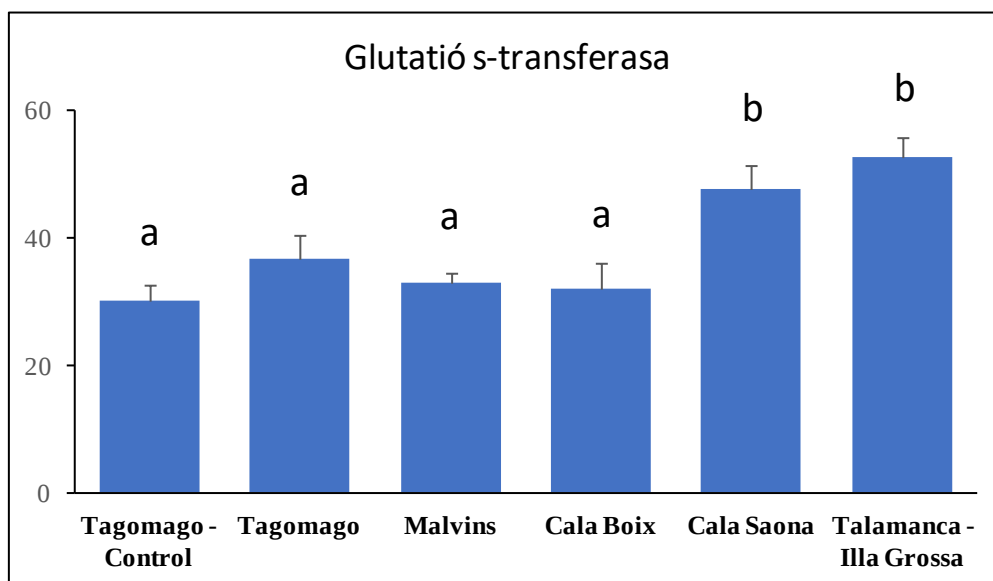


Figura 8. Activitat GST (nKat / mg de proteïna) a les fulles de la *P. oceanica* recollida a 6 zones diferents de les Pitiüses. Anàlisi estadístic: ANOVA d'un factor; diferents lletres indiquen diferències significatives amb $p < 0,05$.

Discussió

Les praderies de *P. oceanica* són un patrimoni natural a protegir al llarg de tot el litoral de les Illes Balears. Les praderies que conforma aquesta planta són la principal comunitat del litoral mediterrani que és caracteritzada per uns elevats nivells de productivitat, nombrosa biodiversitat i per la seva importància en la protecció i estabilitat de la línia de costa. De fet, la *P. oceanica* és la fanerògama marina més característica del mar Mediterrani, però a l'hora, és molt susceptible a les perturbacions que es produeixen al medi ambient que l'envolta (Marbà et al 2002).

Actualment hi ha un gran interès en l'ús d'organismes vius com a biomonitors de la presència d'agents disruptors en els ecosistemes aquàtics. La majoria d'aquests estudis es basen en l'ús de bivalves engabiats, sobretot el *Mytilus galloprovincialis* (Andral et al 2004). La *P. oceanica* presenta l'avantatge de la seva gran distribució natural a totes les costes de la Mediterrània, el que la fa molt adequada per estudis de monitorització i com indicador de la qualitat de les aigües (López-Royo et al 2010). A Europa, amb l'adopció de la Directiva de marc de l'aigua de la UE, el control d'angiospermes (per tant, les fanerògames marines a les aigües costaneres) de manera estructurada s'ha convertit en un requisit legal (CE 2000). A més, la Directiva d'Estratègia Marina de la UE (CE 2008), que també requereix un control de les fanerògames marines, posa més èmfasi en aquests aspectes. Per tant i, en aquest context, és important que el seguiment de les fanerògames marines s'associï a una comprensió clara de les característiques dels indicadors de l'espècie i de les seves respostes a les perturbacions a nivell eco-regional. En aquest sentit, existeixen tota una sèrie d'estudis que posen en evidència els efectes negatius que tenen sobre la posidònia de diferents agents estressants. Per exemple, la presència de l'alga vermella invasora *Lophocladia lallemandii* provoca una disminució en la densitat de fulles, així com l'activació dels mecanismes de defensa antioxidant però que no eviten un augment en la peroxidació de lípids (Sureda et al 2008). A més, altres estudis han posat que manifest que la presència de contaminants com poden ser metalls pesants, hidrocarburs aromàtics policíclics o aigua hipersalina derivada d'una dessaladora també són

capaços d'induir una situació d'estrès oxidatiu a *P. oceanica* (Capó et al 2020; Apostolopoulou et al 2014; Ferrat et al 2002).

Les arts de tir són arts de pesca tradicionals que es caracteritzen pel fet sempre es calen als mateixos llocs i la seva utilització s'assigna per mitjà de sorteig. Així, al tractar-se de punts de pesca amb caladors fixos és important conèixer el seu estat ambiental per optimitzar la seva gestió i evitar en tot el possible les activitats externes que les puguin afectar. Els resultats obtinguts en el present estudi posen de manifest que aquelles zones a priori considerades amb baix impacte antròpic – Tagomago (control), Cala Boix, Tagomago i Malvins - presenten valors dels diferents biomarcadors d'estrès oxidatiu molt semblant entre ells i menors que les zones considerades amb un major impacte – Cala Saona i Talamanca -. L'estat antioxidant cel·lular s'utilitza de forma ubiqua per avaluar la capacitat dels organismes per respondre a una situació d'estrès ambiental (Yang i Lee 2015). Els enzims antioxidants tenen un paper important dintre dels sistemes de defensa cel·lular en front a situacions que poden generar un estrès fisiològic i protegeixen dels danys oxidatius. L'augment de les activitats de CAT, SOD, GPX i GR està relacionat amb la major producció de EROS, que seran detoxificats com a resultat de les reaccions antioxidants i, per tant, s'evitarà que puguin actuar sobre biomolècules cel·lulars. La temperatura, la salinitat, els metalls pesants i els contaminants orgànics són importants factors d'estrès ambiental que poden induir l'activació de mecanismes antioxidants en diverses espècies (Pumama et al 2019; Monserrat et al 2007). Les majors activitats observades sobretot a Talamanca indiquen l'existència de factors que generen un estrès oxidatiu a la *P. oceanica*, la qual respon amb una activació dels seus mecanismes de defensa. A la zona de Talamanca hi destaquen els fondejos que poden dur a terme una ruptura mecànica de les praderies per l'acció de les àncores i provocar una disrupció tissular. A més, a la zona també s'hi troba una dessaladora que allibera al mar una solució hipersalina així com un emissari submarí ambdós amb capacitat de provocar un estrès sobre els organismes exposats (Capó et al 2020). A la zona de Cala Saona, el principal problema vendria de la gran concentració d'embarcacions fondejades que a més dels efectes associats a les àncores poden ser origen de gran quantitat de residus i subproductes de la combustió dels motors. De forma addicional es veu que els nivells de GSH, essencial pel cicle d'activitat de la GPX al actuar com a cofactor, es veu també augmentat a les zones més impactades, el que reforça i garanteix la resposta antioxidant

activada. De forma semblant, estudis previs han observat nivells més elevats de GSH a *P. oceanica*, i a altres fanerògames marines (*Thalassia testudinum*, *Zostera marina*), exposada a zones altament industrialitzades o a metalls pesants (Greco et al 2019; Alvarez-Legorreta et al 2008; Ferrat et al 2003). En canvi, els polifenols, com a antioxidants no enzimàtics, no es veuen modificats de forma significativa, el que indicaria que en el present cas, la planta ha respost principalment activant els mecanismes enzimàtics. D'acord amb aquest resultat, en un estudi previ, vam observar com els polifenols només es veien incrementats en *P. oceanica* en mostres que estaven gairebé sobre la sortida al mar de la dessaladora, mentre que ja una mica més lluny aquesta activació ja no era evident (Capó et al 2020).

De totes formes, la activació del sistema antioxidant no deixa de ser una resposta adaptativa present en tots els organismes vius, i per tant, no seria indicativa d'un dany important als organismes. En aquest sentit, els marcadors de dany oxidatiu permeten completar aquesta informació ja que els seus nivells es veuen augmentats si els mecanismes antioxidants es veuen sobrepassats. Així, els resultats obtinguts únicament mostres un lleuger augment, encara que significatiu, al MDA a la zona de Talamanca, mentre que els grups carbonils es mantenen sense canvis. Els nivells de MDA entre la zona control (Porroig) i Talamanca són del 30%, que poden considerar-se com relativament baixos ja que en altres estudis els augments induïts per una situació estressant poden apropar-se o inclús superar el 100% (Capó et al 2020; Sureda et al 2008). Tot plegat, posen de manifest que a la zona de Talamanca el nivell d'estrès oxidatiu a la que es veuen sotmeses les praderies de *P. oceanica* són suficients per induir un cert dany oxidatiu. També cal tenir en consideració que, malgrat a Cala Saona els marcadors de dany no són significatius, sí que tenen una tendència a l'alça i per tant seria important evitar que poguessin seguir en augment.

Finalment, destacar els canvis observats a l'enzim de detoxificació GST a les mostres recollides a Talamanca i Cala Saona. Es pot veure de forma evident con la seva activitat augmenta de forma important, el que indicaria la presència d'elements potencialment tòxics que la planta es veu obligada a metabolitzar i eliminar. La GST s'encarrega de conjuguar una molècula de GSH al tòxic que es vol eliminar per fer-lo soluble i a l'hora eliminar el seu potencial tòxic. L'activitat elevada de la GST, juntament amb l'increment dels enzims antioxidants, pot indicar que les condicions on resideixen les mostres recollides a Talamanca i Cala Saona provoquen un

augment dels productes d'oxidació, que posteriorment es pugui desintoxicar mitjançant la GST activitat. Existeixen nombrosos estudi que posen de manifest la inducció dels enzims de detoxificació davant una exposició a una gran varietat d'agents estressants como poden ser hidrocarburs, pesticides o plastificants (Pérez-Albaladejo et al 2020; Higgins i Hayes 2011). A *P. oceanica* s'ha observat com mostres recollides en zones portuàries de les Illes Balears i també un estrés salí són també capaços d'induir una activació de l'activitat GST (Capó et al 2020; Guardiola Perelló 2019).

Conclusions

Els presents resultats posen de manifest com la utilització de biomarcadors d'estrès oxidatiu – antioxidants i dany oxidatiu – i de detoxificació permeten posar en evidència canvis en l'estat fisiològic de les praderies de *P. oceanica*. Les zones més afectades per l'acció antròpica, Talamanca i Cala Saona, presenten uns nivells més elevats del enzims antioxidants, GSH i GST que les zones amb menys afecció, el que indicaria que hi ha algun element disruptor en aquestes zones com poden ser els fondejos, presència d'una dessaladora i emissaris. Malgrat això, els marcadors de dany oxidatiu es mantenen bastant estables i únicament es veu incrementat el MDA a la zona de Talamanca. Finalment, destacar que les arts de tir, veient l'absència de variacions en els biomarcadors entre la zona control i les no impactades per acció antròpica (fondejos, dessaladora, emissaris), no tenen un impacte significatiu damunt les praderies de posidònia. En definitiva, els marcadors utilitzats són eines útils que poden contribuir a conèixer i fer un seguiment de l'estat de salut de la *P. oceanica*. A més, és important determinar les causes d'origen que provoquen l'augment dels biomarcadors per poder trobar solucions adequades o almenys evitar que vagin en augment.

Referències

- Alvarez-Legorreta, T., Mendoza-Cozatl, D., Moreno-Sanchez, R., Gold-Bouchot, G. 2008. Thiol peptides induction in the seagrass *Thalassia testudinum* (Banks ex König) in response to cadmium exposure. *Aquatic Toxicology*, 86(1), 12-19.
- Andral, B., Stanisiere, J. Y., Sauzade, D., Damier, E., Thebault, H., Galgani, F., & Boissery, P. 2004. Monitoring chemical contamination levels in the Mediterranean based on the use of mussel caging. *Marine pollution bulletin*, 49(9-10), 704–712.
- Apostolopoulou, M. V., Monteyne, E., Krikonis, K., Pavlopoulos, K., Roose, P., Dehairs, F. 2014. Monitoring polycyclic aromatic hydrocarbons in the Northeast Aegean Sea using *Posidonia oceanica* seagrass and synthetic passive samplers. *Marine pollution bulletin*, 87(1-2), 338-344.
- Bellisario, B., Camisa, F., Abbattista, C., Cimmaruta, R. 2019. A network approach to identify bioregions in the distribution of Mediterranean amphipods associated with *Posidonia oceanica* meadows. *PeerJ*, 7, e6786.
- Campagne, C. S., Salles, J. M., Boissery, P., Deter, J. 2015. The seagrass *Posidonia oceanica*: ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine pollution bulletin*, 97(1-2), 391-400.
- Capó, X., Tejada, S., Ferriol, P., Pinya, S., Mateu-Vicens, G., Montero-González, I., Box, A., Sureda, A. 2020. Hypersaline water from desalinization plants causes oxidative damage in *Posidonia oceanica* meadows. *The Science of the total environment*, 736, 139601.
- Dauby, P., Bale, A. J., Bloomer, N., Canon, C., Ling, R. D., Norro, A., Frankignoulle, M. 1995. Particle fluxes over a Mediterranean seagrass bed: a one-year case study. *Marine Ecology Progress Series*, 126, 233-246.
- David Josephy, P., Peter Guengerich, F., Miners, J. O. 2005. Phase I and Phase II drug metabolism: terminology that we should phase out? *Drug metabolism reviews*, 37(4), 575-580.
- Dos Santos, R. N., Machado, B. R., Hefler, S. M., Zanette, J. 2021. Glutathione S-transferase activity in aquatic macrophytes and halophytes and biotransformation potential for biocides. *Journal of plant research*, 134(3), 577-584.
- Duarte, C.M. 2003. Towards Improved Understanding of The Status, ecology and conservation seagrass (*Posidonia oceanica* L. Delile) meadows the Balearic Islands. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 46, 15–19.
- Duarte C.M., Middelburg J.J. Caraco N. 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeoscience*, 2: 1-8.

EC (2000). DIRECTIVE 2000/60/EC of the European parliament and of the council, of 23 October 2000, establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Commission, G.U.C.E. 22/12/2000, L 327.

EC (2008). DIRECTIVE 2008/56/EC of the European parliament and of the council, of 17 June 2008, establishing a framework for Community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). Official Journal of the European Commission, G.U.C.E. 25/6/2008, L 164/19.

El Din, N. G. S., El-Sherif, Z. M. 2013. Nutritional value of *Cymodocea nodosa* and *Posidonia oceanica* along the western Egyptian Mediterranean coast. The Egyptian Journal of Aquatic Research, 39(3), 153-165.

Espinosa-Diez C, Miguel V, Mennerich D, Kietzmann T, Sánchez-Pérez P, Cadenas S, et al. 2015. Antioxidant responses and cellular adjustments to oxidative stress. Redox Biology, 6:183–97.

Ferrat, L., Gnassia-Barelli, M., Pergent-Martini, C., Romeo, M. 2003. Mercury and non-protein thiol compounds in the seagrass *Posidonia oceanica*. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 134(1), 147-155.

Ferrat, L., Romeo, M., Gnassia-Barelli, M., & Pergent-Martini, C. 2002. Effects of mercury on antioxidant mechanisms in the marine phanerogam *Posidonia oceanica*. Diseases of aquatic organisms, 50(2), 157-160.

Frascchetti, S., Guarnieri, G., Bevilacqua, S., Terlizzi, A., Boero, F. 2013. Protection enhances community and habitat stability: evidence from a Mediterranean Marine Protected Area. PLoS One, 8(12), e81838.

Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Serrano, O. 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. Nature geoscience, 5(7), 505-509.

Guardiola Perelló, M. (2019). Avaluació de l'estat fisiològic de la *Posidonia oceanica* a zones portuàries mitjançant biomarcadors d'estrès oxidatiu. TFG amb data de dipòsit 2019-09-25.

Halliwell B, Gutteridge J. Free Radicals in Biology and Medicine. Fifth Edit. Oxford, UK: Oxford University Press; 2015.

Hendriks, I. E., Olsen, Y.S, Ramajo, L., Basso, L., Steckbauer, A. et al. 2015. Photosynthetic activity buffers ocean acidification in seagrass meadows. Biogeosciences, 11: 333-346.

Higgins, L. G., Hayes, J. D. 2011. Mechanisms of induction of cytosolic and microsomal glutathione transferase (GST) genes by xenobiotics and pro-inflammatory agents. Drug metabolism reviews, 43(2), 92-137.

Iyanagi, T. 2007. Molecular mechanism of phase I and phase II drug-metabolizing enzymes: implications for detoxification. *International review of cytology*, 260, 35-112.

Kubiliene, L., Laugaliene, V., Pavilonis, A., Maruska, A., Majiene, D., Barauskaite, K., et al., 2015. Alternative preparation of propolis extracts: comparison of their composition and biological activities. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 15, 015–0677.

López-Royo, C. L., Pergent, G., Pergent-Martini, C., & Casazza, G. 2010. Seagrass (*Posidonia oceanica*) monitoring in western Mediterranean: implications for management and conservation. *Environmental monitoring and assessment*, 171(1), 365-380.

Marbà, N., Duarte, C. M., Holmer, M., Martínez, R., Basterretxea, G., Orfila, A., Tintoré, J. 2002. Effectiveness of protection of seagrass (*Posidonia oceanica*) populations in Cabrera National Park (Spain). *Environmental Conservation*, 29(4), 509-518.

Mateo, M. Á., Sanchez-Lizaso, J. L., Romero, J. 2003. *Posidonia oceanica* 'banquettes': a preliminary assessment of the relevance for meadow carbon and nutrients budget. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(1), 85-90.

Mirończuk-Chodakowska I, Witkowska AM, Zujko ME. 2018. Endogenous non-enzymatic antioxidants in the human body. *Advances in Medical Sciences* 6368–78.

Monserat, J. M., Martínez, P. E., Geracitano, L. A., Amado, L. L., Martins, C. M. G., Pinho, G. L. L., Bianchini, A. 2007. Pollution biomarkers in estuarine animals: critical review and new perspectives. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 146(1-2), 221-234.

Orth, R. J., Carruthers, T. J., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Williams, S. L. 2006. A global crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience*, 56(12), 987-996.

Pérez-Albaladejo, E., Solé, M., & Porte, C. 2020. Plastics and plastic additives as inducers of oxidative stress. *Current Opinion in Toxicology*, 20-21, 69-76.

Purnama, P. R., Hariyanto, S., Manuhara, Y. S. W., Purnobasuki, H. 2019. Gene expression of antioxidant enzymes and heat shock proteins in tropical seagrass *Thalassia hemprichii* under heat Stress. *Taiwania: International Journal of Biodiversity*, 64(2), 117-123.

Sureda, A., Tejada, S., Capo, X., Melia, C., Ferriol, P., Pinya, S., et al., 2017. Oxidative stress response in the seagrass *Posidonia oceanica* and the seaweed *Dasycladus vermicularis* associated to the invasive tropical green seaweed *Halimeda incrassata*. *The Science of the Total Environment*, 602, 918–925.

Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzone, G., Apostolaki, E. T., Frascchetti, S., Salomidi, M. 2015. Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. Scientific reports, 5(1), 1-14.

Sureda, A., Box, A., Terrados, J., Deudero, S., Pons, A. 2008. Antioxidant response of the seagrass *Posidonia oceanica* when epiphytized by the invasive macroalgae *Lophocladia lallemandii*. Marine environmental research, 66(3), 359–363.

Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Williams, S. L. 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. Proceedings of the national academy of sciences, 106(30), 12377-12381.

Vasarri, M., De Biasi, A. M., Barletta, E., Pretti, C., Degl'Innocenti, D. 2021. An Overview of New Insights into the Benefits of the Seagrass *Posidonia oceanica* for Human Health. Marine Drugs, 19(9), 476.

Yang, H. Y., Lee, T. H. 2015. Antioxidant enzymes as redox-based biomarkers: a brief review. BMB reports, 48(4), 200.