

# INFORME DE RESULTADOS

## PROYECTO HISARUN



 Proyecto HISARUN: Actuación cofinanciada por el FEMP en un 75%. P.O. español 2014ES14MFOP001 [Prioridad 1. OE1.e] - medida 1.5.2] OIG: D. X. Desenvolvemento Pesqueiro

### Obtención de embriones para refuerzo o repoblación de las comunidades del alga parda alimentaria *Himanthalia elongata* con el fin de su conservación

Javier Cremades Ugarte, Érika García Cardesín y Alejandra Pérez González

  UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Diciembre, 2023

## Contenido

1. Introducción .....	3
2. Objetivos .....	4
3. Material y métodos .....	4
3.1. Áreas de estudio .....	4
4. Toma de medidas .....	5
4.1. Ejemplares de A Illa de Arousa .....	6
4.2. Cangas .....	8
4.3. Ribadeo .....	9
5. Reproducción <i>Himantalia elongata</i> .....	9
6. Siembra en campo .....	11
7. Seguimiento de juveniles .....	12
8. Análisis de datos .....	13
9. Resultados .....	14
9.1. Maduración y liberación de gametos .....	14
9.2. Fijación de embriones .....	16
9.3. Siembra en campo y seguimiento de juveniles .....	17
10. Discusión .....	20
10.1. Maduración y liberación de gametos .....	20
10.2. Fijación de embriones .....	20
10.3. Siembra en campo y seguimiento de juveniles .....	20
11. Conclusión .....	22
12. Referencias .....	23

# **Obtención de embriones y repoblación del alga parda *Himanthalia elongata* (Fucales, Ochrophyta) con el fin de su conservación.**

## **1. Introducción**

*Himanthalia elongata* (Linnaeus) S.F. Gray, comúnmente conocida como correa, judía o espagueti de mar, es uno de los recursos autóctonos de macroalgas alimentarias más importantes de Galicia. Se trata de una especie perteneciente al orden Fucales (Ochrophyta), que se caracteriza por presentar un talo en forma de seta del que nacen receptáculos acintados, ramificados dicotómicamente, la parte explotable del alga, y que pueden superar los 3 metros de longitud. Las cintas se empiezan a desarrollar a principios de invierno y pueden llegar a medir más de 3 m (Gallardo & Pérez-Ruzafa, 2000). Se trata de un alga dioica bienal de ciclo monogenético diplofásico.

Se trata de una especie que prospera óptimamente en las zonas rocosas del litoral medio e inferior, especialmente en costas moderadamente expuestas a la acción del oleaje, formando una amplia franja en la zona intermareal que destaca durante los meses de verano (Gallardo & Pérez-Ruzafa, 2001; Lagos & Cremades, 2004). Además, desde el punto de vista económico, esta especie está siendo cada vez más empleada en la alimentación humana debido a sus características organolépticas distintivas y su alto valor nutricional (Morrissey et al., 2001).

El creciente interés de su explotación provoca que, debido al poco conocimiento de su biología, ella se esté realizando de forma inadecuada, lo que dificulta su sostenibilidad, sobre todo si otros factores de cambio global están interfiriendo (Lagos & Cremades, 2004). La sobreexplotación, el calentamiento global y el fenómeno de la depredación han convergido para ejercer una presión significativa sobre las poblaciones de *H. elongata* en diversos ecosistemas marinos. Esta especie no solo desempeña un papel ecológico fundamental como productor primario y favorecedor de la biodiversidad, sino que también posee un valor económico considerable.

El desarrollo de técnicas que permitan la reintroducción o refuerzo de las poblaciones de *H. elongata* se presenta como una imperiosa necesidad en el contexto actual. En este informe, exponemos los resultados obtenidos en el desarrollo de dichas técnicas como un paso esencial para mitigar los efectos negativos de estos factores externos que afectan a sus poblaciones y asegurar así su preservación.

## 2. Objetivos

Los objetivos principales de este estudio comprenden:

- Investigar la morfología y fenología reproductiva de *Himanthalia elongata* en tres localidades de Galicia.
- Identificar posibles variaciones morfológicas y fenológicas en función del sexo y estado de desarrollo de la especie.
- Profundizar en el estudio de la biología de la reproducción de *H. elongata*, abarcando desde la liberación de gametos hasta la fijación de embriones.
- Utilizar los conocimientos obtenidos para llevar a cabo actividades de repoblación en áreas sensibles que se han visto afectadas por la disminución de la población de *H. elongata*.

## 3. Material y métodos

### 3.1. Áreas de estudio

El área principal de nuestro estudio se centra en una plataforma rocosa ubicada a pocos metros de O Niño do Corvo (Illa de Arousa, Pontevedra, 42.560947,-8.887061) (Fig. 1). Esta plataforma cuenta con una serie de formaciones rocosas mar adentro que crean un entorno con horizontes litorales semiprotectidos, expuestos a la acción del oleaje, ofreciendo condiciones óptimas para el desarrollo de *Himanthalia elongata*. Cangas ha sido seleccionada como nuestra segunda área de estudio para *H. elongata*, específicamente en la Playa de O Salgueiron (Cangas, Pontevedra, 42.255689,-8.8556), que presenta un intermareal de tipo semiprotectido y es rica en esta especie. Además, hemos realizado investigaciones adicionales en Ribadeo, en la zona de Punta de Castro (Ribadeo, Lugo, 43.562323,-7.177024) (Fig. 1). Décadas atrás, esta área solía proporcionar un hábitat propicio para el crecimiento de la especie. Sin embargo, en la actualidad, no se han registrado indicios de su supervivencia, lo que llevó a la decisión de excluir esta ubicación de los ensayos de repoblación.

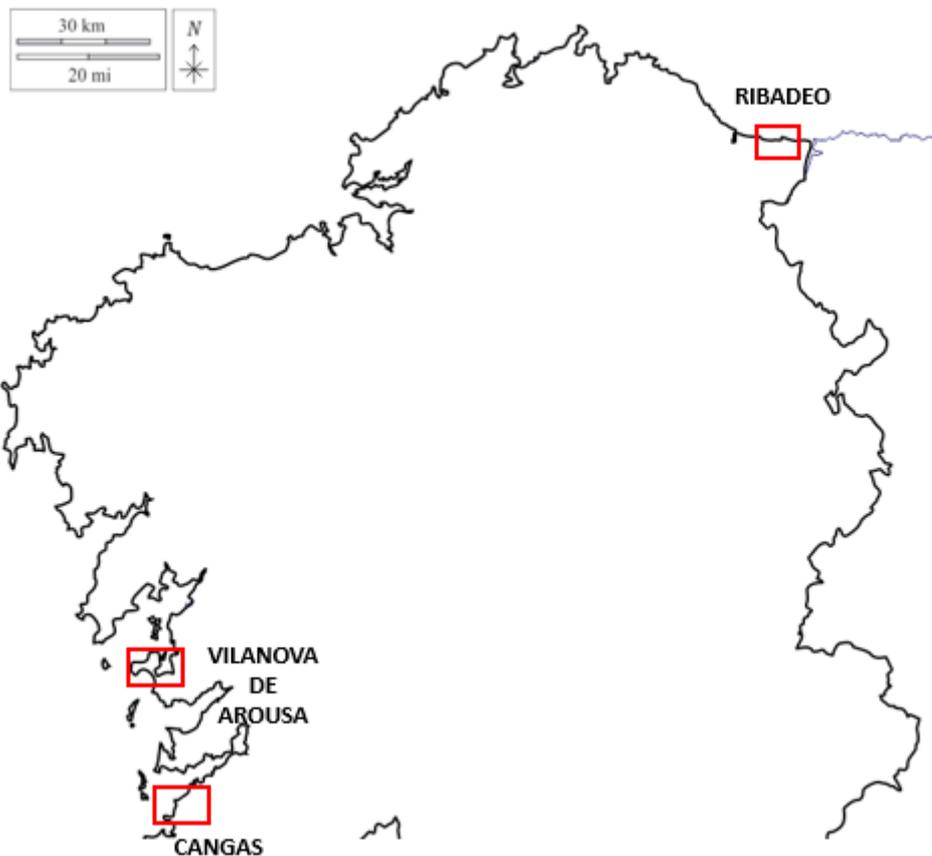


Fig. 1: Ubicación y detalle de las tres principales áreas de estudio. O Niño do Corvo (A Illa de Arousa, Pontevedra), Playa de O Salgueirón (Cangas, Pontevedra) y Punta de Castro (Ribadeo, Lugo)

#### 4. Toma de medidas

Con el fin de alcanzar los objetivos establecidos, se han concebido una serie de experimentos y se han efectuado observaciones tanto en el entorno natural como en un entorno de laboratorio. Estas actividades nos han permitido analizar el desarrollo de la especie y sus poblaciones de manera exhaustiva. Durante los muestreos en campo, se han recolectado ejemplares con el propósito de llevar a cabo observaciones y recopilación de datos en el laboratorio. En el entorno de laboratorio, se han realizado mediciones biométricas, se ha evaluado el grado de madurez de los receptáculos, se han estimado las tasas de liberación de gametos y se ha seguido el crecimiento de los talos vegetativos en sus fases iniciales.

Para llevar a cabo la monitorización *in situ* de la maduración de los receptáculos de *H. elongata* a lo largo del período de estudio, se realizaron múltiples recolecciones de ejemplares en momentos diferentes. Estas recolecciones tenían como objetivo llevar a cabo mediciones biométricas de los talos vegetativos y sus estructuras reproductoras. De cada individuo

recolectado, se seleccionaba la rama de mayor longitud y se registraban sus dimensiones, incluyendo la longitud y el ancho. Asimismo, se contabilizaban las dicotomías y se anotaba el número de receptáculos presentes en cada ejemplar. También se registraba el peso total del individuo, como se ilustra en la Figura 2. Estos seguimientos se llevaron a cabo hasta mediados de septiembre, momento en el que los ejemplares alcanzaron un grado de madurez suficiente para iniciar el proceso de reproducción y repoblar las áreas inicialmente designadas.

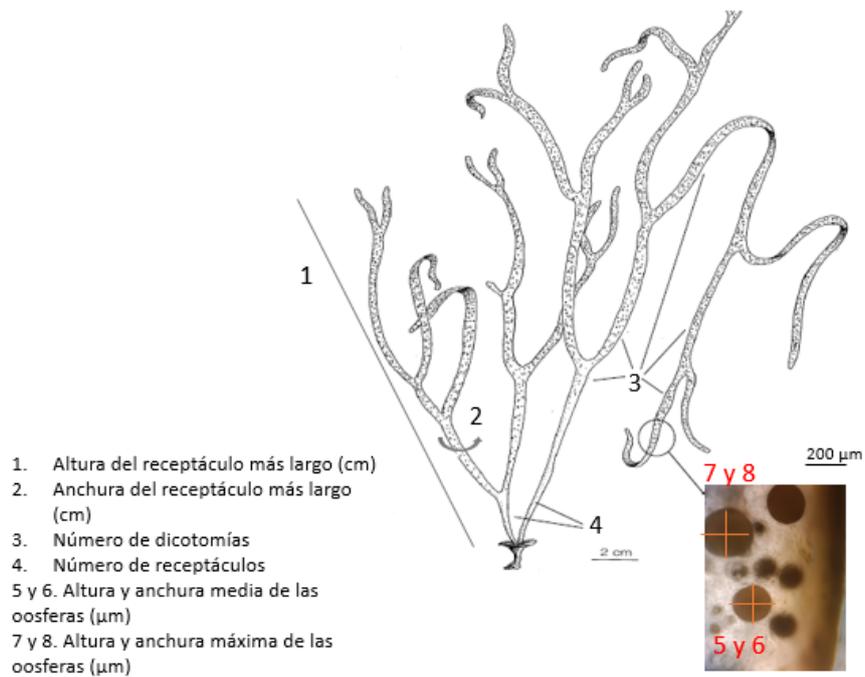


Fig. 2: Medidas morfométricas realizadas en los talos de *Himanthalia elongata* (Modificado de Lagos, V., & Cremades, J., 2004).

Con el propósito de realizar una comparación del desarrollo de los receptáculos entre las diversas poblaciones de *H. elongata*, se llevaron a cabo mediciones morfométricas idénticas de forma simultánea en un conjunto de ejemplares representativos de las diferentes áreas de distribución de esta especie, abarcando así las distintas zonas de estudio.

#### 4.1. Ejemplares de A Illa de Arousa

El 5 de julio de 2023, se llevó a cabo la limpieza de la zona designada para la repoblación, como se muestra en la Figura 2. En este proceso, se recolectaron 17 ejemplares completos de *H. elongata*, dejando los discos intactos ya que no producirán receptáculos hasta el próximo año y no afectarán a la experiencia. Estos ejemplares se conservaron individualmente en bolsas hasta

su llegada al laboratorio, donde se sometieron a procesamiento y se realizaron las mediciones biométricas, cuyos resultados se presentan en la Tabla 1.



Fig. 2: Zona seleccionada para la experiencia en O Con Niño do Corvo (A Illa de Arousa, Pontevedra).

Tabla 1: Ejemplares recolectados en A Illa de Arousa y parámetros analizados en el laboratorio: Peso (g), Anchura y Altura de los receptáculos (cm), Número de dicotomías, Número de receptáculos, sexo del ejemplar y tamaño de la ovocélula (largo x ancho en micras)

Ejemplar	Peso (g)	Altura (cm)	Anchura máxima (cm)	Dicotomías	Receptáculos	Sexo	Tamaño Oosferas $\mu\text{m}$ (L*A)
1	117	113,0	1,7	5	1	Hembra	250*230
2	138	82,3	1,2	5	2	Macho	
3	203	115,1	2	6	2	Macho	
4	153	92,0	1,3	5	2	Macho	
5	139	25,3	0,7	2	2	Hembra	
6	644	200,3	1,4	6	2	Hembra	320*280
7	9	13,7	0,5	1	2	Hembra	
8	69	52,4	1,7	3	2	Macho	
9	147	109,3	1,8	5	2	Macho	
10	8	23,8	0,6	3	2	Macho	
11	298	131,8	1,6	6	3	Hembra	350*240
12	17	39,8	1,4	2	2	Macho	
13	161	103,2	1,9	4	3	Macho	
14	21	55,3	0,9	4	2	Hembra	120*110
15	63	99,1	1,2	5	2	Hembra	290*240
16	488	166,5	1,5	7	1	Macho	
17	654	187,2	1,9	6	3	Macho	

## 4.2. Cangas

El 7 de julio de 2023, se realizó una inspección minuciosa del área designada en Cangas, como se muestra en la Figura 3. Se observó que la zona estaba abundante en discos de *H. elongata*, pero la presencia de ejemplares con receptáculos no era significativa, como se ilustra en la Figura 4.



*Fig. 3: Zona seleccionada para la experiencia en Cangas, Pontevedra.*



*Fig. 4: Discos de *H. elongata* en la zona seleccionada de Cangas.*

Con el objetivo de garantizar el éxito de la experiencia y contar con material para la repoblación, optamos por no recolectar ejemplares completos y, en su lugar, recoger fragmentos de ejemplares para poder evaluar su nivel de madurez en la zona (los cortes se efectuaron en la penúltima dicotomía de los individuos). Estas muestras se preservaron en bolsas individuales

hasta su llegada al laboratorio, donde se procesaron y se evaluó el estado de madurez de los ejemplares, cuyos resultados se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2: Ejemplares recolectados en Cangas y parámetros analizados en el laboratorio: sexo del ejemplar y tamaño de la ovocélula (largo x ancho en micras)

Ejemplar	Sexo	Tamaño Oosferas $\mu\text{m}$ (L*A)
1	Masculina	
2	Masculina	
3	Masculina	
4	Masculina	
5	Masculina	
6	Masculina	
7	Masculina	
8	Femenina	70*40
9	Masculina	
10	Femenina	140*110
11	Femenina	70*60
12	Masculina	

#### 4.3. Ribadeo

El 6 de julio de 2023, se llevaron a cabo visitas a diversas áreas que se consideraron como posibles ubicaciones para llevar a cabo la experiencia. Sin embargo, en ninguna de estas zonas se encontraron ejemplares de *Himantalia elongata* en la actualidad, lo que resultó en la ausencia de material para su análisis en el laboratorio.

### 5. Reproducción *Himantalia elongata*

Para investigar el proceso de reproducción, se llevaron a cabo diversas observaciones y se diseñaron experimentos utilizando muestras recolectadas en A Illa de Arousa. Se analizó la diferenciación y desarrollo de los conceptáculos y oosferas mediante la creación de secciones transversales de los receptáculos en diferentes etapas de desarrollo. Para examinar la diferenciación y la dinámica de desarrollo de las oosferas, se midieron sus diámetros con un microscopio óptico. Para rastrear su desarrollo a lo largo del tiempo, se utilizó como referencia el tamaño promedio de las oosferas observadas en los conceptáculos.

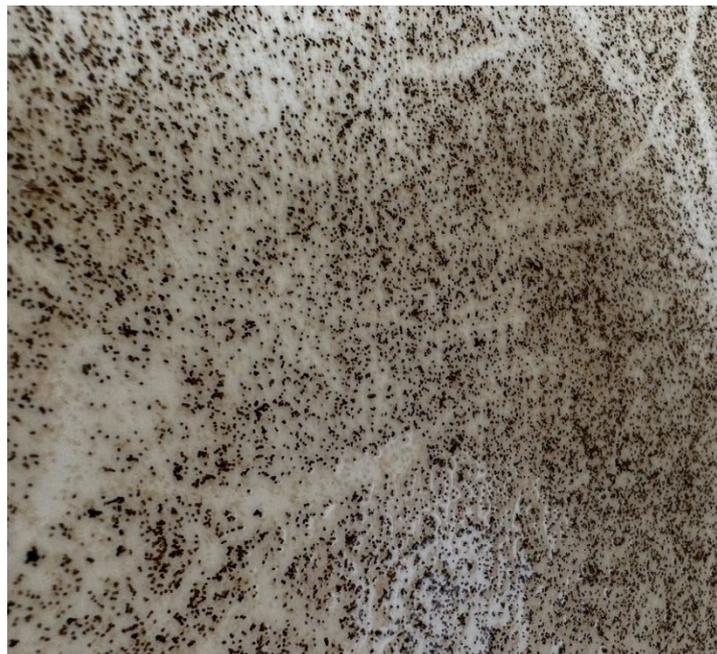
Con el propósito de investigar con más detalle la maduración y liberación de las oosferas, se recolectaron receptáculos de plantas masculinas y femeninas de la misma población en A Illa de Arousa. Para inducir la liberación de las oosferas de estas algas y realizar su conteo, los receptáculos se sometieron a un proceso de deshidratación en una cámara a 15°C (Fig. 5).

Después de 24 horas los receptáculos se introdujeron en un tanque de 150 litros a 15°C con una solución nutritiva.



*Fig. 5: Proceso de desecación de los receptáculos fértiles de Himanthalia elongata en cámara a 15°C.*

A medida que transcurrieron las horas y los receptáculos se rehidrataron en el tanque, comenzó la liberación de las oosferas. Debido a su mayor peso, estas se depositaron en el fondo del tanque, donde se llevó a cabo la fecundación y se inició el desarrollo y la fijación de embriones mediante rizoides, como se ilustra en la Figura 6.



*Fig. 6: Embriones de Himanthalia elongata fijados en el fondo del tanque.*

Por otro lado, se ideó un experimento con el propósito de investigar la dinámica de liberación y anclaje de los embriones de *H. elongata*. A las oosferas recolectadas después de pasar por el embudo de decantación, se les incorporó agua de mar, nutrientes y oligoelementos, y de esta mezcla se añadieron 50 ml a placas de cultivo celular, manteniéndolas a una temperatura de 15°C. Con el transcurso de los días, se pudo observar cómo las oosferas desarrollaban rizoides y se adherían a las placas (Fig. 7).



Fig. 7: Embriones de *Himanthalia elongata* en placas de cultivo celular en cámara a 15°C.

## 6. Siembra en campo

Después de obtener embriones que desarrollaron sus propios rizoides y pudieron adherirse a sus propios sustratos, se procedió a la siembra en el campo de dos tipos de embriones: unos con aproximadamente 10 días de edad y otros más desarrollados, con un mes de vida (Fig. 8). Para facilitar su fijación, los embriones se suspendieron en una solución de alginato sódico y se utilizó un quelato de hierro como fotoprotector para prevenir posibles daños por exceso de radiación solar durante la marea baja.



Fig. 8: Embriones de *Himanthalia elongata* utilizados para la siembra en el mar. Embriones con un mes de vida (izquierda) y embriones de aproximadamente 10 días de edad (derecha).

La primera siembra tuvo lugar el día 29 de septiembre de 2023 en la zona seleccionada de A Illa de Arousa y el 30 de septiembre en la zona de Cangas. Durante la siembra en A Illa de Arousa se recogieron ejemplares fértiles, que fueron procesados de la misma forma para obtener embriones.

Llevamos a cabo una segunda siembra en A Illa de Arousa con los embriones obtenidos en la primera siembra, éstos tenían 18 días de desarrollo. En esta ocasión, algunos de los embriones se sembraron utilizando una solución que contenía alginato de sodio y quelato de hierro, mientras que otros fueron sembrados únicamente con agua de mar. Esta experiencia se llevó a cabo el 18 de octubre de 2023 (Fig. 9).



*Fig. 9: Siembra de embriones de Himanthalia elongata (con y sin alginato respectivamente) realizada el 18/10/2023 en la zona seleccionada de A Illa de Arousa.*

## 7. Seguimiento de juveniles

Con el fin de monitorizar tanto el desarrollo vegetativo como la dinámica poblacional de *H. elongata* se realizaron distintos seguimientos fotográficos. Al mismo tiempo que se registraba la inclinación del terreno y la altura respecto al mar, con el fin de investigar cualquier posible correlación de éstas con el crecimiento.

El primer seguimiento tuvo lugar el 18 de octubre, junto con la segunda siembra. Sin embargo, no se halló ningún juvenil de *H. elongata* en las rocas sembradas. El segundo se realizó el 31 de octubre y consistió en el seguimiento *in situ* de los talos vegetativos desde los primeros estadios de su desarrollo. La población, ubicada en el horizonte intermareal medio de la localización de A Illa de Arousa tenía un tamaño aproximado de 20mx5m y consistía en un “manto” de embriones

de *H. elongata* acompañados de otras algas pertenecientes a la familia Corallinaceae, que cubrían inicialmente el 85% el sustrato (Fig. 10).



*Fig. 10: Juveniles de Himanthalia elongata procedentes de la siembra en la zona seleccionada de A Illa de Arousa junto con otras algas de las familias Corallinaceae y Ulvaceae.*

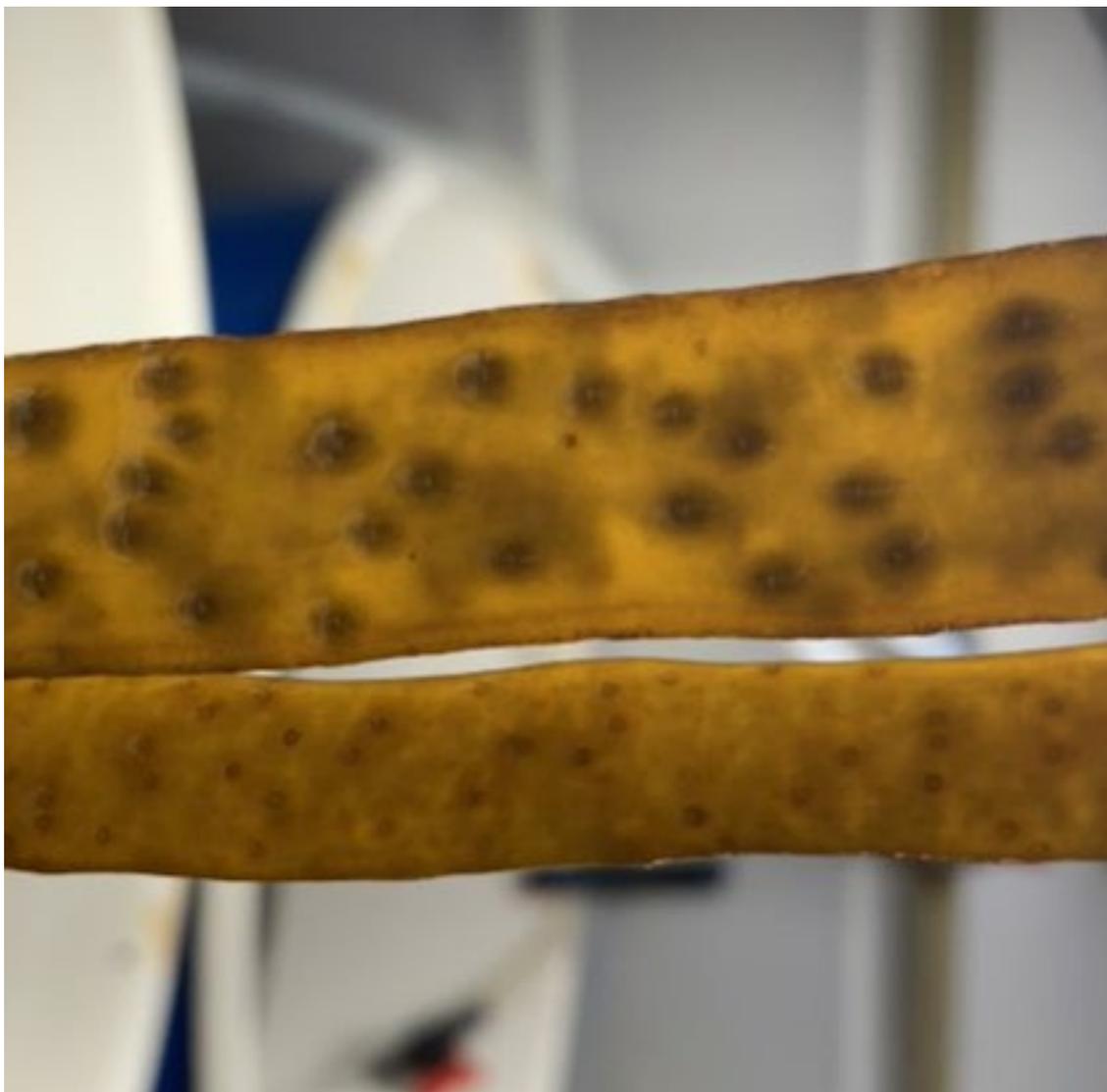
## 8. Análisis de datos

Todas las medias y datos recopilados fueron almacenados en una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2010 para su posterior análisis estadístico.

## 9. Resultados

### 9.1. Maduración y liberación de gametos

Los reproductores femeninos y masculinos, cuando están fértiles, pueden diferenciarse a simple vista, ya que los reproductores femeninos (Fig. 11 arriba) son más anchos, oscuros y rugosos que los reproductores masculinos (Fig. 11 abajo).



*Fig. 11: Reproductores de Himanthalia elongata. Arriba, ejemplar femenino, más rugoso y ancho. Abajo, ejemplar masculino, más delgado y con menos rugosidades.*

Los gametos femeninos muestran una forma generalmente esférica, ligeramente ovalada, y adquieren un color pardo en los talos maduros, como se ilustra en la Figura 12a y 12c. El tamaño promedio de las primeras oosferas observadas en julio de 2023 fue de aproximadamente 210  $\mu\text{m}$  de diámetro, aumentando a unos 250  $\mu\text{m}$  de diámetro en agosto de 2023. A principios de julio, se contabilizaron entre 5 y 7 oosferas en las secciones de los conceptáculos, mientras que,

a principios de septiembre, el número de oosferas aumentó, llegando a contarse entre 9 y 10 oosferas por conceptáculo.

Los gametocistes masculinos se caracterizan por tener una forma cónica, siendo transparentes cuando están en un estado inmaduro y adquiriendo un color anaranjado cuando alcanzan la madurez, como se muestra en la Figura 12b. A principios de julio, en las secciones de los conceptáculos, los gametófitos masculinos se presentaban incoloros, mientras que en agosto desarrollaban una coloración anaranjada. Hacia finales de agosto, estos gametófitos liberaban espermatozoides. La fecundación ocurre de manera rápida y se generan los rizoides (Fig. 12d, 12e, 12f).

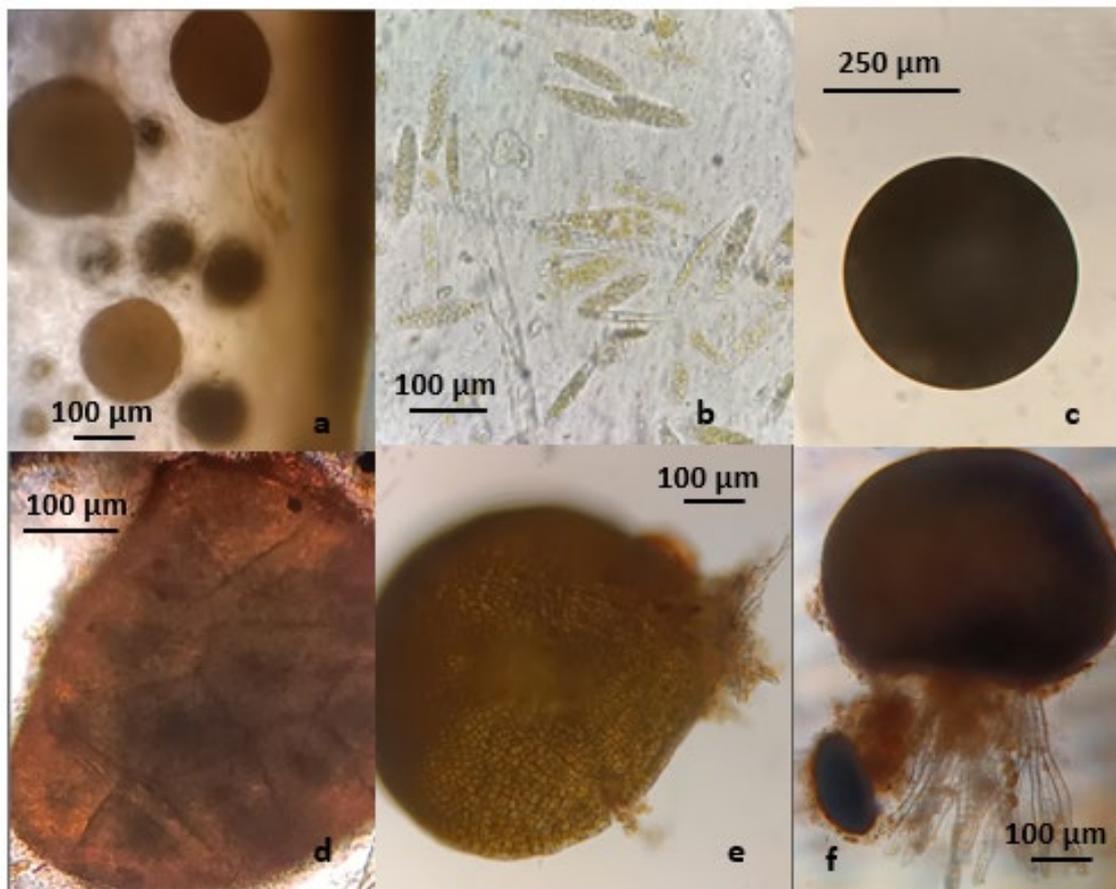


Fig. 11: Maduración, liberación de gametos y fijación de embriones de *H. elongata*. a) oosferas dentro del conceptáculo, b) gametos masculinos, c) oosfera liberada del conceptáculo, d) oosfera fecundada dividiéndose (entre 12-14 divisiones), e) desarrollo de un embrión con muchas divisiones y desarrollando rizoides y f) embrión desarrollado con rizoides de fijación.

## 9.2. Fijación de embriones

Con el propósito de analizar el desarrollo de los embriones, se llevaron a cabo mediciones morfométricas en aproximadamente 6 ejemplares de forma periódica. Estos ejemplares fueron recolectados del fondo del tanque y posteriormente se sometieron a observaciones microscópicas, como se muestra en la Figura 13.

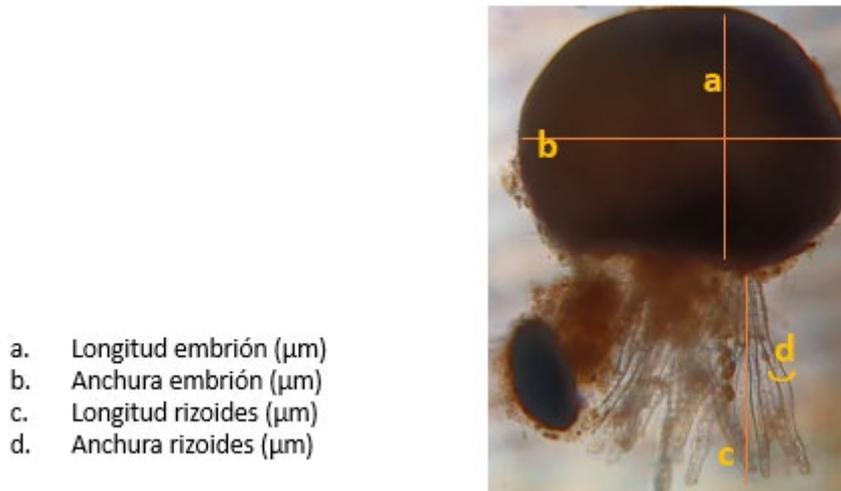


Fig. 13: Medidas morfométricas realizadas en embriones de *Himanthalia elongata*

Identificamos el inicio de la fase embrionaria como el período que abarca desde la primera división tras la fecundación hasta el inicio del desarrollo de rizoides en el embrión. Al explorar esta fase, nuestros hallazgos indican una notoria progresión exponencial en la división celular, como se ilustra claramente en el gráfico de la Figura 14.

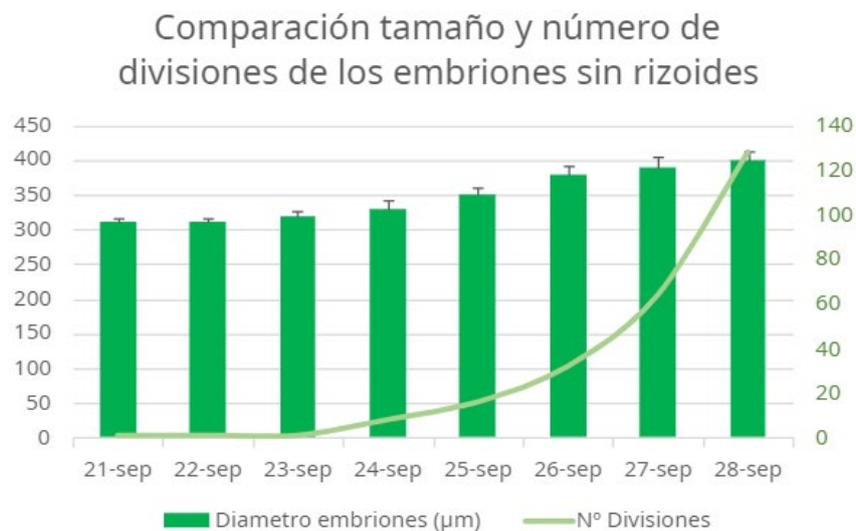


Fig. 14: Comparación entre el diámetro de los embriones de *Himanthalia elongata* (en  $\mu\text{m}$ ) y el número de divisiones celulares que se observan al microscopio óptico.

Por otro lado, al monitorear la fase embrionaria desde el inicio de los rizoides, observamos que el tamaño de estos aumenta de manera exponencial hasta alcanzar una estabilización en el punto en que igualan el tamaño de los embriones, como se muestra en la Figura 15.

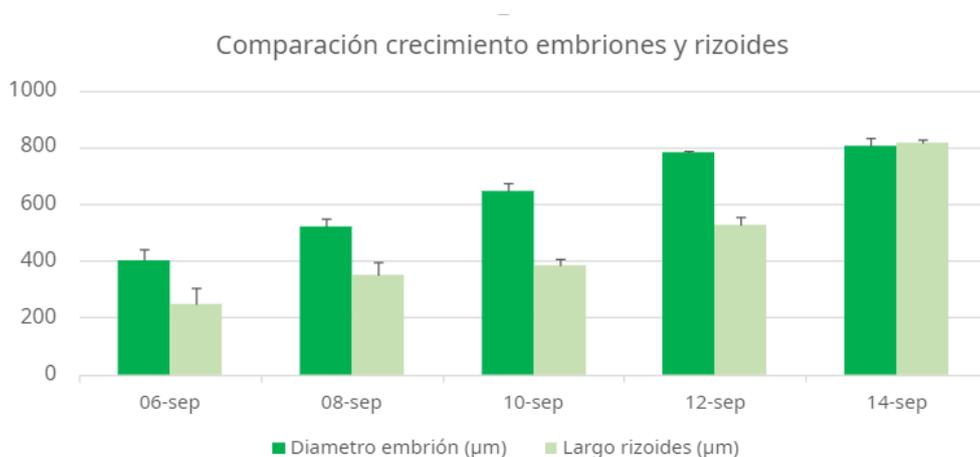


Fig. 15: Comparación entre el diámetro de los embriones y el tamaño de los rizoides (ambos en µm) de *H. elongata*.

### 9.3. Siembra en campo y seguimiento de juveniles

Los intentos de cultivo utilizando alginato no tuvieron éxito, en contraste, la siembra realizada con agua de mar fue exitosa, resultando en la producción de juveniles de *H. elongata*. Los datos detallados sobre la inclinación, altura con respecto al nivel del mar y el número de individuos por cuadrante de 10x10 cm se encuentran presentados en la Tabla 3.

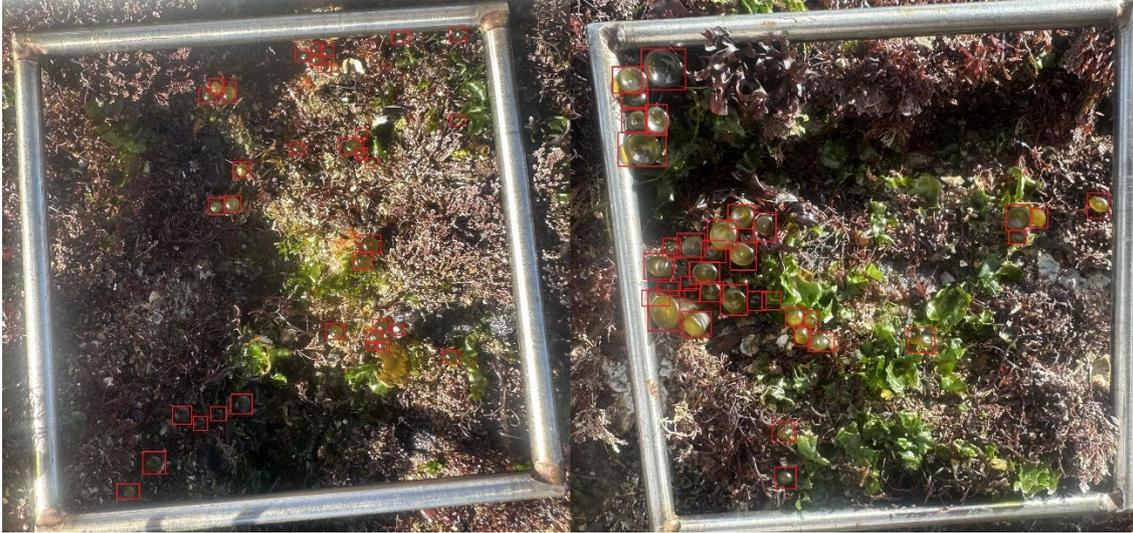
Tabla 3. Datos de altura respecto al mar (m), grados de inclinación y nº de ejemplares de *Himanthalia elongata* recopilados en el seguimiento del día 31/10/2023.

Fotografía	Altura desde el mar (m), lado inferior del cuadrante	Grados de inclinación	Nº ejemplares
1	0,36	12	6
2	0,36	10	3
3	0,48	10	5
4	0,48	5	2
5	0,6	1	1
6	0,7	15	4
7	0,7	2	4
8	0,7	349	3
9	1,2	14-(11)	9

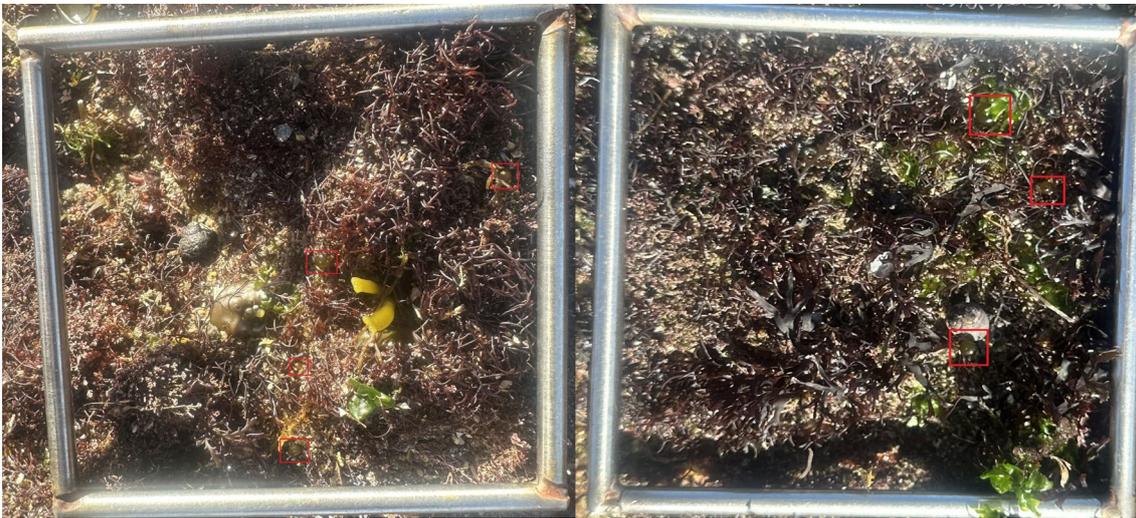
10	1,2	2	2
11	1,25	4	34
12	1,25	347	22
13	1	8	4
14	1,28	348	3
15	1,4	3	2
16	1,85	21-(32)	7
17	1,9	6	2
18	2,32	1	6
19	2,16	5-(40)	13
20	2,28	12-(41)	36
21	2,27	6-(17)	7

Las mediciones de altura con respecto al nivel del mar y los grados de inclinación se realizaron desde la parte inferior del intermareal hasta el supramareal. En el caso de los grados de inclinación que presentan más de un valor, se refieren a aquellos que difieren significativamente del plano de referencia bidimensional principal.

Las fotografías capturadas proporcionan información más detallada que la propia tabla, ya que revelan que los cuadrantes con una mayor concentración de juveniles se ubican en áreas resguardadas del oleaje, como grietas o zonas tras un escalón en la roca donde se llevaron a cabo las siembras. En la Figura 16, la fotografía 11 (izquierda) muestra la ubicación de los 34 individuos registrados, mientras que la fotografía 20 (derecha) señala la presencia de 36 juveniles. No obstante, en áreas más expuestas al oleaje o cubiertas en menor medida por el "manto" de algas de la familia *Corallinaceae*, se observa un menor número de juveniles en los cuadrantes. Por ejemplo, en la Figura 17, la fotografía 7 (izquierda) presenta 4 individuos, mientras que la fotografía 2 (derecha) muestra únicamente 3.



*Fig. 16: Fotografías números 11 (izquierda) y 20 (derecha) tomadas el 31/10/2023, referentes a los juveniles de Himanthalia elongata sembrados el 18/10/2023 en una solución únicamente con agua de mar en la zona seleccionada de A Illa de Arousa. Zonas protegidas al oleaje.*



*Fig. 17: Fotografías números 7 (izquierda) y 2 (derecha) tomadas el 31/10/2023, referentes a los juveniles de Himanthalia elongata sembrados el 18/10/2023 en una solución únicamente con agua de mar en la zona seleccionada de A Illa de Arousa. Zonas expuestas al oleaje.*

## 10. Discusión

### 10.1. Maduración y liberación de gametos

Los resultados de esta investigación indican que el punto máximo de madurez de los reproductores de *H. elongata*, tanto femeninos como masculinos, ocurre entre finales de agosto y octubre. En este período, se observó un aumento significativo en el número y tamaño de las oosferas, así como la presencia de gametocistes masculinos con una coloración amarillo anaranjado, coincidiendo con la liberación de espermatozoides.

### 10.2. Fijación de embriones

Durante el proceso de desecación y la subsiguiente rehidratación, se produce una liberación masiva de gametos, seguida de su fecundación. Tras este evento, el número de divisiones celulares experimenta un aumento exponencial, alcanzando proporciones incontables en tan solo una semana. Estos resultados sugieren que *H. elongata* es una especie estratega de la *r*, ya que un reducido número de reproductores da origen a una prole numerosa que se desarrolla de manera rápida. Además, hay que señalar que las condiciones del procedimiento llevado a cabo en el laboratorio son óptimas para la reproducción de esta especie.

Asimismo, una vez que los embriones comienzan a formar los rizoides, tanto el tamaño de estos como el de los embriones se estabiliza hasta alcanzar un punto de equilibrio. Esto podría indicar que, en este momento, las condiciones en el laboratorio ya no son óptimas para el desarrollo de los juveniles. Es el momento adecuado para trasladarlos al medio marino, concluyendo así la fase embrionaria e iniciando su desarrollo como juveniles.

### 10.3. Siembra en campo y seguimiento de juveniles

Las siembras de embriones de *H. elongata* llevadas a cabo con la solución de alginato y quelato de hierro no arrojaron resultados exitosos. En contraste, la siembra realizada el 18/10/2023 sin alginato, utilizando únicamente agua de mar, resultó en la producción de juveniles. Este fenómeno sugiere la posibilidad de alguna forma de toxicidad o efecto sobre la fijación por parte del alginato hacia los embriones de *H. elongata*, lo que motiva a considerar una continuación del estudio en relación con este aspecto.

Por otro lado, los datos de altura con respecto al nivel del mar o los grados de inclinación no revelan una relación clara con el número de individuos en los cuadrantes. En cambio, las fotografías sí evidencian una asociación entre la cantidad de juveniles encontrados en los cuadrantes con el grado de exposición al oleaje y el manto de algas de la familia Corallinaceae, con una mayor presencia en áreas menos expuestas y con mayor presencia de Corallinaceae y

una menor en zonas más expuestas o donde las algas de la familia Corallinaceae no son tan abundantes. Este patrón podría estar relacionado con la capacidad de fijación de los rizoides al sustrato, reflejando la facilidad de éstos para fijarse en sustratos con Corallinaceae o en zonas más protegidas. Este resultado motiva la consideración de futuros estudios para profundizar en la capacidad de fijación de los embriones en el mar.

## 11. Conclusión

Se han cumplido los objetivos relacionados con la morfología y fenología según el sexo y la reproducción de *Himanthalia elongata* en las localidades seleccionadas de Galicia, a excepción de Ribadeo, donde no se encontraron ejemplares en la zona correspondiente a esta cofradía ni en áreas cercanas. Se han observado diferencias visibles a simple vista y microscópicas entre los reproductores femeninos y masculinos, destacando que los primeros son de color más oscuro, más rugosos y gruesos que los segundos. Además, se ha identificado el periodo de mayor madurez de los reproductores, que se sitúa entre finales de agosto y septiembre.

Se han desarrollado protocolos exitosos para la liberación de gametos de *H. elongata* y su consiguiente fecundación. El seguimiento de los embriones ha revelado que esta especie exhibe características propias de una estrategia de la *r*, ya que con un número reducido de reproductores es posible obtener una progenie numerosa que se desarrolla rápidamente, generando estructuras fijadoras o rizoides viables en menos de dos semanas.

Posteriormente, se llevó a cabo una siembra exitosa en el mar con los embriones que desarrollaron rizoides. La cuantificación de los juveniles resultantes de esta siembra, a través de cuadrantes de 10x10 cm, demostró una mayor proliferación en áreas de la roca cubiertas y con un "manto" de Corallinaceae en comparación con zonas más expuestas al oleaje y menos Corallinaceae.

Esta experiencia abre la puerta a, al menos, dos posibles continuaciones de estudio: determinar la posible toxicidad o influencia en la refijación del alginato sobre los embriones de *Himanthalia elongata* y establecer la relación entre la exposición al oleaje y la cantidad de Corallinaceae en el sustrato con la fijación de los embriones.

## 12. Referencias

- Gallardo, T. & Pérez-Ruzafa, M.I. (2000). Himanthaliaceae. In: *Flora phycologica iberica: Vol. 1 Fucales* (Gómez Garreta A, ed.). Murcia: Universidad de Murcia, pp.67-71.
- Lagos, V., & Cremades, J. (2004). Contribución al conocimiento de la biología del alga parda alimentaria *Himanthalia elongata* (Fucales, Phaeophyta) En las costas de Galicia. *Anales de Biología*, 26, 101-104.
- Llera González, E. M., & Álvarez Raboso, J. (2007). *Algas marinas de Asturias*. Consejería de Medio Ambiente, Oviedo.
- Morrissey, J., Kraan, S. & Guiry, M. (2001). *A guide to commercially important seaweeds on the irish coast*. Galway: Irish Seaweed Centre, Martin Ryan Institute, NUI.
- Muguerza, N., Arriaga, O., Díez, I., Becerro, M.A., Quintano, E. & Gorostiaga, J.M. (2022). A spatially-modelled snapshot of future marine macroalgal assemblages in southern Europe: Towards a broader Mediterranean region? *Marine Environmental*: 176. DOI: 10.1016/j.marenvres.2022.105592