

**Títol del Treball:**

**Estudi de la condició i l'efecte del canvi climàtic en les tenasses de *Lithophyllum byssoides* al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter**

Estudiant: Erola Camps Ricart

Correu electrònic: [erola.camps6@gmail.com](mailto:erola.camps6@gmail.com)

Grau en Biologia

Tutor acadèmic: Josep Maria Bas Lay

Correu electrònic: [josep.bas@udg.edu](mailto:josep.bas@udg.edu)

Cotutor director: Bernat Hereu Fina

Correu electrònic: [hereu@ub.edu](mailto:hereu@ub.edu)

Institució: Universitat de Barcelona

Data de dipòsit de la memòria a través de la plataforma de TFG: 7 de juny de 2024

# ÍNDEX

RESUM.....	i
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT .....	iii
REFLEXIONS SOBRE ÈTICA, SOSTENIBILITAT I GÈNERE .....	iv
Reflexió sobre ètica.....	iv
Reflexió sobre sostenibilitat.....	iv
Reflexió sobre perspectiva de gènere .....	iv
1. INTRODUCCIÓ .....	1
2. OBJECTIVES .....	4
3. METODOLOGIA .....	5
3.1 Àrea d'estudi .....	5
3.2 Metodologia de mostreig .....	6
3.3 Anàlisi de la condició de <i>Lithophyllum byssoides</i> .....	7
3.4 Variables ambientals a l'àrea d'estudi .....	11
3.5 Sèries temporals i dades de canvi climàtic .....	12
3.6 Anàlisi estadístiques .....	13
4. RESULTATS.....	14
4.1 Condició de <i>Lithophyllum byssoides</i> .....	14
4.2 Importància de l'hàbitat en la condició de <i>L. byssoides</i> .....	15
4.3 Evolució temporal del LCI i canvi climàtic.....	16
5. DISCUSSIÓ.....	20
5.1 Condició de <i>Lithophyllum byssoides</i> .....	20
5.2 Importància de l'hàbitat en la condició de <i>L. byssoides</i> .....	22
5.3 Evolució temporal del LCI i canvi climàtic.....	23
6. CONCLUSIONS .....	26
7. BIBLIOGRAFIA.....	27

## RESUM

L'alga vermella *Lithophyllum byssoides* és un dels enginyers ecosistèmics més importants dels hàbitats litorals marins. Uns centímetres per sobre del nivell del mar forma bioconstruccions calcàries anomenades tenasses que són refugi de gran diversitat d'invertebrats i algues. Actualment però, les tenasses de *L. byssoides* es troben en regressió a la costa nord-occidental del Mediterrani. Les causes d'aquesta regressió poden ser múltiples, des de la contaminació de l'aigua fins a efectes lligats al canvi climàtic com la pujada del nivell del mar i l'augment de la temperatura de l'aigua.

En aquest treball s'avalua l'estat de les poblacions de *L. byssoides* a la costa del Montgrí i de les Illes Medes, dins del Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter. A partir del mostreig de les tenasses i la posterior determinació en categories s'ha trobat que més de dos terços del *L. byssoides* està blanquejat o trencat. En l'avaluació de les variables ambientals que determinen l'estat de les tenasses de *L. byssoides* ha resultat significativa l'orientació de les tenasses, probablement relacionada amb una major o menor insolació i amb l'hidro dinamisme que rep. A partir del càlcul del *Lithophyllum Condition Index (LCI)* s'han pogut comparar els nivells actuals amb els de mostres d'anys anteriors. El *LCI* actual és significativament més baix que el calculat pel 2017, amb una reducció d'una quarta part de la proporció de *L. byssoides* viu en tan sols sis anys. Amb les dades de la temperatura de l'aigua i del nivell del mar a la zona estudiada s'ha pogut relacionar de manera significativa els valors de l'*LCI* amb l'augment del nivell del mar.

Ens trobem doncs davant d'un dels efectes del canvi climàtic a l'ecosistema marí, les polítiques de gestió locals són insuficients per donar resposta a un canvi tan general com és la ràpida pujada del nivell del mar que estem patint en les darreres dècades. Caldrien polítiques a gran escala per aturar la desaparició d'aquestes bioconstruccions centenàries si no mil·lenàries que caracteritzen la costa rocosa del Mediterrani occidental.

## RESUMEN

El alga roja *Lithophyllum byssoides* es uno de los ingenieros ecosistémicos más importantes de los hábitats litorales marinos. A unos centímetros por encima del nivel del mar, forma bioconstrucciones calcáreas conocidas como cornisas que sirven de refugio para una gran diversidad de invertebrados y algas. Sin embargo, las cornisas de *L. byssoides* están actualmente en regresión en la costa noroccidental del Mediterráneo. Las causas de esta regresión pueden ser múltiples, desde la contaminación del agua hasta efectos relacionados con el cambio climático, como el aumento del nivel del mar y la temperatura del agua.

En este trabajo se evalúa el estado de las poblaciones de *L. byssoides* en la costa del Montgrí y de las Islas Medas, dentro del Parque Natural del Montgrí, Illes Medes y Baix Ter. A partir del muestreo de las cornisas y su posterior clasificación en categorías, se ha encontrado que más de dos tercios de *L. byssoides* están blanqueados o rotos. En la evaluación de las variables ambientales que determinan el estado de las cornisas de *L. byssoides*, ha resultado significativa la orientación de las cornisas, probablemente relacionada con una mayor o menor insolación y con el oleaje que reciben. A partir del cálculo del *Lithophyllum Condition Index (LCI)*, se han podido comparar los niveles actuales con los de muestreos de años anteriores. El *LCI* actual es significativamente más bajo que el calculado para 2017, con una reducción de una cuarta parte de la proporción de *L. byssoides* vivo en tan solo seis años. Con los datos de la temperatura del agua y del nivel del mar en la zona estudiada, se ha podido relacionar de manera significativa los valores del *LCI* con el aumento del nivel del mar.

Nos encontramos, por tanto, ante uno de los efectos del cambio climático en el ecosistema marino. Las políticas de gestión locales son insuficientes para dar respuesta a un cambio tan general como es la rápida subida del nivel del mar que estamos sufriendo en las últimas décadas. Serán necesarias políticas a gran escala para evitar la desaparición de estas bioconstrucciones centenarias o milenarias que caracterizan la costa rocosa del Mediterráneo occidental.

## ABSTRACT

The red algae *Lithophyllum byssoides* is one of the most important ecosystem engineers in marine coastal habitats. Just a few centimetres above sea level, it forms calcareous bioconstructions known as rims which provide shelter for a great diversity of invertebrates and algae. However, the *L. byssoides* rims are currently in decline along the northwestern Mediterranean coast. The causes of this regression can be multiple, ranging from water pollution to climate change-related effects such as rising sea levels and increasing water temperatures.

This study evaluates the status of *L. byssoides* populations along the Montgrí coast and the Medes Islands, within the Natural Park of Montgrí, Illes Medes i Baix Ter. Through the sampling of the rims and subsequent categorization, it was found that more than two-thirds of *L. byssoides* are either bleached or broken. The evaluation of environmental variables determining the state of *L. byssoides* rims showed that their orientation was a significant factor, likely related to varying levels of sunlight exposure and hydrodynamic conditions they receive. By calculating the *Lithophyllum Condition Index (LCI)*, current levels were compared with those from previous samplings. The current *LCI* is significantly lower than that calculated for 2017, with a reduction of one-quarter in the proportion of living *L. byssoides* in just six years. With water temperature and sea level data from the studied area, a significant relationship was established between *LCI* values and rising sea levels.

We are facing one of the effects of climate change on the marine ecosystem. Local management policies are insufficient to address a change as widespread as the fast sea level rise experienced in recent decades. Large-scale policies will be necessary to prevent the disappearance of these centuries-old, if not millennia-old, bioconstructions that characterize the rocky coast of the western Mediterranean.

# REFLEXIONS SOBRE ÈTICA, SOSTENIBILITAT I GÈNERE

## Reflexió sobre ètica

El mostreig de *Lithophyllum byssoides* implica l'ascensió a la tenassa. Durant aquest ascens és possible que es malmeti part de la superfície de l'alga. El conflicte ètic és que el mostreig causa un impacte en el sistema si no mostregéssim es reduiria un dels seus impactes. Penso que el seguiment de les espècies clau dins els parcs naturals és una prioritat, ja que d'aquesta manera podem assegurar-nos una bona gestió dels parcs naturals i eficiència en els recursos emprats per a la conservació d'aquests sistemes. S'hauria de trobar la manera de fer que el mostreig de *L. byssoides* fos menys invasiu, la utilització de drons teledirigits per a capturar les imatges de les tenasses seria una alternativa que reduiria al mínim l'impacte de l'equip mostrejador.

## Reflexió sobre sostenibilitat

L'objectiu número 14 de l'agenda d'objectius de desenvolupament sostenible del 2030 de les Nacions Unides és la conservació i la utilització sostenible dels oceans, mars i recursos marins per a garantir un desenvolupament sostenible. La gestió dels parcs naturals de Catalunya es basa en la gestió adaptativa, es defineix per ser flexible als canvis que hi hagi en els sistemes naturals del parc. Requereix un estudi al llarg del temps dels sistemes per tal d'avaluar el seu estat. D'aquesta manera les accions a aplicar-hi corresponen a l'estat actual del parc natural i poden adaptar-se en funció de l'evolució dels sistemes. L'estudi de comunitats del litoral és una peça clau per a garantir la conservació dels sistemes marins en el context actual de canvi climàtic.

## Reflexió sobre perspectiva de gènere

El paper de la dona en la ciència ha sigut llargament infravalorat, és el conegut efecte Matilda. Tot i que actualment hi ha hagut un progrés important cap a una societat igualitària estem lluny d'aconseguir-la. Les dones es troben poc representades i fins i tot excloses en la presa de decisions en les organitzacions de conservació de la natura i de la gestió dels recursos naturals (M. S. Jones i Solomon, 2019). Estudis en el camp de la conservació han demostrat que els rols de gènere continuen perpetuant-se dins de les mateixes organitzacions científiques i ecologistes (Mahour, 2016). Les dones tendeixen a ocupar càrrecs administratius mentre que els homes ocupen les posicions de lideratge i de treball de camp (M. S. Jones i Solomon, 2019; Westberg i Powell, 2015). En el context del meu treball, del grup d'investigadors que duen a terme el seguiment marí la meitat són dones, evitant així la perpetuació d'estereotips de gènere.

# 1. INTRODUCCIÓ

La conca Mediterrània és un dels 25 “Hot spots” de biodiversitat a nivell mundial (Myers *et al.*, 2000), amb més de 20.000 espècies registrades a nivell marí (Coll *et al.*, 2010). Tot i això, els sistemes costaners del mar Mediterrani han estat explotats pels humans des de fa mil·lennis, això fa que s’hagin vist àmpliament alterats. En l’actualitat les costes mediterrànies estan altament urbanitzades i suporten una densitat de població molt elevada, fent que els impactes de les activitats humanes al Mediterrani siguin proporcionalment majors als de cap altre mar del món (Coll *et al.*, 2010).

Les principals amenaces a les quals s’enfronten aquests sistemes són la pèrdua d’hàbitat, la degradació i la contaminació així com la introducció d’espècies invasores (Coll *et al.*, 2010). En les pròximes dècades tots aquests impactes coincidiran i interaccionaran amb els efectes del canvi climàtic (Rindi *et al.*, 2019). S’ha vist, a partir de models climàtics, que la conca mediterrània serà una de les regions més afectades per l’augment de temperatura global i l’increment d’episodis climàtics extrems (Galli *et al.*, 2017; Lejeusne *et al.*, 2010).

Una de les eines més importants en la gestió del medi marí per a garantir la conservació de la biodiversitat són les Àrees Marines Protegides (MPAs) (Grorud-Colvert *et al.*, 2021). A causa de l’efecte sinèrgic que té l’augment de la temperatura del mar amb altres impactes d’origen antropogènic (Gissi *et al.*, 2021) és molt important la protecció d’espais naturals en el context actual.

A la costa catalana, el Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter està integrat per àrees amb diferents nivells de protecció i comprèn una de les reserves marines més emblemàtiques de la Mediterrània. És per això que des de l’any 1990 i de manera anual es realitza un programa de seguiment marí per avaluar l’estat de la reserva i quines són les tendències de les seves poblacions (Hereu *et al.*, 2023).

El programa de Seguiment de la biodiversitat marina als espais marins protegits de Catalunya està coordinat des de la Universitat de Barcelona i és encarregat i finançat pel Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya. El seguiment de totes les espècies i hàbitats marins litorals que es troben en aquests espais és impossible tant a nivell logístic com econòmic. És per això que el programa de seguiment es centra en algunes espècies i hàbitats marins concrets, aquestes es tracten de peces clau en la xarxa tròfica, han sigut objectiu de pesca intensiva, són elements d’alt atractiu turístic o pateixen certa regressió per causes lligades al canvi climàtic. Una de les

espècies que s'utilitza com a indicadora de l'estat de la reserva és l'alga calcària *Lithophyllum byssoides* (Lamarck, 1900) que es va incorporar al seguiment l'any 2017.

*L. byssoides* és una macroalga vermella de l'ordre de les *Corallinales*. Les algues d'aquest ordre es troben entre els enginyers ecosistèmics més importants en els hàbitats litorals marins (Pezzolesi *et al.*, 2017). Els enginyers ecosistèmics són organismes que modifiquen, creen o mantenen hàbitats utilitzats per a altres organismes (Jones *et al.*, 1994). Per aquesta raó, els enginyers ecosistèmics són l'objectiu de molts plans de conservació ja que assegurant el bon estat d'aquests organismes es protegeixen moltes altres espècies associades i nombroses funcions ecosistèmiques (Crain i Bertness, 2006).

*L. byssoides* és un enginyer ecosistèmic comú a la costa del mar Mediterrani i també a la costa Atlàntica de la península Ibèrica, on forma estructures tridimensionals comunament anomenades *trottoir* o tenasses les quals acullen una gran diversitat algal i d'invertebrats marins (Blanfuné *et al.*, 2023). Al Mediterrani, la distribució d'aquesta espècie està limitada a la zona mediolitoral on predomina a les superfícies rocoses amb pendents verticals o semi verticals (Veiga *et al.*, 2013).

Les bioconstruccions de *L. byssoides* a l'estar limitades a les zones mediolitorals de la costa, i en ser intolerants a la immersió prolongada són utilitzades com a indicadors de condicions estables del nivell del mar durant llargs períodes de temps (Verlaque, 2010). A la costa catalana les tenasses de *L. byssoides* es consideren rares. Les trobem només al nord de la desembocadura de la Tordera i són especialment abundants a la costa de l'Estartit fins a la Cala Montgó a l'Escala (Carreras *et al.*, 2018). A la costa del Montgrí i a les Illes Medes és on trobem més bona representació d'aquest sistema, pel grau de desenvolupament i l'estat de conservació que presenta (Hereu *et al.*, 2010).

Les tenasses de *Lithophyllum byssoides* actualment es troben en regressió (Thibaut *et al.*, 2013). La degradació d'aquest sistema pot ser deguda a un llarg nombre de factors. En primer lloc, *L. byssoides* és sensible a la terbolesa i la contaminació de l'aigua, especialment per hidrocarburs (Boudouresque, 2004). També es veu afectat pel trepig que, tot i no ser freqüent a causa de la inaccessibilitat d'algunes tenasses, s'ha de tenir en compte, així com l'impacte d'objectes flotants, que també pot generar danys similars als del trepig (Blanfuné *et al.*, 2023).

Altres signes de degradació són atribuïts al canvi climàtic, per una banda la pujada del nivell del mar degut al desglaç dels pols pot afectar-lo negativament, ja que el desenvolupament de les tenasses de *trottoir* està estrictament lligat a condicions estables del nivell del mar o de pujades lentes i prolongades en el temps (Boudouresque,



2004). La pujada del nivell de l'aigua també fa que la superfície de la tenassa de *Lithophyllum byssoides* sigui colonitzada per algues coral·linals articulades com *Ellisolandia elongata* (J.Ellis i Solander, 2013) (Blanfuné *et al.*, 2023).

En condicions d'alta intensitat de llum i assecament les bioconstruccions de *Lithophyllum byssoides* passen a ser de color blanc (Verlaque, 2010). S'ha relacionat la pujada de la temperatura de l'aigua del mar amb l'emblanquiment de l'ordre de les *Corallinales* (Anthony *et al.*, 2008; Guy-Haim *et al.*, 2016), l'impacte que pot tenir aquesta pujada de la temperatura així com les onades de calor marines en les construccions de *Lithophyllum byssoides* encara és poc estudiat. D'altra banda, l'acidificació de l'aigua deguda a l'augment de CO<sub>2</sub> atmosfèric afecta de manera negativa les bioconstruccions calcàries podent afectar les tenasses de *L. byssoides* (Veiga *et al.*, 2013).

Així doncs, tot i la seva notable funció com a enginyers ecosistèmics i la seva importància en la conservació de la biodiversitat del litoral marí, les tenasses de *Lithophyllum byssoides* es troben sota l'amenaça del canvi climàtic i sota una forta pressió antropogènica. Els efectes que poden derivar dels quals encara són poc coneguts. És per això que és de gran importància fer un seguiment d'aquesta espècie com a peça clau en l'ecosistema litoral, com es proposa en el present treball conèixer la seva dinàmica i les respostes als canvis ambientals és fonamental per a poder adaptar la gestió de les reserves marines i garantir-ne la conservació.

## 2. OBJECTIVES

The aim of this study is to evaluate the condition of *Lithophyllum byssoides* bioconstructions on the natural parc of Montgrí i Illes Medes, and to test the relationship between this condition and the environmental parameters of the sites, in order to determine whether the level of protection of the site plays a significant role in the status of this species.

Using data from previous studies, we will test how sea level rise and the increase of the water temperature affect the bleaching of *Lithophyllum byssoides* rims. This will help us to determine the effect of global change on this community.

The objectives are:

- Evaluate the importance of the habitat in the condition of *L. byssoides*.
- Determine the tendency of the *L. byssoides* population in the context of global change.

## 3. METODOLOGIA

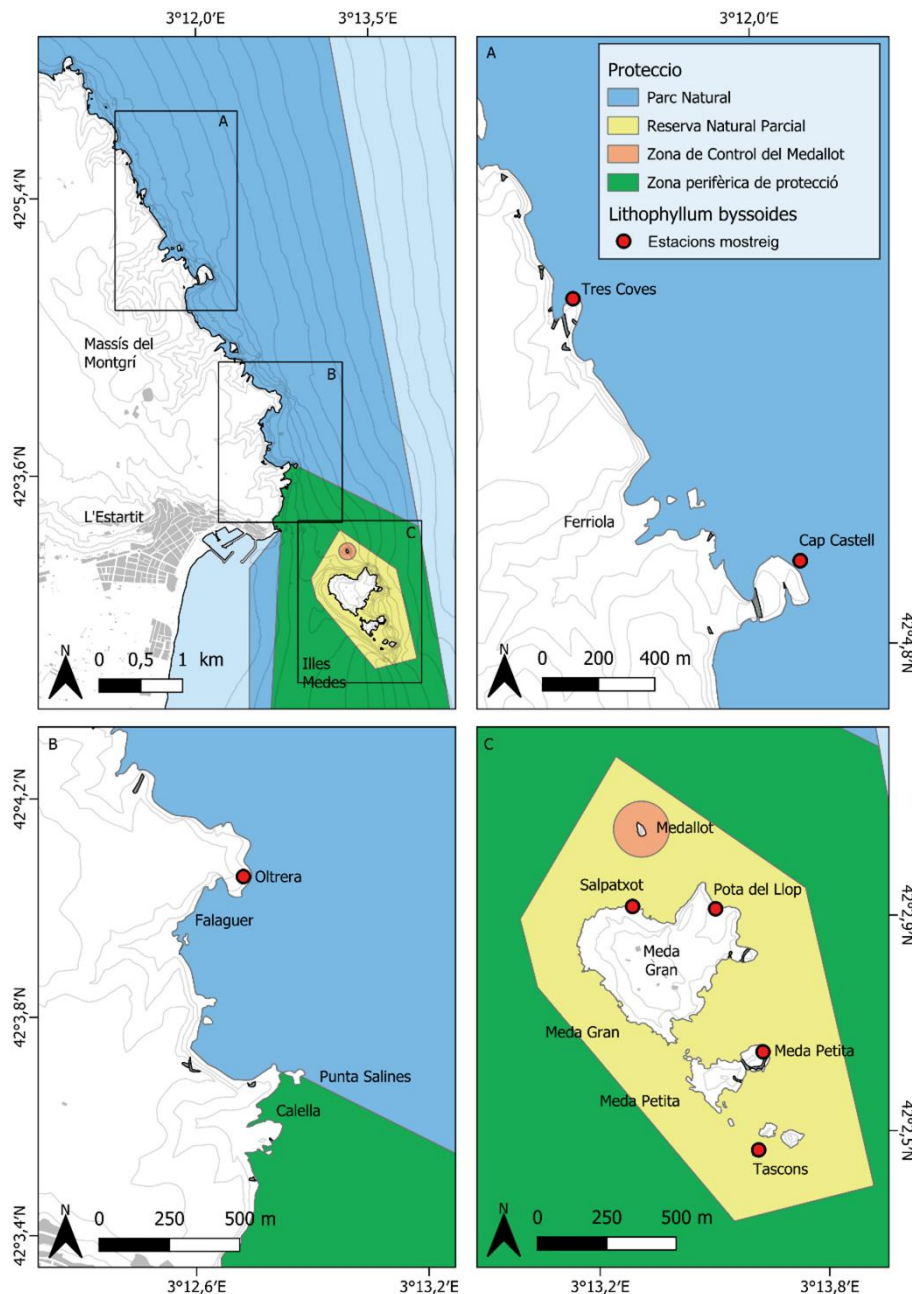
### 3.1 Àrea d'estudi

El Parc Natural del Montgrí, el Baix Ter i les Illes Medes està situat al nord-est de Catalunya, entre la badia de Roses i la badia de Pals. Engloba el massís calcari del Montgrí el qual es prolonga dins el mar formant les set illes anomenades en conjunt, Illes Medes. Les Illes Medes, tot i tenir una extensió de només 0,215 km<sup>2</sup>, són les illes més grans del litoral català.

La història de protecció de les Illes Medes i la costa del Montgrí comença a principis del 1980 quan l'Institut d'Estudis Catalans encarrega un treball col·lectiu sobre els sistemes naturals de les Illes Medes. Aquest treball suposa un gran impuls per a consolidar les tasques de conservació. La primera llei de protecció és l'Ordre de 25 de novembre de 1983 la qual prohibeix la pesca i l'extracció de recursos marins vius al litoral de les Illes Medes. Posteriorment, aquesta llei és ampliada amb la Llei 19/1990 de 10 de desembre, de conservació de la fauna i flora del fons marí de les Illes Medes.

La protecció del Montgrí, la part emergida de les Illes Medes i una part dels aiguamolls del Baix Empordà no és efectiva fins a l'aprovació del Pla d'espais d'interès natural de l'any 1992 (decret 328/1992). El parc natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter es crea per la llei 15/2010, per a unificar la normativa de protecció dels tres espais que conformen el parc natural. Aquesta llei declara com a Parc Natural les Illes Medes, el massís del Montgrí i el seu entorn marí així com el litoral del Baix Ter. Es declara reserva natural parcial l'àmbit marí entorn de les Illes Medes originant així la Reserva Natural Parcial marina de les Illes Medes. La superfície emergida de les Illes Medes es declara Reserva Natural Integral (Generalitat de Catalunya, 2021).

El disseny espacial de l'estudi consisteix en set estacions de mostreig (Figura 1), tres dels quals es troben a la costa del Montgrí dins el Parc Natural i els quatre restants estan dins la Reserva Natural de les Illes Medes. Concretament, se'n troben dos a la cara nord de la Meda Gran (Salpatxot i Pota del Llop), un a la cara nord-est de la Meda Petita i l'últim es troba al Tascó Petit, a l'extrem sud de la reserva. Les estacions estudiades de dins el Parc Natural del Montgrí són de nord a sud, Tres Coves, Cap Castell i Cap d'Oltrera.



**Figura 1.** Mapa de la zona d'estudi amb les estacions de mostreig de les tenasses de *trottoir* al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, elaboració pròpia amb el programa QGis.

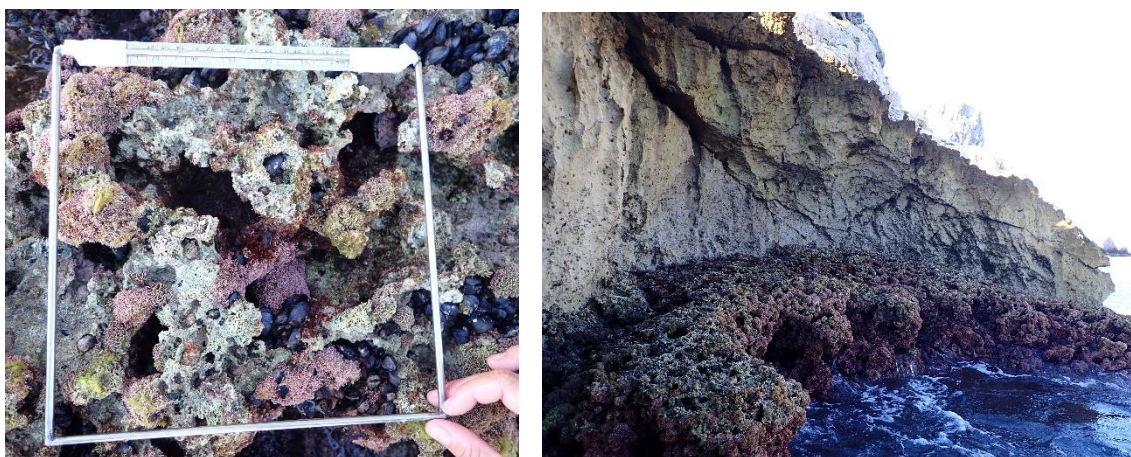
### 3.2 Metodologia de mostreig

La millor època de l'any per a l'anàlisi d'aquesta comunitat és la tardor, concretament durant el mes d'octubre (Verlaque, 2010). L'hivern és descartat degut a la dificultat de mostrejar el litoral rocós en situacions de temporal pròpies d'aquesta època de l'any. A l'estiu, l'alta intensitat lumínica provoca l'emblanquiment d'algunes porcions de *L. byssoides*, dificultant discernir si es tracta d'una part morta o no. A la primavera les algues del mediolitoral creixen de manera exponencial tapant doncs part de la tenassa.

En canvi, durant els mesos de tardor, la part viva de *L. byssoïdes* adopta un color malva de fàcil distinció, alhora que la cobertura de les algues epífites està poc desenvolupada. És per això que el mostreig es va realitzar a la tardor, els dies 25 i 26 de setembre del 2023.

Per integrar la variabilitat en la composició de la comunitat a petita escala, cada estació es va dividir en 3 subzones cadascuna, en cada una d'aquestes subzones es va realitzar un total de 15 fotografies amb un quadrant d'acer inoxidable de 25 cm x 25 cm (Figura 2). Degut a la limitació en la seva extensió l'estació de mostreig de Meda Petita només es van analitzar dues subzones, i Tascó Petit només consta d'una subzona.

A les tenasses hi trobem un gradient marcat entre la part més exposada al mar on hi ha una major proporció de *Ellisolandia elongata* i espècies pròpies del mediolitoral inferior, i la part més propera a la roca amb menys proporció d'aquestes espècies. Les fotografies es van fer a la part mitjana de la tenassa per minimitzar la variabilitat deguda a aquest gradient.



**Figura 2.** Quadre d'acer inoxidable utilitzat durant el mostreig de *Lithophyllum byssoïdes*. Exemple d'una tenassa estudiada al punt de mostreig de Meda Petita.

### **3.3 Anàlisi de la condició de *Lithophyllum byssoïdes***

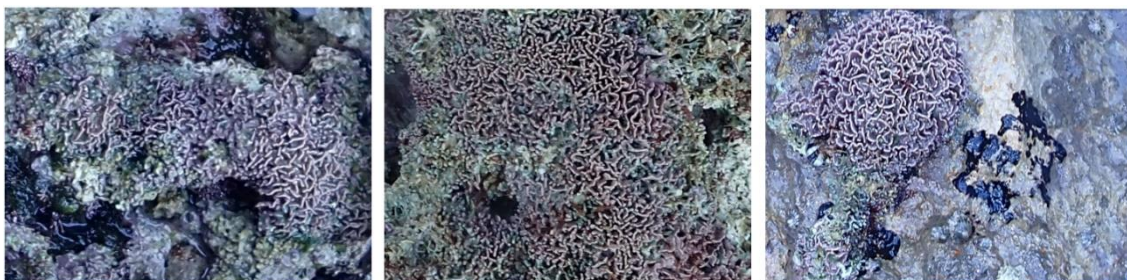
Per a l'anàlisi de les fotografies de les tenasses de *L. byssoïdes* es van seleccionar 10 de les 15 fotografies de cada subzona, en funció de la qualitat de la imatge, descartant les fotografies borroses o amb gotes d'aigua. Cal tenir en compte que a la subzona 2 de Cap Castell només es van poder analitzar 8 fotografies, ja que la resta no eren prou clares per a poder fer-ne una bona anàlisi. Per tant, per aquesta subzona tenim 8 rèpliques en lloc de 10.

Cada fotografia va ser analitzada utilitzant el programa Photoshop (CS4). En primer lloc es quadrava la perspectiva de la imatge per tal d'ajustar el quadrat a la seva mida

real. A continuació es dividia el contingut del quadrat amb una quadrícula de 11 x 11, obtenint 100 punts d'intersecció entre les línies. Aquests punts d'intersecció eren classificats en una de les categories següents:

- *Lithophyllum* viu (LV)

El tal·lus de *Lithophyllum* viu com podem veure a la Figura 3 es distingeix per la seva formació en roseta semblant a la forma d'un cervell amb lamel·les senceres de colors malves, rosats i lilosos.



**Figura 3.** Exemples de *Lithophyllum* viu de les estacions de Cap d'Oltrera, Salpatxot i Tres Coves respectivament.

- *Lithophyllum* blanc (LB)

A la Figura 4 hi ha exemples de *Lithophyllum* blanc que es caracteritza per ser de color blanc, també pot ser que es trobi epifisat per algues de manera que tingui una coloració més marronosa.



**Figura 4.** Exemples de *Lithophyllum* blanc a les estacions de Tres Coves, Cap Castell i Pota del Llop respectivament.



**Figura 5.** Exemples de *Lithophyllum* trencat a l'estació de Meda Petita i Cap d'Oltrera respectivament.

- *Lithophyllum* trencat (LT)

Els tal·lus de *Lithophyllum* trencat (Figura 5) el diferenciem per la presència de lamel·les esquerdades o porcions que clarament es veuen aixafades.

- Calcàries incrustants (CI)

La categoria de calcàries incrustants inclou totes les algues calcàries que creixen arran de substrat i hi estan incrustades. De manera general, es caracteritzen per la seva morfologia en forma de làmina incrustada i el seu color rosat vermellós, a la Figura 6 podem veure'n alguns exemples.



**Figura 6.** Exemples de calcàries incrustants a les estacions de Pota del Llop, Cap d'Oltrera i Cap Castell respectivament.

- *Ellisolandia elongata* (EE)

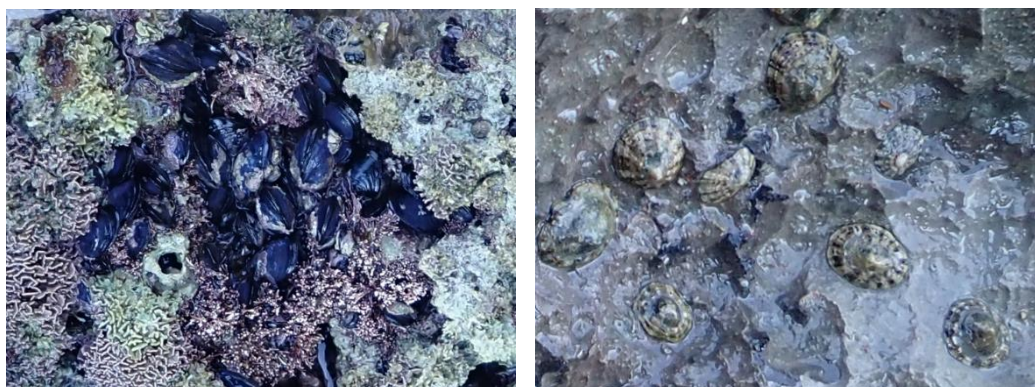
*Ellisolandia elongata* (Figura 7) és una alga vermella geniculada que es diferencia pel seu color rosat, la ramificació pinnada i la forma de ventall dels seus tal·lus.



**Figura 7.** Exemples d' *Ellisolandia elongata* a les estacions de Tascons, Cap Castell i Meda petita respectivament.

- Animals sèssils (AS)

A la Figura 8 trobem els animals sèssils més comuns en les fotografies analitzades els quals són els musclos (*Mytilus galloprovincialis*) i les pagellides (*Patella* sp.).



**Figura 8.** Exemples d'animals sèssils a Cap d'Oltrera, *Mytilus galloprovincialis* i *Patella* sp. d'esquerra a dreta.

- Altres algues (AA)

En el present estudi no s'han classificat les algues que hi ha a les mostres a excepció de *L. byssoides*, *E. elongata* i el grup de calcàries incrustants. La classificació taxonòmica a partir de fotografies generals de la tenassa és complicada i la distinció entre les algues no es va considerar necessària per a l'objectiu del treball. Per tant, la resta d'algues presents a les fotografies eren classificades a la categoria d'altres algues.

Finalment, hi ha dues altres categories que són la de Forats (*F*) que inclou també les zones inundades d'aigua on la classificació del fons no és fiable i la categoria de Roca (*R*) que correspon a la part exposada de la paret del litoral. Amb el total de 100 punts classificats s'obté una mesura de la cobertura de cada categoria en tant per cent.

Per integrar la variabilitat a petita escala en cada una de les estacions, primer es va calcular la mitjana de cada categoria en cada subzona, i finalment es va calcular la mitjana entre les tres subzones. La desviació estàndard es va calcular amb relació a la diferència entre les subzones, és per això que per a l'estació de Tascó petit que només consta d'una subzona no hi ha desviació. La cobertura total de *L. byssoides* es va calcular com la suma de la mitjana de cobertura de *LV*, *LB* i *LT*.

Per a avaluar la condició de *L. byssoides* es va calcular un índex Lithophyllum Condition Index (eq. 1) (Blanfuné *et al.*, 2023, modificat). L'índex es calcula com la divisió de la cobertura de la categoria de *Lithophyllum* viu (*LV*) entre la suma de la cobertura de *Lithophyllum* viu, *Lithophyllum* blanc (*LB*) i *Lithophyllum* trencat (*LT*). L'*LCI* pot prendre valors d'entre 0 i 1. Valors pròxims a 1 indiquen un bon estat de la població de *L. byssoides* amb la major part de la cobertura viva. D'altra banda, valors pròxims a 0 indiquen una gran part de la comunitat de *L. byssoides* blanquejat o trencat.



$$LCI = \frac{LV}{LV+LB+LT} \quad (\text{eq. 1})$$

En la fórmula original de Blanfuné *et al.* 2023, es té en compte la cobertura de calcàries incrustants en el numerador i també de rodòfits, coral·linals articulades i forats en el denominador. Aquest índex determina l'estat del conjunt de la tenassa. En la modificació presentada en aquest treball es pretén avaluar l'estat de la població de *L. byssoides*, per això es calcula l'índex amb les categories que inclouen *L. byssoides*.

### 3.4 Variables ambientals a l'àrea d'estudi

Les variables ambientals que es van tenir en compte per la seva possible influència a les comunitats mediolitorals són l'orientació, el pendent de la paret i el nivell d'exposició de la tenassa (Cefali *et al.*, 2016; Chappuis *et al.*, 2014) (Taula 1). També es va determinar el nivell de protecció de la zona. A nivell geològic tots els punts de mostreig es troben sobre roques calcàries d'origen sedimentari (Martínez i Mató, 2021) per la qual cosa el tipus de substrat no tindrà efecte en la condició de les tenasses. Pel que fa a l'hidro dinamisme no disposàvem de dades prou precises per a poder determinar la diferència d'onatge entre les diferents estacions, i si hi ha alguna diferència probablement estarà relacionada amb l'exposició de la tenassa i amb la seva orientació.

L'orientació és una variable categòrica que podia prendre els valors de Nord (N), Nord-Est (NE), Est (E), Sud-Est (SE), Sud-Oest (SO), Oest (O) i Nord-Oest (NO). La determinació de la orientació de cada subzona es va fer a través de les coordenades dels punts de mostreig i el programa QGIS. El pendent de la paret es va determinar a partir de les fotografies de les tenasses realitzades el dia del mostreig, prenent de referència el nivell del mar com a angle 0° i sent 90° una paret completament vertical. Els valors dels angles es van classificar en 5 categories diferents (Cefali *et al.*, 2016). Sent el nivell 1 dels 0 – 10,8°, el nivell 2 dels 10,9 – 22,8°, nivell 3 dels 22,9 – 45,1°, nivell 4 dels 45,2 – 68,2° i nivell 5 dels 68,3 – 90°.

Pel que fa al nivell d'exposició de la tenassa es van definir tres nivells d'exposició, el nivell 1 correspon a un entrant de la paret, el nivell 2 és una paret horitzontal i el nivell 3 correspon a un sortint. El nivell d'exposició es va determinar a partir de les fotografies de les tenasses dutes a terme el dia del mostreig i també a partir de la consulta de la morfologia de la costa en l'ortofoto de l'any 2022 de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

L'última variable ambiental que es va tenir en compte és el nivell de protecció de les estacions, el qual pot ser Parc Natural (PN) pels punts de la costa del Montgrí o Reserva Natural Parcial (RNP) pels punts de les Illes Medes. És també una variable categòrica.

**Taula 1.** Valor de les variables ambientals en les diferents estacions mostrejades.

	Orientació	Pendent	Exposició	Protecció
<b>Tres Coves</b>				
Zona 1	NO	5	2	PN
Zona 2	E	5	2	PN
Zona 3	N	5	1	PN
<b>Cap Castell</b>				
Zona 1	E	5	2	PN
Zona 2	E	4	2	PN
Zona 3	S	4	2	PN
<b>Cap d'Oltrera</b>				
Zona 1	NO	5	1	PN
Zona 2	O	3	2	PN
Zona 3	S	5	2	PN
<b>Salpatxot</b>				
Zona 1	N	4	1	RNP
Zona 2	N	4	3	RNP
Zona 3	N	4	3	RNP
<b>Pota del Llop</b>				
Zona 1	NE	5	2	RNP
Zona 2	NE	4	2	RNP
Zona 3	N	4	2	RNP
<b>Meda Petita</b>				
Zona 1	N	5	3	RNP
Zona 2	E	5	1	RNP
<b>Tascó Petit</b>				
Zona 1	N	3	2	RNP

### 3.5 Sèries temporals i dades de canvi climàtic

L'equip del Seguiment Marí du a terme el seguiment de la condició de *Lithophyllum byssoides* utilitzant la mateixa metodologia de mostreig i d'anàlisi des de l'any 2017. Les comunitats del *trottoir* s'analitzen un cop cada dos anys per la qual cosa es disposen de les dades de cobertura de l'any 2017, 2019, 2021 i 2023. Per a poder analitzar l'evolució del *L. byssoides*, es va determinar l'LCI mitjà de totes les estacions per cada un dels anys de mostreig. L'any 2017 no es va mostrejar l'estació de Tascó Petit, per tant, d'aquesta estació es disposa de dades dels tres últims mostrejos.

En l'anàlisi de la relació entre la condició de *L. byssoides* i la temperatura superficial del mar i el seu nivell es van utilitzar dades de l'estació meteorològica de l'Estartit proporcionades per Josep Pascual (Pascual, 2023). La sèrie de dades de temperatura de l'aigua correspon a la mitjana mensual de la temperatura a 0,5 m de fondària

obtinguda a una milla de les Medes en direcció llevant. La sèrie temporal és contínua des del gener del 2017 fins al desembre del 2023. Pel que fa a les dades del nivell del mar també corresponen a la mitjana mensual des del gener de 2017 fins al desembre de 2023. Són obtingudes a partir d'un mareògraf situat al port de l'Estartit.

### 3.6 Anàlisis estadístiques

La totalitat d'anàlisis estadístiques realitzades en aquest treball van ser dutes a terme amb el programa *RStudio*. Per a determinar la importància de l'hàbitat en la condició de les tenasses de *trottoir* es va dur a terme una anàlisis de components principals (*PCA*) a partir de la matriu de cobertura de les categories de *LV*, *LB*, *LT*, *CI*, *EE*, *AA* i *AS* de cada una de les subzones estudiades. Es va utilitzar el mètode de Kaiser-Gutman per escollir el nombre d'eixos a interpretar. Un cop obtinguda l'ordenació de les estacions es va aplicar la funció de *Environmental fit* per a determinar si hi havia alguna relació entre l'ordenació i les variables ambientals descrites a la Taula 1.

En respecte a l'evolució de l'*LCI* al llarg dels anys de mostreig es va realitzar una *ANOVA* per a determinar si hi havia diferències entre la mitjana de l'*LCI* de les estacions pels diferents anys. Les dades de *LCI* complien els supòsits de normalitat i homoscedasticitat i per tant no van haver de ser transformades. Per a saber quines eren les mitjanes que eren diferents es va fer una comparació de parelles amb *t-test*. Es van dur a terme els mateixos anàlisis per a la cobertura de *E. elongata*, en aquest cas les dades no complien el supòsit de normalitat i per tant es va utilitzar el test de *Kruskall-Wallis*.

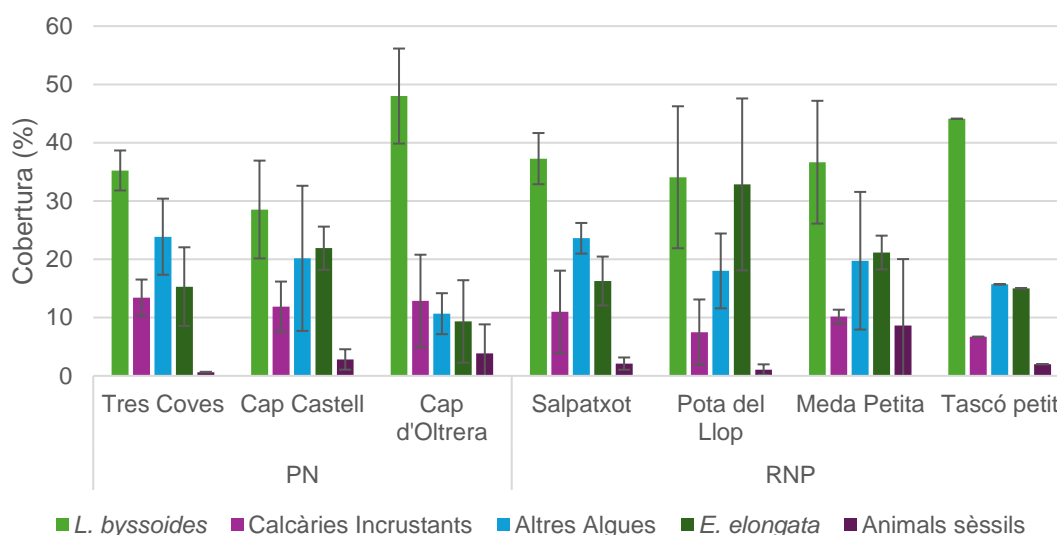
Per comprovar si hi havia diferències significatives en *LCI* de les estacions relacionades amb la temperatura i el nivell del mar al llarg dels quatre anys de mostreig es va realitzar un model mixt lineal, on les diferents estacions de mostreig són l'efecte randomitzat i les variables fixades són l'any de mostreig, el nivell del mar i la temperatura del mar. El *LCI* és la variable dependent. Es va utilitzar la mitja anual de temperatura i del nivell del mar dels anys 2017, 2019, 2021 i 2023. En primer lloc, es va calcular un model general amb totes les variables fixades i a continuació es va simplificar eliminant d'una en una les variables. Obtenint el model sense any, model sense temperatura i model sense nivell. Es va calcular el Criteri d'Informació d'Akaike (*AIC*) per determinar l'ajust de tots els models.

## 4. RESULTATS

### 4.1 Condició de *Lithophyllum byssoides*

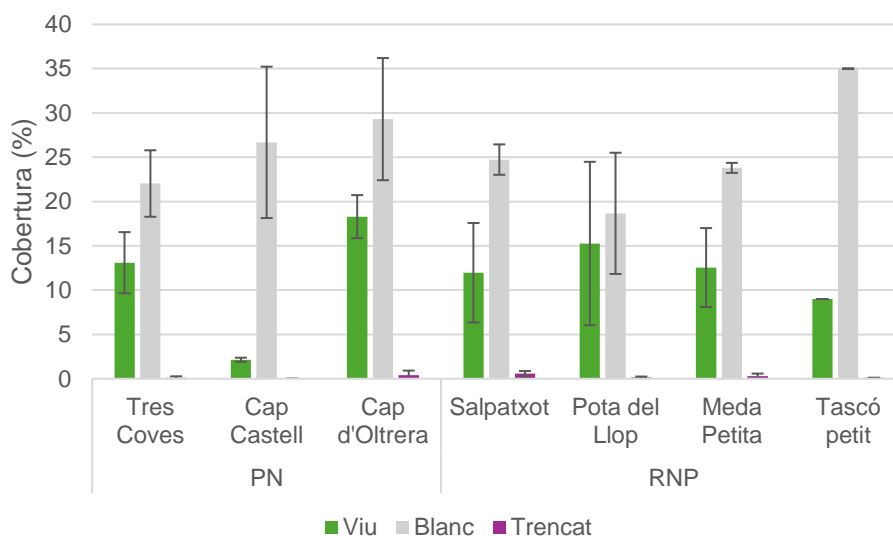
La condició de les tenasses de *Lithophyllum byssoides* la podem observar a la Figura 9. En aquesta figura hi trobem representat el percentatge de cobertura de les principals categories: *L. byssoides* total que inclou *LV*, *LB* i *LT*, la categoria d'algues incrustants, la d'altres algues, la de *Ellisolandia elongata* i finalment els animals sèssils. No hi consta doncs la cobertura de forats ni de roca.

Podem veure que en totes les estacions la categoria més abundant és la del *Lithophyllum*, tot i això cal fixar-se que a l'estació de Pota del Llop la cobertura de *Ellisolandia elongata* és pràcticament la mateixa que la de *Lithophyllum*. L'estació on la proporció de *E. elongata* és menor és Cap d'Oltrera, que es troba a la costa del Montgrí i és l'única estació on hi ha més cobertura de calcàries incrustants que de *E. elongata*.



**Figura 9.** Mitjana i desviació estàndard del percentatge de cobertura dels diferents grups de les estacions mostrejades l'any 2023.

Per a veure la condició de *L. byssoides* en cada una de les estacions, a la Figura 10 hi ha representada la cobertura de *LV*, *LB* i *LT*. S'observa com en totes les estacions hi ha més *LB* que *LV*. En el cas de Cap Castell i Tascó Petit la diferència que hi ha entre el *LV* i *LB* és molt notable. El *LT* en cap cas supera el 5% de la cobertura i és poc important en comparació a la cobertura del *LB*.



**Figura 10.** Mitjana i desviació estàndard de la cobertura de *L. byssoides* viu, blanc i trencat de les estacions mostrejades l'any 2023.

La gran diferència a Cap Castell entre *LV* i *LB* queda reflectida en el valor del *LCI* per aquesta estació (Taula 2). On podem veure que Cap Castell és l'estació que té un valor d'índex més baix.

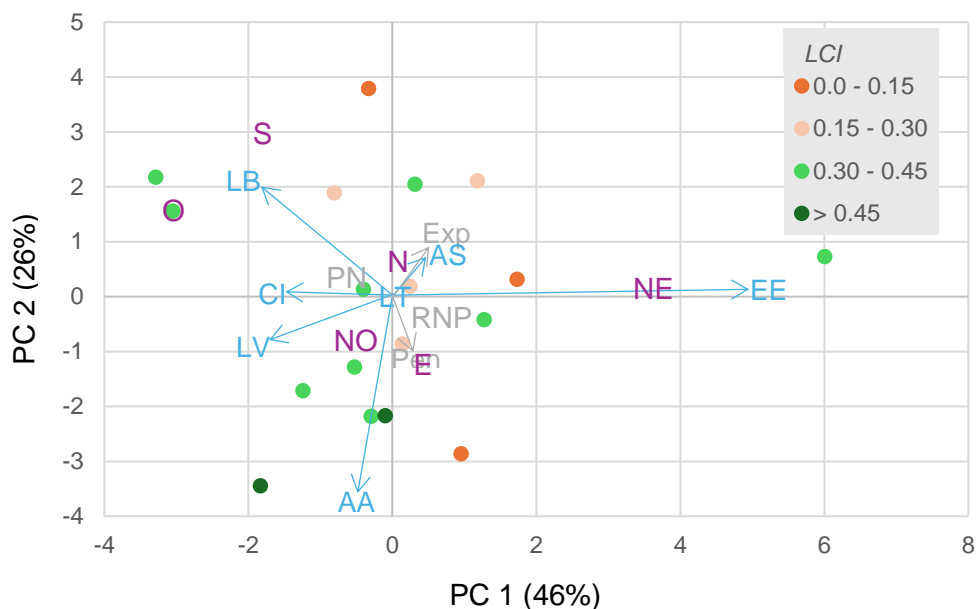
**Taula 2.** Valor de la mitjana i desviació estàndard (DS) de l'índex de condició de *Lithophyllum byssoides* (*LCI*) en les estacions estudiades a l'any 2023.

	Mitjana <i>LCI</i>	DS
<b>Tres Coves</b>	0,371	0,092
<b>Cap Castell</b>	0,080	0,028
<b>Cap d'Oltrera</b>	0,385	0,043
<b>Salpatxot</b>	0,312	0,123
<b>Pota del Llop</b>	0,426	0,156
<b>Meda Petita</b>	0,338	0,088
<b>Tascó Petit</b>	0,204	

#### 4.2 Importància de l'hàbitat en la condició de *L. byssoides*

El *PCA* obtingut de la matriu de cobertura de les diferents subzones per a les categories estudiades consta de dos eixos PC1 (Eiguenvalue= 130,365, Proporció explicada= 0,459) i PC2 (Eiguenvalue= 73,673, Proporció explicada= 0,259) que en total expliquen el 71,84% de la variabilitat de les dades. En el primer eix les categories que hi tenen més pes són *EE*, *LB* i *LV*. En el segon eix són *AA* i *LB* (Figura 11).

Per les variables ambientals obtenim que el pendent i l'exposició no són significatius ( $p\text{-value}=0,524$  i  $p\text{-value}=0,747$  respectivament), el nivell de protecció tampoc resulta significatiu ( $p\text{-value}=0,352$ ) en canvi, l'orientació sí que obté un  $p\text{-valor}$  significatiu ( $p\text{-value}= 0,008$ ).

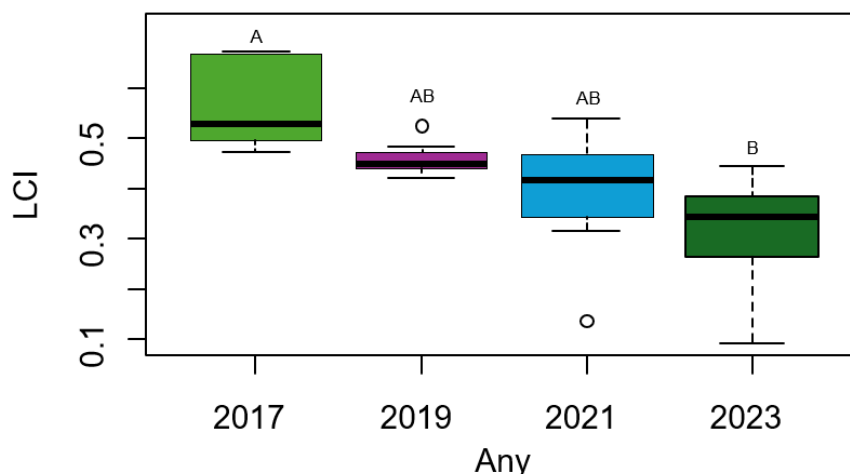


**Figura 11.** Gràfic del PCA, les subzones son representades per punts en el gràfic de diferent color en funció del valor del seu LCI. En blau la importància de les diferents categories en la distribució de les subzones (LV: *Lithophyllum* viu; LB: *Lithophyllum* blanc; LT: *Lithophyllum* trencat; EE: *Elisolandia elongata*; CI: calcàries incrustants; AA: altres algues; AS: animals sèssils; Exp: exposició; Pen: pendent; PN: parc natural; RNP: reserva natural parcial). En gris les variables ambientals no significatives i en lila els centroides de la variable orientació ( $p\text{-value} < 0,05$ ).

### 4.3 Evolució temporal del LCI i canvi climàtic

Pel que fa a l'evolució de l'Índex de Condició del *Lithophyllum byssoides* (LCI) observem una baixada al llarg del període estudiat (Figura 12). Els resultats de l'ANOVA de la mitjana de l'LCI són significatius ( $F=7,106$ ,  $df=3, 23$ ,  $p\text{-value}= 0,0015$ ), trobem una diferència significativa entre la mitjana de l'any 2017 i la del 2023 ( $t\text{-test } p\text{-value}= 0,0075$ ).

El valor mitjà de l'índex l'any 2017 és de 0,561 (Taula 3) la qual cosa indica que la proporció mitjana de *L. byssoides* viu és una mica superior a la de blanc i trencat. D'altra banda, el valor de LCI de l'any 2023 és de 0,302 per tant, la proporció mitjana de *L. byssoides* viu és de menys d'un terç del total.



**Figura 12.** Diagrama de caixes pels valors de *LCI* a les estacions mostrejades durant els anys 2017, 2019, 2021 i 2023. A la capçalera dels diagrames hi ha indicat amb lletres les mitjanes significativament diferents.

El resultat del test de *Kruskal-Wallis* per a la cobertura mitjana de *E. elongata* no és significatiu ( $\chi^2 = 1,405$ ,  $df=3$ ,  $p\text{-value}= 0,704$ ). No podem dir que la cobertura de *E. elongata* sigui diferent en cap dels anys mostrejats.

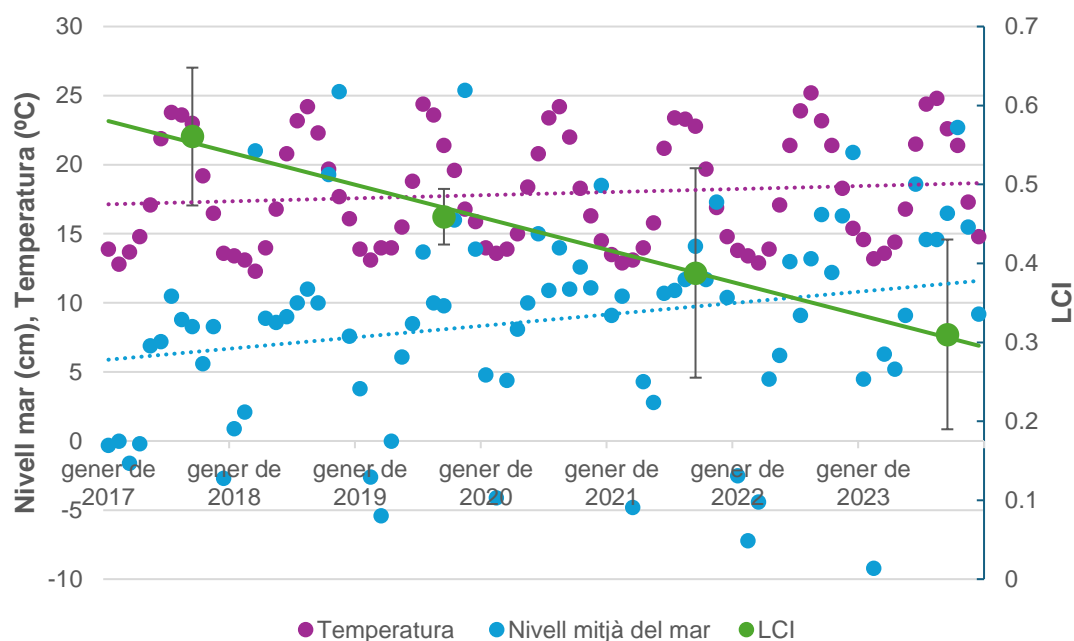
**Taula 3.** Dades mitjanes anuals i els errors estàndards de temperatura de l'aigua a 0,5 m de fondària, del nivell del mar al port de l'Estartit i *LCI* mitjà de totes les estacions de la costa del Montgrí i de les Illes Medes.

	Temperatura (°C)	Nivell del mar (cm)	<i>LCI</i>
<b>2017</b>	17,825 ± 4,278	4,233 ± 4,779	0,561 ± 0,087
<b>2019</b>	17,583 ± 3,930	8,267 ± 8,623	0,459 ± 0,035
<b>2021</b>	17,617 ± 4,202	9,058 ± 5,809	0,388 ± 0,133
<b>2023</b>	18,283 ± 4,372	10,633 ± 8,433	0,302 ± 0,121

Els valors anuals de la temperatura de l'aigua i del nivell del mar (Taula 3) mostren com la temperatura no té una pujada regular sinó que els valors del 2017 són superiors als del 2019 i 2021, l'any 2023 és el que presenta un valor mitjà de temperatura més alt.

Pel que fa al nivell del mar en aquest cas sí que cada any és superior a l'anterior començant per un valor mitjà de 4,233 cm l'any 2017 i acabant en 10,633 cm al 2023. Cal tenir en compte que les desviacions d'aquests valors són molt elevades en tots els casos, ja que el nivell del mar pren valors molt diferents (Figura 13) relacionats amb els episodis d'altres i baixes pressions atmosfèriques.

La línia de tendència de l'LCI té clarament un pendent negatiu (Figura 13). La línia de tendència de la temperatura és lleugerament positiva i la del mar també té una tendència positiva més clara.



**Figura 13.** En verd valors de l'LCI mitjà de totes les estacions de la costa del Montgrí i les Illes Medes i la seva desviació estàndard el setembre del 2017, 2019, 2021 i 2023. En lila mitjana de la temperatura mensual a 0,5 m de fondària i en blau nivell mitjà mensual del mar al port de l'Estartit, les línies puntejades són les línies de tendència lineal ajustades a les dades.

En els resultats de l'ajust als models lineals mixtes (Taula 4), podem observar que el model complet és el que té un valor d'*AIC* major, per tant el que s'ajusta menys a les dades. D'altra banda els altres tres models tenen un valor d'*AIC* molt similar entre ells, de menys de tres punts. Tot i que no hi ha un valor d'*AIC* establert per considerar quin és un bon model, una diferència de menys de cinc punts entre l'*AIC* no es considera prou per considerar-los diferents entre ells respecte a l'ajust a les dades (Burnham i Anderson, 2004). Observem un valor significatiu en la variable de l'any de mostreig en el model sense nivell del mar i en la variable de nivell del mar en el model sense any de mostreig.



**Taula 4.** Resultats de l'anàlisi de models lineals mixtes de *LCI* i les variables d'any de mostreig, temperatura i de nivell del mar. El *t value* és el valor de l'estadístic, *df* són els graus de llibertat, el *p-value* és el nivell de significació del test (en negreta si és significatiu) i l'*AIC* és el valor del criteri d'informació d'Akaike dels models.

	<i>t value</i>	<i>df</i>	<i>p-value</i>	<i>AIC</i>
<b>Model complet</b>				-19,771
Temperatura	-0,034	16,640	0,973	
Nivell	-0,203	16,699	0,842	
Any	-0,964	16,639	0,349	
<b>Model -nivell</b>				-27,001
Temperatura	0,138	17,787	0,891	
Any	-4,509	18,052	<b>0,0002</b>	
<b>Model -temperatura</b>				-24,667
Nivell	-0,244	17,841	0,810	
Any	-1,593	17,706	0,129	
<b>Model -any</b>				-25,740
Temperatura	-1,207	17,697	0,243	
Nivell	-4,296	18,122	<b>0,0004</b>	

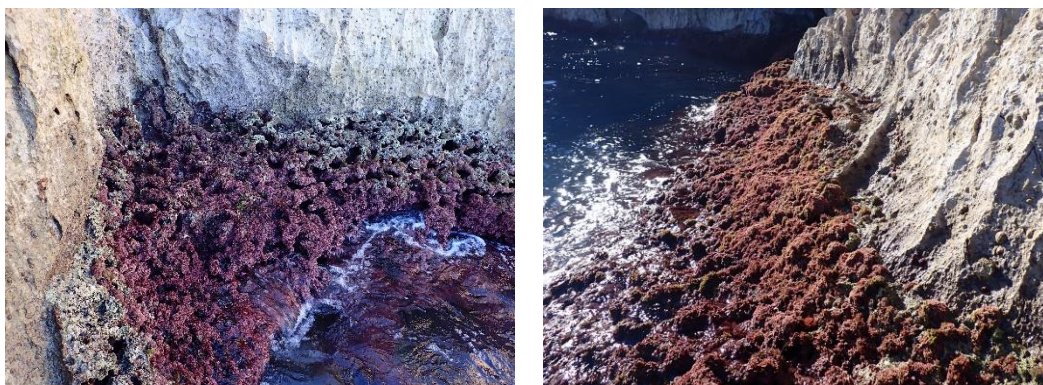
## 5. DISCUSSIÓ

Els objectius d'aquest treball era en primer lloc avaluar la importància de l'hàbitat en la condició de les tenasses de *Lithophyllum byssoides*, els resultats obtinguts apunten que la condició actual de les tenasses no és deguda a les diferències ambientals entre els punts de mostreig sinó que segueix una tendència global determinada per factors que actuen a gran escala. El segon objectiu plantejat era determinar la tendència de les poblacions de *L. byssoides* en el context actual de canvi climàtic, a partir del càlcul del *LCI* s'ha correlacionat de manera significativa l'augment del nivell del mar amb la baixada en la condició de les tenasses de *trottoir*, apunant que són els efectes del canvi climàtic els que determinen la condició de les tenasses de *L. byssoides*.

### 5.1 Condició de *Lithophyllum byssoides*

Per avaluar l'estat de la comunitat de *L. byssoides* ens podem fixar en diferents paràmetres. En primer lloc en la cobertura total de *L. byssoides*. En segon lloc podem obtenir informació de la salut de la tenassa a partir de la cobertura d'altres categories com és la cobertura de *E. elongata* i d'altres algues. Finalment, la relació entre la part viva i la part blanca o trencada del *L. byssoides* (*LCI*) també ens indica la condició de *Lithophyllum byssoides*.

En totes les estacions mostrejades el 2023 el percentatge de cobertura de *L. byssoides* és superior al de les altres categories, no obstant això, a l'estació de Pota del Llop la cobertura mitjana de *E. elongata* és pràcticament la mateixa que de *L. byssoides* (32,8 i 34,1%). A la Figura 14 podem observar aquesta gran proporció de *Ellisolandia elongata* a la subzona 1 i 2 de Pota del Llop.



**Figura 14.** Tenassa de *trottoir* a l'estació de Pota del Llop subzona 1 i 2.

A la resta d'estacions la proporció de *E. elongata* se situa entre el 9 i el 21%, molt per sota doncs de la de Pota del Llop. La cobertura d'altres algues pren valors similars als

de *E. elongata* amb un rang de valors des del 10 al 24%. A l'estació de Tres Coves, Salpatxot i Tascó petit la cobertura d'altres algues és superior a la de *E. elongata*.

Les tenasses de *Lithophyllum byssoïdes* són estructures tridimensionals complexes que ofereixen refugi a diferents espècies litorals (Sanchis, 1991). No és estrany doncs trobar animals sèssils i altres algues a les seves tenasses. Tot i això, el manual d'hàbitats de Catalunya només hi descriu dues algues com a abundants: *Polysiphonia opaca* i *Bryopsis muscosa*, i dues de significatives: *Ralfsia verrucosa* i *Chaetomorpha capillaris* v. *crispa*, i la resta d'algues que s'hi troben de forma secundària (Carreras *et al.*, 2018). Els resultats obtinguts en aquest treball mostren una proporció d'altres algues d'entre el 10 i el 24%, que en alguns casos superen la proporció de *L. byssoïdes* viu. Seria interessant per a futurs estudis la classificació taxonòmica de les algues presents a la tenassa, així podríem saber si es tracten d'algues que es troben de forma habitual a la tenassa o si d'altra banda són algues pròpies del mediolitoral inferior que han colonitzat la part superior de la bioconstrucció.

El mateix manual d'hàbitats de Catalunya exclou *E. elongata* de l'hàbitat de la tenassa de *L. byssoïdes*, de forma que l'alta proporció d'aquesta alga trobada en el present estudi no és un fenomen normal. A les tenasses de *L. byssoïdes*, *E. elongata* ocupa la part inferior, per sota de la cornisa (Morhange *et al.*, 1992). La presència de *E. elongata* alga típica del mediolitoral inferior i zones someres de l'infralitoral (Rodríguez-Prieto, 2013) a la part superior de la tenassa és indicador doncs d'un augment del nivell del mar.

Respecte al *LCI* un cop calculats els valors de l'índex per a totes les estacions mostrejades (Taula 2) podem veure clarament com l'estació de Cap Castell és la que té un valor de l'índex més baix. Aquest fet es relaciona amb que hi ha una proporció molt important de *Lithophyllum byssoïdes* blanquejat. Amb relació a l'estat de *L. byssoïdes* l'estació de Pota del Llop és la que presenta un *LCI* més elevat. Això ens faria pensar que és l'estació que té una millor condició de les tenasses de *trottoir*, però recordem que Pota del Llop és l'estació que pràcticament té la mateixa proporció de *L. byssoïdes* que de *E. elongata*. El fet que *E. elongata* hagi colonitzat tan àmpliament la tenassa fa pensar que això és el que impedeix un bon recompte de *L. byssoïdes*, probablement sota els tal·lus de *E. elongata* hi trobaríem LB i això faria que l'*LCI* baixés. Per tant, només la consulta de l'*LCI* pot portar confusió respecte a l'estat de salut de la tenassa ja que no integra la proporció d'altres categories que també poden afectar-la.

La segona i tercera estació amb un *LCI* més elevat són Cap d'Oltrera i Tres Coves, totes dues estacions es troben a la costa del Montgrí i la proporció de *E. elongata* a les seves

tenasses es troba entre el 9 i el 15%. Per tant, molt per sota del 32,8% que trobem a Pota del Llop. Són les dues estacions on la proporció de *LV* és major.

De manera general l'estat de les tenasses de *trottoir* és pobre, ja que el valor mitjà de *LCI* per a les estacions aquest any 2023 és de 0,302 (Taula 3). Aquest estat de la població de *L. byssoïdes* no és exclusiu a la costa del Montgrí. A la costa de Marsella, al Parc Nacional de Calanques, es troba un *LCI* mitjà de 0,363 i a Còrsega, a la Reserva Natural de Scandola i voltants, de 0,168 (Blanfuné *et al.*, 2023). A la costa mediterrània francesa s'ha confirmat una regressió global de les bioconstruccions de *trottoir* al llarg de milers de kilòmetres de costa (Thibaut *et al.*, 2013). Aquestes dades fan pensar que l'empitjorament de la condició de les tenasses de *L. byssoïdes* no és degut a factors específics de cada localitat sinó que la tendència és global a la costa nord-occidental del Mediterrani.

## 5.2 Importància de l'hàbitat en la condició de *L. byssoïdes*

Els resultats obtinguts en l'estudi de l'efecte de les variables ambientals en l'ordenació de les diferents tenasses estudiades concorda amb la hipòtesi que les tendències en la condició de *L. byssoïdes* són degudes a canvis a gran escala i no a factors ambientals de l'hàbitat que ocupen.

La categoria amb més pes en l'ordenació de les subzones és la cobertura de *E. elongata* seguida de *Lithophyllum* blanc, viu i altres algues. Un cop duta a terme l'ordenació no sembla que aquesta estigui influenciada pel valor de *LCI* de les subzones, ja que no observem cap patró en la distribució dels punts en funció del seu *LCI*. La mida reduïda de la mostra estudiada  $n < 20$  pot dificultar la visualització dels patrons de distribució existents.

En relació a la influència de les variables ambientals en la condició de les tenasses trobem només com a significativa l'orientació, per tant podem afirmar que l'orientació està relacionada amb la distribució de les mostres en el *PCA*. L'orientació de la tenassa determinarà les hores d'incidència de llum que tingui i també l'hidrodinamisme. El bon desenvolupament de les tenasses de *L. byssoïdes* es troba subjecte a poca insolació, tot i que no és una característica essencial per a la seva supervivència, de la mateixa manera l'hidrodinamisme condiona l'existència del *Lithophyllum byssoïdes*, només trobarem tenasses de *trottoir* en zones batudes o molt batudes (Sanchis, 1991).

L'orientació NO s'associa a l'abundància de *Lithophyllum* viu (*LV*), i les orientacions S i O s'associen a l'abundància de *Lithophyllum* blanc (*LB*). Una tenassa orientada al sud

estarà subjecte a més hores de sol fet que pot provocar un major emblanquiment del *L. byssoides* (Verlaque, 2010). De manera contrària les orientacions amb component nord tindran menys exposició al sol. Les tenasses orientades al nord també presentaran un major hidrodinamisme ja que estaran exposades a les onades del nord i de llevant. Tot i això, cal destacar que el nivell d'exposició de la tenassa no ha resultat significatiu, semblaria que una major exposició també està relacionada amb una major insolació. El pendent de la paret i el nivell de protecció de la subzona tampoc han resultat factors significatius en l'ordenació dels punts mostrejats.

El fet que la protecció de la zona no sigui una variable significativa fa pensar que els danys per trepig a les tenasses de la costa del Montgrí i de les Illes Medes són pocs. L'ascens a la part emergida de les Illes Medes està prohibit, al tractar-se d'una Reserva Natural Integral, per tant les parts malmeses en aquesta zona poden ser degudes a objectes flotants o a embarcacions que xoquen amb la vora de les illes. A la costa del Montgrí sí que s'hi pot pujar, i hi ha zones on fins i tot es fa escalada (Escalada tradicional, 2023). Semblaria doncs que a la costa del Montgrí hi hauríem de trobar més impactes, cosa que es traduiria en un menor *LCI* i amb major cobertura de *Lithophyllum* trencat. A la Figura 10 podem veure com el percentatge de cobertura de *LT* a les estacions del Parc Natural és pràcticament el mateix que el de les estacions de la Reserva Natural. Així doncs, l'impacte del trepig a les estacions de la costa no és diferent del de les Illes. Probablement la inaccessibilitat de moltes de les tenasses de la costa, que es troben a la base d'alts penya-segats les protegeix d'aquest impacte.

En general doncs, les variables ambientals testades no han resultat importants en aquest estudi. Aquest treball està limitat per l'estudi de camp, la costa del Montgrí i les Illes Medes difícilment contindrà totes les condicions experimentals òptimes per a una anàlisi completa. Tot i això caldria augmentar el nombre de mostres estudiades, per a tenir una major representativitat de les variables ambientals i així poder extreure patrons més concloents.

### **5.3 Evolució temporal del *LCI* i canvi climàtic**

L'evolució en el temps de l'estat del *trottoir* a la costa del Montgrí i a les Illes Medes durant el període 2017-2023 és negatiu. Trobem una diferència significativa entre l'*LCI* de l'any 2017 i el del 2023, sent aquest últim menor. Per tant, hi ha hagut una reducció significativa de la part viva del *Lithophyllum byssoides* amb un període de tan sols sis anys.

El valor de *LCI* per l'any 2017 és de 0,561, el del 2023 és de 0,302, si calculem la diferència entre aquests dos valors obtenim una reducció del 25,9% de l'índex, i per tant la reducció d'una quarta part de la porció viva de *L. byssoides* respecte del total. Aquesta reducció és alarmant ja que una població que pateix una reducció del 30% de la població adulta en 10 anys es considera vulnerable segons la Unió Internacional per a la Conservació de la Natura (IUCN, 2012). En aquest estudi s'ha comprovat la reducció del 26% de la població de *Lithophyllum byssoides* en sis anys. Si en els posteriors quatre anys es redueix un 4% més, ens trobaríem dins els criteris de la categoria d'espècie vulnerable la qual considera que l'espècie s'enfronta a un risc d'extinció alt en estat de vida silvestre.

És important tenir en compte l'escala del treball realitzat, la qual és petita i compren tan sols una part del litoral català. I també que en aquest treball hem quantificat la cobertura de l'espècie i no la quantitat d'individus adults. Tot i això tal com s'ha comentat anteriorment la regressió de les tenasses de *Lithophyllum byssoides* no és exclusiva a la costa catalana. En aquest context, pren més importància el seguiment de la condició del *trottoir* per la possible amenaça d'extinció que pateix.

Les causes del declivi que pateix poden ser múltiples, en la determinació de l'efecte de la temperatura i l'augment del nivell del mar obtenim com a significativa la variable del nivell del mar en el model mixt lineal sense l'any de mostreig, en canvi la temperatura no resulta una variable significativa en cap dels models estudiats.

El creixement horitzontal del tal·lus de *Lithophyllum byssoides* és relativament ràpid en relació amb altres espècies de *Corallinales*, d'1 a 3 cm per any (Boudouresque *et al.*, 1995). Tot i això la construcció d'una tenassa gruixuda és un procés lent que requereix dècades, centennis o fins i tot mil·lennis (Verlaque, 2010) en els quals el nivell del mar ha de mantenir-se estable o variar lentament permetent la superposició de noves capes de *L. byssoides* i constituint així la tenassa (Laborel *et al.*, 1994).

L'existència de les tenasses de *L. byssoides* depèn de l'equilibri entre la bioconstrucció de l'alga coral·lina conjuntament amb altres coral·lines incrustants i el procés de bioerosió que porten a terme cianobacteris, bivalves i herbívors com *Paracentrotus lividus* (Ingrosso *et al.*, 2018). L'acció d'aquesta bioerosió es veu accelerada quan la tenassa de *trottoir* es troba submergida ja que un cop augmenta el nivell del mar els fòssils de *L. byssoides* acaben desapareixent (Laborel *et al.*, 1994).

Al llarg de la història del Mediterrani el nivell del mar ha pujat i baixat a causa de moviments tectònics, de períodes de glaciacions i períodes interglacials arribant a estar entre 5 i 10 m per sobre del nivell actual i 100 m per sota (Lichter *et al.*, 2010). Durant

els períodes de ràpida pujada del mar les bioconstruccions de *L. byssoides* desapareixen tot i que l'espècie sobreviu. Amb els resultats obtinguts en aquest treball es relaciona l'actual pujada del nivell del mar amb l'empitjorament de la condició de *L. byssoides*. Ens trobem davant d'un escenari on les bioconstruccions de *trottoir* es troben amenaçades, amb la possibilitat que desapareguin i consegüentment es perdi un ecosistema complex que tarda centenars d'anys a tornar-se a desenvolupar.

Pel que fa a la colonització de les tenasses per part de l'alga *E. elongata* no podem afirmar que hi hagi diferències significatives en la cobertura mitjana d'aquesta. Per tant de manera general no es veu un augment de cobertura de l'alga. Tot i això, cal tenir en compte que a petita escala l'efecte de la colonització de la tenassa per part de *E. elongata* pot ser important, com passa a l'estació de Pota del Llop on trobem la mateixa cobertura de *E. elongata* que de *L. byssoides*.

## 6. CONCLUSIONS

In this study, a significant reduction in the live coverage of *L. byssoides* has been observed between 2017 and 2023. Currently, in the Montgrí and Illes Medes Natural Park, only one-third of the *L. byssoides* population remains alive. The regression of the *L. byssoides* rims has also been documented in the French Mediterranean coast. This global trend suggests that the causes of the deterioration of the *L. byssoides* rims are not isolated incidents but rather an effect of climate change on marine systems.

A significant correlation has been established between rising sea levels and the worsening condition of *L. byssoides*. The presence of the coralline algae *E. elongata* on the upper part of the rims is also an indicator of this sea-level rise. The *L. byssoides* rims cannot survive prolonged immersion; therefore, if sea levels continue to rise, they are likely to disappear. The recovery of these systems could take decades, centuries, or even millennia. It is of vital importance to adopt large-scale policies and international agreements to mitigate the already evident rise in the mediterranean sea level.



## 7. BIBLIOGRAFIA

- Anthony, K. R. N., Kline, D. I., Diaz-Pulido, G., Dove, S., i Hoegh-Guldberg, O. (2008). Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(45), 17442-17446. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804478105>
- Blanfuné, A., Boudouresque, C.-F., Verlaque, M., Minne, A., Noisette, F., i Thibaut, T. (2023). Impact of sea level rise on the Mediterranean Lithophyllum byssoides rims. *Scientific Reports*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37110-3>
- Boudouresque, C. (2004). *Marine biodiversity in the Mediterranean: Status of species, populations and communities*. 20.
- Boudouresque, C. F., Augier, H., i Guenoun, Y. C. (1995). *Végétation marine de l'île de Port Cros (Parc naturel), VIII. Remiers résultats de l'étude de la croissance in situ de Lithophyllum tortuosum (Rhodophycées, Coralinacées)*. 32, 197-215.
- Burnham, K. P., i Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological methods i research*, 33(2), 261-304.
- Carreras, J., Ferré, A., i Vigo, J. (2018). *Manual dels hàbitats de Catalunya. Volum II. 1 Ambients litorals i salins. Hàbitats terrestres*. Generalitat de Catalunya.
- Cefali, M. E., Cebrian, E., Chappuis, E., Pinedo, S., Terradas, M., Mariani, S., i Ballesteros, E. (2016). Life on the boundary: Environmental factors as drivers of habitat distribution in the littoral zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 172, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.01.043>
- Chappuis, E., Terradas, M., Cefali, M. E., Mariani, S., i Ballesteros, E. (2014). Vertical zonation is the main distribution pattern of littoral assemblages on rocky shores at a regional scale. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 147, 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.05.031>
- Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Lasram, F. B. R., Aguzzi, J., Ballesteros, E., Bianchi, C. N., Corbera, J., Dailianis, T., Danovaro, R., Estrada, M., Froglià, C., Galil, B. S., Gasol, J. M., Gertwagen, R., Gil, J., Guilhaumon, F., Kesner-Reyes, K., ... Voultsiadou, E. (2010). The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *PLOS ONE*, 5(8), e11842. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011842>
- Crain, C. M., i Bertness, M. D. (2006). Ecosystem Engineering across Environmental Gradients: Implications for Conservation and Management. *BioScience*, 56(3), 211-218. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056\[0211:EEAEGI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056[0211:EEAEGI]2.0.CO;2)
- Escalada tradicional (2023). *Cap d'Oltrera i proximitats*. (28 de maig de 2024). Escalada tradicional. <https://escaladatradicional.com/estartit-cap-doltrera-i-proximitats/>
- Galli, G., Solidoro, C., i Lovato, T. (2017). Marine Heat Waves Hazard 3D Maps and the Risk for Low Motility Organisms in a Warming Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00136>

- Generalitat de Catalunya (2021). *Història de protecció, Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter*. (30 d'abril de 2024). Parcs Naturals. <https://parcsnaturals.gencat.cat/ca/xarxa-de-parcs/illes-medes/el-parc/historia-proteccio/index.html>
- Gissi, E., Manea, E., Mazaris, A. D., Frascetti, S., Almpandou, V., Bevilacqua, S., Coll, M., Guarnieri, G., Lloret-Lloret, E., Pascual, M., Petza, D., Rilov, G., Schonwald, M., Stelzenmüller, V., i Katsanevakis, S. (2021). A review of the combined effects of climate change and other local human stressors on the marine environment. *Science of The Total Environment*, 755, 142564. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142564>
- Gorud-Colvert, K., Sullivan-Stack, J., Roberts, C., Constant, V., Horta E Costa, B., Pike, E. P., Kingston, N., Laffoley, D., Sala, E., Claudet, J., Friedlander, A. M., Gill, D. A., Lester, S. E., Day, J. C., Gonçalves, E. J., Ahmadi, G. N., Rand, M., Villagomez, A., Ban, N. C., ... Lubchenco, J. (2021). The MPA Guide: A framework to achieve global goals for the ocean. *Science (New York, N.Y.)*, 373(6560), eabf0861. <https://doi.org/10.1126/science.abf0861>
- Guy-Haim, T., Silverman, J., Raddatz, S., Wahl, M., Israel, A., i Rilov, G. (2016). The carbon turnover response to thermal stress of a dominant coralline alga on the fast warming Levant coast. *Limnology and Oceanography*, 61(3), 1120-1133. <https://doi.org/10.1002/lno.10279>
- Hereu, B., Rodríguez, A., Linares, C., Díaz, D., Riera, J. L., i Zabala, M. (2010). Cartografia bionòmica del litoral submergit de la costa del Montgrí. *Informe tècnic per al Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca. Alimentació i Medi Natural de la Generalitat de Catalunya*. [https://www.academia.edu/download/101352640/Cartografia\\_20bionomica\\_20del\\_20litoral\\_20submergit\\_20de\\_20la\\_20costa\\_20del\\_20Montgr\\_C3\\_AD.pdf](https://www.academia.edu/download/101352640/Cartografia_20bionomica_20del_20litoral_20submergit_20de_20la_20costa_20del_20Montgr_C3_AD.pdf)
- Hereu, B., Ortega, J., Rovira, G., Aspillaga, E., Casals, D., García-Rubies, T., Pérez, M., Mascaró, O., Romero, J., Sanmartí, N., Margarit, N., Zabala, M., Zentner, Y., Linares, C. (2023). *Seguiment del medi marí al Parc Natural de Cap de Creus i al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter*. Memòria 2022. Generalitat de Catalunya. Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural. Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural. <http://seguimentmari.cat/resultats-2022.php>
- Ingresso, G., Abbiati, M., Badalamenti, F., Bavestrello, G., Belmonte, G., Cannas, R., Benedetti-Cecchi, L., Bertolino, M., Bevilacqua, S., Bianchi, C. N., Bo, M., Boscari, E., Cardone, F., Cattaneo-Vietti, R., Cau, A., Cerrano, C., Chemello, R., Chimienti, G., Congiu, L., ... Boero, F. (2018). Chapter Three—Mediterranean Bioconstructions Along the Italian Coast. En C. Sheppard (Ed.), *Advances in Marine Biology* (Vol. 79, p. 61-136). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2018.05.001>
- Jones, C. G., Lawton, J. H., i Shachak, M. (1994). Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos*, 69(3), 373-386. <https://doi.org/10.2307/3545850>

- Jones, M. S., i Solomon, J. (2019). Challenges and supports for women conservation leaders. *Conservation Science and Practice*, 1(6), e36. <https://doi.org/10.1111/csp2.36>
- Laborel, J., Morhange, C., Lafont, R., Le Campion, J., Laborel-Deguen, F., i Sartoretto, S. (1994). Biological evidence of sea-level rise during the last 4500 years on the rocky coasts of continental southwestern France and Corsica. *Marine Geology*, 120(3), 203-223. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0025-3227(94)90059-0)
- Lejeusne, C., Chevaldonné, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C. F., i Pérez, T. (2010). Climate change effects on a miniature ocean: The highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in Ecology i Evolution*, 25(4), 250-260. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.10.009>
- Lichter, M., Zviely, D., Klein, M., i Sivan, D. (2010). Sea-Level Changes in the Mediterranean: Past, Present, and Future – A Review. En J. Seckbach, R. Einav, i A. Israel (Ed.), *Seaweeds and their Role in Globally Changing Environments* (p. 3-17). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8569-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8569-6_1)
- Mahour, K. (2016). Role of Women in Environment Conservation. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 7(1), 17-26.
- Martínez, Albert i Mató, Emili. (s.d.). Fitxa descriptiva dels EIG, 168 Illes Medes i Montgrí oriental. 2021. [https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/patrimoni\\_natural/sistemes\\_dinformacio/inventari\\_despais\\_dinteres\\_geologic/consulta\\_de\\_les\\_fitxes\\_descriptives\\_dels\\_eig/documentos/168\\_descrip.pdf](https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/patrimoni_natural/sistemes_dinformacio/inventari_despais_dinteres_geologic/consulta_de_les_fitxes_descriptives_dels_eig/documentos/168_descrip.pdf)
- Morhange, C., Laborel-Deguen, F., Sartoretto, S., i Laborel, J. (1992). Recherches sur les bioconstructions à lithophyllum lichenoïdes en Méditerranée occidentale. *Méditerranée*, 76(3), 67-71. <https://doi.org/10.3406/medit.1992.2769>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., i Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Pascual, J. *Resums anuals d'onatge*. (7 de maig de 2024). Meteo l'Estartit. <https://meteolestartit.cat/mar/onatge/>
- Pascual, J. *Temperatura de l'aigua del mar una milla a llevant de les Medes: gràfiques de superfície, de diferents nivells i isotermes*. (7 de maig de 2024). Meteo l'Estartit. <https://meteolestartit.cat/mar/temperatura/>
- Pezzolesi, L., Falace, A., Kaleb, S., Hernandez-Kantun, J. J., Cerrano, C., i Rindi, F. (2017). Genetic and morphological variation in an ecosystem engineer, *Lithophyllum byssoides* (Corallinales, Rodophyta). *JOURNAL OF PHYCOLOGY*, 53(1), 146-160. <https://doi.org/10.1111/jpy.12488>
- Rindi, F., Braga, J. C., Martin, S., Pena, V., Le Gall, L., Caragnano, A., i Aguirre, J. (2019). Coralline Algae in a Changing Mediterranean Sea: How Can We Predict Their Future, if We Do Not Know Their Present? *FRONTIERS IN MARINE SCIENCE*, 6, 723. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00723>

- Rodríguez-Prieto, C., Ballesteros, E., Boisset, F., Afonso-Carrillo, J. (2013). *Guía de las macroalgas y fanerógamas marinas del Mediterráneo Occidental*. Ediciones Omega.
- Sanchis Solera, J. (1991). *Lithophyllum lichenoides* Philippi (= *Lithophyllum tortuosum* (Esper) Foslie) (Rhodophyta, Corallinaceae): Distribution on the Spanish Mediterranean. *Lazaroa (Spain)*, 12. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122599/records/6471e59a77fd37171a706476>
- Thibaut, T., Blanfuné, A., i Verlaque, M. (2013). Mediterranean *Lithophyllum byssoides* (Lamarck) Foslie rims: Chronicle of a death foretold. *Rapp. PV CIESM Comm. Int. Expl. Sci. Médit*, 40, 656.
- IUCN. (2012). *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1*. Segunda edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN. vi + 34pp. Originalmente publicado como *IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1*. Second edition. (Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2012).
- Veiga, P., Rubal, M., Cacabelos, E., Moreira, J., i Sousa-Pinto, I. (2013). Abundance and fragmentation patterns of the ecosystem engineer *Lithophyllum byssoides* (Lamarck) Foslie along the Iberian Peninsula Atlantic coast. Conservation and management implications. *JOURNAL OF SEA RESEARCH*, 83, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.03.016>
- Verlaque, M. (2010). Field methods to analyse the condition of Mediterranean *Lithophyllum byssoides* (Lamarck) Foslie rims. *Sci. Rep. Port Cros Nat. Park*, 24, 185-196.
- Westberg, L., i Powell, S. (2015). Participate for Women's Sake? A Gender Analysis of a Swedish Collaborative Environmental Management Project. *Society i Natural Resources*, 28(11), 1233-1248. <https://doi.org/10.1080/08941920.2015.1014594>