

# **Análisis macro- y micro-geográfico de la fortaleza de sujeción del mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) en cultivo.**



**Trabajo Fin de Máster**

**Juan Ramón Suárez García.**

**Tutor: José Manuel Fernández Babarro.**

**Febrero 2016.**

## Agradecimientos

Me gustaría iniciar este trabajo con unas palabras de agradecimiento a todos aquellos que me han ayudado a que sea posible.

Primero, agradecer a mi tutor externo, el Dr. José Manuel Fernández Babarro, por todas las horas de ayuda y explicaciones empleadas y por hacer todo lo posible para prestarme su atención. Agradecerle su puesta de confianza en mí y su gran simpatía y cercanía desde el primer momento. Además de abrirme las puertas a su grupo de investigación para poder realizar mi trabajo final de máster bajo su tutela y en las instalaciones del Instituto.

Querría agradecerle a mi tutor académico, el Dr Rodolfo Barreiro de la Universidade da Coruña, la resolución de mis dudas y facilitarme los trámites burocráticos y académicos que se han tenido que realizar para presentar este trabajo.

Además, al personal del Grupo de Fisiología, Nutrición y Cultivo de Moluscos Bivalvos (ESMABA) del Instituto de Investigaciones Marinas, por tratarme como uno más, y sobre todo, a Elsi por sus explicaciones y ayuda con el tratamiento de las muestras.

Debo mencionar a mi compañero de laboratorio Hamza por su compañía y ayuda en los momentos más pesados y tediosos de laboratorio. Suerte con el desarrollo de tu trabajo amigo.

También al resto de personas que han colaborado en cierto modo en este trabajo y que he ido conociendo, entre ellas a los bateiros con los que hemos realizado las salidas al mar que han contribuido a conocer de otro punto de vista no científico los aspectos interesantes para este trabajo y a Toni por su simpatía.

Por último, agradecer a mi pareja Aurora, a mi familia y amigos por su apoyo y amor.

# Índice

1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	4
2.1 Generalidades de <i>Mytilus galloprovincialis</i> e importancia de su cultivo.....	4
2.2 El biso y su importancia para la supervivencia.....	4
2.3 Especies asociadas al cultivo de mejillón.....	7
3. Objetivos.....	10
4. Materiales y métodos.....	11
4.1 Lugar y método de muestreo.....	11
4.2 Fuerza de fijación y tenacidad .....	12
4.3 Medidas de laboratorio.....	13
4.4 Índice de Condición.....	14
4.5 Especies asociadas al cultivo de mejillón.....	14
4.6 Análisis estadístico.....	17
5. Resultados.....	18
5.1 Tenacidad.....	18
5.2 Índice de Condición.....	21
5.3 Especies asociadas al cultivo.....	23
6. Discusión.....	27
7. Conclusiones.....	31
8. Bibliografía.....	33

## 1. Resumen.

Se ha investigado el efecto de la localidad y profundidad de cultivo en la fortaleza de fijación del mejillón *Mytilus galloprovincialis* cultivado en batea y el estado de los tejidos blandos (índice de condición). Para ello se ha escogido la Ría de Arousa que presenta la mayor concentración de bateas de todas las Rías Baixas. Se examinó el efecto macro-geográfico (estudio de cinco bateas desde la boca al interior de la Ría) y a escala micro-geográfica (seis profundidades dentro de cada batea a lo largo de la cuerda de cultivo).

Los resultados corroboran la importancia de la localización del cultivo en los parámetros investigados. La situación geográfica del sistema de cultivo (batea) influye significativamente en la tenacidad del biso y en su condición, es decir en el estado de los tejidos blandos o vianda. Se ha constatado que en las bateas más externas los organismos se adhieren a las cuerdas de cultivo y entre sí con una mayor tenacidad debido a la necesidad de enfrentarse a condiciones abióticas más adversas, especialmente respecto al oleaje o medio hidrodinámico. Sorprendentemente, los mayores valores de tenacidad están en relación con los mayores índices de condición de los organismos analizando específicamente la localidad de cultivo (Ribeira; externa norte). Este hecho supone que en esta localidad experimental los recursos nutricionales asociados a la corriente marina han de ser extraordinarios para que los organismos destinen energía tanto a estructuras de protección (fortaleza de sujeción) como a crecimiento en tejidos blandos. Las diferencias en tenacidad son de menor importancia para el resto de las localidades de cultivo analizadas. Es importante resaltar que aun obteniendo unos valores de fortaleza de sujeción inferiores en el resto de localidades de cultivo, esto no implica que el crecimiento en tejidos blandos sea mejor, al contrario, los valores de condición se mantienen también inferiores. Esto supone una limitación energética asociada al ambiente en estas localidades, que puede provocar mayor riesgo de desprendimientos en las zonas de cultivo más interiores como consecuencia de procesos tormentosos o ambientes adversos.

La profundidad no influye significativamente en la tenacidad de los mejillones como factor independiente, a diferencia de lo que ocurre en la condición, que presenta un mayor porcentaje de tejidos blandos en los primeros metros de las cuerdas de cultivo. No obstante, para localidades de cultivo específicas, en el gradiente externo-interno de la Ría, se observan diferencias en la tenacidad asociadas a la profundidad de cultivo.

Este estudio contempla además, la caracterización de la fauna asociadas a cada localidad de cultivo y en función de la profundidad, para un mejor conocimiento de la co-existencia del mejillón con otros organismos y sus posibles implicaciones en su cultivo.

**Palabras clave:** *Mytilus galloprovincialis*, tenacidad, fuerza de fijación, índice de condición, batea, profundidad, especies asociadas.

## 2. Introducción.

### 2.1. Generalidades de *Mytilus galloprovincialis* e importancia de su cultivo.

El mejillón *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) (Phylum Mollusca, Clase Bivalvia, Orden Mytiloidea, Familia Mytilidae), es cultivado con éxito en las Rías Baixas (Galicia, noroeste de España) mayoritariamente, aunque también en las Rías Altas, por ejemplo Ría de Ares-Betanzos, teniendo una gran importancia económica en la región. Este tipo de cultivo representa una producción total de alrededor de 250000 toneladas (T) de mejillón al año, que se corresponde con el 98% de la producción total en España, 40% de la europea y el 15% de la mundial (Pérez Camacho et al. 1995; Labarta et al. 2004). La combinación de un sistema de upwelling favorable durante la primavera-verano y la morfología de la costa gallega están en la base para la excepcionalidad del cultivo de mejillón en batea en nuestras costas (Álvarez Salgado et al 2010).

La Ría de Arousa como zona seleccionada para este estudio, representa la principal área geográfica para la producción de mejillón en cultivo tanto por extensión como por volumen de unidades de cultivo (batea), que supone las tres cuartas partes de la producción gallega, en donde se ubican aproximadamente 2200 bateas.

*Mytilus galloprovincialis* es un importante recurso marino cultivado en Galicia, proporcionando puestos de trabajo para 11500 personas y generando 420 millones de euros anuales (Santaclara et al. 2007). Más de 3000 bateas se utilizan para cultivar este mejillón autóctono a lo largo de la costa gallega, con un impacto socio-económico extraordinario en la zona. Esta significativa industria se lleva a cabo gracias al sistema de bateas, que necesitan recolectar una gran cantidad de semilla, 7500 T por año, antes de su transporte a ellas (Pérez Camacho et al. 1995). Además, se trata del molusco más representativo y comercializado en el mercado español. Según un estudio realizado por el FROM, con datos referidos a 2005, refleja que el 73% de los hogares españoles declaran comprar este producto, que de alto valor nutricional, es el marisco más popular y asequible. Posee gran interés nutricional y gastronómico; destacan, entre otras propiedades, su poca grasa, mucho calcio y un alto valor proteico.

Debido a tal importancia económica, social y gastronómica, es de gran relevancia realizar estudios que reflejen las diferentes localizaciones del cultivo y como a través de las características ambientales abióticas y/o bióticas específicas, los valores óptimos de biomasa y supervivencia pueden estar asegurados.

### 2.2. El bicho y su importancia para la supervivencia.

La supervivencia de los organismos sésiles depende principalmente de su habilidad para soportar las fuerzas hidrodinámicas asociadas a la acción del oleaje o velocidad de corriente. En hábitats extremos expuestos al oleaje, las olas al romper pueden generar velocidades de hasta  $15\text{ms}^{-1}$  y aceleraciones de  $400\text{ms}^{-2}$ , generando grandes fuerzas hidrodinámicas que desafían la fuerza de sujeción de los organismos intermareales sésiles (Jones & Demetropoulos 1968; Denny 1985, 1988; Denny et al. 1985; Bell & Denny 1994; Gaylord 1997).

El cultivo de mejillón se sustenta, en gran medida, en la recolección de semilla, individuos juveniles, desde zonas expuestas de las Rías en la franja intermareal pero también a partir de colectores que los productores colocan en la batea durante la época de desoves de los mejillones adultos. Los mejillones son organismos sésiles y gregarios capaces de soportar desafíos hidrodinámicos gracias a la bisogénesis, es decir, la capacidad de secretar una estructura extracelular denominada biso, una serie de hilos de tipo proteína colágeno secretados a través del surco ventral del pie (Yonge 1962; Price 1983; Waite 1992) que les permite adherirse al substrato y evitar el desalojo en su entorno, con el fin de asegurar su supervivencia. Los filamentos de biso de mejillón aseguran, por lo tanto, la propia supervivencia de la especie en la franja litoral desde donde son extraídos para su cultivo en batea, pero también el propio cultivo submareal en batea, ya que la especie es capaz de generar, de forma innata, este pegamento natural sin necesidad de establecer jaulas u otras estructuras como ocurre con el cultivo de peces. A través de esta secreción de biso los mejillones aseguran su dominancia por el espacio intermareal rocoso de gran hidrodinamismo (Paine 1974; Suchanek 1978; Seed & Suchanek 1992). Cada hebra o filamento de biso se une a una raíz común (tallo), que se conecta al músculo retractor del biso (Brown 1952), y distalmente al substrato a través de la placa adhesiva, estableciendo el punto de anclaje (Figura 1).

Como fue descrito originalmente por Brown (1952), el aparato bisal está compuesto por tres partes distintas:

- El tallo, que está embebido en la región basal del pie y está unido a los músculos retractores del biso.
- El pie, como órgano secretor de los filamentos.
- Los hilos de biso, que se extienden del pie en varias direcciones, principalmente en disposición radial (Figura 2), sujetos al substrato por placas adhesivas. Estos hilos tienen una parte proximal caracterizada por proteínas tipo colágeno y restos de elastina, que les proporciona la capacidad de extensibilidad, y una parte distal rígida de colágeno mayoritariamente, entre otras (Figura 3).

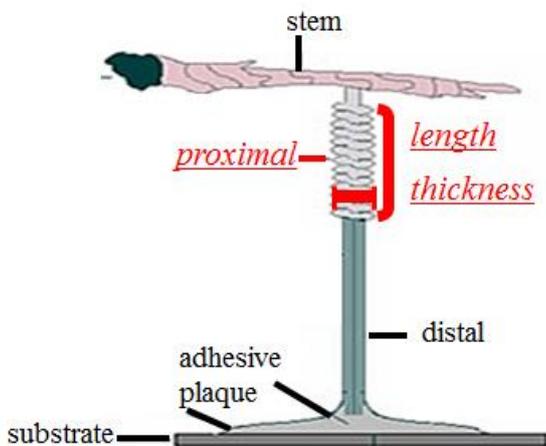
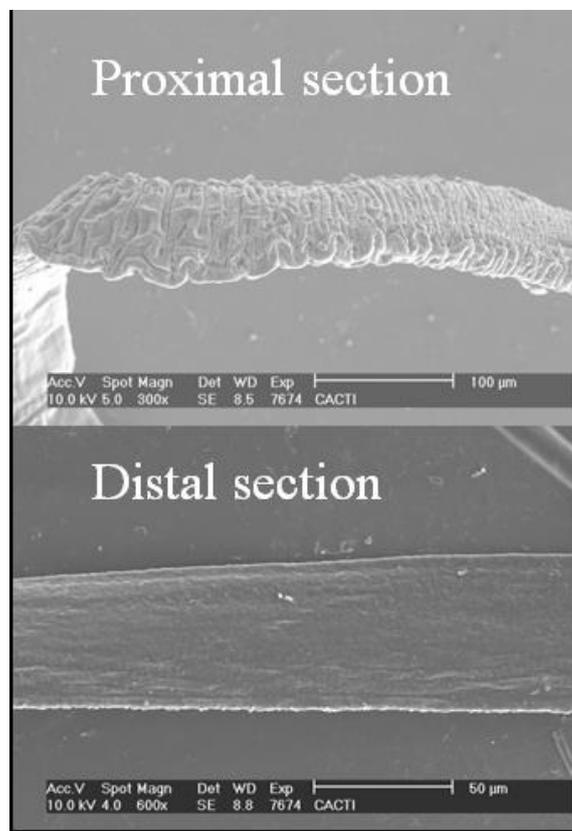


Figura 1. Estructura del aparato bisal.



Figura 2. Disposición radial de los hilos de biso.



**Figura 3.** Imágenes de microscopía electrónica que muestran la parte proximal (elástica y rugosa) y distal (lisa y rígida) del biso, pudiendo observarse las diferencias morfológicas.

Las diferencias morfológicas entre distintas regiones de los filamentos del biso guardan relación con diferentes valores de composición bioquímica y por supuesto, de funcionalidad.

Estos hilos de biso deben ser reemplazados continuamente debido a que dejan de ser operativos en sus propiedades mecánicas con el tiempo, después de unas 4-6 semanas (Carrington 2002; Moeser & Carrington 2006). Este proceso de sustitución de hilo puede representar en torno al 8-15% del gasto energético total del mejillón (Hawkins & Bayne 1985), y se lleva a cabo durante toda su vida.

La bisogénesis de diferentes especies del género *Mytilus* varía con un gran número de factores como la temperatura (Allen et al. 1976), la salinidad y la velocidad del agua (Van Winkle 1970), agitación (Young 1985), la tensión de oxígeno (Widdows & Bayne 1971), la acción del oleaje (Price 1982; Bell & Gosline 1997; Hunt & Scheibling 2001), ritmos circadianos y de marea (Martella 1974), las respuestas de actividad frente a depredador (Leonard et al. 1999) o los cambios estacionales en la asignación de recursos energéticos a los procesos vitales de los individuos, es decir, la reproducción (Carrington 2002).

La productividad del cultivo de mejillón está asegurada a través de la fuerza con la que los individuos se anclan a la cuerda de cultivo y ésta, depende en primera instancia del número de hilos de biso producidos (Brenner & Buck 2010). De forma secundaria, otros parámetros como el diámetro del biso y las propiedades mecánicas de los filamentos presentan también importancia en la fortaleza final de la estructura (Bell & Gosline 1996; Carrington 2002).

Una débil fuerza de fijación del biso puede que coincida con período de tormentas o ambientes hidrodinámicos limitantes y puede ocasionar desprendimientos de la producción de las cuerdas

de cultivo y, por lo tanto, de pérdida de biomasa para comercializar que no se recupera (Mallet & Myrand 1995; Inglis & Gust 2003).

Los diferentes ambientes dentro de la misma zona de cultivo pueden causar cambios fenotípicos en los parámetros corporales de los mejillones como grosor de concha, así como otros valores morfométricos tales como longitud, anchura y altura de concha (Raubenheimer & Cook 1990; Akester & Martel 2000; Steffani & Branch 2003; Beadman et al. 2003; Babarro & Carrington 2011). Este hecho, en ocasiones provoca cambios en los patrones de distribución de energía que el organismo realiza hacia las estructuras de protección (biso y concha), respecto a otros tejidos corporales como la vianda o tejido blando. El ratio derivado de la relación entre peso de concha y tejido blando se usa habitualmente como índice de condición (IC) o condición, y nos permite disponer de una estima a partir de la cual inferir el grado de distribución de energía que los organismos realizan a una u otra estructura.

Los desequilibrios o limitaciones en esta distribución de energía entre la estructura de la concha y los tejidos blandos, tejidos reproductivos y fuerza del biso, suelen ser más comunes en zonas litorales con limitación de disponibilidad de alimento (procesos mareales con exposiciones periódicas al aire o emersión), respecto a ambientes con abundantes recursos en la zona submareal (Lachance et al. 2008).

El ecosistema Rías Gallegas se caracteriza por una amplia variabilidad respecto a las condiciones ambientales en que el cultivo de mejillón se desarrolla. Zonas internas y externas de las Rías representan habitualmente ambientes muy diferentes tanto a nivel de condiciones nutricionales como respecto al hidrodinamismo, velocidad de agua, oleaje, etc, que los individuos han de soportar. La formación de biso y su funcionalidad (fortaleza de sujeción) en tales circunstancias ha de establecerse acorde el régimen de corrientes local para asegurar la supervivencia (Price 1982; Bell & Gosline 1997; Carrington 2002).

### **2.3. Especies asociadas al cultivo de mejillón.**

En general, existe una escasez de estudios sobre la fauna asociada al cultivo de mejillón y sus potenciales efectos sobre los individuos cultivados. Como ya se ha especificado, este cultivo presenta un gran impacto económico, social y gastronómico, por lo que un conocimiento más exhaustivo del conjunto de especies marinas que habitan las zonas de cultivo puede ser de relevancia para explicar las respuestas de los organismos en cultivo. La coexistencia entre organismos y sus interacciones representan un factor biótico de relevancia para caracterizar al ecosistema, pudiendo verse modificada la biología de las especies presentes en él. El mejillón en las cuerdas de cultivo ofrece un substrato como hábitat para distintos organismos, pero dada su actividad filtradora y su elevada tasa de biodeposición, solo los detritívoros y predadores parecen desarrollarse con éxito (Román G. & Pérez A. 1982), mientras que los organismos filtradores pueden ejercer procesos de competencia por espacio y/o alimento.

Además, debemos tener en cuenta que sólo tienen acceso a las cuerdas de cultivo los organismos bentónicos con capacidad de natación y las larvas planctónicas de los organismos del bentos, siendo importante el contagio y colonización de especies por el contacto con cuerdas próximas. En nuestro estudio, se ha incluido la caracterización de las especies asociadas al cultivo del mejillón en las distintas bateas con especial relevancia para el caso de la epifauna.

Por tanto, se pretende analizar en este estudio la abundancia de las especies mayoritarias a simple vista (macro-fauna) y en mayor proporción asociadas al cultivo. Estas especies son:

- *Actinothoe sphyrodeta* (Gosse, 1858) Cnidaria, Anthozoa, Actinaria.
- *Balanus perforatus* (Bruguière, 1789) y *Balanus crenatus* (Bruguière, 1789), tratados como *Balanus spp.* Arthropoda, Crustacea, Cirripeda.
- *Caprella mutica* (Schurin, 1935). Arthropoda, Crustacea, Amphipoda.
- *Ciona intestinalis* (Linnaeus, 1767). Chordata, Tunicata, Ascidacea.
- *Pisidia longicornis* (Linnaeus, 1767). Arthropoda, Crustacea, Decapoda, Anomura.
- *Sarsia eximia* (Allman, 1859). Cnidaria, Hydrozoa, Anthoathecata.

Entre estas especies destacan las sésiles y filtradoras que compiten por espacio y/o alimento con *Mytilus galloprovincialis*, como son *Actinothoe sphyrodeta*, *Ciona intestinalis*, *Sarsia eximia* y *Balanus spp*, ésta última además podría considerarse como la que más peso "extra" puede añadir sobre la concha de los moluscos.

La anémona urticante *Actinothoe sphyrodeta* ha aparecido publicada en prensa (DiariodeArousa.com, La Voz de Galicia, Faro de Vigo, 22/8/2013), como consecuencia del boom o proliferación masiva que esta especie ha presentado en determinadas localidades de cultivo en la Ría de Arousa en el verano de 2013. Experimentación preliminar sobre su potencial efecto en el mejillón cultivado, ha puesto de manifiesto que el mejillón *Mytilus galloprovincialis* no puede extender el órgano secretor del biso (pie) apropiadamente para generar los filamentos en presencia de esta anémona, posiblemente como consecuencia de una quimiotaxis negativa al entrar en contacto ambas especies. Esta especie de anémona tendría, por lo tanto, algún tipo de efecto urticante negativo para la secreción óptima de filamentos del biso. Obviamente, el impacto potencial para el mantenimiento de los mejillones en cultivo puede ser extraordinariamente negativo si esta presencia es masiva e impredecible. La reducción del potencial de generar biso en condiciones de presencia masiva de esta especie se ha estimado experimentalmente en un 50% (datos preliminares propios, no publicados).

*Caprella mutica* (camarón invasor japonés) y *Pisidia longicornis* son especies móviles que habitan entre los hilos de biso en las zonas más internas de las piñas de mejillón, de las cuales se desconoce algún efecto negativo sobre la generación de filamentos del biso en situación de cultivo. Fernández et al. 1990 han estudiado la abundancia y distribución de *Pisidia longicornis*

en relación con la dinámica de cultivo de mejillón en la Ría de Arousa, concluyendo que es el componente principal de la epifauna asociada al cultivo, con máxima abundancia en las bateas más externas y entre 5-10 m de profundidad, pero no hay más datos que permitan hipotetizar sobre su efecto en el ciclo del cultivo de *Mytilus galloprovincialis*.

### 3. Objetivos.

Debido a la importancia del cultivo del mejillón en Galicia (véase Introducción) y al desconocimiento que existe de la capacidad de sujeción del mejillón en las estructuras de cultivo en un amplio rango de variabilidad espacial en la Ría de Arousa, se pretende analizar en detalle la fuerza que el tejido bisal genera *in situ* y se proponen los siguientes objetivos:

- Analizar la variabilidad macro- y micro-geográfica de la fortaleza bisal de los mejillones en cultivo, considerando para ello el gradiente exterior (más oceánico) - interior de la Ría.
  
- Investigar el estado de los tejidos blandos de los individuos (índice de condición), y establecer hipotéticos procesos de trade-off (restricciones energéticas) entre estructuras de protección como es la fortaleza bisal y la condición de los individuos en cada zona de cultivo.
  
- Establecer la importancia de cada uno de los factores investigados localización de cultivo vs. profundidad de cuerda.
  
- Caracterizar las especies asociadas a cada localización de cultivo (batea), analizando los posibles efectos que pueden tener sobre el cultivo de mejillón.

## 4. Materiales y métodos.

### 4.1. Lugar y método de muestreo.

El lugar de estudio se centra en la Ría de Arousa (Pontevedra, Galicia, noroeste de España). Esta Ría presenta la mayor densidad de bateas de todas las Rías Gallegas (ver Introducción) y en ella se han seleccionado cinco bateas correspondientes a diferentes polígonos para estudiar las respuestas de los mejillones en cultivo. La localización de las bateas a estudiar obedece a un gradiente externo-interno en toda la Ría, desde zonas externas (de influencia más oceánica) a más internas o influidas por la desembocadura del Río Ulla (ver Tabla 1 y Figura 4).

BATEA	1. Ribeira (externa norte)	2. O Grove (externa sur)	3. Illa de Arousa (fuera)	4. Illa de Arousa (dentro)	5. Vilagarcía (interna)
LAT	42° 31.059' N	42° 29.576' N	42° 33.508' N	42° 34.790' N	42° 36.02' N
LON	8° 59' W	8° 55.869' W	8° 54.564' W	8° 51.960' W	8° 49.587' W

Tabla 1. Coordenadas de bateas en estudio

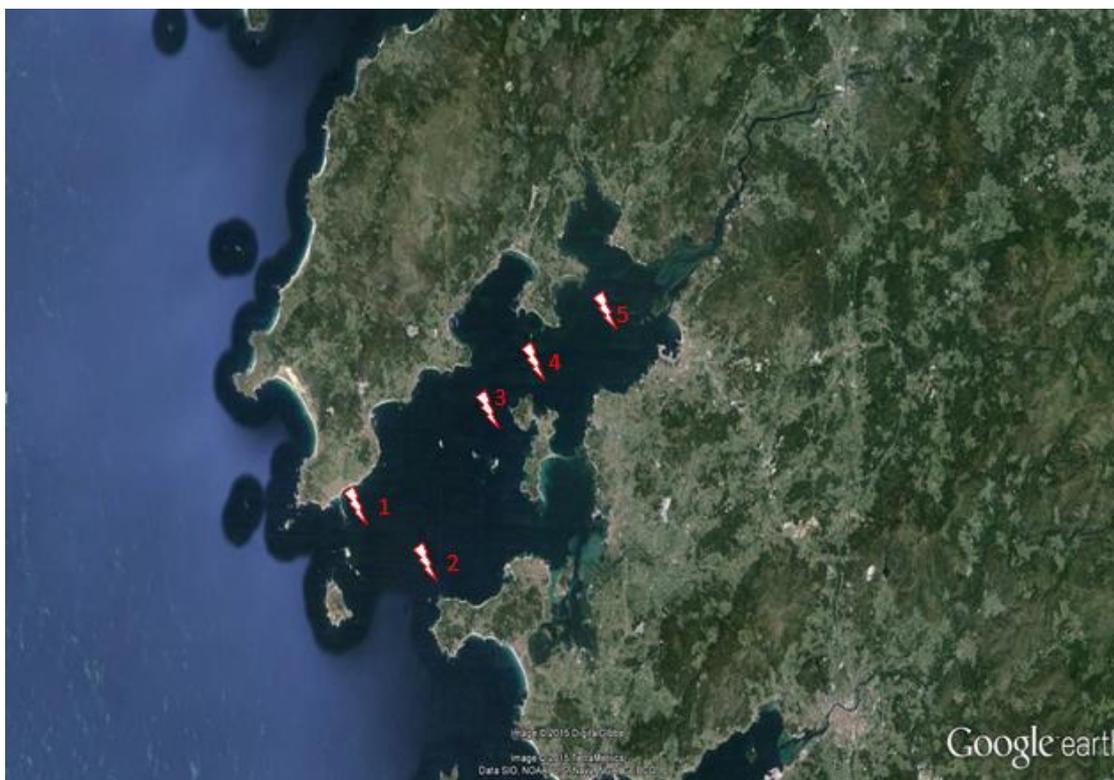


Figura 4. Localización geográfica de bateas en estudio

La recogida de datos de este estudio se lleva a cabo en el mes de noviembre 2015. El grupo de investigación realiza un proyecto plurianual que incluye el seguimiento de un cultivo de mejillón manteniendo pautas de cultivo comercial en las diferentes localidades anteriormente mencionadas. En el muestreo de noviembre, en cada una de estas cinco bateas se ha procedido a levantar una cuerda de cultivo, la cual dividimos en seis profundidades con el objetivo de analizar las variables respuesta fortaleza de sujeción e índice de condición a lo largo de la cuerda: 1, 3, 5, 7, 9 y 11 metros. Esta primera medida se realiza para disponer de

una información más detallada a lo largo de la cuerda de cultivo. *A posteriori* estas profundidades pueden ser agrupadas entre 0-6 y 6-12 metros por el hecho que la capa fótica más superficial (incidencia de intensidad lumínica, abundancia de nutrientes, variabilidad de temperatura...), puede ofrecer mayor información, para el análisis estadístico y una hipotética mejor visualización de los resultados. En cada profundidad se considera un total de 10 individuos para estimar *in situ* la fuerza de fijación. Los mejillones muestreados, una vez retirados de la cuerda de cultivo, se guardan en neveras con control de temperatura para su posterior análisis morfométrico y de condición en el laboratorio. Se toman un total de 60 medidas por batea (10 por profundidad), que hacen un total de 300 muestras.

Para los análisis de fortaleza de biso, los individuos fueron seleccionados al azar tendiendo a ser homogéneos respecto a su tamaño, y están espaciados suficientemente en la piña de mejillón para no verse afectados por las anteriores mediciones, debido al hecho que los mejillones adyacentes entrelazan sus filamentos de biso, y la rotura de un ejemplar afecta a la fortaleza de fijación de su vecino. Referente al tamaño de los individuos, y debido al ciclo de cultivo del mejillón, el rango de tallas disponible para su análisis es de 50-70 mm de longitud de concha a lo largo de la cuerda de cultivo.

#### 4.2. Fuerza de fijación y tenacidad.

La fuerza de fijación o fortaleza de adhesión del biso al substrato (cuerda de cultivo) se estimó como la fuerza necesaria para separar los mejillones del substrato rompiendo los filamentos. La funcionalidad del biso o fortaleza de adhesión varía en función de las propiedades mecánicas y bioquímicas de los hilos secretados y se mide como Newtons (1 kg = 9,81 N). La medida se obtiene mediante la unión al margen posterior de la concha de cada individuo de un medidor con resorte (Figura 5) y escala de medida como se observa en la Figura 6 (Dinamómetro Digital Force Gauge DN431 Cáceres, Spain resolución de 0,01 N) con la medida de retención de pico máximo generado. Una vez conectado el mejillón con el dinamómetro, se ejerce tensión perpendicularmente al substrato debido a la habitual disposición radial de los filamentos del biso (Figura 2), hasta que se observa que los hilos de biso llegan hasta el máximo de extensión y ocurre la rotura, habitualmente después de 1-3 segundos (Bell & Gosline 1997; Babarro & Carrington 2011).

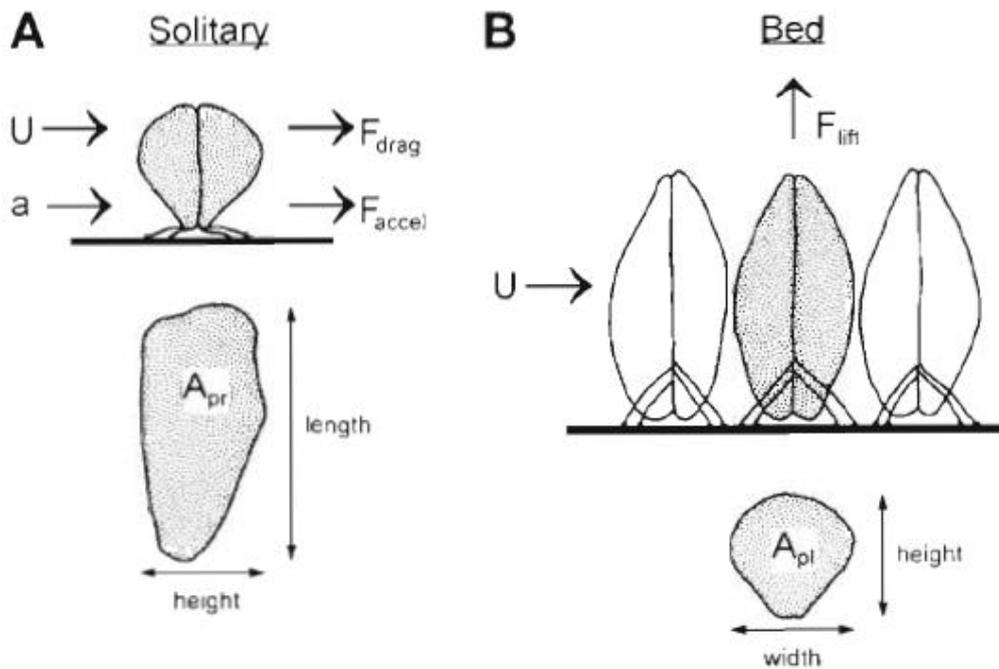


Figura 5. Aparato medidor de fuerza de fijación (Dinamómetro).



Figura 6. Método de obtención de valores de fuerza de fijación.

La razón por la que se toma la medida de fortaleza del biso ejerciendo fuerza perpendicular al substrato se ilustra en la Figura 7. Si el mejillón se encuentra en solitario (lo cual es muy improbable), se asume que las fuerzas hidrodinámicas actúan en la dirección del flujo, siendo la suma de fuerzas de arrastre ( $F_{drag}$ ) y aceleración ( $F_{accel}$ ). Si se encuentran en piña (como es nuestro caso, así como en situación intermareal sobre el substrato rocoso), la tensión se ejerce perpendicular al substrato ya que es este tipo de tensión la que se ejerce sobre el individuo en su medio ( $F_{lift}$ ), como consecuencia de la disposición radial del biso (Figura 2).



**Figura 7.** Representación de las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre los mejillones. **A)** Un individuo solitario experimenta fuerzas en dirección del flujo, debido a la fuerza de arrastre  $F_{drag}$  y la de aceleración  $F_{accel}$ . Al estar orientado hacia el flujo,  $A_{pr}$  es el área sobre la cual actúa el arrastre y es definida por largo y alto de la concha. U: velocidad del agua; a: aceleración del agua. **B)** Los mejillones dispuestos en agregados o piñas se ven sometidos a fuerza de desalojo  $F_{lift}$ , perpendicular a la dirección del flujo. El área donde actúa esta fuerza es  $A_{pl}$ , definida por alto y ancho de concha. Figura tomada de Bell & Gosline, 1997.

#### 4.3. Medidas de laboratorio.

Una vez visitadas todas las bateas que incluye nuestro estudio y recogidas las medidas de fuerza de fijación, se trasladan los individuos identificados por batea y profundidad a las instalaciones del Instituto de Investigaciones Marinas de Vigo (CSIC-IIM), en donde se colocan en tanques con circuito abierto para su procesado en los días siguientes.

Los valores morfométricos de los mejillones muestreados se miden en el laboratorio. Estas medidas incluyen: longitud de la concha (distancia anterior-posterior), altura (dorsal-ventral) y el ancho (lateral). Se usan calibres pies de rey, para medir las distancias (mm). Asumiendo que los mejillones en piña se orientan con su eje mayor perpendicular al substrato (ver Figura 7), el área de la concha que ofrece el molusco a la corriente en su disposición natural se aproxima a una elipse con el eje mayor y menor correspondiendo al alto y ancho de la concha, respectivamente.

Al ser una muestra heterogénea en cuanto al tamaño (longitud de concha) de los individuos (50-70 mm), el análisis del área de concha es fundamental para homogenizar la fortaleza de sujeción al substrato *in situ*. Debido al hecho que la fortaleza de sujeción está íntimamente ligada al tamaño corporal (mayor tamaño, mayor fortaleza asociado al espesor de los filamentos del biso que también se incrementan con el tamaño individual), y considerando la superficie de la concha de mejillón sobre la que impacta la corriente marina, se logra obtener una medida independiente del tamaño de mejillón (Bell & Gosline 1997; Carrington et al. 2009), es decir, la tenacidad. Por lo tanto el valor de la tenacidad se define como ( $N\ m^{-2} \times 10^{-4}$ ) (Denny 1987) como fuerza de fijación registrada por área de concha de mejillón, y es el valor que usaremos en este estudio para propósitos comparativos.

#### **4.4. Índice de Condición.**

El índice de condición representa el ratio o relación entre el peso seco de concha y de tejidos blandos, y se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$IC (\%) = [\text{peso seco tejido blando} / \text{peso seco concha}] \times 100 \text{ (Freeman 1974).}$$

Sub-muestras de mejillón a la profundidad de 0-6 y 6-12 m se recogen de la misma cuerda de cultivo usada para el valor de fortaleza de fijación, con el objetivo de hacer seguimiento del crecimiento y la condición de los mejillones (período de cultivo marzo 2015-2016). Los individuos muestreados a 1, 3 y 5 m se agrupan en la profundidad 0-6 m mientras los individuos muestreados a 7, 9 y 11 m se integran en la profundidad 6-12 m. Las diferencias para el índice de condición por metro de cuerda son de menor importancia (datos previos no publicados), por lo que se decide realizar agrupaciones de sub-muestras para distinguir más claramente la capa fótica de las zonas más profundas. Una vez medidos los individuos, los tejidos blandos son diseccionados para determinar su peso seco además del de la concha. Se consideran 2 mejillones por réplica para obtener el índice de condición, y 5 réplicas para cada condición experimental. Las muestras de ambos tejidos por separado se secan a 110°C durante 48h en estufa. La medida de condición de los individuos nos permite disponer de una herramienta para inferir la cantidad de energía que en cada localidad de cultivo y/o profundidad los mejillones destinan al crecimiento en vianda, y en última instancia, los tejidos disponibles para su consumo.

#### **4.5. Especies asociadas al cultivo de mejillón.**

El estudio de las especies asociadas al cultivo de mejillón se lleva a cabo mediante la retirada de sub-muestras de piña de mejillón a diferentes profundidades de la cuerda, y el análisis de fotografía digital en laboratorio de las imágenes tomadas *in situ* de la cuerda de cultivo. El mismo número de localidades de cultivo y profundidades de cuerda detallado anteriormente fue utilizado para las imágenes digitales de las piñas de mejillón.

Para poder realizar un análisis estadístico de la abundancia de especies asociadas, se ha establecido un código de abundancia como variable cualitativa asignando valores de 0-4, siendo 0 ausencia y 4 máxima abundancia. En las Tablas 2-7 se representa con las fotografías obtenidas para cada especie la correspondencia en abundancia de cada valor, omitiendo el valor 0 (ausencia) y para algunas especies valores de abundancia que no se observaron *in situ*. Para cada profundidad analizada, se otorga a cada especie tres valores de abundancia a lo largo de cada sección de análisis, aproximadamente 1 m.

<b>Abundancia Anémona (<i>Actinothoe sphyrodeta</i>)</b>			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
			

**Tabla 2.** Escala de abundancia de *Actinothoe sphyrodeta*.

<b>Abundancia Ascidia (<i>Ciona intestinalis</i>)</b>			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
			<b>X</b>

**Tabla 3.** Escala de abundancia de *Ciona intestinalis*.

<b>Abundancia Balano (<i>Balanus spp</i>)</b>			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
			<b>X</b>

**Tabla 4.** Escala de abundancia de *Balanus spp*.

Abundancia Hidrozoo ( <i>Sarsia eximia</i> )			
1	2	3	4
			

Tabla 5. Escala de abundancia de *Sarsia eximia*.

Abundancia Cangrejo ( <i>Pisidia longicornis</i> )			
1	2	3	4
			<b>X</b>

Tabla 6. Escala de abundancia de *Pisidia longicornis*.

Abundancia Camarón japonés ( <i>Caprella mutica</i> )			
1	2	3	4
			

Tabla 7. Escala de abundancia de *Caprella mutica*.

#### **4.6. Análisis estadístico.**

Los análisis estadísticos de las variables respuesta se realizaron con el programa STATISTICA 7.0 (Statsoft Inc. USA).

Se han usado análisis de varianza ANOVA de dos vías para comprobar el efecto de la localidad de cultivo (término fijo con 5 valores: 1, 2, 3, 4 y 5) y la profundidad de cultivo (término fijo con 6 valores: 1, 3, 5, 7, 9 y 11 metros) en la tenacidad y la fauna asociada a cada factor de variabilidad. Los valores de índice de condición, están asociados al análisis de crecimiento de los mejillones para la serie temporal marzo 2015-2016, y se han analizado para los factores localidad de cultivo (ver arriba) y a dos profundidades 0-6 y 6-12 m. Las variables respuestas de los mejillones estimados en este estudio se muestran como valores promedio  $\pm$  error estándar (SE).

Se asume la independencia de los casos, y se comprueba la normalidad y homogeneidad de varianzas con el test de Shapiro-Wilk y con el test de Levene. Los grupos homogéneos se establecieron a posteriori con el test de Tukey. En caso de no obtener homogeneidad de varianzas, se usan tests no paramétricos de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney o se transforma la variable respuesta en logaritmos (log) o rangos (Transformación Rank) para poder realizar los análisis.

## 5. Resultados.

### 5.1. Tenacidad.

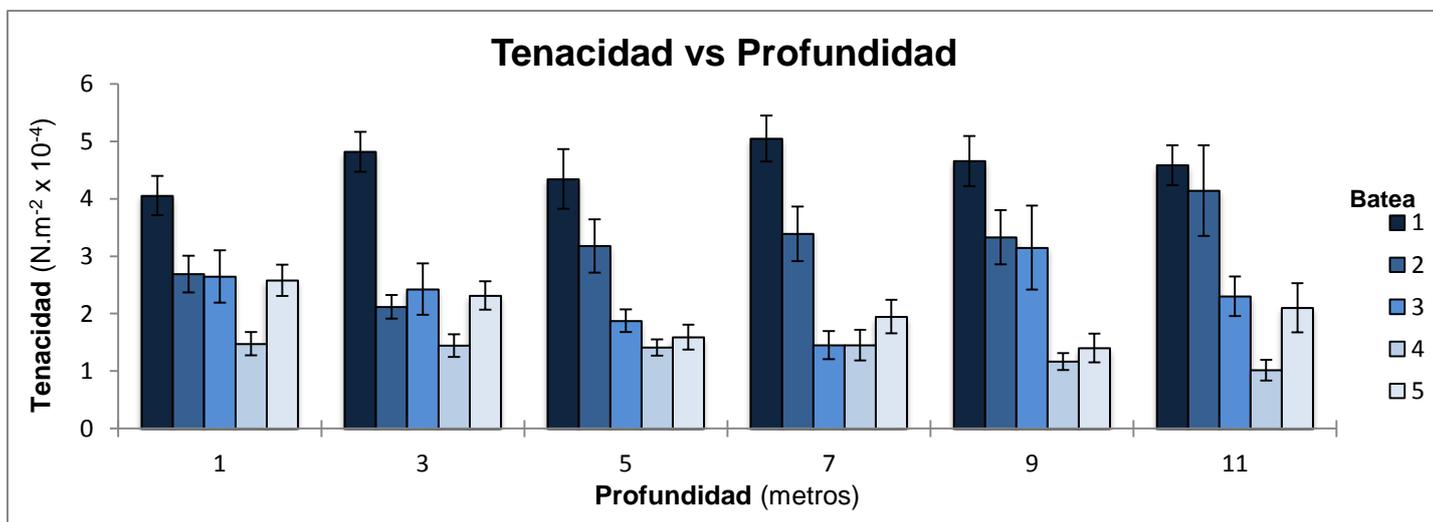
Los valores obtenidos para la tenacidad de mejillón en función de la localidad de cultivo y profundidad de cuerda para todas las bateas se muestran en la Gráfica 1, y en las Gráficas 2-6 se desglosan individualmente cada una de estas bateas en función de la profundidad. La Tabla 8 muestra los resultados estadísticos del ANOVA de dos vías para la variable respuesta tenacidad (valores transformados a rangos) frente a los factores, localización de la batea (1, 2, 3, 4 y 5) y profundidad de los mejillones en la cuerda de la correspondiente batea (1, 3, 5, 7, 9 y 11 metros).

Se ha observado un efecto significativo del factor batea ( $p < 0,001$ ) sobre la tenacidad, así como la importancia de la interacción de ambos, batea y profundidad ( $p=0,019$ ) (Tabla 8). El efecto de la interacción resalta el hecho de que ambos factores son dependientes, es decir, la importancia de la profundidad de cultivo depende de la localización.

Variable dependiente: tenacidad (Rank)				
Factor	dF	MS	F	p
Batea	4	261466,200	67,028	<0,001
Profundidad	5	1955,952	0,501	0,775
Batea x Profundidad	20	7055,382	1,809	0,019
Error	270	3900,825		

**Tabla 8.** ANOVA de dos vías con valores de tenacidad como variable dependiente, en función de localización de la batea y de la profundidad.

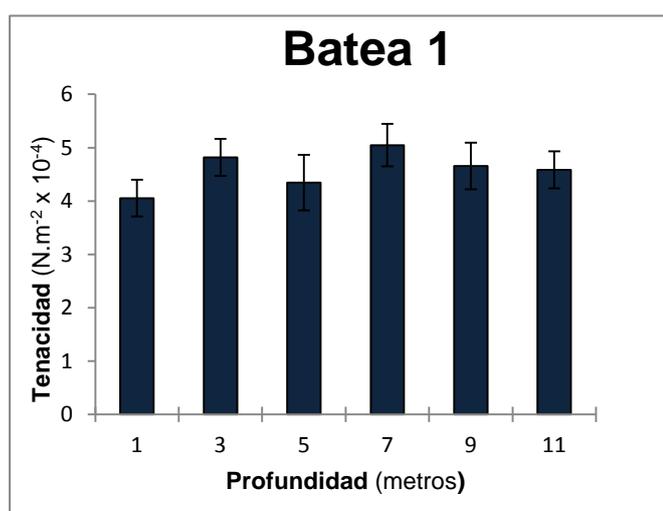
En la Gráfica 1 se ve claramente que el valor más bajo de tenacidad se encuentra en la batea número 4 (Arousa, dentro) con un rango de  $1.0-1.5 \text{ N.m}^{-2} (x10^{-4})$ , seguida de la batea más interna (5: Vilagarcía,  $1.5-2.6 \text{ N.m}^{-2} (x10^{-4})$ ), y aumentando los valores a medida que nos dirigimos a las bateas más expuestas en la boca de la ría, con máximos de tenacidad para la batea 1 (Ribeira, externa norte,  $4-5 \text{ N.m}^{-2} (x10^{-4})$ ). Como corroboran los análisis estadísticos, no se observa efecto de la profundidad (como factor independiente) en la tenacidad.



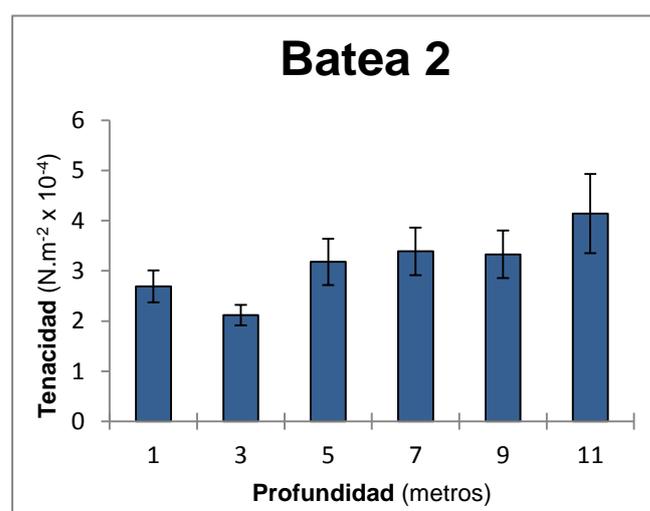
Gráfica 1. Representación de la tenacidad del mejillón ( $N.m^{-2} \times 10^{-4}$ ) frente a profundidad (metros) y para cada una de las bateas en estudio.

Las Gráficas 2-6 muestran la tenacidad de mejillón en cada una de las bateas individualmente frente a la profundidad, es decir, la Gráfica 1 pero desglosada por cada localidad de cultivo (batea). Como se ha citado anteriormente, los análisis estadísticos habían mostrado un efecto significativo de la interacción de ambos factores, batea y profundidad. Las Gráficas 2 y 5 indican que para la batea 1 (Ribeira, externa norte) y 4 (Arousa, dentro) respectivamente, la tenacidad se mantiene uniforme para todas las profundidades, mientras que para la batea 2 (O Grove, externa sur) (Gráfica 3) tiende a ascender la tenacidad con el aumento de la profundidad.

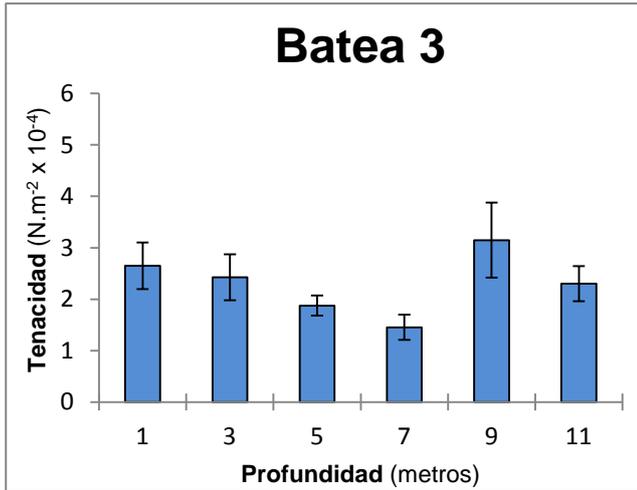
En las Gráficas 4 y 6 se observa, a diferencia de lo que ocurre en las bateas anteriores, que la tenacidad tiende a disminuir con la profundidad en las bateas 3 (Arousa, fuera) y 5 (Vilagarcía, interna), si bien este efecto puede considerarse de menor importancia respecto a la localidad de cultivo y no es constante para todo el rango de profundidades (Tabla 8).



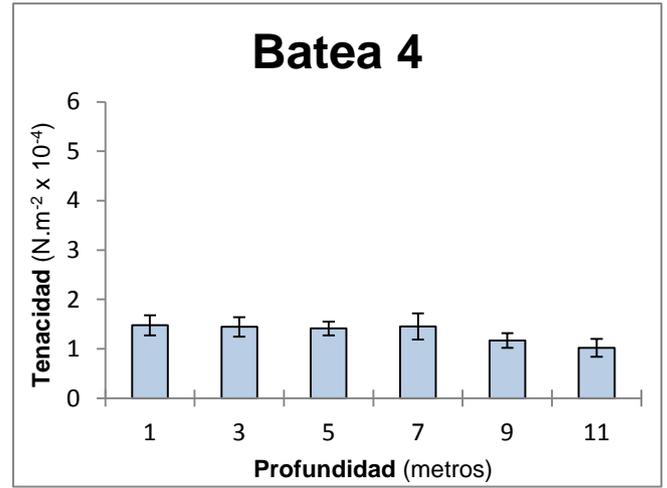
Gráfica 2. Representación de tenacidad de mejillón ( $N.m^{-2} \times 10^{-4}$ ) frente a profundidad (metros) para la batea 1.



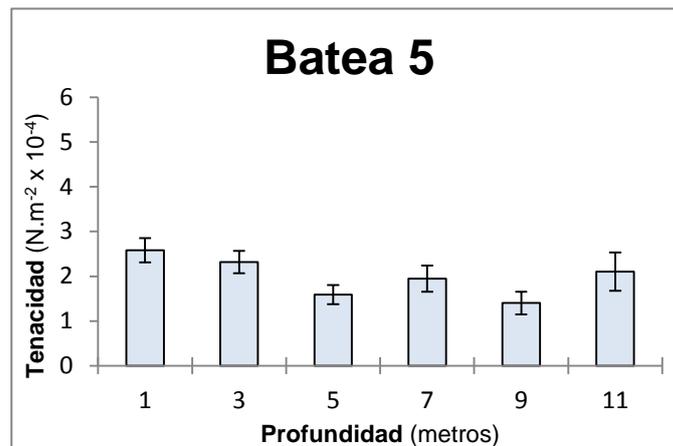
Gráfica 3. Representación de tenacidad de mejillón ( $N.m^{-2} \times 10^{-4}$ ) frente a profundidad (metros) para la batea 2.



**Gráfica 4.** Representación de tenacidad de mejillón ( $N.m^{-2} \times 10^{-4}$ ) frente a profundidad (metros) para la batea 3.



**Gráfica 5.** Representación de tenacidad de mejillón ( $N.m^{-2} \times 10^{-4}$ ) frente a profundidad (metros) para la batea 4.



**Gráfica 6.** Representación de tenacidad de mejillón ( $N.m^{-2} \times 10^{-4}$ ) frente a profundidad (metros) para la batea 5.

## 5.2. Índice de Condición (IC).

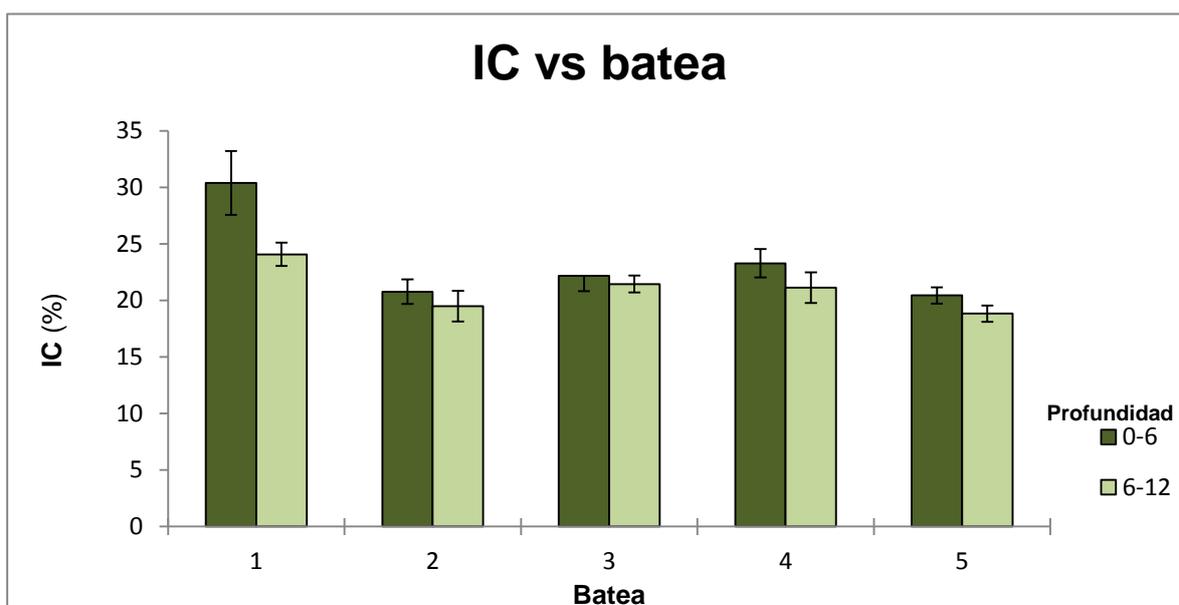
El valor porcentual del índice de condición (IC) de los mejillones en cultivo en las diferentes localidades de cultivo (bateras 1, 2, 3, 4 y 5) y profundidades (0-6 m y 6-12 m) se presentan en la Gráfica 7. Los resultados estadísticos del índice de condición respecto a los dos factores anteriores se muestran en la Tabla 9 mediante un ANOVA de dos vías (valores transformados a logaritmo).

Se ha destacado un efecto significativo de los dos factores batea ( $p < 0,001$ ) y profundidad ( $p = 0,021$ ), independientemente, sobre la condición de los mejillones.

Variable dependiente: índice de condición (log)				
Factor	dF	MS	F	p
Profundidad	1	0,108	5,770	0,021
Batea	4	0,120	6,439	<0,001
Batea x Profundidad	4	0,013	0,678	0,611
Error	40	0,019		

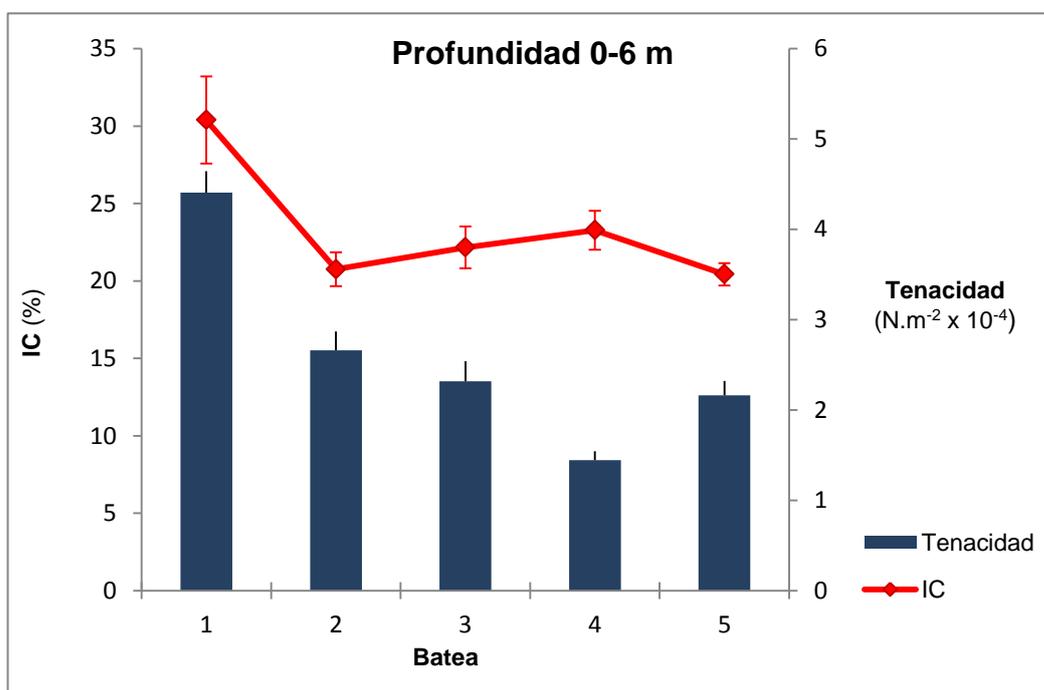
**Tabla 9.** ANOVA de dos vías con valores de índice de condición como variable dependiente, en función de localización de la batea y de la profundidad.

En la Gráfica 7 se observa claramente el efecto de la batea (Tabla 9), existiendo mayor IC en la batea 1 (Ribeira; externa norte; 30-40%), y siendo los valores de las demás bateras relativamente similares y más bajos (rango 19-23%). Se destaca también que en los primeros seis metros de profundidad se ha estimado un mayor IC que en los metros más profundos. Aunque el factor interacción se ha descrito como no significativo en el análisis estadístico, visualmente se puede destacar en la Gráfica 7 que el descenso del IC con la profundidad es de mayor intensidad para la batea 1 (Ribeira; externa norte).

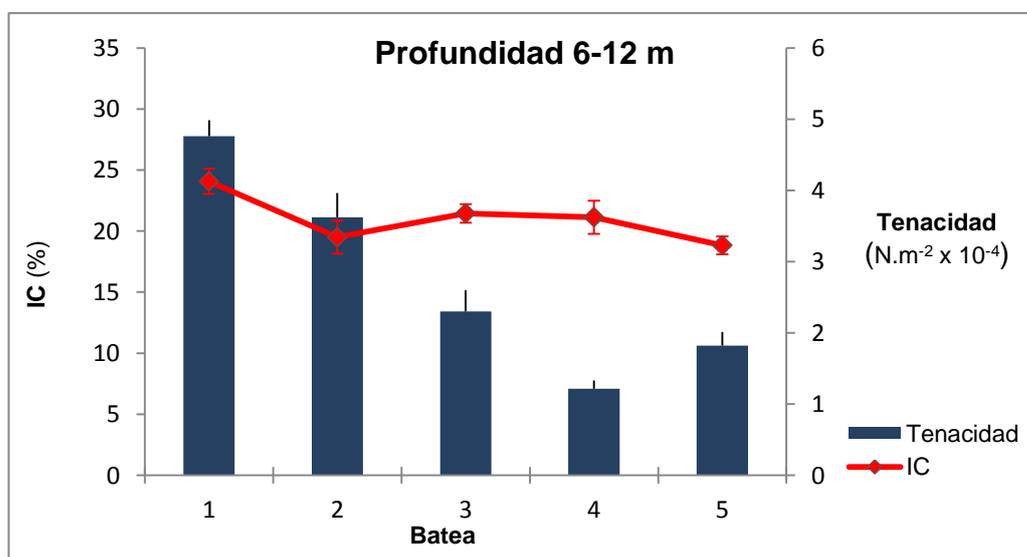


**Gráfica 7.** Representación de Índice de Condición (IC) frente a la batea para cada uno de los dos rangos de profundidad (0-6 y 6-12 metros).

En las Gráficas 8 (0-6 m) y 9 (6-12 m) se muestran conjuntas ambas variables dependientes estudiadas (tenacidad e índice de condición) frente al factor localidad de cultivo (batea). Se representan en los dos rangos de profundidades 0-6 y 6-12 m, y reflejan, de otra manera, los resultados comentados anteriormente. No se observa efecto significativo claro de la profundidad en el valor de la tenacidad promedio para las profundidades 1, 3 y 5 m *versus* 7, 9 y 11 m pero sí de la batea en mayor magnitud. Sin embargo, se destaca el efecto de ambos factores sobre el IC. Destaca claramente que la batea 1 (Ribeira; externa norte) tiene mayor tenacidad e IC para ambos rangos de profundidad. Las diferencias para el resto de localidades de cultivo son de menor importancia entre sí tanto para la tenacidad como IC, aunque se puede destacar los mínimos valores para la batea 4 (Arousa dentro) respecto a la tenacidad y especialmente para la profundidad de 6-12 m.



**Gráfica 8.** Representación de Índice de Condición (IC) y Tenacidad frente a las diferentes bateas del estudio para la profundidad de 0-6 m.



**Gráfica 9.** Representación de Índice de Condición (IC) y Tenacidad frente a las diferentes bateas del estudio para la profundidad de 6-12 m.

### 5.3. Especies asociadas al cultivo de mejillón.

La variabilidad en la fauna asociada al cultivo de mejillón en función de la localidad de cultivo (batea 1, 2, 3, 4 y 5) y profundidad (1, 3, 5, 7, 9 y 11 m) de la cuerda de cultivo se muestra en las Gráficas 10-15.

En la Tabla 10 se presentan los resultados estadísticos, mediante ANOVAs de dos vías, de esta variabilidad en la presencia de fauna asociada al cultivo de mejillón, en función de los dos factores anteriormente citados.

La Tabla 10 muestra que para cada una de las especies encontramos efecto significativo de los dos factores en estudio (localidad del cultivo y profundidad), incluso del término interacción entre ambas, excepto para *Pisidia longicornis* en el que no se ha detectado un efecto significativo sobre esta especie para el factor profundidad.

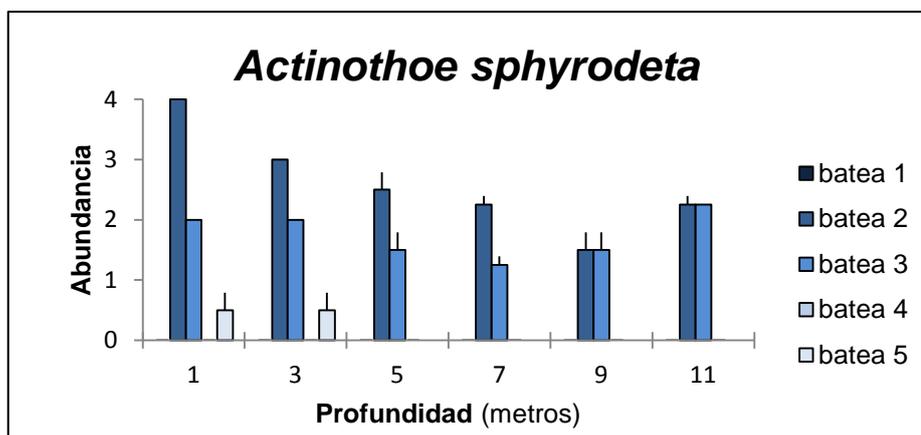
Factor	<i>Actinothoe sphyrodeta</i>				<i>Balanus spp.</i>				<i>Caprella mutica</i>			
	MS	df	F	p	MS	df	F	p	MS	df	F	p
Batea (bat.)	23,350	4	415,111	<0,001	6723,007	4	64,662	<0,001	1734,028	4	13,683	<0,001
Profundidad (prof.)	1,526	5	27,133	<0,001	1291,567	5	12,422	<0,001	3549,653	5	28,011	<0,001
bat. x prof.	0,614	20	10,911	<0,001	618,915	20	5,953	<0,001	958,281	20	7,562	<0,001
Error	0,056	60			103,972	60			126,725	60		

Factor	<i>Ciona intestinalis</i>				<i>Pisidia longicornis</i>				<i>Sarsia eximia</i>			
	MS	df	F	p	MS	df	F	p	MS	df	F	p
Batea (bat.)	2,687	4	32,250	<0,001	2968,306	4	9,517	<0,001	2,725	4	65,400	<0,001
Profundidad (prof.)	0,580	5	0,580	<0,001	318,773	5	1,022	ns	3,385	5	81,240	<0,001
bat. x prof.	0,242	20	0,242	<0,001	838,546	20	2,688	<0,01	1,435	20	34,440	<0,001
Error	0,083	60			311,908	60			0,042	60		

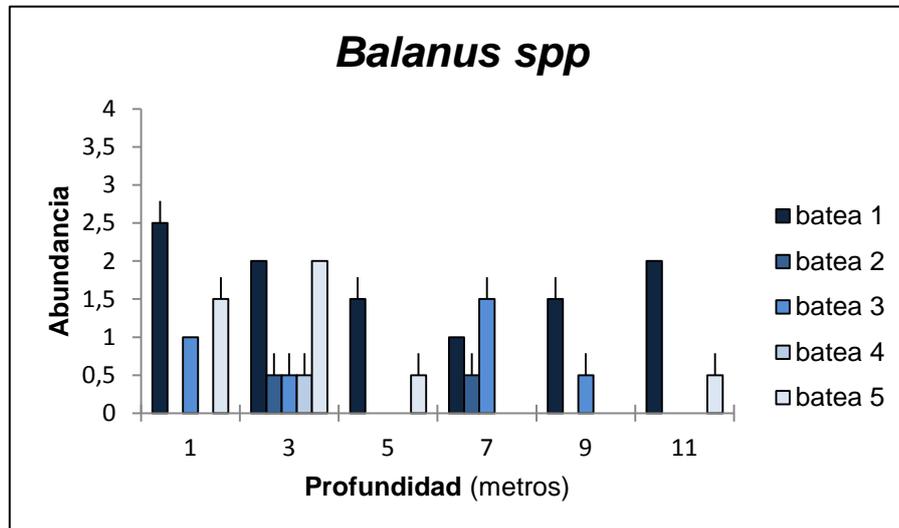
**Tabla 10.** ANOVAs de dos vías para estimar la variabilidad de la abundancia de las diferentes especies asociadas al mejillón como variable dependiente, y en función de localización de la batea y de la profundidad.

La anémona urticante *Actinothoe sphyrodeta* se ve afectada por ambos factores, localidad de cultivo y profundidad (Tabla 10). La Gráfica 10 nos muestra su mayor presencia en la batea 2 (O Grove; externa sur), sobre todo en los primeros metros, hallándose también en menor abundancia pero con similar distribución en la batea 3 (Arousa fuera; intermedia) y en la batea 5 (Vilagarcía; interior) en los tres primeros metros de profundidad.



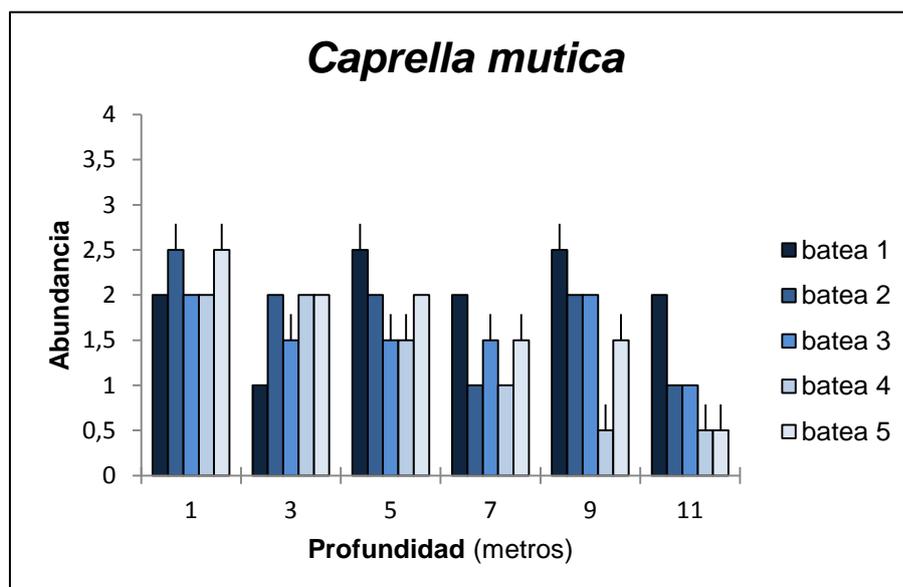
**Gráfica 10.** Representación de la abundancia frente a profundidad para *Actinothoe sphyrodeta* en las 5 bateas del estudio.

La variabilidad asociada a la especie *Balanus spp.* muestra mayor abundancia en todas las profundidades de la batea 1 (Ribeira; externa norte), encontrándose también en otras bateas pero en menor abundancia, aunque manteniendo la distribución de mayor presencia en los primeros metros de profundidad (Gráfica 11).



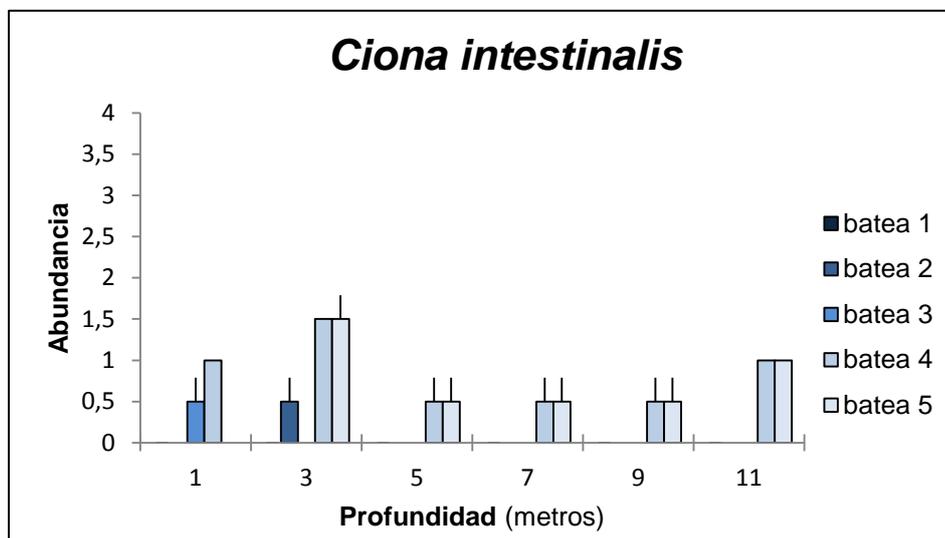
**Gráfica 11.** Representación de la abundancia frente a profundidad para *Balanus spp.* en las 5 bateas del estudio.

El camarón japonés invasor *Caprella mutica* presenta valores de abundancia relativa en todas las bateas, pero siempre con mayores valores en los primeros metros de profundidad mayoritariamente y en la batea 1 (Ribeira; externa norte), con tendencia a disminuir su presencia en las bateas más internas.



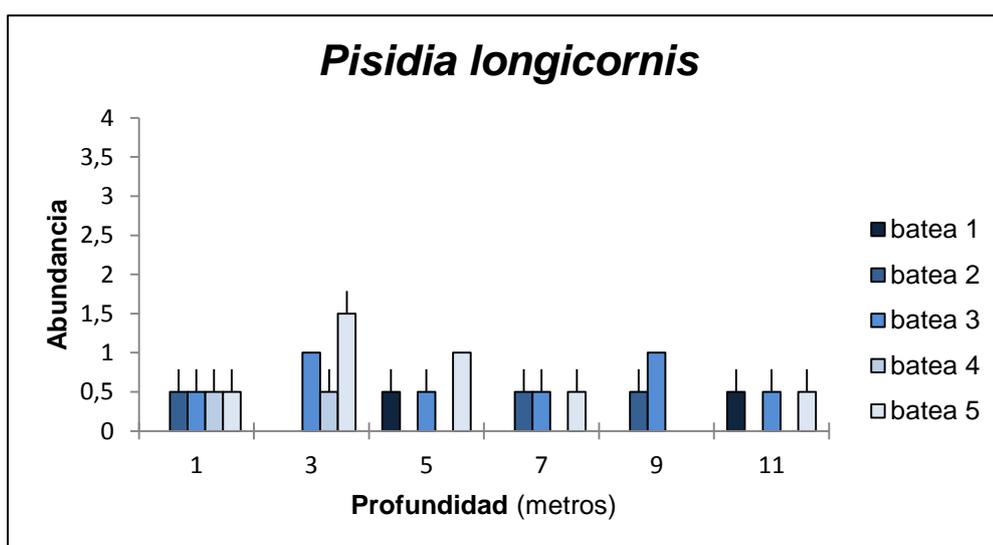
**Gráfica 12.** Representación de la abundancia frente a profundidad para *Caprella mutica* en las 5 bateas del estudio.

En la Gráfica 13 se observa mayor presencia de la ascidia *Ciona intestinalis* en las bateas más internas 4 (Arousa; dentro) y 5 (Vilagarcía; interna) y a los 3 metros de profundidad, con valores de abundancia muy similares entre ambas, y estando afectada, de forma significativa, por ambos factores, localidad de cultivo y profundidad (Tabla 10).



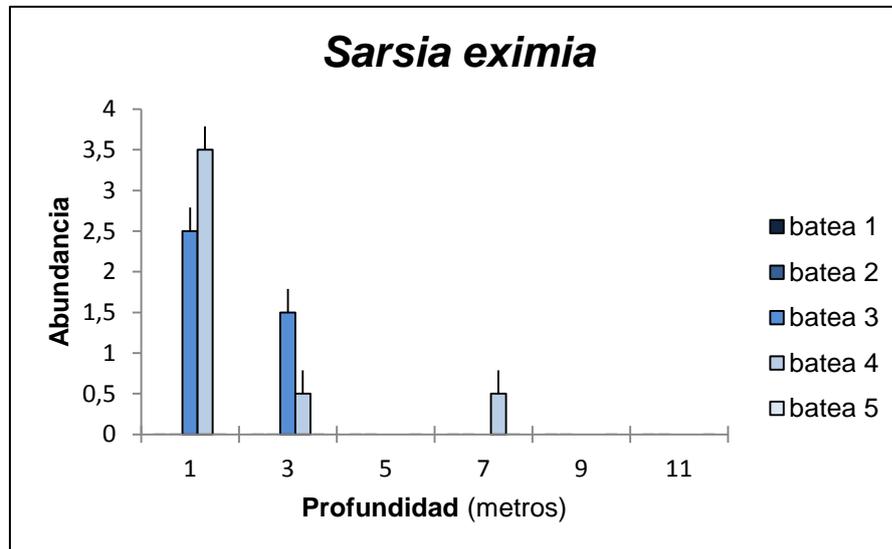
**Gráfica 13.** Representación de la abundancia frente a profundidad para *Ciona intestinalis* en las 5 bateas del estudio.

En relación al cangrejo *Pisidia longicornis*, la Tabla 10 muestra el efecto significativo del factor localidad de cultivo y de la interacción entre batea y profundidad, no existiendo efecto del factor profundidad. La Gráfica 14 nos muestra su mayor presencia en la batea 5 (Vilagarcía; interna) y en la batea 3 (Arousa fuera; intermedia), con una abundancia similar para las otras bateas en las que se encuentra presente.



**Gráfica 14.** Representación de la abundancia frente a profundidad para *Pisidia longicornis* en las 5 bateas del estudio.

El hidrozoo *Sarsia eximia* se ve afectado por ambos factores, localidad de cultivo y profundidad (Tabla 10). La Gráfica 15 nos muestra su mayor presencia en la batea 3 (Arousa fuera; intermedia) y en la 4 (Arousa; dentro), principalmente en los tres primeros metros de profundidad.



**Gráfica 15.** Representación de la abundancia frente a profundidad para *Sarsia eximia* en las 5 bateas del estudio.

## 6. Discusión.

El principal objetivo del presente estudio fue investigar como un escenario ambiental específico dentro de la misma Ría puede afectar al rendimiento de *Mytilus galloprovincialis* con respecto a la fortaleza de sujeción y al índice de condición. Ambos tejidos del mejillón, aparato bisal que asegura la fijación y supervivencia, e índice de condición como medida del estado de los tejidos blandos, reflejan la inversión energética que los individuos realizan en función del medio abiótico y/o biótico.

Los resultados del estudio muestran que la mayor cantidad de tejidos blandos, y por consecuencia mayor porcentaje de condición, se obtienen en la batea 1 (Ribeira; externa norte) y en los primeros metros de profundidad, hasta una media de 10 puntos (porcentuales) por encima del valor promedio obtenido para el resto de bateas, las cuales poseen valores de condición similar (Gráficas 7-9). Sorprendentemente esta elevada condición no supone restricción alguna para la hipotética energía destinada a la mayor protección (fortaleza de sujeción), necesaria en un ambiente de mayor hidrodinamismo, sino al contrario, corresponde a la misma localización donde se obtienen tanto elevadas producciones de tejido blando como simultáneamente mayores fortaleza de sujeción para asegurar la protección de los individuos (Gráficas 1-6).

Estos resultados son debidos a que esta localización en la boca de la Ría se corresponde con un ambiente abiótico más severo con elevado oleaje donde es necesaria una óptima fortaleza de sujeción para asegurar la supervivencia, pero además se ha descrito como una zona de extraordinaria abundancia de recursos nutricionales, por ejemplo, en cuanto a la concentración de clorofila a y alimento disponible (Pérez Camacho et al. 2014). Estos valores nutricionales justificarían la elevada producción de biomasa obtenida para la batea en esta localización, y los elevados valores de condición encontrados en nuestro estudio. Una mayor abundancia de recursos energéticos y nutricionales en esta zona externa (norte) de la Ría permitiría los excelentes valores de producción (biomasa) así como activar una adecuada protección para soportar condiciones adversas de oleaje.

El hecho de encontrar en la misma localización de cultivo (batea 1, Ribeira externa norte) máximos valores de tenacidad e índice de condición no ha sido observado en estudios previos. Diversos estudios han puesto de manifiesto procesos de trade-off o limitaciones energéticas asociadas al hecho de tener que restringir la inversión energética entre crecimiento en tejidos blandos o reproducción y otros aspectos de protección de los individuos como fijación al substrato, espesor de concha etc... (reproducción versus protección) (Denny 1995; Zardi et al. 2006; Babarro & Carrington 2011). Estos aspectos se han destacado especialmente para las poblaciones intermareales que sufren períodos de emersión-inmersión periódicas diariamente. Sorprendentemente, en nuestro estudio se ha observado como los mejillones de las bateas más internas de la Ría (3, 4 y 5) (Gráficas 4, 5 y 6) no activan una fortaleza de fijación alta, probablemente en consonancia con un ambiente más suave en términos hidrodinámicos, pero

este hecho no supone un incremento significativo del estado de los tejidos blandos (índice de condición) (Gráficas 8 y 9). El hecho que en estas bateas interiores exista menor renovación de agua, y por lo tanto, menor disponibilidad de alimento de calidad, puede estar en la base para explicar los bajos valores de condición a pesar de la menor inversión energética en secreción de bisco de calidad. Esta hipótesis de menor disponibilidad de alimento en localizaciones de cultivo en el interior de la Ría de Arousa ha sido observada en otros trabajos como Pérez Camacho et al. 2014. Los mejillones cultivados en estas bateas interiores están, por lo tanto, en mayor riesgo de sufrir desprendimientos cuando ocurren episodios ambientales desfavorables como tormentas, en caso de sobrepasar la tensión que genera el aparato bisal.

Respecto a los valores de índice de condición, es importante resaltar que los mayores valores se obtienen para los primeros metros de cultivo para el conjunto de bateas (Gráficas 7-9), aspecto debido a la capa fótica más superficial en la que se desarrollan los recursos nutricionales más abundantes y aflora más fitoplancton.

En consonancia con este estudio, y considerando otras poblaciones de *M. galloprovincialis* en la franja intermareal, se ha demostrado que los valores de tenacidad son mayores en individuos situados en zonas más expuestas al factor hidrodinámico (Babarro & Carrington 2011, 2013). En diversos estudios se ha destacado que el flujo es el factor determinante que afecta a la producción de bisco en especies de mitílidos (Van Winkle 1970; Price 1982; Lee et al. 1990; Hunt & Scheibling 2001), además de otros factores como la temperatura, la química del agua, abundancia de los depredadores, los ciclos reproductivos (desove) (Babarro, Fernández-Reiriz, Labarta 2008), y condición fisiológica (Carrington 2002; Moeser et al. 2006; Babarro & Reiriz, 2010).

La tenacidad puede ser un 25% más elevada en sitios más expuestos al oleaje (Babarro & Carrington 2011) para mejillones de similar tamaño (adulto), sin embargo para las clases de tamaño más pequeñas (juveniles), estas diferencias pueden representar hasta un 59% (Denny et al. 1985; Denny 1988, 1995; Babarro, Fernández-Reiriz, Labarta 2008; Babarro & Carrington 2011). En nuestro caso, la diferencia en el valor de tenacidad para los mejillones cultivados en la batea más externa 1 (Ribeira externa norte) representa el doble del valor promedio obtenido para el resto de bateas en estudio.

No se dispone de referencias que hayan encontrado claramente un efecto significativo de la profundidad sobre la tenacidad que los mejillones establecen *in situ*. En nuestro estudio, aunque de forma residual estadísticamente, este efecto de la profundidad se ha diferenciado en función de la localidad de cultivo. Así, mientras en las bateas 1 (Ribeira externa norte) y 4 (Arousa, dentro) la tenacidad de los mejillones se mantiene relativamente uniforme para toda la cuerda de cultivo aunque con valores promedio muy diferentes, en las bateas 2 (O Grove externa sur), 3 (Arousa, fuera) y 5 (Vilagarcía, interior) se ha observado respectivamente, un ascenso y descenso del valor de la tenacidad con la profundidad de cultivo. En este punto,

podemos hipotetizar que el incremento de tenacidad con la profundidad para la batea 2 (O Grove externa sur) sea consecuencia del elevado oleaje en la parte externa de la Ría, que puede generar fricción entre las cuerdas de cultivo que chocan entre sí en las capas más profundas, generando la necesidad de aumentar la fortaleza de sujeción para no provocar desprendimientos en los individuos.

Al contrario de lo expuesto anteriormente, en las Gráficas 4 y 6 se observa que la tenacidad de los mejillones tiende a disminuir con la profundidad en las bateas 3 (Arousa, fuera) y 5 (Vilagarcía, interna), aunque no en todos los metros con consistencia. En primer lugar, es importante destacar el descenso del índice de condición de los mejillones con la profundidad, como factor independiente, lo que se enmarcaría en una caída de los recursos nutricionales disponibles para los mejillones con la profundidad (por ejemplo asociado a la capa fótica), y que podría reflejarse en una menor energía disponible para los filamentos de biso. Además, en las bateas más interiores de la Ría de Arousa, en comparación con la batea 1 (Ribeira externa norte), se ha observado un descenso de la disponibilidad de alimento (Pérez Camacho et al. 2014) que complementaría los menores valores de tenacidad para estas localidades. Por lo tanto, la disminución de la tenacidad de los mejillones con la profundidad en estas bateas (3 y 5) puede estar en relación más con el hecho de que los valores de tenacidad superficiales son más elevados como consecuencia del mayor oleaje en superficie para la batea intermedia en el medio de la Ría de Arousa (batea 3), así como la proximidad de la batea 5 a la desembocadura del Río Ulla, que puede aportar un componente abiótico extra a los metros superficiales de las cuerdas de cultivo con efecto positivo en la tenacidad de los moluscos.

Un aspecto importante a resaltar es que la tenacidad de los mejillones cultivados en la batea 2 (O Grove, externa sur) (Gráfica 3) es significativamente más baja que la observada en la batea 1 (Ribeira externa norte) (Gráfica 1), aunque ambas localizaciones pertenecen a zonas externas de la Ría, reflejado en los valores semejantes de oleaje e hidrodinamismo (Pérez Camacho et al. 2014). El análisis de la fauna asociada al cultivo de mejillón puede arrojar algo de luz sobre este aspecto. Se ha descrito en la prensa escrita (ver Introducción) como la presencia de la anémona urticante *Actinothoe sphyrodeta* como factor biótico, impide la correcta adhesión de hilos de biso al substrato, lo que ocasiona una disminución de la tenacidad. La presencia de esta especie de anémona urticante en la batea 2 es claramente abundante (Gráfica 10) y su efecto en la baja tenacidad obtenida para esta localidad de cultivo puede ser sugerido con cautela. Es necesaria una mayor experimentación para poder certificar este hipotético efecto negativo en la adhesión de mejillón a las cuerdas de cultivo, lo que supondría un efecto biótico crucial para explicar desprendimientos de las cuerdas de cultivo en esta localidad asociados a la baja tenacidad de los moluscos en una zona relativamente expuesta al oleaje. Asimismo, en la batea 2 (O Grove, externa sur) la condición es mucho menor que la estimada para la batea 1 (Gráfica 7), siendo incluso menor que en otras bateas más internas. La disponibilidad de alimento en esta localidad se ha destacado como menos favorable con respecto a la otra batea externa (batea 1) (Pérez Camacho et al. 2014), lo que

unido a la mayoritaria presencia de *Actinothoe sphyrodeta* estaría en la base para explicar tales valores bajos de índice de condición y tenacidad.

Los mejillones crean “microhábitats” en su disposición tanto en el sustrato rocoso intermareal como en cultivo submareal, siendo llamados “ingenieros de ecosistemas”, lo que favorece a otras especies de menor tamaño como es el caso de los crustáceos *Pisidia longicornis* y de *Caprella mutica* (camarón japonés de carácter invasor). El efecto de estas especies está aún por ser estudiado en detalle sobre el cultivo de *Mytilus galloprovincialis*. Parece claro que no existe beneficio aparente para el desarrollo del mejillón, más bien al contrario, en el sentido que estas especies que co-existen con el mejillón en las piñas de las cuerdas de cultivo podrían beneficiarse a través de la protección de las corrientes y depredadores, así como del aporte de alimento que supone su permanencia en la piña de mejillón. Hay que tener en cuenta que son especies móviles, pudiendo encontrarse a lo largo de toda la profundidad de la cuerda de cultivo, como es el caso del camarón invasor japonés *Caprella mutica*, presente en todas las bateas y en todas las profundidades, aunque con mayor preferencia por las zonas expuestas como es la batea 1 (Ribeira, externa norte) (Gráfica 12). El efecto que la presencia del cangrejo *Pisidia longicornis* puede ejercer sobre el bicho de mejillón es también difícil de evaluar, si bien su distribución en las localidades de cultivo no parece indicar ningún efecto significativo para el mejillón y sí positivo para sí mismo, al habitar entre la malla que se establece con los filamentos del bicho y ramoneando entre ellos.

Las otras tres especies sésiles estudiadas (*Ciona intestinalis*, *Sarsia eximia* y *Balanus spp*) compiten por alimento y/o espacio en la zona de la cuerda ocupada por el mejillón, además de que *Balanus spp* claramente puede aportar un extraordinario peso “extra” a las conchas de mejillón en cultivo con el consiguiente exceso de peso en localidades específicas, por ejemplo batea 1 (Ribeira externa norte), donde es más abundante (Gráfica 11).

*Ciona intestinalis* y *Sarsia eximia* se encuentran presentes en las bateas más protegidas (internas) y en los primeros metros, asociados a la capa fótica con más intensidad lumínica y nutrientes. Es posible que la mayor abundancia de estas dos especies en la batea 4 (Gráficas 13 y 15) pueda influir perjudicialmente en la tenacidad de ésta, ya que es la más baja registrada (Gráfica 4). En casos en que la presencia de especies filtradoras como los tunicados puedan registrar una abundancia extraordinaria en las cuerdas de cultivo, los perjuicios para el cultivo de mejillón *Mytilus edulis* en Canadá se han descrito como desastrosos para el mantenimiento de los individuos en las cuerdas de cultivo (Daigle & Herbinger 2009; Locke et al. 2009).

Los efectos de estas especies deben ser estudiados con más detalle, y también debemos tener en cuenta que, como todas las especies, éstas en estudio tienen su propio ciclo biológico. Esto puede dar lugar a que se encuentren en otra época del año en mayor o menor presencia y en las mismas o en otras bateas en diferentes momentos del ciclo de cultivo.

## 7. Conclusiones.

-La localización del sistema de cultivo (batea) influye significativamente tanto en la tenacidad del biso de mejillón como en el índice de condición de los estados de los tejidos blandos.

-La batea localizada en el margen exterior norte de la Ría de Arousa (batea 1), representa los máximos valores en las dos variables respuesta analizadas en este estudio, tenacidad de mejillón e índice de condición. El resto de las localidades de cultivo analizadas presentan valores relativamente similares entre sí, e inferiores a los obtenidos en la batea 1.

-La profundidad a la que se cultiva el mejillón en la cuerda no influye significativamente en la tenacidad, como factor independiente, aunque en función de la localidad de cultivo se ha descrito tanto un efecto positivo (batea 2 O Grove externa sur) como negativo (bateas 3 Arousa fuera y 5 Vilagarcía interna) e incluso ausencia de algún efecto (bateas 1 Ribeira externa norte y 4 Arousa dentro). El efecto de la profundidad en la tenacidad del mejillón es, por lo tanto, altamente variable y podría depender, en gran medida, de factores abióticos y/o bióticos que caracterizan cada localidad específica.

-Los mayores valores del índice de condición se han obtenido para la batea 1 (Ribeira externa norte) y en el rango de profundidad de 0-6 metros.

-La capa superficial 0-6 m del cultivo de mejillón se corresponde con los mayores valores del índice de condición en el conjunto de localidades estudiadas, obteniendo un descenso significativo de la condición de los tejidos blandos a la profundidad 6-12 m.

-El estudio de la fauna asociada permite incorporar aspectos bióticos de relevancia para las respuestas de los mejillones en cultivo, aunque ha de ser extendido a lo largo del ciclo de cultivo para una óptima interpretación. Es de especial relevancia la presencia de la anémona urticante *Actinothoe sphyrodeta* en la batea 2 (O Grove externa sur) y su hipotética influencia en la disminución de la tenacidad de los moluscos a pesar de estar localizada en una zona externa de la Ría con elevado hidrodinamismo en la columna de agua. Este hecho confirmaría el efecto negativo de esta especie (avanzado en la prensa escrita en verano del 2013) sobre el mantenimiento de los individuos en las cuerdas de cultivo, y sería el responsable de masivos desprendimientos de las cuerdas.

-El resto de especies que co-habitan con el mejillón cultivado y han sido analizadas en este estudio presenta importancia relativa menor. La presencia de organismos sésiles como *Ciona intestinalis*, *Sarsia eximia* y *Balanus spp* que compiten por alimento y/o espacio con *Mytilus galloprovincialis*, y otros móviles como *Caprella mutica* y *Pisidia longicornis* en los valores de abundancia descritos no permiten certificar ningún efecto significativo en el cultivo. Al contrario,

y especialmente para las especies móviles, son estas quienes obtendrían beneficio al tener protección de la piña de mejillón ante potenciales predadores y/u oleaje, a la vez que disponen de fuente de alimentación con restos de materia orgánica asociado a las piñas de mejillón.

## 8. Bibliografía.

Akester R.J. & Martel A.L. (2000) Shell shape, dysodont tooth morphology and hinge-ligament thickness in the bay mussel *Mytilus trossulus* correlate with wave exposure. *Can J Zool* 78:240–253.

Allen J.A., Cook M., Jackson D.J., Preston S., Worth E.M. (1976) Observations on the rate of production and mechanical properties of the byssus threads of *Mytilus edulis* L. *J Molluscan Stud* 42:279-289.

Álvarez-Salgado X.A., Borges A.V., Figueiras F.G., Chou L. (2010). Iberian margin: the Rías. In: Liu K.K., Atikson L., Quiñones R., Talaue-McManus L. (Eds.), *Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins. A Global Synthesis*. Springer-Verlag, New York, pp. 102–119.

Babarro J.M.F., Fernández-Reiriz M.J., Labarta U. (2008) Secretion of byssal threads and attachment strength of *Mytilus galloprovincialis*: the influence of size and food availability. *J Mar Biol Assoc UK* 88:783–791.

Babarro J.M.F. & Fernández Reiriz M.J. (2010) Secretion of byssal threads in *Mytilus galloprovincialis*: quantitative and qualitative values after spawning stress. *J Comp Physiol B* 180:95–104.

Babarro J.M.F. & Carrington E. (2011) Byssus secretion of *Mytilus galloprovincialis*: effect of site at macro- and micro-geographical scales within Ría de Vigo (NW Spain). *Mar Ecol Prog Ser* 435:125–140.

Babarro J.M.F. & Abad M.J. (2013). Co-existence of two mytilid species in a heterogeneous environment: mortality, growth and strength of shell and byssus attachment. *Mar Ecol Pro Ser*. 476:115–128.

Babarro J.M.F. & Carrington E. (2013) Attachment strength of the mussel *Mytilus galloprovincialis*: effect of habitat and body size. *J Exp Mar Biol Ecol*. 443:188–196.

Babarro J.M.F. & Comeau L.A. (2014) Byssus attachment strength of two mytilids in mono-specific and mixed-species mussel beds, *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, 30:8, 975-985.

Beadman H.A., Caldow R.W.G., Kaiser M.J., Willows R.I. (2003) How to toughen up your mussels: using shell morphological plasticity to reduce predation losses. *Mar Biol* 142: 487–494.

- Bell E.C. & Denny M.W. (1994) Quantifying 'wave exposure'. A simple device for recording maximum velocity and results of its use at several field sites. *J Exp Mar Biol Ecol* 181: 9-29.
- Bell E.C. & Gosline J.M. (1996) Mechanical design of mussel byssus: material yield enhances attachment strength. *J Exp Biol* 199:1005-1017.
- Bell E.C. & Gosline J.M. (1997) Strategies for life in flow: tenacity, morphometry, and probability of dislodgement of two *Mytilus* species. *Mar Ecol Prog Ser* 159:197–208.
- Brenner M. & Buck B.H. (2010) Attachment properties of blue mussel (*Mytilus edulis* L.) byssus threads on culture-based artificial collector substrates. *Aquac. Eng.* 42, 128–139.
- Brown C.H. (1952) Some structural proteins of *Mytilus edulis* L. *Q J Microsc Sci* 93:487-502.
- Carrington E. (2002) Seasonal variation in the attachment strength of blue mussels: causes and consequences. *Limnol Oceanogr* 47:1723–1733.
- Carrington E., Moeser G.M., Thompson S.B., Coutts L.C., Craig C.A. (2009) Mussel attachment on rocky shores: the effect of flow on byssus production. *Int. Comp. Biol.* 48, 801–807.
- Daigle R.M. & Herbinger C.M. (2009). Ecological interactions between the vase tunicate (*Ciona intestinalis*) and the farmed blue mussel (*Mytilus edulis*) in Nova Scotia, Canada. *Aquatic Invasions* Volume 4, Issue 1: 177-187.
- Denny M.W. (1985) Wave forces on intertidal organisms: a case study. *Limnol Oceanogr* 30:1171-1187.
- Denny M.W., Daniel T.L., Koehl M.A.R. (1985) Mechanical limits to size in wave-swept organisms. *Ecol Monogr* 55:69-102.
- Denny M.W. (1987) Lift as a mechanism of patch initiation on mussel beds. *J Exp Mar Biol Ecol* 113:231-245.
- Denny M.W. (1988) *Biology and the mechanics of the waveswept environment*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Denny M.W. (1995) Predicting physical disturbance: mechanistic approaches to the study of survivorship on wave-swept shores. *Ecol Monogr* 65:371-418.

Fernandez L., González-Gurriarán E., Freire J., Muiño, R. (1990). Abundancia y distribución de *Pisidia longicornis* (Linnaeus, 1767) (Decapoda, Anomura) en relación con la dinámica del cultivo de mejillón en la Ría de Arousa (Galicia, NW España). Boln R Soc esp Hist nat (Sección Biol), 86, 181-193.

Freeman K.R. (1974). Growth, mortality and seasonal cycle of *Mytilus edulis* in two Nova Scotian embayments. Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Canada. Tech. Rep. 500, 1–112.

Gaylord B. (1997) Consequences of wave-induced water motion to nearshore macroalgae. PhD dissertation, Stanford University.

Hawkins A.J.S. & Bayne B.L. (1985) Seasonal variation in the relative utilization of carbon and nitrogen by the mussel *Mytilus edulis*: budgets, conversion efficiencies and maintenance requirements. Mar Ecol Prog Ser 25:181–188.

Hunt H. & Scheibling R.E. (2001) Predicting wave dislodgement of mussels: variation in attachment strength with body size, habitat, and season. Marine Ecology Progress Series 213, 157–164.

Inglis G.J. & Gust N. (2003) Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators. J. Appl. Ecol. 40, 1077–1089.

Jones W.E. & Demetropoulos A. (1968) Exposure to wave action: measurements of an important ecological parameter on rocky shores of Anglesey. J Exp Mar Biol Ecol 2:46-63.

Labarta U., Fernández-Reiriz M.J., Pérez-Camacho A., Pérez Corbacho E. (2004) Bateiros, mar, mejillón. Una perspectiva bioeconómica. CIEF. Fundación Caixagalicia, Santiago de Compostela.

Lachance A.A., Myrand B., Tremblay R., Koutitonsky V., Carrington E. (2008) Biotic and abiotic factors influencing attachment strength of blue mussels *Mytilus edulis* in suspended culture. Aquat Biol 2:119–129.

Lee C.Y., Lim S.S., Owen M.D. (1990) The rate and strength of byssal reattachment by blue mussels (*Mytilus edulis* L.). Can J Zool 68:2005-2009.

Leonard G.H., Bertness M.D., Yund P.O. (1999) Crab predation, waterborne cues, and inducible defenses in the blue mussel, *M. edulis*. Ecology 80, 1–14.

Locke A., Hanson J.M., MacNair N.G., Smith A.H. (2009). Rapid response to non-indigenous species. 2. Case studies of invasive tunicates in Prince Edward Island. *Aquatic Invasions* Volume 4, Issue 1: 249-258.

Mallet A. & Myrand B. (1995) The culture of the blue mussel in Atlantic Canada, In: Boghen, A.D. (Ed.), *Cold Water Aquaculture in Atlantic Canada*, 2nd Edition. CIRRD, Univ. Moncton, NB, Canada, pp. 257–298.

Martella T. (1974) Some factors influencing byssus thread production in *Mytilus edulis* (Mollusca: Bivalvia) *Linnaeus, 1758. Water, Air and Soil Pollution* 3, 171–177.

Moeser G.M. & Carrington E. (2006) Seasonal variation in mussel thread mechanics. *J Exp Biol* 209:1996–2003.

Moeser G.M., Leba H., Carrington E. (2006) Seasonal influence of wave action on thread production in *Mytilus edulis*. *J Exp Biol* 209:881–90.

Paine R.T. (1974) Intertidal community structure: experimental studies on the relationship between a dominant competitor and its principal predator. *Oecologia* 15:93-120.

Pérez Camacho A., Labarta U., Beiras R. (1995) Growth of mussels (*Mytilus edulis galloprovincialis*) on cultivation rafts: influence of seed source, cultivation site and phytoplankton availability. *Aquaculture* 138, 349–362.

Pérez Camacho A., Aguiar E., Labarta U., Vinseiro V., Fernández Reiriz M.J., Álvarez-Salgado X.A. (2014) Ecosystem-based indicators as a tool for mussel culture management strategies. *Ecological Indicators* 45 538–548.

Price H.A. (1982) An analysis of factors determining seasonal variation in the byssal attachment strength of *Mytilus edulis*. *J Mar Biol Assoc UK* 62:147-155.

Price H.A. (1983) Structure and formation of the byssus complex in *Mytilus* (Mollusca, Bivalvia). *J. Mollusc. Stud.* 49, 9–17.

Raubenheimer D. & Cook P. (1990) Effects of exposure to wave action on allocation of resources to shell and meat growth by the subtidal mussel, *Mytilus galloprovincialis*. *J Shellfish Res* 9:87–93.

Román G. & Pérez A. (1982). Estudio del mejillón y de su epifauna en los cultivos flotantes de la Ría de Arousa. *Bol. Inst. Esp. Oceanog.* Tomo 7 (2) 279-296.

Santaclara F.J., Espiñeira M., Vieites J.M. (2007) Molecular Detection of *Xenostrobus securis* and *Mytilus galloprovincialis* Larvae in Galician Coast (Spain). *Mar. Biotechnol.* 9, 722–732.

Seed R. & Suchanek T.H. (1992) Population and community ecology of *Mytilus*. In: Gosling EG (ed) *The mussel Mytilus: ecology, physiology, genetics and culture*. Elsevier, New York, p 87-169.

Steffani C.N. & Branch G.M. (2003) Growth rate, condition, and shell shape of *Mytilus galloprovincialis*: responses to wave exposure. *Mar Ecol Prog Ser* 246:197–209.

Suchanek T.H. (1978) The ecology of *Mytilus edulis* L. in exposed rocky intertidal communities. *J Exp Mar Biol Ecol* 31:105-120.

Van Winkle W. (1970) Effect of environmental factors on byssal thread formation. *Mar Biol* 7:143-148.

Waite J.H. (1992) The formation of mussel byssus: anatomy of a natural manufacturing process. In: Case ST (ed) *Results and problems in cell differentiation*, Vol 19, *Biopolymers*. Springer, Berlin, p 27–54.

Widdows J. & Bayne B.L. (1971) Temperature acclimation of *Mytilus edulis* with reference to its energy budget. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 51, 827–843.

Yonge C.M. (1962) On the primitive significance of the byssus in the Bivalvia and its effects in evolution. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 42, 113–125.

Young G.A. (1985) Byssus-thread formation by the mussel *Mytilus edulis*: effects of environmental factors. *Marine Ecology Progress Series* 24, 261–271.

Zardi G.I., Nicastro K.R., McQuaid C.D., Rius M., Porri F. (2006) Hydrodynamic stress and habitat partitioning between indigenous (*Perna perna*) and invasive (*Mytilus galloprovincialis*) mussels: constraints of an evolutionary strategy. *Mar Biol* 150:79–88.