

Analysis of different patterns in marine communities with *Arbacia lixula* and *Paracentrotus lividus*. Annual and day-night changes in algal cover and response to predation



Estudiant: Ariadna Peña Naranjo

Grau en Ciències Ambientals

Universitat de Girona

Tutors: Santi Escartin i Simone Mariani

Tutora acadèmica: Emma Cebrian

Empresa / institució: Associació Mediambiental Xatrac

ÍNDEX

1. RESUM	2
1.1. Resum (Versió en català)	2
1.2. Abstract (Versió en anglès)	3
1.3 Resumen (Versió en castellà)	4
2. INTRODUCCIÓ	5
3. OBJECTIVES	8
4. MATERIALS I MÈTODES	9
4.1. Característiques de l'àrea d'estudi	9
4.2. Seguiment fotogràfic	10
4.2.1. Selecció de les estacions d'estudi	10
4.2.2. Mesures preses <i>in-situ</i>	12
4.2.3. Anàlisi de les fotografies	14
4.2.4. Informació al GIS	15
4.3 Experiment en tancs	15
4.3.1 Tanc de manteniment	15
4.3.2 AQUARIS D'EXPERIMENTS	16
4.3.3. Anàlisi dels vídeos	18
4.4 Assaigs Metodològics	18
4.4.1. Assaigs fets aL seguiment fotogràfic.....	18
4.4.2 Assaigs fets a l'experimentació en tancs.....	18
5. RESULTATS	19
5.1. Característiques de l'àrea d'estudi	19
5.2 Anàlisi de les fotografies	20
5.2.1 Evolució dels blancalls al llarg del temps	20
5.2.2 Correlació entre espècies i paisatges.....	21
5.2.3 Densitat total de garotes al llarg de l'any	22
5.2.4 Comparació mostreig diürn-nocturn	22
5.3. Experiments en tancs	22
5.3.1 <i>Arbacia lixula</i>	22
5.3.2 <i>Paracentrotus lividus</i>	24
6. DISCUSSIÓ	26
7. REFLEXIÓ ÈTICA	28
8. CONCLUSIONS	28
9. AGRAÏMENTS	29
10. BIBLIOGRAFIA	30

1. RESUM

1.1. RESUM (VERSIÓ EN CATALÀ)

Les garotes són considerades com un dels principals herbívors dels fons marins, fins a tal punt que arriben a modificar el paisatge donada la seva gran activitat de pastoreig sobre les algues. Així mateix, en una zona no gaire gran, ens podem trobar amb situacions molt diferents pel que fa a la degradació dels hàbitats, a causa de l'activitat de les garotes. Aquesta activitat, també es pot veure modificada per diversos factors com el ritme circadià, l'època de l'any o la presència de senyals lligats als seus depredadors. Aquesta reacció davant un senyal de risc, és el que es coneix com *landscape of fear*, i pot tractar-se d'una força estructuradora dels paisatges molt important.

Per tal d'avaluar tots aquests factors, per una banda s'ha fet un seguiment fotogràfic de 16 parcel·les on hi conviuen poblacions de les garotes *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) i *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816). Els punts seleccionats tenen diferents nivells de blancall i d'amagatalls (esquerdes). Amb aquest seguiment s'ha pogut registrar l'alta capacitat de modelar el paisatge que tenen les garotes, doncs en una mateixa parcel·la el recobriment algal canvia de manera rellevant al llarg de l'any. També s'ha trobat una gran correlació entre el percentatge de zones blanquejades i la densitat de garotes de l'espècie *A. lixula* fet que no succeeix amb *P. lividus*. En canvi, en les comparacions dia-nit, no s'han obtingut diferències significatives pel que fa a la conducta de les garotes.

Per altra banda, també s'han fet experiments en aquaris amb diferents individus, de totes dues espècies, exposant-los a la presència de garotes mortes. S'ha analitzat la seva taxa de moviment durant dos dies i dues nits (48h) i s'han trobat diferències significatives en el cas d'*A. lixula* que disminueix molt la seva activitat quan es troba davant d'una situació de risc. A més, de manera general la seva activitat augmenta quan és de nit, fet que podria associar-se a la por als depredadors diürns. Per altra banda, les proves realitzades amb *P. lividus* no són prou concloents.

1.2 ABSTRACT (VERSIÓ EN ANGLÈS)

Sea urchins are considered as one of the main herbivores of marine ecosystems, to such an extent that they are able to modify the landscape given their great activity of grazing on seaweeds. Therefore, there are very different situations present in littoral habitats regarding the degradation due to the activity of sea urchins, in a very large area. This activity can also be modified by various factors such as the circadian rhythm, the season of year or the presence of signals related to their predators. This reaction to a risk signal is known as landscape of fear, and it can structure the landscapes significantly.

In order to evaluate all these factors, we conducted a photographic monitoring of 16 plots with mixed populations of the sea urchins *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) and *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816). The selected points have different levels of barrens and hiding (crevices). With this monitoring, it was possible to record the high capacity of modeling the landscape that sea urchins have, since in the same plot the algal cover changes significantly throughout the year. There was high correlation between the percentage of barren areas and the density of the *A.lixula* specimens, this correlation was not found for *P.lividus*. In contrast, in day-night comparisons, no significant differences were obtained for the behaviour of the two species.

On the other hand, we carried out experiments in aquariums with different specimens from both species, exposing them to the presence of dead sea urchins. Their movement rate was analyzed for two days and two nights (48 hours) and significant differences were found in the case of *A. lixula*, which reduces its activity with a risk situation. In addition, its activity increases at night, which could be associated with fear to daytime predators. Furthermore, in the tests made with *P. lividus* the results were not conclusive.

1.3 RESUMEN (VERSIÓ EN CASTELLÀ)

Los erizos de mar son considerados como unos de los principales herbívoros de los fondos marinos, hasta tal punto que llegan a modificar el paisaje dada su gran actividad de pastoreo sobre las algas. Asimismo, en una zona no demasiado grande, podemos encontrarnos con situaciones muy diferentes en relación con la degradación de los hábitats, a causa de la actividad de los erizos. Esta actividad, también puede verse modificada por diversos factores como el ritmo circadiano, la época del año o la presencia de señales ligadas a sus depredadores. Esta reacción frente a una señal de amenaza, es lo que se conoce como *landscape of fear*, y puede tratarse de una fuerza estructuradora del paisaje muy importante.

Para evaluar todos estos factores, por un lado, se ha hecho un seguimiento fotográfico de 16 parcelas donde conviven poblaciones de erizos de las especies *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) y *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816). Los puntos seleccionados tienen diferentes niveles de zonas estériles y refugio (grietas). Con este seguimiento se ha podido registrar la gran capacidad de modelar el paisaje que tienen estos equinodermos, pues en una misma parcela el recubrimiento algal cambia de manera relevante a lo largo del año. También se ha hallado una gran correlación entre el porcentaje de zonas blanqueadas o zonas estériles y la densidad de erizos de la especie *A. lixula*, hecho que no sucede con *P. lividus*. En cambio, en las comparaciones día-noche, no se han obtenido diferencias significativas en relación con la conducta de los erizos.

Por otro lado, también se han hecho experimentos en acuarios con diferentes individuos de las dos especies, exponiéndolos a la presencia de erizos muertos. Se ha analizado su tasa de movimiento durante dos días y dos noches (48h) y se han encontrado diferencias significativas en el caso de *A. lixula* que disminuye mucho su actividad cuando se encuentra en una situación de riesgo. Además, generalmente su actividad aumenta de noche, hecho que podría asociarse al miedo a los depredadores diurnos. Por otro lado, las pruebas realizadas con *P. lividus* no son suficientemente concluyentes.

2. INTRODUCCIÓ

Les garotes pròpies de les zones rocoses, formen part d'un grup d'equinoderms bentònics que es consideren uns dels principals herbívors del mar Mediterrani i de molts altres mars. El seu impacte sobre els ecosistemes pot ser important, doncs a mesura que es mouen van pasturant i, per tant, destruint la majoria d'algues que es troben pel camí. D'aquesta manera poden arribar a modelar el paisatge i causar una disminució de la producció i la biodiversitat de la zona. (Hereu, 2005)

A les zones poc profundes del Mediterrani Occidental, per una banda es troba la garota *Paracentrotus lividus* coneguda com l'eríçó de mar comú que colonitza preferentment substrats durs ocupant superfícies horitzontals o de pendents suaus on s'alimenta d'algues erectes (Bulleri et al. 1999). S'amaga entre algues i petits trossos de petxines o closques que es posa sobre les punxes utilitzant els peus ambulacrals que té per tot el cos. Aquest comportament es coneix com *covering* i es creu que pot ser utilitzat com a protecció d'un excés de llum solar (Crook et al. 1999). Pot adoptar diferents coloracions des de verd o lila fins a marró fosc.

A causa de la qualitat gastronòmica de les seves gònades, es tracta d'una espècie que, a moltes regions del Mediterrani, té una gran importància pel seu interès pesquer. Al territori espanyol també s'extreuen individus d'aquesta espècie amb les mateixes finalitats, és per això que la seva captura està regulada i controlada a molts indrets amb l'objectiu d'evitar que la població disminueixi irreversiblement (Herrero, 2008).

Per altra banda, als mateixos indrets, també trobem l'espècie *Arbacia lixula* que cohabita amb *P. lividus*. Té una forma més aplanada, semiesfèrica, i amb les punxes totalment negres. No té peus ambulacrals a la zona superior del seu cos, per tant, no pot fer *covering*, tret que també la diferencia de *P. lividus*. Altres trets diferencials són; el fet d'ocupar substrats més verticals o la capacitat de consumir algues coral·linàcies incrustants. (Bulleri et al. 1999)

Aquestes espècies de garotes són organismes clau en la dinàmica dels ecosistemes litorals. Es troben a un nivell entremig a la xarxa tròfica, doncs s'alimenten principalment de productors primaris, tant algues com fanerògames, i alhora són depredats per diferents organismes com peixos, estrelles, o cargols.

A causa dels seus patrons d'alimentació, poden actuar com a agents modeladors de la riquesa dels fons oceànics, de manera que una proliferació excessiva d'aquests animals bentònics pot causar un greu impacte ecològic sobre els fons marins (Hereu et al. 2015). Aquests fons es poden veure transformats en blancalls, reduint-se la cobertura algal i afectant directament a la supervivència d'altres espècies marines (Hereu et al. 2015).

Els blancalls són comunitats bentòniques de fons rocós dominades per garotes i algues coral·lines incrustants, on el creixement poblacional de les garotes ha estat desmesurat, provocant així un pastoreig excessiu sobre les poblacions d'algues. (Dexter et al. 2014) Aquestes algues no poden proliferar, doncs les garotes raspen constantment la superfície de les roques per alimentar-se de propàguls d'algues en estat de desenvolupament. D'aquesta manera, el sistema es manté en un estat de desequilibri molt favorable per a ells, però molt perjudicial per altres herbívors i microorganismes associats a les algues (Sancho, 1999).

En situacions com aquesta, té molta rellevància el desequilibri que comporta la desaparició dels depredadors de garotes, els quals s'engloben en dos grans grups: peixos i macroinvertebrats (Sancho, 1999). La sobrepesca és una de les principals causes de la desaparició d'aquests depredadors, la qual permet que els eríçons es multipliquin incontroladament, convertint-se així

en una amenaça per a les comunitats algals o fins i tot, per a les praderies marines, un hàbitat essencial per a la fauna del mar Mediterrani. (Boada, 2015)

En aquests fons rocosos som la producció generada per les algues que viuen a la zona fòtica, té un paper molt important. És aquí on pasturen els herbívors i on es desenvolupa una densa població de microinvertebrats associats, a més són zones idònies per a la cria i el desenvolupament de moltes espècies de peixos i de macroinvertebrats. (Sancho, 1999)

Molts models ecològics suposen que la mida de les poblacions de depredadors i preses es determina des de la part superior fins la inferior de les xarxes tròfiques. Aquesta interacció, on la xarxa tròfica està controlada pels consumidors, es coneix amb el nom de *top-down*. Segons aquest model les poblacions situades al capdamunt de la xarxa (depredadors) són les que determinen l'abundància de la resta de poblacions, de manera directa sobre la població de les seves preses i de manera indirecta sobre la resta de poblacions.

Així mateix, les preses també poden fer reduir la densitat de depredadors, és a dir, que la mida de les poblacions d'una xarxa tròfica poden venir determinades (o controlades) des dels nivells inferiors. Aquest tipus de control dels sistemes es coneix com *bottom-up*, on l'abundància dels productors està determinada per variables abiòtiques com la disponibilitat de nutrients, la radiació solar, etc.

Per altra banda, les preses, amb el seu comportament, també poden ocasionar un impacte molt negatiu per a elles mateixes. Aquest impacte pot estar relacionat amb l'augment de la vulnerabilitat enfront d'altres depredadors o amb la disminució del seu èxit reproductiu. (Preisser et al. 2005). Aquestes estratègies, que es basen principalment en canvis en el seu comportament, estan propiciades per situacions d'alt risc de depredació, on els organismes intenten, de diferents maneres, evitar ser depredades (Hammershlag et al. 1996).

Aquestes estratègies donen lloc a un model conegut com a *Landscape of fear* on la depredació és una força selectiva molt important i els paisatges, comportaments o estructures poblacionals venen condicionades per la "por" que els organismes tenen dels seus depredadors. Si un organisme fracassa intentant fugir d'un depredador, pot patir conseqüències més greus a nivell poblacional que si fracassa en reproduir-se, per exemple (Campbell et al. 2001).

En el context de les dinàmiques depredador-preses, les preses poden detectar els depredadors de maneres diferents en funció de les seves capacitats. En aquest sentit, existeixen diferents senyals que poden indicar l'activitat del depredador: visuals, acústics, olfactius (Ciuti et al. 2012), químics i lumínics (Campbell et al. 2001)

Alguns animals responen millor als senyals alliberats per preses ferides que per depredadors. A través d'aquests senyals reben informació de la presència d'un depredador que, a més a més, s'està alimentant, per la qual cosa l'alarma és major. (Morishita et al. 2011). Tot plegat, permet a les preses avançar-se als depredadors, modificant la seva conducta.

La importància dels senyals químics s'accentua en aquells organismes que presenten òrgans sensorials més simples (Campbell et al. 2001). Aquest és el cas dels equinoderms, doncs presenten òrgans receptors molt simples tant de tipus mecànic com de tipus químic. Aquests receptors es troben situats, de manera general, a l'epiteli i també als peus ambulacrals. El que fan els equinoderms quan els senyals que emanen del propi depredador no són perceptibles, és detectar les possibles amenaces a través dels senyals químics de preses ferides. (Morishita et al. 2011). Concretament s'ha observat que són capaços de detectar senyals químics d'una presa ferida de la seva mateixa espècie, d'altres espècies de garotes i, inclús d'altres espècies d'animals.

La capacitat de resposta augmenta a mesura que disminueix la distància filogenètica entre la possible presa i la presa depredada que emet el senyal químic. (Morishita et al. 2011)

Un comportament comú en molts equinoderms quan detecten perill és amagar-se, ja sigui cobrint-se de sorra o refugiant-se a petites esquerdes (Clemente et al. 2013). També poden arribar a presentar un comportament de fugida o modificar les seves hores d'alimentació, evitant coincidir amb els depredadors. Per últim, i de manera més comú, també poden adoptar un comportament d'agregació, ajuntant-se diversos individus intentant disminuir la capacitat d'atac del depredador (Campbell et al. 2001).

La intenció d'aquest estudi ha estat resoldre diferents qüestions en relació amb el comportament i els patrons demogràfics de les garotes *Paracentrotus lividus* i *Arbacia lixula* a les comunitats d'algues fotòfiles costaneres.

Per una banda, s'ha fet un seguiment fotogràfic en l'hàbitat natural de les garotes amb intenció de detectar els possibles canvis al llarg de l'any en la composició de les comunitats dominades per algues i garotes. S'ha dut a terme en una zona d'estudi amb una àrea menor a una hectàrea, en zones d'una profunditat mitjana de 3 metres. Dins d'aquesta àrea s'ha procurat recollir la màxima diversitat paisatgística (zones de blancalls i no blancalls) i veure les diferències associades a les dues espècies de garotes estudiades. Per últim, també s'han realitzat mostres tant de dia com de nit per tal de comparar si hi ha canvis en el comportament de les poblacions entre aquests dos moments.

Amb tot plegat, s'han recollit moltes dades i es pretén determinar quins d'aquests paràmetres estudiats estan més o menys correlacionats amb els canvis que es puguin arribar a detectar.

Per altra banda, en un medi més controlat com és el dels aquaris s'ha volgut testar experimentalment quins canvis es donen en les pautes de moviment de les mateixes espècies de garotes comparant el dia i la nit, i la presència o no d'una amenaça com pot ser la mort de congèneres. Per a mostrejar aquesta part de l'estudi, s'ha fet servir un sistema de gravació mitjançant una càmera de vigilància de manera continuada durant 48 hores.

3. OBJECTIVES

This study is divided into two main goals:

- 1) Detect patterns or changes in the communities dominated by seaweeds and sea urchins during a year and during day and night. This objective is divided into different sub-objectives:
 - a) Analyze the level of correlation between barrens and each one of the species studied (*A. lixula* and *P. lividus*).
 - b) Evaluate, over a year, significant changes in the communities in the study's area.
 - c) Analyze the behavior and density of the sea urchins populations during different seasons of the year and detect if there are significant changes at any given time.
 - d) Compare some patterns of behavior, such as the aggregation rate or the refuge level, throughout day and night.

- 2) Analyze experimentally changes in the behavior of sea urchins in front of a stimulus that can produce a sensation of danger, and evaluate if there are differences in the sea urchin's conduct between species or between day and night. This analysis has been completed basing it on the following sub-objectives:
 - a) Describe the level of activity of each species in normal conditions and in threatening conditions (presence of dead congeners).
 - b) Analyze this level of activity and compare it between day and night.
 - c) Study its aggregation rate in different situations (day/night and control/treatment).

4. MATERIALS I MÈTODES

Tal com s'ha indicat, l'estudi s'ha dividit en dos grans blocs: per una banda s'ha dut a terme, durant tot un any, un seguiment fotogràfic de les poblacions d'algues i garotes al seu propi medi natural. Per altra banda, s'ha fet un estudi, en aquaris, del comportament de les espècies de garotes (*P.lividus* i *A.lixula*) per mitjà de captures de vídeo. Aquests dos blocs, s'explicaran i es tractaran de manera separada.

4.1. CARACTERÍSTIQUES DE L'ÀREA D'ESTUDI

L'estudi de camp, s'ha dut a terme a una petita zona de fons rocosos de la Costa Brava Sud, concretament, a la platja de Fenals.

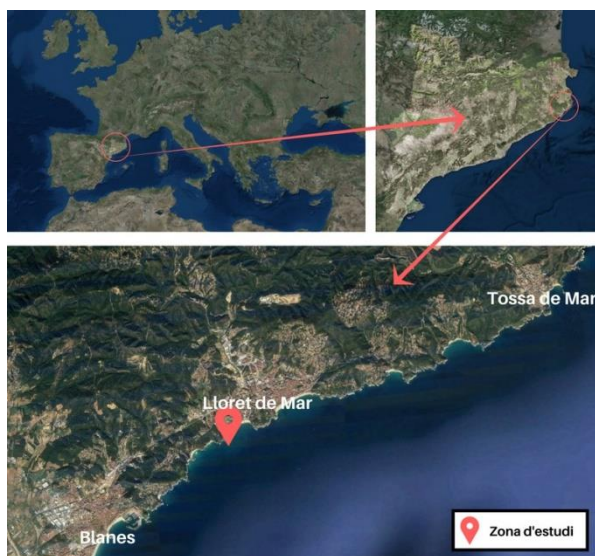


Figura 1. Situació geogràfica de Lloret de Mar (Elaboració pròpia a partir de dades de www.instagram.com)

La zona escollida per al seguiment fotogràfic té una àrea d'uns 13 mil m². D'aquesta àrea, es van seleccionar un total de 16 estacions de mostreig que sumen 97,50 m², amb una àrea mitjana de 6 m² i una profunditat mitjana de 3 metres. Per tal de mantenir les mateixes condicions lumíniques a totes les estacions es va triar una orientació entre el sud i l'est (amb una brúixola es van mesurar les orientacions, amb un màxim de 150° i un mínim de 65°). D'aquesta manera, fent les fotografies al matí, es gaudia d'unes bones condicions lumíniques per a la majoria d'estacions.



Figura 2. Zona de mostreig amb les estacions d'estudi marcades (Elaboració pròpia a partir de dades de Google Earth)

Per tal d'obtenir l'àrea de cada estació es va fer servir una barra d'1 metre marcada que s'estirava sobre la superfície de la roca a fotografiar i permet fer extrapolacions per conèixer la mida de cada estació.



Figura 3. Mesura de l'àrea d'una estació de mostreig mitjançant una barra (Peña, A. 2018)

Per altra banda, i amb l'objectiu de caracteritzar les comunitats i els hàbitats de la zona d'estudi, es va dur a terme un mostreig mitjançant un algòmetre de 25x25cm. A cada estació, es van posicionar 2 algòmetres i es van prendre imatges fotogràfiques per tal d'identificar totes les algues i organismes bentònics i avaluar-ne la seva abundància (veure resultats). Aquest mostreig es va realitzar durant el mes d'abril, coincidint amb la fase de creixement de les comunitats algals.



Figura 4. Mostreig de la comunitat algal mitjançant un algòmetre (Escartin, S. 2018)

Seguidament, es va mesurar el recobriment de cada alga comptabilitzant el nombre de subquadrats totals ocupats de cada algòmetre. Posteriorment s'ha calculat el percentatge de recobriment total de cada espècie. Les espècies menys abundants s'han indicat amb el símbol "+", seguint l'estil de la metodologia Braun-Blanquet.

4.2. SEGUIMENT FOTOGRÀFIC

4.2.1. SELECCIÓ DE LES ESTACIONS D'ESTUDI

Aquesta part de l'estudi, es va dur a terme amb material de busseig lleuger, nedant i utilitzant la tècnica de l'apnea. També es utilitzar una càmera subaquàtica (Nikon Coolpix AW110) per enregistrar totes les parcel·les, pissarres subaquàtiques per anotar dades, una boia, una taula flotant i elements de mesura com un peu de rei de plàstic, una cinta mètrica i una barra fixa amb mesures conegudes.

Per tal d'escollir les diferents estacions d'estudi, es van fer diverses prospeccions inicials on es va veure que els patrons de paisatge associats a l'activitat de les garotes són ben diversos i poden canviar molt en distàncies molt petites. Durant aquestes sortides es van determinar les estacions de mostreig i es va procurar abastar els principals tipus de paisatge observats; 1) roques pràcticament sense algues erectes (blancalls) i amb moltes garotes, 2) roques colonitzades per algues només a la part superior (distribució zonal del blancall), 3) roques totalment colonitzades per algues amb molt poques garotes, 4) roques on predominen les esquerdes i les garotes s'hi refugien.

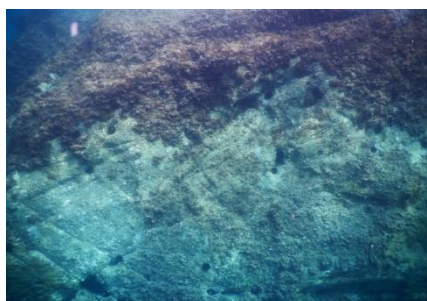


Figura 5. Exemple d'estació de mostreig amb distribució zonal del blancall (Peña, A. 2017)



Figura 6. Exemple d'estació de mostreig de tipus blancall (Peña, A. 2017)



Figura 7. Exemple d'estació de mostreig on predominen les esquerdes (Peña, A. 2017)



Figura 8. Exemple d'estació de mostreig colonitzada per algues amb molt poques garotes (Peña, A. 2018)

Les estacions que es van triar, tenen totes elles una profunditat i un règim de corrents i onatge més o menys similar. Inicialment es van determinar 20 estacions, però en un moment determinat de l'estudi es va fer una selecció més acurada i es va decidir eliminar els punts més discordants de cada tipologia. Finalment han sigut un total de 4 estacions per a cada patró, per tant, es compten amb 16 estacions que segueixen la següent nomenclatura abreviada:

Codi	Descripció
A1, A2, A3, A4	Estacions amb presència parcial del blancall
B1, B2, B3, B5	Estacions amb blancall continu
E1, E2, E4, E5	Estacions on predominen les esquerdes
Z1, Z3, Z4, Z5	Estacions colonitzades per algues amb molt poques garotes

Taula 1. Descripció de la nomenclatura utilitzada per a enumerar les estacions d'estudi. Falten les estacions A5, B4, E3 i Z2 que van ser eliminades en un moment de l'estudi.

A mesura que s’anava establint cada estació es prenen enfilacions, al estil nàutic, per a situar-les de manera precisa. Més tard, utilitzant un sistema d’informació geogràfica (*Google Earth*), es va transferir tota la informació sobre una fotografia aèria. Aquest mapa, amb totes les estacions, es va imprimir i plastificar per tal de poder dur-lo sempre al camp i trobar de nou cada punt. Es va descartar fer marcatges de les estacions a causa de diverses dificultats metodològiques i veient que el mètode del mapa i el gran coneixement de la zona permetia trobar fàcilment els punts. Per altra banda i gràcies a la poca fondària i gran visibilitat habitual de la zona, va ser encara més senzill localitzar cada estació mitjançant la fotografia aèria.

4.2.2. MESURES PRESES *IN-SITU*

El seguiment fotogràfic s’ha fet amb un doble objectiu, per una banda detectar les variacions de la comunitat al llarg de l’any, i per l’altra les variacions entre el dia i la nit. Per assolir el primer objectiu, es va dur a terme un seguiment mensual començant al setembre del 2017 i fins al juny del 2018, incloent així totes les èpoques de l’any. Cada 1 o 2 mesos, i amb una forta dependència de les condicions meteorològiques, es feien fotografies de totes les estacions. Es necessiten unes condicions òptimes al mar per tal de poder fer aquest tipus de fotografies de paisatge submarí. En total es van fer 7 mostrejos fotogràfics durant 10 mesos, repartits de la següent manera (veure taula 2).

Nº mostreig	Nº mesos transcorreguts	Mes real
1r	1	Setembre 2017
2n	2	Octubre 2017
3r	3	Novembre 2017
4t	5	Febrer 2018
5è	8	Abril 2018
6è	10	Juny 2018
7è - Nocturn	10	Juny 2018

Taula 2. Relació del número de mostreig amb el número de mesos transcorreguts a l’estudi i el mes en temps real.

S’ha de tenir present que entre el mostreig 3 (novembre) i el 4 (febrer) durant un parell de setmanes, diferents mariscadors de garotes van extreure una gran quantitat d’exemplars de *P. lividus* de la zona d’estudi. Aquest nombre d’exemplars no està quantificat ni es pot saber amb certesa quines estacions es van veure afectades.



Figura 9. Estació d’estudi abans (esquerra) i després (dreta) de l’actuació dels mariscadors (Peña, A. 2018)

Per assolir el segon objectiu, es van fer mostrejos fotogràfics a la nit, (entre les 23:45 i les 02:15) durant la primavera de 2018. A causa de la dificultat metodològica que suposa fer un mostreig nocturn d'aquestes característiques, es va haver de fer un desplegament especial en diversos sentits;

En primer lloc, es va esperar a tenir unes condicions meteorològiques d'altres pressions ben marcades i tenir també una gran transparència de l'aigua.

En segon lloc, es va haver de comptar amb un fotògraf submarí professional, equipat amb una bona càmera i un sistema d'il·luminació prou potent per donar llum a l'àrea d'estudi de cada estació de manera que es poguessin diferenciar, fàcilment, totes les garotes. Per la realització de les fotografies, es va comptar amb una càmera Canon 5DMARK III, amb objectiu Canon 17-40 IF, una caixa estanca i uns llums submarins Focus Explorer Pro. Per tal d'evitar la reflexió de la llum prop de l'objectiu es van haver de desacoblar els focus de la càmera, doncs a l'aigua hi havia molta activitat planctònica causant d'aquesta reflexió.

Per últim, i per tal de resoldre la dificultat que suposa trobar les petites àrees d'estudi completament a les fosques, es van visitar les diferents estacions unes hores abans de fer la sortida nocturna, i es van marcar amb un petit llum fluorescent. Aquest sistema de marcatge constava d'un element flotant, un plom i un *sticklight* que ens permetia localitzar l'estació en la foscor (veure figura 10).



Figura 10. Sistema de marcatge utilitzat per a reconèixer les estacions en els mostrejos nocturns. (Peña, A. 2018)



Figura 11. Càmera Canon 5DMARK III, amb objectiu Canon 17-40 IF, caixa estanca i llums submarins Focus Explorer Pro utilitzats per a fer les fotografies nocturnes. (Peña, A. 2018)



Figura 12. Exemple de fotografia presa durant el mostreig nocturn (Castillo, C. 2018)

Durant els treballs de camp, a més de les fotografies, es va anar obtenint una sèrie d'informació complementària a partir de mostrejos específics. Es tracta de dades que es recullen un sol cop:

- Mides dels eriçons: Amb l'objectiu d'analitzar si les poblacions de garotes són les esperades en quant a la distribució de talles, es van mesurar alguns individus a diferents estacions, mitjançant un peu de rei.
- Nombre d'individus de cada espècie a totes les parcel·les: A causa de que la diferenciació de les espècies (*A. lixula* i *P. lividus*) no es pot fer per mitjà de les fotografies, es va optar per quantificar-les manualment, com a mínim en un dels mostrejos.

Totes aquestes dades s'anaven anotant en una pissarra subaquàtica per a posteriorment passar-les a format digital.

4.2.3. ANÀLISI DE LES FOTOGRAFIES

A partir de l'anàlisi de les fotografies realitzades es van extreure les següents dades:

- Percentatge de blancall: calculat per a cada estació i en tots els mostrejos. Per tal d'obtenir dades numèriques, es va dissenyar un mètode que consisteix en dividir la superfície d'estudi que s'observava a la fotografia en una quadrícula de 16 quadrats. D'aquesta quadrícula, es compten els quadrats en què la roca tingui una estructura clarament de blancall i s'obté un valor en forma de fracció ($x/16$) que posteriorment es passa a percentatge. Es consideren blancalls les zones bentòniques que estan dominades per garotes i algues coral·linàcies, on la pastura de garotes és tan intensa que no s'hi poden trobar algues. (Dexter et al. 2014)
- Percentatge d'esquerdes: calculat per a cada estació i en tots els mostrejos. Per a obtenir les dades numèriques es va fer servir el mateix mètode que amb el percentatge de blancall. Es considera esquerdada qualsevol obertura longitudinal que es pot observar en una paret o en una roca i que els eriçons poden fer servir de refugi.
- Percentatge d'algues: calculat per a cada estació i en tots els mostrejos. Per tal d'obtenir aquesta informació numèricament es va fer servir el mètode de quadrícules utilitzat a les dades anteriors. Es considera zona amb algues tota aquella zona on les comunitats d'algues erectes han colonitzat totalment la superfície de la roca.
- Número de garotes posicionades en zones blanquejades, en zones amb algues o en zones amb esquerdes. Mitjançant un programa d'edició d'imatges, es van marcar les garotes de cada fotografia depenent de la zona on es trobessin i utilitzant un codi de colors diferents per tal de fer un recompte precís. Gràcies a l'obtenció d'aquestes dades, i donat que prèviament s'havia calculat l'àrea de cadascuna de les estacions, es va poder calcular el número de garotes/m² per a cada zona.
- Número de garotes agregades. Es considera que un grup d'erions està agregat quan tres o més eriçons es toquen formant així un conjunt. L'agregació depèn de l'ecologia de les

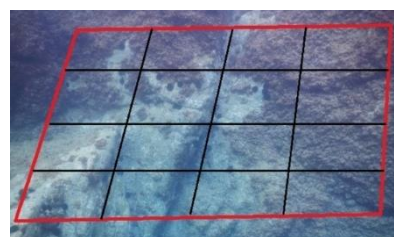


Figura 13. Foto d'exemple de la quadrícula empleada per a mesurar els percentatges de blancall, algues i esquerdada de cada estació i mostreig. (Peña, A. 2018)

espècies però també de la distribució dels recursos al medi i de la gestió de les poblacions. (Laguna E. 2015)

S'ha comptabilitzat aquest nivell d'agregació considerant les 4 categories següents:

- Individual: 1 individu o garotes que no estan agregades
- Parella: 2 individus
- Trio: 3 individus
- Grup: 3 o més individus

Amb l'objectiu de realitzar un anàlisi acurat de totes les dades, es van recollir en un gran full de càlcul. A partir d'aquesta taula, es van anar analitzant les diferents variables per tal de triar aquelles que fossin més significatives i que responguessin a les preguntes plantejades inicialment. En aquest sentit, i per tal de simplificar la comprensió dels resultats, es va descartar fer anàlisis multivariants i sempre es van analitzar les variables amb estadístics univariants. Aquests càlculs es van fer mitjançant l'operatiu Excel o programes estadístics com el SigmaPlot 10.0 o el Past 3. Per tal de minimitzar la gran variància de les dades i poder-les analitzar de manera més còmoda, novament es van agrupar les estacions més semblants. Per una banda les garotes que es troben a les estacions que estan principalment blanquejades (B) i les que presenten zonació del blancall (A), i per altra banda les zones on hi predominen les esquerdes (E) i on hi ha moltes algues i poques garotes (Z)

4.2.4. INFORMACIÓ AL GIS

Tal com s'ha indicat anteriorment, totes les estacions es van georeferenciar en un ortofotomapa. Seguidament, aquesta informació es va exportar al programa QGIS i es va afegir informació que no varia al llarg dels diferents mostreigs: profunditat, orientació i àrea, junt amb el nombre de garotes de cada espècie que es van trobar a l'inici de l'estudi. En cap cas s'afegeixen dades temporals relatives als diferents mostreigs que s'avaluen d'una altra manera. També es va afegir una fotografia de mostra de cadascuna de les estacions. Aquest mapa s'ha penjat a un servidor per tal de poder consultar-lo en línia.

4.3 EXPERIMENT EN TANCS

4.3.1 TANC DE MANTENIMENT

Aquesta part de l'estudi es va dur a terme a les instal·lacions de l'Associació Mediambiental Xatrac, concretament a La Casa del Mar de Fenals i es va fer utilitzant diversos aquaris, filtres i sistemes de refrigeració.

En primer lloc es va condicionar un tanc de fibra de vidre de 100cm de llargada, 80cm d'amplada i 50cm d'alçada, amb un volum de 400L. Dins d'aquest tanc, s'hi va abocar aigua de mar recollida de manera manual amb bidons i sense passar per cap tractament previ. El tanc comptava amb un filtre EHEIM 2213, un refrigerador HC-150A i un airejador air 275 plus. La temperatura de l'aigua oscil·lava entre 15 i 18°C i s'anava modificant a mesura que la temperatura del mar anava canviant.

Al tanc s'hi van introduir 15 garotes de cada espècie, totes amb una mida similar, d'entre 5 i 6cm de diàmetre. Per tal d'aconseguir condicions similars a les de l'ambient natural de les garotes, s'hi van posar còdols amb petites algues i organismes associats que els hi servien

d'aliment. A més a més, per a que no tinguessin cap carència alimentària, puntualment s'hi afegien algues de diferents espècies (vegeu Bagur, 2016).

Abans de començar els experiments, es va deixar que les garotes s'acimatessin durant dues setmanes, evitant així que l'estrès pel trasllat del mar al tanc, afectés a l'estudi. Es va donar per superada aquesta fase d'adaptació quan els senyals d'estrès van desaparèixer (col·locar-se al fons de l'aquari en comptes de a la superfície, presentar les punxes ben definides i els peus ambulacrals ben estesos). A l'hora de fer els experiments, s'extreien diferents garotes del tanc i es passaven als aquaris d'experimentació. Un cop finalitzat l'experiment, es retornaven al tanc.



Figura 14. Tanc on conviuen els diferents individus de les dues espècies. (Peña, A. 2018)

4.3.2 AQUARIS D'EXPERIMENTS

Paral·lelament, es van preparar dos aquaris de plàstic per a realitzar els experiments. Aquests aquaris mesuraven 40cm d'amplada, 60cm de llargada, 42,50cm d'alçada i tenien un volum de 102L. Estaven connectats entre si amb un circuit que constava d'un filtre EHEIM 2213, un airejador air 275 plus i un refrigerador HC-100A.

Al igual que al tanc de manteniment, es van introduir còdols de diferents mides amb algues incrustants que servien d'aliment per a les garotes (en aquest cas no s'afegien algues).

Damunt dels tancs d'experimentació també es va instal·lar una càmera de vigilància IP Camera SKU: 5600334 que gravava, simultàniament i en tot moment, els dos aquaris. Gràcies al software d'edició de la càmera, es va poder gravar en directe tot el procés experimental, incloent les nits, ja que disposa d'un sistema de gravació nocturna.



Figura 15. Imatge que s'obtenia a través de la càmera IP Camera SKU: 5600334 (visió normal a l'esquerra i visió nocturna a la dreta)

Es va testar el comportament de cada espècie per a 4 situacions diferents (veure taula 3).

	Control	Tractament (mort)
Dia	Situació 1	Situació 3
Nit	Situació 2	Situació 4

Taula 3. Descripció de cada situació testada experimentalment

Control		Tractament (mort)	
Torn	Espècie	Torn	Espècie
1	<i>Paracentrotus lividus</i>	1	<i>Paracentrotus lividus</i>
2	<i>Arbacia lixula</i>	2	<i>Paracentrotus lividus</i>
3	<i>Paracentrotus lividus</i>	3	<i>Paracentrotus lividus</i>
4	<i>Arbacia lixula</i>	4	<i>Arbacia lixula</i>
5	<i>Paracentrotus lividus</i>	5	<i>Arbacia lixula</i>
6	<i>Arbacia lixula</i>	6	<i>Arbacia lixula</i>

Taula 4. A la banda esquerra s'observen els diferents torns experimentals de 48h que es van fer com a control, en l'ordre en que es van introduir les espècies al tanc. Un cop acabats tots els controls, es va fer el tractament en l'ordre indicat a la banda dreta.

Un cop acabats els controls per a les dues espècies, es va fer el mateix experiment però introduint un individu mort al sistema d'aquaris. Aquest individu era de la mateixa espècie que les garotes que hi havien a cada aquari. Primer es van fer totes les rèpliques d'una espècie seguides i després de l'altra, assegurant així que el circuit no quedava impregnat de restes del cadàver de l'altre espècie, la qual cosa podria haver alterat els resultats. Per inserir el cadàver, es va fer servir una bossa de malla que quedava penjant d'una de les parets de l'aquari.



Figura 16. Aquari amb la bossa amb un cadàver per a fer les proves amb tractament. (Peña, A. 2018)

4.3.3. ANÀLISI DELS VÍDEOS

En primer lloc, els vídeos obtinguts d'aquests experiments es van accelerar 510x per tal d'obtenir una gravació a càmera ràpida que va permetre analitzar els moviments de les garotes en un temps molt menor del real. Per enregistrar numèricament aquests moviments al llarg del temps, es va fer servir un programa d'anàlisi de vídeos anomenat *Kinovea*. Aquest programa permet dividir l'aquari on es trobaven les garotes en una graella de 8x8 quadrats. Cada cop que una garota traspasa un quadrat, es considera com 1 moviment. En una taula es van anotar quants moviments feia cada garota en un minut, i així successivament. Aquesta franja de temps d'un minut, es va decidir tenint en compte que durant els moviments balístics que feien les garotes, el temps mínim que trigaven en creuar un quadrat, era d'un minut.

Amb els programes estadístics SigmaPlot 10.0 i Past.3, es va realitzar una ANOVA per veure si hi havien diferències significatives per als moviments totals entre les diferents situacions testades.

Per altra banda, es van analitzar aquests moviments al llarg del temps, també per a cada situació utilitzant unes gràfiques elaborades amb Excel.

4.4 ASSAIGS METODOLÒGICS

Per tal d'aconseguir la metodologia més efectiva a l'hora d'assolir els diversos objectius d'aquest estudi, es van haver de fer diverses proves prèvies que s'expliquen en aquest apartat.

4.4.1. ASSAIGS FETS AL SEGUIMENT FOTOGRÀFIC

Abans de concloure que el mètode més efectiu per a reconèixer les diferents estacions de mostreig seria utilitzar un sistema memorístic amb l'ajuda d'un mapa de la zona, es van fer diverses proves de marcatge. Per una banda, es va provar un mètode amb ciment químic (massilla de polièster) mitjançant una pistola de silicona i números de plàstic. Es col·locava una mica de massilla sobre una zona més o menys neta de la roca i que fos visible des de la superfície, es deixava pocs segons i s'adheria el número fent pressió. Aquesta metodologia no va funcionar i després es va provar el mateix fent servir una rajola de piscina, que tampoc va resultar, ja que en tots dos casos l'element no s'acabava d'adherir del tot a la superfície de la roca a marcar i, amb la mínima força del corrent marí, es desprenia.



Figura 17. Col·locació de la massilla de polièster sobre una estació d'estudi, mitjançant una pistola de silicona. (Peña, A. 2017)

4.4.2 ASSAIGS FETS A L'EXPERIMENTACIÓ EN TANCS

Abans de començar amb l'experiment als tancs, es van realitzar diverses proves per tal d'assegurar que el moviment de les garotes s'enregistraria correctament en vídeo. Aquestes proves van tenir en compte dos factors principalment: la llum i la presència o no de còdols al fons del tanc. Per una banda, si s'utilitzava llum artificial, existia la possibilitat que aquesta afectés al comportament de les garotes i, a més, els llums es reflectien a l'aigua i no permetien gravar correctament l'interior. Per tant, després de fer diverses proves es va decidir col·locar el muntatge a prop d'una finestra des d'on entrava llum natural. A banda d'això, d'aquesta manera els patrons dia-nit estaven marcats de manera totalment natural.

D'altra banda, es van fer diferents gravacions amb tot el fons ben ple de còdols, després sense cap còdol i finalment amb només uns quants. Fetes diverses proves, es va concloure que la millor opció era fer-ho amb uns quants còdols, de manera que les garotes tenien aliment (algues incrustants als còdols) i la imatge del vídeo permetia distingir perfectament entre garotes i còdols.

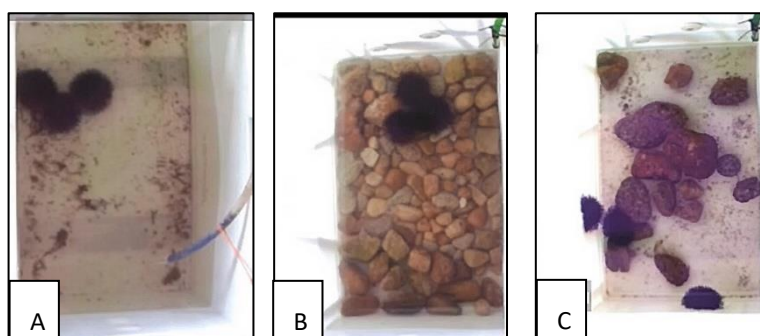


Figura 18. Fotografies de les diferents proves realitzades quant al fons dels aquaris. A) Prova sense còdols; B) Prova amb tot el fons ple de còdols; C) Prova amb només uns quants còdols (opció escollida).

5. RESULTATS

5.1. CARACTERÍSTIQUES DE L'ÀREA D'ESTUDI

A continuació es mostren les dades relatives a l'abundància (percentatge recobriment) dels organismes principals trobats amb el mètode fotogràfic i a cada estació.

ESTACIÓ	Dictyotals	<i>Aglaophenia</i> sp.	<i>Corallina</i> <i>elongata</i>	<i>Padina</i> <i>pavonia</i>	Rodòfit incrustant (varis)	<i>Perforatus</i> <i>perforatus</i>
B2	4	26	8	+	10	0
A1	22	0	20	0	4	30
A3	30	0	4	+	12	8
B5	24	14	6	4	10	40
A2	18	0	0	+	14	38
B1	0	8	6	2	32	2
A4	10	0	6	6	14	14
B3	8	52	4	2	6	26
Z3	8	2	14	2	0	0
E5	28	0	+	6	20	0
E1	2	0	12	+	2	0
Z1	2	0	50	+	0	0
Z5	48	0	+	4	0	0
E5	28	0	+	6	20	0
E1	2	0	12	+	2	0
Z1	2	0	50	+	0	0
Z5	48	0	+	4	0	0

Z4	0	8	36	+	0	0
E4	16	0	12	20	0	0
E2	50	2	50	+	0	0

Taula 5. Abundàncies relatives (sobre 100% de recobriment) de cada taxó observat al mostreig amb algòmetres.

Les espècies principals observades al mostreig mitjançant algòmetres van ser; Dictyotals (amb dominància de *Dictyota spp.* i *Taonia atomaria*), *Padina pavonica*, *Corallina elongata* i diverses espècies de rodòfits incrustants. També es van trobar dues espècies d'invertebrats amb recobriments importants: el crustaci *Perforatus perforatus* i hidrozous del gènere *Aglaophenia*. Les dues espècies que millor s'observen a les zones de blancall provocat per l'herbivorisme de les garotes són els rodòfits incrustants i *P. perforatus*, per contra, *Corallina elongata* és molt poc freqüent en aquestes zones.

Amb això també podem confirmar que els hàbitats principals presents als punts estudiats són l'hàbitat CORINE 11.2414+ de fons infralitorals rocosos, calms i ben il·luminats, sense algues fucals i l'11.24142+, fons infralitorals rocosos, calms i ben il·luminats, sense algues fucals amb *Lythophyllum incrustans* (Ballesteros et al. 2014).

5.2 ANÀLISI DE LES FOTOGRAFIES

5.2.1 EVOLUCIÓ DELS BLANCALLS AL LLARG DEL TEMPS

A partir del seguiment fotogràfic, es va observar que les zones que s'havien considerat totalment blanquejades, canviaven amb el temps. És per això que es va decidir analitzar l'evolució d'aquestes zones focalitzant una part de l'estudi en la variació, en el temps, de la quantitat de blancall de cada estació d'estudi.

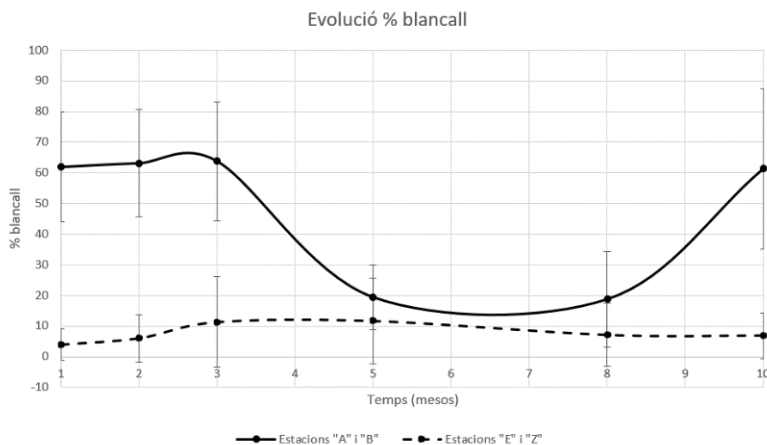


Figura 19. Evolució de la quantitat de blancall de les diferents zones durant els 10 mesos d'estudi. Veure la taula 2 a materials i mètodes per a correlacionar els números amb els mesos reals del treball.

A la figura 19 s'observa com durant els primers mesos de mostreig, el percentatge de blancall a les estacions "A" i "B" es va mantenir estable, fins a l'hivern de 2018 on es veu una davallada important que va durar fins al mes 8 de seguiment, que correspon a l'abril. A continuació, va augmentar tornant a assolir pràcticament el mateix nivell que al començament de l'estudi. Per altra banda, a les "E" i "Z" no s'ha observat pràcticament cap canvi.

5.2.2 CORRELACIÓ ENTRE ESPÈCIES I PAISATGES

També s'ha analitzat la correlació que hi ha entre cada espècie de garota i el tipus de paisatge que predomina a cada estació.

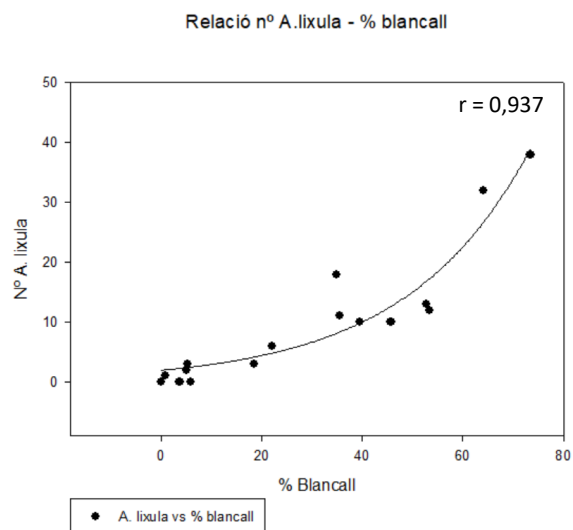


Figura 20. Correlació entre el número d'*Arbacia lixula* i la quantitat de blancall de cada estació.

En aquest sentit es va detectar que la presència d'*Arbacia lixula* està correlacionada amb les zones blanquejades, doncs s'obté una $r = 0,937$. De la mateixa manera, a les zones on el recobriment algal és elevat, no és freqüent trobar-hi exemplars d'aquesta espècie.

Per altra banda, s'han realitzat els mateixos anàlisis amb *Paracentrotus lividus* obtenint una correlació pràcticament nul·la amb el tant per cent de blancall de cada estació ($r = 0,158$).

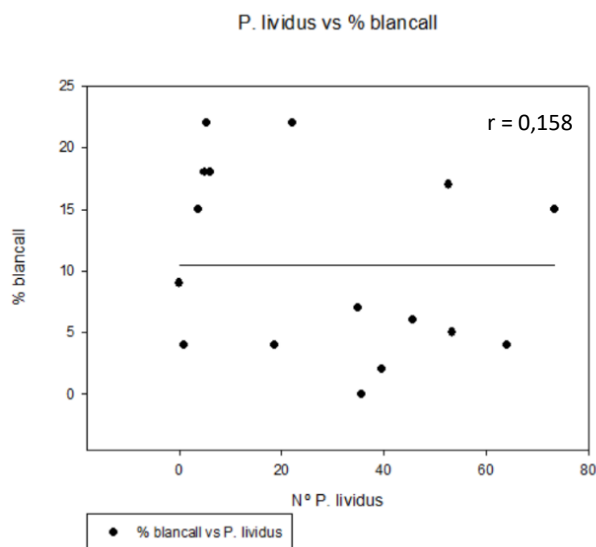


Figura 21. Correlació entre el número de *Paracentrotus lividus* i la quantitat de blancall de cada estació.

5.2.3 DENSITAT TOTAL DE GAROTES AL LLARG DE L'ANY

Per últim, es va analitzar l'evolució de la densitat d'individus de les dues espècies al llarg de l'any. A la figura 22 es pot observar com a partir del mes nº5 (febrer) hi ha una disminució del número total de garotes en tots dos tipus de zones. En el cas de les estacions "A" i "B" aquesta davallada es recupera a partir del mes nº 8 (abril). En l'altre la recuperació és pràcticament inapreciable.

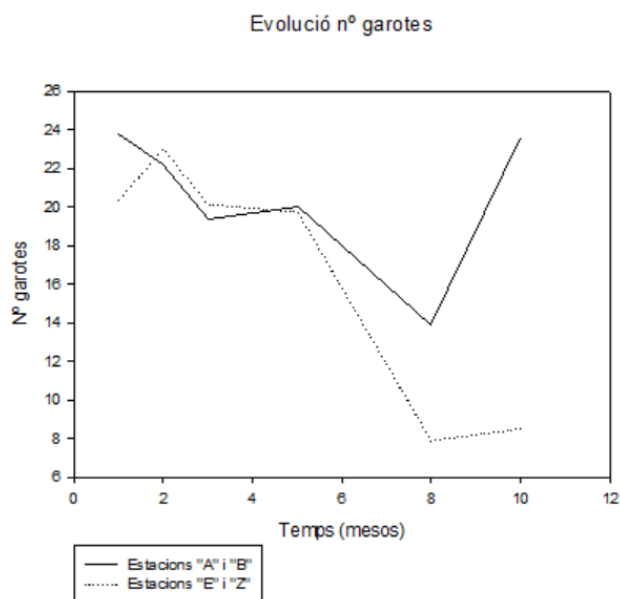


Figura 22. Evolució del número de garotes al llarg de tot l'estudi. Es donen les dades diferenciades en "Estacions "A" i "B" " i "Estacions "E" i "Z" ".

5.2.4 COMPARACIÓ MOSTREIG DIÛRN-NOCTURN

Per tal de comparar les dades del mostreig diürn i el mostreig nocturn, s'ha fet una ANOVA comparant el número de garotes observades de dia i de nit.

El p-valor obtingut en els anàlisis ANOVA realitzats per comparar el número de garotes, la taxa d'agregació i la taxa de refugi de les garotes és per a tots els casos major de 0,05, la qual cosa ens indica que les diferències no són significatives.

5.3. EXPERIMENTS EN TANCS

5.3.1 ARBACIA LIXULA

	Dia	Nit
Control	32,94±23,68	48,06±49,92
Tractament (mort)	12,89±12,25	37,44±33,97

Taula 6. Mitjanes i desviacions estàndard dels moviments totals de cada situació per als experiments amb Arbacia lixula

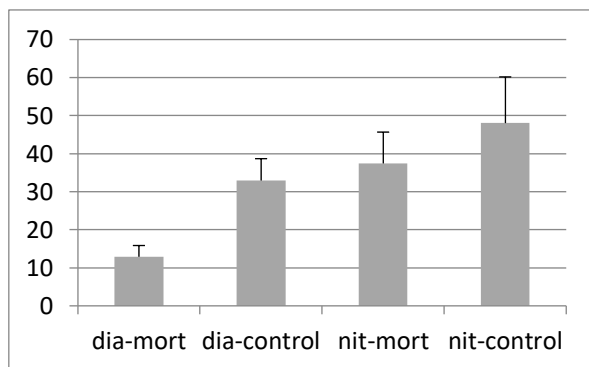
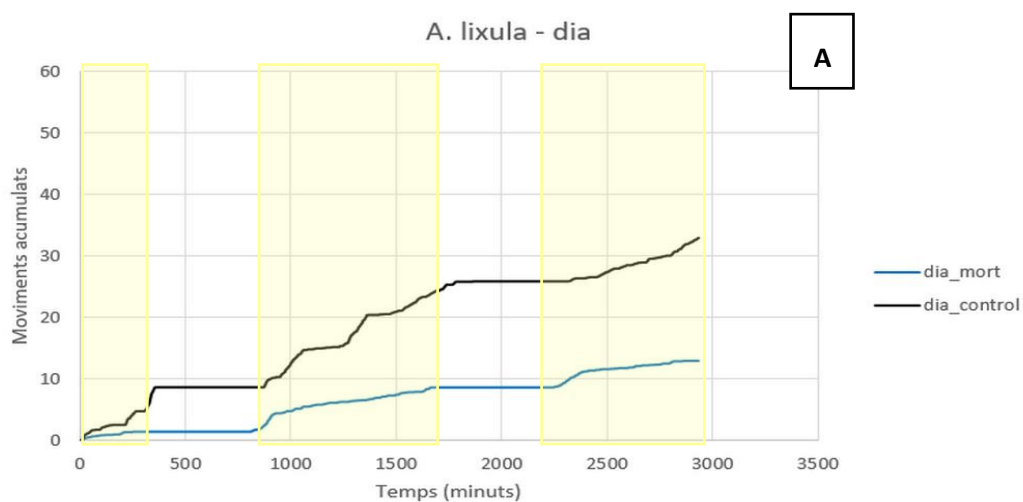


Figura 23. Mitjanes dels moviments totals de cada situació per als experiments amb *Arbacia lixula* amb els seus errors relatius.

En el recompte del nombre total de moviments realitzats per *Arbacia lixula*, durant 12h+12h, en les diferents situacions, s'obtenen els següents resultats de l'ANOVA:

- Pels moviments realitzats durant el dia, al comparar el nombre total de moviments per garota per minut als controls i tractaments (mort), s'obté un p-valor=0,003, per tant, les diferències són molt significatives. Tal com s'observa a la taula 6, la mitjana de moviments durant les proves control dobla la mitjana del tractament (mort).
- Al fer el mateix anàlisi però durant la nit, s'obté un p-valor = 0,461, és a dir unes diferències no significatives. La mitjana de moviments de dia i de nit no disten gaire.



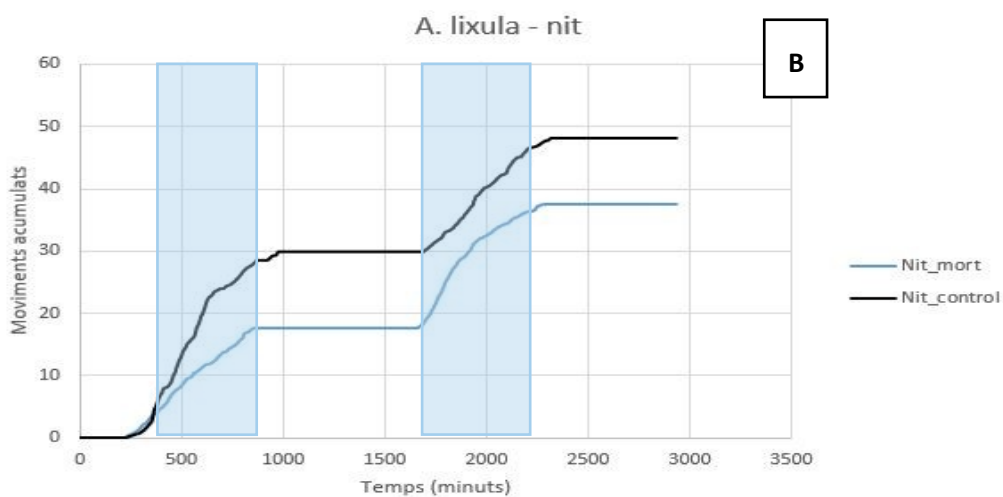


Figura 24. Mitjanes dels moviments realitzats per *A.lixula* amb i sense tractament (mort) durant el dia (A) i durant la nit (B). A l'eix de les X s'observen el nº de moviments acumulats i a l'eix de les Y el temps transcorregut en minuts.

També s'ha analitzat el moviment en relació al temps. A la figura 24 s'hi troben les mitjanes de moviments realitzats per *A.lixula* durant la nit i durant el dia en totes dues proves. A l'eix de les X s'hi indica el temps transcorregut en minuts, i al de les Y el número de moviments acumulats, de manera que els pendents més inclinats corresponen amb períodes d'una major activitat. A falta d'un anàlisi estadístic detallat d'aquests pendents, a partir dels gràfics es poden deduir diversos patrons o comportaments prou diferenciats. És important apreciar que la línia de temps dels gràfics correspon a 48 hores (2.880 minuts), però en canvi, només es mostren els moviments acumulats del període que es representa. De manera que, només cal tenir en compte les zones marcades en color a cada cas.

A la figura 24(A) s'observa com durant les proves de dia, els pendents són suaus indicant una taxa de moviment relativament baixa però força constant. Per altra banda, a la nit (figura 24(B)) els pendents són clarament més acusats, indicant més moviment. Per a tots dos casos, s'observa com el número de moviments és menor durant les proves amb un congènere mort a l'aquari.

5.3.2 PARACENTROTUS LIVIDUS

	Dia	Nit
Control	24,39±32,67	15,72±11,91
Tractament (mort)	55,39±43,95	44,28±39,62

Taula 7. Mitjanes i desviacions estàndard dels moviments totals de cada situació per als experiments amb *Paracentrotus lividus*

En el recompte del nombre total de moviments realitzats per *Paracentrotus lividus* en les diferents situacions, s'obtenen els següents resultats mitjançant l'estadístic ANOVA:

- Al comparar els moviments durant el dia amb i sense tractament, s'obté un p-valor=0,02, per tant, les diferències són significatives. A la taula 7 es pot observar com a la prova control s'obté una mitjana de moviments molt menor que a la prova tractament.

- Al fer el mateix anàlisi però per les dades de nit, s'obté un p-valor = 0,006, és a dir unes diferències molt significatives. La mitjana de moviments amb tractament és més del doble que la del control.

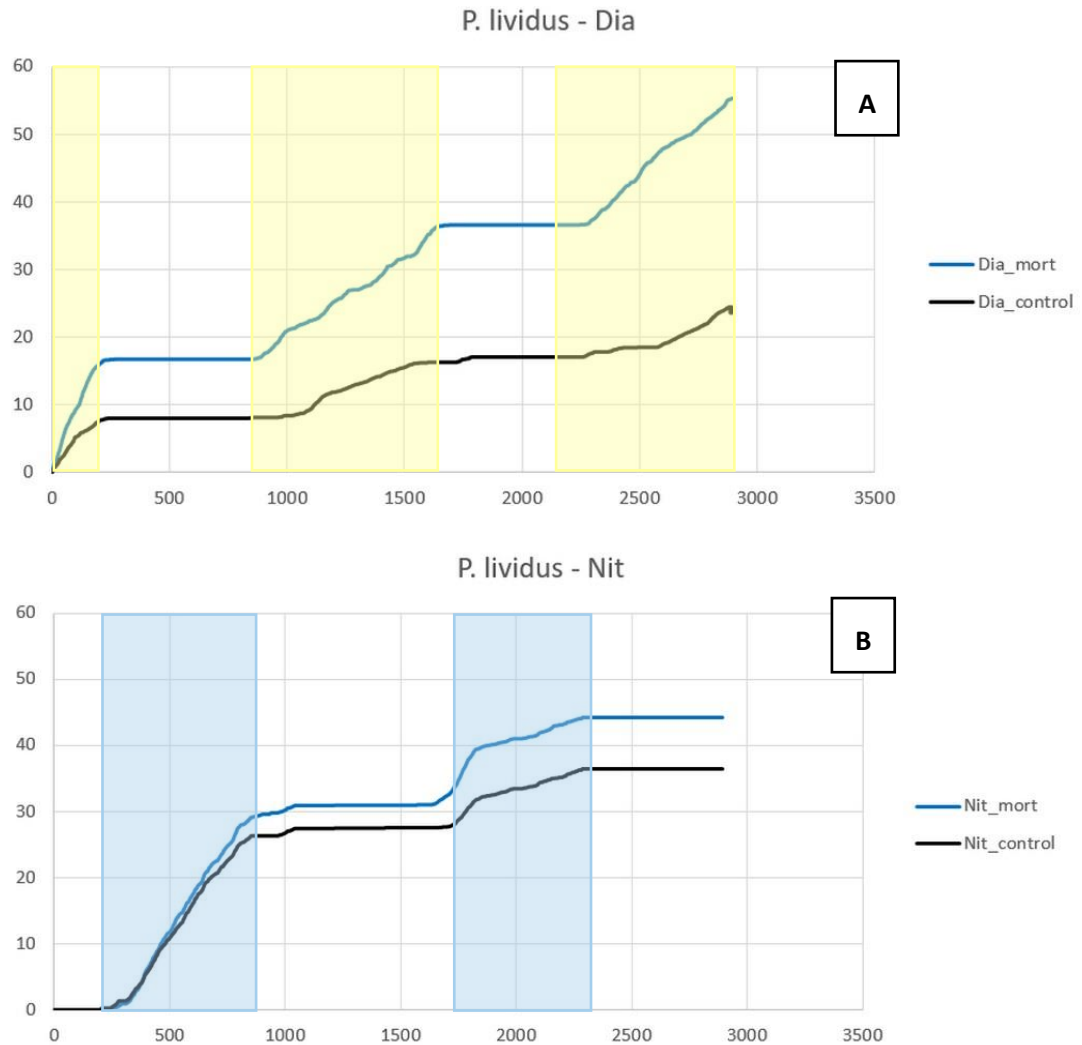


Figura 25. Mitjanes dels moviments realitzats per P.lividus amb i sense tractament (mort) durant el dia (A) i durant la nit (B). A l'eix de les X s'observen el nº de moviments acumulats i a l'eix de les Y el temps transcorregut en minuts.

Per a l'anàlisi del moviment en relació al temps, a la figura 25(A) s'observa com els pendents en tots dos anàlisis van augmentant progressivament. A la prova control aquest pendent és més suau, la qual cosa indica que el número de moviments és menor.

A la figura 25(B), s'observa com, en tots dos anàlisis, els pendents són més acusats a la primera nit i més suaus a la segona.

6. DISCUSSIÓ

Les garotes poden tenir una gran influència en les comunitats bentòniques degut a la seva capacitat de pastoreig. Aquest fet, pot suposar un problema en diferents indrets del món on la població de garotes no està controlada i les comunitats algals es veuen molt modificades. Per una banda, hi ha llocs com Sardenya on les poblacions de garotes han estat reduïdes els últims anys degut a la sobrepesca (Serra et al 2012). En altres indrets, com les Illes Canàries, hi ha una sobrepoblació de garotes tan gran (Yurena et al. 2015) que s'han arribat a organitzar campanyes d'erradicació de garotes amb l'ajuda de submarinistes voluntaris, per tal d'evitar la degradació de les algues autòctones.

Per altra banda, altres estudis també apunten a que enfront d'espècies d'algues exòtiques, aquesta activitat de pastoreig pot actuar controlant la seva invasió (Cebrian et al. 2011).

Pel que fa a les dades obtingudes en el seguiment de la mida de les zones blanquejades, aquestes disminueixen durant el 4t i 5è mostreig coincidint amb l'hivern i la primavera. De totes maneres, més tard, (a partir del mes d'abril) els blancalls tornen a guanyar ràpidament terreny. Aquestes fluctuacions temporals del nivell de blanqueig, podrien estar associades, per una banda a la disminució de la pressió de pastoreig i per l'altra a l'increment del desenvolupament algal fruit de l'època de l'any. En el present treball, coincidint amb aquesta davallada del percentatge blanquejat, es detecta també una disminució del nombre total de garotes. Altres treballs en els que s'extreuen les garotes de les zones blanquejades, documenten la recuperació de moltes espècies d'algues, però en temps molt superiors, Bulleri (1998), i també Petter et al. (1996). És per això que es podria relacionar amb un ràpid creixement d'algunes espècies d'algues que en un cert moment de l'any poden guanyar la partida als eriçons.

La forta davallada de garotes detectada durant l'hivern, és molt probable que estigui relacionada amb l'activitat que van dur a terme els mariscadors a la zona durant aquesta època. Aquest fet no s'ha pogut quantificar, però es va parlar amb ells i extreien entre 1.000 i 3.000 garotes al dia.

A partir dels recomptes d'individus *in-situ* on es diferenciaven les dues espècies d'estudi, s'ha pogut comprovar com *Arbacia lixula* està fortament associada a zones blanquejades. Aquesta gran correlació entre la densitat d'individus i el percentatge d'àrea total blanquejada, concorda amb treballs similars d'altres autors en que retirant individus d'aquesta espècie d'una zona blanquejada, veien com disminuïa la quantitat de blancalls. (Bonaviri et al 2011)

Per altra banda, al fer aquesta comparació amb *Paracentrotus lividus*, no es va obtenir cap tipus de correlació. En el mateix estudi citat anteriorment, es va comprovar com amb la retirada de *Paracentrotus lividus* no s'obtenia cap tipus de diferència en l'estructura del paisatge.

Quan s'analitzen les diferències entre el dia i la nit, al camp no es detecten diferències significatives ni entre el número de garotes ni entre la taxa d'agregació de les mateixes. Segons les tesis de *lanscape of fear* es podria trobar que a la nit hi ha més garotes que abandonen el seu refugi o que deixen d'estar agregades. Malgrat que les fotografies realitzades no denoten cap d'aquests patrons, diverses immersions nocturnes realitzades a la tardor i a l'hivern van donar la sensació que aquests patrons sí que es seguien, així com la presència de garotes petites pasturant fora del seu refugi. Caldrien més dades al respecte i assegurar que aquestes es prenen en plena nit.

Per altra banda, quan s'analitza el moviment de les garotes comparant el dia amb la nit, els experiments en aquaris demostren que *A.lixula* està més activa durant la nit que durant el dia. Contràriament, *P. lividus* es mou més durant el dia. Aquests resultats per *P. lividus* difereixen amb els obtinguts per Hereu, B (2004) on la seva activitat és molt major durant la nit.

En els experiments diürns, realitzats també en aquaris, on s'ha testat les reaccions de les garotes enfront d'un estímul de perill, s'ha vist com *A. lixula* disminueix la seva taxa de moviment i sembla que quan està quieta, tendeix a agregar-se força. Aquesta última dada no ha pogut analitzar-se a fons, i resta pendent d'un anàlisi més detallat.

Per altra banda, al analitzar el moviment nocturn, d' *A. lixula* sota les mateixes condicions de perill no s'aprecien diferències. En aquest sentit, cal remarcar que en tots dos casos el número de moviments ha estat elevat, la qual cosa es pot relacionar amb el ritme circadià que segueixen. Tal com s'ha esmentat anteriorment, durant la nit, disminueix la seva por a ser depredades, ja que els depredadors diürns no actuen. En aquest cas, semblaria que aquest ritme que està definit per instint, ha estat més important que el fet de trobar-se un congènere mort a prop.

En les proves amb *Paracentrotus lividus* s'han obtingut resultats discordants amb els d'*A. lixula*. En tots dos casos (tant de dia com de nit) el número de moviments és més elevat durant les proves amb tractament (mort) que en les proves control. Això es podria relacionar amb el fet que, al no trobar un refugi on amagar-se, es mouen constantment intentant trobar-ne un. Segons Hereu (2005), la pressió per depredadors reforça el comportament de fugida de *P. lividus* en busca de refugis. En aquest sentit, si s'hagués de replicar aquesta part de l'estudi, seria útil plantejar-se realitzar les proves afegint refugis als aquaris. D'aquesta manera, s'eliminarà la possibilitat de que el moviment augmenti per falta de refugi i no perquè realment no tinguin por. A més, per tal de reforçar l'efecte del congènere mort, en comptes d'introduir només un cadàver, es podrien col·locar més, depenent de les dimensions dels aquaris. En relació amb això, també es podria plantejar tenir un sistema de filtratge d'aigua menys potent, per tal d'assegurar que els senyals químics no s'inhibeixen al passar pel filtre, però que l'ambient no es satura.

Amb l'objectiu d'aconseguir uns resultats més concloents, es plantegen diverses accions que es podrien realitzar al fer una continuació de l'estudi:

- Afegir un depredador a l'aquari d'experimentació.
- Afegir un depredador amb una víctima a l'aquari, de manera aïllada.
- Canviar el cadàver de l'aquari amb més freqüència, intentant així reforçar l'efecte.
- Analitzar i detectar les substàncies químiques que emet la víctima per tal de poder fer-ne un seguiment al llarg del temps, comprovant així si el seu efecte és constant o si va fluctuant.
- Realitzar un cens de peixos per tal de caracteritzar els possibles depredadors d'aquests equinoderms.
- Comptar a cada mostreig el número d'individus de cadascuna de les espècies o trobar un sistema per a fer fotografies que fes relativament senzilla la seva diferenciació. D'aquesta manera, la relació de les espècies amb el tipus de paisatge podria resultar més significativa.
- Realitzar la mesura de garotes a cada mostreig i no només un únic cop. Així es podria corroborar que les garotes segueixen la distribució normal de talles durant tot l'estudi.
- Realitzar les sortides nocturnes a hores més tardanes, per tal d'assegurar que el patró que segueixen és totalment nocturn.
- Escollir zones on les esquerdes estiguin més definides i es puguin observar fàcilment les garotes mitjançant una fotografia.
- Per tal de lligar molt més l'estudi in-situ amb l'ex-situ amb la teoria del landscape of fear, s'haurien de recrear situacions d'estrès per a les poblacions de garotes, al camp. D'aquesta manera, es podrien tenir en compte algunes variables que en aquest treball no s'han pogut controlar al 100%.

7. REFLEXIÓ ÈTICA

Sempre que es treballa amb organismes vius cal tenir ben clara la normativa associada i dur a terme tots els treballs amb el màxim rigor ètic possible.

L'extracció de garotes està regulada amb finalitats comercials per a la pesca professional (Ordre ARP/153/2002, de 6 de maig, per la qual s'autoritza l'extracció de 150kg per llicència i dia (DOGC núm. 3634, de 13.5.2002)) i per a la pesca recreativa (Decret 109/1995 de 24 de març de regulació de la pesca marítima recreativa que autoritza l'extracció de 150 individus per llicència i dia, de l'1 d'octubre al 31 de març).

Per altra banda, l'article 35 de la Llei 2/2010, del 18 de febrer, de pesca i acció marítimes, prohibeix l'extracció de flora i fauna marines sense finalitats pesqueres. Però el mateix article, fa una excepció on s'autoritza la manipulació i extracció d'organismes marins amb finalitats científiques i educatives.

L'Associació Mediambiental Xatrac, on s'han realitzat tots els experiments d'aquest estudi, compta amb aquesta autorització.

Partint d'això, cal esmentar que per propis motius ètics, durant tot el procés experimental s'han mantingut tots els organismes en les millors condicions ambientals i que s'ha tingut especial atenció a l'hora de programar els experiments, fent així que no calgués necessitar més d'un cadàver per cada cicle d'experimentació.

Un cop finalitzat tot l'estudi, es van retornar tots els organismes al seu hàbitat natural, el mar.

8. CONCLUSIONS

According to the studies carried out on this project, the following conclusions have been drawn:

- In a relatively small area like the study's one, a high heterogeneity of landscapes and densities of the number of sea urchins were observed.
- The seaweeds coverage and the percentage of barrens of each study station vary significantly along the year. *Arbacia lixula* has a strong correlation with the barren areas, and when the sea urchin's density increase, the barren coverage increases too. In contrast, *Paracentrotus lividus* has no correlation with the percentage of barrens.
- Analyzing the sea urchin's density in its natural habitat, among day and night, no significant difference was found.

By exposing the sea urchins to threatening conditions, it's concluded that:

- At nights, *A. lixula* is always more active, and its rate of movement does not vary in the presence of a risk signal. On the other hand, during the day, it moves less if there is a dead congener in the aquarium.
- *P. lividus* is always more active at day than at night and, in both cases, it increases its activity in situations with a dead congener in the aquarium.

On a personal level, after completing this study I can conclude that:

- In order to work at sea, the logistics for data collection must be well-known beforehand, because it is an environment that accentuates the difficulty of any task. Consequently, I have learned to make decisions (both methodological and logistical) before to organize

an fieldwork in the sea, based on different knowledge obtained during the study. It has been always considered that, to obtain good results in our study, it's necessary to carry out tests and to make sure very well if the purpose that will have each one of the steps will improve it or not.

- My learning process has been reflected in simple things such as learning to differentiate between the two species of the study at a certain distance or in more complex ones, such as analyzing many data, perform statistical tests or plan experiments taking into account many different variables. On the other hand, I have also learned to work in very different situations, such as situations where the cold prevented sampling easily.
- With the progression of the study, I have been understanding better the experimental design of a scientific study. Within this process, I have learned, for example, to consult bibliography and to be selective with the important information, filtering those articles that provided more interesting data. Moreover, knowing how to interpret all the available data has been very useful for me not only in the development of the different experiments, but also in the analysis and discussion of the data.

9. AGRAÏMENTS

En primer lloc, agrair molt sincerament al meu tutor Santi Escartin per aportar tota la seva experiència i motivació a totes les parts de l'estudi, i per la seva implicació des del minut 0 i fins al final. A en Simone Mariani per compartir la seva experiència com a científic i per ajudar-me amb el tractament de les dades. Sense ells dos aquest projecte no hauria estat possible.

Gràcies a en Carles Castillo per permetre'm comptar amb ell en el mostreig nocturn aportant tota la seva professionalitat.

Gràcies també a tots els meus companys de Xatrac i del Diving La Casa del Mar, per haver-se preocupat en repetits moments per la progressió del meu estudi, sobretot en la part experimental, i per cedir-me l'espai per a dur-la a terme.

Agrair als meus pares per ajudar-me en la construcció del circuit dels aquaris i acompanyar-me en les tasques de manteniment d'aquests. Vull aprofitar per agrair també el seu suport incondicional al llarg de tota la carrera, que arriba al seu final amb aquest treball.

Per últim, vull agrair a en Marc, per la seva paciència i per implicar-se sempre en qualsevol casuística de l'estudi en la que pogués ajudar-me, i a l'Alba, per mostrar tant interès en el meu treball i ajudar-me amb les traduccions a l'anglès.

10. BIBLIOGRAFIA

Bagur, M (2016). Canvis de comportament induïts en la garota *Arbacia lixula* en blancalls de sobrepastura. Universitat de Barcelona, treball de final de màster.

Ballesteros, E., Mariani, S., Cefali, M.E., Terradas, M., Chappuis, E., (2014). Manual dels hàbitats litorals de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya.

Bernat, H. (2005). Movement patterns of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in a marine reserve and an unprotected area in the NW Mediterranean. *Marine Ecology* 54-62

Boada, J., Alcoverro T. Entrevista a la revista Mundo Ciencia. Recuperat el 3 de gener de 2018 des de: <https://www.solociencia.com/ciencias-naturales/ecologia/20151031/hallan-en-el-mediterraneo-zonas-con-alta-depredacion-fuera-de-las-reservas-marinas/>

Bulleri, F., Benedetti-Cecchi, L., i Cinelli, F. (1999). Grazing by the sea urchins *Arbacia lixula* L. and *Paracentrotus lividus* Lam. in the Northwest Mediterranean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 241(1), 81-95.

Campbell, A. C., Coppard, S., D'Abreo, C., Tudor-Thomas, R. (2001). Escape and aggregation responses of three echinoderms to conspecific stimuli. *The Biological Bulletin*, 201(2), 175-185.

Ciuti, S., Northrup, J. M., Muhly, T. B., Simi, S., Musiani, M., Pitt, J. A., i Boyce, M. S. (2012). Effects of humans on behaviour of wildlife exceed those of natural predators in a landscape of fear. *PLoS one*, 7(11), e50611.

Clemente, S., Hernández, J., Montano-Moctezuma, G., Russel, MP y Ebert, T. (2013) Predators of juvenile sea urchins and the effect of habitat refuges. *Marine Biology* 160: 579-590.

Crook, A., Verling, E., Barnes, D. (1999). Comparative study of the covering reaction of the purple sea urchin, *Paracentrotus lividus*, under laboratory and field conditions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1117-1121.

FilbeeDexter, K., Scheibling, R. (2014) Sea urchin barrens as alternative stable states of collapsed kelp ecosystems. *Inter-Research, Marine Ecology Progress Series*.

Hammerschlag, N., Broderick, AC., Coker, JW., Coyne, MS., Dodd, M., Frick, MG., Godfrey, MH., Godley, BJ., Griffin, DB., Hartog, K., Murphy, SR., Murphy, TM., Nelson, E.R., Williams, K.L., Witt, M.J., Hawkes, L.A. (2015) Evaluating the landscape of fear between apex predatory sharks and mobile sea turtle across a large dynamic seascape. *NCBI, Ecology*. 2117-26.

Herrero A. (2008). Aspectos reproductivos del erizo común (*Paracentrotus lividus*) en aguas del este de Gran Canaria. Universidad de de las Palmas de Gran Canaria.

Leading role of the sea urchin *Arbacia lixula* in maintaining the barren state in southwestern Mediterranean (2011). Bonaviri, C; Vega, T.; Fanelli, G., Badalamenti, F., Gianguzza, P. *Marine Biology* 158-2505-2513

Morishita, VR & Barreto, Rodrigo. (2011). Black sea urchins evaluate predation risk using chemical signals from a predator and injured con- and heterospecific prey. *Marine Ecology Progress Series*. 435. 173-18.

Petter, H., Christie H. Effects of removing sea urchins (*Strongulocentrotus droebachiensis*): Stability of the barren state and succession of kelp forest recovery in the east Atlantic (1996). *Oecologia* 106: 524-536.

Preisser, E., Bolnick, D., Michael, F. (2005) Scared to death? The effects of intimidation and consumption in predator-prey interactions. *Ecological Society of America*. Volume 86, Issue 2.

S. D. Ling, R. E. Scheibling, A. Rassweiler, C. R. Johnson, N. Shears, S. D. Connell, A. K. Salomon, K. M. Norderhaug, A. Pérez-Matus, J. C. Hernández, S. Clemente, L. K. Blamey, B. Hereu, E. Ballesteros, E. Sala, J. Garrabou, E. Cebrian, M. Zabala, D. Fujita, L. E. Johnson. (2014) Global regime shift dynamics of catastrophic sea urchin overgrazing. *Philosophical Transaction of the Royal Society* .

Sancho, A., Cabrera M. (1999) Proyecto de erradicación del erizo de Lima. Gobierno de Canarias. *Revista de Medio Ambiente* nº 12.

Serra, S., Pais, A., Meloni, G., Saba, S., Ceccherelli, G., (2012). Harvesting Effects on *Paracentrotus lividus* Population Structure: A Case Study from Northwestern Sardinia, Italy, before and after the Fishing Season. *Journal of Coastal Research*: Volume 28, Issue 3: pp. 570-575

Shurin, J.B. (2012) *Top-Down and Bottom-Up Regulation of Communities*. Oxford Bibliographies.

Yurena A., Hernández, M., Cabrera, R. (2015). Análisis de la problemática del erizo de mar del género *Diadema* (Echinoidea: *Diadematidae*) en las islas Canarias. *VIERAEA* Vol 43. P: 87-113