



Facultade de Ciencias
Departamento de Bioloxía Animal, Bioloxía Vexetal e Ecoloxía
Área de Zooloxía

**Estudo da eficacia de diferentes dietas para o cultivo do ourizo
de mar *Paracentrotus lividus***

**Estudio de la eficacia de diferentes dietas para el cultivo del
erizo de mar *Paracentrotus lividus***

**Study of the efficacy of different diets for growing sea urchin
*Paracentrotus lividus***

Cristina Pedreira Allo

Traballo de fin de grao

Data de defensa: 21 de setembro do 2015

Dirixido polo Dr. Luis Fernández Rodríguez

RESUMEN

Paracentrotus lividus (Lamarck, 1816) es una especie de erizo de mar que se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de la costa gallega. Su interés comercial en Galicia se ha visto incrementado en los últimos años y, como consecuencia de ello, se realizaron diversos estudios enfocados hacia el manejo adecuado de este recurso así como la posibilidad de desarrollar el cultivo en cautividad. El objetivo general del trabajo es comprobar si existe relación entre el alimento disponible en el hábitat natural del erizo en cada fase de su ciclo vital y el crecimiento óptimo de la gónada, habida cuenta de que los erizos cambian de hábitat a lo largo de su vida. Para ello se aplican varias dietas, una con algas del intermareal y otra con algas del submareal, durante un periodo de tiempo a dos grupos de individuos procedentes de una zona del intermareal de nuestras costas. La dieta intermareal está formada por *Mastocarpus stellatus*, *Ulva* spp y *Bifurcaria bifurcata*; mientras que, la dieta submareal se compone de *Laminaria ochroleuca* y *Gelidium sesquipedale*. Los resultados indican que *P. lividus* consumió mayoritariamente algas que están disponibles en su hábitat (intermareal), en particular el alga *Ulva* spp. A pesar de ello, la dieta submareal proporciona un incremento gonadal superior con un 22.22 % con respecto al IG inicial.

SUMMARY

Paracentrotus lividus (Lamarck, 1816) is a species of sea urchin which is widely distributed along the Galician coast. Its commercial interest in Galicia has increased in recent years and, as a result, several studies focused on the proper management of this resource and the ability to develop cultivation in captivity were performed. The general aim of this study is to check whether there is a relationship between the food available at the natural habitat of the sea urchin in every phase of its life cycle and optimum growth of the gonad, given that the sea urchin's habitat changes throughout its life. For this reason, several diets have been applied for an assigned time, the first one with algae intertidal and the next one with subtidal algae, to two groups of individuals from the intertidal zone to our shores. The intertidal diet consists of *Mastocarpus stellatus*, *Ulva* spp and *Bifurcaria bifurcata*; whereas the subtidal diet consists of *Laminaria ochroleuca* and *Gelidium sesquipedale*. The results indicate that *P. lividus* mostly consumed algae that are available in their habitats (intertidal), particularly the alga *Ulva* spp. However, the submareal diet provides superior gonadal increase of 22.22 % from initial IG.

INDICE

1. Introducción.....	4
2. Objetivos.....	8
3. Material y métodos.....	9
3.1. Diseño experimental.....	9
3.2. Toma de muestras.....	10
3.2.1. Campo.....	10
3.2.2. Laboratorio.....	10
3.3. Condiciones de cultivo.....	11
3.3.1. Instalaciones.....	11
3.3.2. Fases del estudio.....	11
3.3.3. Protocolo de alimentación.....	12
4. Resultados y discusión.....	14
4.1. Caracterización del estado inicial de los grupos de erizos utilizados experimentalmente.....	14
4.1.1. Estructura de tallas de cada grupo.....	14
4.1.2. Índice gonado-somático (IG).....	15
4.2. Influencia del hábitat natural en distintas fases del ciclo vital en la dieta en condiciones de cultivo.....	16
4.2.1. Caracterización de la dieta.....	16
4.2.2. Variabilidad temporal.....	18
4.3. Influencia del hábitat natural en la productividad (desarrollo gonadal).....	19
4.3.1. Estudio del consumo de alimento en cada grupo.....	19
4.3.2. Estudio de la productividad del cultivo del erizo <i>Paracentrotus lividus</i> en función de la dieta utilizada en cada grupo experimental.....	20
5. Conclusiones.....	22
6. Conclusions.....	22
7. Bibliografía.....	23

1. Introducción

El erizo de mar *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) es un equinoideo que pertenece a la familia Echinidae (Ilustración 1). Su rango de distribución geográfica comprende el mar Mediterráneo, mar Adriático y las costas atlánticas orientales, desde el SW de Irlanda hasta Marruecos, incluyendo también las Islas Canarias y las Azores (Boudouresque & Verlaque, 2007).



Ilustración 1. Ejemplar de *Paracentrotus lividus*.

Los hábitats preferentes del erizo de mar son los sustratos rocosos y las praderas de fanerógamas, principalmente las de *Zostera marina* y *Posidonia oceánica*, siendo menos abundante en las de *Cymodocea nodosa* (Boudouresque & Verlaque, 2007). Su presencia en sustratos arenosos es circunstancial, y por lo general aparecen próximos a alguna roca aislada.

En cuanto a su distribución batimétrica, *P. lividus* es abundante desde la zona superficial hasta los 30 m de profundidad, y se ha descrito su presencia a profundidades de 80 m (Fenaux, 1968), e incluso de 150 m en Galicia (Besteiro & Urgorri, 1988). En cualquier caso, su abundancia es superior en la zona más somera (Urgorri *et al.*, 1994; Tuya *et al.*, 2007), llegando a alcanzar densidades poblacionales de 300 ind.m² en las charcas de marea que se forman en el intermareal (Crapp & Willis, 1975). En este hábitat los erizos son de un tamaño menor que en el infralitoral, y raras veces superan los 50 mm de diámetro (Haya de la Sierra, 1990; Lustres, 2001).

Esta especie puede adaptar su estrategia vital a diferentes condiciones ambientales, y ocupar así una gran variedad de hábitats (Gago *et al.*, 2003). En zonas con un fuerte hidrodinamismo, como ocurre a menudo en el intermareal, los erizos perforan el sustrato con su aparato masticador, produciendo unas cavidades donde se protegen del oleaje y los depredadores. Esta actividad, junto con la gran capacidad adhesiva de sus pies ambulacrales y con su comportamiento gregario, les permite colonizar los hábitats costeros más batidos, desplazando a otras especies de erizos menos resistentes (Tuya *et al.*, 2007).

En relación con sus hábitats preferentes, se ha comprobado que *P. lividus* es un animal herbívoro (Niell & Pastor, 1973), que se alimenta raspando con sus dientes la

superficie del sustrato sobre el que vive, y su dieta varía en función de la flora disponible en el hábitat (Verlaque & Nédélec, 1983).

P. lividus tiene un papel importante en la organización de las comunidades bentónicas. Densidades poblacionales de 7 a 20 ind.m⁻² pueden eliminar poblaciones enteras de algas, y producir de esta manera campos dominados por algas coralinas (Verlaque, 1987). Estos campos pueden mantenerse durante largos periodos de tiempo, incluso a bajas densidades de erizos, debido a que el alga coralina reduce el asentamiento de posibles competidores o depredadores de *P. lividus* (Bulleri *et al.*, 2002).

A veces exhibe desplazamientos a pequeña escala entre las zonas superiores e inferiores de las rocas en busca de alimento o protección de los depredadores (Barnes & Crook, 2001b). Su actividad es mayoritariamente nocturna y la distancia que recorre a diario oscila generalmente entre 5 cm y 2m (Hereu, 2005), aunque también se han indicado desplazamientos a una mayor escala. Así, Fernández *et al.* (2001), detallaron una migración ontogénica de *P. lividus* desde las zonas someras de reclutamiento hacia las áreas más profundas de crecimiento, donde la disponibilidad de alimento era mayor.

Se han realizado muchos trabajos para estudiar el crecimiento de *P. lividus* en cautividad, con el objetivo de determinar las condiciones ambientales y nutricionales óptimas para el cultivo de la especie (Grosjean, 2001). Las tasas de crecimiento obtenidas en el medio natural son muy distintas entre hábitats, y un individuo puede tardar entre 4 y 12 años en alcanzar los 5 cm de diámetro (Boudouresque & Verlaque, 2007).

Debido a que el interés comercial de los erizos de mar sólo se limita a sus gónadas, el ciclo reproductivo de la especie ha sido objeto de numerosos estudios, tanto en el Atlántico como en el Mediterráneo. En la mayoría de ellos se ha comprobado una puesta anual a finales de primavera (Arafa *et al.*, 2012), aunque varios estudios que se llevaron a cabo en el Mediterráneo han registrado una segunda puesta en otoño (Semroud & Kada, 1987).

Es una especie dioica que no tiene dimorfismo sexual. Cada hembra libera entre 100.000 y 20 millones de óvulos al agua (Lustres, 2001), y después de que se produzca la fecundación en este medio se origina una larva planctotrófica denominada equinopluteus. Esta larva es pelágica y nadadora, y presenta una serie de brazos ciliados que aumentan su flotabilidad (Grosjean, 2001). Se alimenta de fitoplancton durante un mes aproximadamente (Pedrotti, 1993), momento en el que migra al fondo y se convierte en un juvenil bentónico de 0.3 mm de diámetro (Hereu *et al.*, 2004).

Lozano *et al.* (1995) establecieron que el 50% de los individuos localizados en una zona somera con escasa disponibilidad de alimento y parámetros ambientales (salinidad, temperatura, turbidez y contenidos inorgánicos) muy cambiantes debido a la proximidad de un río, participaban en la reproducción cuando llegaban a los 20-30 mm. En cambio, en una zona protegida y con abundante alimento los individuos no maduraban hasta los 30-40 o 40-50 mm. Estas diferencias entre distintos hábitats y regiones pueden ser debidas a variaciones en la energía invertida en la reproducción o

por distintas tasas de crecimiento, de modo que los individuos tienen igual edad pero diferente talla cuando llegan a ser maduros.

Entender el ciclo reproductivo de equinoideos es primordial para desarrollar estrategias de gestión dirigidas hacia una explotación sostenible. El establecimiento de un tamaño mínimo comercial es una herramienta muy utilizada en gestión, y su objetivo fundamental es permitir que todos los individuos realicen al menos una puesta antes de ser explotados. La talla comercial de esta especie se establece entorno a los 50 mm en la mayor parte de las regiones donde se explota (España, Francia, Italia, Marruecos, etc.).

Galicia ocupa el primer lugar dentro de Europa en la producción de erizos de mar, encontrándose desde las charcas litorales hasta profundidades de 150 m (Besteiro & Urgorri, 1988), siendo un importante recurso marisquero con una producción anual desde el año 1985, que oscila entre 500 y 750 toneladas. *P. lividus* es la única especie de equinoideo que se explota en Galicia con fines comerciales. La producción gallega está destinada principalmente al mercado asturiano, aunque una parte de las capturas se distribuye a Francia y a las industrias conserveras gallegas, que envasan las gónadas para comercializarlas como delicatessen en el mercado internacional. La Consellería do Medio Rural e do Mar de la Xunta de Galicia regula la extracción del erizo mediante un plan de explotación de recursos específico, desde principios de octubre hasta finales de abril.

En todos los países productores se observa un declive de las poblaciones de erizo, que se traduce en un descenso de los desembarcos, debido a la sobreexplotación de los recursos llevada a cabo en el pasado y actualmente. El aumento constante de la demanda de erizos de mar para cubrir las necesidades del mercado de países como Francia, Italia, Turquía, Bélgica o Japón, donde las gónadas de erizo de mar son consideradas una exquisitez culinaria, está provocando una disminución del recurso en las diferentes pesquerías que se extienden por todo el mundo. Además, esto también provoca que cada año se extraigan más erizos de las costas gallegas (Catoira, 2004), ocasionando un descenso en el recurso, ya que es una especie de lenta recuperación y crecimiento (Lozano *et al.*, 1995). Por esta razón, se prevé que las poblaciones naturales, en un futuro próximo, necesiten de planes de repoblación o bien sistemas que optimicen el aprovechamiento del recurso, tales como la mejora del índice gonadal, por lo que es necesario el desarrollo de estrategias de cultivo.

Esta situación ha promovido el desarrollo de dos líneas principales de investigación en estos recursos, y ambas requieren de un profundo conocimiento de la biología y dinámica poblacional de las especies. Una de las líneas está enfocada hacia la búsqueda de nuevas estrategias de manejo que garanticen la sostenibilidad de las pesquerías y hacia el diseño de planes de recuperación para las poblaciones que ya han sido sobreexplotadas. La segunda línea de investigación, que ha cobrado importancia en las últimas décadas, está dirigida al desarrollo de técnicas de cultivo en equinoideos (Lesser & Walker, 1998). Respecto a esta segunda línea, diversos autores han realizado trabajos previos utilizando dietas que promueven el crecimiento somático (McCarron, Burnell & Mouzakis, 2009) e incrementan el crecimiento gonadal de diferentes especies de erizos (Fernández & Boudouresque, 2000), tanto del medio

natural mediante confinamiento en cajas en monocultivo o policultivo (Kelly, Brodie & McKenzie, 1998), como independientemente de los recursos naturales, mediante el control del ciclo total de vida, desde el desove hasta la mejora de las gónadas (Grosjean *et al.*, 1998).

A pesar de los estudios realizados hasta el momento sobre *P. lividus*, es necesario profundizar en el conocimiento sobre el comportamiento alimentario de esta especie (frecuencia de alimentación, cantidad de alimento consumido en función del tiempo, nivel de selectividad - especialización en la dieta, etc.), así como sobre la relación entre la dieta disponible en su hábitat natural y el desarrollo gonadal óptimo.

2. Objetivos

La hipótesis de partida se basa en que el cambio de hábitat hacia zonas más profundas que se produce con el crecimiento en el erizo de mar, *P. lividus*, puede estar motivado por diferentes factores como la capacidad de resistencia al hidrodinamismo en función del tamaño de los individuos, la repercusión de este condicionante ambiental a nivel del balance energético individual, o la disponibilidad de espacio en relación con la densidad y el tamaño de los erizos. Por tanto, este cambio de hábitat podría haberse establecido evolutivamente al permitir una mayor capacidad de supervivencia individual y, en relación con ello, una mayor capacidad reproductiva a lo largo del ciclo vital a pesar de no conseguir optimizar el desarrollo gonadal en base al alimento disponible en cada hábitat.

El objetivo principal de este estudio es aportar conocimiento nuevo para testar si el cambio de hábitat que se produce con el crecimiento en el erizo de mar, *P. lividus*, permite optimizar el desarrollo gonadal en base a las diferencias en el alimento disponible en ambos tipos de hábitat.

3. Material y métodos

3.1. Diseño experimental

Inicialmente se desarrolló un diseño experimental partiendo de dos grupos de erizos procedentes de dos hábitats distintos (intermareal y submareal), a cada uno de los cuales se les administrarían dos tipos de dietas, una con algas típicas de la zona intermareal, y otra con algas de la zona submareal (Figura 1). No obstante, en coherencia con los requerimientos para la realización de los Trabajos de Fin de Grado, en el presente estudio se ha abordado parte del trabajo experimental del diseño inicial. Concretamente, el presente estudio se ha centrado en el comportamiento alimentario y su influencia en el desarrollo gonadal de erizos adultos de la zona intermareal ante los dos tipos de dietas mencionados anteriormente (algas propias de hábitats someros – zona intermareal, y algas de la zona submareal).

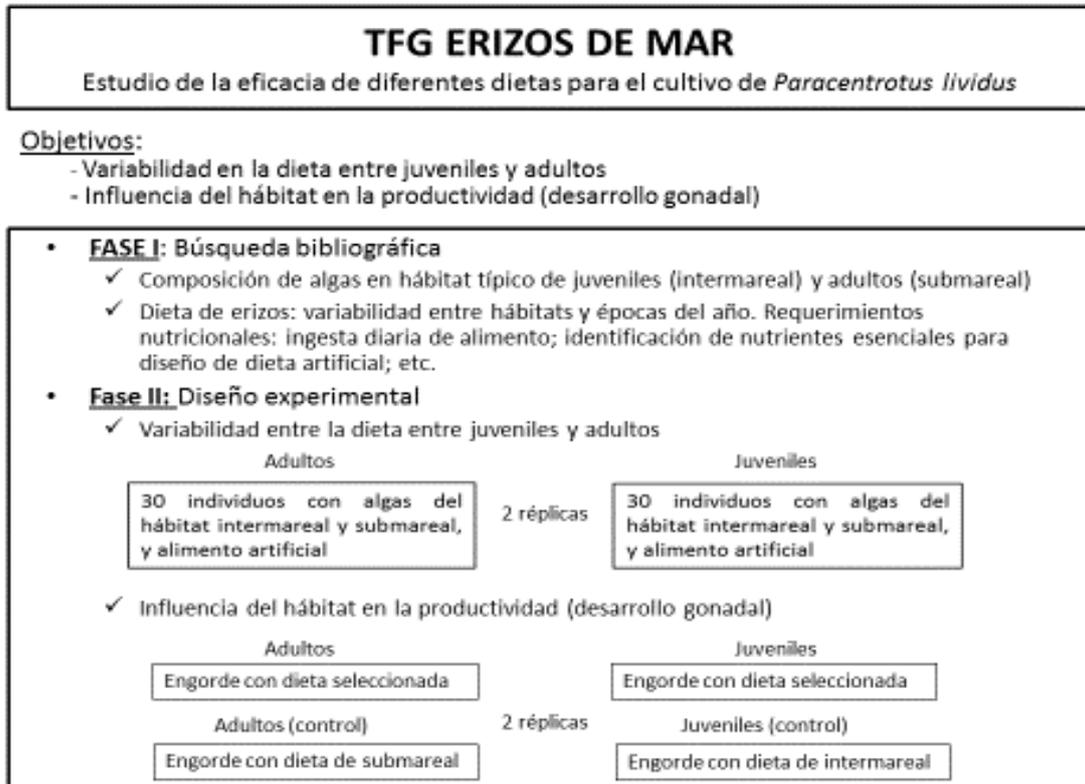


Figura 1. Diseño experimental de partida.

3.2. Toma de muestras

3.2.1. Campo

Para realizar este estudio se ha llevado a cabo un muestreo de erizos de mar (*Paracentrotus lividus*) a principios del mes de febrero del 2015 en una zona del intermareal de la playa de San Pedro de Veigue (Sada) (Ilustraciones 2 y 3) durante la marea baja, con ayuda de una raspa. El número total de individuos extraídos fue de 190 adultos, de los cuáles se utilizaron 100 ejemplares para el estudio de la dieta y el desarrollo gonadal, y 30 para caracterizar el estado inicial del desarrollo gonadal de los individuos capturados. El resto se reservó para suplir las potenciales bajas que se pudieran producir durante el proceso inicial de adaptación a las condiciones de cultivo.



Ilustraciones 2 y 3. Imágenes de la playa de San Pedro de Veigue (Sada).

3.2.2. Laboratorio

Los individuos capturados se transportaron rápidamente al Aquarium Finisterrae de A Coruña para evitar su deterioro. Previamente a su estabulación, se tomaron medidas del diámetro de todos los individuos. Además, también se pesaron las gónadas de 30 individuos para caracterizar el grado de desarrollo gonadal al comienzo del estudio. Para ello, se calculó el índice gonado-somático (IG) individual a partir del diámetro (D) y el peso fresco de las gónadas (PFG) de cada individuo.

$$IG = \frac{\text{Peso fresco de la gónada (g)}}{\text{Diámetro (mm)}}$$

Para pesar las gónadas de los erizos se usó una balanza digital de la marca Mettler, modelo PM460, con una precisión de 1 mg. Para ello se abrieron los erizos con un abridor específico y se les extrajeron las gónadas con la ayuda de una cuchara.

Para medir el diámetro de cada individuo se utilizó un calibre digital de la marca Horex que permite una precisión de 0.01mm.

Ambas medidas también fueron tomadas al final del estudio para poder así comparar si se produce un incremento en el índice gonado-somático en relación con las dietas aplicadas.

3.3. Condiciones de cultivo

3.3.1. Instalaciones

Una vez transportados los individuos al Aquarium Finisterrae se introdujeron en 2 acuarios, quedando distribuidos de la siguiente manera:

- **Grupo I:** 1 acuario con 50 individuos adultos del intermareal a los que se les aplica la dieta con algas de intermareal (dieta control).
- **Grupo II:** 1 acuario con 50 individuos adultos del intermareal a los que se les suministra la dieta con algas de submareal.

Los tanques se situaron en la zona de cuarentena del Aquarium, lugar donde el agua procedente del mar es filtrada a través de un filtro de arena y uva, además de por un skimmer; y presentó una temperatura media de 13°C durante el periodo de estudio. Esta zona cuenta con unas condiciones de luz natural. Cada acuario tiene una capacidad de 60 litros de agua, que presenta una renovación del 60 %, y dispone de un aireador.

Los individuos estuvieron en estas condiciones durante todo el estudio, es decir, un total de 51 días (desde el 09/02/2015 hasta el 01/04/2015).

3.3.2. Fases del estudio

El estudio se compone de dos fases:

- **Fase I: selección de la dieta.** El objetivo de esta fase es determinar si los individuos seleccionan un tipo de dieta determinada. Para ello se aplicaron dos dietas, una con algas del intermareal y otra con algas del submareal. Esta experiencia duró 16 días (desde el 25/02/2015 hasta el 13/03/2015). La cantidad total de algas empleada fue 885 g en cada acuario. En el caso de la dieta intermareal fueron 295 g totales de cada alga; mientras que, en el caso de la dieta submareal fueron 442,5 g de cada alga.

Durante esta fase también se ha llevado a cabo la tarea de comprobar cuál es la cantidad aproximada que consume cada grupo de individuos al día.

- **Fase II: engorde de la gónada (desarrollo gonadal).** El objetivo de esta experiencia se centra en el engorde de la gónada para determinar al final del estudio cuál es la dieta que proporciona una mayor productividad. En esta experiencia está incluida la fase de selección, por lo tanto la experiencia se

llevó a cabo durante 34 días (desde el 25/02/2015 hasta el 31/03/2015). La cantidad total de algas suministrada por cada acuario fue 1365 g.

3.3.3. Protocolo de alimentación

Debido a que el objetivo principal del estudio es comprobar si hay relación entre la dieta disponible en el hábitat de estos individuos y el crecimiento óptimo de su gónada, se aplican dos tipos de dietas con varias algas cada una. Se seleccionaron inicialmente 3 especies de algas de la zona intermareal y 3 del submareal, aunque en este caso se configuró finalmente la dieta con 2 de las especies por problemas de abundancia en el caso de *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, 1873.

- **Dieta con algas del intermareal.** Las algas seleccionadas en este ambiente fueron *Bifurcaria bifurcata* (R. Ross, 1958), *Mastocarpus stellatus* (Stackhouse) Guiry, 1984; y *Ulva* spp.
- **Dieta con algas del submareal.** En esta zona se han escogido las algas *Laminaria ochroleuca* (De La Pylaie, 1824) y *Gelidium sesquipedale* (Clemente) Thuret, 1876.

El criterio de selección que seguimos a la hora de escoger las algas se centró básicamente en obtener un alga parda, un alga roja y un alga verde de cada hábitat. Además, también influyó en este criterio la disponibilidad y abundancia de cada una de las algas, que se ven afectadas por la época del año y el grado de exposición de la costa.

En la franja intermareal, las algas se recogieron en dos zonas, las playas de As Lapas (A Coruña) y Arou (Camariñas), con ayuda de una raspa. En cambio, en el submareal contamos con la ayuda de buzos profesionales, que extrajeron las algas de las zonas profundas de la costa de Malpica. Las algas se conservaron en el Aquarium a una temperatura de -18°C. Para su consumo se descongelaron mediante un lavado con agua de mar, con el fin de conseguir un grado de hidratación y textura adecuados.

El primer día de estabulación, centrado en el control del estado de los erizos y adaptación al nuevo ambiente, los individuos se mantuvieron en los acuarios sin alimento. Al día siguiente se suministró la cantidad de 300 gramos de algas por cada acuario durante 1 semana. Después de una semana se comprobó que la cantidad de alimento suministrado era excesiva y además se habían iniciado procesos de descomposición de las algas que podría afectar a los erizos debido al consumo de oxígeno de este tipo de procesos. Por lo tanto, se procedió a disminuir las dosis de algas y el tiempo de exposición de las mismas hasta comprobar que la cantidad consumida por día en cada tanque fue de 20.42 g (SD= 1.58) aproximadamente. Esta cantidad se fue ajustando durante la primera fase del estudio, es decir, durante la fase de selección. La frecuencia con la que se cambiaban las algas fue cada 4 días, excepto en algunas ocasiones en las que por cuestiones logísticas había que realizar el cambio antes de los 4 días.

Una vez determinada la cantidad aproximada consumida por día, establecimos una rutina en el mantenimiento y la alimentación de los erizos en cautividad, es decir, durante toda la fase de selección de los distintos tipos de dieta y la fase de engorde de las gónadas:

- Descongelar las algas mediante un lavado con agua de mar, de manera que al mismo tiempo se conseguía su hidratación.
- Pesar las algas e introducir las cantidades adecuadas en cada acuario según el tiempo de exposición.
- Después de cuatro días, aproximadamente, se retiran las algas de los tanques con ayuda de un trueiro, y se dejan secar durante unos 30 minutos sobre un papel de filtro.
- Mientras se secan los restos de algas consumidas, se limpian los acuarios con un succionador para mantener el ambiente lo más higiénico posible, evitando así que los erizos contraigan enfermedades.
- Por último, se introducen algas nuevas en el acuario, volviendo a repetir el proceso periódicamente.

4. Resultados y discusión

4.1. Caracterización del estado inicial de los grupos de erizos utilizados experimentalmente

4.1.1. Estructura de tallas de cada grupo

Aun siendo conscientes de la falta de pruebas estadísticas, se puede observar que ambos grupos de individuos del intermareal son bastante similares en cuanto a talla (Figuras 2 y 3). Por tanto, al no presentar grandes diferencias, el diámetro de los erizos no va a influir en el índice gonadal habida cuenta de que la relación entre el peso de las gónadas y el tamaño de los individuos puede presentar una relación alométrica.

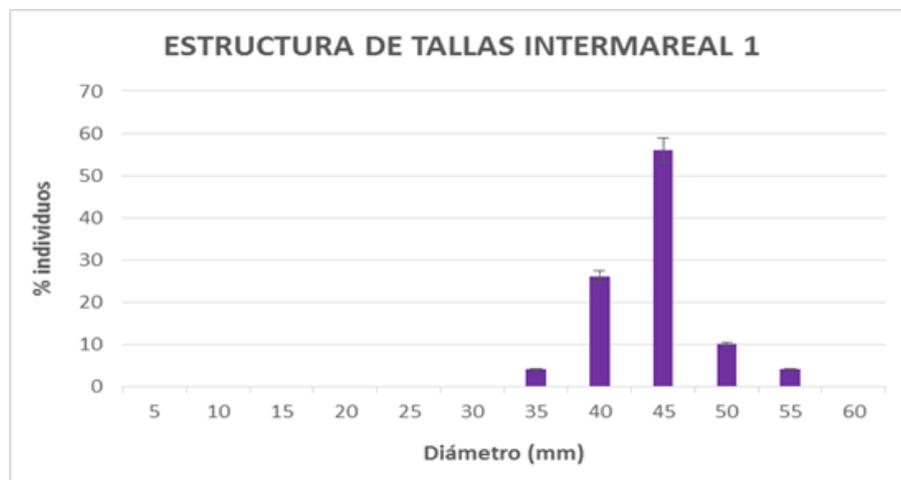


Figura 2. Estructura de tallas de los individuos del Grupo I.

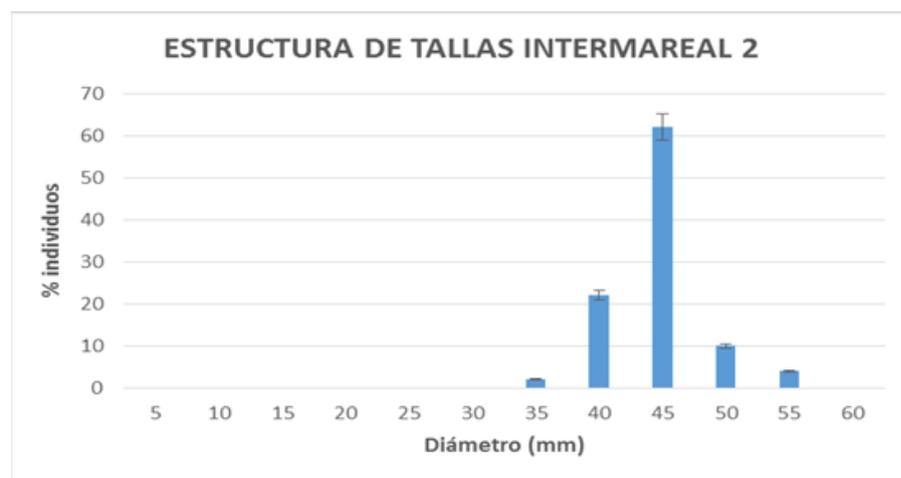


Figura 3. Estructura de tallas de los individuos del Grupo II.

4.1.2. Índice gonado-somático (IG)

Como ya se ha explicado en material y métodos (apartado 3.2.2.), se realizó un análisis sobre el grado de desarrollo gonadal de 30 individuos, mediante la medida del índice gonado-somático, al principio del estudio en febrero, para poder contrastar con los datos finales de incremento gonadal en abril.

El índice gonadal es un buen indicador del rendimiento gonadal que se puede obtener de las pesquerías de *P. lividus*, y su estudio permite determinar las épocas y hábitats más adecuados para su explotación. Los índices gonadales (IGs), que estiman la proporción de peso o volumen corporal correspondiente a la gónada, son parámetros muy utilizados para describir la evolución estacional del ciclo reproductivo. En nuestro estudio hemos seleccionado como indicador reproductivo el índice gonadal que representa el porcentaje del peso fresco de la gónada (PFG) respecto al diámetro (D) del individuo. Sin embargo, en la bibliografía revisada, la expresión más frecuente para este índice refleja el porcentaje de peso fresco de la gónada respecto al peso fresco total del individuo, pero este parámetro se ve afectado por la cantidad de líquido celomático y el contenido en agua de los tejidos, que es susceptible de mayor variabilidad debido a que los erizos pierden agua continuamente una vez que son extraídos de su hábitat y este proceso varía entre individuos (Regis, 1978; Ouréns, 2013; Míguez & Catoira, 1987, 1990). En cambio, el diámetro muestra un grado de variación entre medidas mucho menor y es, por lo tanto, un parámetro más preciso.

El valor medio obtenido para el IG en este estudio fue 0,045 (SD=0.019), que resultó ser similar al obtenido en otras zonas del intermareal de Galicia, como Lira y Porto do Son, donde se obtuvo un IG de 0.049 en el mes de febrero; utilizando también el peso gonadal frente al diámetro (Ouréns, 2013).

Por otra parte, de acuerdo con estudios previos (Gonor, 1972), las gónadas de *P. lividus* pueden presentar una tasa de crecimiento diferente que el cuerpo, y este crecimiento puede variar entre poblaciones. En nuestro caso, la distribución de frecuencias de tallas fue similar tanto entre los dos grupos experimentales utilizados para el engorde de las gónadas en cautividad, como entre éstos y el grupo de erizos utilizados para determinar el estado inicial del IG (Figura 4).

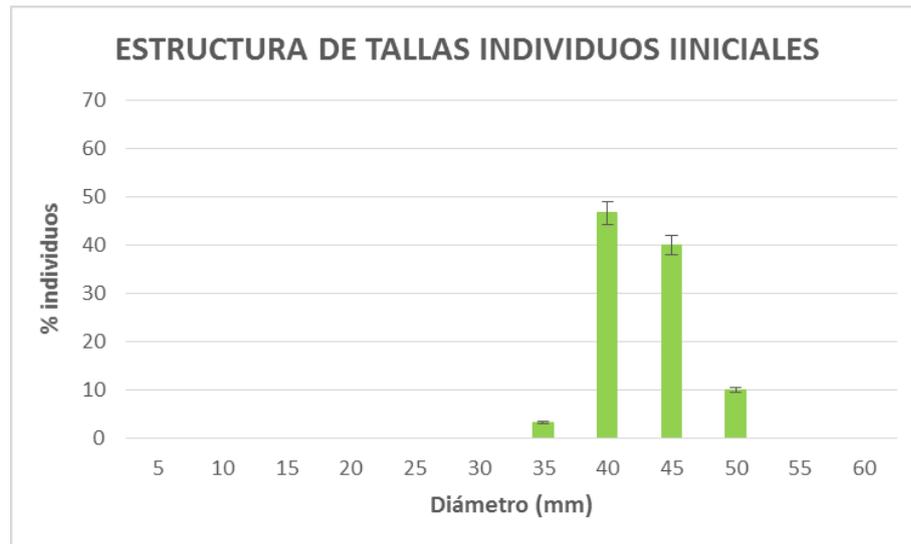


Figura 4. Estructura de tallas de los individuos iniciales.

4.2. Influencia del hábitat natural en distintas fases del ciclo vital en la dieta en condiciones de cultivo

4.2.1. Caracterización de la dieta

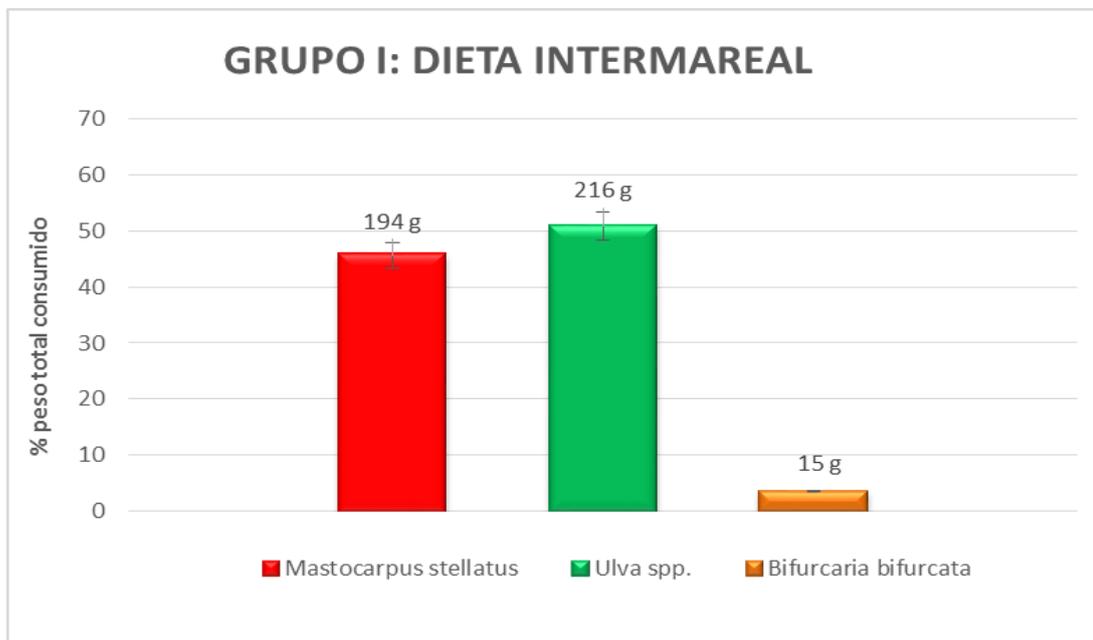


Figura 5. Porcentaje de peso total consumido de cada alga que compone la dieta intermareal aplicada a los individuos de *P. lividus* del Grupo I durante la fase de selección de dietas.

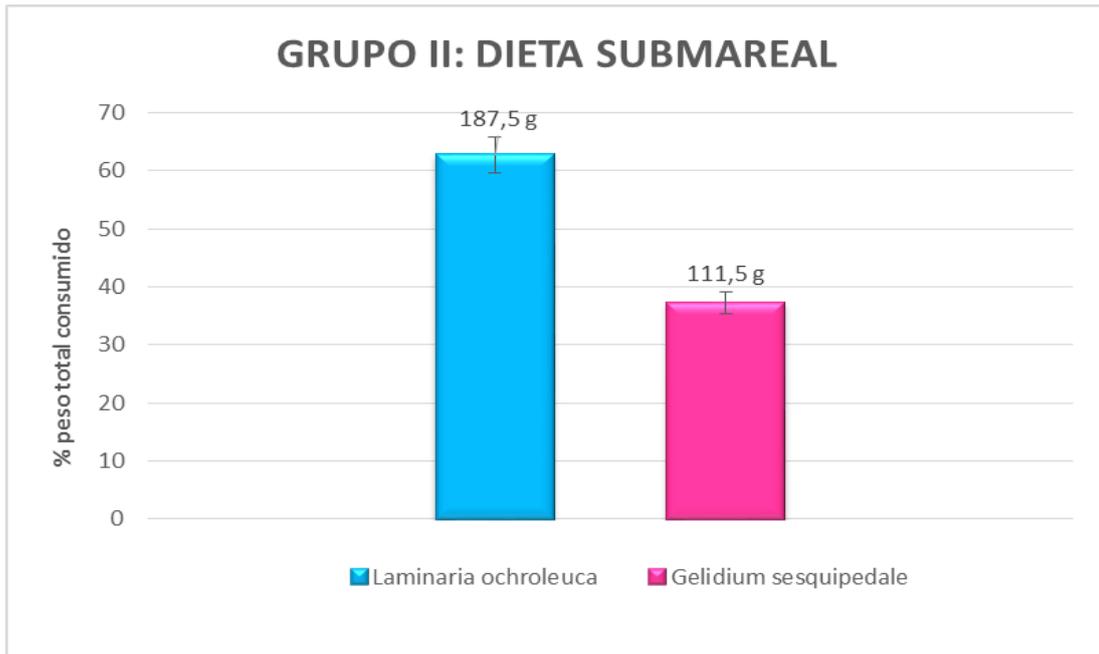


Figura 6. Porcentaje de peso total consumido de cada alga que compone la dieta submareal suministrada a los individuos de *P. lividus* del Grupo II durante la fase de selección de dietas.

Ambos gráficos representan la cantidad total de algas consumidas de cada especie para comprobar el grado de selectividad en las dos dietas, la intermareal (Figura 5) y la submareal (Figura 6). Esta prueba se llevó a cabo durante 16 días (desde el 25/02/2015 hasta el 13/03/2015). La cantidad total de algas suministradas para cada grupo fue 885 g.

Observando los gráficos se puede comprobar que los individuos de *P. lividus* seleccionan un tipo concreto de algas. En el caso del Grupo I con dieta intermareal, el alga más consumida fue *Ulva* spp. con 216 g, seguida con poca diferencia por *Mastocarpus stellatus* con 194 g; mientras que, *Bifurcaria bifurcata* fue la menos consumida con 15 g. De esta manera se procedió a eliminar *Bifurcaria bifurcata* de la dieta intermareal y se centró el estudio en la fase de engorde con dos tipos de algas en cada dieta. En el Grupo II con dieta submareal, se pudo comprobar que el alga más consumida fue *Laminaria ochroleuca* con 187.5 g, mientras que el consumo de *Gelidium sesquipedale* fue de 111.5 g.

A la vista de los resultados de ambos grupos, las diferencias en el consumo entre las algas seleccionadas fueron superiores en el caso de la dieta intermareal. No obstante, y aunque a priori no parece relevante, el hecho de utilizar tres tipos de algas en la dieta intermareal, podría influir en estos resultados ya que de no utilizar *Bifurcaria bifurcata* las diferencias podrían haber sido algo mayores.

Los erizos prefieren las algas disponibles en su propio hábitat, es decir, la dieta intermareal, que obtuvo un consumo de un 42.1% superior con respecto a la dieta submareal. Dentro de la dieta intermareal tienen preferencia especialmente por *Ulva* spp., ya que además de las diferencias en el consumo total, su consumo medio por individuo al día fue 0,31g (SD= 0.14), es decir un 14,8% superior con respecto a *Mastocarpus stellatus*.

La información obtenida en este estudio podría contribuir a optimizar en un futuro el cultivo en cautividad de la especie *P. lividus*. No obstante, se trata de un estudio puntual, que debería reforzarse obteniendo más información sobre la dieta de esta especie en el medio natural, en distintos tipos de hábitat y épocas del año. Además, también se podrían analizar cuáles son las algas que aportan una mayor calidad bioquímica para favorecer el crecimiento gonadal.

4.2.2. Variabilidad temporal

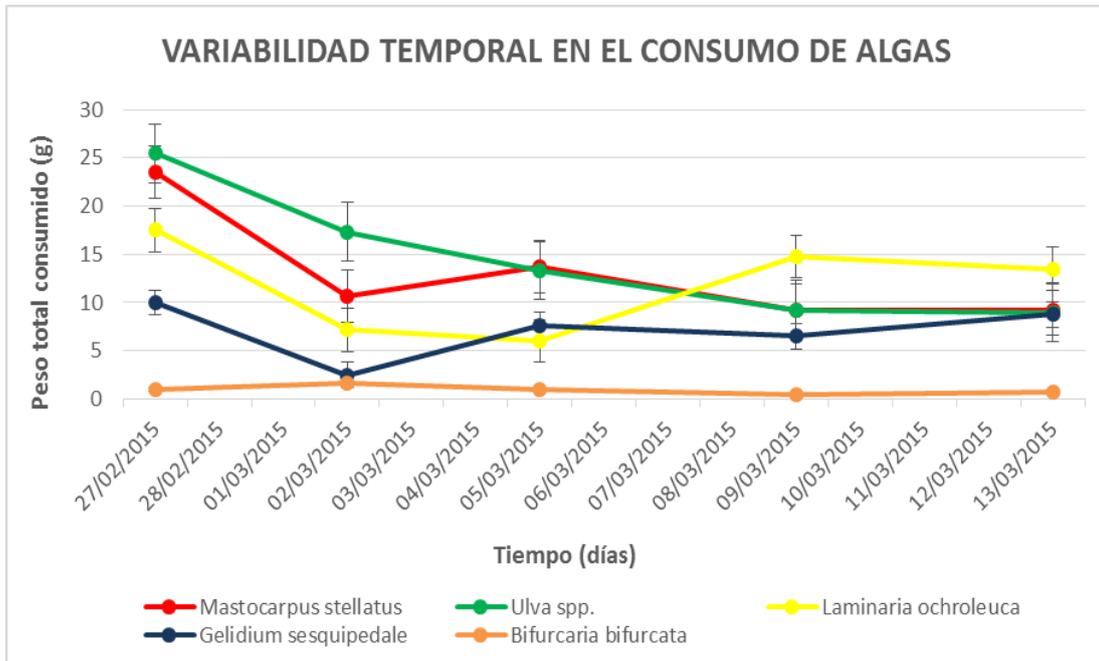


Figura 7. Variación en el consumo de cada alga durante el estudio de selectividad en la dieta.

En este gráfico podemos analizar la variabilidad temporal en el consumo de las distintas algas a lo largo de la fase de selección de la dieta (desde el 25/02/2015 hasta el 13/03/2015) en los dos grupos (Grupo I y Grupo II).

Se puede comprobar que las diferencias en el consumo total de las distintas especies no se mantienen a lo largo del tiempo, tanto desde el punto de vista cualitativo, ya que las algas que alcanzan valores máximos de consumo no son siempre las mismas, como desde el punto de vista cuantitativo, ya que la magnitud de las diferencias entre las tres especies más consumidas también es variable a lo largo de la experiencia y no presenta un patrón de variación claro. El alga más consumida a lo largo de este estudio ha sido *Ulva* spp., alcanzando sus máximos valores únicamente en la primera mitad de la experiencia.

4.3. Influencia del hábitat natural en la productividad (desarrollo gonadal)

4.3.1. Estudios del consumo de alimento en cada grupo

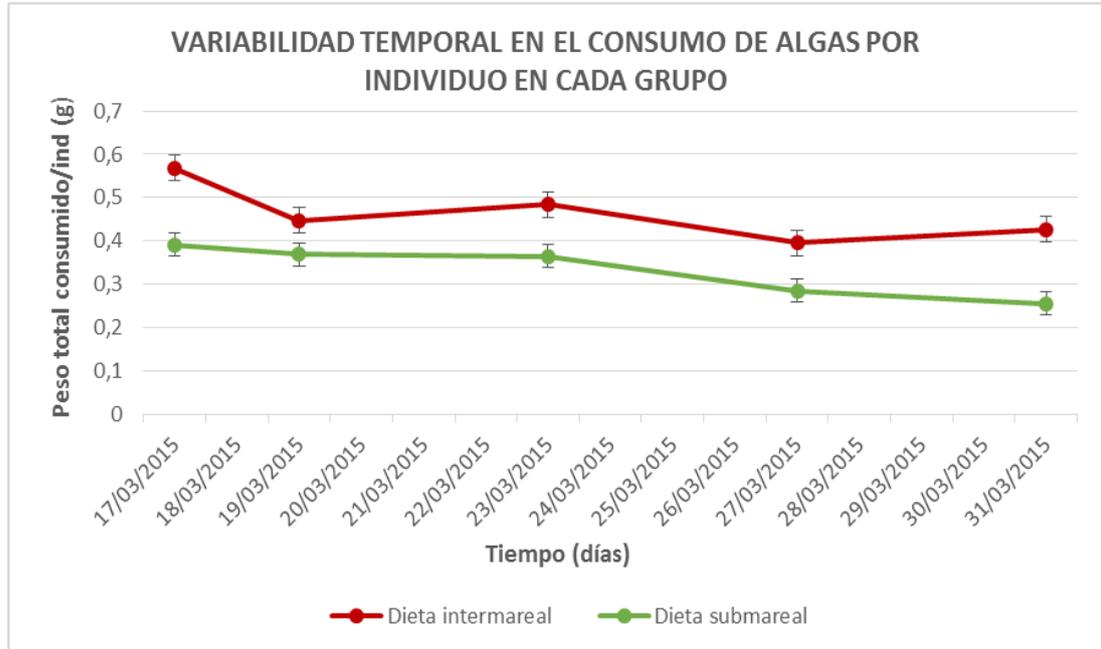


Figura 8. Variación en el consumo total por individuo con la dieta intermareal y submareal.

El gráfico representa la cantidad de alimento diario ingerido por individuo en cada grupo durante la fase de engorde (desde el 13/03/2015 hasta el 31/03/2015). En vista a esto, se concluye que el consumo de algas fue superior en el Grupo I alimentado con la dieta intermareal a lo largo de todo el periodo de estudio. El consumo total de algas de la dieta intermareal fue 403 g, de los cuáles 202 g fueron de *Mastocarpus stellatus* y 201 g de *Ulva* spp. A pesar de que en esta fase del estudio no se observaron diferencias en el consumo entre *Mastocarpus stellatus* y *Ulva* spp., considerando el estudio en su totalidad *Ulva* spp. ha sido la especie más consumida tanto de la dieta intermareal como en general. Por otra parte, el consumo total de algas de la dieta submareal fue 272.5 g, de los cuáles 200.5 g fueron de *Laminaria ochroleuca* y 72 g de *Gelidium sesquipedale*.

Las diferencias en el consumo fueron superiores al principio y al final del estudio, aunque habría que comprobar si el resultado es estadísticamente significativo. Parece que está claro que la dieta influye en el grado de consumo de alimento, incrementándose cuando se suministran algas que son propias del hábitat del que proceden los erizos de mar.

En este caso, no se observan diferencias en la variabilidad temporal del consumo de algas entre ambos grupos, ya que mostraron una tendencia general descendente. Esta tendencia descendente puede ser que esté influida por el aumento de la temperatura del agua o por su cercanía a la época de desove del erizo. Sí se puede ver que dentro de cada dieta se producen variaciones, ya que no todos los días consumen lo mismo. Por un lado, la dieta intermareal alcanzó su máximo consumo entre los días 13/03/2015 y 17/03/2015 (indicado en la Figura 8

en el punto correspondiente al 13/03/2015) con un valor de 0.56 g por individuo, y su mínimo entre los días 23/03/2015 y 27/03/2015 con un valor de 0,39 g por individuo. Por otro lado, la dieta submareal alcanzó su máximo consumo entre los días 13/03/2015 y 17/03/2015 (indicado en la Figura 8 en el punto correspondiente al 13/03/2015) con un valor de 0.39 g por individuo, y su mínimo entre los días 27/03/2015 y 31/03/2015 con un valor de 0.25 g por individuo. El consumo medio por individuo en esta fase del estudio para el alga *Ulva* spp fue 0.23 g (SD=0.03), para *Mastocarpus stellatus* fue 0.23 g (SD=0.03), para *Laminaria ochroleuca* fue 0.24 g (SD=0.03) y para *Gelidium sesquipedale* 0.08 g (SD=0.02).

4.3.2. Estudios de la productividad del cultivo del erizo *Paracentrotus lividus* en función de la dieta utilizada en cada grupo experimental

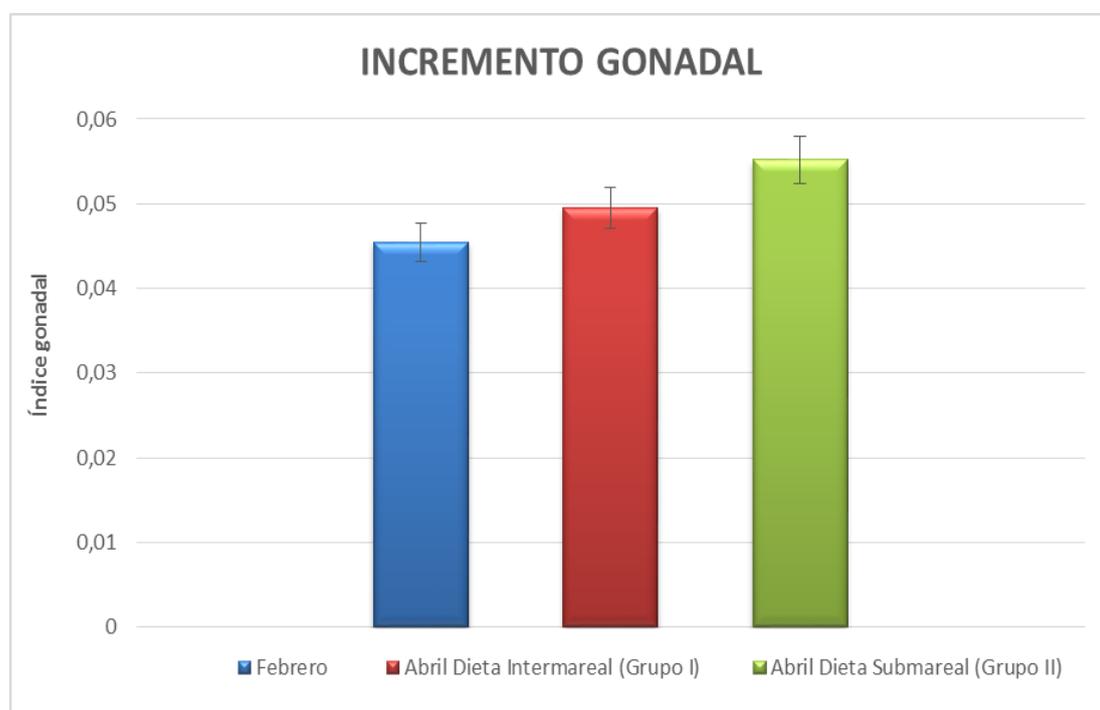


Figura 9. Incremento gonadal del Grupo I y Grupo II en abril comparado con el IG obtenido en febrero.

Los datos de los IG analizados en los 30 individuos iniciales (apartado 4.1.2.) se contrastaron con los datos obtenidos al final del estudio, es decir, con los individuos que han sobrevivido al experimento; que en el caso del Grupo I fueron 48 individuos de los 50 totales y en el Grupo II fueron 46 individuos de los 50 totales. El IG medio obtenido para los individuos al principio del estudio en febrero fue 0.045 (SD=0.018), para los individuos del Grupo I con dieta intermareal en abril fue 0.049 (SD=0.019) y para los individuos del Grupo II con dieta submareal en abril fue 0.055 (SD=0.023).

Observando la gráfica, podemos concluir que los individuos del Grupo I, con dieta intermareal, han incrementado su gónada un 8.9% con respecto al IG inicial;

mientras que, los individuos del Grupo II, con dieta submareal, han incrementado un 22.2%, es decir, un 13.3% más que el Grupo I. De esta manera se puede decir que la dieta submareal, compuesta por *Laminaria ochroleuca* y *Gelidium sesquipedale*, es mejor para el engorde de la gónada de *P. lividus*, en particular en el caso de la *Laminaria ochroleuca*, ya que su consumo total fue más del doble (111.44%) respecto a *Gelidium sesquipedale*. En el estudio realizado por Rey-Méndez, M. *et al.* (2015), donde los individuos son alimentados con varias dietas, también se puede comprobar que se alcanza un valor superior del IG en individuos alimentados con *Laminaria* spp.

Si comparamos estos datos con los obtenidos en el apartado anterior (4.3.1.) comprobamos que, a pesar de que la dieta submareal es la menos consumida, es la que proporciona mayor productividad.

5. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos y centrándonos en las distintas fases del estudio, podemos concluir que:

- Los erizos de mar (*P. lividus*) seleccionan determinadas algas disponibles en su hábitat.
- En cuanto al incremento gonadal, la dieta submareal fue la que proporcionó mayor crecimiento a la gónada de los individuos.
- Los erizos optimizaron el desarrollo gonadal a partir de una dieta compuesta por algas no disponibles en el hábitat propio de la fase del ciclo vital estudiado.

6. Conclusions

Based on the results and focusing on the different phases of the study, we can conclude that:

- Sea urchins (*P. lividus*) select certain algae available in their habitat.
- As for gonadal increase was the subtidal diet that provided greater growth gonad individuals.
- Sea urchin optimized gonadal development from a diet consisting of algae not available in the proper habitat life stage studied.

7. Bibliografía

- Arafa, S., Chouaibi, M., Sadok, S., El Abed, A. (2012). The Influence of season on the gonad index and biochemical composition of the sea urchin *Paracentrotus lividus* from the Gulf of Tunis. *The Scientific World Journal*, ID 815935, 8 pp.
- Barnes, D.K.A., Crook, A.C. (2001b). Quantifying behavioural determinants of the coastal European sea-urchin *Paracentrotus lividus*. *Marine Biology* 138: 1205-1212.
- Besteiro, C. & Urgorri, V. (1988). Inventario dos equinodermos de Galicia. (Echinodermata). de Ciencias Biolóxicas, Cadernos da área. Inventarios dos equinodermos de Galicia. Seminario de estudos galegos, Vol I. O Castro (Ed.), 51 pp.
- Boudouresque, C.F. & Verlaque, M. (2007). Ecology of *Paracentrotus lividus*. In: Lawrence JM (Ed.) Edible sea urchins: biology and ecology, 2nd edition, Elsevier. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* 37: 243-285.
- Bulleri, F., Bertocci, I., Micheli, F. (2002). Interplay of encrusting coralline algae and sea urchins in maintaining alternative habitats. *Marine Ecology Progress Series* 243: 101-109.
- Catoira, J.L. (2004). History and current state of sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) fisheries in Galicia, NW Spain. In: Lawrence, J.M., Guzmán, O. (Eds.). Sea Urchins: Fisheries and Ecology. *Destech publications, Lancaster*. 64-73.
- Crapp, G.B. & Willis, M.E. (1975). Age determination in the sea urchin *Paracentrotus lividus* with notes on the reproductive cycle. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 20 (2): 157-178.
- Fenaux, L. (1968). Maturation des gonades et cycle saisonnier des larves chez *A. lixula*, *P.lividus* et *P.microtuberculatus* à Villefranche-Sur-Mer. *Vie et Milieu. Serie A, Biologie marine* 19 (1): 1-52.
- Fernández, C. & Boudouresque, C.F. (2000). Nutrition of the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) fed different artificial food. *Marine Ecology Progress Series* 204: 131-141.
- Fernández, C., Caltagirone, A., Johnson, M. (2001). Demographic structure suggests migration of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in a coastal lagoon. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 81: 361-362.
- Gago, J., Range, P., Luís, O. (2003). Growth, reproductive biology and habitat selection of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in the coastal waters of Cascais, Portugal. *Echinoderm research* 2001: 269-276.
- Gonor, J. (1972). Gonad growth in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson) (Echinodermata:echinoidea) and the assumptions of the gonad

- index methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 10: 89-103.
- Grosjean, P. (2001). Growth model of the reared sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816). Tesis doctoral, Univ Libre de Bruxelles, Belgium.
- Grosjean, P., Spirlet, C., Gosselin, P., Vaïtilingon, D. & Jangoux, M. (1998). Land-based closed cycle equiniculture of *Paracentrotus lividus* Lamarck (Echinoidea: Echinodermata): a long-term experiment at a pilot scale. *Journal of Shellfish Research* 17(5): 1523-1531.
- Haya de la Sierra, D. (1990). Biología y ecología de *Paracentrotus lividus* en la zona intermareal. Tesis doctoral, Universidad de Oviedo, Spain.
- Hereu, B. (2005). Movement patterns of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in a marine reserve and an unprotected area in the NW Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 26: 54-62.
- Hereu, B., Zabala, M., Linares, C., Sala, E. (2004). Temporal and spatial variability in settlement of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in the NW Mediterranean. *Marine Biology* 144: 1011-1018.
- Kelly, M.S., Brodie, C.C., McKenzie, J.D. (1998). Somatic and gonadal growth of the sea urchin *Psammechinus miliaris* (Gmelin) maintained in polyculture with the Atlantic salmon. *Journal of Shellfish Research* 17: 1557-1562.
- Lesser, M., Walker, C. (1998). Introduction to the special section on sea urchin aquaculture. *Journal of Shellfish Research* 17 (5): 1505-1506.
- Lozano, J., Galera, J., López, S., Turon, X., Palacín, C., Morera, G. (1995). Biological cycles and recruitment of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in two contrasting habitats. *Marine Ecology Progress Series* 122: 179-191.
- Lustres, V. (2001). El erizo de mar: *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) en las costas de Galicia. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, Spain.
- McCarron, E., Burnell, G., Mouzakitis, G. (2009). Growth assessment on three size classes of the purple sea urchin *Paracentrotus lividus* using continuous and intermittent feeding regimes. *Aquaculture* 288: 83-91.
- Míguez, L.J. & Catoira, J.L. (1987). Primeras aportaciones sobre la dinámica y rendimiento gonadal de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) en la Ría de La Coruña. *Cuadernos marisqueros*, 12. Technical Report.: 717-722.
- Míguez, L.J. & Catoira, J.L. (1990). Nuevas aportaciones sobre el rendimiento gonadal y las relaciones biométricas de *Paracentrotus lividus* en la ría de La Coruña. *Bentos* 6: 275-281.
- Niell, F.X. & Pastor, R. (1973). Relaciones tróficas de *Paracentrotus lividus* (Lmk) en la zona litoral. *Scientia Marina, Investigación Pesquera* 37: 1-7.

- Ouréns, R. (2013). Estrategia vital y dinámica poblacional del erizo *Paracentrotus lividus*. Tesis doctoral, Universidad de A Coruña, Spain.
- Pedrotti, M.L. (1993). Spatial and temporal distribution and recruitment of echinoderm larvae in the Ligurian Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 73: 513-530.
- Régis, M.B. (1978). Croissance de deux échinoïdes du Golfe de Marseille (*Paracentrotus lividus* (Lmk) et *Arbacia lixula* (L.)). Aspects écologiques de la microstructure du squelette et de l'évolution des indices physiologiques. Tesis doctoral, Université d'Aix-Marseille III, France.
- Rey-Méndez, M., Tourón, N., Rodríguez-Castro, B., Rama-Villar, A., Fernández-Silva, I., González, N., Martínez, D., Ojea, J. & Catoira, J.L. (2015). Crecimiento y mejora del índice gonadal en el cultivo del erizo de mar *Paracentrotus lividus* (Echinoidea: Echinidae) en Galicia (España). *International Journal of Tropical Biology and Conservation* 62 (2): 261-272.
- Semroud, R. & Kada, H. (1987). Contribution a l'étude de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans la région d'Alger (Algérie): indice de réplétion et indice gonadique. In: Boudouresque, C.F. (Ed.). *Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles*. GIS Posidonie, Marseille, pp 117-124.
- Tuya, F., Cisneros-Aguirre, J., Ortega-Borges, L., Haroun, R.J. (2007). Bathymetric segregation of sea urchins on reefs of the Canarian Archipelago: Role of flowinduced forces. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 481-488.
- Urgorri, V., Reboreda, P., Troncoso, J.S. (1994). Dispersión, demografía y producción gonadal de una población de *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816). Departamento de Biología Animal, Universidad de Santiago de Compostela.
- Verlaque, M. (1987). Relations entre *Paracentrotus lividus* et le phytobenthos de Méditerranée occidentale. In: Boudouresque, C.F. (Ed.). *Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles*. GIS Posidonie, Marseilles, pp 5-36.
- Verlaque, M. & Nédélec, H. (1983). Biologie de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) sur substrat rocheux en Corse (Méditerranée, France) alimentation des adultes. *Vie et Milieu* 33 (3-4): 191-201.