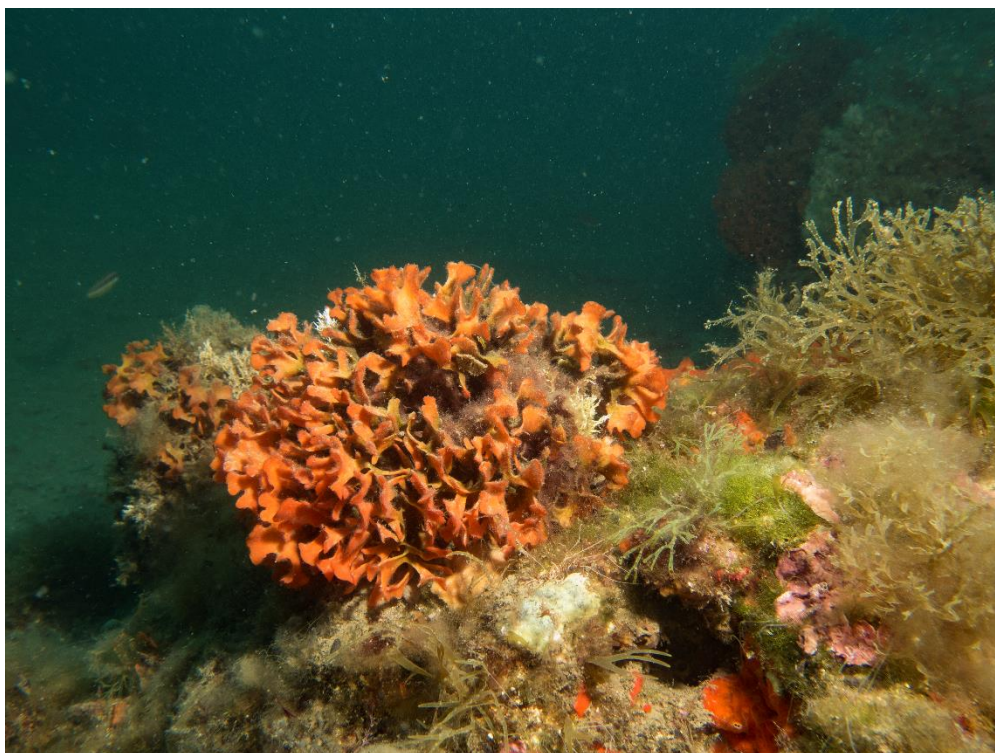


Estudi de la dinàmica de les poblacions del briozou *Pentapora fascialis* de la Reserva Marina de les Illes Medes.





Gestió i direcció del projecte

Bernat Hereu Fina¹

Investigadors involucrats

Marta Pagès Escolà¹

Isaac Atienza¹

Eneko Aspillaga Cuevas ¹

Pol Capdevila Lanzaco ¹

Ignasi Montero Serra ¹

¹Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona, Av. Diagonal 643, 08028 Barcelona

Citar com:

Hereu B, Pagès M, Atienza I, Aspillaga E, Capdevila P, Montero I 2016. Estudi de la dinàmica de la població de l'espècie de briozou *Pentapora fascialis* de la Reserva Marina de les Illes Medes. Informe tècnic per al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter.

PRESENTACIÓ

Aquesta memòria presenta els resultats del grup de treball del Departament d'Ecologia de la UB respecte a l'estudi de les comunitats de briozous de la Reserva Marina de les Illes Medes amb l'objectiu d'estudiar i caracteritzar la dinàmica del briozou *Pentapora fascialis* i establir les bases per a utilitzar aquesta espècie com a indicadora de l'efecte dels submarinistes sobre les comunitats bentòniques.

INTRODUCCIÓ

La Generalitat de Catalunya disposa d'una xarxa d'espais marins protegits que es beneficien de mesures de gestió específicament orientades a la conservació del seu patrimoni natural i de la seva diversitat biològica. Les àrees marines protegides han despertat recentment gran interès arreu del món com eines de gestió capaces de fer front a la degradació creixent dels ecosistemes litorals. Tanmateix, es tracta d'experiències relativament recents (sobretot per la dinàmica de les espècies més longeves) com per saber quins són els límits del que podem esperar dels espais marins protegits, i la millor forma de regular-ne els usos. El principi general és el de realitzar una gestió adaptativa que implica l'avaluació periòdica d'aquest patrimoni per a determinar l'efecte de les mesures endegades en la seva evolució. Aquest és el principal objectiu del projecte d'estudi de les comunitats de briozous del Montgrí i les illes Medes.

El Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter constitueix un espai singulars dels ecosistemes de la Mediterrània occidental, i ha esdevingut unes de les reserves marines més extraordinàries del litoral mediterrani. Tant es així, que ha esdevingut un atractiu turístic de primer ordre, l'efecte dels quals ha tingut cada cop un pes més important sobre l'economia de la zona, fins al punt de prioritzar-se moltes vegades sobre la protecció del medi natural. La conservació, i encara millor, l'ampliació del patrimoni natural de la Reserva, han esdevingut un objectiu molt important no sols des d'una perspectiva conservacionista, sinó també des d'una perspectiva econòmica.

Precisament és en aquesta intensitat d'ús i en el nostre desconeixement del comportament dels ecosistemes marins enfront d'una situació parella on rau el principal perill de degradació del patrimoni natural d'aquests espais. En aquest sentit, les mesures de gestió de la reserva han d'anar dirigides a compatibilitzar la conservació dels hàbitats marins de la reserva amb les activitats que s'hi desenvolupen.

Les mesures de protecció en aquestes illes van començar el 1983, amb una Ordre de la Generalitat de Catalunya que establia la Reserva Marina de les Illes Medes, que comportava restringir l'activitat. El 1985 una resolució establia normes de compliment obligatori a la zona vedada i el 1990 i la Llei 19/1990 va convertir-se en el marc jurídic de la protecció i conservació de la flora i fauna del fons marí de les illes Medes i del tros de costa del Montgrí, entre la roca del Molinet i punta Salines.

Finalment, El Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter es va crear per la llei 15/2010, de 21 de maig de 2010, amb l'objectiu principal d'unificar la normativa de protecció dels tres espais que conformen el Parc Natural (massís del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter). En aquest espai protegit podem trobar diferents zones amb diferents nivells de protecció: 1) la zona de Parc Natural (PN) a la costa del Montgrí entre la punta del Milà i la punta Salines, on la pesca, inclosa la pesca submarina, és permesa; 2) la Zona Perifèrica de Protecció (ZPP) que correspon al tram de costa entre punta Milà i punta del Molinet, on la pesca submarina és prohibida; i 3) la Reserva Natural Parcial (RNP), que comprèn les illes Medes, on no és permès cap tipus de pesca.

La normativa específica dels usos i activitats de la zona estan regulats pel Pla Rector d'Usos i Gestió recollit aprovat el 2008 (en el Decret 222/2008, d'11 de novembre, pel qual s'aprova el Pla rector d'ús i gestió de l'Àrea Protegida de les Illes Medes), i que recentment ha estat modificat en els seus annexes 1 i 6 (ORDRE AAM/112/2015, de 30 d'abril).

En aquesta nova normativa s'ha determinat la zona de l'illot del Medallot com a reserva Integral, de forma que per primer cop tenim a disposició de la recerca aplicada a la gestió, una zona sense els impactes derivats dels usos que es produeixen a les àrees protegides però freqüentades per submarinistes i altres usuaris, i es regula el nombre de submarinistes segons el grau de fragilitat de les comunitats en les que s'hi desenvolupa aquesta activitat. Aquesta normativa preveu que aquest nombre pugui anar canviant al llarg del temps en funció de la informació que es vagi obtenint sobre l'estat de conservació de les comunitats i l'impacte del submarinisme sobre els fons.

El turisme de submarinisme és una de les majors formes d'ús comercial de les àrees marines protegides en tot el món (Rouphael i Inglis 2001, Lloret *et al.*, 2006; Parsons i Thur, 2008). Aquesta indústria creixent pot entrar en conflicte amb els valors ecològics que formen la base de les àrees marines protegides (AMP), i pot accelerar la seva degradació (Davis i Tisdell, 1995).

Els submarinistes poden afectar als organismes d'una forma intencionada o accidentalment. El dany es pot produir per contacte directe amb els organismes marins (amb el cos o amb l'equipament), per bombolles d'aire o per un augment de la resuspensió de sediment, incrementant en molts casos la mortalitat parcial i disminuït la cobertura de corall i altres animals filtradors (Zakai i Chadwick-Furman, 2002; Luna-Pérez *et al.*, 2011).

L'impacte del submarinisme es pot avaluar observant el comportament dels submarinistes directament (Harriot *et al.*, 1997; Rouphael i Inglis, 2001; Zakai i Chadwick-Furman, 2002; Barker i Roberts 2004; Di Franco *et al.*, 2009), comparant l'estat de l'ecosistema entre zones freqüentades i no freqüentades i al llarg del temps (Hawkins i Roberts 1992, Garrabou *et al.*, 1998, Coma *et al.*, 2004; Luna-Pérez *et al.*, 2010; De la Nuez-Hernández, 2014). Però degut a la impossibilitat d'estudiar la totalitat dels ecosistemes, la metodologia més adient és seleccionar espècies indicadores que siguin sensibles a l'impacte produït per les pertorbacions que es pretenen avaluar. Aquestes espècies han de seguir uns criteris estadístics (abundància i repetibilitat), que siguin fàcilment estudiades (mida gran i taxonomia fàcil), i que tinguin un important paper en els ecosistemes, ja sigui a nivell funcional o estructural (Linares i Doak 2010). A més, la metodologia s'ha de basar en mètodes no destructius degut a l'impacte del propi

estudi que es pugui produir sobre les comunitats, especialment si es realitzen en zones protegides.

La majoria d'estudis realitzats, sobretot en zones tropicals (Dixon *et al.*, 1993; Harriot *et al.*, 1997, Tratalos i Austin, 2001; Roupael i Inglis 2001; Barker i Roberts 2004, Hawkins *et al.*, 2005; Parsons i Thur, 2008; Dearden *et al.*, 2010), han utilitzat espècies de coralls, ja que són espècies enginyeres, amb una estructura calcària fràgil i sensible a les pertorbacions físiques causades pels submarinistes.

A la Mediterrània, les comunitats més sensibles a les pertorbacions causades pels submarinistes són les comunitats medio i circalitorals, com les comunitats esciòfiles i el coral·ligen, ja que estan dominades per organismes sèssils amb un alt component estructural i, per tant molt fràgils a les pertorbacions físiques (Ballesteros 2006, Sala *et al.*, 1996; Lloret *et al.*, 2006). Així, s'han utilitzat les gorgònies (Linares i Doak, 2010), el corall vermell (Linares *et al.*, 2012) i els briozous (Sala *et al.*, 1996; Garrabou *et al.*, 1998) com a espècies indicadores.

D'aquestes, els briozous han mostrat ser un bon indicador de l'impacte del busseig, degut a la seva composició calcària d'elevada fragilitat, i que són sotmesos a trencaments i abrasions que produeix una disminució de la densitat i mides de les colònies (Sala *et al.* 1996, Garrabou *et al.*, 1998; Ballesteros 2006).

Tot i que els briozous han estat considerats un bon indicador de l'efecte del submarinisme, ha estat un indicador estàtic, és a dir, molt útil per a comparar zones freqüentades i zones no freqüentades. Aquest organisme, a diferència dels que s'han utilitzat fins al moment per a determinar els efectes del submarinisme i l'evolució i recuperació de les comunitats al llarg del temps, com la gorgònia vermella o el corall vermell, tenen probablement una dinàmica més ràpida, de forma que poden donar una resposta més ràpida a les mesures de gestió aplicades per a la reducció de l'impacte del submarinisme. No obstant, degut a que no s'han fet estudis de la dinàmica poblacional d'aquests organismes al llarg del temps, o estudis de seguiment després de l'eliminació d'un impacte (i.e. estudis tipus BACI: *Before After Control Impact*), fins al moment no disposem d'aquesta informació. Aquesta informació doncs és de gran importància per a poder realitzar una gestió adaptativa amb un temps de resposta molt més ràpid que utilitzant les poblacions d'espècies més longeves. Si podem determinar les taxes de reclutament (i.e. el percentatge de colònies noves aparegudes a la població cada any), creixement i mortalitat natural d'aquests organismes, podem determinar amb major certesa la mortalitat per erosió deguda a l'efecte del submarinisme, el temps de recuperació de les poblacions i, en definitiva, poder establir quina és la capacitat de càrrega (i.e. el nombre màxim de visites de submarinistes amb el mínim impacte sobre els fons) de les zones afectades amb una major precisió.

Aquest estudi, encarregat per la direcció del Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter, té com a objectiu estudiar la dinàmica poblacional de l'espècie de briozou *Pentapora fascialis* amb la finalitat de determinar l'adequació d'aquesta espècie com a indicadora de l'impacte dels submarinistes sobre les comunitats bentòniques, i de la resposta d'aquestes comunitats als canvis en la gestió de la freqüentació de submarinistes.

MATERIAL I MÈTODES

Aquest estudi s'ha dut a terme mitjançant el mostreig in situ en escafandre autònoma, en transectes fixes situat a diverses localitats de les Illes Medes i la costa del Montgrí, en zones amb una alta freqüentació de submarinistes, i en zones de baixa o nul·la freqüentació (Figura 1). Les estacions de mostreig es varen situar en substrats rocósos horitzontals, i a una fondària variable al voltant de 20 metres, depenent de la orografia de les estacions de mostreig.

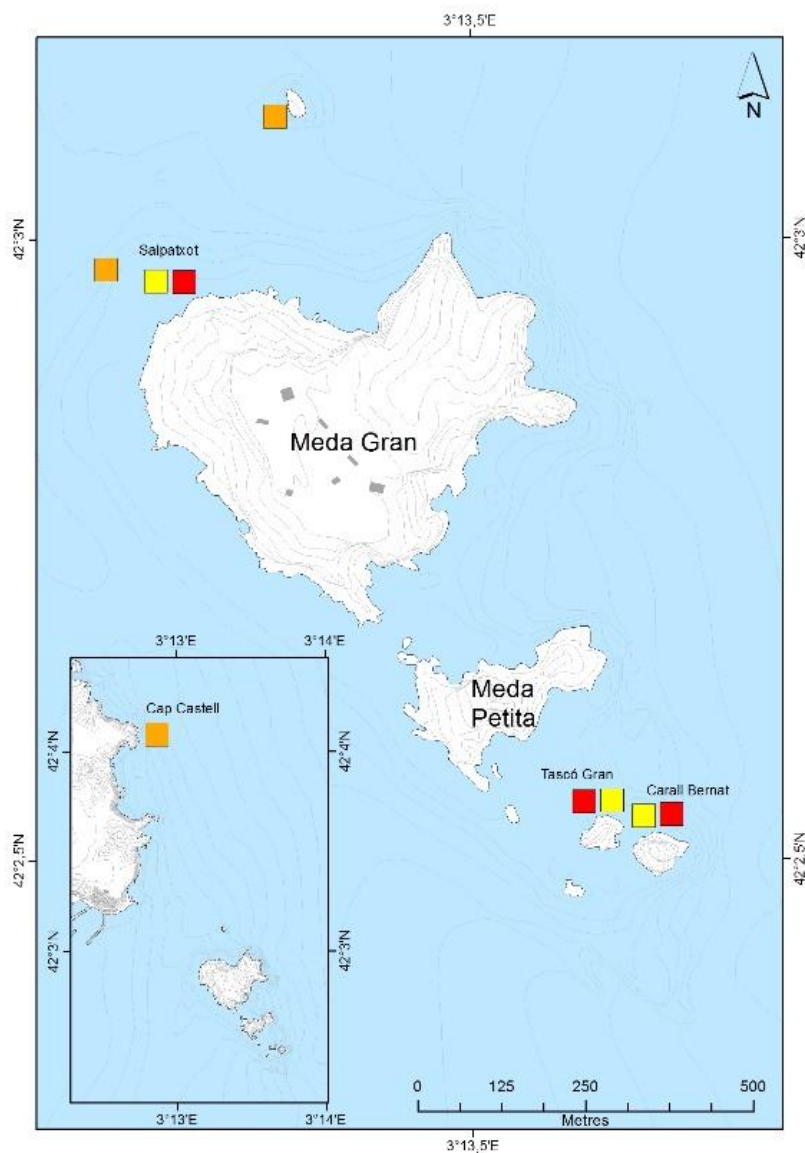


Figura 1- Estacions de mostreig proposades a la Reserva Marina de les Illes Medes. Els quadres gros representen els transectes que es varen marcar i seguir per a estimar l'efecte dels submarinistes en zones freqüentades, i els quadres taronja en zones no freqüentades per submarinistes. Els quadres vermells representen les zones on es varen instal·lar els transectes amb proteccions per a evitar el trepig per submarinistes. Les coordenades estan referides al sistema de referència European Datum 1950.

En cada una de les estacions seleccionades, i dins els tancats, es va marcar un transecte fixe, d'una superfície mínima de 2x4 m, delimitat amb marques permanents: cargols de plàstic fixats amb massilla epoxi a cada metre. Per al mostreig, s'instal·lava una cinta mètrica connectant els cargols de plàstic, i es resseguia amb un quadre de 50x100 cm (dividit en dos quadres de 50x50 cm) disposat perpendicularment a banda i banda de la cinta i referenciat a la cinta mètrica, de manera que cada quadre de 50x50 cm quedava perfectament delimitat dins de l'àrea del transecte fixe. Això permetia situar espacialment a una escala de centímetres tota l'àrea dels transectes estudiada, i d'aquesta forma poder identificar i replicar la mateixa àrea i les colònies de *P. fascialis* individualment. En total, a cada transecte es va mostrejar una superfície d'almenys 8 m², variable segons la disponibilitat de substrat (Figura 2, Taula 1).

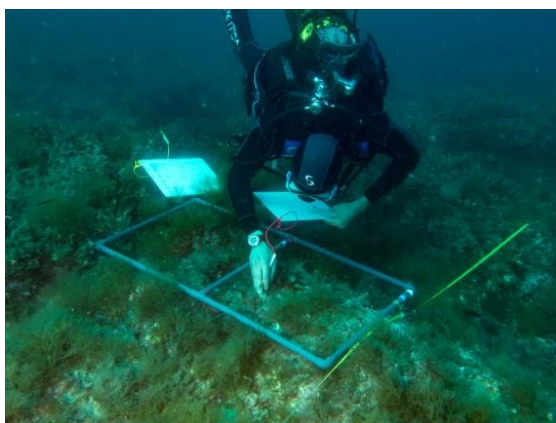
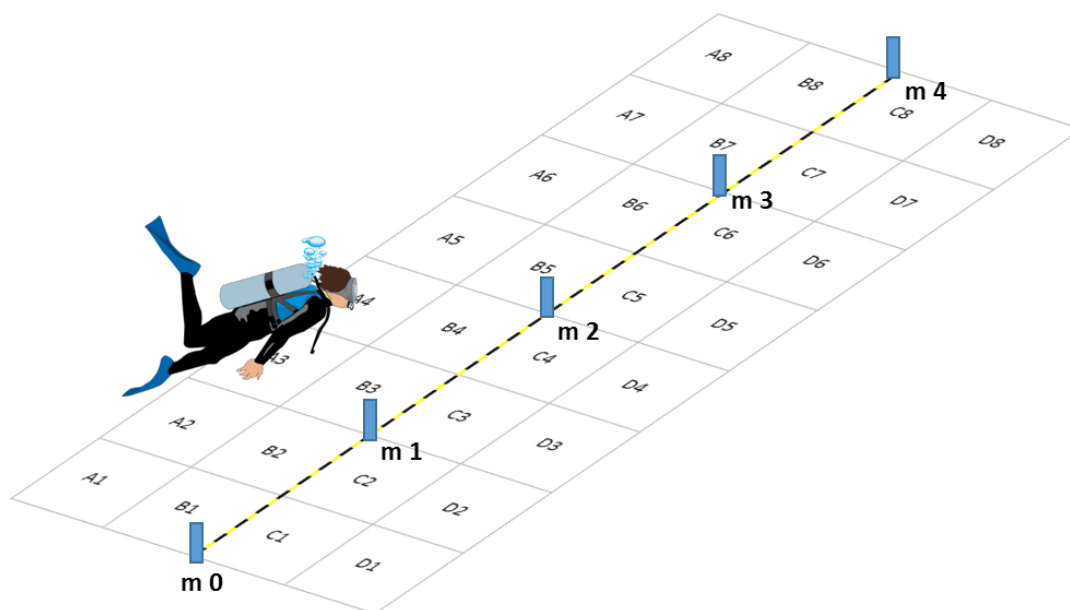


Figura 2- a) Esquema d'un transecte delimitat per marques fixes a cada metre, units per una cinta mètrica que fa de referència per a delimitar una àrea de 2 m d'ample per la longitud del transecte, i subdividida en quadres de 50x50 cm. b) Mostreig in situ dels quadres delimitats per la cinta mètrica central i un quadre de PVC de referència de 50x50 cm. c) Transecte experimental protegit per barres verticals unides per cordill visible per a evitar el trepig per submarinistes.

Es varen seleccionar zones no freqüentades (3 en total) i zones freqüentades (3 en total) per a la seva comparació (veure Figura 1, Taula 1). A més, en cada una de les tres estacions freqüentades, es va instal·lar un tancat amb una sèrie de proteccions per a evitar el trepig de la superfície del transecte per part dels submarinistes, de manera que servissin de control i es poguessin comparar amb les zones sense protecció. Aquestes proteccions es varen fer amb 6 barres de PVC de 50 cm d'alçada fixades al fons mitjançant ancoratges d'escalada (Figura 2, Taula 1).

Els transectes de Carall Bernat, Tascons, Salpatxot i Cap Castell varen ser els mateixos que es varen instal·lar l'Octubre de 2014 per a l'estudi de l'estructura de les poblacions de briozous (Hereu *et al.*, 2014), de forma que també es varen poder incloure les dades del 2014 en el present estudi. Per a la resta d'estacions, els transectes i tancats es varen instal·lar durant el mes de Maig de 2015.

Taula 1- Nom de les estacions mostrejades, el seu tractament, la fondària mitja i la superfície total mostrejada de cadascuna.

Estació	Tractament	Fondària	Superfície (m ²)
Cap Castell	No Freqüentat	23	20
Medallot	No Freqüentat	17	20
Salpatxot	No Freqüentat	18	14
Carall	Freqüentat	19	12
Salpatxot	Freqüentat	20	20
Tascons	Freqüentat	20	12
Carall Tancat	Tancat	22	8
Salpatxot Tancat	Tancat	17	8
Tascons Tancat	Tancat	20	8

De cada transecte es va fer un mapa amb la posició de cada una de les colònies de forma que durant el mostreig cada colònia identificada es situava espacialment dins de cada quadre. A cada quadre es feia un recompte del nombre de colònies de *P. fascialis*, i a més es mesurava l'alçada de cada una de les colònies. A més, a cada transecte es varen fotografiar tots els quadres identificats en relació a la seva posició a la cinta mètrica mitjançant una càmera digital (Canon G16). Aquestes fotografies es varen analitzar al laboratori mitjançant el programa informàtic ImageJ (Abramoff *et al.*, 2004), de forma que es va identificar cada una de les colònies mesurades *in situ* i es va calcular el seu diàmetre, perímetre i àrea. Aquestes dades, juntament amb l'alçada calculada en el mostreig *in situ* va permetre caracteritzar la forma i la mida de cada una de les colònies compreses dins del transecte.

Amb aquesta metodologia vàrem poder situar espacialment tota l'àrea de mostreig i identificar individualment cada colònia, i ens va permetre repetir a cada mostreig les mateixes mesures de densitat a cada quadre, i l'alçada, diàmetre i àrea de cada colònia individualment. Comparant aquestes mesures varem poder determinar els paràmetres demogràfics de les poblacions estudiades. Les taxes de reclutament i mortalitat es varen realitzar comptabilitzant el nombre de reclutes en cada període de mostreig, i el percentatge de colònies mortes entre un període de mostreig i un altre, respectivament. El creixement es va determinar comparant l'àrea i el diàmetres màxim de cada colònia en cada període de mostreig.

A més, es va anotar el grau d'exposició seguint el criteri establert per Sala *et al.* (1996), en el que defineix 6 categories: 1: epibionts, 2: sobre superfícies convexes, 3: sobre superfícies planes, 4: sobre superfícies còncaves i 5: sota extraploms o cornises (Figura 3).

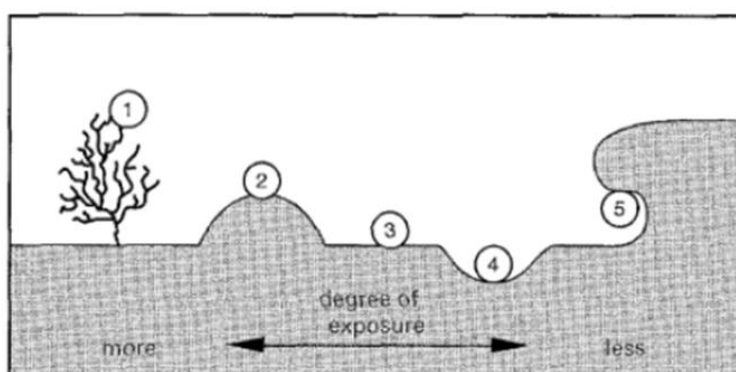


Figura 3- Classificació dels graus d'exposició (1, epibionts; 2, sobre superfície convexa; 3, sobre superfície plana; 4; sobre superfície còncava; 5, sota extraploms) (Sala *et al.*, 1996)

Durant el mes de maig de 2015 es va fer un primer mostreig de totes les estacions, on es varen prendre totes les mesures descrites anteriorment. A més, es va realitzar un segon mostreig a les estacions freqüentades i amb tancats al mes d'octubre de 2015 per a determinar l'evolució de les poblacions a totes les estacions.

Primer de tot s'ha fet un anàlisi correlatiu entre les variables mesurades per a determinar el seu grau de precisió i la seva correlació.

Per a cada variable seleccionada (densitat, àrea i diàmetre màxim de les colònies), es va realitzar una anàlisi de permutacions de variància (PERMANOVA; Anderson, 2001), basat en distàncies euclídiades. Per una part, es va testar si hi havia diferències significatives entre els diferents períodes de mostreig en cada estació. Per altre, es va fer un anàlisi de dos factors per a cada variable estudiada per a determinar si existeien diferències estadísticament significatives entre els tractaments (agrupant les diferents estacions no-freqüentat/freqüentat/tancat), i el moment del mostreig, a més de la seva interacció.

RESULTATS

Metodologia

La metodologia utilitzada en aquest estudi ens ha permès crear i mantenir les situacions experimentals que esperàvem, i realitzar les mesures necessàries per a l'estudi de les poblacions de *Pentapora fascialis*.

Per una part, la instal·lació de transectes fixes senyalitzats per marques permanents ens ha permès identificar espacialment les superfícies que hem estat monitoritzant, i identificar individualment les colònies de *P. fascialis* i comparar-les en els successius mostreigs. A més, la instal·lació de barreres físiques per a la protecció de determinades àrees de l'efecte erosiu dels submarinistes ha estat exitosa, ja que aquests tancats varen quedar fortament instal·lats, s'han mantingut durant tot el període d'estudi, i actualment segueixen instal·lats.

Per altra banda, l'anàlisi de les fotografies demostra ser una bona tècnica per a l'estudi de les poblacions de *P. fascialis*, ja que la identificació de l'àrea fotografiada permet la revisió de la mateixa superfície en els diferents mostrejos, la identificació a nivell individual de les colònies i el seu mapatge (veure annex 1), a més de permet la quantificació del diàmetre màxim i l'àrea total de les colònies a través del programa ImageJ.

La combinació de les mesures in situ i la presa de fotografies de les zones ha permès posar a punt la tècnica de les mesures utilitzades per als anàlisis amb la màxima eficiència. Les mesures preses *in situ*, com la densitat i l'alçada de les colònies, es varen comparar amb dels resultats extrets de l'anàlisi de les fotografies digitals. Vàrem poder comprovar que la mesura de les densitats no variava entre els resultats extrets de les fotografies i de l'anàlisi in situ. A més, hem pogut comprovar que la mesura de l'alçada es força variable i, tot i que té certa correlació ($R^2 = 0,62$, $p < 0,001$), altres mesures, com el diàmetre màxim, s'ajusten més al l'àrea total de la colònia ($R^2 = 0,84$, $p < 0,001$) (Figura 4).

Així doncs, vàrem utilitzar les mesures de densitat, diàmetre màxim i àrea total per a l'anàlisi dels paràmetres demogràfics de la població.

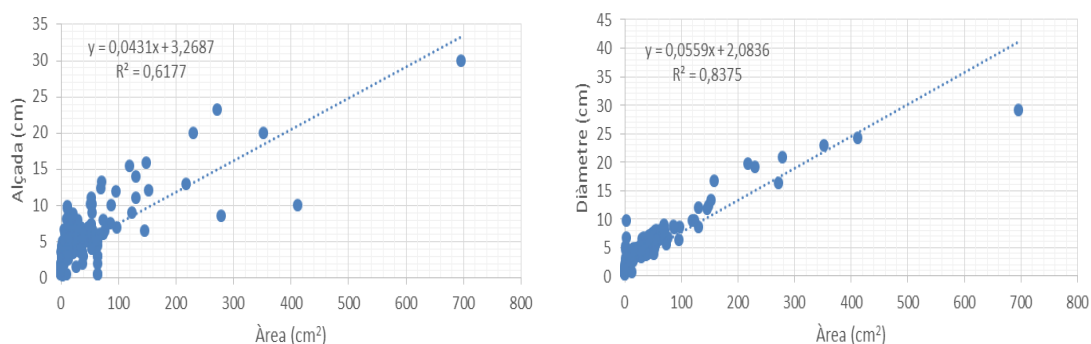


Figura 4- Correlació entre a) l'alçada i l'àrea total i b) el diàmetre màxim i l'àrea total de les colònies de *Pentapora fascialis* estudiades. Es mostren els paràmetres de la regressió i el coeficient de correlació.

El període de mostreig també va mostrar ser un factor important per a la monitorització de les poblacions de *P. fascialis*. En aquest estudi es varen fer mostreigs en dos períodes diferenciats: tardor de 2014 i 2015 i primavera de 2015. En el període de tardor, degut a que la cobertura algal és menor, tant les mesures com l'anàlisi de les fotografies es van poder realitzar amb major facilitat que a la primavera, quan la cobertura algal és màxima, dificultant tant la identificació *in situ* com les mesures poblacionals a través de les fotografies. La figura 5 mostra un mateix quadre en els diferents moments de mostreig.

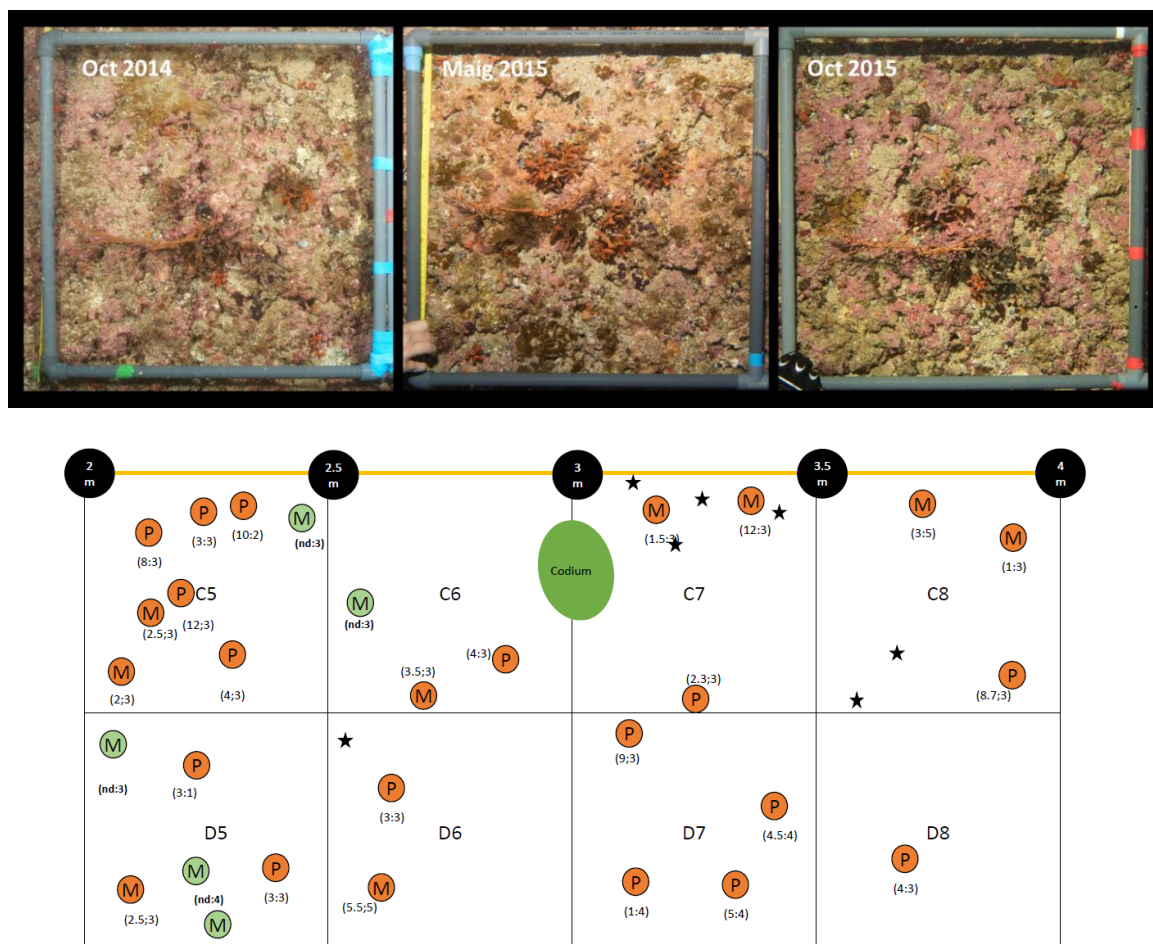


Figura 5- Exemple de la metodologia utilitzada. a) Fotografies del mateix quadre (C4) del transecte de cap Castell en els diferents moments de mostreig. B) Mapa on es situa espacialment cada una de les colònies de briozous dins els quadres per a la posterior identificació i comparació entre els diferents mostreigs. Aquest exemple correspon al tram de Cap Castell, al mostreig de Maig de 2015.

A la primavera del 2015, es va produir una proliferació de macroalgues filamentoses que varen cobrir pràcticament el 100% de la major part dels fons entre 10 i 25 metres de fondària, epifitant les espècies sèssils com els briozous, gorgònies i altres organismes (Figura 6). Aquesta proliferació va afectar, per una part al mostreig, ja que la cobertura algal va dificultar en gran mesura l'estima dels paràmetres estudiats de les poblacions. Per altra banda, creiem que va tenir un cert efecte sobre la mortalitat posterior que es va detectar a l'Octubre del mateix any (veure comentaris més avall i la discussió).

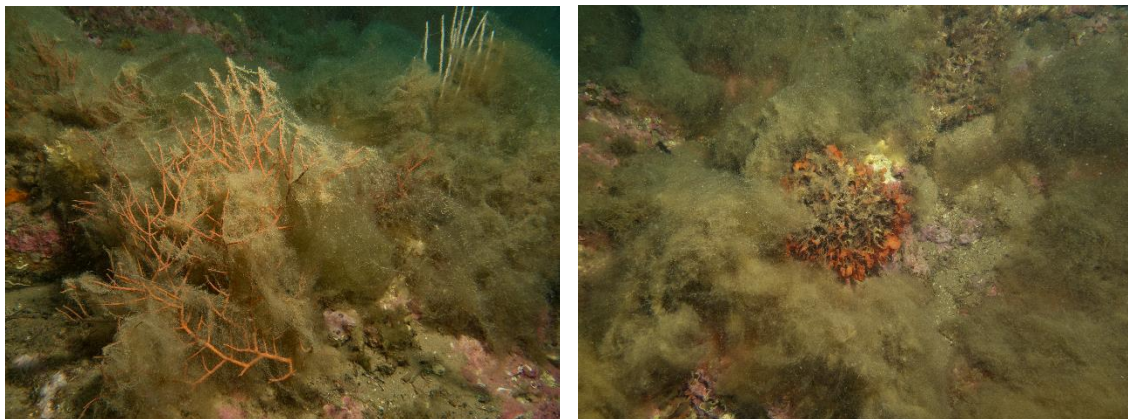


Figura 6- Aspecte dels fons a la primavera de 2015 dominats per macroalgues filamentoses que cobrien pràcticament el 100% del substrat, i les espècies sèssils com a) gorgònies o b) briozous.

Estat i evolució de les poblacions de *Pentapora fascialis*

L'evolució de la densitat de *P. fascialis* en els diversos tractaments mostren un patró molt clar . A les estacions que es varen motrejar el 2014 s'hi pot observar una estabilitat entre la tardor de 2014 i la primavera de 2015, com a Carall o Tascons o fins i tot cert augment, com a Cap Castell i Salpatxot (Taula 2, Figura 7). El patró més comú i contrastat, però, es la forta mortalitat i la davallada de la densitat entre la primavera i la tardor de 2015 en totes les estacions estudiades, excepte al Medallot (Taula 2, Figura 7). Algunes de les estacions, com Carall Tancat i Salpatxot Tancat, aquestes diferències no es poden observar degut al baix nombre de colònies dins els transectes.

Taula 2- Resultat dels anàlisis PERMANOVA comparant la densitat de *P. fascialis* en cada una de les estacions estudiades en els diferents mostreigs: Primavera 2014 (2014), Primavera de 2015 (2015) i Octubre de 2015 (2015Oct).

	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	
Cap Castell	2	178,20	89,12	26,15	0,001	2014<2015>2015Oct
Medallot	1	0,13	0,13	1,27	0,272	n.s.
Salpatxot No Freq.	1	19,38	19,38	77,31	0,001	2014>2015Oct
Carall	2	0,92	0,46	5,00	0,006	2014=2015>2015Oct
Salpatxot	1	0,79	0,79	10,34	0,006	2014=2015Oct<2015
Tascons	2	3,22	1,61	10,42	0,001	2014=2015>2015Oct
Carall tancat	1	0,06	0,06	3,19	0,249	n.s.
Salpatxot tancat	1	0,16	0,16	3,15	0,171	n.s.
Tascons tancat	1	1,90	1,90	10,31	0,004	2015>2015Oct

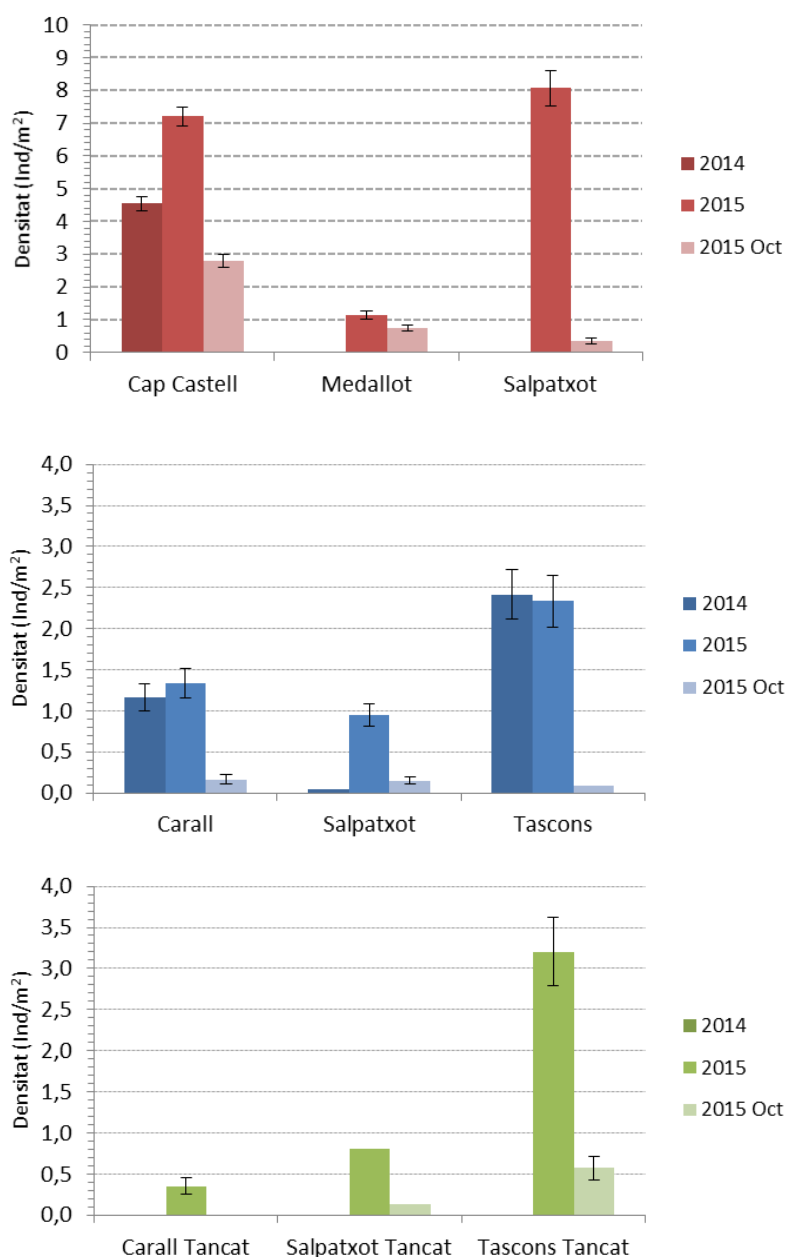


Figura 7- Densitat (nombre d'individus/ m² ± ES) de les colònies de *Pentapora fascialis* a zones no freqüentades (vermell), zones freqüentades per submarinistes (blau) transectes tancats amb proteccions (verd).

Si tenim en compte només les mesures de 2015, el patró general mostra una clara diferència entre les estacions no freqüentades, i les estacions freqüentades i amb tancats (Taula 3, Figura 8), on les densitats de les estacions no freqüentades mostren uns valors molt més elevats, mentre que no s'observa cap diferència significativa entre les estacions freqüentades i amb tancat (Taula 3). La forta mortalitat és evident i significativa en tots els tractaments, ja que l'anàlisi estadística mostra una significació clara entre els diferents temps, però no una interacció entre el temps i el tractament (Taula 3).

Taula 3- Resultat dels anàlisis PERMANOVA de dos factors testant l'efecte del tractament (no freqüent, Freqüentat i Tancat) i el temps (primavera i tardor de 2015), i la seva interacció en la densitat de *P. fascialis*.

	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	
Tractament	2	0,69	0,34	5,70	0,02	No Freq.>Freq=Tancat
Any	2	0,60	0,30	5,00	0,02	2014=2015>2016
TractxAny	3	0,09	0,03	0,51	0,66	
Res	14	0,84	0,06			

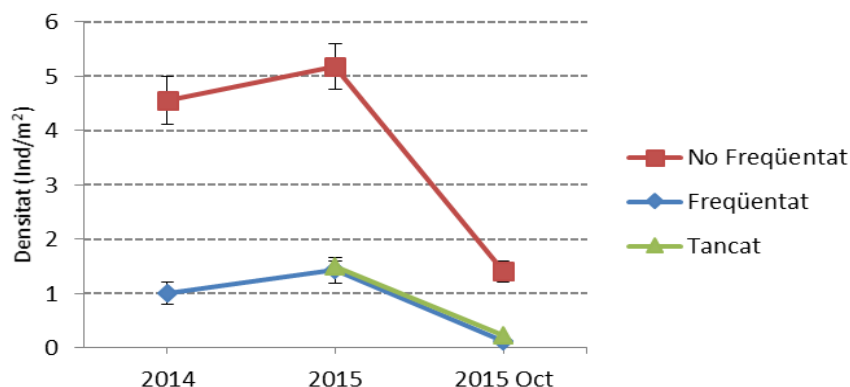


Figura 8- Densitat (nombre d'individus/ m² ± ES) de les colònies de *Pentapora fascialis* en els diferents tractaments en els tres períodes de mostreig.

Pel que fa al grau d'exposició, es pot observar que les colònies en el grau d'exposició 3 (sobre fons plans) són les més freqüents, tant en les estacions no freqüentades com en les estacions freqüentades (Figura 9). No obstant, en les estacions no freqüentades, hi ha una major diversitat en els diferents graus d'exposició, i una major freqüència de les categories més exposades. Hi ha un clar efecte de la mortalitat produïda a la tardor del 2015, ja que es pot observar una clara disminució de les colònies més exposades (Figura 9).

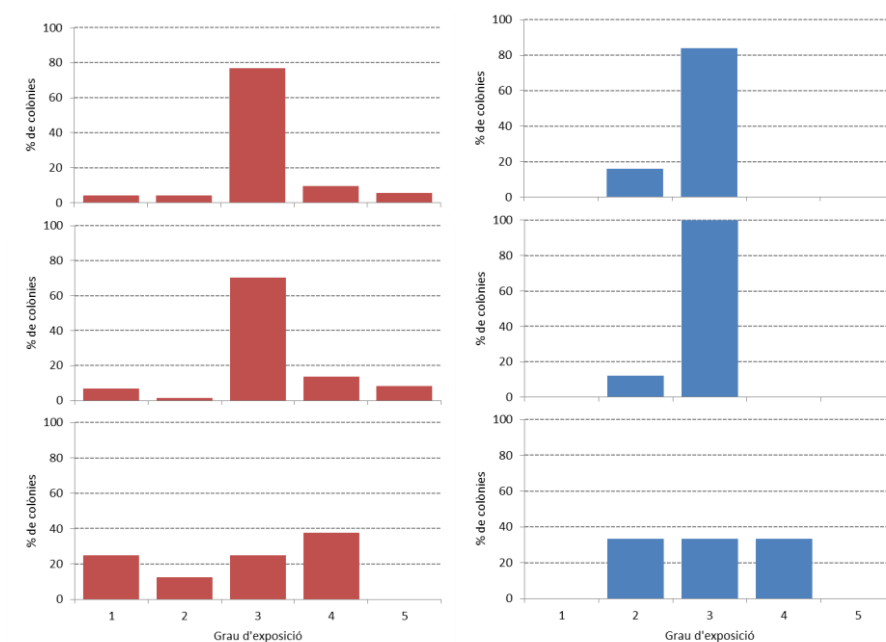


Figura 9- Grau d'exposició (en %), segons les categories de la Figura 3, de les poblacions de *Pentapora fascialis* en els diferents tractaments: no freqüentat (vermell) i freqüentat (blau). La categoria tancat no es mostra degut a la baixa mida mostral).

Les mesures de la cobertura mitja de *P. fascialis* mostren uns patrons molt similars als observats amb les mesures de densitat (Taula 4, Figura 10). Tot i que les diferències entre la tardor de 2015 i primavera de 2015 son variables (augmenta a Cap Castell, es manté a Tascons i disminueix a Carall), la davallada entre la primavera de 2015 i la tardor de 2015 és molt notable i altament significativa en la majoria de les estacions, excepte Cap Castell, i Carall Tancat i Salpatxot Tancat degut a la baixa mida mostral (Taula 4, Figura 10).

Taula 4- Resultat dels anàlisis PERMANOVA comparant la cobertura de *P. fascialis* en cada una de les estacions estudiades en els diferents mostreigs: Primavera 2014 (2014), Primavera de 2015 (2015) i Octubre de 2015 (2015Oct).

	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	
Cap Castell	2	167,58	83,79	26,31	0,001	2014<2015>2015 Oct
Medallot	1	2,134	2,134	1,326	0,237	
Salpatxot No Freq.	1	160,100	160,100	67,838	0,001	2014>2015 Oct
Carall	2	19,000	9,500	4,821	0,019	2014>2015>2015 Oct
Salpatxot	2	3,046	1,523	2,499	0,041	2014=2015>2015 Oct
Tascons	2	55,760	27,880	12,547	0,001	2014=2015>2015 Oct
Carall tancat	1	0,607	0,607	0,587	0,043	2014=2015>2015 Oct
Salpatxot tancat	1	0,070	0,070	0,505	0,602	
Tascons tancat	1	16,973	16,973	10,991	0,003	2015>2015 Oct

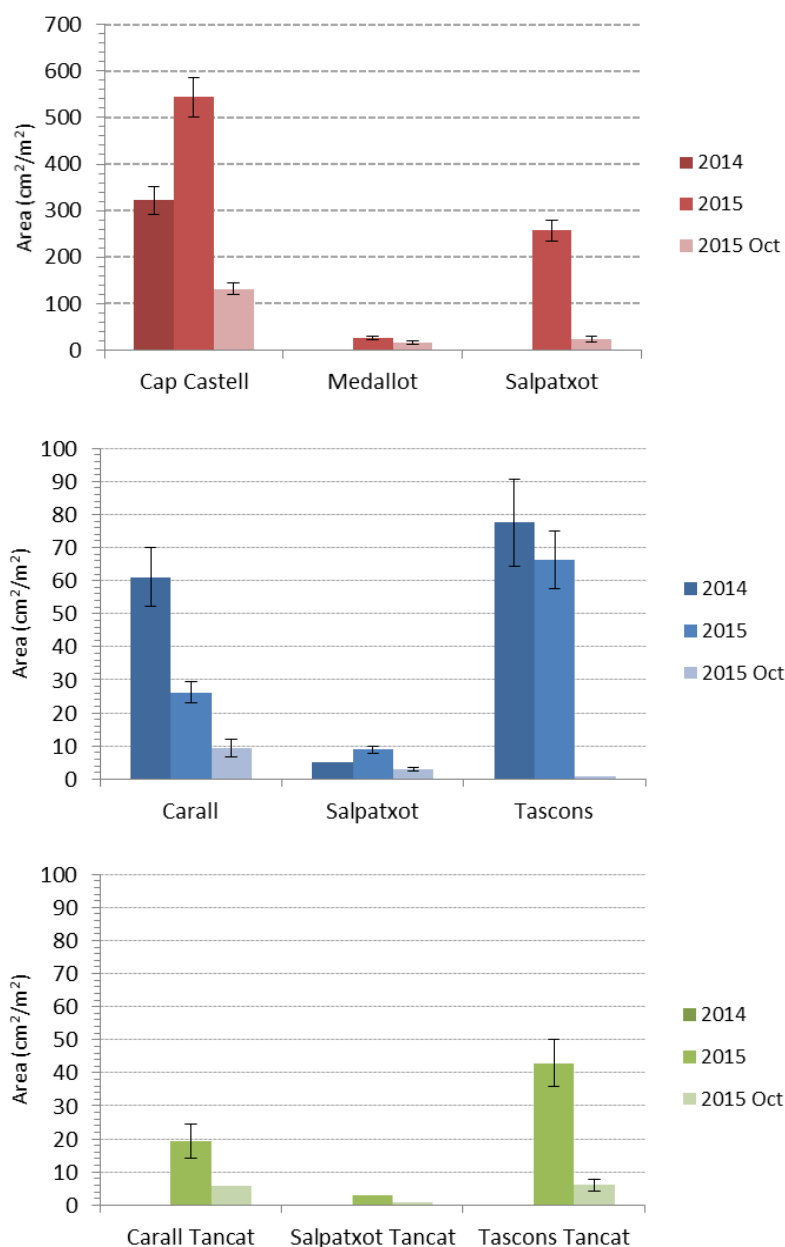


Figura 10- Cobertura mitjana de de les colònies de *Pentapora fascialis* (cm²/ m² ± ES) en zones no freqüentades (vermell), zones freqüentades per submarinistes (blau) transsectes tancats amb proteccions (verd).

El patró general de l'evolució de la cobertura entre els diferents tractaments, mostra un patró molt similar a la cobertura: una estabilitat entre tardor de 2014 i primavera de 2015, i una forta davallada a la tardor de 2015. L'anàlisi de la cobertura en els diferents tractaments entre primavera i tardor de 2015 mostra una clara significació entre el tractament, on la cobertura en els transsectes no freqüentats és molt més elevada, i el temps, mentre que no hi ha interacció entre ambdós factors, ja que la mortalitat i la baixada de la cobertura es produeix de forma similar a tots els tractaments, independentment del valor de cobertura (Taula 5, Figura 11).

Taula 5- Resultat dels anàlisis PERMANOVA de dos factors testant l'efecte del tractament (No Freqüentat, Freqüentat i Tancat) i el temps (primavera i tardor de 2015), i la seva interacció en la cobertura de *P. fascialis*.

	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	
Tractament	2	9177,6	4588,8	6,9192	0,012	No Freq.>Freq=Tancat
Any	2	3474	1737	2,6191	0,125	
TractxAny	3	3002,5	1000,8	1,5091	0,221	
Res	14	9284,8	663,2			

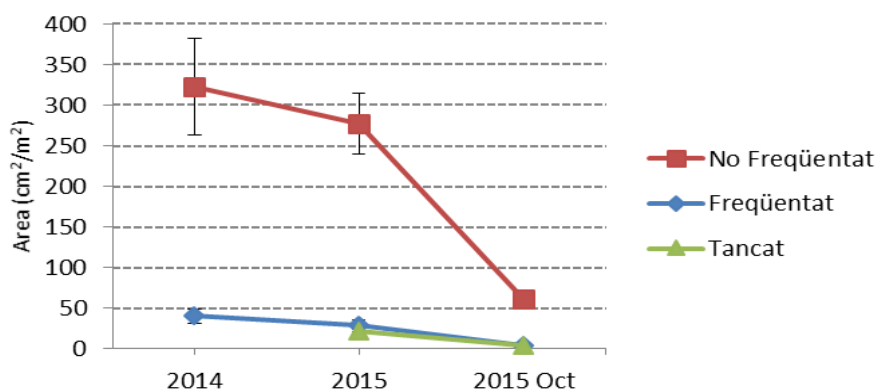


Figura 11- Cobertura ($\text{cm}^2/\text{m}^2 \pm \text{ES}$) de les colònies de *Pentapora fascialis* en els diferents tractaments durant els tres períodes de mostreig.

L'anàlisi de l'estructura de talles mostra una distribució similar en la majoria d'estacions, amb una dominància clara de les classes de talla petites, i una presència de les classes de talla més grans en les estacions no freqüentades. És de destacar que la mortalitat de les colònies es produeix en totes les talles, tot i que en les estacions no freqüentades, especialment a Cap castell, es pot observar que les colònies de mida més gran son les més persistents (Figura 12).



Figura 12- Estructura de talles en base a l'àrea (individus agrupats en categories de 15 cm², i en una categoria de més de 100 cm²) en els diferents períodes de mostreig de les poblacions de *Pentapora fascialis* mesurades a les diferents localitats estudiades. Columna de l'esquerra (vermell): zones no freqüentades, columna del mig (blau): zones freqüentades per submarinistes i columna de la dreta (verd): transectes tancats amb proteccions.

L'evolució del diàmetre mig de de les colònies al llarg dels períodes d'estudi en cada una de les estacions no mostra un patró clar, ja que només s'observen diferències significatives a Cap Castell i Medallot, i amb patrons diferents (Taula 6, Figura 13).

Taula 6- Resultat dels anàlisis PERMANOVA comparant del diàmetre mig de *P. fascialis* en cada una de les estacions estudiades en els diferents mostreigs: Primavera 2014 (2014), Primavera de 2015 (2015) i Octubre de 2015 (2015Oct). A les estacions de Carall Tancat i Salpatxot Tancat no s'ha pogut fer anàlisis degut a la baixa mida mostral.

	df	SS	MS	Pseudo-F	P (perm)	
Cap Castell	2	7,8234	3,9117	4,1094	0,017	2014<2015=2015 Oct
Medallot	1	1,843	1,843	5,339	0,036	2014>2015
Salpatxot No Freq.	1	0,650	0,650	0,878	0,342	
Carall	2	0,037	0,018	0,101	0,891	
Salpatxot	2	0,036	0,018	0,231	0,758	
Tascons	2	0,26063	0,13031	0,59153	0,541	
Carall Tancat						
Salpatxot Tancat						
Tascons Tancat	1	0,301	0,301	0,472	0,475	

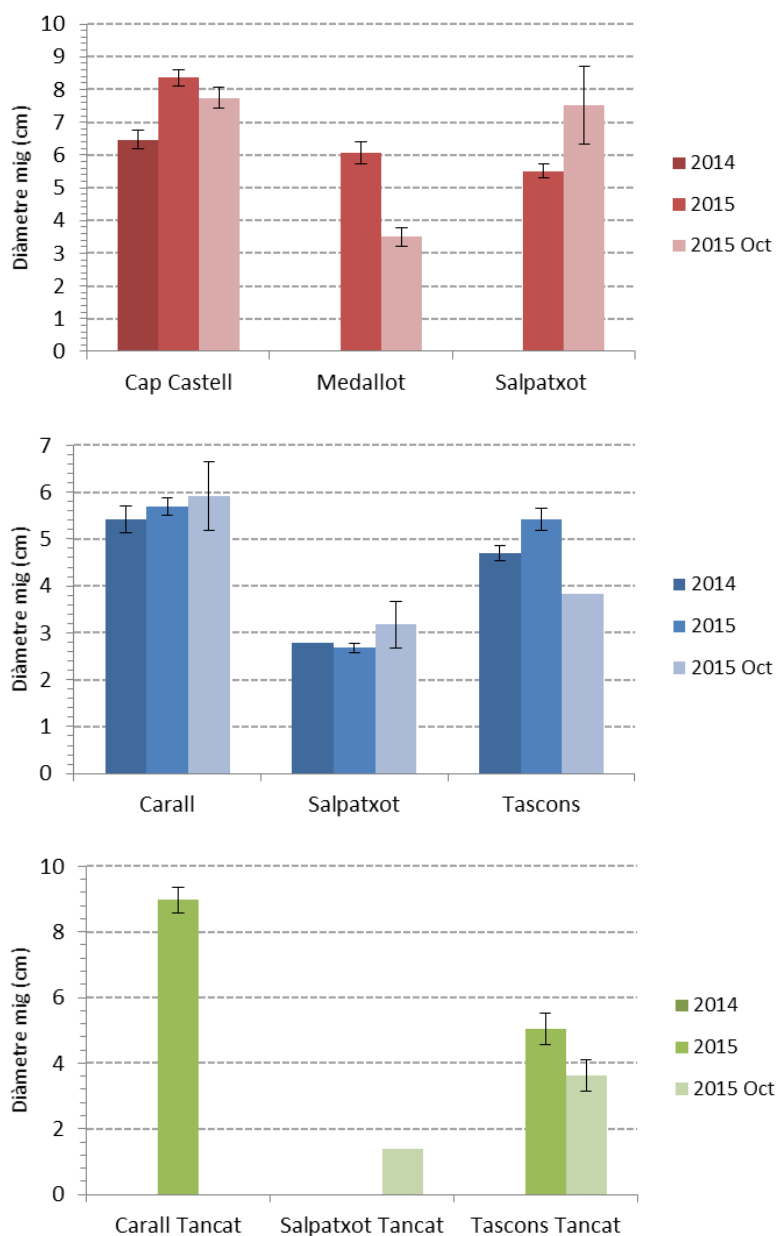


Figura 13- Diàmetre mig (cm \pm SE) de les colònies de *Pentapora fascialis* a les diferents localitats: zones no freqüentades (vermell), zones freqüentades per submarinistes (blau) transsectes tancats amb proteccions (verd).

Si s'observa els diàmetre mig de les colònies a nivell de tractament i al llarg del temps, es pot observar que el diàmetre mig de les colònies de les estacions no freqüentades és significativament més elevat que les estacions freqüentades i amb tancat (Figura 14, Taula 7). A més, es pot observar que en les estacions no freqüentades, el diàmetre mig augmenta la tardor de 2015, fet que concorda amb la pèrdua proporcionalment major de les colònies més petites.

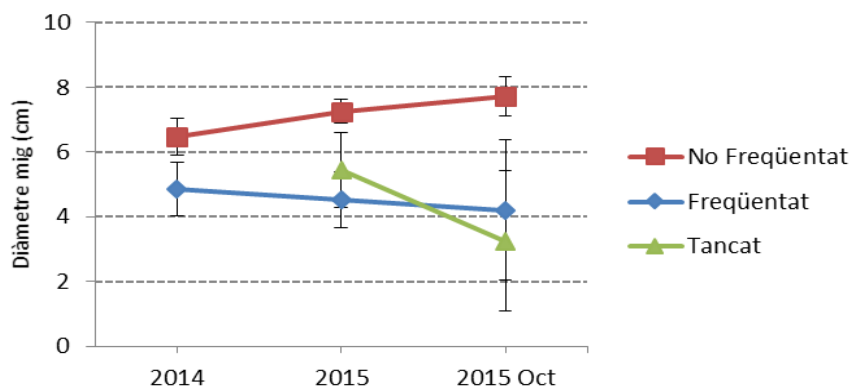


Figura 14- Diàmetre mig (cm \pm ES) de les colònies de *Pentapora fascialis* en els diferents tractaments en els tres períodes de mostreig.

Taula 7- Resultat dels anàlisis PERMANOVA de dos factors testant l'efecte del tractament (No Freqüentat, Freqüentat i Tancat) i el temps (primavera i tardor de 2015), i la seva interacció en el diàmetre mig de les colònies de *P. fascialis*.

	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)
Tractament	2	400,04	200,02	7,1191	0,005
Any	2	20,165	10,082	0,35885	0,702
TractxAny	3	56,567	18,856	0,6711	0,548
Res	462	12981	28,096		

L'anàlisi de l'estructura de talles en base al diàmetre mig ens mostra una vegada més una distribució similar en la majoria d'estacions, amb una dominància clara de les classes de talla petites, i una presència de les classes de talla més grans en les estacions no freqüentades, amb una mortalitat a la tardor de 2015 en totes les talles, tot i que en les estacions no freqüentades, especialment a Cap castell, la mortalitat es proporcionalment major en les classes de mida petita (Figura 15).

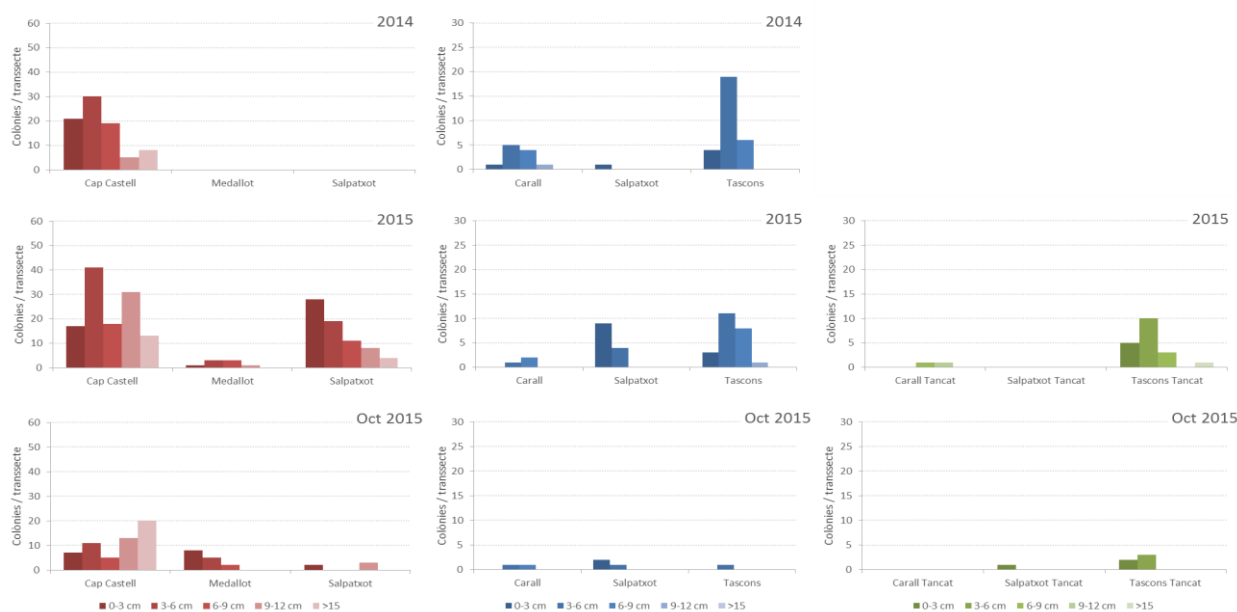


Figura 15- Estructura de talles en base al diàmetre (individus agrupats en categories de 3 cm, i en una categoria de més de 15 cm.) en els diferents períodes de mostreig de les poblacions de *Pentapora fascialis* mesurades a les diferents localitats estudiades. Columna de l'esquerra: zones no freqüentades, columna del mig: zones freqüentades per submarinistes i columna de la dreta: transectes tancats amb proteccions.

Paràmetres demogràfics

La forta proliferació de macroalgues filamentoses i la forta mortalitat produïda a la tardor de 2015 han dificultat prendre mesures de la dinàmica poblacional a les poblacions estudiades, ja que aquest esdeveniment excepcional ha fet que les mesures preses no es puguin prendre com a una dinàmica habitual de les poblacions.

No obstant, comparant les mesures entre la tardor de 2014 i la primavera de 2015 (quan la mortalitat de les colònies encara no s'havia produït), hem pogut estimar algunes taxes de creixement i reclutament. Degut a que el període entre les mesures es menor d'un any (8 mesos) aquests valors no es poden prendre com taxes anuals.

Si tenim només el període entre Octubre de 2014 i Maig de 2015, les taxes de reclutament i mortalitat són força elevades (Taula 8). El reclutament oscil·la entre el 32 i el 95 %, tot i que les taxes de reclutament més elevades es mostren en localitats freqüentades i amb densitats molt baixes. La mortalitat mostra els mateix ordre de valors, variant entre el 18 i el 57%. Cal remarcar que tant per l'estació de Carall com per la de Tascons les taxes de reclutament i de creixement son similars, fet que es reflexa en la similitud de les densitats (Figura 7), mentre que per Cap Castell, el reclutament va ser més elevat i, per tant, es reflexa en un augment de les densitats.

Taula 8- Densitats i taxes de reclutament i mortalitat de *P. fascialis* en el període comprès entre Octubre de 2014 i Maig de 2015 a les diferents localitats.

	Cap Castell	Carall	Salpatxot	Tascons
Superfície del transecte	20	12	20	12
Nombre d'individus - Maig 2015	144	16	19	28
Densitat (Ind/m ²) - Maig 2015	7,2	1,3	1,0	2,3
Nombre de reclutes - Maig 2015	70	10	18	9
Densitat de reclutes (Ind/m ²) - Maig 2015	3,5	0,8	0,9	0,8
% reclutament Oct. 2014 - Maig 2015	48,6	62,5	94,7	32,1
Nombre d'individus - Oct. 2014	91	14	1	29
Densitat (Ind/m ²) - Oct. 2014	4,6	1,2	0,1	2,4
Individus morts - Maig 2015	17	8	0	10
Mortalitat (Ind/m ²) - Maig 2015	0,9	0,6	0,0	0,3
% mortalitat Oct. 2014 - Maig 2015	18,7	57,1	0,0	34,5

En el període entre Maig i Octubre de 2015 el tret destacat és la gran mortalitat produïda i generalitzada en totes les estacions, que oscil·la entre el 64 i el 96 % (Taula 9). Cal destacar que en algunes estacions, especialment al Medallot sí que es va observar cert reclutament que, en el cas del Medallot, va compensar la mortalitat, fet que es reflecteix en la similitud de les densitats entre ambdós períodes (Figura 7).

Taula 9- Densitats i taxes de reclutament i mortalitat de *P. fascialis* en el període comprès entre Maig i Octubre de 2015 a les diferents localitats.

	Cap Castell	Medallot	Salpatxot NF	Carall	Salpatxot	Tascons	Carall T	SalpatxotT	Tascons T
Superfície del transecte	20	20	14	12	20	12	8	8	8
Nombre d'individus - Oct. 2015	56	15	5	2	3	1	0	1	5
Densitat (Ind/m ²) - Oct. 2015	2,8	0,8	0,4	0,2	0,2	0,1		0,1	0,6
Nombre de reclutes - Oct. 2015	5	7	1	0	0	0	0	0	1
Dens. reclutes (Ind/m ²) - Oct. 2015	0,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
% reclut. Maig 2015 - Oct 2015	8,9	46,7	20	0	0	0	0	0	20
Nombre d'individus - Maig 2015	144	23	113	16	19	28	3	6	28
Densitat (Ind/m ²) - Maig 2015	7,2	1,2	8,1	1,3	1,0	2,3	0,4	0,8	3,5
Individus morts - Oct. 2015	93	15	109	14	16	27	3	5	24
Mortalitat (Ind/m ²) - Oct. 2015	4,7	0,8	7,8	1,2	0,8	2,3	0,4	0,6	3,0
% mort Maig 2015 - Oct. 2015	64,6	65,2	96,5	87,5	84,2	96,4	100	83,3	85,7

Pel que fa al creixement, hem pogut determinar l'augment de la superfície i el diàmetre màxim de les colònies a nivell individual en el període de temps entre Octubre de 2014 i Març de 2015 (Taules 8 i 9), i també en el període entre Març i Octubre de 2015, tot i que en aquest darrer període, els valors de creixement poden haver estat afectats per l'episodi de mortalitat que va afectar a gran part de les colònies.

Selecció de les colònies que han sobreviscut entre Octubre de 2014 i Octubre de 2015, els valors de creixement, tant en el màxim diàmetre i sobretot en la cobertura, són més baixos, tot i que aquestes mesures s'haurien de prendre amb molta precaució degut a l'efecte de la forma mortalitat patida el 2015 (Taules 9 i 10).

Taula 10- Taxes de creixement de l'àrea i el diàmetre mig Densitats i taxes de reclutament i mortalitat de *P. fascialis* en el període comprès entre Maig i Octubre de 2015 a les diferents localitats.

Localitat	Període	N	Àrea (cm ²)				Diàmetre (cm)			
			Mitja	sd	Max	Min	Mitja	sd	Max	Min
Cap Castell	Oct 2014 - Maig 2015	59	42,3	68,5	341,1	-50,3	3,9	3,7	11,9	-5,0
Tascons	Oct 2014 - Maig 2015	17	-7,3	28,6	40,4	-83,1	0,5	2,3	4,5	-5,1
Cap Castell	Maig 2015- Oct 2015	33	-45,0	108,6	197,9	-389,7	-2,1	3,9	8,7	-12,5
Cap Castell	Oct 2014 – Oct 2015	33	8,2	75,9	256,0	-158,4	2,3	4,5	10,3	-7,5

DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

En estudis anteriors realitzats en aquest mateix espai (Hereu *et al.*, 2014) vàrem determinar que la metodologia emprada sembla òptima per a determinar diferències en la presència o absència de submarinistes. Aquest disseny s'ha basat en metodologies testades i emprades amb èxit en l'estudi de comunitats bentòniques en diferents àrees protegides (Coma *et al.*, 2004; Harmelin i Marinopoulos, 1994; Sala *et al.* 1996; Francour i Koukouras, 2000; Cerrano *et al.*, 2005; Cupido *et al.*, 2009). No obstant, hem de matisar que l'espècie i el tipus de comunitat és important a l'hora d'interpretar els resultats. *Pentapora fascialis* sembla ser una espècie amb unes densitats i una estructura de talles que permet, amb un esforç de mostreig moderat, obtenir uns resultats estadísticament robusts per a detectar diferències en comunitats de fons plans freqüentats o no per submarinistes. Altres espècies de briozous tenen densitats menys elevades en fons plans en (inclòs en zones no freqüentades), com es el cas de *Myriapora truncata*, i per tant no permeten un alt nombre d'observacions, fet que fa disminuir la significació dels anàlisis. Malgrat això, *Myriapora truncata* pot ser una molt bona indicadora d'aquest impacte per freqüentació en comunitats de parets verticals (Hereu *et al.* 2014), on apareix de forma més abundante que en fons plans.

La metodologia utilitzada, combinant el mostreig in situ amb l'anàlisi fotogràfic sembla també òptima, ja que permet una mesura precisa de diversos paràmetres poblacionals, a més d'obtenir un registre que pot servir per a la comparació de posteriors mostrejos a la mateixa zona. Aquest aspecte és especialment interessant si es poden delimitar transectes fixes que permetin la identificació a nivell individual de cada colònia, ja que posteriors mostreigs poden permetre obtenir dades demogràfiques de la població, com el reclutament, la mortalitat o el creixement. A més, la instal·lació de tancats que eviten l'erosió de submarinistes sobre el fons ha estat un èxit, ja que les estructures instal·lades han resistit el pas del temps i l'embat dels temporals, i el disseny ha permès tancar àrees relativament grans (8 m²) amb un mínim impacte sobre el fons.

Tot i que s'ha demostrat que *P. fascialis* és una bona indicadora de l'efecte de la freqüentació per submarinistes, encara no es coneix quina és la intensitat dels efectes (és a dir, a quina velocitat les poblacions es degraden) o, sobretot, la seva resiliència (quina és la capacitat de les poblacions de recuperar-se després d'una pertorbació), aspectes que poden ser de cabdal importància a l'hora de determinar la intensitat dels usos de les comunitats. Així doncs en aquest estudi hem delimitat transectes fixes i hem identificat individualment cada una de les colònies estudiades, i podran seguir sent estudiats en el futur per a determinar la supervivència i el creixement de les colònies enregistrades en posteriors mostreigs dels mateixos transectes.

Sobre les variables a mesurar, hem determinat que les mesures de densitat, àrea de cada colònia i el seu diàmetre són uns bons indicadors per a determinar tant les taxes de reclutament i mortalitat, com les taxes de creixement de les colònies.

Si tenim en compte només els dos primer períodes de mostreig i exclouem els resultats de l'octubre de 2015 (veure comentaris més endavant), podem observar el patró que ja es va poder veure en els estudis anteriors (Hereu *et al.*, 2014). El patró general mostra, en les zones on no hi

ha una freqüentació de submarinistes o la freqüentació és molt baixa, unes densitats majors de *Pentapora fascialis*, una estructura de talles amb presència de colònies molt grans (tant en àrea com en diàmetre màxim) i amb un grau d'exposició més elevat. Malauradament, no hem pogut determinar l'eficàcia dels tancats en zones molt freqüentades degut a la forta mortalitat esdevinguda a la tardor de 2015.

Els resultats d'aquest estudi han estat notablement determinats per dos esdeveniments que, si bé en principi són independents, podrien estar relacionats. Per una part, la gran proliferació de macroalgues filamentosos (generalment del gènere *Acinetospora*) va cobrir de forma molt important tota la superfície dels fons en unes fondàries entre 10 i més de 20 metres, recobrint quasi completament la totalitat dels organismes bentònics, com altres algues, esponges, gorgònies i coralls i també els briozous. Aquesta proliferació de macroalgues filamentosos va ser un esdeveniment generalitzat a tota la conca del Mediterrani Occidental, ja que també es va poder observar en zones més septentrionals, com el Parc Nacional de Port-Cros (França) i la Reserva Marina de Scandola (Còrcega). Aquestes macroalgues varen estar un període de temps perllongat, pel que varen afectar a diversos organismes, incloent els briozous, i ja es varen poder observar els primers signes de mortalitat de diversos organismes la primavera de 2015 (veure fotografies als annexes).

Un altre esdeveniment que ha determinat molt notablement la dinàmica i l'estructura de les poblacions de *P. fascialis* ha estat la forta mortalitat esdevinguda a la tardor del 2015. Aquesta mortalitat creiem que pot estar relacionada amb l'efecte de la gran proliferació de macroalgues filamentosos la primavera de 2015, i també les persistents elevades temperatures que han dominat les aigües de les Medes i la costa del Montgrí durant el 2015 (Figura 16).

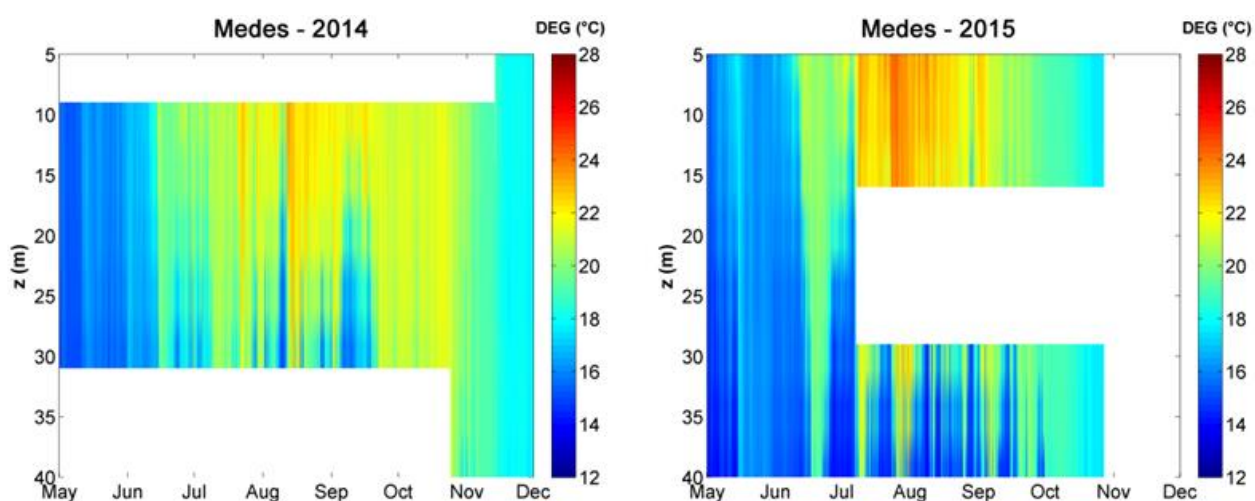


Figura 16- Règim anual (2014 i 2015) de la temperatura de l'aigua a les illes Medes (font www.t-mednet.org).

Aquests dos fets podrien haver causat la mortalitat de les colònies, que ja a l'estiu presentaven una forta necrosi (observació personal), i que l'onatge dels primers temporals de llevant podien haver arrencat del substrat, de forma que s'ha pogut comptabilitzar una mortalitat (una desaparició de les colònies) mitjana de més del 80% entre el Maig i l'Octubre de 2015.

Recuperant les dades dels transectes mesurats el 2014, i aïllant els individus que varen sobreviure a la mortalitat, hem pogut determinar algunes taxes demogràfiques. Hem pogut observar que les taxes de reclutament són relativament elevades, amb un percentatge de reclutes de entre el 30 i el 60% de les diferents poblacions estudiades. Les taxes de mortalitat calculades entre la tardor de 2014 i la primavera de 2015, sense tenir en compte la mortalitat de 2015, mostren unes mortalitats naturals entre el 18 i el 60% de la població.

Pel que fa al creixement, ha mostrat valors força dispersos, sense un patró clar. Si prenem com a referència l'estació de Cap Castell i la transició entre Octubre de 2014 i Maig de 2015, podem observar que l'augment mig de l'àrea de les colònies és de 68,5 cm², i el diàmetre 3,9 cm.

Aquestes dades fan pensar que aquesta espècie és força dinàmica, amb unes taxes de renovació de la població importants, i un creixement relativament ràpid. Aquestes taxes de renovació elevades es produeixen sobretot a les classes de talla més petita, fet que fa pensar que les colònies més grans sí que són més persistents i longeves i, per tant, podrien ser millor indicadores de l'efecte de l'erosió per submarinistes. No obstant, aquestes dades s'han de prendre amb molta precaució degut a que l'episodi de mortalitat de 2015 replanteja en gran mesura la validesa de les dades per a determinar taxes naturals.

Paralel·lament a aquesta mortalitat de briozous, s'ha pogut observar una mortalitat d'algues calcàries, que segueix dos patrons diferenciats. Per una part, es va poder observar taques de color blanc, és a dir, sense el pigment del teixit viu, disperses sobre la superfície de diverses espècies d'algues, com *Lithophyllum incrustans*, *Mesophyllum alternans* i a vegades fins i tot en branques de *Corallina elongata* (Figura 17). Un altre patró clarament diferenciat es produïa en taques que s'expandeixen concèntricament, amb una banda blanca ben diferenciada entre el teixit viu i el mort al límit de la lesió, i deixant una zona de color verd enrere degut al creixement d'altres algues epífites (Figura 17).

Aquest tipus de mortalitat s'havia enregistrat a mars tropicals, però mai a la Mediterrània (és per això que es va enviar una nota per a ser publicada en una revista científica d'àmbit internacional, veure annex). Aquesta mortalitat d'algues calcàries podria estar associada a les anomalies tèrmiques que s'han produït durant l'any 2015, i també ha estat observada al Cap de Creus i a les Illes Columbretes (D. Kersting, com. pers.). De fet, mortalitats similars en mars tropicals han estat descrites com a conseqüència d'anomalies tèrmiques (Littler i Littler, 1995 ; Ballantine *et al.*, 2005 ; Quéré *et al.*, 2015). Degut a l'important paper ecològic que desenvolupen les algues calcàries, aquest tipus de mortalitat associada a l'augment de les temperatures podria afectar de forma molt significativa els ecosistemes marins mediterranis, i és per això que es recomana fer un seguiment de l'extensió i efectes d'aquest esdeveniment.

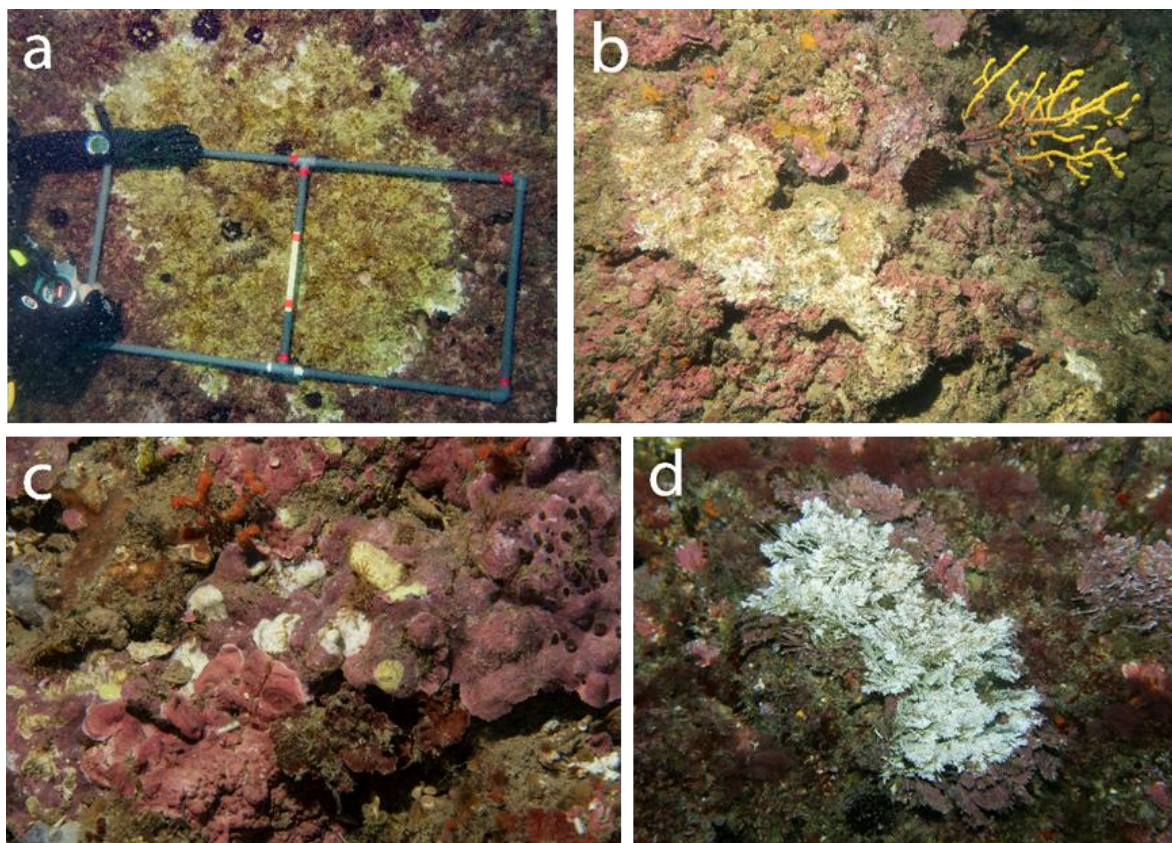


Figura 17- Diverses espècies i tipus d'afeccions en algues coralinàcies. A dalt, afecció generada per una banda que avança afectant la superfície de les algues, en a) *Lithophyllum incrustans*, amb un marc de 1x0,5 m² de referència, i b) *Mesophyllum alternans*. A baix, afeccions puntuals en c) *Mesophyllum alternans* i d) *Corallina elongata*.

REFERÈNCIES

- Abramoff M, Magalhaes P, Ram S (2004). Image processing with ImageJ, *Biophotonics International* 11(7): 36 – 42.
- Anderson MJ, Gorley RN, Clarck KR (2008) PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods. PRIMER-E: Plymouth, UK.
- Ballantine DL, Weil E, Ruiz H (2005) Coralline white band syndrome, a coralline algal affliction in the tropical Atlantic. *Coral Reefs* 24: 117
- Ballesteros E (2006). Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 44, 123-195.
- Barker NH, Roberts CM (2004). Scuba diver behaviour and the management of diving impacts on coral reefs. *Biological Conservation*, 120(4), 481-489.
- Cerrano C, Arillo A, Azzini F, Calcinai B *et al.* (2005). Gorgonian population recovery after a mass mortality event. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(2), 147-157.
- Cupido R, Cocito S, Barsanti M, Sgorbini S, Peirano A, Santangelo G (2009). Unexpected long-term population dynamics in a canopy-forming gorgonian coral following mass mortality. *Mar Ecol Prog Ser*, 394, 195-200.
- Davis D, Tisdell C (1995). Recreational scuba-diving and carrying capacity in marine protected areas. *Ocean & Coastal Management*, 26(1), 19-40.
- Dearden P, Theberge M, Yasué M (2010). Using underwater cameras to assess the effects of snorkeler and SCUBA diver presence on coral reef fish abundance, family richness, and species composition. *Environmental monitoring and assessment*, 163(1-4), 531-538.
- Dixon JA, Fallon Scura L, van't Hof T (1993). Meeting ecological and economic goals: marine parks in the Caribbean. *Ambio* 22: 117–125.
- Coma R, Pola E, Ribes M, Zabala M (2004). Long-term assessment of temperate octocoral mortality patterns, protected vs. unprotected areas. *Ecological Applications*, 14(5), 1466-1478.
- de la Nuez-Hernández, Daril, *et al.* (2014). Assessing the erect bryozoan *Myriapora truncata* (Pallas, 1766) as indicator of recreational diving impact on coralligenous reef communities. *Ecological Indicators* 46: 193-200.
- Di Franco, A., Marchini, A., Baiata, P., Milazzo, M., & Chemello, R. (2009). Developing a scuba trail vulnerability index (STVI): a case study from a Mediterranean MPA. *Biodiversity and conservation*, 18(5), 1201-1217.
- Francour P, Koukouras A (2000). Methods for studying the impact of diver frequentation and mooring on coralligenous communities. *Introductory guide to methods for selected ecological studies in marine reserves*. GIS Posidonie Publications, Paris, 69-74.
- Garrabou J, Sala E, Arcas A, Zabala M (1998). The impact of diving on rocky sublittoral communities: a case study of a bryozoan population. *Conservation Biology*, 12(2), 302-312.
- Harmelin JG, Marinopoulos J (1994). Population structure and partial mortality of the gorgonian *Paramuricea clavata* (Risso) in the north-western Mediterranean (France, Port-Cros Island). *Marine Life*, 4(1): 5-13.

- HarriottVJ, Davis D, Banks SA (1997). Recreational diving and its impact in marine protected areas in eastern Australia. *Ambio*, 173-179.
- Hawkins JP, Roberts CM (1992). Effects of recreational SCUBA diving on fore-reef slope communities of coral reefs. *Biological Conservation*, 62(3), 171-178.
- Hawkins JP, Roberts CM, Kooistra D, Buchan K, White S (2005). Sustainability of scuba diving tourism on coral reefs of Saba. *Coastal Management*, 33(4), 373-387.
- Hereu B, Aspillaga E, Capdevila P, Linares C, Pagès M (2014). Estudi de les poblacions de briozous de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. Informe tècnic per a la Reserva Marina de les Illes Medes.
- Linares C, Doak DF (2010). Forecasting the combined effects of disparate disturbances on the persistence of long-lived gorgonians: a case study of *Paramuricea clavata*. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 59-68.
- Linares C, Garrabou J, Hereu B, Diaz D, Marschal C, Sala E, Zabala M (2012). Assessing the effectiveness of marine reserves on unsustainably harvested long-lived sessile invertebrates. *Conservation Biology*, 26(1), 88-96.
- Littler MM, Littler DS (1995) Impact of CLOD pathogen on Pacific coral reefs. *SCIENCE* Mar 3: 1356-1356.
- Luna-Pérez B, Valle C, Fernández TV, Sanchez-Lizaso JL, Ramos-Espla AA (2010). *Halocynthia papillosa* (Linnaeus, 1767) as an indicator of SCUBA diving impact. *Ecological Indicators*, 10(5), 1017-1024.
- Luna-Pérez B, Valle-Pérez C, Sánchez-Lizaso JL (2011). *Halocynthia papillosa* as SCUBA diving impact indicator: An in situ experiment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 398(1), 33-39.
- Lloret J, Marín A, Marín-Guirao L, Francisca M (2006). An alternative approach for managing scuba diving in small marine protected areas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16(6), 579-591.
- Parsons GR, Thur SM (2008). Valuing changes in the quality of coral reef ecosystems: a stated preference study of SCUBA diving in the Bonaire National Marine Park. *Environmental and Resource Economics*, 40(4), 593-608.
- Quéré G, Steneck RS, Nugues MM (2015) Spatiotemporal and species-specific patterns of diseases affecting crustose coralline algae in Curaçao. *Coral Reefs* 34: 259-273
- Rouphael AB, Inglis GJ (2001). "Take only photographs and leave only footprints"?: An experimental study of the impacts of underwater photographers on coral reef dive sites. *Biological Conservation*, 100(3), 281-287.
- Sala E, Garrabou J, Zabala M (1996). Effects of diver frequentation on Mediterranean sublittoral populations of the bryozoan *Pentapora fascialis*. *Marine Biology*, 126(3), 451-459.
- Tratalos JA, Austin TJ (2001). Impacts of recreational SCUBA diving on coral communities of the Caribbean island of Grand Cayman. *Biological Conservation*, 102(1), 67-75.
- Zakai D, Chadwick-Furman NE (2002). Impacts of intensive recreational diving on reef corals at Eilat, northern Red Sea. *Biological Conservation*, 105(2), 179-187.

Annex: Document presentat per a la seva publicació a la revista Coral Reefs

First record of coralline algae diseases in the Mediterranean Sea

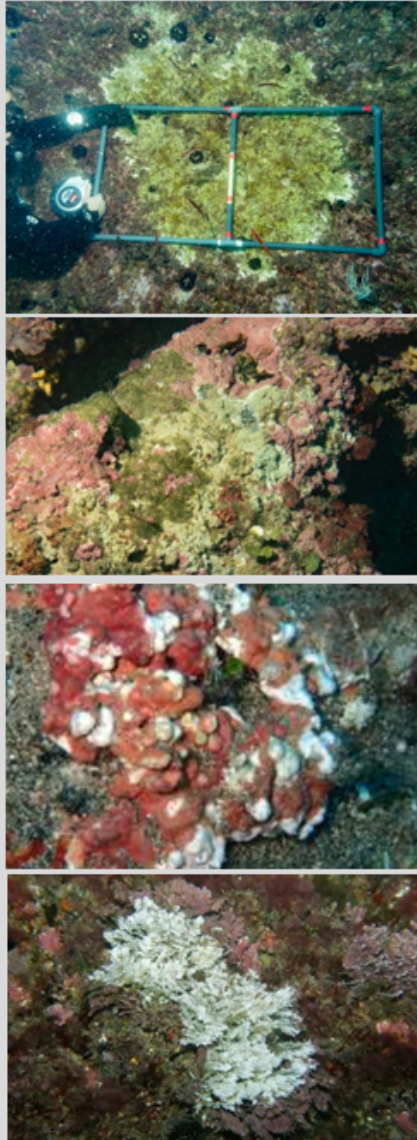


Fig. 1 Several coralline algae species effected by disease related mortality: a *L. incrustans* affected by CWBS (with a 50x1m quadrat as a reference), b *M. alternans* affected by CWBS, c *N. mamillosum* affected by CWPD and d *C. elongata* affected by CWPD

Coralline algae diseases were first reported in the 1990s in the Pacific (Littler and Littler 1995), and has recently been recognized in several localities in the Caribbean, related to high seawater temperature (Quéré et al. 2015). Here we report, for the first time in a temperate sea, the occurrence of coralline algae diseases similar to the previously described Coralline White Band Syndrome (CWBS) and Coralline White Patch Disease (CWPD). In October 2015, after a summer characterized by positive thermal anomalies, we observed a spread of mortality affecting coralline algae from 0 to more than 30 m depth at three different NW Mediterranean sites separated by hundreds of kilometers: Medes Islands (42°03'N, 3°13'E), Cap de Creus (42°19'N, 3°19'E) and Columbretes Islands (39°53'N, 0°41'E). CWBS affected crustose coralline algae, mainly *Lithophyllum incrustans*, *Mesophyllum alternans* and *Neogoniolithon mamillosum*, among others, with a characteristic circular, expanding white band that leaves non-pigmented dead algal tissue behind. As described in Ballantine et al. (2005), the dead algal tissue initially appears white and becomes greenish, presumably as it becomes colonized by endophytic green algae. The extension of the injury varied from several centimeters to circles about 1 m in diameter. CWPD affected the same species, together with the coralline turf-forming algae *Corallina elongata*, *Jania rubens* and *Amphiroa rigida* at shallow depths, showing a diffuse white discoloration affecting the living algal tissue. In some cases, coralline algae had completely disappeared leaving bare rock areas, this process may have been enhanced by sea urchins grazing effect. Because coralline algae play a key role in Mediterranean reef ecosystems, the emergence of thermodependent diseases may pose a new threat for their conservation in the current context of warming and future predictions.

Acknowledgements We thank M Mari, M Pagès, P Capdevila, E Aspillaga and J Pascual for field assistance, and E. Ballesteros for his help in the identification of some of the affected species.

References

- Ballantine DL, Weil E, Ruiz H (2005) Coralline white band syndrome, a coralline algal affliction in the tropical Atlantic. *Coral Reefs* 24: 117
- Littler MM, Littler DS (1995) Impact of CLOD pathogen on Pacific coral reefs. *SCIENCE* Mar 3: 1356-1356.
- Quéré G, Steneck RS, Nugues MM (2015) Spatiotemporal and species-specific patterns of diseases affecting crustose coralline algae in Curaçao. *Coral Reefs* 34: 259-273

B. Hereu · D.K. Kersting
 Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona.
 Diagonal 643, 08028, Barcelona.
 e-mail: hereu@ub.edu