



Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



## **ANEXO IV-b**

**JACUMAR  
JUNTA NACIONAL ASESORA DE CULTIVOS MARINOS**

**PLANES NACIONALES DE CULTIVOS MARINOS**

**INFORME FINAL**

**Título: Mitigación del impacto ambiental generado por los cultivos marinos en estructuras flotantes (2006 Æ 2008).**

## INFORME FINAL EXTENSO

### 1.- DATOS ADMINISTRATIVOS

**TITULO:** Mitigación del impacto ambiental generado por los cultivos marinos en estructuras flotantes.

**Subproyecto 1 (S1):** Evaluación de la eficacia de la utilización de biofiltros artificiales de fondo para la mitigación del impacto ambiental derivado de la piscicultura marina en jaulas flotantes.

**Subproyecto 2 (S2):** Mitigación del impacto ambiental causado por los biodepositos de mejillón cultivado en batea.

**FECHAS DE REALIZACIÓN: 2006 - 2008**

### DATOS DEL COORDINADOR DEL PROYECTO.

Nombre y Apellidos: Felipe Aguado Giménez.  
Organismo/ Centro: Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA).  
Departamento de Producción Animal. Equipo de Acuicultura Marina.  
Teléfono y fax: +34968184518  
Correo electrónico: [felipe.aguado@carm.es](mailto:felipe.aguado@carm.es)  
Dirección postal completa: Estación de Acuicultura Marina. Apdo. 65. San Pedro del Pinatar. 30740 Murcia.

---

### PARTICIPANTES COMUNIDAD AUTÓNOMA ANDALUCÍA

#### ENTIDAD RESPONSABLE

Tipo de centro: Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.  
Nombre: Dirección General de Pesca y Acuicultura  
CIF: S 4111001F  
Nombre Representante Legal: Martín Soler

#### RESPONSABLE EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA

Apellidos: Villarias Molina  
Nombre: Rosa M<sup>a</sup>  
Organismo: Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.  
Centro: Dirección General de Pesca y Acuicultura. Consejería de Agricultura y Pesca.  
Departamento: Servicio de Estructuras Pesqueras y Acuícolas.  
Teléfono: 955 032 131

Fax.: 955 032 507

Correo electrónico: [rosam.villarias@juntadeandalucia.es](mailto:rosam.villarias@juntadeandalucia.es)

Dirección Postal: Consejería de Agricultura y Pesca. Dirección General de Pesca y Acuicultura. C/Tabladilla s/n. 41071 Sevilla.

## TÉCNICO FACULTATIVO RESPONSABLE

Apellidos: Villarias Molina

Nombre: Rosa M<sup>a</sup>

Organismo: Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Centro: Dirección General de Pesca y Acuicultura. Consejería de Agricultura y Pesca.

Departamento: Servicio de Estructuras Pesqueras y Acuícolas.

Teléfono: 955 032 131

Fax.: 955 032 507

Correo electrónico: [rosam.villarias@juntadeandalucia.es](mailto:rosam.villarias@juntadeandalucia.es)

Dirección Postal: Consejería de Agricultura y Pesca. Dirección General de Pesca y Acuicultura. C/Tabladilla s/n. 41071 Sevilla.

## DATOS DE LOS INVESTIGADORES

Apellidos: Acosta Camacho

Nombre: Daniel

Organismo: Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Centro: Dirección General de Pesca y Acuicultura. Consejería de Agricultura y Pesca

Departamento: Servicio de Estructuras Pesqueras y Acuícolas.

Teléfono: 955 032 131

Fax.: 955 032 507

Correo electrónico: [daniel.acosta@juntadeandalucia.es](mailto:daniel.acosta@juntadeandalucia.es)

Dirección Postal: Consejería de Agricultura y Pesca. Dirección General de Pesca y Acuicultura. C/Tabladilla s/n. 41071 Sevilla.

Apellidos: Macias Rivero

Nombre: José Carlos

Organismo: Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero

Centro:

Departamento: Subdirección de Recursos Pesqueros y Acuícolas.

Teléfono: 670944070

Fax.: 955 059 817

Correo electrónico: [jcmacias@dap.es](mailto:jcmacias@dap.es)

Dirección Postal: Bergantín N<sup>o</sup> 39 41012 Sevilla.

Apellidos: Ibáñez Yuste

Nombre: Alejandro

Organismo: Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero

Centro:

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Departamento: Subdirección de Recursos Pesqueros y Acuícolas.  
Teléfono: 951 924 081  
Fax.: 951 924 083  
Correo electrónico: [ajibanez@dap.es](mailto:ajibanez@dap.es)  
Dirección Postal: Laboratorio de Recursos Pesqueros y Acuícolas.  
Carretera de Santa Rosalía Km 12, 29590 Campanillas (Málaga).

Apellidos: Ávila Zaragoza  
Nombre: Pablo  
Organismo: Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero  
Centro:  
Departamento: Subdirección de Recursos Pesqueros y Acuícolas.  
Teléfono: 951 924 081  
Fax.: 951 924 083  
Correo electrónico: [pavila@dap.es](mailto:pavila@dap.es)  
Dirección Postal: Laboratorio de Recursos Pesqueros y Acuícolas.  
Carretera de Santa Rosalía Km 12, 29590 Campanillas (Málaga).

Apellidos: Agraso Martínez  
Nombre: María del Mar  
Organismo: Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero  
Centro:  
Departamento: Subdirección de Recursos Pesqueros y Acuícolas.  
Teléfono: 955 059 926 / 671564823  
Fax.: 955 059 817  
Correo electrónico: [mdmagraso@dap.es](mailto:mdmagraso@dap.es)  
Dirección Postal: Bergantín N° 39 41012 Sevilla.

---

## **PARTICIPANTES COMUNIDAD AUTÓNOMA CANARIAS**

### **ENTIDAD RESPONSABLE**

Tipo de centro: Centro Público de Investigación del Gobierno de Canarias  
Nombre: Instituto Canario de Ciencias Marinas  
CIF: S3511001D  
Nombre Representante Legal: Marisol Izquierdo López

### **RESPONSABLE EN LA COMUNIDAD AUTONOMA:**

Apellidos: Antunes Jimenez  
Nombre: Teodora  
Entidad: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación del Gobierno de Canarias  
Centro: Viceconsejería de Pesca  
Departamento: Servicio de Estructuras Pesqueras  
Equipo: Sección de Ordenación de la Acuicultura

Teléfono: 928 455412 Fax: 928 306774

Correo electrónico: teodorantunes@gobiernodecanarias.org

Dirección Postal: Plaza de los Derechos Humanos s/n. Edificio Usos Múltiples I.

35003 Las Palmas de Gran Canaria

Número de investigadores participantes de la CA de Canarias: 4

#### **INVESTIGADOR PRINCIPAL:**

Apellidos: González Henríquez

Nombre: M<sup>a</sup> Nieves

D.N.I.: 42.742.281

Año de nacimiento: 1968

Titulación: Bióloga

Grado: Doctora

Categoría profesional: Coordinadora de Programas

Situación laboral: Plantilla

#### **Investigadores:**

Apellidos: Viera Rodríguez

Nombre: M<sup>a</sup> Ascensión

D.N.I.: Año de nacimiento:

Titulación: Bióloga

Grado: Doctora

Categoría profesional: Investigadora Asociada

Situación laboral: Plantilla

Apellidos: Hernández Brito

Nombre: José Joaquín

D.N.I.

Año de nacimiento:

Titulación: Químico

Grado: Doctor

Categoría profesional: Investigador Asociado

Situación laboral: Plantilla

Firma de conformidad:

#### **B.- Personal de otros organismos**

Apellidos: Gómez Cabrera

Nombre: María M.

D.N.I.: 42.817871J

Año de nacimiento 1963:

Titulación: Bióloga

Grado: Doctora

Categoría profesional: Investigadora Asociada

Situación laboral: Plantilla

Organismo: ADSA  
Apellidos:  
Nombre: Álvaro  
D.N.I.:  
Año de nacimiento:  
Titulación: Biólogo  
Grado: Licenciado  
Categoría profesional:  
Situación laboral: Contratado fijo

---

## **PARTICIPANTES COMUNIDAD AUTÓNOMA GALICIA**

### **ENTIDAD RESPONSABLE**

Tipo de centro: Consellería de Pesca y Asuntos Marítimos-Xunta de Galicia  
Nombre: Dirección Xeral de Recursos Mariños  
CIF: S-1511001H  
Nombre Representante Legal: Antonio García Elorriaga

### **RESPONSABLE EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA**

1. Apellidos: Rodríguez González  
Nombre: Luis Manuel  
Organismo: Consellería de Pesca y Asuntos Marítimos  
Centro: Dirección Xeral de Recursos Mariños  
Departamento: Servicio Asesoría Técnica  
Teléfono:981.545011  
Fax.:981.545025  
Correo electrónico: luis.rodriguez.gonzalez@xunta.es  
Dirección Postal: Rúa de Valiño, 63-65-San Lázaro, 15703-Santiago

### **CENTROS DE INVESTIGACIÓN / OTRAS ENTIDADES**

Tipo de centro: Universidad de Santiago de Compostela  
Nombre: Instituto de Investigaciones Tecnológicas . Laboratorio de  
Tecnología Ambiental

Tipo de centro: Centro Tecnológico del Mar . Fundación CETMAR  
Nombre: Área de control y gestión del medio y los recursos marinos

Tipo de centro: Consellería de Pesca y Asuntos Marítimos  
Nombre: Dirección Xeral de Recursos Mariños

### **DATOS DE LOS INVESTIGADORES**

### **INVESTIGADOR RESPONSABLE CENTRO DE INVESTIGACIÓN**

2. Apellidos: Macías Vázquez  
Nombre: Felipe  
Organismo: Universidad de Santiago de Compostela  
Centro: Instituto de Investigaciones Tecnológicas  
Departamento: Laboratorio de Tecnología Ambiental  
Teléfono:981.563100 ext. 16039  
Fax.:981.596904  
Correo electrónico: felipe.macias.vazquez@usc.es  
Dirección Postal:Campus SUR, 15706, Santiago de Compostela

### RESTO INVESTIGADORES

3. Apellidos: Nieto Olano  
Nombre: María del Carmen  
Organismo: Universidad de Santiago de Compostela  
Centro: Instituto de Investigaciones Tecnológicas  
Departamento: Laboratorio de Tecnología Ambiental  
Teléfono:981.563100 ext. 16039  
Fax.:981.596904  
Correo electrónico: carmina.nieto@usc.es  
Dirección Postal:Campus SUR, 15706, Santiago de Compostela

4. Apellidos: Suárez Abelenda  
Nombre: Manuel  
Organismo: Universidad de Santiago de Compostela  
Centro: Instituto de Investigaciones Tecnológicas  
Departamento: Laboratorio de Tecnología Ambiental  
Teléfono:981.563100 ext. 16039  
Fax.:981.596904  
Correo electrónico: manuel.suarez@usc.es  
Dirección Postal:Campus SUR, 15706, Santiago de Compostela

5. Apellidos: Pardo Lorenzo  
Nombre: Rebeca  
Organismo: Universidad de Santiago de Compostela  
Centro: Instituto de Investigaciones Tecnológicas  
Departamento: Laboratorio de Tecnología Ambiental  
Teléfono:981.563100 ext. 16039  
Fax.:981.596904  
Correo electrónico: rebeca.pardo@usc.es  
Dirección Postal:Campus SUR, 15706, Santiago de Compostela

6. Apellidos: Macías García  
Nombre: Felipe  
Organismo: Tratamientos Ecológicos del Noroeste, S.L.  
Centro: Laboratorio Ambiental e I+D+I  
Departamento: Laboratorio de Tecnología Ambiental

Teléfono: 981.517316  
Fax.: 981.517291  
Correo electrónico: felipe.macias@tensl.com  
Dirección Postal: Lugar A Mina s/n. 15822, Touro, A Coruña

## RESTO INVESTIGADORES OTRAS ENTIDADES

7. Apellidos: Rodríguez González  
Nombre: Luis Manuel  
Organismo: Consellería de Pesca y Asuntos Marítimos-Xunta de Galicia  
Centro: Dirección Xeral de Recursos Mariños  
Departamento: Servicio Asesoría Técnica  
Teléfono: 981.545011  
Fax.: 981.545025  
Correo electrónico: luis.rodríguez.gonzalez@xunta.es  
Dirección Postal: Rúa de Valiño, 63-65-San Lázaro, 15703-Santiago
  
8. Apellidos: Otero Llovo  
Nombre: Juan Manuel  
Organismo: Consellería de Pesca y Asuntos Marítimos-Xunta de Galicia  
Centro: Dirección Xeral de Recursos Mariños  
Departamento: Servicio de Acuicultura  
Teléfono: 981.545022  
Fax.: 981.545025  
Correo electrónico: juan.otero.llovo@xunta.es  
Dirección Postal: Rúa de Valiño, 63-65-San Lázaro, 15703-Santiago
  
9. Apellidos: Gómez Losada  
Nombre: Miguel  
Organismo: Consellería de Pesca y Asuntos Marítimos-Xunta de Galicia  
Centro: Dirección Xeral de Recursos Mariños  
Departamento: Servicio de Xestión Administrativa  
Teléfono: 981.541582  
Fax.: 981.545025  
Correo electrónico: miguel.gomez.losada@xunta.es  
Dirección Postal: Rúa de Valiño, 63-65-San Lázaro, 15703-Santiago
  
10. Apellidos: Fernández Cañamero  
Nombre: María Luisa  
Organismo: Centro Tecnológico del Mar . Fundación CETMAR  
Centro: CETMAR  
Departamento: Área de control y gestión del medio y los recursos marinos  
Teléfono: 986.247047 ext. 106  
Fax.: 986.294587  
Correo electrónico: mfernandez@cetmar.org  
Dirección Postal: Eduardo Cabello s/n, E-36208 Bouzas-Vigo



11. Apellidos: Gomez Gesteira  
Nombre: José Luis  
Organismo: Centro Tecnológico del Mar . Fundación CETMAR  
Centro: CETMAR  
Departamento: Área de control y gestión del medio y los recursos marinos  
Teléfono:986.247047 ext. 105  
Fax.:986.294587  
Correo electrónico: lgomez@cetmar.org  
Dirección Postal: Eduardo Cabello s/n, E-36208 Bouzas-Vigo

12. Apellidos: González Alonso  
Nombre: Diego  
Organismo: Centro Tecnológico del Mar . Fundación CETMAR  
Centro: CETMAR  
Departamento: Área de control y gestión del medio y los recursos marinos  
Teléfono:986.247047 ext. 105  
Fax.:986.294587  
Correo electrónico: dgonzalez@cetmar.org  
Dirección Postal: Eduardo Cabello s/n, E-36208 Bouzas-Vigo

---

## **PARTICIPANTES COMUNIDAD AUTÓNOMA MURCIA**

### **ENTIDAD RESPONSABLE**

Tipo de centro: Organismo Público de Investigación. Consejería de Agricultura y Agua. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.  
Nombre: Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario  
CIF: S-3000012-I  
Nombre Representante Legal: Adrián Martínez Cutillas.

### **RESPONSABLE EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA**

Apellidos: García García  
Nombre: Benjamín  
Organismo: Consejería de Agricultura y Agua.  
Centro: Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario  
Departamento: Producción Animal. Equipo de Acuicultura Marina  
Teléfono:+34968184518  
Fax.:+34968184518  
Correo electrónico: [benjamin.garcia@carm.es](mailto:benjamin.garcia@carm.es)  
Dirección Postal: Estación de Acuicultura Marina. Apdo. 65. San Pedro del Pinatar. 30740 Murcia.

### **DATOS DE LOS INVESTIGADORES**

## INVESTIGADOR RESPONSABLE CENTRO DE INVESTIGACIÓN

Nombre y Apellidos: Felipe Aguado Giménez.  
Organismo/ Centro: Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA).  
Departamento de Producción Animal. Equipo de Acuicultura Marina.  
Teléfono y fax: +34968184518  
Correo electrónico: [felipe.aguado@carm.es](mailto:felipe.aguado@carm.es)  
Dirección postal completa: Estación de Acuicultura Marina. Apdo. 65. San Pedro del Pinatar. 30740 Murcia.

## RESTO INVESTIGADORES

Apellidos: García García  
Nombre: Benjamín  
Organismo: Consejería de Agricultura y Agua.  
Centro: Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario  
Departamento: Producción Animal. Equipo de Acuicultura Marina  
Teléfono:+34968184518  
Fax.:+34968184518  
Correo electrónico: [benjamin.garcia@carm.es](mailto:benjamin.garcia@carm.es)  
Dirección Postal: Estación de Acuicultura Marina. Apdo. 65. San Pedro del Pinatar. 30740 Murcia.

Apellidos: Piedecausa Narejo  
Nombre: M<sup>a</sup> Asunción  
Organismo: Consejería de Agricultura y Agua.  
Centro: Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario  
Departamento: Producción Animal. Equipo de Acuicultura Marina  
Teléfono:+34968184518  
Fax.:+34968184518  
Correo electrónico: [susi.piedecausa@gmail.com](mailto:susi.piedecausa@gmail.com)  
Dirección Postal: Estación de Acuicultura Marina. Apdo. 65. San Pedro del Pinatar. 30740 Murcia.

## **2.- RESULTADOS TECNICOS DEL PLAN NACIONAL**

### **2.1. OBJETIVOS INICIALES.**

El objetivo general del proyecto es evaluar la potencialidad de la utilización de arrecifes artificiales y de sistemas de recogida de biodepósitos como herramientas alternativas para la mitigación del impacto ambiental que ocasionan sobre el sistema bentónico los cultivos marinos en jaulas flotantes en mar abierto y en bateas de mejillón respectivamente. Los objetivos específicos perseguidos con el proyecto son:

- Examinar la capacidad y eficacia de retención de dichos residuos por parte de biofiltros artificiales a modo de arrecifes en relación al tiempo de permanencia en el fondo y a las condiciones ambientales de la zona de estudio.
- Evaluar el efecto de los arrecifes artificiales en el desarrollo y recuperación del hábitat bentónico afectado por los cultivos marinos con el fin de aumentar su biodiversidad.
- Evaluar la viabilidad de estas estructuras como herramienta alternativa para la mitigación del impacto ambiental derivado de los cultivos marinos en estructuras flotantes.
- Evaluar la eficacia de los sistemas de recogida de biodepósitos en bateas, y la posterior utilización y aprovechamiento de estos residuos.

### **2.2. OBJETIVOS REALIZADOS.**

Todos los objetivos planteados en ambos subproyectos han sido evaluados y alcanzados. En relación al S1, hemos comprobado en las tres CCAA participantes, que los biofiltros bentónicos han desarrollado una comunidad necto-bentónica capaz de reutilizar y reciclar parte de los residuos generados por el cultivo, y que evolucionan hacia niveles cada vez más complejos y maduros. A pesar de este efecto mitigante promovido por el fouling y los peces asociados a los biofiltros, el estado de calidad ecológico de los fondos no ha experimentado mejorías significativas. En el S2 se ha comprobado que los diferentes sistemas planteados son efectivos en la recuperación de biodepósitos antes de alcanzar el fondo, y que dichos residuos son válidos para diversas labores agrarias.

## 2.3. METODOLOGIA

### 2.3.1. (S1): Evaluación de la eficacia de la utilización de biofiltros artificiales de fondo para la mitigación del impacto ambiental derivado de la piscicultura marina en jaulas flotantes.

#### 2.3.1.1. Revisión bibliográfica.

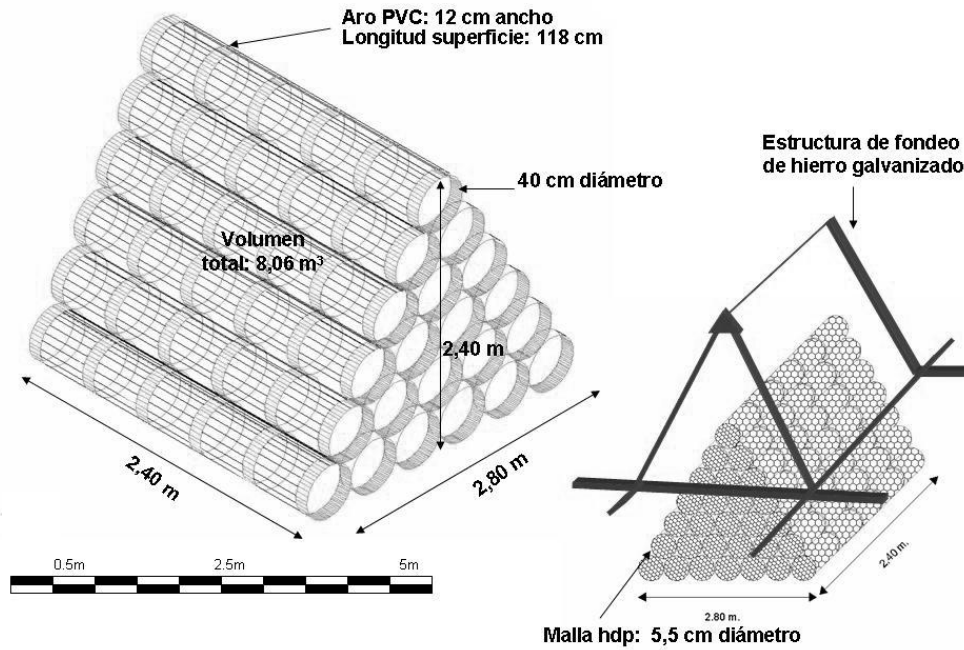
Se ha llevado a cabo la recopilación e interpretación de publicaciones científicas relacionadas con la temática de estudio, lo que permitió establecer los parámetros de estudio y aportar ideas en cuanto al diseño de biofiltros, campañas de muestreo, procesado de muestras y análisis. Como base para el desarrollo del trabajo, se revisaron estudios relativos a la identificación de los posibles impactos que, la actividad acuícola de producción de peces marinos en jaulas, podrían provocar en el medio. Principalmente afecciones a la columna de agua, al bentos y a las comunidades instaladas en la zona de influencia, desde el punto de vista del ecosistema y desde puntos de vista físico químicos. Al mismo tiempo, se recopilaron documentos e información de grupos de trabajo que desarrollan estudios de impacto y planes de vigilancia ambiental en el ámbito internacional. Se revisó la información contenida en las páginas web que estos grupos suelen generar, en el marco de ayudas europeas y proyectos co-financiados entre países miembros. Por otro lado y como soporte para la justificación de las estructuras y el objetivo mismo del proyecto, se revisaron trabajos relacionados con arrecifes artificiales; la capacidad de producción, las interacciones con comunidades locales, los efectos a escala temporal y espacial, los materiales utilizados, etc. Otros aspectos tenidos en cuenta a la hora del diseño de los muestreos han sido aquellos relacionados con metodologías propias de estudios de poblaciones ictiológicas, ya sean pelágicas o demersales, principalmente aquellas en las que se hace referencia a la relación e interacciones con sistemas de producción piscícola. Han sido especialmente interesantes las referidas a tasas de aprovechamiento de los efluentes de granjas marinas por parte de la ictiofauna colindante. También en el caso de la endofauna presente en el bentos marino. Los patrones de evolución y la identificación de especies indicadoras. Finalmente, se ha prestado especial atención a los trabajos desarrollados por Laihönen et al (1996), Angel y Spanier (2002) y Gao et al. (2008) con biofiltros bentónicos asociados a cultivos marinos. Son precisamente estos trabajos los que han permitido el diseño final de las estructuras utilizadas. Además de los aspectos técnicos, se ha recopilado información del entorno, necesaria para la caracterización propia de la zona, aumentando así el conocimiento de los posibles factores ambientales que puedan influir en la toma de datos o en la explicación del comportamiento de ciertas variables.

#### 2.3.1.2. Diseño, fabricación y sistemas de fondeo de los biofiltros bentónicos.

El modelo original, a partir del cual se diseñaron los biofiltros utilizados en esta experiencia, está inspirado en los trabajos de Angel y Spanier (2002) y Tsemel et al. (2003) desarrollados en el Golfo de Aqaba, en el Mar Rojo. En primer lugar,

ensayaron con cilindros de malla plástica ubicados en vertical en la columna de agua, para que los organismos fijados a la estructura, actuaran a modo de filtros de la materia orgánica en suspensión. El éxito de estos cilindros, como sustrato susceptible de ser colonizado y a la vez favorecedor del paso de corriente a través del entramado, hizo de ellos la base para la construcción de módulos de forma piramidal fondeados sobre el sustrato bajo las jaulas de cultivo. Estas estructuras de cilindros dispuestos en pirámide han sido la base para el diseño de los biofiltros. El diseño del biofiltro, el material de construcción de los mismos y el número de unidades a emplear fue planteado por el grupo coordinador del proyecto y consensado por los distintos grupos de trabajo.

Los biofiltros bentónicos están formados por cilindros (40cm diámetro y 210cm de largo) de malla de polietileno de alta densidad (luz hexagonal de 5cm) y anillos de refuerzo de PVC, apilados y sujetos entre sí mediante bridas plásticas y cordino trenzado de algodón (3mm), formando una pirámide de dimensiones 210 x 280 x 240cm y un volumen total 7,05 m<sup>3</sup>. Uno de los caracteres diferenciadores de los biofiltros de las distintas comunidades fue el diseño del sistema de fondeo. En el caso de Andalucía, se optó por utilizar listones tipo **L** en hierro galvanizado como esqueleto sustentador de la estructura. En la base de dicha estructura, los listones en **L** se prolongaron un metro y medio por cada lado. Esta prolongación aportó peso, solidez y anclaje, además de facilitar el manejo, transporte y fondeo (Figura 1). En el caso de la CA Murcia, la pirámide se encuentra encastrada en una base de hormigón armado, sumando en conjunto aproximadamente 2500 kg (Figura 2). La CA Canarias optó por un sistema mixto consistente en un marco de acero galvanizado que sirve de base al que sujetar la pirámide, y cuatro bloques de hormigón en los vértices a los que se sujeta el marco mediante grilletes (Figura 3). Se construyeron seis biofiltros en cada CA participante.



**Figura 1:** Esquema de los biofiltros bentónicos y sistema de fondeo específico de la CA Andalucía (Fuente E.P. DAP).



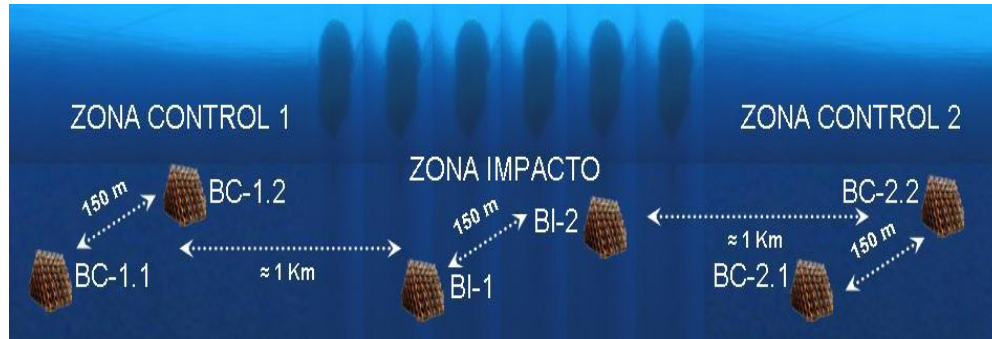
**Figura 2:** Biofiltros bentónicos y sistema de fondeo específico de la CA Murcia (Fuente IMIDA).



**Figura 3:** Biofiltros bentónicos y sistema de fondeo específico de la CA Canarias (Fuente ICCM).

### 2.3.1.3. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado se basa en la instalación de varias unidades de biofiltros de fondo que se encuentren sometidas a tratamientos de impacto ambiental causado por instalaciones de engorde de peces en mar abierto, y ubicados en zonas control sin afección directa de los vertidos, con el fin de poder observar diferencias debidas a la exposición o no a la acción directa de los residuos derivados del cultivo, de manera representativa estadísticamente. Así, una pareja de biofiltros fue fondeada inmediatamente debajo de jaulas de engorde de peces en mar abierto, y otras dos parejas de biofiltros fueron ubicadas en zonas alejadas de las granjas, como mínimo a 1km (Figura 4). En las memorias parciales de cada CA se detalla la localización específica de los biofiltros y el análisis de la zona de estudio particular.



**Figura 4:** Esquema general del diseño experimental para la localización de los biofiltros (Fuente IMIDA).

El esquema de trabajo obedece a un diseño de tipo asimétrico: una única zona impactada frente a dos zonas control (Underwood, 1991, 1992, 1993, Glasby, 1997). Este diseño implica el contraste entre la estación impacto y el promedio de las estaciones control (Underwood 1992), y proporciona más seguridad a la hora de discernir entre la variabilidad de la respuesta natural a la presencia de los biofiltros, de la debida a la influencia de la granja. La potencia estadística se reduce (impacto vs control: 1 grado de libertad únicamente), pero esto juega en favor al reducirse la probabilidad de cometer un error estadístico de tipo II (aceptar que existen diferencias entre impacto y control si en realidad no las hay: estaríamos vendiendo humo sin estar seguros de que realmente los biofiltros hayan actuado como hubiésemos esperado). Pero esto no implica que resulte improbable detectar diferencias entre impacto y control, la óptica es diferente en casos de impacto ambiental, en el sentido que los impactos ambientales son diferencias en el tiempo en las magnitudes de diferencia entre localidades impactadas y control (Underwood, 1997).

La circunstancia ideal hubiese sido disponer de al menos dos zonas impactadas frente a dos controles, pero hubo que tomar una solución de compromiso entre el coste de ejecución y la representatividad de las observaciones. No obstante, la selección de las estaciones controles siempre es controvertida, ya que idóneamente, éstas deben diferenciarse en nuestro caso de la impactada en que no reciben la influencia de la granja, siendo idénticas en el resto (ambientalmente similares: mismo tipo y naturaleza de los fondos), lo cual no siempre es posible. Así, si solo utilizásemos un control, y éste no fuese un buen control lo cual es frecuente, sería posible que las diferencias entre las zonas control e impacto se debiesen a sus diferencias intrínsecas más que al impacto en cuestión.

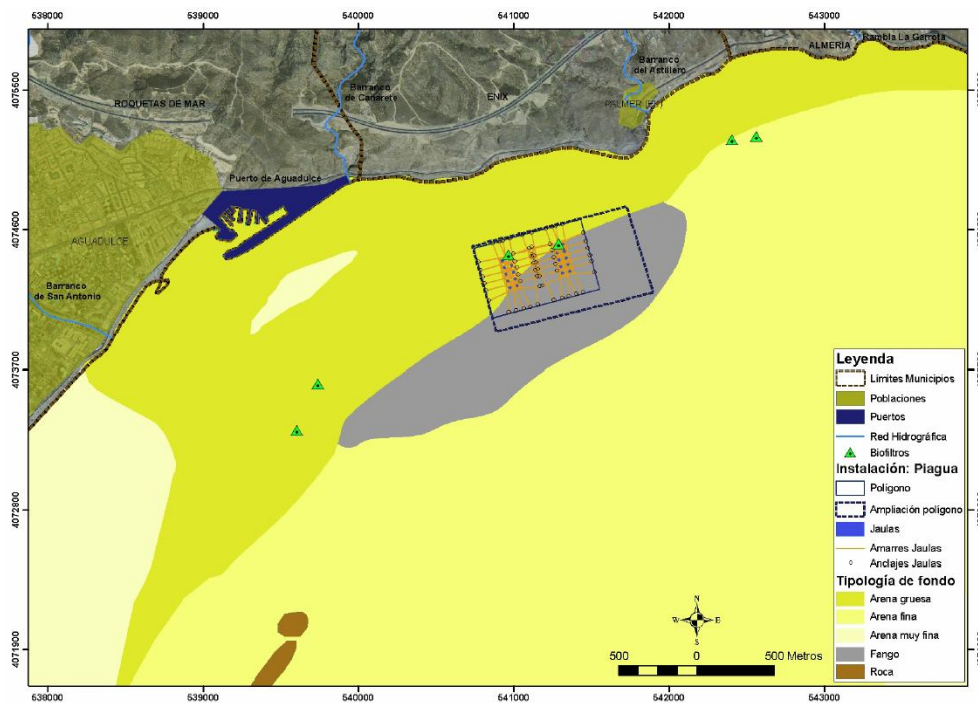


**2.3.1.4. Zonas de estudio.**

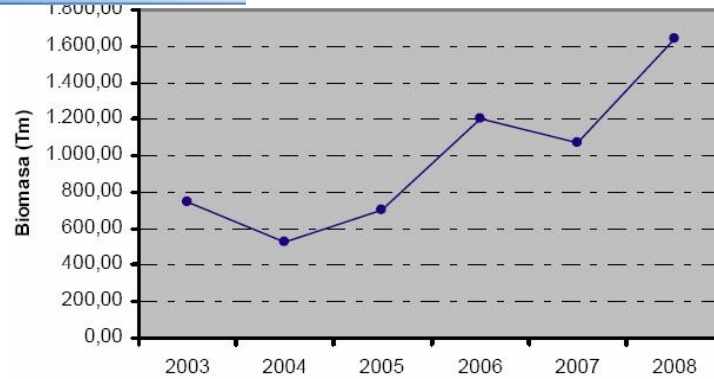
En las memorias parciales (Anexos I, II y III) se detallan las zonas de estudio de cada CA participante. A continuación se describen los aspectos relevantes desde el punto de vista del desarrollo experimental del subproyecto.

**2.3.1.4.1. CA Andalucía.**

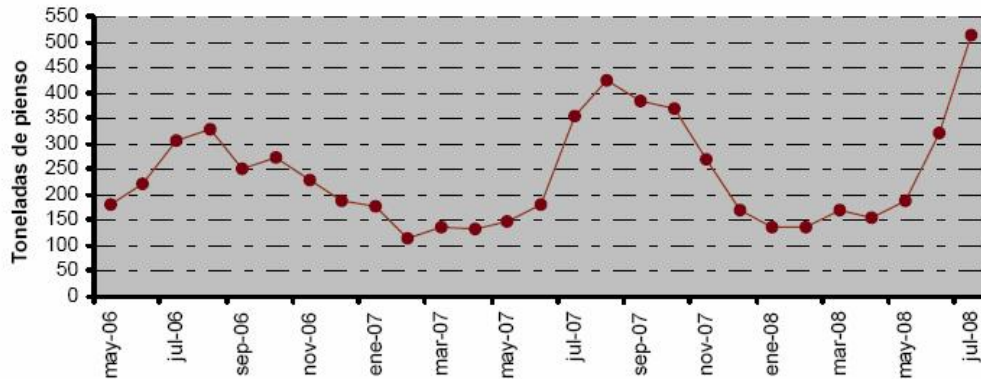
La empresa colaboradora PIAGUA S.L: se localiza frente a las costas de Aguadulce (Almería) y se dedica al engorde intensivo en jaulas flotantes de dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*). En la Figura 5 se muestra la localización de la granja y la ubicación de los biofiltros. En las Figuras 6 y 7 se muestra la evolución de la producción y del pienso suministrado durante el estudio.



**Figura 5:** Localización geográfica del subproyecto S1 en la CA Andalucía y ubicación de los biofiltros.



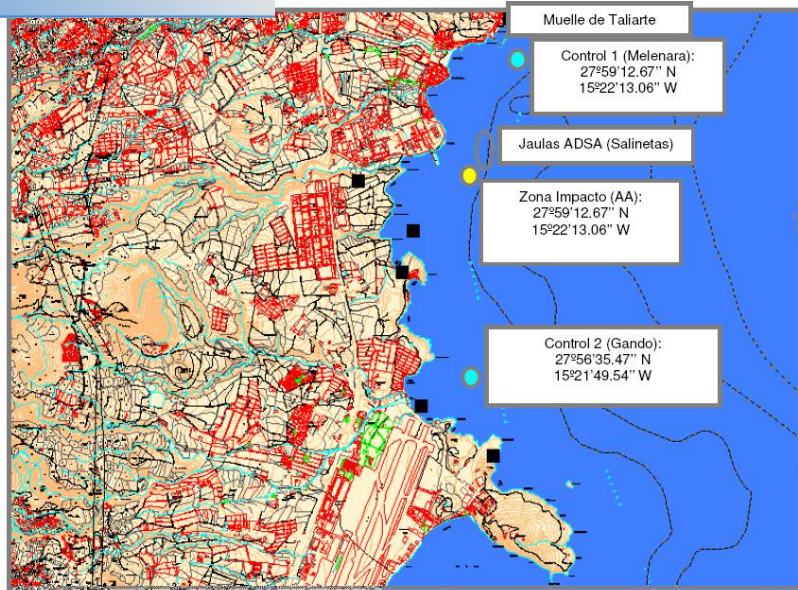
**Figura 6:** Biomasa en stock en PIAGUA S.L. durante la ejecución del S1 en CA Andalucía.



**Figura 7:** Alimento suministrado en PIAGUA S.L. durante la ejecución del S1 en CA Andalucía.

### 2.3.1.4.2. CA Canarias.

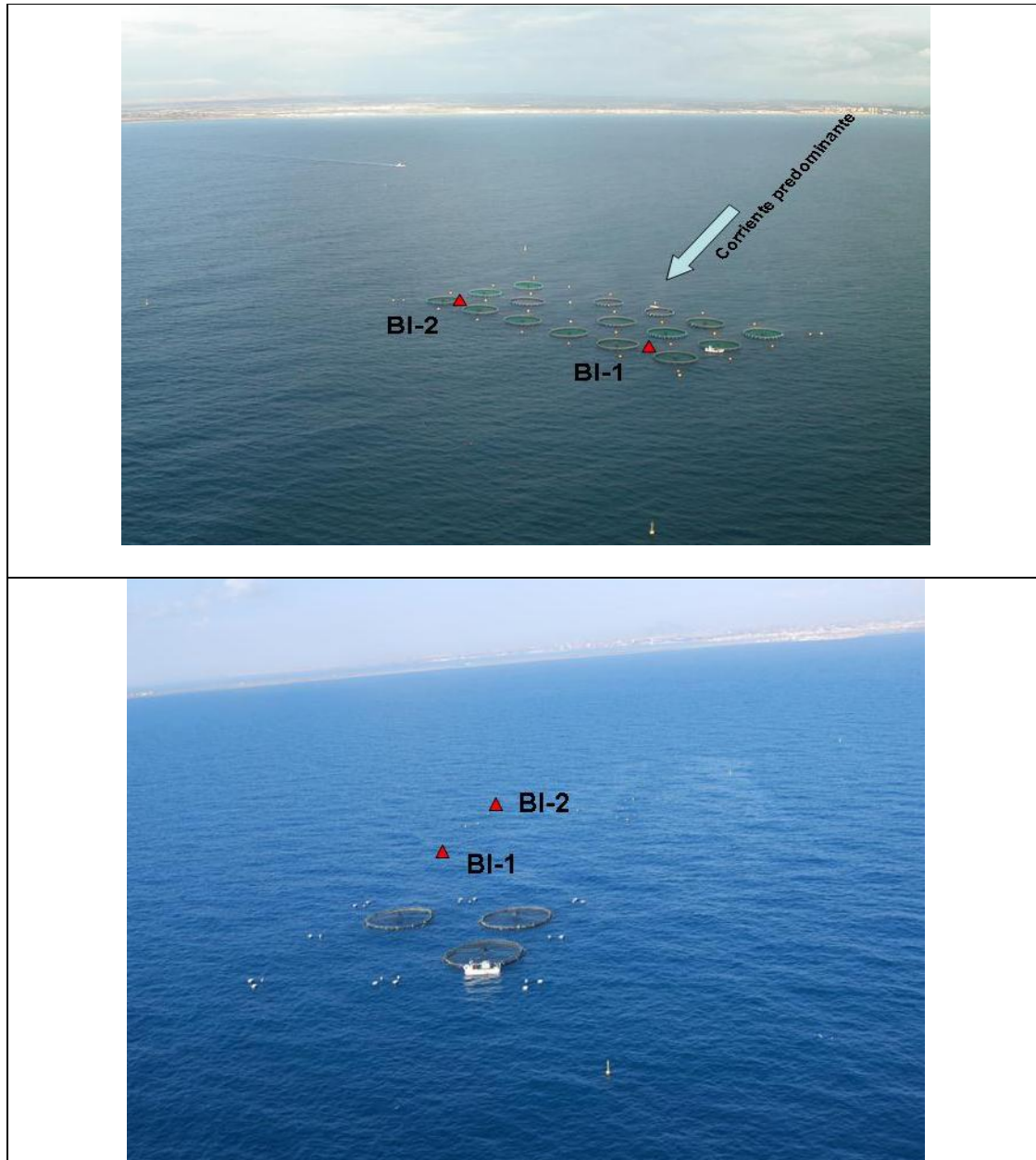
La empresa colaboradora ADS S.L: se localiza entre la Bahía de Melenara y la playa de Gando, al oeste de la isla de Gran Canaria, y se dedica al engorde intensivo en jaulas flotantes de dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*). En la Figura 8 se muestra la localización de la granja y la ubicación de los biofiltros.



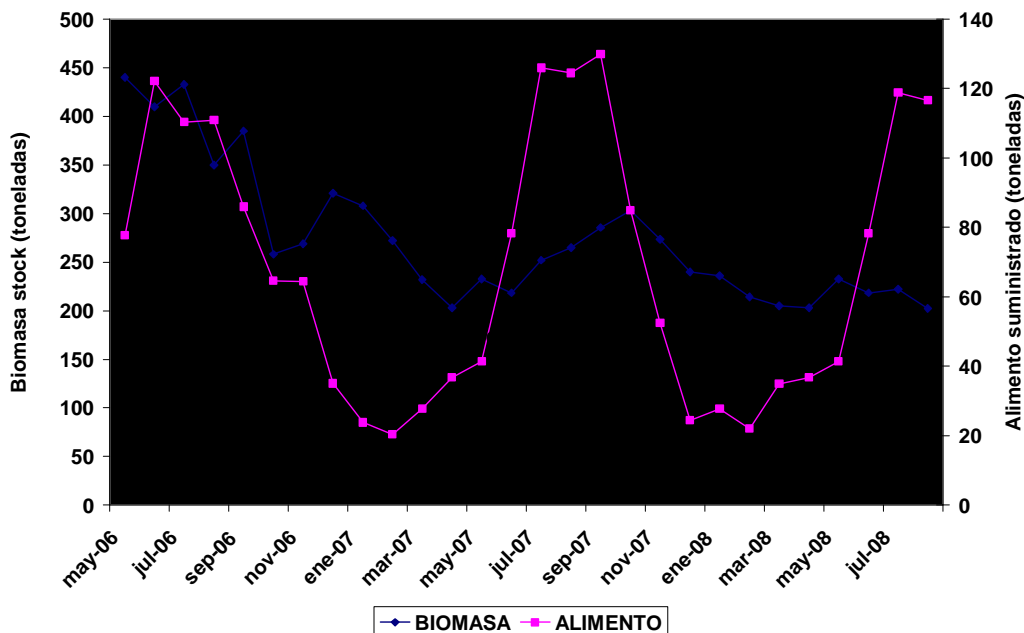
**Figura 8:** Localización geográfica del subproyecto S1 en la CA Canarias y ubicación de los biofiltros.

### 2.3.1.4.3. CA Murcia.

La empresa colaboradora Blue & Green Piscifactoría del Sureste S.L: se localiza frente a las costas de San Pedro del Pinatar, y se dedica al engorde intensivo en jaulas flotantes de dorada (*Sparus aurata*) y corvina (*Argyrosomus regius*). Al comienzo del desarrollo del proyecto (Mayo 2006), la granja colaboradora pertenecía a la compañía CONEI Overseas Investments S.L. En la primavera de 2007, la granja es adquirida por el grupo CULMAREX S.L., y a partir de este momento comienza a sufrir una reestructuración consistente en una progresiva disminución de la producción, retirada de jaulas, sustitución de entramados y sistemas de fondeo, instalación de nuevas jaulas, etc. La superficie de la concesión aumentó y las nuevas estructuras que se iban instalando conforme se eliminaban las antiguas se desplazaron respecto a las originales, lo que supuso que a partir de otoño de 2007, uno de los biofiltros de zona impacto (BI-1) quedase totalmente fuera de la influencia de la granja, y el otro (BI-2) a finales de verano de 2008 (Figura 9). Como veremos, estos cambios empresariales van a condicionar los resultados finales del estudio. En la Figura 10 se muestra la evolución de la producción de la granja y del alimento suministrado durante el período de estudio.



**Figura 9:** Localización de la granja colaboradora en la CA Murcia y cambios físicos en la misma (Fuente: Servicio de Pesca y Acuicultura CARM).



Fi

**Figura 10:** Evolución de la producción y del alimento suministrado durante el período de estudio. A partir de otoño de 2007, la producción se realiza alejada de la zona de influencia de los biofiltros bentónicos.

### 2.3.1.5. Compartimentos de estudio.

Se establecieron cuatro compartimentos de estudio que a continuación se detallan. Todos los muestreos se realizaron mediante buceo con escafandra autónoma.

#### 2.3.1.5.1. Flujo de material particulado.

El estudio del flujo de material particulado nos revelará cual de las zonas de estudio recibe una mayor cantidad de residuos derivados de los cultivos. Se toman muestras del material particulado que llega a los biofiltros de las diferentes zonas de estudio mediante trampas de sedimentación formadas por cuatro tubos de PVC en paralelo de Ø140mm y 1m de largo, con un embudo situado en su extremo inferior adaptado para acoplar tubos de vidrio (Figura 11). Del material capturado se calcula el flujo de material particulado ( $g\ m^{-2}\ d^{-1}$ ) y el grado de enriquecimiento en  $^{15}N$  (espectrómetro de masas; Universidad de A Coruña). Puesto que los piensos para peces son ricos en proteínas, muestran niveles elevados de  $^{15}N$ , de modo que el seguimiento de la señal isotópica  $^{15}N$  nos permitirá averiguar si el material particulado que llega a los biofiltros incluye residuos derivados de la granja. Se toman cuatro muestras por zona de estudio y campaña.

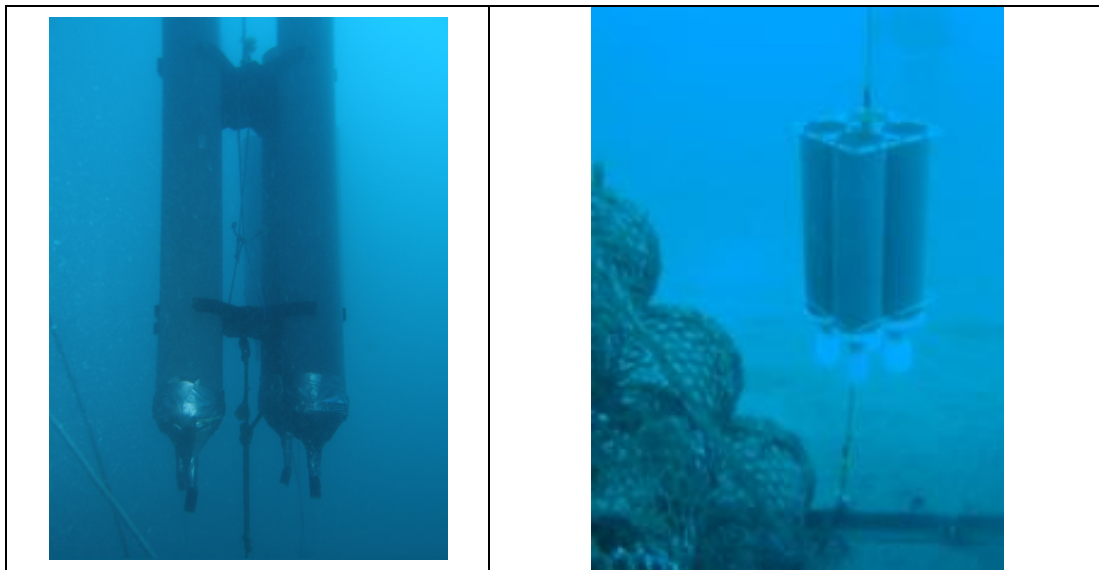
### 2.3.1.3.2. Sedimentos.

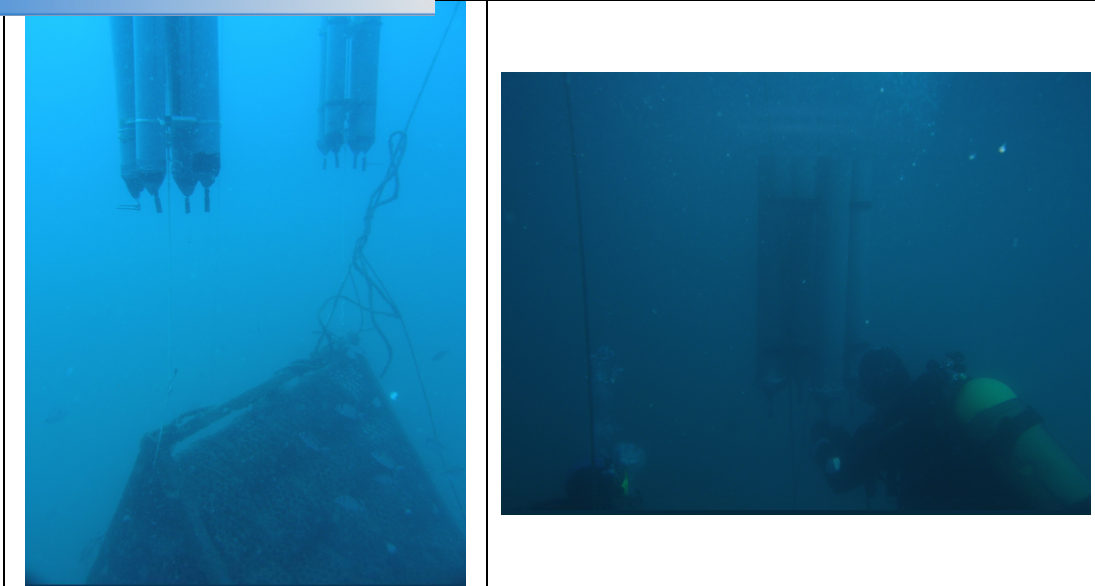
La evolución de la calidad de los sedimentos en el entorno de los biofiltros nos revelará si el mayor grado posible de mitigación ambiental se está produciendo, es decir, si se observa o no una recuperación de los mismos debida a la presencia de las estructuras. Se toman muestras de sedimentos alrededor de los biofiltros bentónicos de cada zona de estudio en un radio de 5m CA Canarias tomó también desde el comienzo de la experiencia muestras en una zona impactada sin biofiltro, la CA Andalucía hizo lo mismo a partir de la campaña de otoño 2007, y la CA Murcia en la última campaña (verano 2008). Se estudiaron las siguientes las siguientes variables físico-químicas y biológicas:

#### Físico-químicas:

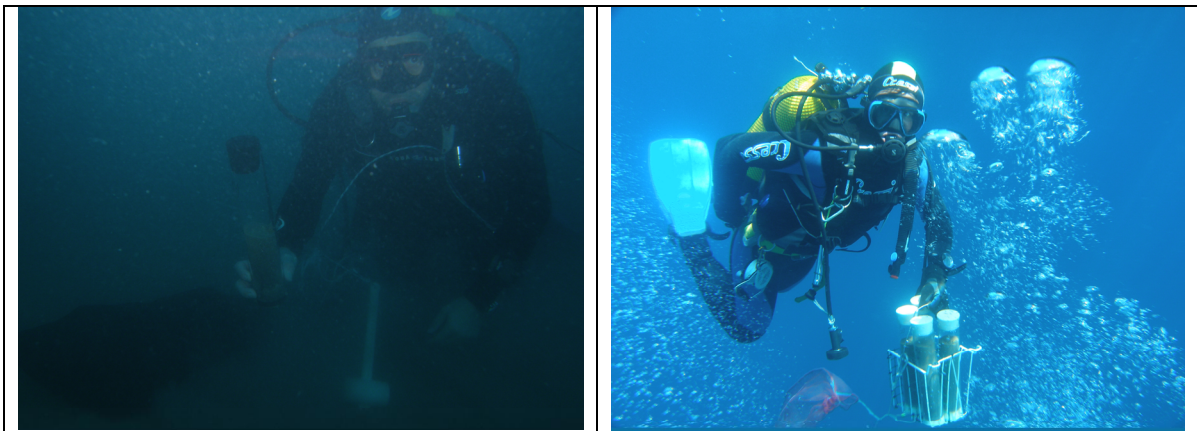
Las muestras para el estudio de las siguientes variables físico-químicas se toman mediante corers de mano (Figura 12), de metacrilato, de 30cm de longitud y 5,4cm de diámetro interno:

- Granulometría (tamizado húmedo; Buchanan, 1984).
- Potencial redox (electrodo Pt corregido a pH y temperatura).
- Carbono (C), nitrógeno (N) y azufre (S) totales (autoanalizador elemental; Universidad de Málaga).
- Fósforo (P) total (AOAC, 1985).
- Nitrógeno amoniacal (TAN) en agua intersticial (electrodo ion selectivo) (solo CA Murcia).
- Sulfuros volátiles (AVS) (Allen et al., 1993) (solo CA Murcia).
- $^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}$  (espectrómetro de masas; Universidad de A Coruña).





**Figura 11:** Trampas de sedimentación para la captura de material particulado en las diferentes zonas de estudio (Fuente IMIDA, ICCM y E.P. DAP).



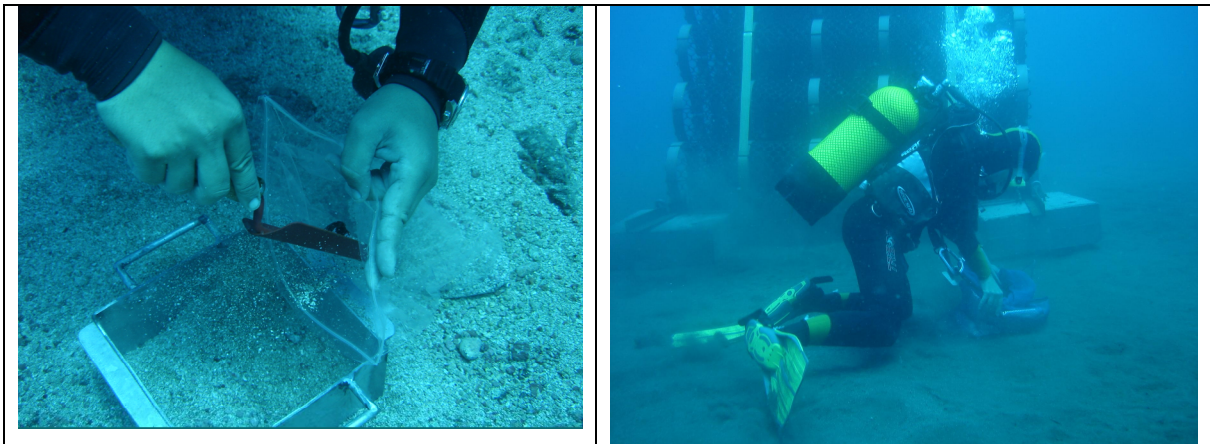
**Figura 12:** Corers de mano para la toma de muestras para el estudio de variables físico-químicas del sedimento (Fuente IMIDA y E.P. DAP).

**Biológicas:**

Las muestras para el estudio de las variables biológicas se obtienen mediante la extracción del sedimento incluido en una calicata de 20x20x10cm (Figura 13). Se toman cuatro réplicas por zona de estudio y campaña. Las muestras son tamizadas a una luz de malla de 500 . Se seleccionó el poblamiento de poliquetos infaunales por su sensibilidad a los cambios que se producen en los sedimentos, lo que los convierten en los indicadores más usados para evaluar los

efectos de la contaminación sobre el bentos (Salas, 1996). El nivel taxonómico empleado fue el de familia, ya que es considerado como suficiente en estudios de seguimiento del impacto ambiental de los cultivos marinos (Ferraro et al., 1995; Urkiaga . Alberdi et al., 1999; Lampadariou et al., 2005). Los taxones presentes en cada muestra y estación se incluyen en una matriz de doble entrada (taxones por estaciones y campañas) para el estudio uni y multivariante de la estructura del poblamiento. Se calculan los siguientes índices univariantes:

- Riqueza específica (S): nº de taxones en cada muestra.
- Abundancia (N): nº de individuos en cada muestra.
- Diversidad biológica (H'): índice de Shannon-Wiener ( $\log e$ ).
- Equitabilidad (J'): índice de Pielou.



**Foto 13:** Calicata para la toma de muestras para el estudio del poblamiento de poliquetos infaunales del sedimento (Fuente: ICCM).

### 2.3.1.5.3. Fouling.

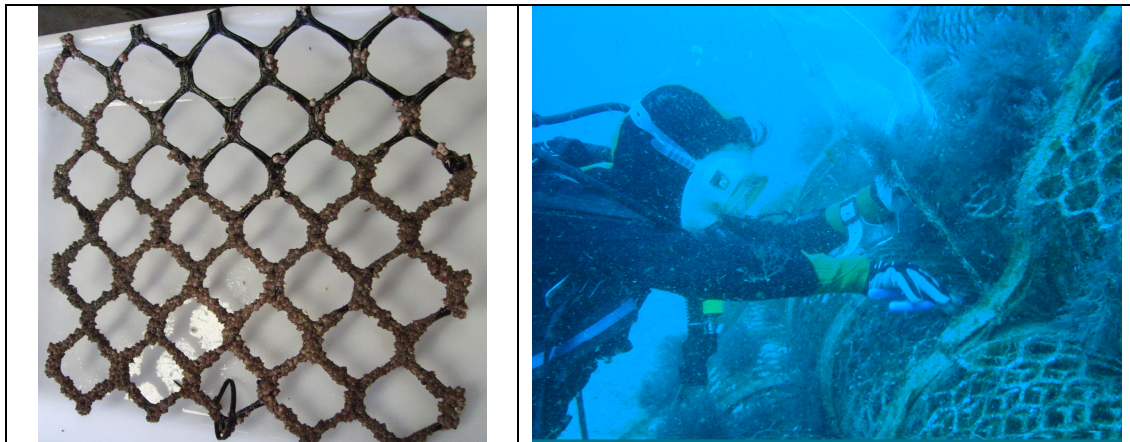
El fouling lo forman los organismos que colonizan el sustrato artificial que proporcionan los biofiltros. La influencia de la granja sobre las comunidades macrobentónicas asociadas a los biofiltros podría suponer una mayor o menor biomasa, una diferente estructuración de la comunidad, o un diferente gado de enriquecimiento orgánico derivado de los cultivos. Para su estudio, previo al fondeo se dispusieron suficientes unidades muestrales (cuadrados de 30x30cm de la misma malla con la que están realizados los biofiltros (Figura 14) y aleatoriamente en cada campaña se tomaron cuatro réplicas, siendo las variables a estudiar las siguientes:

- Biomasa total y por taxones ( $g\ m^{-2}$ ).
- $^{15}N$  (espectrómetro de masas; Universidad de A Coruña). Puesto que los piensos para peces son ricos en proteínas, muestran niveles elevados de



IN, de modo que el seguimiento de la señal isotópica  $^{15}\text{N}$  nos permitirá averiguar si el fouling se está beneficiando de los residuos derivados de la granja.

- Estructura de la comunidad del fouling (CCAA Canarias y Murcia). Se determinaron hasta el nivel taxonómico de familia todos los taxones presentes en cada unidad muestral de cada estación y campaña. Los taxones presentes en cada muestra y estación (abundancia) y los datos relativos a la biomasa por taxones, se incluyen en una matriz de doble entrada (taxones o biomasa de cada taxón por estaciones y campañas) para el estudio uni y multivariante de la estructura de la comunidad. Se calculan los siguientes índices univariantes:
  - Riqueza específica (S): nº de taxones en cada muestra.
  - Abundancia (N): nº de individuos en cada muestra.
  - Diversidad biológica ( $H'$ ): índice de Shannon-Wiener ( $\log e$ ).
  - Equitabilidad ( $J'$ ): índice de Pielou.



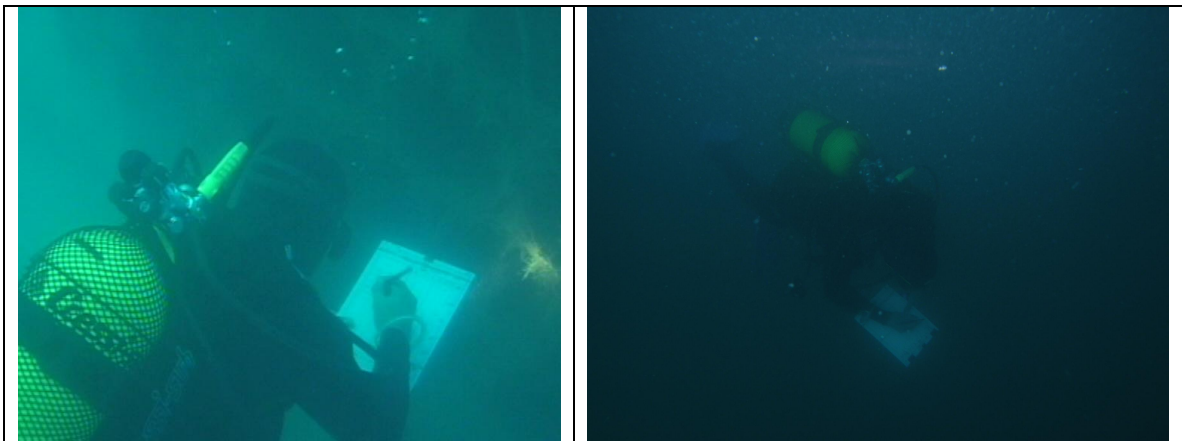
**Figura 14:** Unidad muestral para el estudio del fouling y toma de muestras (Fuente: ICCM).

#### 2.3.1.5.4. Poblamiento ictiológico.

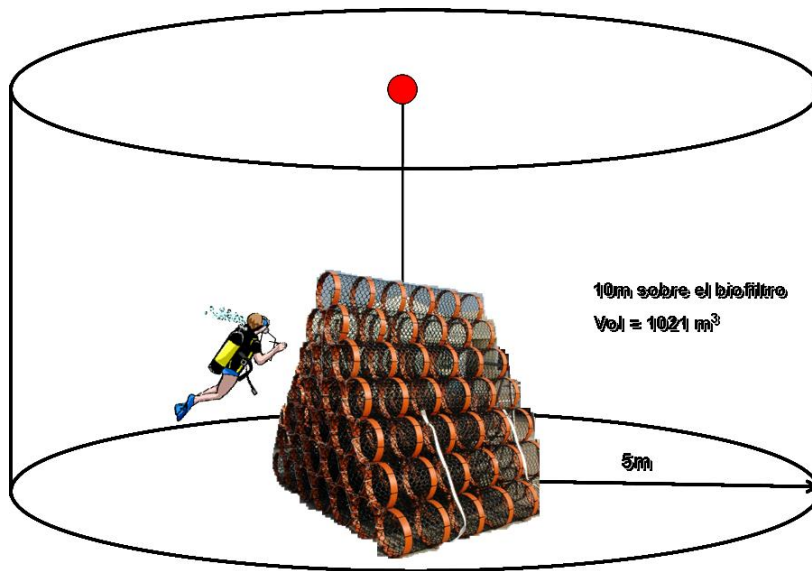
La mayor o menor afluencia de peces en los biofiltros y su entorno inmediato puede suponer una diferente utilización de los recursos disponibles que proceden del cultivo. Se estudió el poblamiento ictiológico asociado a los biofiltros mediante censos visuales con escafandra autónoma (Figura 15). Los censos se realizan en todos los biofiltros, de modo que se tienen dos réplicas por tratamiento (2 impacto, 2 control-1 y 2 control-2). En cada censo se anota el número de individuos de cada especie observada y su tamaño, siguiendo la metodología descrita por Harmelin (1987). Se considera como volumen para prospectar el poblamiento ictiológico, el contenido en 5m de radio alrededor de cada biofiltro, y hasta 10m por encima, obteniéndose un volumen total aproximado de  $1021\text{m}^3$  (Figura 16). Se calcula la biomasa de cada una de las especies a partir de la estimación de la

longitud del pez necna en el censo y la subsiguiente aplicación de las ecuaciones de relación talla-peso obtenidas en la base de datos <http://www.fishbase.org>. Los datos de abundancia y biomasa son incorporados a una matriz de doble entrada (taxones o biomasa de cada especie por estaciones y campañas) para el estudio uni y multivariante de la estructura del poblamiento. Se calculan los siguientes índices univariantes:

- Riqueza específica (S): nº de taxones en cada muestra.
- Abundancia (N): nº de individuos en cada muestra.
- Diversidad biológica (H'): índice de Shannon-Wiener (log e).
- Equitabilidad (J'): índice de Pielou.



**Figura 15:** Realización de censos de peces mediante buceo con escafandra autónoma (Fuente IMIDA).



**Figura 16:** Esquema del volumen de muestreo para el poblamiento ictiológico (Fuente IMIDA).

### 2.3.1.6. Tratamiento estadístico de los datos e hipótesis estadísticas.

Dada la naturaleza de los datos que se obtienen, se llevarán a cabo pruebas de contraste univariantes basadas en el análisis de la varianza (ANOVA) y multivariantes basadas en el análisis múltiple de la varianza mediante permutaciones (PERMANOVA), y en técnicas de agrupamiento y ordenación espacial. Al tratarse de un diseño asimétrico, el factor zona (BI, BC1 y BC2) es asimétrico (un impacto vs dos controles), la variabilidad de este factor se descompone en impacto vs control (I vs C) y entre controles (Cs), y el factor tiempo en forma de campañas de muestreo (CM), que es de carácter aleatorio se testa en interacción con (I vs C) y Cs. Mientras que si tratásemos el factor zona como si estuviese formado por tres niveles independientes (BI, BC1 y BC2), su carácter sería aleatorio, pero en el diseño asimétrico (I vs C) es fijo, mientras que Cs es aleatorio. Los diseños asimétricos son complejos y no figuran en los protocolos de los principales paquetes informáticos estadísticos. Por tanto, tanto para análisis univariante como multivariante, los ANOVA y PERMANOVA asimétricos hay que construirlos en hoja de cálculo a partir de 3 ANOVA's. Para cada uno de los compartimentos estudiados se detalla a continuación el desarrollo particular de los ANOVA asimétricos (Tablas 1, 2, 3 y 4).

En relación a los fondos bajo la granja colaboradora, éstos ya se encontraban impactados con relación a los fondos control antes del fondeo de los biofiltros. Puesto que la duración de este proyecto es limitada, es posible que al finalizar el mismo, los fondos bajo la granja sigan estando en igual o peores condiciones, o que aun estando impactados se observe una mejora, es decir, que se hayan recuperado parcialmente, o incluso que se hayan recuperado del todo, todo ello siempre en relación a la evolución de las zonas control que nos marcan la dinámica natural, y en último término en comparación con el estado de los fondos de zonas impactadas sin presencia de biofiltros. En este estudio jugamos pues con dos factores, (I vs C) de tipo fijo, ya que estos tratamientos y no otros están establecidos desde un inicio por los experimentadores, y el tiempo dividido en campañas de muestreo de tipo aleatorio, dado que la respuesta temporal de los sedimentos al tratamiento (magnitud del efecto impacto vs control) que se someten es desconocida, la influencia del tiempo en si misma pierde importancia y la magnitud de los efectos se testa considerando un tiempo indefinido que actúa únicamente como replicación temporal y actúa para absorber la variabilidad temporal. En relación al material particulado, fouling y poblamiento ictiológico, las hipótesis estadísticas son las mismas, y el carácter de los factores también, aunque en los casos del fouling y los peces, todos los biofiltros parten de cero. A pesar de que se espera que para el fouling y el poblamiento ictiológico se observe un patrón estacional debido a la dinámica temporal propia de los organismos vivos, al igual que para las variables del sedimento, el tiempo es considerado como factor aleatorio. Los patrones estacionales pueden ser detectados claramente mediante los análisis multivariantes (técnicas de ordenación), sin embargo, en relación a la hipótesis de estudio, el tiempo desempeña la misma función, una replicación temporal de carácter indefinido para absorber la variabilidad temporal.

Luego, ¿que es lo que realmente nos interesa testar para determinar la efectividad de los biofiltros en los diferentes compartimentos? Pues si las magnitudes de las diferencias de las variables empleadas entre impacto y control se mantienen a lo largo del tiempo, es decir, la interacción entre el tiempo (campañas de muestreo) e  $\% \text{ Impacto vs control} = (I \text{ vs } C) \times \text{CM}$ . Esta es pues la hipótesis estadística que verdaderamente nos interesa, más que si la zona impacto es o no diferente de la control. No obstante, y como medida de control, se realiza un contraste entre la zona impactada con biofiltro y sin biofiltro al final de la experiencia.

En definitiva, independientemente del compartimento de estudio, las variables univariantes se tratan estadísticamente mediante ANOVA asimétrico: variables físico-químicas del sedimento, del material particulado y del fouling, índices biológicos univariantes del sedimento, del fouling y del poblamiento ictiológico. En el caso de la CA Murcia, para las variables físico-químicas del sedimento, previamente se realiza un análisis de componentes principales (PCA) para explorar cuales de todas las variables previamente estandarizadas son las que más participan en explicar la variabilidad de todos los datos, y seleccionarlas para realizar los contrastes sólo con éstas. Los contrastes para las variables del sedimento ente zona impacto con y sin biofiltro se realizan mediante  $\% \text{ one-way} + \text{ANOVA}$  o PERMNOVA.

Las variables multivariantes (poblamiento de poliquetos, comunidad macrobentónica del fouling (abundancia y biomasa) y poblamiento ictiológico (abundancia y biomasa), cuyos datos se encuentran en forma de matrices de doble entrada (taxones frente zonas x campaña) son tratados del siguiente modo:

- 1) Tomando los valores medios de las réplicas de cada caso:
  - a) Transformación de los datos: para no eliminar la mayor influencia que los taxones más abundantes pudieran tener frente a los taxones raros (Clarke y Warwick, 2001):
    - Raíz cuadrada para poblamiento de poliquetos y comunidad macrobentónica del fouling.
    - $\text{Log}(x+1)$  para el poblamiento de peces. La abundancia de los peces, siguiendo el método de Harmelin (1987) se estima en función de una escala logarítmica, luego esta transformación es más adecuada para esta variable.
  - b) Cálculo de la matriz de similaridad de Bray-Curtis (Bray y Curtis, 1957) entre zonas x campañas.
  - c) Clasificación jerárquica mediante análisis de CLUSTER en función de la similaridad de Bray-Curtis, seguido del test SIMPROF para contraste entre los grupos obtenidos.
  - d) Ordenación de las zonas x campaña mediante escalado multidimensional no paramétrico (nMDS) (Kruskal y Wish, 1978) y superposición de los grupos del CLUSTER + SIMPROF.
  - e) Contribución de los taxones a la similitud/disimilitud entre grupos del CLUSTER (SIMPER, Clarke y Warwick, 2001).

De los resultados de este tratamiento estadístico de los datos, descubrimos como se agrupan las zonas x campaña en función de la similitud entre ellas, y cuales son los taxones que determinan este agrupamiento. Esto nos va a permitir interpretar los resultados del tratamiento estadístico que se detalla a continuación, que es el verdadero contraste estadístico necesario para determinar si se produce mitigación.

2) Tomando todas las réplicas independientes de la matriz de datos (contrastes estadísticos).

a) Transformación de los datos: para no eliminar la influencia que los taxones más abundantes pudieran tener sobre los taxones raros (Clarke y Warwick, 2001):

- Raiz cuadrada para poblamiento de poliquetos y comunidad macrobentónica del fouling.
- $\text{Log}(x+1)$  para el poblamiento de peces. La abundancia de los peces, siguiendo el método de Harmelin (1987) se estima en función de una escala logarítmica, luego esta transformación es más adecuada para esta variable.

b) Cálculo de la matriz de similaridad de Bray-Curtis (Bray y Curtis, 1957) entre zonas x campañas.

c) Análisis de los datos mediante PERMANOVA asimétrico (Terlizzi et al., 2005) en función de la matriz de similaridad de Bray-Curtis, siguiendo el mismo desarrollo que para los análisis univariantes (Tablas 2, 4 y 5).

Para la realización de estos cálculos se han empleado los siguientes programas: EXCEL 2003, STATISTICA v6.0 y PRIMER 6 & PERMANOVA + 24 (Clarke y Gorley, 2006; Anderson et al., 2008) y PERMANOVA v 1.6 (Anderson, 2005).

Con estos tests descubriremos como evolucionan las diferencias entre impacto y control en el tiempo y si estas diferencias son o no significativas, es decir:

- Si la presencia de los biofiltros ha supuesto que la magnitud de las diferencias que ya existían en las variables del sedimento entre impacto y control han variado significativamente en el tiempo de estudio, y según sean esas tendencias y la interpretación de la evolución de la estructura del poblamiento infaunal de poliquetos y de las variables físico-químicas del sedimento, si se ha producido o no una recuperación (mitigación) de la calidad de los fondos.
- Si la diferente ubicación de los biofiltros supone una diferenciación en las variables estudiadas de la comunidad macrobentónica del fouling y del poblamiento de peces. De la interpretación de estos resultados se descubre si los biofiltros pueden o no actuar mitigando el impacto ambiental derivado de la granja.

**Tabla 1:** Desarrollo del ANOVA asimétrico para el tratamiento estadístico de las variables del **sedimento**.

- 1) ANOVA como si fuese simétrico, es decir tomando todas las zonas como si fuesen niveles de un mismo tratamiento: BI, BC1 y BC2.

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
Z: Zona (a = 3)	(a-1) = 2	Z x CM
CM: Campaña muestreo (b = 6)	(b-1) = 5	aleatorio
Z x CM	(a-1) (b-1) = 10	Residual
Residual (n = 4 réplicas)	ab(n-1) = <b>54</b>	
Total	<b>71</b>	

- 2) ANOVA tomando solo los controles BC1 y BC2.

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
Cs: Controles (c = 2)	(c-1) = 1	Cs x CM
CM: Campaña muestreo (b = 6)	(b-1) = 5	aleatorio
Cs x CM	(c-1) (b-1) = 5	Residual
Residual (n = 4)	cb(n-1) = 36	
Total	47	

- 3) ANOVA asimétrico final

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
Z: Zona (a = 3)	(a-1) = 2	Z x CM
<b>I vs C</b> (d = 2)	(d-1) = 1	Cs
<b>Cs</b> (c = 2)	(c-1) = 1	Cs x CM
CM: (b = 6)	(b-1) = 5	Aleatorio
Z x CM	(a-1) (b-1) = 10	Residual
<b>(I vs C) x CM</b>	(d-1) (b-1) = 5	CsxCM
<b>Cs x CM</b>	(c-1) (b-1) = 5	Residual
Residual (n = 4 réplicas)	ab(n-1) = <b>54</b>	
Total	<b>71</b>	

El test (I vs C) sólo es posible cuando el contraste (I vs C) x CM no es significativo ( $P > 0,25$ ) (Glasby, 1997).

**Tabla 3:** Desarrollo del ANOVA asimétrico para el tratamiento estadístico de las variables del **material particulado**.

- 1) ANOVA como si fuese simétrico, es decir tomando todas las zonas como si fuesen niveles de un mismo tratamiento: BI, BC1 y BC2.

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
<b>Z:</b> Zona (a = 3)	(a-1) = 2	Z x CM
<b>CM:</b> Campaña muestreo (b = 4)	(b-1) = 3	aleatorio
<b>Z x CM</b>	(a-1) (b-1) = 6	Residual
Residual (n = 4 réplicas)	ab(n-1) = <b>36</b>	
Total	<b>47</b>	

- 2) ANOVA tomando solo los controles BC1 y BC2.

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
<b>Cs:</b> Controles (c = 2)	(c-1) = 1	Cs x CM
<b>CM:</b> Campaña muestreo (b = 4)	(b-1) = 3	aleatorio
<b>Cs x CM</b>	(c-1) (b-1) = 3	Residual
Residual (n = 4)	cb(n-1) = 24	
Total	31	

- 3) ANOVA asimétrico final

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
Z: Zona (a = 3)	(a-1) = <b>2</b>	Z x CM
<b>I vs C</b> (d = 2)	(d-1) = 1	Cs
<b>Cs</b> (c = 2)	(c-1) = 1	Cs x CM
CM: (b = 6)	(b-1) = <b>3</b>	Aleatorio
Z x CM	(a-1) (b-1) = <b>6</b>	Residual
<b>(I vs C) x CM</b>	(d-1) (b-1) = 3	CsxCM
<b>Cs x CM</b>	(c-1) (b-1) = 3	Residual
Residual (n = 4 réplicas)	ab(n-1) = <b>36</b>	
Total	<b>47</b>	

El test (I vs C) sólo es posible cuando el contraste (I vs C) x CM no es significativo ( $P > 0,25$ ) (Glasby, 1997).

**Tabla 4:** Desarrollo del ANOVA asimétrico para el tratamiento estadístico de las variables de la comunidad macrobentónica del **fouling**.

- 1) ANOVA como si fuese simétrico, es decir tomando todas las zonas como si fuesen niveles de un mismo tratamiento: BI, BC1 y BC2.

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
<b>Z:</b> Zona (a = 3)	(a-1) = 2	Z x CM
<b>CM:</b> Campaña muestreo (b = 9)	(b-1) = 8	aleatorio
<b>Z x CM</b>	(a-1) (b-1) = 16	Residual
Residual (n = 4 réplicas)	ab(n-1) = <b>81</b>	
Total	<b>107</b>	

- 2) ANOVA tomando solo los controles BC1 y BC2.

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
<b>Cs:</b> Controles (c = 2)	(c-1) = 1	Cs x CM
<b>CM:</b> Campaña muestreo (b = 9)	(b-1) = 8	aleatorio
<b>Cs x CM</b>	(c-1) (b-1) = 8	Residual
Residual (n = 4)	cb(n-1) = 54	
Total	71	

- 3) ANOVA asimétrico final

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
Z: Zona (a = 3)	(a-1) = <b>2</b>	Z x CM
<b>I vs C</b> (d = 2)	(d-1) = 1	Cs
<b>Cs</b> (c = 2)	(c-1) = 1	Cs x CM
CM: (b = 9)	(b-1) = <b>8</b>	Aleatorio
Z x CM	(a-1) (b-1) = <b>16</b>	Residual
<b>(I vs C) x CM</b>	(d-1) (b-1) = 8	CsxCM
<b>Cs x CM</b>	(c-1) (b-1) = 8	Residual
Residual (n = 4 réplicas)	ab(n-1) = <b>81</b>	
Total	<b>107</b>	

El test (I vs C) sólo es posible cuando el contraste (I vs C) x CM no es significativo ( $P > 0,25$ ) (Glasby, 1997).



**Tabla 5:** Desarrollo del ANOVA asimétrico para el tratamiento estadístico de las variables del poblamiento ictiológico.

- 1) ANOVA como si fuese simétrico, es decir tomando todas las zonas como si fuesen niveles de un mismo tratamiento: BI, BC1 y BC2.

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
<b>Z:</b> Zona (a = 3)	(a-1) = 2	Z x CM
<b>CM:</b> Campaña muestreo (b = 9)	(b-1) = 8	aleatorio
<b>Z x CM</b>	(a-1) (b-1) = 10	Residual
Residual (n = 2 réplicas)	ab(n-1) = <b>27</b>	
Total	<b>53</b>	

- 2) ANOVA tomando solo los controles BC1 y BC2.

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
<b>Cs:</b> Controles (c = 2)	(c-1) = 1	Cs x CM
<b>CM:</b> Campaña muestreo (b = 9)	(b-1) = 8	aleatorio
<b>Cs x CM</b>	(c-1) (b-1) = 8	Residual
Residual (n = 2)	cb(n-1) = 18	
Total	35	

- 3) ANOVA asimétrico final

FACTORES (niveles)	Grados de libertad	F- denominador
Z: Zona (a = 3)	(a-1) = <b>2</b>	Z x CM
<b>I vs C</b> (d = 2)	(d-1) = 1	Cs
<b>Cs</b> (c = 2)	(c-1) = 1	Cs x CM
CM: (b = 9)	(b-1) = <b>8</b>	aleatorio
Z x CM	(a-1) (b-1) = <b>16</b>	Residual
<b>(I vs C) x CM</b>	(d-1) (b-1) = 8	CsxCM
<b>Cs x CM</b>	(c-1) (b-1) = 8	Residual
Residual (n = 2 réplicas)	ab(n-1) = <b>27</b>	
Total	<b>53</b>	

El test (I vs C) sólo es posible cuando el contraste (I vs C) x CM no es significativo ( $P > 0,25$ ) (Glasby, 1997).

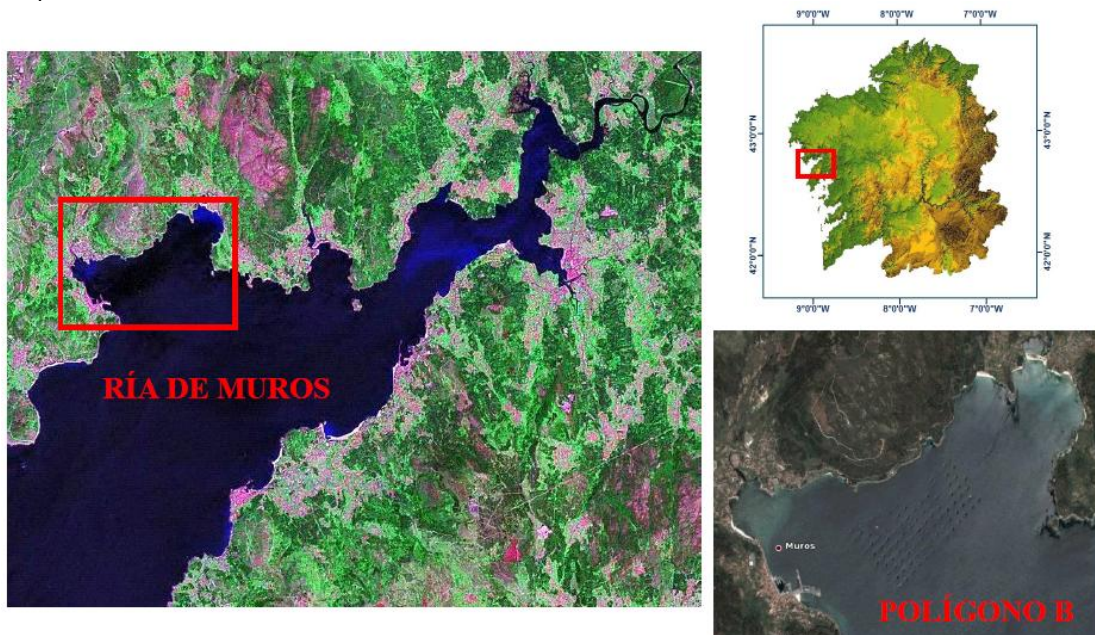
**2.3.1.7. Cronograma de los muestreos.**

	Estado 0 (may 06)	Verano 2006	Otoño 2006	Invierno 2007	Primav 2007	Veran 2007	Otoño 2007	Inviern o 2008	Primav 2008	Verano 2008
Sedimento	*****	*****		*****		*****		*****		*****
Fouling		*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Mat. partic.		*****		*****		*****		*****		
Pobl. Ictiol.		*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

**2.3.2. (S2): Mitigación del impacto ambiental causado por los biodepósitos de mejillón cultivado en batea.**

**2.3.2.1. Zona de estudio.**

Todas las experiencias realizadas en el ámbito de este subproyecto se llevaron a cabo en la Ría de Muros (Figura 17), que es la más septentrional de las cuatro que conforman las Rías Bajas. El polígono de bateas escogido fue Muros B, situado en las proximidades de esta localidad. Los dispositivos recolectores se situaron en las cuadrículas 54 (batea Juliana II) y la cuadrícula 65 (batea Bruma VII).

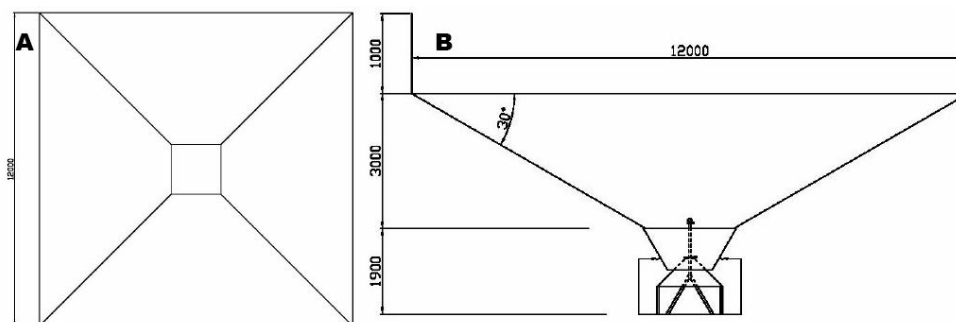


**Figura 17:** Localización geográfica del área de estudio para el desarrollo del S2 en la CA Galicia.

## 2.3.2.2. Diseño e instalación de sistemas de recogida de residuos.

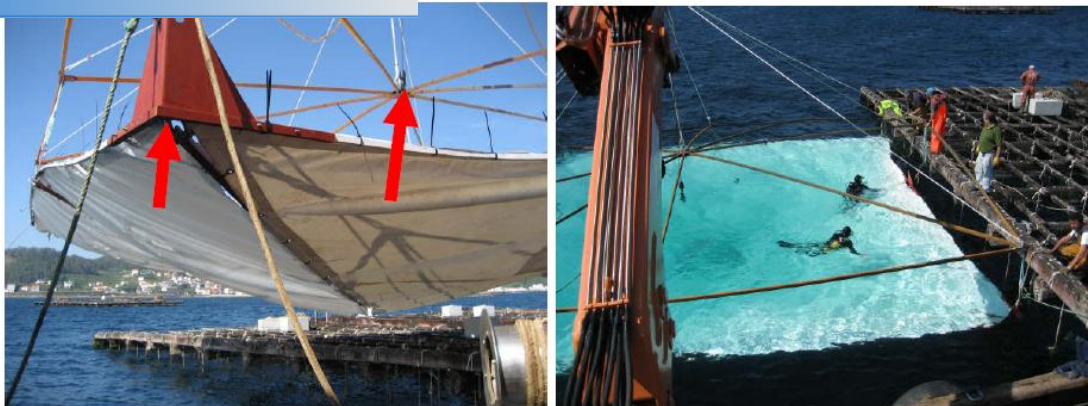
### 2.3.2.2.1. Sistema 1.

Dadas las dimensiones habituales de una batea típica (27x20m) se optó por construir un dispositivo piloto que ocupase aproximadamente 1/4 de la batea (12x12m). Su construcción se llevó a cabo durante el año 2.006 en el Centro de Formación A Aixola. El sistema constaba de una artesa en forma de pirámide invertida que se dispuso con una inclinación de 30°. Cada de los cuatro lados estaba formado por una lona triangular de 12 m de lado (Figura 18), en material de Gloss 650/L, que se ensamblaban mediante cabos a una estructura superior construida en poliéster. La forma se mantuvo mediante unos rigidizadores de fibra de vidrio pultrusionado, que a su vez se unían también a los ollaos de los laterales de la lona mediante bridas. En la parte inferior de esta estructura se dispuso un embudo de fibra de vidrio que se encastraba en la parte superior del depósito, que constaba de dos partes; un embudo superior y un depósito de 2,2 m de diámetro y 1,2 m de alto (capacidad aproximada de 6000 L). Estas estructuras se construyeron en fibra de vidrio. El sistema se ancló a la batea con la ayuda de cuatro cadenas de acero situadas en las esquinas y una cadena central que soportaba el depósito contenedor. Por sus dimensiones abarcaba la parte inferior de un total de 146 cuerdas de la batea.



**Figura 18:** Esquema y dimensiones del sistema 1 para la recogida de residuos bajo bateas de mejillón.

Su instalación bajo la batea Juliana II (42° 46q56.3q 9° 02q29.8q) se llevó a cabo a finales del mes de enero 2.007 (Figura 19). El sistema se situó a una profundidad aproximada de 18 m. de forma que no interfería con las actividades normales del cultivo. En el mes de febrero, tras los fuertes temporales que se registraron, se consideró necesario realizar una revisión para comprobar el estado del sistema. Se constató su desplome, así como diferentes desperfectos en sus partes estructurales que hicieron necesaria su retirada y posterior reparación en las instalaciones del Centro de Formación A Aixola.

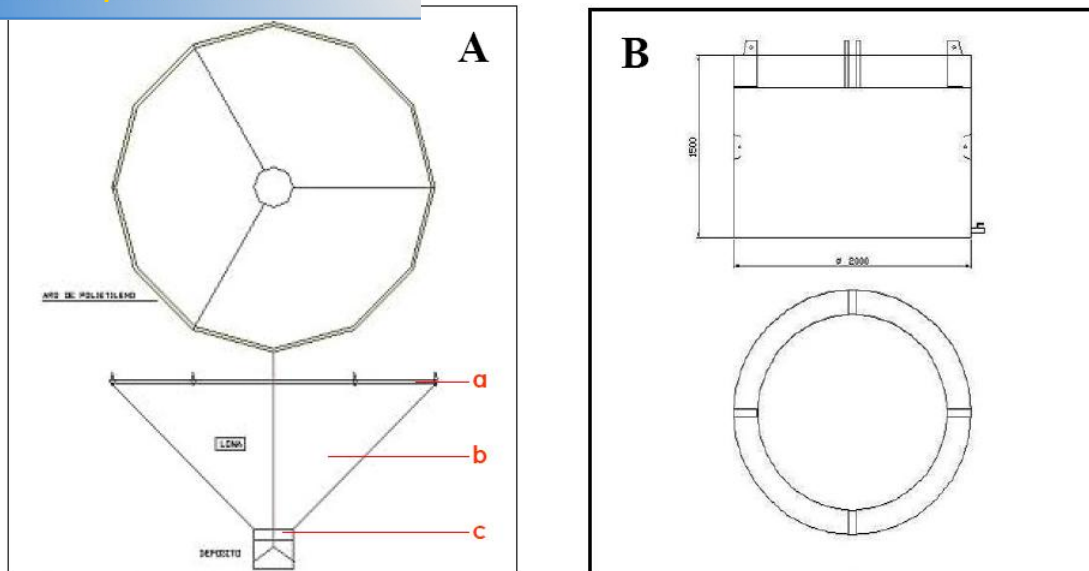


**Figura 19:** Colocación del sistema 1 bajo batea de mejillón.

Después de las reparaciones y mejoras realizadas, el sistema 1 se volvió a colocar en junio de 2007. Durante las sucesivas inspecciones realizadas se fueron sustituyendo componentes deteriorados debido a las tensiones a las que estuvieron sometidos, y en la última de las revisiones se realizó la sustitución de una de las lonas. En enero de 2008 se procedió a la retirada del sistema y al traslado de los biodepositos capturados hasta una parcela acotada de la Mina de Touro, situada en el municipio del mismo nombre al sureste de la provincia de A Coruña, donde el Laboratorio de Tecnología Ambiental de la Universidad de Santiago de Compostela realiza experiencias de restauración de suelos alterados. Para ello se utilizó un contenedor estanco para fangos, donde se vertió el contenido total del depósito (agua, partículas en suspensión, sedimento y restos de mejillón).

#### **2.3.2.2.2. Sistema 2.**

El diseño y construcción del segundo prototipo de sistema de recogida se realizó también en el Centro de Formación *A Aixola*, por los alumnos de los cursos de laminador de poliéster y reparaciones polivalentes, durante el año 2007. En este caso se optó por construir un sistema de recogida circular, de 12 metros diámetro, en el que se suprimió el esqueleto de poliéster suprimiendo los numerosos puntos de unión que presentaba el primer sistema. Constaba de tres partes diferenciadas. Un estructura principal en forma de cono invertido, dispuesto con una inclinación de 45°, formada por un aro de polietileno (PE-100) y una lona de *Gloss 650/L* formada por tres piezas unidas entre si mediante bridas. Un embudo rígido, construido en polipropileno (PP-H), que se une a la parte inferior de la lona mediante un sistema de encaje. Un depósito construido en el mismo material que el embudo y unido al él mediante cuatro pernos, que presentaba unas dimensiones de 1.5 m de altura, 2 m de diámetro y un volumen de 4,7 m<sup>3</sup> (Figura 20). El sistema se ancló a la batea con la ayuda de siete cadenas de acero galvanizado y cuerdas de nylon, así como una cadena central que se unía al depósito mediante tres cáncamos.

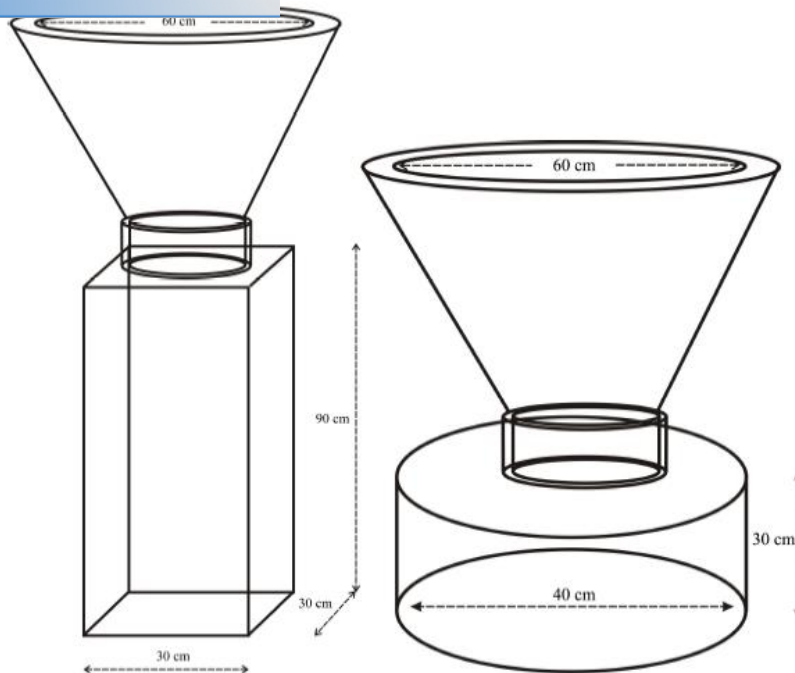


**Figura 20:** Esquema y dimensiones del sistema 2 para la recogida de residuos bajo bateas de mejillón.

Su instalación bajo la batea Bruma VII (42° 46.786qN, 9° 02.589qW) se realizó durante el 4 y 5 de abril de 2.008. Previamente los tubos que conformaron el aro superior fueron trasladados al puerto de Muros donde operarios de la empresa INCAPLAS soldaron un total de 40 metros y lo lastraron introduciendo en él una cadena de acero al objeto de disminuir su flotabilidad. Las operaciones de colocación se realizaron con la ayuda del mismo barco que el primer prototipo y la participación de dos buzos profesionales, situándose a una profundidad aproximada de 18 m, para no interferir en las actividades propias del cultivo. Se realizaron revisiones cada 6 semanas aproximadamente hasta que en septiembre de 2.008, tras cinco meses debajo de la batea, se llevó a cabo su retirada. La lona y el embudo se retiraron por separado del depósito y en este último se cubrió su parte superior con un plástico resistente, para evitar que el material retenido saliese al resuspenderse durante la maniobra de izado. En esta ocasión no se empleó un transporte especial, ya que el propio depósito del prototipo fue trasladado el 11 de septiembre hasta la mina de Touro en un camión provisto de grúa hidráulica, dotación imprescindible para la realización de las maniobras de carga y descarga del mismo.

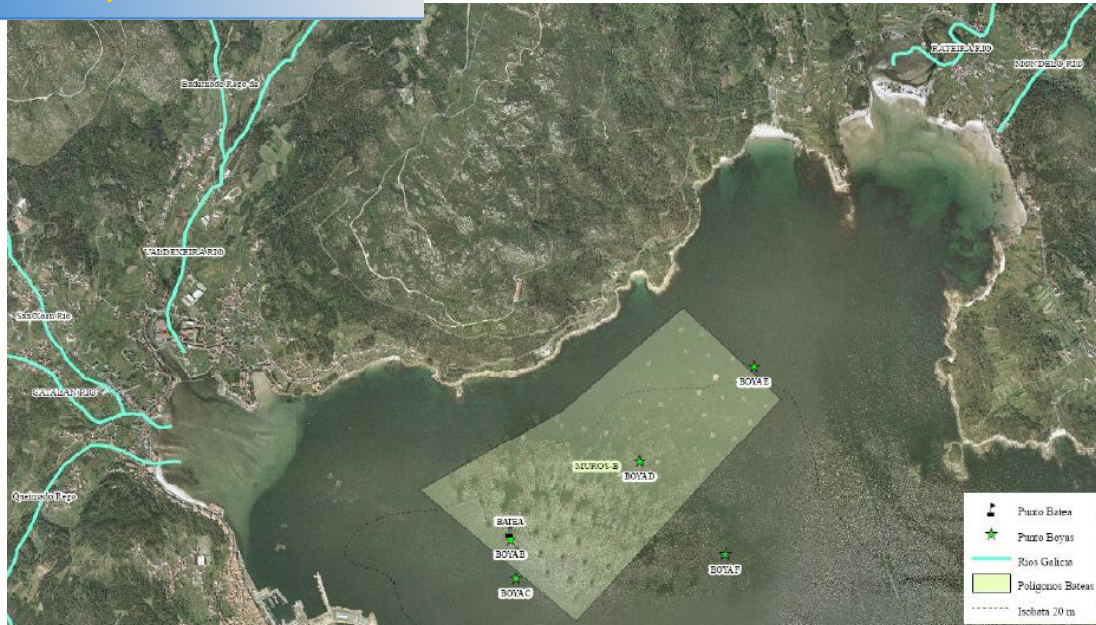
### 2.3.2.2.3. Sistema 3: depósitos réplica.

Desde la U.S.C se diseñaron otros modelos de depósitos o trampas que pudieran complementar el grado de determinación de los materiales de depósito y ayudasen a ponderar de forma aproximada, la intensidad del acopio. Los más aceptados serían aquellos de forma cilíndrica con diferentes tipos de abertura (variando el diámetro de la oquedad superior). En la Figura 21 se muestran los modelos propuestos con los tamaños más aconsejados.



**Figura 21:** Aspecto de alguno de los depósitos que fueron diseñados para la captación de biodepósitos bajo bateas de cultivo de mejillón

**Depósitos réplica I.** Se emplearon seis depósitos que tenían en su parte superior un embudo de 60 centímetros de boca y una zona de recogida de sedimento de forma cilíndrica de 40x30 cm. Los puntos de control seleccionados para su colocación se muestran en la Figura 22. El depósito que se localizaba debajo de la batea se colgó directamente de una de sus vigas mediante un cabo y su distancia del fondo era de 4 m. Los restantes depósitos, no ligados a bateas, se instalaron a una distancia del fondo de 1,5-2 m. Para ello se lastraron con cuatro muertos y su parte superior estaba unida a una boya colocada entre aguas, que permitía que se mantuviese en esta posición. Dicha boya se unía a otra más pequeña que tenía la función de señalar su posición en la superficie. Su instalación tuvo lugar el día 26 de marzo del 2008. Posteriormente, a medida que se llevaba a cabo la instalación y las revisiones periódicas del sistema de recogida, se hizo de forma paralela un seguimiento del estado de los depósitos.



**Figura 21:** Localización de los depósitos réplica en torno a un polígono de bateas de mejillón.

**Depósitos replica II.** Durante las sucesivas revisiones de los seis primeros depósitos instalados se observó que la cantidad de sedimento recogido era inferior a la que se estimaba que se depositase en ellos. Se decidió instalar seis nuevos depósitos, a los que previamente se les eliminó la parte que tenía función de embudo, dejando únicamente el recipiente cilíndrico. La existencia de estas estructuras superiores podría generar vórtices de corriente que dificultarían la entrada del material en suspensión en su interior. La instalación de seis nuevos depósitos se realizó el 9 de julio de 2008 y se ubicaron en las proximidades de los seis iniciales. Así, en la misma batea se colocó bajo las idénticas condiciones de cultivo y en el resto de puntos se situaron a una distancia aproximadamente 50 m en dirección NE, en fondos de características sedimentológicas similares.

### 2.3.2.3. Material y técnicas empleadas en la caracterización y valorización de los residuos.

Durante todas las fases de ejecución de proyecto y a medida que se ha ido comprobando cuales eran los métodos óptimos para la recolección y extracción de los sedimentos acumulados se han realizado muestreos del material residual, tanto del material depositado en la superficie del fondo como del acumulado en el fondo de saco del contenedor del artefacto instalado. En este sentido, la permanencia en fondo y posterior extracción del material residual comporta ciertas dificultades de manejo, en parte debido a la cantidad de agua que inevitablemente acumula el depósito pero también, por la influencia que ejercen las condiciones meteorológicas y del estado de la mar. Por ello, las maniobras de control periódico, muestreos, etc. siempre han estado condicionados por estas variables. Los fangos residuales extraídos se transportaban de inmediato a la

mina de Touro o al laboratorio para proceder a su determinación y tratamiento final. La caracterización y análisis de los sedimentos se realizó en los laboratorios del Departamento de Edafología y Química Agrícola y en el Laboratorio de Tecnología Ambiental de la U.S.C. Los procesos de tratamiento y valorización se realizaron en terrenos de la mina de Touro.

Estudios previos avalan el posible beneficio o aprovechamiento de este tipo de residuo como posible corrector de suelos ácidos pero, en este caso, debido a la elevada cantidad de agua salada que contienen los biodepósitos se requiere un pretratamiento de desalinización. El exceso de sales marinas de Na, K, Mg y Cl así como la posible presencia de elementos como Fe, Pb ó Zn, podría provocar la aparición de efectos negativos secundarios en la capacidad edáfica enmendante de los biodepósitos en el sentido de que, cantidades significativamente altas de sales no serían asimilables al medio, distorsionando las cadenas tróficas y alterando la actividad biológica de los microorganismos del suelo. Por ello, se han practicado sistemas de limpieza extendiendo el material acopiado en un área de la mina y exponiéndolo al lavado con agua de lluvia, favoreciéndose así, un proceso de ósmosis inversa. Previamente se seleccionó la superficie de lavado procurando que los lixiviados emanados fluyeran hacia un talud desnudo en el que, el aporte de materia orgánica y sales mejorase las condiciones de las aguas de escorrentía acumuladas en el hueco de fondo, aprovechando así, el poder reductor del lixiviado, para mitigar los procesos de acidificación de las aguas de escorrentía inducidos por los taludes desnudos y alterados. Inicialmente se barajó la posibilidad de recurrir a técnicas de desalinización electrocinéticas, pero la idea de poner en marcha un sistema electroquímico se descartó debido en primer lugar a la vasta extensión que ocupan los terrenos de mina con superficie suficiente como para albergar áreas de lavado y secado que, al mismo tiempo permiten la recuperación parcial de taludes y bermas situados en espacios igualmente degradados, aguas abajo. Además, se trataría de sistemas excesivamente onerosos, cuando la calidad del residuo ~~per sé~~ reúne condiciones que, a día de hoy, potencian procesos de restauración incluso durante un pretratamiento inmediato y en fresco realizado a la intemperie.

#### **2.3.2.4. Métodos de muestreo y ensayo.**

##### **2.3.2.3.1. Trabajo de campo.**

El muestreo y recogida de los biodepósitos de fondo en torno a sistemas de cultivo de mejillón en bateas nos permite identificar, caracterizar y analizar los residuos obtenidos en las diferentes campañas de campo. Esto comprende la caracterización físico-química y contenido total de carbono orgánico, carbonatos, nitrógeno, azufre, fósforo y elementos traza de los biodepósitos así como la capacidad de respiración del sustrato de los fondos marinos bajo bateas de cultivo de mejillón en la Ría de Muros Noia. Se ha procedido al desarrollo del proyecto en dos períodos consecutivos donde los muestreos se realizaron en puntos localizados en el polígono de cultivo de bateas de la ría de Muros. El primer período está comprendido entre junio de 2007 a enero de 2008 en la batea Juliana II perteneciente al polígono de cultivo Muros B. El segundo período de



muestreo se llevo a cabo desde abril de 2008 a septiembre del mismo año localizado bajo la batea Bruma nº VII del mismo polígono, en las inmediaciones de esta y en los puntos estratégicos de dicho polígono. Debido a su permanencia en el tiempo, ambas bateas presentaban en el fondo gran cantidad sedimentos provenientes de la actividad filtradora de los bivalvos además de la propia dinámica sedimentaria de la ría. En las bateas seleccionadas y en los puntos de localización de los depósitos réplica se realizaron tomas de muestra de material de fondo en posiciones determinadas relativas a la situación de la batea: proa y popa, y en el centro de la misma en los casos de las bateas, y una muestra de fondo en cada punto de disposición de los depósitos réplica. Además de las muestras de fondo, se realizaron la toma de cores para la obtención de datos sobre la estratificación sedimentológica. La toma mediante el uso de cores fue realizada tanto en fondo como en le interior del cilindro de acumulación de biodepósitos del primer sistema de captación colocado. El uso de los métodos de muestreo denominados *core+* nos permite hacer un estudio de los sedimentos depositados paulatina y temporalmente en los fondos bajo bateas y en el interior del sistema colocado, de este modo, caracterizar los mismos y obtener un estudio detallado de las variaciones físico-químicas producidas a lo largo del tiempo en condiciones de anoxia o semi-anoxia con variables de temperatura y presión diferentes a las condiciones superficiales y con una actividad de los organismos microscópicos e invertebrados marinos característicos para este tipo de ambientes de fondos acuáticos en las desembocaduras de las rías gallegas.

Las muestras fueron en todo momento cogidas mediante la ayuda de buzos especializados usando la metodología adecuada para una correcta manipulación de las mismas. En el momento de recolección de las muestras *in situ*, se realizó las tomas de valores de Eh y pH de los lodos de fondo y los recogidos en los embudos. Mediante el uso de estas dos variables se obtienen los diagramas de Eh-pH donde se representan los flujos de protones de unas condiciones a otras, así como las bombas de electrones funcionando como fuente y sus aceptores. De este modo se determinan las condiciones de oxidación-reducción para una comprensión del comportamiento de las moléculas y elementos susceptibles a condiciones determinadas, variando de un estado a otro en busca del equilibrio termodinámico. En el apartado de resultados se comentará en profundidad los datos relativos a estas dos variables que deben ser medidos en el mismo momento de recolección debido a su rápida variación al extraerse a superficie, un medio diferente al originario.

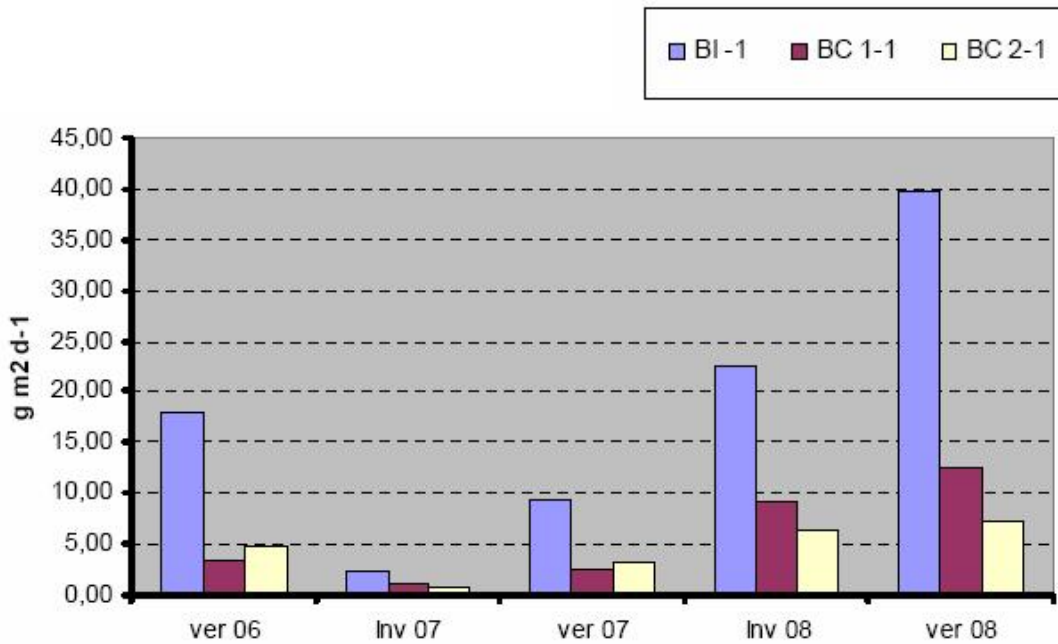
## 2.4. RESULTADOS

### 2.4.1. (S1): Evaluación de la eficacia de la utilización de biofiltros artificiales de fondo para la mitigación del impacto ambiental derivado de la piscicultura marina en jaulas flotantes.

Dada la enorme extensión de los resultados obtenidos en las tres CA participantes en este subproyecto, solo se presentan en este informe final los resultados más relevantes, aludiendo a las correspondientes memorias parciales cuando resulte necesario.

2.4.1.1. Material particulado.

**CA Andalucía:** el flujo de material particulado fue siempre superior en la zona impacto, y se fue incrementando conforme progresaba la experiencia, a la vez que lo fue haciendo la producción de la granja (Figura 22).



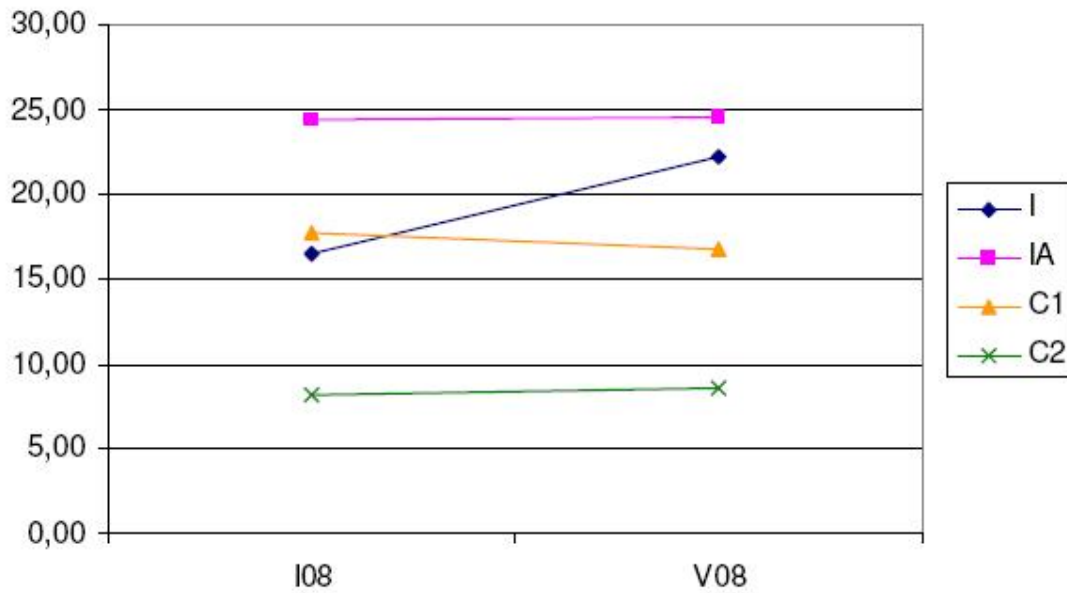
**Figura 22:** Flujo de material particulado en torno a los biofiltros de las distintas zonas y campañas en CA Andalucía.

La relación isotópica  $^{15}\text{N}$  fue superior en la zona impacto, indicando un mayor grado de enriquecimiento en  $^{15}\text{N}$  derivado de los residuos de la granja (Tabla 6).

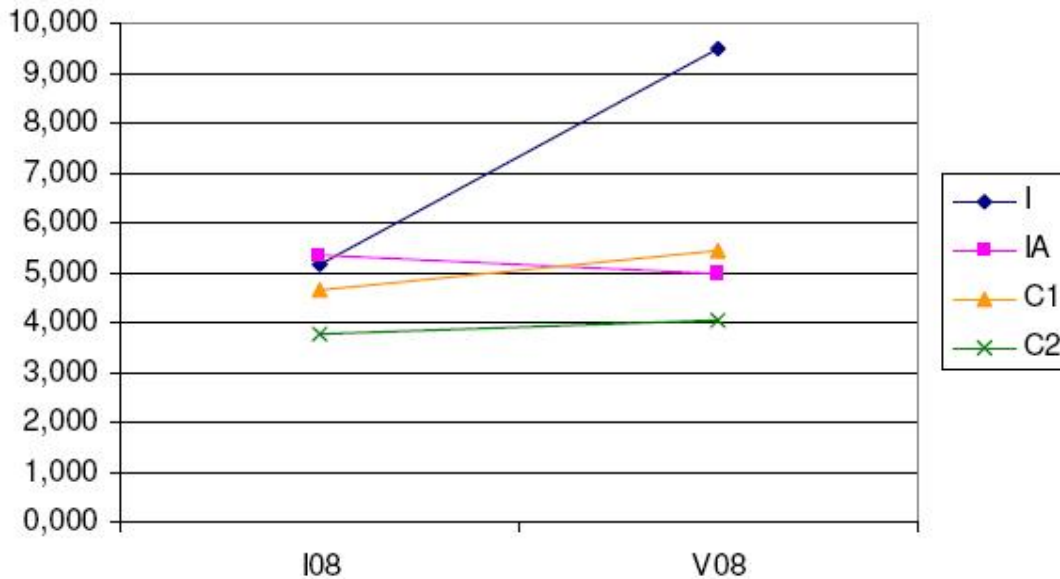
**Tabla 6:** Relación isotópica  $^{15}\text{N}$  en el material particulado capturado en las diferentes zonas y campañas en CA Andalucía.

Isótopos en Material particulado		
Campaña	Muestra	Delta $^{15}\text{N}$
i07	BI	3,73
V07	BI	6,02
i08	BI	5,14
i07	BC1	1,67
i08	BC1	4,32
V07	BC1	5,23
i07	BC2	3,42
V07	BC2	5,19
i08	BC2	4,29

CA Canarias. el flujo de material particulado fue siempre superior en la zona impacto (Figura 23). La relación isotópica  $^{15}\text{N}$  fue superior en la zona impacto, indicando un mayor grado de enriquecimiento en  $^{15}\text{N}$  derivado de los residuos de la granja (Figura 24).



**Figura 23:** Flujo de material particulado en torno a los biofiltros de las distintas zonas y campañas en CA Canarias.



**Figura 24:** Relación isotópica  $^{15}\text{N}$  en el material particulado capturado en las diferentes zonas y campañas en CA Canarias.

CA Murcia. el flujo de material particulado fue siempre superior en la zona impacto (Figura 25). La relación isotópica  $^{15}\text{N}$  fue superior en la zona impacto, indicando un mayor grado de enriquecimiento en  $^{15}\text{N}$  derivado de los residuos de la granja. Se observa una disminución de dicha relación isotópica en la zona impacto a partir del cese de la producción sobre el biofiltro estudiado (Figura 26).

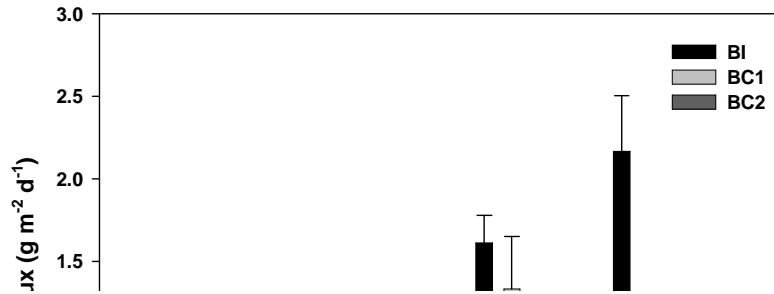


Figura 25  
zonas y ca

is distintas

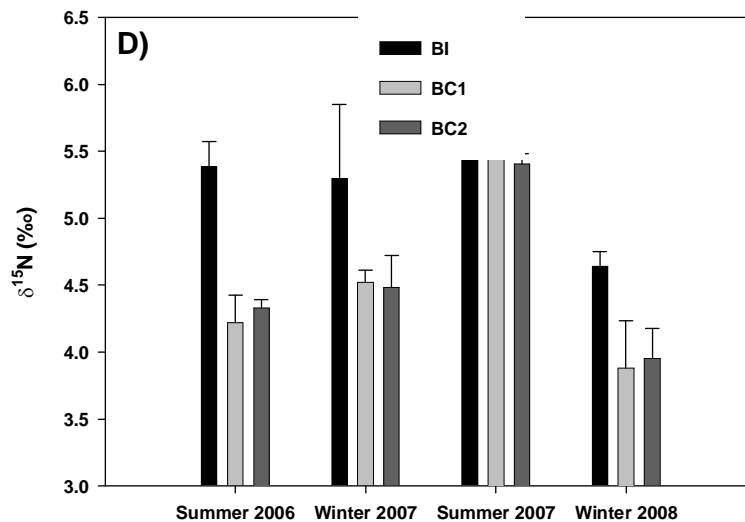
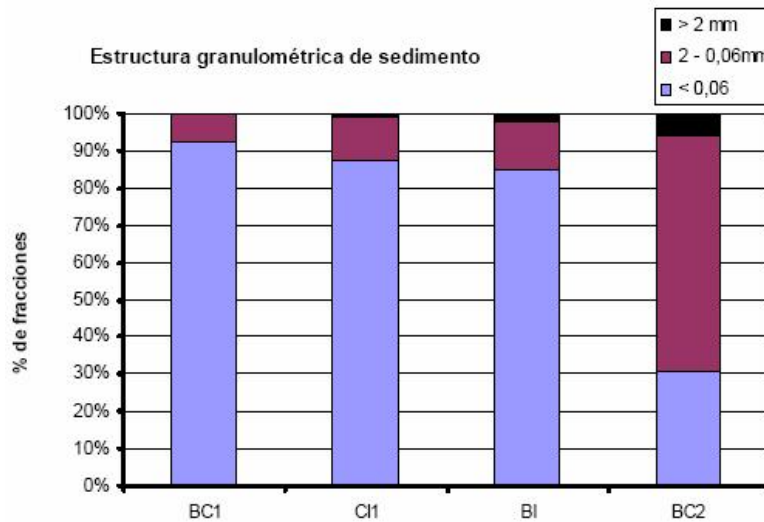


Figura 26: Relación isotópica  $^{15}\text{N}$  en el material particulado capturado en las diferentes zonas y campañas en CA Murcia.

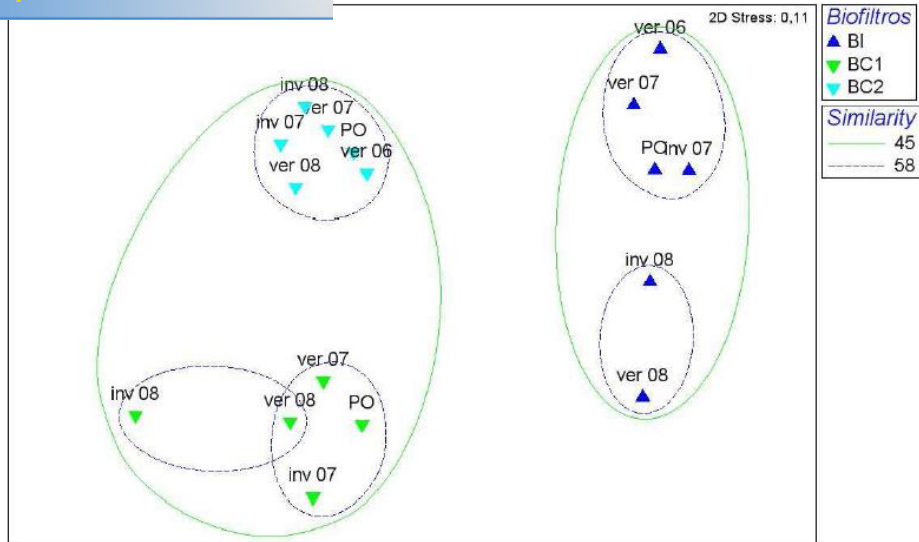
2.4.1.2. Sedimentos.

**CA Andalucía:** se observó un marcado gradiente granulométrico en la zona de estudio (Figura 27). Desde el inicio de las experiencias, el tipo de sedimento de los controles resultó ser muy diferente entre sí y entre cada control y la zona impacto. Esta circunstancia supuso la imposibilidad de realizar contrastes estadísticos espacio-temporales entre la zona impacto y la control. No obstante, al poder comparar con una zona impactada sin biofiltro, se pudo observar que las características físico-químicas del sedimento en torno al biofiltro impactado no diferían de las de los sedimentos impactados sin biofiltro.

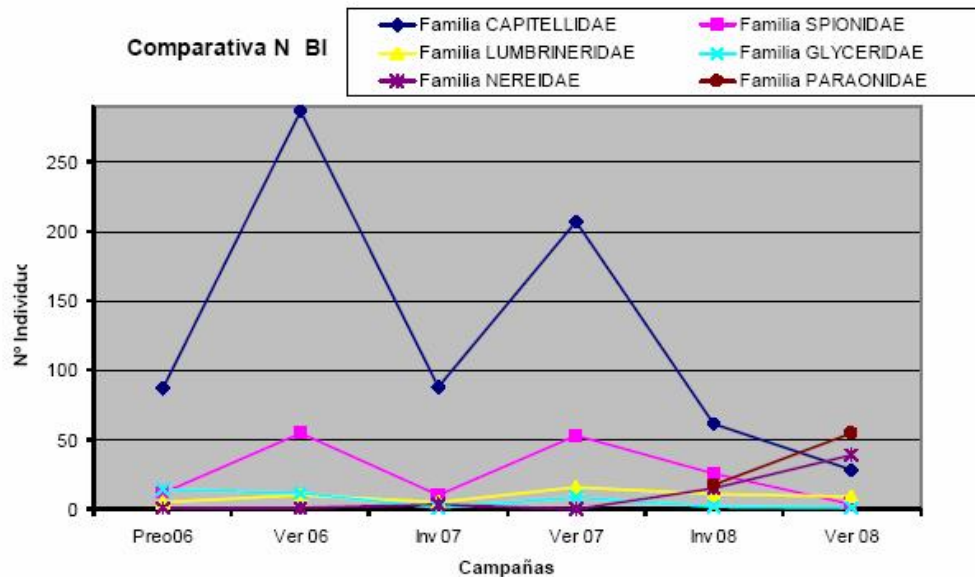


**Figura 27:** Composición granulométrica en las diferentes estaciones de muestreo en CA Andalucía.

Con relación a la estructura del poblamiento de poliquetos, tampoco se obtuvieron diferencias significativas en la zona impactada con y sin biofiltro. Sin embargo, en las últimas campañas en la zona impacto se observó en la dinámica del poblamiento una pérdida de dominancia de especies indicadoras de enriquecimiento orgánico y un modesto equilibrado estructural del poblamiento en torno al biofiltro (Figuras 28 y 29).



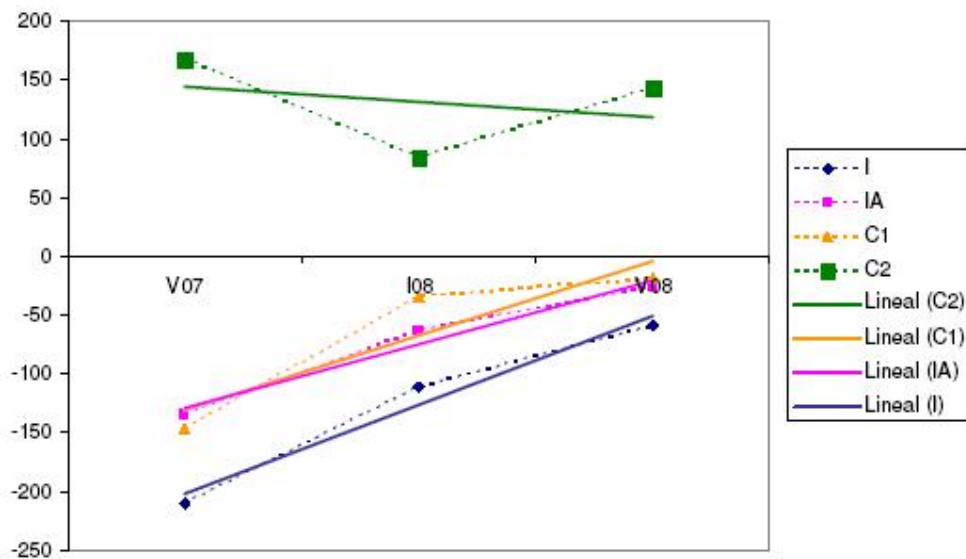
**Figura 28:** Ordenación espacial mediante nMDS de la estructura del poblamiento de poliquetos en las diferentes zonas y campañas, en CA Andalucía.



**Figura 29:** Evolución del nº de individuos de las familias de poliquetos más representativas en BI, en CA Andalucía.

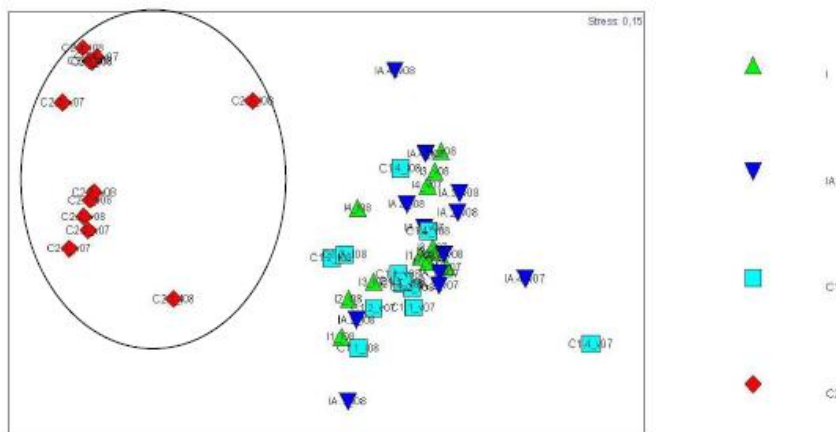
La imposibilidad de contraste con los controles y el no haber encontrado diferencias entre la zona impacto con y sin biofiltro no permite diferenciar esta aparente mejora en la estructura del poblamiento de la variabilidad temporal que pudiese existir Serían necesario prolongar temporalmente el seguimiento para verificar esta tendencia aparente.

CA Canarias. a lo largo de toda la experiencia se observó una manifiesta diferencia en cuanto a las características del sedimento entre las estaciones control, a la vez que en una de ellas los sedimentos siempre se comportaron de forma muy parecida a los de la zona impactada (Figura 30).



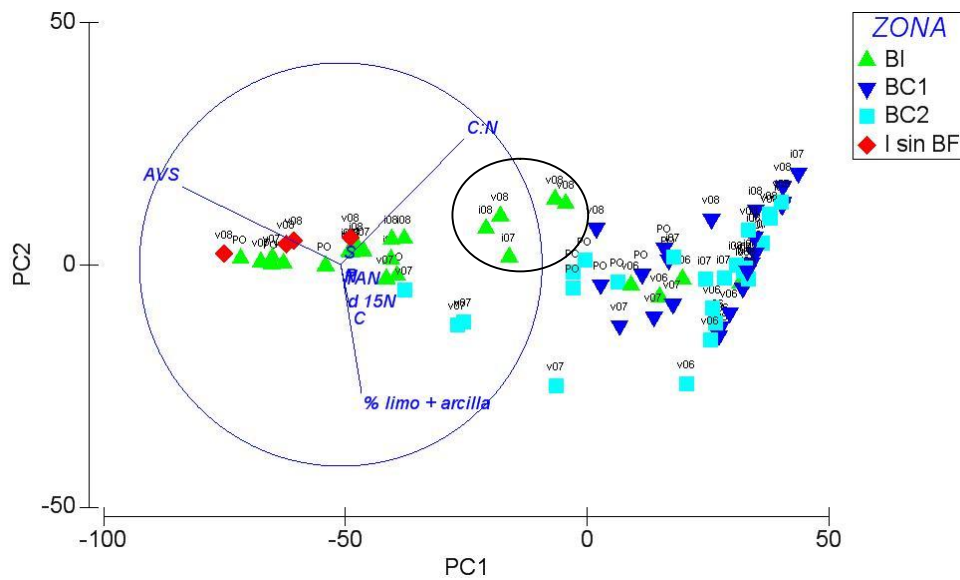
**Figura 30:** valores de potencial redox en los sedimentos en torno a los biofiltros de las diferentes zonas y campaña, en CA Canarias.

Al igual que ocurrió con el estudio en la CA Andalucía, esta circunstancia condiciona enormemente la posibilidad de realizar contrastes fiables entre estas zonas. No obstante, al comparar entre una zona impactada con y sin biofiltro, se observó que no habían diferencias ni para las características físico-químicas del sedimento, ni para la estructura del poblamiento de poliquetos (Figura 31).



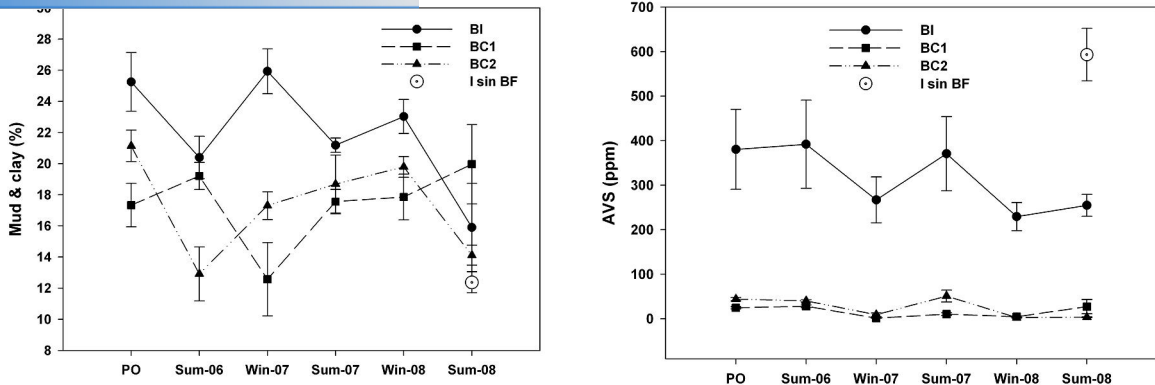
**Figura 31:** Ordenación espacial mediante nMDS de la estructura del poblamiento de poliquetos en las diferentes zonas y campañas, en CA Canarias.

En CA Murcia, las características granulométricas del sedimento en las zonas control son muy similares entre sí y no experimentaron cambios significativos durante la experiencia. En la zona impacto, la proporción de las fracciones más finas es superior que en los controles, pero estas diferencias entre zonas no experimentan cambios en el tiempo. Los sulfuros volátiles, tóxicos e indicadores de anaerobiosis, siempre resultaron superiores en la zona impacto, pero esas diferencias respecto a los controles varían en el tiempo, en el sentido que, coincidiendo con el cese de la producción sobre el biofiltro monitorizado, los niveles de sulfuros descienden significativamente en torno al biofiltro impactado, mientras que en la zona impacto sin biofiltro continúan siendo elevados pese a la disminución de la producción (Figuras 32 y 33). Este punto de inflexión también se observó claramente en la estructura del poblamiento de poliquetos, el cual experimenta una búsqueda del equilibrio estructural, es decir, una recuperación parcial en torno al biofiltro de la zona impacto. En la zona impacto sin biofiltro, a pesar de haber disminuido la producción, la estructura del poblamiento de poliquetos es aun diferente de la de la zona impactada con biofiltro (Figura 34). En definitiva, las mejoras observadas en la calidad ecológica de los fondos en torno al biofiltro de la zona impacto, son achacables en mayor medida al cese de la actividad que a la presencia del biofiltro.

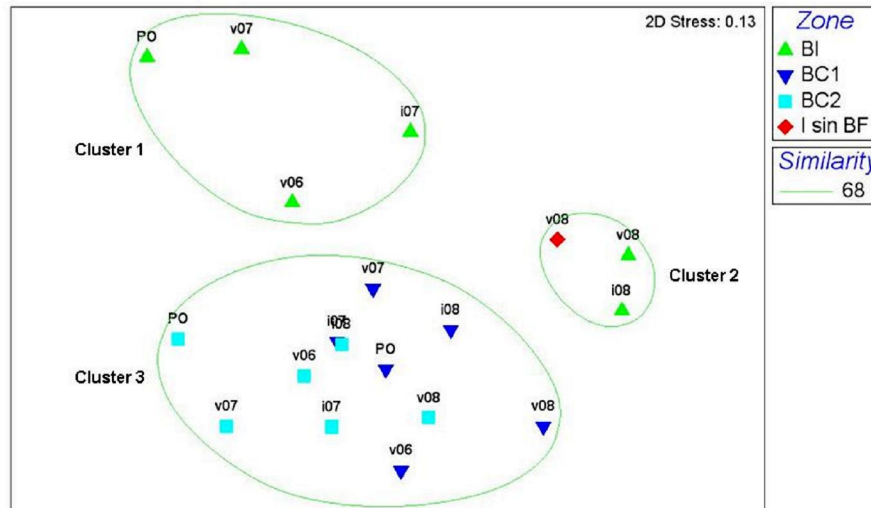


**Figura 32:** Representación gráfica de las diferentes zonas y de las variables físico-químicas del sedimento en el espacio vectorial generado por los nuevos ejes desarrollados a partir del Análisis de Componentes Principales (PCA), en CA Murcia.





**Figura 33:** Proporción de limos y arcilas y AVS en las diferentes zonas y campañas, en CA Murcia.

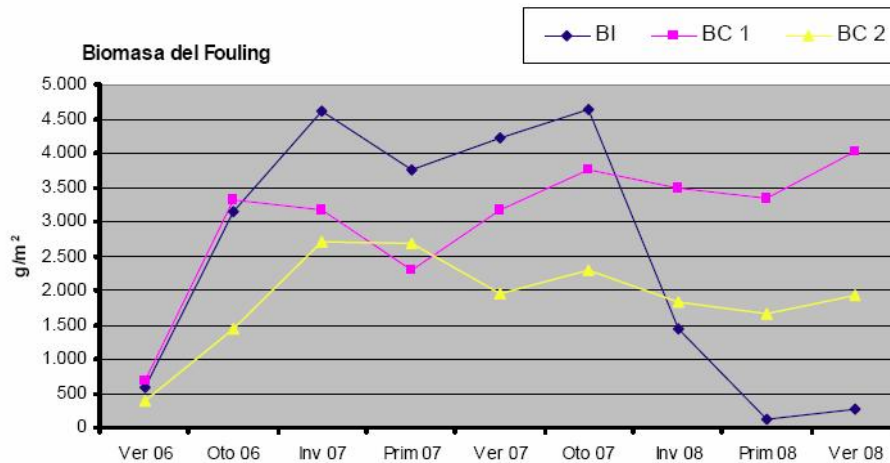


**Figura 34:** Ordenación espacial mediante nMDS de la estructura del poblamiento de poliquetos en las diferentes zonas y campañas, en CA Murcia.

### 2.4.1.3. Comunidad macrobentónica del fouling.

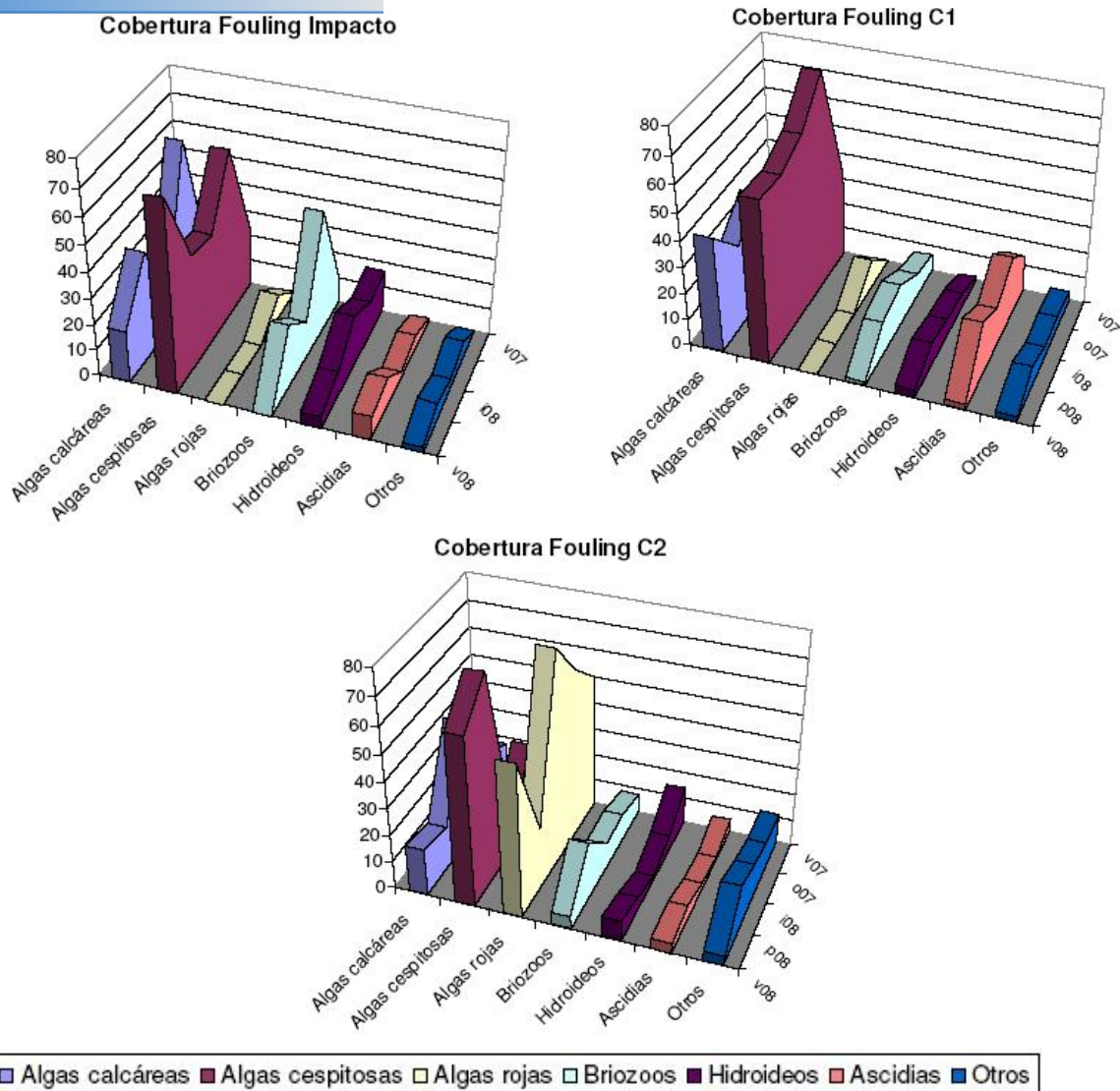
**CA Andalucía:** el proceso de colonización del macrobentos fue muy rápido y progresivo en todos los biofiltros. Las fluctuaciones de la biomasa en los biofiltros parecen estar relacionadas con la producción de la granja. En el biofiltro de la zona impacto llegan a alcanzarse niveles de biomasa superiores a los  $4,5 \text{ kg m}^{-2}$  después de ocho meses de permanencia en el fondo, manteniéndose esa biomasa hasta otoño de 2007, pudiendo prever la continuidad del efecto colonizador y de crecimiento de los organismos fijados, si no es por una afección provocada por maniobras propias de la granja y un posible efecto blanqueador asociado a comunidades de erizo que provocó un descenso súbito de la biomasa del fouling en el biofiltro impacto, año y medio después del fondeo de las

estructuras. Hasta esa fecha, la biomasa del fouling siempre fue superior en el biofiltro de la zona impacto. Al contrario de lo esperado, la relación isotópica  $^{15}\text{N}$  resultó ser inferior para el fouling de la zona impacto que para el de los controles. Dado que esta relación es altamente dependiente de los diferentes orígenes de N que pudiera haber en la zona, es probable que las zonas control estén influenciadas por otras fuentes, quedando enmascarada la influencia de los residuos de la granja en la proliferación del fouling en el biofiltro de la zona impacto.



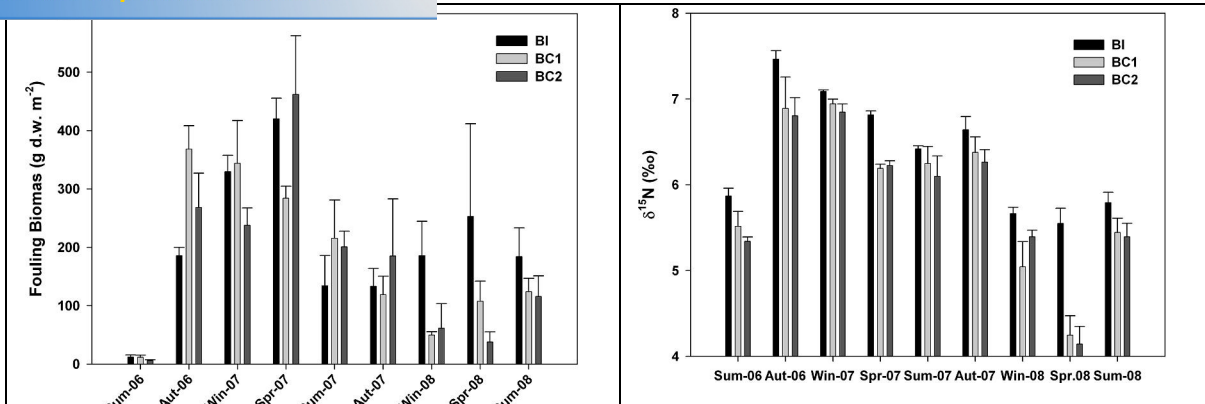
**Figura 35:** Evolución de la biomasa del fouling en las diferentes zonas y campañas, en CA Andalucía.

**CA Canarias:** el proceso de colonización del macrobentos fue muy rápido y progresivo en todos los biofiltros. Entre otoño de 2007 y primavera de 2008, la biomasa del fouling en las distintas zonas muestra fluctuaciones, resultando a veces superior en uno u otro control pero nunca en el biofiltro de la zona impacto. En la última campaña, el fouling de todos los biofiltros experimenta un descenso importante en su biomasa. La relación isotópica  $^{15}\text{N}$  para el fouling de la zona impacto ligeramente superior pero muy similar a la de uno de los controles (C1), y netamente superior a la del otro control. Esto podría indicarnos bien que los residuos derivados del cultivo también alcanzan C1, o que otra fuente de  $^{15}\text{N}$  enriquece el fouling de ese control. En cuanto a la estructura de la comunidad macrobentónica, esta es muy diferente en uno de los controles (C2: dominancia de algas rojas y otros grupos macrobentónicos) respecto a la del otro y a la de la zona impacto, que son muy similares entre sí (dominancia de algas cespitosas y briozoos) (Figura 36).



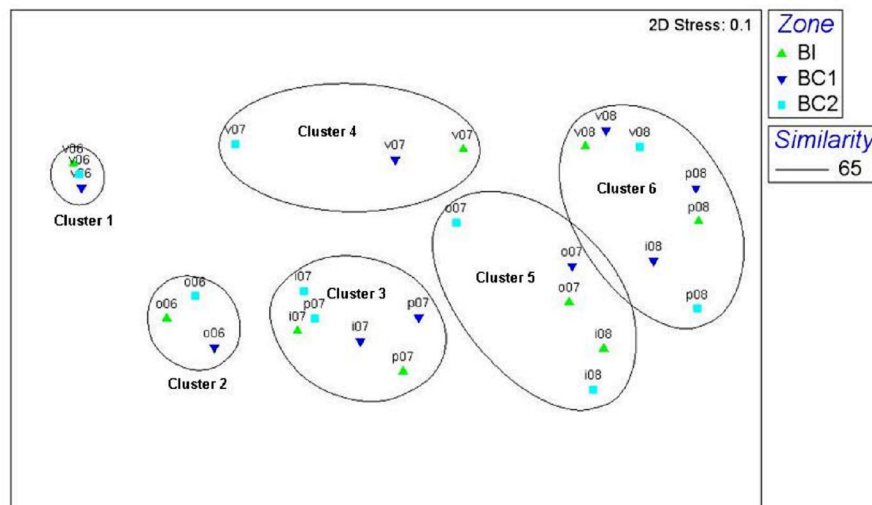
**Figura 36:** % de cobertura de los diferentes grupos macrobentónicos en las distintas zonas y campañas, en CA Canarias.

**CA Murcia:** el proceso de colonización del macrobentos fue muy rápido y progresivo en todos los biofiltros. La biomasa del fouling experimentó fluctuaciones de diferente magnitud y temporalidad en cada biofiltro, siendo unas veces superior en la zona impacto, y otras en alguno de los controles. No obstante, la biomasa promedio fijada en el biofiltro de la zona impacto fue superior que la de los controles. La relación isotópica  $^{15}\text{N}$  para el fouling de la zona impacto siempre resultó superior a la de los controles. A partir de la campaña de invierno 2008 y en adelante, se produce un descenso de esta relación especialmente para el fouling de la zona impacto, coincidiendo con el cese de la producción sobre él (Figura 37).



**Figura 37:** Evolución de la biomasa del fouling y de la señal isotópica <sup>15</sup>N en las diferentes zonas y campañas, en CA Murcia.

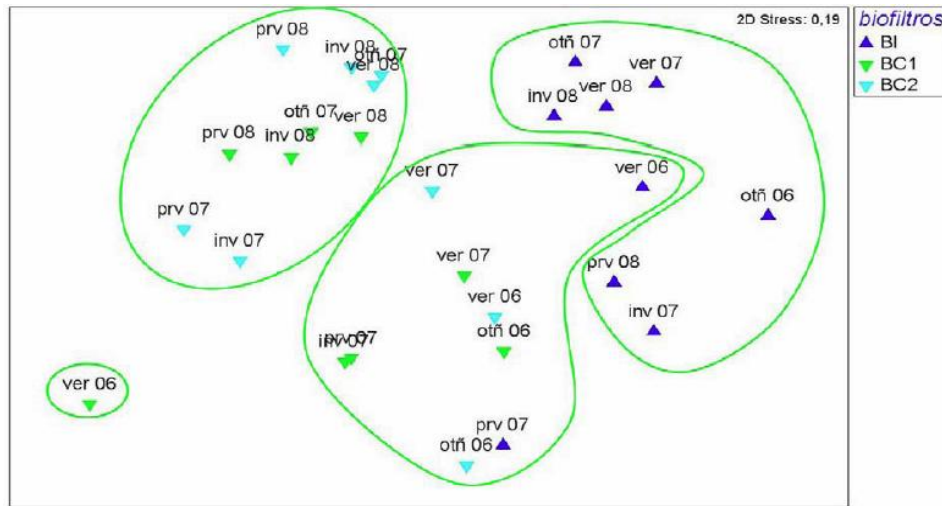
Todos los biofiltros pero especialmente el de la zona impacto, estuvieron dominados cuantitativamente por organismos suspensívoros, y en menor medida por detritívoros y carroñeros. Se pudo observar una clara sucesión ecológica a lo largo de la experiencia, alcanzándose progresivamente un mayor grado de madurez y equitatividad en la comunidad (Figura 38). En términos generales, la comunidad macrobentónica del fouling no parece muy diferente de una a otra zona, si bien en cada una de ellas la estructura de la comunidad tiene sus particularidades. Pese a estas diferencias en el comportamiento de los biofiltros en las diferentes zonas, entendemos que la variabilidad espacial y temporal observadas son achacables más al azar del reclutamiento de organismos a los biofiltros y de las fluctuaciones y sucesión natural que a la presencia o ausencia de una granja de peces en su entorno.



**Figura 38:** Ordenación espacial mediante nMDS de la estructura de la comunidad macrobentónica del fouling en las diferentes zonas y campañas, en CA Murcia.

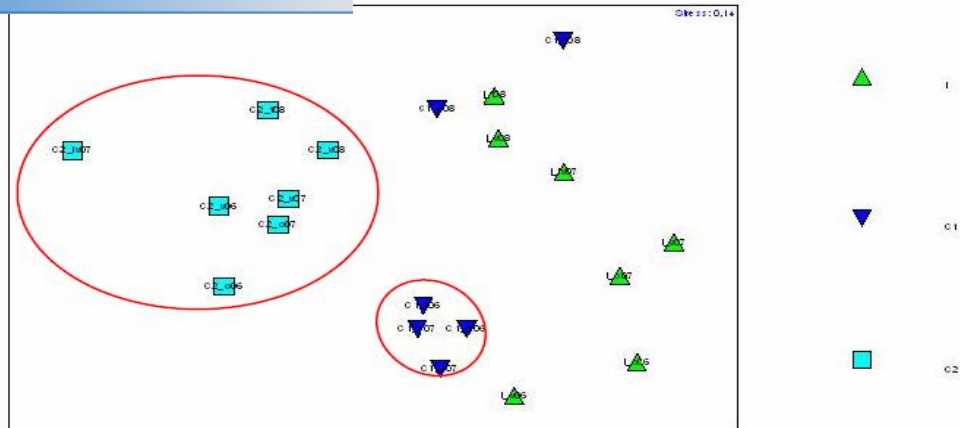
**2.4.1.4. Poblamiento ictiológico.**

**CA Andalucía:** se observó un claro efecto de atracción de peces bentónicos pero especialmente pelágicos en todos los biofiltros, siendo la madurez del poblamiento cada vez superior. Ese efecto de atracción fue superior en abundancia y biomasa en la zona impacto. Si bien los poblamientos son semejantes en cada zona, cada una muestra sus caracteres distintivos (Figura 39). En los controles hubo un proceso inicial de colonización en el que el mayor peso faunístico lo representan especies pelágicas y en una última fase son las especies demersales establecidas en los biofiltros las que determinan el poblamiento. En la zona impacto, la presencia de lubinas que se escapan de la granja pero permanecen asociadas al biofiltro, así como la de otras especies pelágicas que utilizan el biofiltro, caracteriza el poblamiento. Algunas especies bentónicas abundantes en todos los biofiltros, como la mojarra y la cabrilla, siempre fueron de mayor tamaño en torno a los biofiltros de la zona impacto. La permanente presencia de depredadores como la lubina y el mayor tamaño de ciertas especies en el entorno de los biofiltros de la zona impacto pudiera estar relacionado con la mayor disponibilidad de recursos tróficos ofertada por la granja y por las propias especies pelágicas que allí son atraídas.



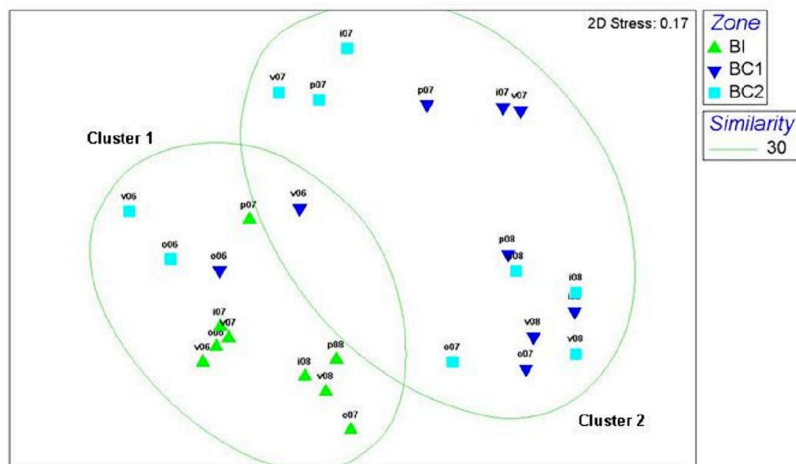
**Figura 39:** Ordenación espacial mediante nMDS de la estructura del poblamiento ictiológico en términos de abundancia en las diferentes zonas y campañas, en CA Andalucía.

**CA Canarias:** se observó un claro efecto de atracción de peces en todos los biofiltros. Ese efecto de atracción fue superior en abundancia y biomasa en la zona impacto. Una vez más, el poblamiento entre controles resultó claramente diferente, siendo el poblamiento en C2 más diverso y mejor estructurado (Figura 40). La mayor abundancia de especies pelágicas asociadas a los biofiltros se encontró en la zona impacto.



**Figura 40:** Ordenación espacial mediante nMDS de la estructura del poblamiento ictiológico en términos de abundancia en las diferentes zonas y campañas, en CA Canarias.

**CA Murcia:** se observó un claro efecto de atracción de peces en todos los biofiltros. Ese efecto de atracción fue superior en abundancia y biomasa en la zona impacto. Se denotó una clara diferencia entre el poblamiento de peces de la zona impacto y de los controles, debido a la notable dominancia de especies pelágicas asociadas a los biofiltros de la zona impacto (Figura 41). Especies depredadoras, como el congrio y el cabracho fueron más abundantes y de mayor tamaño en los biofiltros de la zona impacto, probablemente debido a la mayor disponibilidad de recursos tróficos ofertada por la granja y por las propias especies pelágicas que allí son atraídas. En cuanto a especies bentónicas o demersales, el poblamiento es bastante parecido en todos los biofiltros.



**Figura 41:** Ordenación espacial mediante nMDS de la estructura del poblamiento ictiológico en términos de abundancia en las diferentes zonas y campañas, en CA Murcia.

## 2.4.2. (S2). Mitigación del impacto ambiental causado por los biodepósitos de mejillón cultivado en batea.

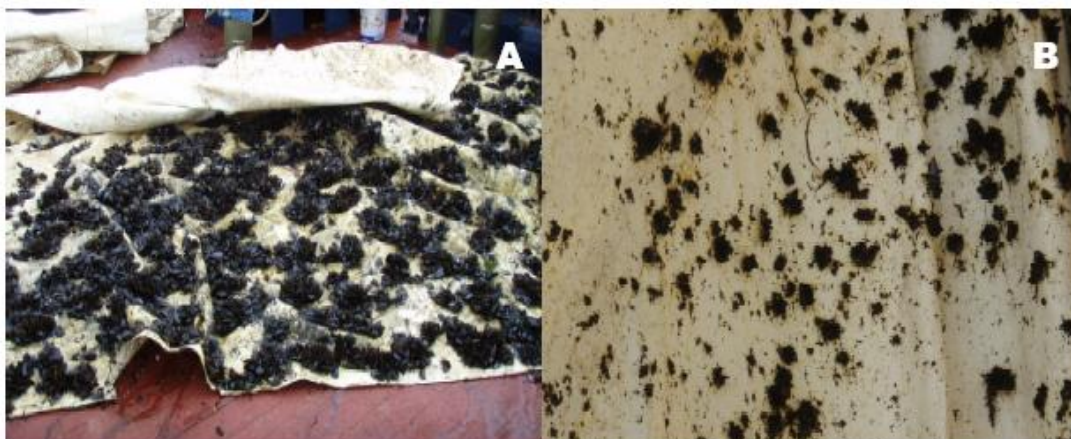
### 2.4.2.1. Funcionamiento de los sistemas de recogida de biodepósitos y material particulado.

**Sistema 1:** La instalación de este primer sistema en enero de 2.007 y su posterior revisión en febrero del mismo año mostraron que su estructura no reunía las características adecuadas para soportar las condiciones del medio en el que se había emplazado. El efecto de los temporales invernales provocó importantes desperfectos que hicieron necesaria su retirada y el reforzamiento de la estructura superior construida en poliéster. Una vez se realizaron las mejoras citadas en el apartado de material y métodos se consiguió dotarle de una mayor resistencia. Tanto el armazón tirante como las barras de hierro que reforzaron a las de poliéster se mostraron muy eficaces durante el transporte e instalación realizada en junio del 2.007, subsanando en gran medida los problemas encontrados en ambas operaciones durante el primer montaje. A pesar de que la estructura se consiguió mantener intacta, la tensión provocada por el peso del artefacto dobló considerablemente algunos de los laterales del armazón. Durante las operaciones de retirada de este primer prototipo se deterioró considerablemente la estructura que soportaba las lonas. El depósito se recuperó intacto y se vació en un contenedor para ser trasladado a la mina donde se desarrollarían diferentes experiencias con el material recogido. El correspondiente pesaje del material transportado mostró que la cantidad total recogida era de 2.240kg., aunque debe de tenerse en cuenta que ante la imposibilidad de separar las diferentes fases del material, la mayoría se correspondía a la mezcla de agua y partículas en suspensión.

#### **Sistema 2:**

En el segundo prototipo se reunieron la experiencia y el conocimiento adquiridos tras siete meses de seguimiento del primero de los sistemas. Teniendo en cuenta las debilidades expuestas con anterioridad se realizaron una serie de modificaciones con el objetivo de mejorar dichas carencias e incrementar así la recogida de biodepósitos. La estructura del prototipo mantenía su forma mediante un aro de 12 metros de diámetro, en el que no existían puntos de unión que debilitasen el sistema. En lo que se refiere al material, el polietileno (PE-100) es altamente resistente y a su vez muy flexible. Estas dos características facilitaron su instalación, ya que no se necesitó de un armazón metálico que le confiriera mayor estabilidad e incrementara su consistencia ante las condiciones del medio. En las uniones del aro externo con las lonas y entre ellas mismas se emplearon cabos en vez de bridas, además los ollados escogidos eran de materiales que soportan mejor la corrosión, como el acero inoxidable o PVC. Estos dos cambios hicieron que los dos buzos que realizaban las revisiones no se vieran obligados a reparar periódicamente los puntos de sujeción de las lonas. El incremento de la inclinación en la posición de la lona hasta alcanzar los 45° no permitió eliminar totalmente el problema de la fijación de mejillones en su superficie, aunque tras su retirada en el mes de septiembre se comprobó que la presencia de individuos era

bastante inferior a la observada en el caso del primer prototipo (Figura 42). Tras cinco meses bajo la batea el depósito fue la estructura que más se deterioró, una vez que se procedió a su retirada se observó la rotura de dos de los cuatros cáncamos internos a los que estaba unida la cadena principal que lo sujetaba a la batea. A pesar de que para proceder a su retirada se cubrió la boca del depósito con un plástico resistente, con el fin de evitar la pérdida del material en suspensión durante el izado, la medida no fue efectiva debido a que una vez fuera del agua la mayor parte del líquido se vació a través de los dos agujeros existentes en sus paredes laterales. En la mina de Touro se procedió al pesado del depósito registrándose una cantidad total de 3.000 kg. de material sólido, formado por sedimentos finos y principalmente por restos de mejillón desprendidos de las cuerdas de la batea.



**Figura 42:** Fijación de mejillón en las lonas de los sistemas 1 (A) y 2 (B).

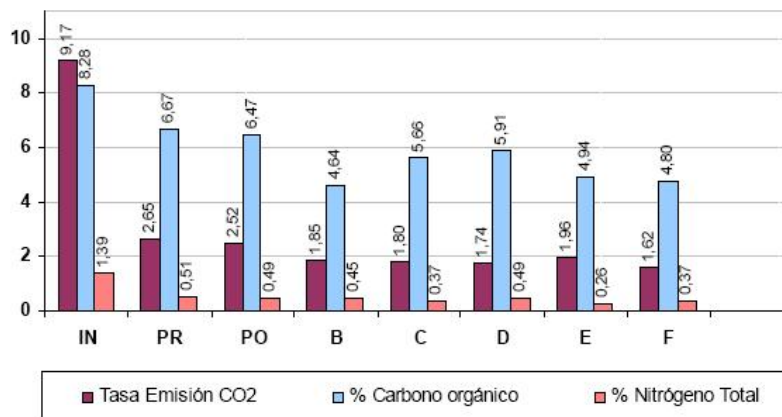
**Sistema 3. Depósitos réplica:** Tanto la batería de los seis depósitos con embudo como los que estaban formados únicamente por un recipiente cilíndrico, se instalaron por un único buzo sin que existiesen complicaciones reseñables durante el proceso. Tras las sucesivas revisiones se comprobó que el sistema ideado para su colocación, mediante cuatro muertos que lo lastraban al fondo y dos boyas que permitían mantener su posición vertical en la columna de agua, se mostraba efectivo. Únicamente en las últimas revisiones se observó que gran cantidad de mejilla se había fijado a las boyas de señalización de seis de los depósitos dispuestos dentro del polígono, el aumento de peso de estas boyas provocó su hundimiento y la consiguiente dificultad para encontrar su ubicación. En la penúltima revisión se constató que uno de los depósitos con embudo, el que se encontraba situado en la zona media del polígono (punto D), había desaparecido, posiblemente arrastrado por la hélice de un barco. Finalmente sólo se recuperaron once de las réplicas instaladas inicialmente. La propia estructura de los depósitos hizo que resultase complicado determinar durante las revisiones la cantidad de sedimento que se estaba acumulando en su interior. Debido a la elevada concentración de materia en suspensión existente en el medio y la posibilidad de que se resuspendiese la que ya se había depositado en su interior, se decidió cerrar la boca de los depósitos con un plástico previamente a su izado



a bordo del barco. Una vez trasladados a la mina de Touro, y únicamente transcurrido el tiempo necesario para dejar decantar la fracción sólida, se pudo discriminar la cantidad de este material que se había recogido en cada uno de los seis puntos seleccionados.

#### 2.4.2.2. Resultados de los análisis de biodepósitos y sedimentos.

En cuanto a Ph, Eh y conductividad, no se observaron diferencias entre el material recogido por los distintos sistemas y los sedimentos aledaños: pH en torno a la neutralidad, debido al efecto tampón que proporciona el equilibrio  $H_2O-CO_2-CaCO_3$  de las conchas de mejillón, Eh propio de condiciones subóxicas y conductividad propia de sustancias sometidas a las condiciones físico-químicas del medio marino. Todos los materiales recogidos por los diferentes sistemas y los sedimentos se caracterizan por una elevada proporción de las fracciones más finas y un alto contenido de materia orgánica oxidable, excepto el procedente del sistema 3 que para esta última variable mostraba valores menores. Los datos de elementos asimilables ponen de manifiesto el interés de estos materiales como fuentes de nutrientes con cantidades importantes de P asimilable, si bien muy variable en el tiempo y en el espacio lo que parece indicar una importante diferenciación estacional y posicional en la riqueza de nutrientes existentes en el medio de cultivo. El posible aporte de K y Mg también resulta significativo y aunque variable en el tiempo no presenta las mismas tendencias del P. El análisis de los elementos traza permite aclarar que los biodepósitos recogidos en los sistemas 1, 2 y 3 contienen menos metales pesados (especialmente Cr, Cu, Ni, Zn, Pb y Hg) que los de fondo, manteniéndose esta relación en todas las series del muestreo. En los estudios respirométricos se comprobó que la tasa de emisión de  $CO_2$  resultó ser 4 veces superior en muestras de material recogido mediante los sistemas que en los sedimentos. Esta tasa fue mayor para sedimentos recogidos bajo las bateas que para muestras procedentes de las inmediaciones del polígono (Figura 43). Estas tasas se correlacionaron con el contenido de carbono orgánico de las muestras.



**Figura 43:** Respirometría y cantidad de nutrientes en los sedimentos muestreados bajo bateas (IN) y en sus inmediaciones (restantes).

#### 2.4.2.3. Valorización de los residuos.

Con el sistema 1 se recogió aproximadamente 1 Tm de biodepósitos. Una vez desalinizado, lavado y escurrido, fue extendido en una capa de 5cm de espesor, lo que facilitó la restauración del suelo espólico de mina mediante su colonización de forma natural por diversas especies vegetales, demostrándose de forma espontánea su capacidad regenerativa (Figura 44).



**Figura 44:** Aspecto que demostraba la superficie de la escombrera sobre la que se extendieron los biodepósitos. La revegetación espontánea se produjo a los cuatro meses de su distribución.

Con el sistema 2 se recogió aproximadamente 1.5 Tm de biodepósitos. Una vez desalinizado, lavado y escurrido, se utilizó para ensayos de germinación, demostrándose que tanto si utilizan solos como mezclados con otros residuos, muestran un notable poder fertilizante (Figuras 45 y 46).



**Figura 45:** Germinación de gramíneas en suelos formados con diferentes proporciones de biodepósitos recolectados.

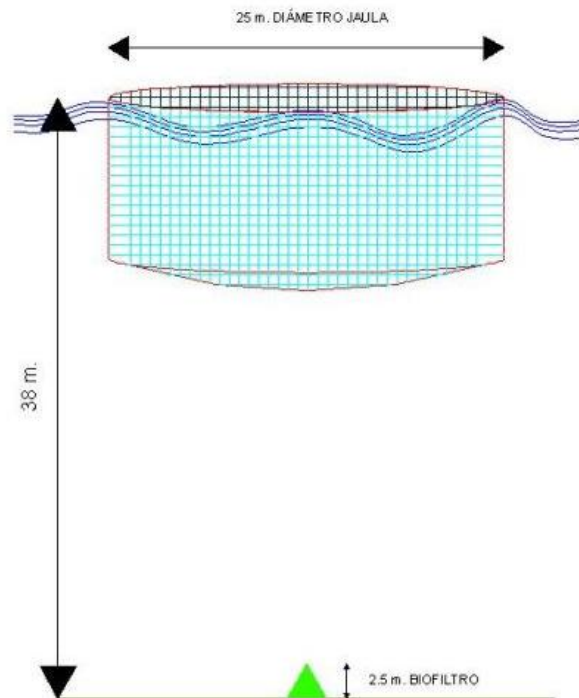


**Figura 46:** Germinación de lechugas en suelos formados con diferentes proporciones de biodepósitos recolectados.

**2.5. CONCLUSIONES**

**2.5.1. (S1): Evaluación de la eficacia de la utilización de biofiltros artificiales de fondo para la mitigación del impacto ambiental derivado de la piscicultura marina en jaulas flotantes.**

Los biofiltros bentónicos a modo de arrecifes artificiales proporcionan una gran superficie disponible para la fijación de organismos bentónicos, incrementan la heterogeneidad espacial y su complejidad estructural favorece el establecimiento de poblaciones de peces bentónicos y demersales, y su utilización como área de descanso, refugio y alimentación de especies de peces pelágicos. Su efectividad para incrementar la biodiversidad ha sido manifiesta independientemente de la zona en que hayan ubicado, si bien la mayor disponibilidad de recursos tróficos existente en el entorno de las granjas, ha potenciado significativamente sus efectos de generación de nueva biomasa en forma de organismos bentónicos y de atracción de peces bentónicos, demersales y pelágicos, habiendo contribuido en el desarrollo de una red trófica más compleja. Asimismo hemos podido demostrar que en buena medida esa biomasa generada bajo las granjas, ha estado aprovechando los residuos de las mismas, reutilizándolos y reciclándolos, ocasionando un efecto mitigante que pese a todo no se ha manifestado en una mejora de la calidad de los sedimentos en torno a los biofiltros bajo las granjas. En este último sentido es necesario hacer algunas consideraciones. El espacio ocupado por el biofiltro y su área de influencia, en proporción al ocupado por las jaulas de cultivo es bastante pequeño (Figura 47).

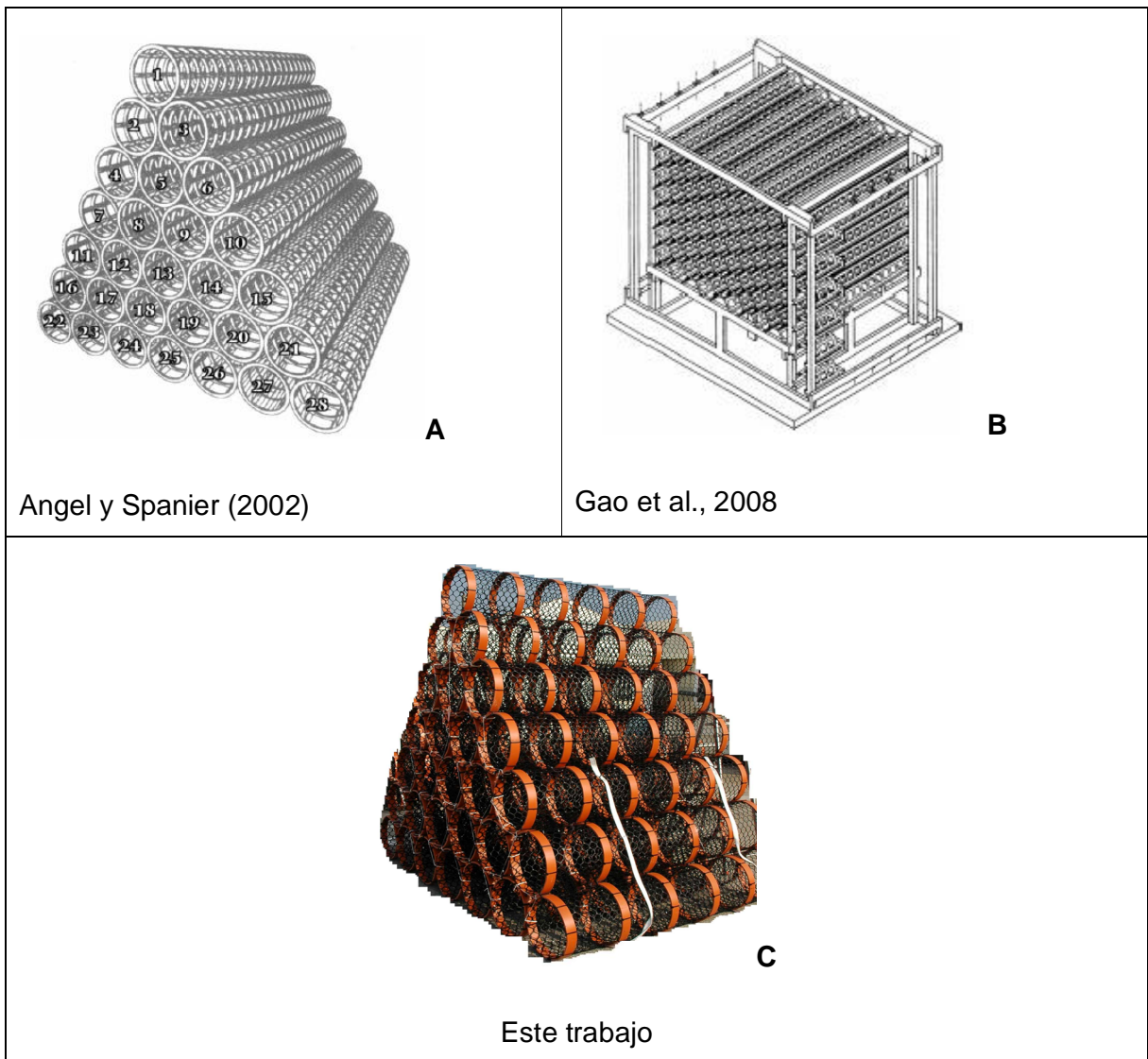


**Figura 47:** Representación a escala de la disposición jaula . biofiltro (Fuente: E.P. DAP).

Este factor de escala unido a la magnitud de los aportes que llegan a los fondos pudiera afectar sin duda a la magnitud del efecto que el biofiltro pudiera tener sobre los fondos. Además, desconocemos si el tiempo necesario para obtener una respuesta ha sido cubierto con la duración del proyecto. Probablemente la capacidad de nuestros biofiltros para asimilar una cantidad significativa de residuos como para permitir la recuperación de los fondos sea escasa. Se han llevado a cabo tan solo unas pocas experiencias con biofiltros bentónicos de este tipo (Tabla 7; Figura 48), y los resultados obtenidos son muy variados.

**Tabla 7:** Comparación entre los trabajos de Angel y Spanier (2002), Gao et al., (2008) y el presente estudio.

	Angel y Spanier (2002)	Gao et al., (2008)	Este trabajo
<b>Profundidad (m)</b>	20	11 - 16	37
<b>Densidad cultivo (kg m<sup>-3</sup>)</b>	20 - 25	5	10 . 20
<b>Material BF</b>	Polietileno alta densidad	Cemento armado	Polietileno alta densidad
<b>Forma BF (Figura 16)</b>	A: Pirámide triangular	B: Poliedro rectangular	C: Pirámide triangular
<b>Dimensiones BF (m)</b>	Alto: 2,4 Base: 2,8 x 2,4	Alto: 4 Base: 3 x 3	Alto: 2,4 Base: 2,4 x 2,1
<b>Diseño experimental</b>	1 BF impacto 1 I sin BF 1 BF control 1 control sin BF	2 BF impacto 2BF intermedio 2 BF control	1 BF impacto 1 impacto sin BF 2 BF control
<b>Especies cultivadas</b>	<i>Sparus aurata</i>	<i>Epinephelus areolatus</i> <i>Lutjanus russellii</i> <i>Acanthopagrus latus</i>	<i>Sparus aurata</i> <i>Dicentrarchus labrax</i> <i>Argyrosomus regius</i> (solo en CA Murcia) AN: 1300 CA: ¿ MU: 450 - 280
<b>Biomasa en stock (Tm)</b>	1200	500	AN: 1300 CA: ¿ MU: 450 - 280
<b>Tipo de alimento</b>	Pienso extrusionado	Pescado fresco	Pienso extrusionado
<b>Ración (Tm día<sup>-1</sup>)</b>	¿	15 - 25	AN: 3 -16 CA: ¿ MU: 6 - 15



**Figura 48:** Esquemas de los biofiltros bentónicos utilizados en distintas experiencias.

Así, la experiencia en Israel (Angel y Spanier, 2002) no determinó una mejora de la calidad de los fondos, sin embargo la reciente experiencia en Hong Kong si (Gao et al., 2008), aunque con matices: alimentación con pescado troceado, ocho biofiltros de mayor tamaño que los anteriores y que los nuestros (Tabla 7). Nuestra experiencia en Canarias tampoco revela una mejoría de los fondos, la de Murcia si pero achacable a la progresiva reducción y cese final de la producción, y en la de Andalucía tampoco aunque se observan indicios que debido a la no continuidad de los muestreos, no podemos diferenciar de la variabilidad espacio-temporal que pudiera existir. No obstante, el diseño piramidal de nuestros arrecifes puede que sea más adecuado para albergar una comunidad necto-

benfónica diversa propia de sustratos duros que como hemos visto aprovecha parcialmente los excedentes de las granjas, que para atrapar física y biológicamente una mayor cantidad de esos residuos impidiendo que alcancen los fondos, o fomentando el reciclado de los mismos por organismos asociados a los biofiltros. De cualquier manera, la utilización de estructuras artificiales para la eliminación de residuos es una solución poco eficiente (Laihönen et al., 1996), aunque en nuestro caso podría ser práctica su utilización dado su bajo coste (Tabla 8). Por tanto, los resultados de este subproyecto junto con las reflexiones realizadas al estudiar otras actuaciones similares, mantienen abierta la puerta a la utilización de estructuras artificiales para ser utilizadas en la mitigación de los efectos adversos de la acuicultura, si bien son necesarios mayores esfuerzos en términos de diseño de estructuras biofiltrantes, magnitud y diseño de su aplicación y escalas espacial y temporal de las actuaciones.

**Tabla 8:** Coste de los materiales utilizados en la construcción de un biofiltro (Fuente E.P. DAP).

Material utilizado		Euros	Precio por biofiltro	
Tubos de pvc		2.373,36	395,00	
Malla Hdp negra		750,69	125,00	
Corte de los tubos en carpintería		947	158,00	
Perfiles en L galvanizados		2784	464,00	
Bridas		344,52	58,00	
Transporte		900		
Total		8.100,00	1.200,00	
Mano de obra				
Nº horas	Unid	€ / hora	Total x 6	Precio por biofiltro
3,3	4	35	2.762,00	462,00
Total precio de construcción por biofiltro €				1.662,00

### **2.5.2. (S2). Mitigación del impacto ambiental causado por los biodepósitos de mejillón cultivado en batea.**

La instalación de los diferentes sistemas colectores utilizados bajo bateas de cultivo de mejillón permitió la recogida de una buena parte de los biodepósitos antes de su llegada al fondo. A pesar de las sucesivas mejoras que se fueron aplicando, redundaron en una mayor eficacia de los sistemas, los costes de fabricación, instalación y las dificultades en el manejo imponen la necesidad de futuras investigaciones para simplificar los costes y maximizar su eficacia. El potencial de los biodepósitos capturados en los sistemas colectores, desde el punto de vista de su utilidad edáfica, es superior al de los materiales ya sedimentados bajo las bateas: mayor contenido orgánico, menor contenido en S, mayor contenido en nutrientes asimilables (P, Mg y K), menor contenido en Fe y metales pesados. Una vez recogidos y tratados los biodepósitos en tierra, se ha comprobado su eficacia como fertilizante para ser empleado como sustrato agrícola, solo o mezclado con otros residuos. Asimismo estos biodepósitos ofrecen la posibilidad de ser utilizados para recuperar espacios y suelos degradados y/o contaminados por la minería.

### **2.6. VALORACIÓN.**

Ambos subproyectos han supuesto iniciativas pioneras a escala Europea y Mediterránea para la mitigación ambiental derivada de los cultivos marinos en estructuras flotantes. Han sido por tanto los primeros pasos de un largo camino para hacer de la acuicultura una actividad cada vez más respetuosa con su entorno. La minimización de los efectos adversos de la acuicultura se basa en buena medida en una correcta selección de los emplazamientos y en una buena gestión de la alimentación y de los residuos. A pesar de las mejoras tecnológicas que se han ido logrando en los últimos años, los impactos ambientales siguen siendo significativos. Por tanto, la aplicación de medidas correctoras se presenta como un campo abonado con grandes posibilidades. Los resultados de ambos subproyectos demuestran que los sistemas utilizados son herramientas potencialmente utilizables para la mitigación y/o remediación de los impactos ambientales. De igual modo, de ambas experiencias se desprende que no se trata de sistemas definitivos, sino bases sólidas sobre las que seguir trabajando en aras de la tan deseada sostenibilidad ambiental de esta actividad. En definitiva, la valoración del proyecto en su conjunto ha sido muy positiva, y la experiencia adquirida ha resultado de gran utilidad para el planteamiento de futuras propuestas.



## 2.7. DIFUSION

### Comunicaciones a congresos:

N. García, G. Louzara y N. González. Grupo de investigación del Bentos, Departamento de Medio Litoral. Instituto Canario de Ciencias Marinas. Ctra. de Taliarte, s/n 35200 Telde. Las Palmas de Gran Canaria. España

**Estado preoperacional del plan nacional: Í Mitigación de Jaulas flotantes con arrecifes artificialesÍ (JACUMAR).** XIV Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina. Barcelona 12-15 sep 2006.

Tipo de comunicación: Poster

Persona responsable: Nayra García Jiménez. Tlf: 928132900

Piedecausa-Narejo, M.A., Aguado-Giménez, F., Carrasco-López, C.J., García-García, B., Gutierrez-Ortega, J.M. (2007). **Influence of cage fish farming on the ichthyofauna associated with experimental benthic biofilters. Preliminary results.** Inetrnational Symposium Marine Science 2007. Valencia, 28-31 Marzo.

Tipo de comunicación: Póster.

Persona responsable: Felipe Aguado Giménez. Tlf y fax: 968184518. E-mail: [felipe.aguado@carm.es](mailto:felipe.aguado@carm.es)

F. Aguado-Giménez, A.J. Ibáñez, M.A. Piedecausa, J.M. Gutiérrez, N. García, V. Aliaga, J. Urra, N. González, J.L. Rueda, A. Perán, D. Gómez, B. García-García, A. Belmonte, J.C. Macías. (2007). **Mitigación del impacto ambiental generado por los cultivos marinos en jaulas flotantes sobre fondos blandos, mediante la utilización de biofiltros bentónicos. Resultados preliminares.** XI Congreso Nacional de Acuicultura. Vigo 24-28 Septiembre de 2007. Tipo de comunicación: Ponencia oral invitada.

Persona responsable: Felipe Aguado Giménez. Tlf y fax: 968184518. E-mail: [felipe.aguado@carm.es](mailto:felipe.aguado@carm.es)

### Notas de prensa:

[http://webpesca.xunta.es/pescacms/opencms/WebPesca/salacomunicaciones/Noticias/comunicacion\\_0733.html](http://webpesca.xunta.es/pescacms/opencms/WebPesca/salacomunicaciones/Noticias/comunicacion_0733.html)

<http://www.mispecies.com/noticias/2008/mar/080325-resultados-biofiltros-imida.asp>

### Participación en jornadas:

**II Seminario de I+D+i en el sector acuícola de Andalucía, 27 de noviembre 2008. Puerto de Santa María. CADIZ.**

Presentación de las experiencias desarrolladas en el Subproyecto de la Comunidad Autónoma de Andalucía, en el marco de la ponencia *Presentación de un caso práctico de I+D+i en empresas acuícolas*, realizada por José Carlos Macías Rivero.

## 2.8. INCIDENCIAS DE DESARROLLO

**CA Andalucía:** Eliminación de los datos de sedimentos y trampas correspondientes a la campaña de verano 2006. Pérdida y posterior encuentro de un biofiltro, habiendo supuesto la pérdida de una réplica de uno de los controles para los censos de peces durante dos campañas (Anexo I).

**CA Canarias:** Pérdida de tres biofiltros que supuso la paralización del proyecto durante 6 meses, posterior replanteo y puesta en marcha con la consiguiente pérdida de campañas y réplicas (Anexo II).

## 2.9. BIBLIOGRAFIA

- Allen, H.E., Gongmin, F., Deng, B., 1993. Analysis of acid volatile sulphide (AVS) and simultaneously extracted metals (SEM) for estimation of potential toxicity in aquatic sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry* 12, 1441-1453.
- Anderson, M.J. (2005). PERMANOVA. Permutational multivariate analysis of variance. A computer program. Dep. Statistics. Univ. Auckland, NZ. 24pp.
- Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R. (2008). PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth, UK. 214 p.
- Angel, D.L., Spanier, E. (2002). An application of artificial reefs to reduce organic enrichment caused by net-cage fish farming: preliminary results.
- AOAC. (1985). Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemistry. 14<sup>th</sup> edn., Washington. 1018 pp.
- Bray, J.R., Curtis, J.T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographic* 27: 325-349.
- Buchanan, J.B. (1984). Sediment analysis. En: Holme, M.A. & McIntyre, A.D. (Eds.). *Methods for the study of marine benthos*. pp 41-64. Blackwell, Oxford.
- Clarke, K.R., Warwick, R.M. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2<sup>nd</sup> edition. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Clarke, K.R., Gorley, R.N. (2006). PRIMER v6: user manual / tutorial. PRIMER-E, Plymouth, UK. 190 p.
- Ferraro, S.P., Cole, F.A. (1995). Taxonomic level sufficient for assessing pollution impacts on the southern California Bight macrobenthos . Revisited. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 14(6): 1031-1040.
- Gao, Q-F., Shin, P.K.S., Zu., W.Z. Cheung, S.G. (2008). Amelioration of marine farming impact on the benthic environment using artificial reefs as biofilters. *Marine Pollution Bulletin* 57: 652-661.
- Glasby, T.M. (1997). Analysing data from post-impact studies using asymmetrical analyses of variance: A case study of epibiota on marinas. *Australian Journal of Ecology* 22: 448-459.
- Harmelin, J.G. (1987). Structure et variabilité de l'ichtyofaune d'une zone rocheuse protégée en Méditerranée (Parc National de Port-Cros, France) PSZNI. *Marine Ecology* 8 (3): 263-284.

- Kruskal, J.B., Wish, M. (1978). Multidimensional scaling. Sage Publications. Beverly Hills, California. US.
- Laihönen, P.S., Hanninen, J., Chojnaki, J., Vuorinen, I. (1996). Some prospects of nutrient removal with artificial reefs. Proceedings of the 1<sup>st</sup> Conference of the European Artificial Reef Research Network, Ancona, Italy.
- Lampadariou, N., Karakassis, I., Pearson, T.H. (2005). Cost / benefit analysis of benthic monitoring of organic benthic enrichment using different sampling and analysis methods. *Marine Pollution Bulletin* 50: 1606-1618.
- Salas, F. (1996). Valoración y aplicabilidad de los índices de contaminación orgánica en la gestión del medio marino. Tesis de Licenciatura. Universidad de Murcia.
- Terlizzi, A., Benedetti-Cecchi, L., Bevilacqua, S., Fraschetti, S., Guidetti, P., Anderson, M.J. (2005). Multivariate and univariate asymmetrical analyses in environmental impact assessment: a case study of Mediterranean subtidal sessile assemblages. *Marine Ecology Progress Series* 289: 27-42.
- Tsemel, A., Spanier, E., Angel, D. L. (2006). Benthic communities of artificial structures: Effects of Mariculture in the Gulf of Aqaba (Eilat) on Development and Bioaccumulation. *Bulletin of Marine Science*, 78(1): 103-113.
- Underwood A. J. (1991). Beyond BACI: experimental designs for detecting human environmental impacts on temporal variations in natural populations. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. 42: 569-87.
- Underwood A. J. (1992). Beyond BACI: the detection of environmental impact on populations in the real, but variable world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 161: 145-78.
- Underwood A. J. (1993). The mechanics of spatially replicated sampling programs to detect environmental impacts in a variable world. *Australian Journal of Ecology*: 18, 99-116.
- Underwood, A.J. (1997). Experiments in ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press. UK. 504 pp.
- Urkiaga-Alberdi, J., S. Pagola-Carte, J.I. Saiz-Salinas. (1999). Reducing effort in the use of benthic bioindicators. *Acta Oecologica*, 20(4): 489-497.



Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



### 3.- ANEXOS CON LOS INFORMES DE LAS DISTINTAS CCAA.

**ANEXO I:** Memoria final CA Andalucía. Nombre del fichero: Anexo I MIT\_FIN\_AN.pdf

**ANEXO II:** Memoria final CA Canarias. Nombre del fichero: Anexo II MIT\_FIN\_CA.pdf

**ANEXO III:** Memoria final CA Murcia. Nombre del fichero: Anexo III MIT\_FIN\_MU.pdf

**ANEXO IV:** Memoria final CA Galicia. Nombre del fichero: Anexo IV MIT\_FIN\_GA.pdf