

ANEXO IV

**JACUMAR
JUNTA NACIONAL ASESORA DE CULTIVOS MARINOS**

PLANES NACIONALES DE CULTIVOS MARINOS

INFORME FINAL

Título: “Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina”

Tabla de contenido

RESUMEN EJECUTIVO	3
1.- DATOS ADMINISTRATIVOS	3
2.- RESULTADOS TECNICOS DEL PLAN NACIONAL	3
2.1. OBJETIVOS:	3
2.3. METODOLOGÍA (muy resumida)	4
2.4. RESULTADOS	4
2.5. CONCLUSIONES/APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS DEL PLAN	6
2.6. VALORACIÓN.....	8
2.7. DIFUSIÓN.....	9
2.8. INCIDENCIAS DE DESARROLLO.....	11
INFORME FINAL EXTENSO	15
1.- DATOS ADMINISTRATIVOS	17
2.- RESULTADOS TECNICOS DEL PLAN NACIONAL	27
2.1. OBJETIVOS INICIALES.....	27
2.2. OBJETIVOS REALIZADOS	29
2.3. METODOLOGÍA.....	31
2.4. RESULTADOS	47
PROPUESTA METODOLÓGICA DE UN PVA PARA CULTIVOS MARINOS EN JAULAS FLOTANTES	68
Talleres de expertos regionales	106
2.5. CONCLUSIONES	122
2.6. VALORACIÓN.....	124
2.7. DIFUSIÓN.....	125
2.8. INCIDENCIAS DE DESARROLLO.....	127
2.9. BIBLIOGRAFÍA	127
3.- ANEXOS CON LOS INFORMES DE LAS DISTINTAS CCAA (estos informes podrán tener el formato que determine cada CCAA, incluidos sus logotipos oficiales).	128

RESUMEN EJECUTIVO

1.- DATOS ADMINISTRATIVOS

TITULO: Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina

FECHAS DE REALIZACIÓN: 2008-2009-2010

DATOS DEL COORDINADOR DEL PROYECTO

Nombre y Apellidos: Nieves González Henríquez y Cayetano Collado Sánchez

Organismo/ Centro: Instituto Canario de Ciencias Marinas y Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Correo electrónico: ngonzalez@iccm.rcanaria.es; ccollado@dqui.ulpgc.es

Comunidades Autónomas participantes:

C.A. Andalucía, C.A. Cataluña, C.A. Valenciana, C.A. Murcia, C.A. Galicia, C.A. Canarias

2.- RESULTADOS TECNICOS DEL PLAN NACIONAL

2.1. OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este proyecto está dirigido hacia el establecimiento de las bases sobre las que diseñar protocolos y planes de seguimiento ambiental de la acuicultura y generar un protocolo para la formulación de Programas de Vigilancia Ambiental, con el propósito de facilitar a las empresas el desarrollo de los estudios ambientales pertinentes, y simplificar a las administraciones la gestión ambiental relativa a la acuicultura marina.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Línea 1: Identificar los parámetros y métodos de trabajo de los estudios ambientales en las CCAA.

Línea 2: Elaborar un Modelo Conceptual causa-efecto para la monitorización ambiental de la acuicultura.

Línea 3: Seleccionar y confirmar los parámetros indicadores y las metodologías aplicables al estudio y análisis de los parámetros propuestos. Definir y determinar los valores de referencia para dichos parámetros.

Línea 4: Generar un protocolo para la formulación de los Programas de Vigilancia Ambiental.

Línea 5: Sentar las bases para la creación de una Red Nacional para el seguimiento ambiental de la acuicultura marina.

2.3. METODOLOGÍA (muy resumida)

Para la elaboración de la propuesta de Protocolo de Plan de Vigilancia Ambiental de la Acuicultura Marina (PVA) para la acuicultura en jaulas marinas, se llevó a cabo un proyecto piloto consensuado entre todas las CCAA en cuanto a protocolos de trabajo y análisis de los datos.

- Previamente se realizó una revisión de proyectos, estudios, publicaciones y análisis de la normativa ambiental vigente, para la elaboración de una base de datos y análisis de la información que va a constituir el punto de partida para la selección de indicadores. Se elaboró paralelamente un Modelo conceptual para la monitorización ambiental de la acuicultura.

- A partir de los resultados obtenidos en las dos actividades anteriores se pasó a la elaboración del proyecto piloto para la evaluación de la idoneidad de las metodológicas planteadas y detectar los valores de referencia de los parámetros medidos y su dependencia de otras variables. Este proyecto piloto se basó en un protocolo de PVA que se desarrollo en 10 granjas de 5 CCAA.

- El Plan de Vigilancia Ambiental de la Acuicultura Marina (PVA) producto del proyecto piloto realizado en las CCAA se sometió a una evaluación de paneles de expertos a nivel regional y a nivel nacional. Este PVA a nivel regional fue enviado a todos los actores implicados directamente o indirectamente en la acuicultura en jaulas marinas, así como a los posibles sectores afectados por su actividad. El estudio de su validación se realizó con diferentes categorías de participantes, cada uno de los cuales podría dar una visión complementaria del PVA. Así se propuso una metodología de validación mediante una validación interna y otra externa.

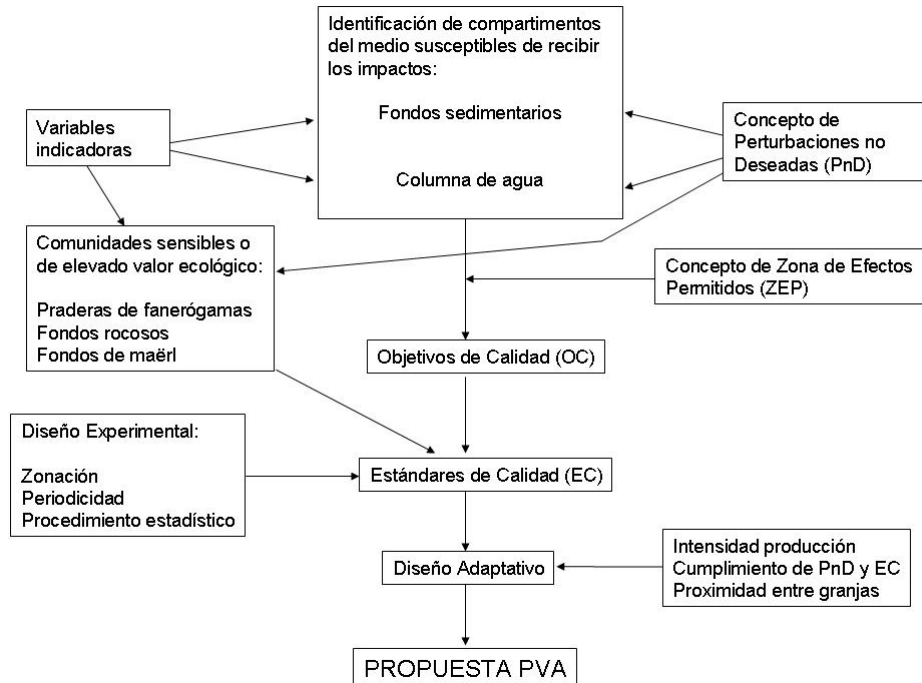
- En una fase final el Plan de Vigilancia Ambiental de la Acuicultura Marina (PVA) se elevó a una evaluación nacional a través del Foro Nacional de Planes de Acuicultura Marina de la JACUMAR, en la que se discutieron con los sectores involucrados, sector empresarial y administración los temas de interés y se consensó el planteamiento elaborado.

Las CCAA de Andalucía y Galicia, establecieron metodologías y protocolos de PVA para instalaciones en tierra.

2.4. RESULTADOS

La propuesta del PVA se desarrolla en base a una serie de criterios y los resultados obtenidos de un estudio piloto realizado en diez granjas de cultivo

de peces en jaulas flotantes de las Comunidades de Canarias, Andalucía, Murcia, Valencia y Cataluña.



Estudio piloto 10 granjas en las CCAA de Andalucía, Murcia, Valencia, Cataluña y Canarias: descriptores / parámetros

- Granulometría: fracción fina (< 65µm).
- Potencial redox (Eh) y pH.
- Contenido en materia orgánica (MO: métodos LOI y Walkley & Black).
- Contenido en azufre total (TS), nitrógeno total (TN), fósforo total (TP) y carbono orgánico total (TOC).
- Contenido en sulfuros libres totales (TFS).
- Composición isotópica ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$).
- Poblamiento infaunal de poliquetos y anfípodos (nivel taxonómico de familia): nº de familias, abundancia total, riqueza de Margalef, diversidad de Shannon-Wiener y Equidad de Pielou.
- Tratamiento univariante: GLM-ANOVA. Tratamiento multivariante: escalado multidimensional (MDS), porcentajes de similaridad (SIMPER), correlaciones entre variables abióticas y estructura de los doblamientos (BIOENV y perfiles ecológicos)

Replicación espacial: {

- Zona A: Zona de impacto severo, dentro del tren de
- Zona B: Zona de impacto moderado, en la zona de afección de las
- Zona C: Zona de no afección.

Replicación temporal: 2 Campañas { 1ª Campaña: tras la época de mayor aporte de residuos
2ª Campaña: tras la época de menor aporte de residuos

Puntos de muestreo { 3 puntos x zona
3 réplicas x punto

2 concesiones x 2 campañas x 3 zonas x 3 puntos de muestreo x 3 réplicas = 108 muestras

2.5. CONCLUSIONES/APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS DEL PLAN

Las conclusiones materializadas en el Protocolo de PVA que se ha elaborado han sido evaluadas durante el año 2011 en dos tipos de talleres de expertos, en las CCAA y posteriormente en el Taller Nacional de expertos:

VARIABLES INDICADORAS.

Fondos detríticos – sedimentarios: perfiles ecológicos y BIOENV

- Granulometría: fracción fina (< 65µm): descriptor del medio e indicador de enfangamiento.
- TFS: indicador causal (toxicidad – regresión).
- Poblamiento infaunal de poliquetos (familia; > 1mm): indicador de estado.
- COT o MO: indicadores de enriquecimiento orgánico
- pH y Eh: descriptores de la capacidad oxidativa del medio
- δ15N: indicador del origen del enriquecimiento orgánico de las granjas y del alcance espacial.

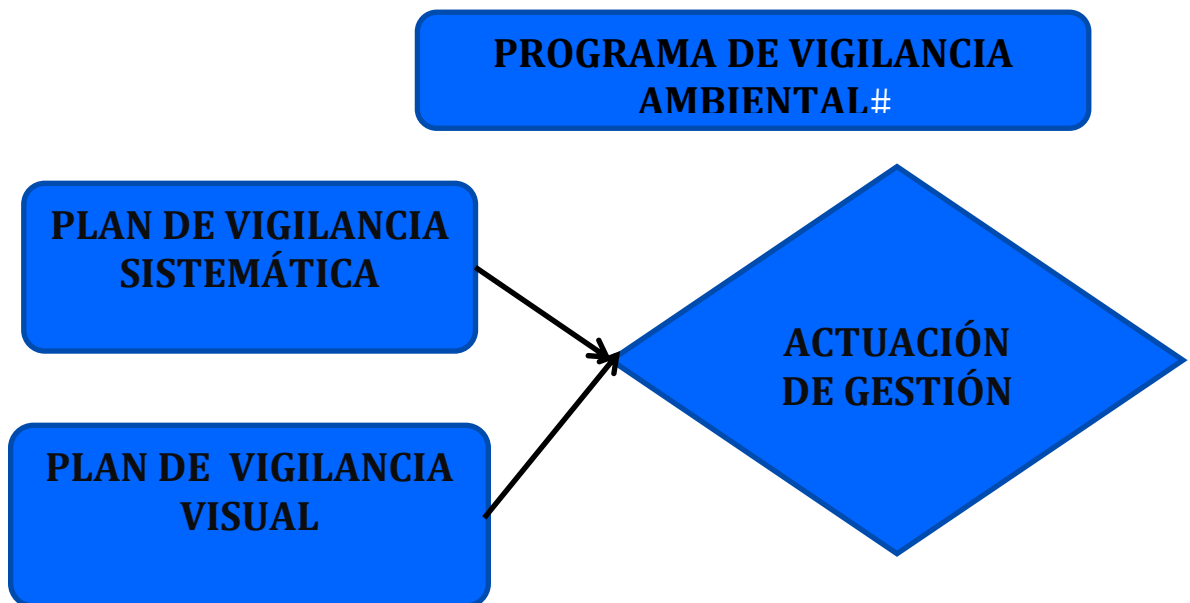
Propuesta de Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) para instalaciones de jaulas marinas:

Opción 1:

- Granulometría, TFS y poliquetos.
- Adaptabilidad en función de evolución del medio, incrementando o disminuyendo la frecuencia y el nº de puntos de muestreo

Opción 2:

- Granulometría, TFS, poliquetos, COT, MO, pH-Eh y δ15N.
- Adaptabilidad en función de la evolución del medio, manteniendo o disminuyendo el nº de variables y/o la frecuencia de muestreo.



Existen diferencias interregionales en cuanto a criterios, contenidos, procedimientos y metodologías para los estudios de vigilancia ambiental.

En ocasiones, en la realización de los estudios de vigilancia ambiental se genera información poco útil, hay una pérdida de oportunidades y conocimiento y hay una gestión poco efectiva con riesgo de pérdida de sostenibilidad del sector.

Los resultados de este proyecto aportan herramientas y criterios específicos para tener un control efectivo sobre el medio donde se desarrolla la acuicultura, y uniformar los requerimientos exigidos por la administración, tanto para la realización de los estudios ambientales previos al desarrollo de la actividad como para los programas de vigilancia a desarrollar en la fase operativa.

Los indicadores seleccionados en este proyecto son útiles para llevar a cabo estudios de afecciones ambientales y planes de vigilancia, forman parte de diseños de muestreo adecuados y sencillos, y contribuirán de manera eficaz a la protección del medio y a la sostenibilidad de la acuicultura.

La participación de las empresas de cultivos en este proyecto ha sido fundamental, ya que cada una de las Comunidades Autónomas participantes desarrolló una experiencia piloto con distintas empresas productoras.

A partir de los resultados obtenidos, las empresas dispondrán de criterios homogéneos para la realización de los estudios ambientales, lo que les

facilitará la elaboración de los mismos y al mismo tiempo les permitirá tener un mayor conocimiento de las interacciones de su actividad con el entorno.

La transferencia de resultados al sector se ha materializado mediante la realización de paneles de expertos, con participación de las distintas administraciones, con competencia en materia de acuicultura y medio ambiente, y los distintos agentes o sectores involucrados en esta actividad.

Se ha realizado una coordinación de equipos e interrelación de grupos de investigadores de las Comunidades Autónomas participantes para la elaboración de los resultados y consenso de indicadores.

Se ha elaborado una Propuesta Metodológica para la realización de Planes de Vigilancia Ambiental de cultivos en granjas marinas.

Se han elaborado también protocolos de metodologías para cada uno de los indicadores propuestos para la vigilancia ambiental.

Se creará un grupo de trabajo en el seno de JACUMAR, que trabajará para elaborar una propuesta de homogeneización de los criterios para el seguimiento ambiental de las granjas marinas a nivel nacional y, si procede, la elaboración de normativa en este ámbito. A este grupo se invitará a participar a los responsables de medio ambiente de las CCAA, los responsables de acuicultura, los investigadores participantes en el proyecto, empresas participantes, y otros aquellos agentes que se consideren de interés para aportar conocimientos en este ámbito.

2.6. VALORACIÓN

La participación de las empresas de cultivos ha sido uno de los requisitos más importantes en este proyecto, ya que cada una de las Comunidades participantes desarrolló una experiencia piloto con distintas empresas productoras.

A partir de los resultados obtenidos, el Protocolo o Guía de PVA para el seguimiento ambiental de la acuicultura en jaulas marinas, se pretende que las empresas dispongan de una serie de criterios homogéneos para la realización de los estudios ambientales, lo que les facilitará la elaboración de los mismos y al mismo tiempo les permitirá tener un mayor conocimiento de las interacciones acuicultura – medio ambiente.

La transferencia de los resultados al sector se ha materializado mediante:

- La participación de empresas productoras en los trabajos del proyecto piloto en cada CCAA participante en el proyecto.
- La propuesta de indicadores para el seguimiento y la gestión ambiental de las instalaciones que mejoren la aceptación social de la actividad
- La transferencia de información y resultados del proyecto al sector, mediante la realización de una serie de paneles de expertos, en los que participaron las empresas, las distintas administraciones, con competencia en materia de

acuicultura y medio ambiente, y otros agentes o sectores involucrados en esta actividad.

- La elaboración del protocolo de Seguimiento ambiental de las instalaciones de cultivos marinos en jaulas, en el que se han desarrollado propuestas metodológicas que garanticen la uniformidad de los estudios ambientales y de los programas de vigilancia ambiental.
- La Interacción con otras actividades económicas (pesca artesanal, turismo, empresas consultorías ambientales, organizaciones ecologistas, administraciones regionales y locales) mediante los talleres de expertos.

Los resultados obtenidos y consensuados han permitido, mediante el proyecto piloto, los talleres de expertos y la implicación de los sectores empresarial y administrativo, consensuar un protocolo de PVA para el seguimiento ambiental de las instalaciones de cultivo en jaulas marinas.

En líneas generales el proyecto ha sido calificado en su globalidad de interés por parte del sector empresarial y la administración, ya que consideran necesaria una uniformidad en las exigencias administrativas a nivel estatal y el desarrollo de modelos ambientales sencillos y adaptados a su función.

2.7. DIFUSIÓN

En el año 2009 el proyecto ha sido presentado a la Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos (APROMAR), con el propósito de dar a conocer los objetivos que se pretenden conseguir con el desarrollo del mismo y recabar información sobre el interés del sector en cuanto a iniciativas medioambientales para un óptimo desarrollo de la actividad acuícola.

En octubre de 2009 tuvo lugar en Madrid, el I Foro de Planes Nacionales de Cultivos Marinos donde la coordinadora del proyecto, presentó este proyecto, Plan Nacional de Selección de Indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina, seleccionado por la Secretaría de Pesca dentro del marco de medio ambiente.

Congresos y publicaciones:

- C. Carballeira, F. Aguado-Giménez, N. González, P. Sánchez-Jerez, J.M. Texeira, J.I. Gairin, A. Carballeira, B. García-García, V. Fernández-González, J. Carreras, J.C. Macías, D. Acosta, C. Collado (2011) .Determinación de los umbrales, de las variables geoquímicas de sedimentos, indicadores del impacto generado por los cultivos marinos en mar abierto, mediante técnicas de análisis de gradientes ambientales. XIV Foro Recursos Marinos y Acuicultura de las Rías gallegas.
- Carballeira, F. Aguado-Giménez, N. González, P. Sánchez-Jerez, J.M. Texeira, J.I. Gairin, B. García-García, V. Fernández-González, J. Carreras, J.C. Macías, D. Acosta, C. Collado (2011). Utilización de “perfiles ecológicos” para la selección de variables geoquímicas de sedimentos marinos como indicadores del

impacto ambiental generado por los cultivos marinos en mar abierto. XIII Congreso Nacional de Acuicultura.

- E. Martínez-García, A. Carballeira, F. Aguado-Giménez, N. González, P. Sánchez-Jerez, D. Acosta, J.I. Gairin, C. Carballeira, B. García-García, J.L. Sánchez-Lizaso, J. Carreras, J.C. Macías, D. Acosta, C. Collado (2011). Meta-análisis de los cambios en la estructura del poblamiento de poliquetos debido a la actividad de engorde de peces en jaulas flotantes en las costas españolas. XIII Congreso Nacional de Acuicultura
- C, I. Carballeira Viana, Rey-Asensio A., Carballeira A. Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: bioensayos de fertilidad in situ. XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura de las Rías gallegas. O Grove, Galicia, España, 7 y 8 de octubre de 2010.
- M.R., C de Orte, Carballeira y A. Carballeira. Desarrollo de un bioensayo miniaturizado de microalgas para evaluar la ecotoxicidad de vertidos marinos: aplicación a piscifactorías marinas instaladas en tierra. Comunicación congreso, XVII Simpósio de Botânica Criptogâmica. Tomar (Portugal), 23 y 26 de Septiembre de 2009.
- González Viana I., A. Rey-Asensio & A. Carballeira. Eliminación de “discos fantasmas” en bioensayos con ulva sp. XVII Simpósio de Botânica Criptogâmica. Tomar (Portugal), 23 y 26 de Septiembre de 2009
- C. Carballeira, Martín-Díaz M.L. y Del Valls T. A. Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: biomarcadores moleculares en mejillón nativo. XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura de las Rías gallegas. O Grove, Galicia, España, 7 y 8 de octubre de 2010.
- C. Carballeira Espinosa J. y Carballeira A. Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: Alteraciones histológicas en moluscos nativos y trasplantados. XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura de las Rías gallegas. O Grove, Galicia, España, 7 y 8 de octubre de 2010.
- Rey-Asensio A., I. González Viana, J.B. Cremades & A. Carballeira. Bioensayo de colonización de sustratos artificiales como una medida de alteración de la integridad ecológica en el medio marino. XVII Simpósio de Botânica Criptogâmica. Tomar (Portugal), 23 y 26 de Septiembre de 2009.
- C.A. de Andalucía. Estudio de indicadores ambientales en granjas de acuicultura en tierra en la región Sur-Atlántica. XII Congreso Nacional de Acuicultura 2009. Madrid, 24-26 noviembre de 2009

Artículos publicados en revistas científicas:

- C. Carballeira, L. Martín-Díaz, T.A. DelValls. (2011). Influence of salinity on fertilization and larval development toxicity tests with two species of sea urchin. Marine Environmental Research In Press, Accepted Manuscript, Available online 5 September 2011.
- I.G. Viana, J.A. Fernández, J.R. Aboal, A. Carballeira. Measurement of N15 in macroalgae stored in an environmental specimen bank for regional scale monitoring of eutrophication in coastal areas. (2010). Ecological Indicators 11 (2011) 888–895.
- Panel de expertos sobre seguimiento ambiental de cultivos marinos. Revista especializada web: <http://www.ipacuicultura.com> IPacuicultura

Talleres de Trabajo:

- **Panel de expertos regional** en las CCAA (junio-julio-septiembre 2011)
- **Panel de expertos nacional:** II Foro Nacional de Planes de Cultivos Marinos (JACUMAR). Noviembre 2011 Castelldefels (Barcelona).

2.8. INCIDENCIAS DE DESARROLLO

Las propias de trabajar en instalaciones de empresas y en mar abierto.

INFORME FINAL EXTENSO

1.- DATOS ADMINISTRATIVOS

TITULO: Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina

FECHAS DE REALIZACIÓN

Inicio: enero 2008

Finalización: 2010 con prórroga sin financiación hasta diciembre 2011

DATOS DEL COORDINADOR DEL PROYECTO

Nombre y Apellidos:

¹Nieves González Henríquez (2008-2010)

²Cayetano Collado Sánchez (6/2011)

Organismo/ Centro:

¹Instituto Canario de Ciencias Marinas

²Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)

Departamento:

¹Gestión Litoral.

²Departamento de Química ULPGC

Teléfono:

¹928132900 (ext. 206);

²928454435

Fax:

¹928132908

²928452922

Correo electrónico:

¹ngonzalez@iccm.rcanaria.es;

²ccollado@dqui.ulpgc.es

Dirección postal completa:

¹Instituto Canario de Ciencias Marinas. Apdo. 56 35200 Telde:

² Dpto. Química, Campus de Tafira. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
35017 Las Palmas de Gran Canaria

PARTICIPANTES

CENTROS DE INVESTIGACIÓN

Comunidad Autónoma: ANDALUCÍA

Tipo de centro: Organismo Público

Nombre: Consejería de Agricultura y Pesca

CIF: S 4111001F

Nombre Representante Legal: Isaías Pérez Saldaña

Comunidad Autónoma: CATALUÑA

Tipo de centro: Empresa Pública de I + D

Nombre: Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA)

CIF: Q-5855049-B

Nombre Representante Legal: Agustí Fonts Cavestany

Comunidad Autónoma: MURCIA

Tipo de centro: Organismo público autónomo de I+D

Nombre: Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA)

CIF: S-3000012-I

Nombre Representante Legal: Adrián Martínez Cutillas

Comunidad Autónoma: VALENCIANA

Tipo de centro: Centro Público de Investigación

Nombre: Universidad de Alicante

CIF: Q-0332001-G

Nombre Representante Legal: Manuel Palomar Sanz

Comunidad Autónoma: GALICIA

Tipo de centro: Dirección Xeral de Innovación e Desenvolvemento Pesqueiro

Nombre: CIMA Centro de Investigaciones Marinas

CIF: S-1511001-H

Nombre Representante Legal: Alejandro Guerra Díaz

Comunidad Autónoma: CANARIAS

Tipo de centro: Dirección General de Universidades e Investigación

Nombre: Instituto Canario de Ciencias Marinas

CIF: S-3511001-D

Nombre Representante Legal: Octavio Llinás González

DATOS DE LOS INVESTIGADORES: CANARIAS

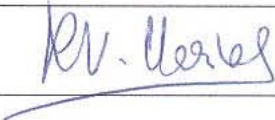
Apellidos: Collado Sánchez
Nombre: Cayetano
Organismo: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Centro: Facultad de Ciencias del Mar
Departamento: Química
Equipo: Calidad Medioambiental
Teléfono: 928454435
Fax.: 928452922
Correo electrónico: ccollado@dqui.ulpgc.es
Dirección Postal: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria 35017 Las Palmas de Gran Canaria

Apellidos: González Henríquez
Nombre: Nieves
Organismo: Gobierno de Canarias
Centro: Instituto Canario de Ciencias Marinas
Departamento: Gestión Litoral
Equipo: Gestión Litoral
Teléfono: 928132900
Fax: 928132908
Correo electrónico: ngonzalez@iccm.rcanaria.es
Dirección Postal: Apdo. 56, 35200 Telde

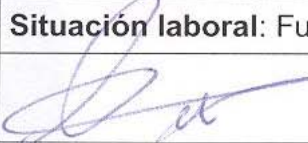
Apellidos: Viera Rodríguez
Nombre: M^a Ascensión
Organismo: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Centro: Facultad de Ciencias del Mar
Departamento: Biología
Equipo: Biodiversidad
Teléfono: 928452900
Fax.: 928452922
Correo electrónico: mviera@dbio.ulpgc.es
Dirección Postal: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria 35017 Las Palmas de Gran Canaria


PERSONAL DEL SUBPROYECTO – C.A. ANDALUCÍA.


estigador Responsable

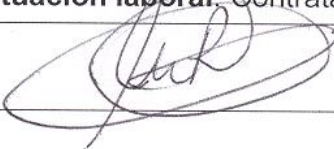
Apellidos: Villarías Molina	Nombre: Rosa M ^a
D.N.I.: 08.794.305	Año de nacimiento: 1959
Titulación: Ciencias Biológicas	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Jefa de Dep. Gestión de Programas	Situación laboral: Funcionario
Firma de conformidad:	


Resto de Investigadores


Apellidos: Acosta Camacho	Nombre: Daniel
D.N.I.: 52.289.975-G	Año de nacimiento: 1973
Titulación: Ciencias del Mar	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Titulado Superior	Situación laboral: Funcionario
Firma de conformidad:	


Apellidos: Macías Rivero	Nombre: José Carlos
D.N.I.: 52.331.487- R	Año de nacimiento: 1972
Titulación: Ciencias del Mar	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Técnico Superior	Situación laboral: Contratado
Firma de conformidad:	

Apellidos: Ávila Zaragoza	Nombre: Pablo
D.N.I.: 30.793.018-C	Año de nacimiento: 1970
Titulación: Biología	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Titulado Superior	Situación laboral: Contratado
Firma de conformidad:	

Apellidos: Peña Serrano	Nombre: Manuel
D.N.I.: 44.221.902-D	Año de nacimiento: 04- 01-1977.
Titulación: Biología	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Titulado Superior	Situación laboral: Contratado
Firma de conformidad:	


Apellidos: Andrés Castro	Nombre: Jaime
D.N.I.: 31.253.548-k	Año de nacimiento: 21-05-1968
Titulación: Ciencias del Mar	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Titulado Superior	Situación laboral: Contratado
Firma de conformidad:	

Apellidos: Galle Cejudo	Nombre: Jesús Pascual
D.N.I.: 31.252.217-R	Año de nacimiento: 04-11-1974
Titulación: Ciencias del Mar	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Titulado Superior	Situación laboral: Contratado
Firma de conformidad:	

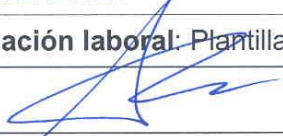
Apellidos: Agraso Martínez	Nombre: M ^a del Mar
D.N.I.: 75761088-P	Año de nacimiento: 1980
Titulación: Ciencias del Mar	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Titulado Superior	Situación laboral: Contratado
Firma de conformidad:	


PERSONAL DEL SUBPROYECTO – C.A. GALICIA.

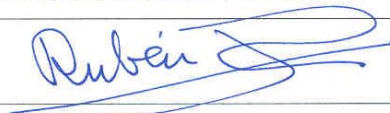
Investigador Responsable


Apellidos: Gabeiras Verez	Nombre: José Manuel
D.N.I.: 32.606.539 Z	Año de nacimiento: 1952/0 octubre/10
Titulación: Licenciado en Biología	Grado: Licenciatura
Categoría profesional: Funcionario X.G.	Situación laboral: Activo
Firma de conformidad:	

Resto de Investigadores

Apellidos: Carballeira Ocaña	Nombre: Alejo
D.N.I.: 33.806152Q	Año de nacimiento: 1951
Titulación: Biólogo	Grado: Doctor
Categoría profesional: Catedrático USC	Situación laboral: Plantilla
Firma de conformidad:	

Apellidos: Aboal Viñas	Nombre: Jesús
D.N.I.: 33.288.734 Y	Año de nacimiento: 7/8/1970
Titulación: Biólogo	Grado: Doctor
Categoría profesional: Profesor Doctor Contratado USC	Situación laboral: Plantilla
Firma de conformidad:	

Apellidos: Villares Pazos	Nombre: Rubén
D.N.I.: 32655680g	Año de nacimiento: 26/11/1968
Titulación: Biólogo	Grado: Doctor
Categoría profesional: Profesor Doctor Contratado USC	Situación laboral: Plantilla
Firma de conformidad:	

Apellidos: Otero Llovo	Nombre: Juan
D.N.I.: 33.184.620.J	Año de nacimiento: 1948
Titulación: Biólogo	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Jefe Servicio de Acuicultura Xunta Galicia	Situación laboral: Activo
Firma de conformidad:	

PERSONAL DEL SUBPROYECTO – C.A. CATALUÑA.


la entidad solicitante.

Investigador Responsable

Apellidos: Aguilera Jiménez	Nombre: Cristóbal
D.N.I.: 33.919.450Q	Año de nacimiento: 1965
Titulación: Biólogo	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Invest. nivel B	Situación laboral: Plantilla
Firma de conformidad:	

Resto de Investigadores

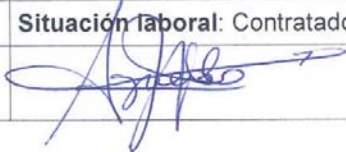
Apellidos: Gairin Deulofeu	Nombre: Joan Ignasi
D.N.I.: 40.301.939M	Año de nacimiento: 1965
Titulación: Veterinario	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Invest. Nivel F	Situación laboral: Plantilla
Firma de conformidad:	

Apellidos: Carbó Bacaicoa	Nombre: Ricard
D.N.I.: 46.338.609 A	Año de nacimiento: 1967
Titulación: Ingeniero Técnico Agrícola	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Invest. Nivel F	Situación laboral: Plantilla
Firma de conformidad:	

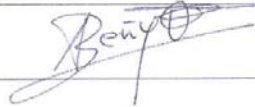
Apellidos: Carballeira Braña	Nombre: Carlos
D.N.I.: 44828024N	Año de nacimiento: 1/11/1982
Titulación: Biólogo	Grado: Graduado y Master Internacional en Gestión litoral
Categoría profesional: Becario FPI (UCA)	Situación laboral: Activo
Firma de conformidad:	
Apellidos: Real Rodríguez	Nombre: Carlos
D.N.I.: 32756892Q	Año de nacimiento: 7/10/1963
Titulación: Biólogo	Grado: Doctor
Categoría profesional: Profesor Titular	Situación laboral: Plantilla
Firma de conformidad:	
Apellidos: Fernández Escribano	Nombre: Ángel
D.N.I.: 35322453L	Año de nacimiento: 28/5/1971
Titulación: Biólogo	Grado: Doctor
Categoría profesional: Profesor Doctor contratado USC	Situación laboral: Plantilla
Firma de conformidad:	

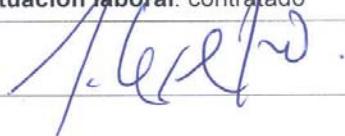
PERSONAL DEL SUBPROYECTO- C.A. MURCIA

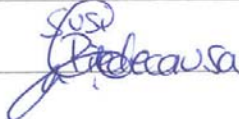
Investigador Responsable

Apellidos: Aguado Giménez	Nombre: Felipe
D.N.I.: 27.457.312-G	Año de nacimiento: 1968
Titulación: Biólogo	Grado: Doctor
Categoría profesional: Investigador agrario	Situación laboral: Contratado
Firma de conformidad:	

Resto de Investigadores


Apellidos: García García	Nombre: Benjamín
D.N.I.: 22.470.556-Q	Año de nacimiento: 1959
Titulación: Biólogo	Grado: Doctor
Categoría profesional: Técnico responsable investigación	Situación laboral: Funcionario
Firma de conformidad:	

Apellidos: Cerezo Valverde	Nombre: Jesús
D.N.I.: 34.817.548-X	Año de nacimiento: 1973
Titulación: Biólogo	Grado: Doctor
Categoría profesional: Investigador agrario	Situación laboral: contratado
Firma de conformidad:	

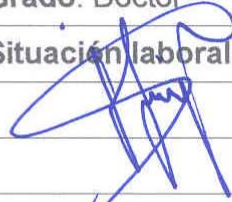
Apellidos: Piedecausa Narejo	Nombre: M ^a Asunción
D.N.I.: 74.001.166-T	Año de nacimiento: 1982
Titulación: Biólogo	Grado: Licenciado
Categoría profesional: Investigador predoctoral	Situación laboral: Becaria
Firma de conformidad:	

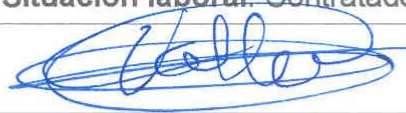
PERSONAL DEL SUBPROYECTO- C.A. VALENCIA


Investigador Responsable

Apellidos: Sánchez Jerez	Nombre: Pablo
D.N.I.: 21478607B	Año de nacimiento: 29-12-1968
Titulación: Lic. Biología	Grado: doctor
Categoría profesional: Profesor universidad	Situación laboral: funcionario
Firma de conformidad:	

Resto de Investigadores

Apellidos: Bayle Sempere	Nombre: Just
D.N.I.: 21437211S	Año de nacimiento: 1 agosto 1962
Titulación: Lic. Biología	Grado: Doctor
Categoría profesional: Profesor universidad	Situación laboral: Funcionario
Firma de conformidad:	

Apellidos: Valle Pérez	Nombre: Carlos
D.N.I.: 21513034F	Año de nacimiento: 14 junio 1973
Titulación:	Grado: Doctor
Categoría profesional: Prof. ayudante doctor	Situación laboral: Contratado TC
Firma de conformidad:	

Apellidos: Giménez Casalduero	Nombre: Francisca
D.N.I.: 23230314S	Año de nacimiento: 1964
Titulación: Lic. Biología	Grado: Doctor
Categoría profesional: profesor universidad	Situación laboral: contratado TC
Firma de conformidad:	

2.- RESULTADOS TECNICOS DEL PLAN NACIONAL

2.1. OBJETIVOS INICIALES

❖ **Objetivo 1.** Identificar los parámetros y métodos de trabajo de los estudios ambientales en las CCAA.

- Revisión de proyectos JACUMAR (EIA 1997-1999, FBI 1998-2000, IPSIAM 2003-2005), estudios ambientales, planes de vigilancia o monitorización ambiental, proyectos de investigación, literatura científica, etc.
- Revisión de los protocolos JACUMAR “Protocolo para la gestión medioambiental de las instalaciones de acuicultura en jaulas” (1999 – 2007) AZTI.
- Elaboración de una base de datos con la información recopilada.

❖ **Objetivo 2.** Elaborar un Modelo Conceptual causa-efecto para la monitorización ambiental de la acuicultura.

- Identificación de fuerzas motrices y elementos clave que determinan la estructura básica del modelo conceptual.
- Identificación de presiones, impactos y respuestas pertinentes para una mejor gestión ambiental de la acuicultura en jaulas.
- Elaboración (definición y propuesta) del modelo: búsqueda de datos existentes sobre cada elemento del modelo para alimentarlo. Establecer relaciones matemáticas estimadoras de las relaciones entre componentes del modelo.

Objetivo 3. Seleccionar y confirmar los parámetros indicadores y las metodologías aplicables al estudio y análisis de los parámetros propuestos. Definir y determinar los valores de referencia para dichos parámetros.

- Analizar los parámetros utilizados en los estudios de impacto ambiental (EIA) y planes de vigilancia ambiental (PVA) en las diferentes CCAA implicadas.
- Realizar el diseño de los muestreos espacial y temporal y el seguimiento espacio-temporal intenso en zonas impactadas pero sobre todo en múltiples zonas control.
- Información disponible en las diferentes CCAA sobre calidad del medio marino y valores de referencia de las masas de aguas litorales.
- Estudiar los parámetros establecidos y sus valores de referencia en todas las CCAA.

❖ **Objetivo 4.** Generar un protocolo para la formulación de los Programas de Vigilancia Ambiental.

- Establecer las pautas para la programación de PVA.
- Realizar una serie de propuestas metodológicas aplicables a los estudios ambientales para monitorización de la acuicultura.
- Editar manuales incluyendo métodos, parámetros indicadores, análisis y gestión de datos para desarrollar la vigilancia ambiental de las instalaciones acuícolas en mar abierto.

❖ **Objetivo 5.** Sentar las bases para la creación de una Red Nacional para el seguimiento ambiental de la acuicultura marina.

- Localizar la información disponible a escala nacional relativa al seguimiento ambiental.

- Organizar y agrupar la información en una base de datos y establecer los criterios para su aplicabilidad integral al territorio español.

- Realizar una serie de reuniones con Panel de expertos en todas las CCAA (de los sectores implicados: sector acuícola, consultorías, administraciones, etc...) para consensuar los protocolos.

* En el caso de las **CCAA de Andalucía y Galicia**, donde la acuicultura marina se desarrolla en partes iguales en instalaciones terrestres y en instalaciones en mar abierto, se tratará de estudiar ambos casos, es decir, ambas relaciones ambientales

2.2. OBJETIVOS REALIZADOS

❖ Actividad 1. Identificación de parámetros y métodos de trabajo

Las acciones planteadas para la consecución de este objetivo se realizaron principalmente durante el primer año, aunque posteriormente se tuvieron en cuenta todas las nuevas informaciones y publicaciones que aparecieron en los medios de difusión científica

❖ Actividad 2. Elaboración de un Modelo Conceptual causa-efecto para la monitorización ambiental de la acuicultura.

Esta actividad se realizó durante el primer año paralelamente a la actividad 1.

❖ Actividad 3. Selección de parámetros indicadores y de las metodologías aplicables al estudio y análisis de los parámetros propuestos.

En el segundo y tercer año se desarrolló esta actividad, que constó de dos fases, en la primera se determinaron los protocolos y se estableció el proyecto piloto que se trabajó en las 5 CCAA y en la segunda se trabajaron los resultados obtenidos en todas las CCAA para la elaboración de la evaluación general del protocolo de PVA.

❖ **Actividad 4. Generar un protocolo para la formulación de los Programas de Vigilancia Ambiental.**

Esta actividad se desarrolló en el último año, mediante una serie de reuniones de los participantes de todas las CCAA, para acordar el protocolo de PVA que se propone desde el proyecto para el seguimiento ambiental de la acuicultura marina. La propuesta generada por el grupo de trabajo de PVA para la acuicultura en jaulas marinas se llevaría a los paneles de expertos para su debate.

❖ **Actividad 5. Sentar las bases para la creación de una Red Nacional para el seguimiento ambiental de la acuicultura marina.**

Para ello se realizaron una serie de reuniones con Panel de expertos, en primera instancia en todas las CCAA (de los sectores implicados: sector acuícola, consultorías, administraciones, etc...) y en la fase final del proyecto a nivel nacional, para concensuar el protocolo de PVA generado.

En el caso de la CA de Galicia los objetivos para la elaboración de un protocolo de PVA para las instalaciones de cultivos marinos en tierra son:

1. Área de influencia y toxicidad potencial

Como primer objetivo se planteó desarrollar un método que permitiera deslindar **el área máxima potencial** de afección de una granja. Aparte del interés *per se* que tiene este objetivo, una vez conseguido se facilitaría la vigilancia ambiental al poder concentrar los esfuerzos de manera mas eficiente. Igualmente facilita la localización de estaciones control para poder establecer comparaciones.

2. Riesgo tóxico y de eutrofización.

Se planteó la aplicación de diferentes bioensayos -utilizando organismos nativos y trasplantados y estudio de biomarcadores para evaluar el riesgo tóxico y de eutrofización ligado a las granjas de peces.

3. Estudio de la integridad ecológica.

Debido a las especiales características (i.e. alto hidrodinamismo) de las zonas donde están instaladas nuestras granjas marinas, para evaluar la integridad

ecológica en la zona de influencia se planteó aplicar técnicas experimentales y de bioindicación.

4. Otros estudios complementarios.

Se plantea estudiar la **viabilidad de cultivos politróficos** capaces de aprovechar los residuos vertidos por la plantas acuícolas.

2.3. METODOLOGÍA

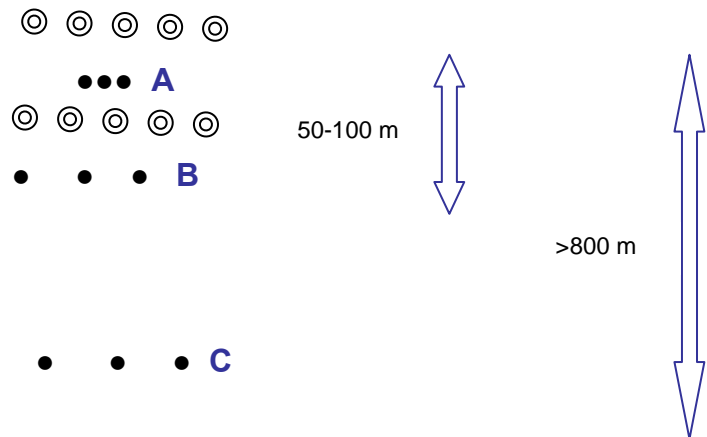
- **Revisión de información:** proyectos JACUMAR, estudios ambientales, planes de vigilancia o monitorización ambiental, proyectos de investigación, literatura científica, etc.,
- **Elaboración e implementación de la base de datos:** con la información recopilada en el apartado anterior en todas las CCAA.
- **Identificación de descriptores:** mediante las diferentes fuentes de información utilizadas se determinan aquellos que puedan ser definidos como indicadores potenciales para detectar posibles impactos generados por la actividad acuícola. Se utilizará la base de datos y experiencias desarrolladas hasta el momento en las CCAA participantes para la identificación de los descriptores más adecuados.
- **Diseño de la experiencia piloto:** descriptores, tipo de muestreo espacial y temporal, metodologías de análisis y tratamiento estadístico de la información. Con el consenso de todas las CCAA se elaborara un protocolo de trabajo para el estudio de estos descriptores que se realizará mediante un proyecto piloto en las 10 granjas marinas que colaboran en las 5 CCAA participantes.
- **Generación del protocolo de PVA:** mediante el análisis en cada CA y de los resultados del proyecto piloto y el análisis conjunto de todos los datos, se establecerá la propuesta de PVA para el seguimiento ambiental de la acuicultura marina en jaulas. En la CA de Galicia se trabajará sobre el protocolo a seguir en la actividad de cultivos marinos en tierra.

Diseño experimental:

Parámetros, métodos de recolección y análisis en sedimento.

Matriz	Parámetro	Método de análisis	Método recolección
S E D I M E N T O	Granulometría	Tamizado húmedo (Buchanan, 1984)	Core Draga Van Been
	Potencial redox (Eh _{NHE})	Electrodo Eh	
	Materia orgánica	Ignición (450°, 4 horas) Método de Walkley Black	
	Carbono Orgánico Total (TOC)	Combustión autoanizador Elemental CHNS	
	Nitrógeno Total (%TN)	Combustión autoanizador Elemental CHNS	
	Fósforo Total (%TP)	Método Vanadio - Molibdato y espectrofotometría	
	Sulfuros libres totales	Electrodo de ión selectivo (Wildish et al, 1999)	
	Isótopo δ ¹⁵ N	Combustión analizador elemental y espectrometría de masas	
	Infauna	Determinación de sp. indicadoras de estrés ambiental (Poliquetos y Anfípodos).	

Escala espacial:



Escala temporal:

2 Concesiones x 2 Campañas x 3 Zonas x 3 Puntos de muestreo x 3 Réplicas = 108 muestras.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros estudiados, por la C.A. de Andalucía, en la columna de agua, en el PVA piloto diseñado en el año 2008 para las instalaciones de cultivo en tierra, (empresa Langostinos de Huelva S.A),

Parámetros estudiados en la columna de agua en instalaciones de Tierra.

Matriz	Parámetro
A G U A	DQO
	DBO
	Sólidos en suspensión
	Fósforo
	Nitritos
	Fosfatos
	Nitratos
	Amonio
	Tª
	pH
	O ₂
	Salinidad

A continuación se describen las instalaciones seleccionadas en cada CCAA por cada grupo de investigación.

Canarias

Para el desarrollo de la experiencia piloto, se seleccionaron dos granjas dedicadas al cultivo *off-shore* de Dorada (*Sparus aurata*) y Lubina (*Dicentrarchus labrax*).

Alevines y Doradas, S.A. (ADSA): Granja marina localizada al este de la isla de Gran Canaria, con una producción estimada de 650 toneladas/año. Dicha concesión se encuentra a una distancia aproximada de 300 metros de la costa, con una superficie de ocupación de 15 hectáreas y una profundidad comprendida entre los 21 y los 35 m.

Productos de Crianza, S.L. (PROCRÍA): Granja marina localizada al sureste de la isla de Gran Canaria, con una producción estimada de 1800 toneladas/año. Se encuentra ubicada a una distancia aproximada de 2.500

metros de la costa, abarca una superficie de 22.4 hectáreas con una profundidad media de 27 metros aproximadamente.

En ambas concesiones en el año 2009 se realizó la primera fase de la experiencia piloto, correspondiente a la época de mayor aporte de residuos (verano). En el año 2010 la segunda fase correspondiente a la época de invierno.

Andalucía

En Andalucía, la experiencia piloto se ha desarrollado en las siguientes instalaciones de acuicultura en mar y en tierra.

Cultivos del Ponto S.L. (grupo CULMAREX): dicha empresa, ubicada en la Bahía de Málaga, se dedica al engorde de la lubina en mar abierto, con una producción aproximada de 300-350 toneladas anuales.

Nature Pesca S.L.: empresa dedicada al engorde de atún en jaulas en mar abierto y ubicada en las costas de Garrucha (Almería).

Langostinos de Huelva S.L.: instalación acuícola terrestre localizada en Cartaya (Huelva). En esta instalación se ha continuado con los trabajos enmarcados dentro del PVA piloto diseñado en el año 2008 para las instalaciones de dicha empresa, y cuyos resultados, al igual que para las instalaciones de mar, pueden verse en detalle en la memoria anexa.

En ambas concesiones se realizó la primera fase de la experiencia piloto, en otoño de 2009 y la segunda en invierno de 2010.

Cataluña

El grupo de investigación de Cataluña, seleccionó las siguientes empresas de cultivo, localizadas en la provincia de Tarragona y dedicadas al engorde de Dorada y Lubina, para el desarrollo de la experiencia piloto:

Cripesa, S.L.: L'Ametlla de Mar.

Aqüicultura Els Alfacs, S.L.: Les Cases d'Alcanar.

La primera fase del muestreo, planteada para el mes de octubre/noviembre de 2009, no se pudo realizar por diferentes problemas en las empresas colaboradoras y en la logística de los muestreos. Por lo que, estas circunstancias obligaron al grupo de investigación del IRTA a retrasar las fechas de las campañas de muestreos, la 1ª campaña coincidirá con la 2ª fase del resto de CCAA. De esta forma, en esta CA las dos campañas se realizarán en el 2010, cumpliendo así con la escala temporal establecida en el diseño experimental.

Murcia

En esta comunidad se seleccionaron las siguientes granjas localizadas sobre fondos de naturaleza bien diferente, ambas dedicadas al engorde intensivo de peces:

Servicios Atuneros del Mediterráneo PESCAMUR S.L.: localizada en el polígono acuícola de San Pedro del Pinatar

Doramenor, S.L.: ubicada en el polígono acuícola de El Gorguel.

Valencia

El grupo de la Universidad de Alicante seleccionó dos instalaciones de cultivo, localizadas en la bahía de Guadamar (Alicante), ambas dedicadas al cultivo de Dorada y Lubina en mar abierto.

Las instalaciones seleccionadas se encuentran ubicadas sobre fondos blandos, arenosos y fangosos, y situadas a una profundidad (20 -30 metros) similar para poder tener una correcta replicación, evitando así otros factores ambientales que pudieran afectar a la variación de los indicadores elegidos.

La Universidad de Alicante realizó las campañas de muestreo correspondientes a la experiencia piloto, en octubre 2009 y en marzo de 2010.

Galicia

En esta comunidad se realizaron muestreos en distintas instalaciones de tierra, siguiendo el plan establecido en el año 2008.

Instalaciones de cultivos marinos en tierra:

En el caso de Galicia, el proyecto contempla el desarrollo de un sistema de vigilancia ambiental para instalaciones terrestres, por ello los protocolos y métodos -tanto fisicoquímicos como biológicos- han de ser orientados para este tipo de instalaciones. Desafortunadamente la bibliografía científica sobre planes de vigilancia para este tipo de instalaciones es muy escasa, lo que nos conduce a diseñar nuevos métodos de control y comprobar su eficacia en diferentes escenarios con un enfoque integrado basado en tres ejes complementarios (TRIAD):

- Análisis químico de contaminantes en medio y organismos, para determinar área de influencia y toxicidad potencial.
- Realización de bioensayos y estudio de biomarcadores, utilizando organismos nativos y trasplantados, para determinar el riesgo tóxico y de eutrofización.
- Estudio de las comunidades en el entorno de las granjas para determinar la posible alteración de la integridad ecológica.

1. Área de influencia y toxicidad potencial

Para deslindar el área máxima potencial de afección se planteó el uso de diferentes marcadores en medio y organismos (i.e. relaciones isotópicas, metales pesados marcadores, nutrientes,...). Con los datos obtenidos consideramos sin lugar a dudas que la relación isotópica $\delta^{15}\text{N}$ determinada en macroalgas es el mejor descriptor de la extensión e intensidad del influjo de la granja. $\delta^{15}\text{N}$ es un excelente descriptor pues integra el efecto de las condiciones hidrodinámicas de la zona en la dispersión de los vertidos a la vez que informa sobre la

biodisponibilidad del N y, en consecuencia, sobre la posibilidad de aparición de procesos de eutrofización.

Teniendo en cuenta: 1) que las macroalgas seleccionadas prioritariamente como biomonitores del Banco de Especímenes Ambientales de Galicia (BEAG)¹ son dos especies de fucus (*F. vesiculosus* y *F. ceranoides*) y 2) que no se encontró en la bibliografía ningún estudio sobre evaluación del área de influencia de granjas piscícolas marinas mediante $\delta^{15}\text{N}$ determinado en especies del género *Fucus*, se planteó:

- ✓ Estudiar la variabilidad espacial de $\delta^{15}\text{N}$ en *F. vesiculosus* y *F. ceranoides* recolectados en la costa de Galicia siguiendo la Red Litoral establecida en el BEAG. En total se muestrearon 48 localidades.
- ✓ Calificar el grado de contaminación orgánica de la costa gallega en función de $\delta^{15}\text{N}$ determinada en las macroalgas. Para interpretar adecuadamente la $\delta^{15}\text{N}$ de una localidad es necesario determinar previamente los **niveles de referencia** probabilísticos de $\delta^{15}\text{N}$ en ambas especies a escala regional (realizado).
- ✓ Para poder ejecutar estudios de detalle (i.e. análisis de gradientes ambientales en el entorno de una granja) es necesario utilizar otras especies de macroalgas para cubrir la posible ausencia de los biomonitores seleccionados. Entonces es obligatorio intercalibrar la $\delta^{15}\text{N}$ entre diferentes especies con el objeto de normalizar el resultado frente a una especie monitor patrón. Se intercalibró $\delta^{15}\text{N}$, primeramente, entre *F. vesiculosus* y *F. ceranoides* y, secundariamente, entre éstas y otras macroalgas (*F. spiralis*, *F. serratus*, *Codium tomentosum*, *Ulva sp.,...*). Se muestrearon diferentes localidades con pares de algas en convivencia, se procesaron y actualmente se está completando la determinación analítica.

¹ El BEAG fue desarrollado y es gestionado por el Grupo de Ecotoxicología-USC, con sede en el área de Ecología, Facultad de Biología, USC.

- ✓ Estudiar el área de influencia y la intensidad de las cargas vertidas (*gradientes de contaminación*) por diferentes granjas instaladas en el litoral de Galicia, mediante la señal isotópica ($\delta^{15}\text{N}$) y la bioacumulación de contaminantes traza ligados a las actividades acuícolas (i.e. Cu, Zn, Sn, Cd, Pb) en distintas especies de macroalgas. Se muestrearon seis escenarios, se procesaron las muestras y actualmente se está completando la determinación analítica.
- ✓ Estudiar la relación $\delta^{15}\text{N}$ -morfología en *Fucus* para su uso en *estudios retrospectivos* de contaminación.

2. Riesgo tóxico y de eutrofización.

RIESGO TOXICO

Se pretende aplicar una **batería de bioensayos** para evaluar la ecotoxicidad de biocidas autorizados en acuicultura marina (de manera aislada y en mezclas), de vertidos y de medio receptor. La batería de bioensayos diseñada consta de cuatro test: bioluminiscencia bacteriana; microalgas; embriones de erizo; y anfípodos. El objetivo es fijar los niveles de seguridad ecológica (PNEC) de los biocidas en los vertidos de las granjas.

- ✓ La bibliografía indica que las microalgas son organismos muy sensibles a biocidas similares a los usados en acuicultura. Por ello, se puso a punto el ensayo miniaturizado de microalgas para dos especies (*P. tricornatum* e *I. galbana*). Se remataron las evaluaciones de los biocidas de manera aislada y de vertidos tomados en seis granjas de Galicia en la época de máxima emisión. El estudio de mezclas y el cálculo de los parámetros toxicológicos se realizará en 2009.
- ✓ La evaluación de la ecotoxicidad de biocidas y de vertidos con los tests de bioluminiscencia bacteriana, de embriones de erizo y de anfípodos se realizará en 2009.

Este eje se complementa con el estudio de **biomarcadores** de exposición y efectos (moleculares e histopatológicos) determinados en organismos nativos y trasplantados. Para ello se seleccionaron dos escenarios (Lira y Xove). En cada escenario se fijaron cinco estaciones ecológicas (EE) a modo de gradiente ambiental frente al foco de vertido.

- ✓ En los gradientes establecidos se recolectó *M. galloprovincialis* para el análisis de biomarcadores histopatológicos individuos y moleculares en órganos.
- ✓ En los gradientes establecidos se realizaron trasplantes de almeja babosa juvenil (test de supervivencia) y adulta (cinética de biomarcadores histopatológicos y moleculares). Se analizarán los biomarcadores histopatológicos en individuos y moleculares en órganos.

Los biomarcadores considerados son de índole muy diversa (ver Tabla) se estudiará primero, en muestras piloto y a continuación se seleccionaran los que arrojen los mejores resultados.

Biomarcador	Branquia	Glándula digestiva	Gónada
EROD	X	X	X
Proteínas totales	X	X	X
LPO	X	X	X
DBF	X	X	X
Daño ADN	X	X	X
Zinc libre	X	X	
Xantina oxidasa	X	X	
GST	X	X	
GPX	X	X	
GR	X	X	
CAT	X	X	
Histopatología	X	X	
MAO			X
COX			X
Transporte de electrones			X

RIESGO DE EUTROFIZACIÓN

Para la evaluación del riesgo de eutrofización que suponen los vertidos de las granjas se planteó la realización de dos tipos de **bioensayos de fertilidad de campo**: con una macroalga (*Ulva* sp) y con la comunidad de fitoplancton nativo, en los dos escenarios seleccionados (Lira y Xove), repitiéndose tres veces el bioensayo en cada escenario. Los *end point* de los test fueron:

- ✓ Para el **test de Ulva**: fluorescencia clorofílica, composición pigmentaria y crecimiento; y como descriptor de exposición para una mejor explicación de los resultados se analizó $\delta^{15}N$ en los discos expuestos.
- ✓ Para el **test de fitoplancton** de la comunidad nativa confinada en bolsa de diálisis fueron: fluorescencia clorofílica y composición pigmentaria. Los resultados obtenidos fueron poco satisfactorios.

Por otro lado, se desarrollan **bioensayos miniaturizados con microalgas** para evaluar, en condiciones de laboratorio, la fertilidad potencial de los vertidos recolectados en seis explotaciones. En función de los resultados obtenidos se planteará la necesidad de estudiar la variabilidad estacional de la fertilidad de dichos vertidos y los gradientes de fertilidad provocados en condiciones reales.

3. Estudio de la integridad ecológica.

Entre las técnicas experimentales contemplamos la realización de ensayos con la comunidad fitoplanctónica nativa y ensayos de colonización (fouling) sobre sustratos artificiales. Para el análisis de la integridad de la **comunidad fitoplanctónica nativa** se utilizaron las comunidades confinadas y expuestas en bolsas de diálisis del ensayo de fertilidad. Para comprobar el efecto de los vertidos sobre la **comunidad colonizadora**, en los dos escenarios seleccionados se expusieron sustratos artificiales dispuestos en gradiente respecto al foco del vertido a dos tiempos: 2 meses (realizado) y 4 meses (en exposición). Los *end points* de este bioensayo son: biomasa, concentración pigmentaria, y

composición/abundancia específica de la comunidad colonizadora; como descriptor de exposición se usa $\delta^{15}\text{N}$.

Posteriormente se pretende evaluar la integridad ecológica mediante técnicas clásicas de bioindicación bentónica sobre sustratos duros localizados a modo de gradiente ambiental cuantificando la abundancia/frecuencia de especies indicadoras preseleccionadas.

4. Otros estudios complementarios.

Para ello se diseñaron dos bioensayos, uno, con almeja babosa y, otro, con *Laminaria saccharina*.

El bioensayo de almeja -originalmente diseñado para el estudio de biomarcadores específicos- nos informará sobre la conveniencia de realizar bioensayos, con almeja y mejillón, de larga duración para evaluar productividad y calidad del producto final.

En los dos escenarios seleccionados se expusieron en un gradiente de contaminación cuerdas sembradas con plántulas de laminaria suministradas por el IEO de Santander. El seguimiento se realizará sobre el efecto de los vertidos en las plántulas cultivadas (vigor, bioacumulación de contaminantes y nutrientes, producción y grado de epifitismo).

En resumen, por su interés para Galicia, el objetivo principal de este proyecto consiste en el *Establecimiento de las bases científicas sobre las que diseñar protocolos y planes de Vigilancia Ambiental*, con el propósito de facilitar a la administración la gestión ambiental de la piscicultura marina en tierra.

Métodos de análisis de los descriptores y parámetros

Granulometría

Submuestra: Recolección de muestra draga Van Veen o Core. Extraer una submuestra (100 - 150 gr) de sedimento superficial (0-5 cm).

Metodología de análisis: Tamizaje en húmedo (Buchanan, 1984).

Reactivos

1. Peróxido de hidrógeno
2. Solución dispersante: 37.5 gr de hexametáfosfato sódico y 7,94 g de bicarbonato sódico; diluir con agua destilada hasta 1 l.

Procedimiento

1. Secado en horno (105°C durante 12 horas)
2. Una vez secas las muestras se tamizan con una luz de malla de 2 mm, separándose la fracción más gruesa (gravas) del resto de material que será posteriormente analizado.
3. Una vez pesada la fracción gruesa, añadir 100 ml de Peróxido de Hidrógeno y dejar reaccionar durante 24 horas (cese de la efervescencia).
4. Eliminación de sales mediante centrifuga o lavado con malla de 0.001 μm , hasta que la conductividad del sobrenadante sea inferior a 2 mmhos)
5. Dispersión de la muestra con una solución de hexametáfosfato sódico y bicarbonato sódico. Para ello, a la fracción de sedimento < 2 mm se añade el agente dispersante (según la siguiente proporción 40 gr de muestra: 50 ml de dispersante), posteriormente enrasar a 1 litro con agua destilada, agitar durante 12 horas. Transcurrido este tiempo lavar la muestra con agua destilada.
6. Secado de la muestra en horno a 105°C durante 12 horas (hasta alcanzar peso constante). Para el cálculo de las distintas fracciones cada una de las muestras se pasa por la siguiente batería de tamices:
 - Opción 1: 2mm, 1mm, 0.500 mm, 0.250mm, 0.125mm, 0.063mm (gravas, arenas gruesas, arenas medias, arenas finas, arenas muy finas y limos+arcillas).

- Opción 2: 2mm, 0.5mm, 0.063mm (gravas, arenas gruesas, arenas finas y limos+arcillas).

7. Pesado de cada una de las fracciones de arena obtenidas. Se calcula el porcentaje en peso seco de cada fracción respecto al total de la muestra (100 o 150 gr).

Materia orgánica

Recolección de muestra draga Van Veen o Core.

Submuestra: tomar 5cc con una jeringuilla capada de 20 ml (0 – 2 cm de profundidad), se toma la porción de sedimento < 0.5 mm.

Metodología de análisis: Método de Walkley y Black. Oxidación del carbono orgánico de la muestra con dicromato potásico en presencia de ácido sulfúrico, ácido ortofosfórico y solución indicadora de difenilamina, y posterior valoración del dicromato con sulfato ferroso-amónico. La cantidad de carbono orgánico presente en la muestra viene dada por la expresión:

$$\%C = [V1-V2 / (P-H \times 0.003)] \times 100$$

-V1: volumen de dicromato potásico empleado (10ml)

-V2: volumen de sulfato ferroso empleado en valorar la muestra expresado en ml

-H: humedad de la muestra de sedimento

-P: peso de sedimento utilizado

La cantidad de materia orgánica en el sedimento viene dada por la expresión:

$$\% M.O = 1,72 \times \% \text{ carbono orgánico oxidable.}$$

pH, Eh y Sulfuros totales.

Recolección de muestra draga Van Veen o Core.

1. Toma de datos: In situ, si no fuese posible, se recomienda mantener la muestra en una nevera para evitar su alteración y medir al llegar al laboratorio.

Sulfuros totales: in situ, si previamente se hace la curva patrón (ver Wildish et al. 1999). En caso contrario, la muestra debe ser conservada inmediatamente en un frasco sin tapa y congelada a -18 °C dentro de las 4 horas posteriores a la recolección. (“Sampling method, storage and pretreatment of sediment affect AVS concentrations with consequences for bioassay responses”).

pH, Eh: In situ o en tierra, en este último caso, para alterar lo menos posible la muestra, se debe mantener en nevera hasta la medición del parámetro. Debe ser medido a 0 y 2 cm. Lectura estable: Consideraremos como lectura estable la primera señal que de la sonda.

2. Metodología: Wildish et al 1999² (Corrección de Eh)

Extraer una submuestra de sedimento superficial (0 – 2 cm de profundidad) de 5cc mediante el uso de una jeringuilla seccionada por la punta. Modelos de Electrodo recomendados: marca ORION, siendo los modelos para penetrar en el sedimento los siguientes.

- pH: Orion 81-72BN Sure flow
- Eh: Orion 96-78BN.
- Sulfuros totales: Orion Silver/Sulfide Half-Cell electrode mode 9416BN.

Nitrógeno Total (%TN), Carbono Orgánico Total (TOC), Azufre Total (TS), Fósforo Total (% TP).

Recolección de muestra draga Van Veen o Core.

Submuestra de sedimento superficial (0 – 2 cm de profundidad) de 5cc mediante el uso de una jeringuilla recortada de 20 ml:

- 1 submuestra para el análisis del Nitrógeno Total (%TN), Azufre Total (TS).
- 1 submuestra Carbono Orgánico Total (TOC).
- 1 submuestra para el Fósforo Total.
- 1 submuestra para $\delta^{15}\text{N}$.

Tratamiento y conservación de muestras.

- Carbono Orgánico Total (TOC): tratar la muestra con HCl 0.1N y secar 60 °C hasta alcanzar peso constante para su posterior análisis.
- Nitrógeno Total (%TN), Azufre Total (TS): secar 60 °C la muestra hasta alcanzar peso constante.

Metodología de análisis

² Wildish, D. J., Akagi, H. M., Hamilton, N., and Hargrave, B. T. 1999. A recommended method for monitoring sediments to detect organic enrichment from mariculture in the Bay of Fundy. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 2286: iii+31 pp.

- Nitrógeno Total (%TN), Carbono Orgánico Total (TOC), Azufre Total (TS): mediante. Autoanalizador CHNS. La cantidad de muestra necesaria para el análisis es de 2 mg, (eppendorf de 1.5 ml).
- Fósforo Total
 - Proceso de digestión: Método del ácido perclórico y Método del persulfato.
 - Método colorimétrico: método del ácido ascórbico; solución amortiguadora de tartrato antimonil potasio o solución amortiguadora de acetato de sodio y ácido acético.
- $\delta^{15}\text{N}$ (Universidad de A Coruña)

Recolección de muestra draga Van Veen o Core.

Recolección de muestras: Submuestra de 5cc de sedimento superficial (0 – 1 cm de profundidad) mediante el uso de una jeringuilla capada de 20 ml.

Cantidad de sedimento: 50 mg.

Procesado de la muestra: Secar la muestra en estufa 40-60 °C. Moler las muestras con mortero o pulverizar con molino de bolas para alicuotar mejor. El grado de molienda debe ser lo más fino posible para garantizar homogeneidad y representatividad de la porción que se pesa.

Modo de envío:

Muestras sin encapsular: en recipientes herméticos (tipo vial o tubo).

Encapsuladas: pesadas (cuatro decimales) y en capsulas de estaño, enviar en placas de 96 pocillos.

Infauna

Recolección de muestra draga Van Veen, de la que se extrae una muestra de sedimento superficial (0-5cm) con una paleta.

Tratamiento y conservación: Tamizado in situ (o en laboratorio, según las posibilidades) empleado un tamiz de 500 micras y fijación con formol al 4% en agua de mar.

Análisis

Poliquetos: identificación taxonómica a nivel de Familia

Anfípodos: identificación taxonómica a nivel de Familia.

2.4. RESULTADOS

Actividad 1. Identificación de parámetros y métodos de trabajo

Se exponen de forma resumida la información analizada por cada uno de los grupos participantes. Las diferentes actividades desarrolladas por cada C.A., para la consecución de este objetivo, se muestran de forma ampliada en los informes anexos elaborados por los distintos grupos participantes.

Canarias: en esta comunidad la recopilación y análisis de la información se centró en la revisión de declaraciones de impacto ambiental (26), Planes de Vigilancia Ambiental (12) y estudio pre-operacionales (1), de jaulas de cultivo en mar abierto dedicadas al cultivo de Dorada y Lubina. Además se han revisado memorias de proyectos JACUMAR y diversa literatura científica, facilitada por el grupo de investigación del IMIDA (C.A. Murcia), relacionada con la interacción acuicultura medio ambiente y el estudio de diferentes parámetros utilizados para determinar el impacto de la actividad acuícola sobre el medio.

Andalucía: se llevo a cabo la recopilación de los PVA y diversos estudios ambientales de empresas acuícolas localizadas en tierra y en mar. Concretamente en Andalucía se han recopilado:

- Instalaciones mar: 8 EIA, 9 PVAs, 7 informes y 3 documentos de interés para el estudio.
- Instalaciones tierra: 4 EIA, 8 informes y 5 documentos de interés para el estudio.

Se revisaron las memorias de otros proyectos JACUMAR (EIA 1997-1999, FBI 1998-2000, IPSIAM 2003-2005), de otros estudios destacados desarrollados en Andalucía como “Evaluación de riesgos ambientales en el litoral de Andalucía. Sector de la Acuicultura Marina”, de normativa ambiental vigente y de diversa literatura científica facilitada por los diferentes grupos de trabajo.

Murcia: se realizó la revisión de los Estudios de Impacto Ambiental y Planes de Vigilancia Ambiental de 11 empresas que cultivan peces en jaulas flotantes en mar abierto en el litoral de la Región de Murcia, y literatura científica relativa a variables ambientales físicas, químicas y biológicas empleadas en estudios ambientales sobre acuicultura.

Galicia: se realizó una revisión bibliográfica orientada a los EsEIA y a los PVA en el ámbito de la acuicultura en tierra. En primer lugar se realizó una búsqueda exhaustiva de la bibliografía disponible y a continuación se seleccionaron los artículos, informes, etc. más relevantes en el tema que nos ocupa.

Se revisaron los procedimientos y metodologías empleadas en Estudios de Evaluación Impacto Ambiental (EsEIA) de las instalaciones gallegas y los sistemas o planes de vigilancia ambiental (PV) de la actividad acuícola. Además se recopiló la información disponible sobre los sistemas de vigilancia aplicados a las instalaciones gallegas (datos suministrados por Aguas de Galicia, y por las propias industrias) y los datos procedentes de estudios ambientales singulares.

Cataluña: se llevó a cabo la revisión de los Planes de Vigilancia Ambiental de diferentes empresas dedicadas al cultivo en mar abierto a lo largo de la costa catalana, así como de diversa literatura científica.

Todas estas informaciones recopiladas en las CCAA y posteriormente analizada fue útil para las siguientes fases del proyecto, selección de indicadores, obtención de niveles de referencia, establecimiento de valores límites o umbrales, y para el diseño y alimentación del modelo conceptual.

La recopilación de información y el análisis e implementación de la misma en la base de datos es una actividad que se continúa durante todo el desarrollo del proyecto en función de los intereses particulares de cada C.A.

Actividad 2. Elaboración de un Modelo Conceptual causa-efecto para la monitorización ambiental de la acuicultura.

El modelo conceptual, ha sido elaborado, por los participantes de la C.A. Valenciana, Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada de la

Universidad de Alicante, con el fin de iniciar el protocolo de selección de indicadores en base a la experiencia de los grupos participantes en el proyecto y a la información existente respecto a la interacción acuicultura – medio ambiente.

El marco de trabajo del modelo conceptual elaborado, modelo de DPSIR (*Driving Forces, Presures, State, Impacts and Responses*), ofrece una aproximación sistemática y completa para seleccionar indicadores, permitiendo una visión holística y multidimensional de relaciones causales en un determinado escenario (Figura 1). El marco de trabajo de DPSIR es una extensión de la aproximación PSR: Presión-Estado-Respuesta, que se basa en la idea que las actividades antropogénicas impactan en el medio y que las consecuencias negativas sobre el ambiente inducen a una gestión que controle las presiones sobre el medio.

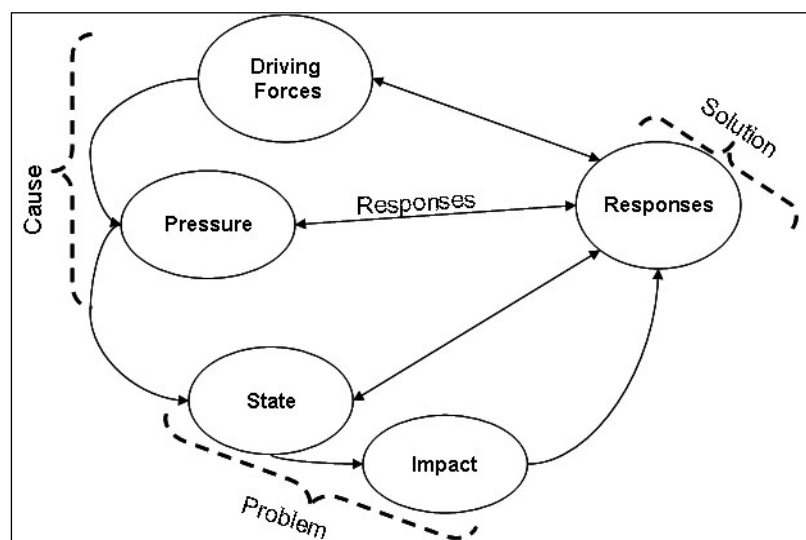


Figura 1. Representación esquemática del modelo de DPSIR

El modelo conceptual mantiene tres propósitos principales, generar una visión abstracta de cómo los diferentes factores deben estar interconectados, definir y

señalar los conceptos importantes y organizarlos en una estructura lógica, y ayudar en el desarrollo e interpretación de indicadores (EEA, 1999).

Este modelo ha sido elaborado como una aproximación inicial, de forma que pudiera ser redefinido con la revisión bibliográfica y la experiencia de los grupos de investigación de las demás comunidades autónomas. De esta forma se definieron los primeros elementos claves (componentes del ecosistema que son susceptibles de ser afectados por alguno de los componentes del modelo) y los componentes del marco de trabajo DPSIR (OECD, 1994), fuerzas motrices (*Driving forces*), presiones (*Pressures*) y estados (*Status*).

El ámbito de aplicación del modelo DPSIR propuesto, se centro en el cultivo de peces o moluscos en estructuras flotantes, considerando una instalación o agrupación de instalaciones que coinciden en una masa de agua con características oceanográficas concretas, abordado desde una escala espacial local (km) y una escala temporal intranual (meses).

Además el modelo ha sido diseñado considerando únicamente aspectos ambientales, referidos a los planes de seguimiento, sin tener en cuenta aspectos sanitarios y criterios sociales o económicos, los cuales pueden ser abordados con un modelo más complejo (Whitmarsh y Palmieri, 2008).

Descriptores

Fuerza Motriz: Cultivo, Biomasa total del stock, Producción (t), N° ind/jaula.

1. Estructura física de la instalación

1.1. Jaulas, entramado o plataforma

- 1.1.1. Sombra
 - Atenuación de la luz
 - Orientación
 - N° indv/jaula

1.1.2 Modificación de hidrodinamismo

- Profundidad
- Orientación de las jaulas
- Distancia entre jaulas
- Tasa de sedimentación
- Sedimento (modificación de la composición)

1.1.3. Cambios en la complejidad del hábitat

- Estructura y composición del sedimento
- Presencia de estructuras, arrecifes

1.1.4. Ocupación del espacio

- Volumen o superficie ocupada
- N° de jaulas

1.2. Anclaje

1.2.1. Modificación hidrodinamismo

- Profundidad
- Orientación de las jaulas
- Distancia entre jaulas
- Tasa de sedimentación
- Sedimento (modificación de la composición)

1.2.2. Complejidad del hábitat

- Estructura y composición del sedimento
- Presencia de estructuras, arrecifes

1.2.3. Aplastamiento

- Peso y superficie de los muertos
- Superficie y longitud de las cadenas

2. Cultivo: proceso industrial de producción de biomasa

2.1 Organismos en cultivo

2.1.1. Heces o pseudoheces: Concentración Nitrógeno y Fósforo disuelto.

2.1.2. Excreción: Concentración Nitrógeno y Fósforo disuelto

2.1.3. Exudación

2.1.4. Descamación: N particulado

2.1.5. Mortalidad: nº de individuos, biomasa

2.1.6. Parásitos y patógenos: Presencia/Ausencia, Densidad.

2.1.7. Consumo de O₂: DBO (sedimento)

2.1.8. Recursos tróficos: Biomasa, MOP

2.1.9. Exportación de gametos: nº huevos, nº de gametos

2.2. Escapes

2.2.1 Utilización de recursos tróficos naturales

2.2.2. Utilización de recursos espaciales en el medio natural: Superficie ocupada, Biomasa. Presencia/Ausencia

2.2.3. Incremento de disponibilidad trófica (incluida la pesca): Biomasa capturada en el entorno

2.2.4. Parásitos y patógenos: Presencia/Ausencia, Densidad

2.2.5. Diversidad genética.: Índices de diversidad genética

2.2.6. Descuelgue: Longitud de cuerdas, Biomasa, Superficie ocupada, P/A

2.3. Alimento excedente

2.3.1. Residuos orgánicos (grasas y proteínas animales y vegetales):
Concentración, %, Biomasa

2.3.2. Residuos inorgánicos: cobre, antioxidantes y antibióticos

2.4. Generación de residuos

2.4.1. Hidrocarburos: Concentración

2.4.2. Generación de residuos sólidos: Concentración

2.4.3. Generación de residuos orgánicos (excepto derivados del cultivo):
Concentración, Biomasa; Fouling

2.4.4. Generación de residuos químicos. Concentración

Definición de Estados e Impactos

1. Estructura física de la instalación

1.1. Jaulas, entramado o plataforma

Sombra (1), Modificación del hidrodinamismo (2), Complejidad del Hábitat (3),
Ocupación espacial (4).

- Reducción en la complejidad de macrófitos: Biomasa, Cobertura, N^o
Haces (1,2)

- Cambios en la estructura de la comunidad: Abundancia, Diversidad,
Riqueza (1,2,3).

- Retención planctónica (2): Concentración de pigmentos fotosintéticos, biomasa, nº de cels.
- Reducción tasas de dilución de MOD (2,4): Concentración de MOD.
- Cambio en la distribución espacial de poblaciones (3): Biomasa, Abundancia, Riqueza (georreferenciados).
- Incremento de recursos tróficos: Biomasa, abundancia.(3)
- Efecto de protección (4): Biomasa, Abundancia, N° espeies.
- Concentración de esfuerzo de pesca (4): CPUE, nº de artes, nº barcos
- Exportación de biomasa (4): Biomasa total por unidad de superficie.

1.2. Anclaje

1.2.1. Modificación de hidrodinamismo

- Modificación del hábitat: Indices bióticos, Diversidad, Frecuencia de tamaños.
- Cambio estructura del sedimento: Granulometría, Porosidad
- Cambio comunidades bentónicas: N° sp., Diversidad, Biomasa, Cobertura; composición.

Complejidad del Hábitat

- Agregación y asentamiento: Tipo de sp. o elementos, Biomasa, Densidad.

1.2.2. Aplastamiento

- Mortalidad: nº indiv por superficie, biomasa.

2. Cultivo: Organismos en cultivo

2.1. Heces, Excreción, Exudación, Descamación

- Eutrofización y fertilización: Concentración de pigmentos fotosintéticos, Nutrientes disueltos, ácidos húmicos.
 - Cambios en la calidad del agua: Concentración de metales, OD, Bloom fitoplanctónicos (Concentración Chl a), niveles de toxicidad.
 - Aumento de biomasa por agregación: Biomasa
 - Cambio en comunidades bentónicas
 - Cambio en las comunidades planctónicas
 - Cambio en las comunidades nectónicas
- Composición, Abundancia, Biomasa, Riqueza
- Cambios en la estructura del sedimento: Granulometría, Porosidad

2.2. Mortalidad

- Transmisión de enfermedades: % de morbilidad, Frecuencia aparición de síntomas, mortalidad
- Reducción concentración de O₂: Oxígeno Disuelto
- Aumento biomasa por agregación: Biomasa
- Cambio en comunidades bentónicas: Composición, Abundancia, Biomasa, Riqueza
- Cambios en las características del sedimento: Granulometría, Porosidad

2.3. Parásitos y patógenos

- Transmisión de enfermedades: % de morbilidad, Frecuencia aparición de síntomas, mortalidad
- Introducción de nuevas enfermedades: n^o de individuos con nuevas patologías
- Mortalidad: n^o indiv por superficie, biomasa

2.4. Consumo de Oxígeno

- Cambios en la calidad del agua: concentración de metales, OD, Bloom fitoplanctónicos (Concentración Chl a), niveles de toxicidad

2.5. Recurso trófico

- Atracción de depredadores: N^o de depredadores, Frecuencia de avistamientos
- Transmisión de enfermedades: % de morbilidad, Frecuencia aparición de síntomas, mortalidad
- Sobrepesca: CPUE; Biomasa

2.6. Exportación de gametos

- Cambios genotípicos
- Cambios en las poblaciones naturales: Biomasa, n^o de individuos, estructura de tallas.
- Exportación de biomasa: Biomasa, n^o de individuos

3. Cultivo: Escapes

3.1. Utilización de recursos tróficos

- Competencia con poblaciones: Parámetros ecológicos solapamiento nicho trófico
- Cambios en la estructura poblacional: Abundancia, Biomasa, Composición, Densidad
- Depredación: Densidad de individuos naturales, Tasa de depredación

3.2. Utilización de recursos espaciales

- Competencia con poblaciones: Parámetros ecológicos de competencia inter e intraespecífica.
- Cambios en la estructura poblacional: Abundancia, Biomasa, Composición Densidad

3. Exportación de biomasa

- Mayor disponibilidad trófica: Biomasa
- Aumento rendimiento pesquero: CPUE
- Cambio en las comunidades nectónicas: Composición, Abundancia, Biomasa, Riqueza

3.4. Parásitos y Patógenos

- Trasmisión de enfermedades: % de morbilidad, Frecuencia aparición de síntomas, mortalidad
- Introducción de nuevas enfermedades: nº de individuos con nuevas patologías

Mortalidad: nº indiv por superficie, biomasa

3.5. Diversidad genética

- Cambios genotípicos
- Cambio en poblaciones naturales: Composición, Abundancia, Biomasa, Riqueza

4. Cultivo: Alimento excedente

4.1. Residuos orgánicos

- Mayor disponibilidad trófica: Biomasa

- Cambio en comunidades pelágicas: Composición, Abundancia, Biomasa, Riqueza
- Eutrofización: Concentración de nutrientes, Chl a, OD,.....
- Cambio en la calidad del agua: Concentración de metales, OD, Bloom fitoplanctónicos (Concentración Chl a), niveles de toxicidad
- Cambio en la estructura del sedimento: Granulometría, porosidad
- Cambio en las comunidades bentónicas: Composición, Abundancia, Biomasa, Riqueza, diversidad
- Cambios fisiológicos: Biomarcadores (contenido ácidos grasos, enzimas, aa) Bioensayos (macrófitos, fauna).

4.2. Residuos inorgánicos

- Resistencia a fármacos: tests de resistencia
- Acumulación en sedimentos: Concentración de compuestos inorgánicos
- Acumulación en organismos: Concentración de compuestos inorgánicos
- Toxicidad y mortalidad: nº indiv, biomasa

5. Cultivo: Residuos

5.1. Hidrocarburos

- Acumulación en organismos: Concentración
- Afección al intercambio gaseoso
- Toxicidad y mortalidad: nº indiv, biomasa, test de toxicidad

5.2. Sólidos

- Cambio en las comunidades bentónicas: N^o sp., Diversidad, Biomasa, Cobertura; composición.
- Acumulación en sedimentos: Concentración

5.3. Residuos orgánicos

- Eutrofización: Concentración de nutrientes, Chl a, OD,.....
- Cambio en la calidad del agua: Concentración de metales, OD, Bloom fitoplanctónicos (Concentración Chl a), niveles de toxicidad
- Cambio en la estructura del sedimento: Granulometría, porosidad

5.4. Contaminación química

- Acumulación en sedimentos: Concentración
- Acumulación en organismos: Concentración
- Toxicidad y mortalidad: n^o indiv, biomasa, test de toxicidad

Actividad 3. Selección de parámetros indicadores y de las metodologías aplicables al estudio y análisis de los parámetros propuestos.

En base a la revisión bibliográfica (PVA, Declaraciones de Impacto Ambiental, EIA, literatura científica, etc.), realizada por los grupos participantes en el proyecto se llevó a cabo la identificación y selección de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos, así como de las metodologías de muestreo y de análisis. Estos descriptores son los que se emplearon para la elaboración de la experiencia piloto de seguimiento ambiental de la acuicultura (actividad realizada en el año 2009-2010). Además, se definieron los diseños de muestreo espacial y temporal, así como las metodologías de análisis y tratamiento estadístico de la información.

Las acciones desarrolladas se detallan a continuación:

- Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos a estudiar, en las experiencias piloto de seguimiento ambiental de la acuicultura en mar abierto, previstas para el año 2009 (tabla 3).
- Definir aspectos metodológicos de muestreo de campo y de análisis (tabla 3).
- Definir aspectos relativos al diseño de muestreo espacial y temporal.

Diseño experimental:

Para el estudio de los parámetros establecidos, esta acción contempla la elaboración de un diseño experimental único, que cada una de las CCAA participantes siguiendo las directrices establecidas e indicadas en este apartado, realizará a escala piloto en las instalaciones de jaulas marinas colaboradoras y cuyos resultados servirán para reorientar las propuestas de protocolo formuladas para la gestión ambiental de la acuicultura.

El diseño consensuado para el desarrollo de la experiencia piloto es el siguiente:

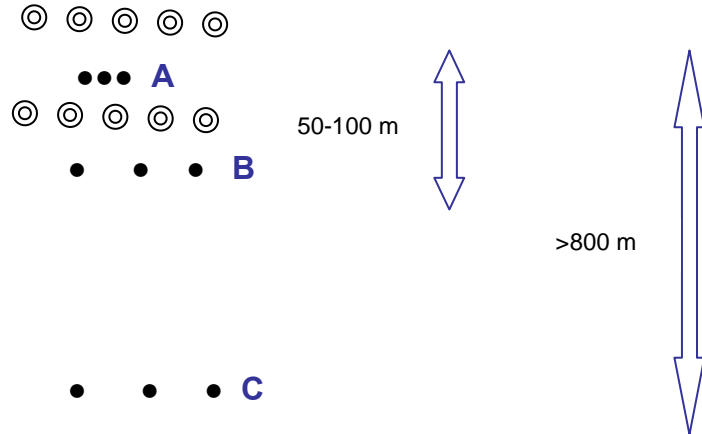
Escala espacial: se han establecido tres zonas o niveles siguiendo un gradiente de afección que varía en función de la distancia a las instalaciones de cultivos:

Zona A: Zona de impacto severo, dentro del tren de jaulas.

Zona B: Zona de impacto moderado, en la zona de afección de las jaulas.

Zona C: Zona de no afección.

En cada una de estas zonas, se definen tres estaciones o puntos de muestreo (Zona A.1, Zona A.2 y Zona A.3) con tres replicas cada una de ellas (Z - A.1.1, Z - A.1.2 y Z - A.1.3).



Escala temporal: para determinar la escala temporal se han considerado los períodos de mayor y menor aportes de residuos procedentes de la actividad acuícola al medio. Según esto los muestreos quedan establecidos de la siguiente forma:

1ª Campaña: tras la época de mayor aporte de residuos (verano).

2ª Campaña: tras la época de menor aporte de residuos (invierno).

Según lo expuesto anteriormente, el diseño experimental resultante será el siguiente:

2 Concesiones x 2 Campañas x 3 Zonas x 3 Puntos de muestreo x 3 Réplicas = 108 muestras.

❖ **Actividad 4. Generar un protocolo para la formulación de los Programas de Vigilancia Ambiental.**

Para obtener una idea comprensiva del conjunto de relaciones establecidas entre los parámetros es conveniente contar con una aproximación conceptual como el método TRIAD, aplicado a diversidad de situaciones de contaminación en el medio marino (Del Valls, 2007). La principal ventaja del método es la integración de resultados de muy distinta naturaleza, desde la degradación físico-química del medio hasta la alteración de las comunidades biológicas. El objetivo es disponer de un modelo que pueda ser utilizado para vigilar y anticiparse a los potenciales impactos que puedan ocasionar los vertidos de las piscifactorías. Para una vigilancia integral el sistema organiza y combina los estudios en tres grandes líneas de evidencias: Análisis químico de los contaminantes, Indicadores de Toxicidad e Indicadores de Integridad Ecológica. Además, para diseñar un plan de vigilancia (PV) operativo es necesario seleccionar los descriptores mas relevantes y su frecuencia de medición. Es preferible recolectar unas pocas evidencias que recoger muchas variables ambientales. Las evidencias deben ser descriptores de procesos ecológicos y no solamente meros descriptores de situaciones locales (Underwood, 1997).

En este contexto estamos estudiando los posibles impactos de los residuos piscícolas para poder seleccionar los descriptores idóneos de un PV. Como los potenciales efectos de los residuos piscícolas se pueden clasificar en dos grandes grupos: Tróficos y Tóxicos, aplicamos el sistema triaxial con los dos enfoques, distintos pero complementarios, ya que algunas evidencias pueden estar influidas a la vez por ambos efectos.

Vigilancia triaxial de los Efectos Tróficos

Una perturbación indeseable -en el contexto de la eutrofización marina- puede ser diagnosticada mediante la acumulación de evidencias sobre cambios ecológicos de tipo específico, como: indicadores de biomasa, estadísticos frecuenciales, medidas de flujo, indicadores estructurales o especies indicadoras (Tett et al 2007).

Para deslindar el área de alteración trófica se centró la vigilancia en las comunidades bentónicas sobre sustrato duro de la franja intermareal, por ser potencialmente las más impactadas debido a la disposición de los emisarios de las granjas. Se analizaron los contenidos de nutrientes y de contaminantes en algas y anémonas recolectadas a modo de gradiente en ocho escenarios. Mediante ICP-plasma se realizó una inspección cualitativa en busca de posibles marcadores. Los resultados informan que las granjas no emiten ningún metal o metaloide que pueda ser bioacumulado de manera significativa por las macroalgas, pero sí por las anémonas, como Al, Co, Cu, Ni y Hg. Posteriormente mediante técnicas de análisis más precisas (AAS-GF, Hg-amalgamiento) se verificaron los posibles gradientes. Así, el Hg fluctuó entre 59,72-34,11 y 78,64-44,02ppb en los gradientes explorados de Lira y Merexo, respectivamente.

La relación isotópica $\delta^{15}\text{N}$ en macroalgas resultó ser un excelente descriptor de la extensión e intensidad del influjo de la granja. Se concluyó el estudio de variabilidad espacial de $\delta^{15}\text{N}$ en *F. vesiculosus* y *F. ceranoides* para la costa de Galicia; se calcularon los niveles de referencia probabilísticos de $\delta^{15}\text{N}$ a escala regional (p.e. $5,48 \pm 1,18\%$ en *F. vesiculosus*); se intercalibró la $\delta^{15}\text{N}$ entre monitores secundarios (*F. ceranoides*, *F. espiralis*, *F. serratus*, *Codium tomentosum*) con el monitor patrón (*F. vesiculosus*); se comprobó la utilidad de $\delta^{15}\text{N}$ como descriptor del grado de exposición analizando gradientes de contaminación en ocho granjas; lo mismo, se comprobó en macroalgas trasplantadas; y se verificó la utilidad de la relación $\delta^{15}\text{N}$ -morfología en *F. vesiculosus* nativo para la obtención de información retrospectiva (4-5 años) de la contaminación.

Para la evaluación del riesgo de eutrofización que suponen los vertidos de las granjas se realizaron bioensayos de fertilidad en condiciones de laboratorio y campo. Para conocer la capacidad trófica de un vertido y la tasa de dilución necesaria para reducir el efecto se desarrolló el ensayo de laboratorio miniaturizado de microalgas (*Phaeodactylum tricornutum* y *Isochrysis aff.*

galbana). El bioensayo se aplicó a los vertidos procedentes de ocho granjas comprobando que pueden inhibir o activar (-48% a +31%) el crecimiento algal significativamente respecto al control.

Los bioensayos de campo nos informan de manera más realista de lo que les ocurre a los productores primarios. Se realizaron dos tipos de bioensayos de fertilidad de campo: el de Discos de *Ulva* sp, expuestos en cámaras de cultivo de metacrilato, y el de la Comunidad de fitoplancton nativo, confinado y expuesto en bolsas de diálisis. Mientras que los resultados del test de fitoplancton fueron desechados, los de *Ulva* fueron muy satisfactorios, observándose activaciones del crecimiento graduales, en función del grado de exposición, a corto plazo (6-9 días). Entre los parámetros analizados -fluorescencia clorofílica, incremento de biomasa y de superficie- el incremento de superficie arrojó los mejores resultados. Por su interés, para mejorar la fiabilidad del bioensayo de *Ulva* se estudió como eliminar la aparición de “discos fantasma”. Se comprobó que la dosis que mejor cicatrizaba los discos era: 0,5ml/l-60s de NaClO. Además, obtuvimos una elevada correlación entre el crecimiento y la señal d15N, de tal forma que el crecimiento neto de los discos era claramente estimulado cuando: $d15N > 8,10 \text{ ‰}$. Esta correlación aumenta la capacidad de diagnóstico de d15N, un parámetro más fácil y menos gravoso de obtener que los bioensayos.

Para estudiar el efecto trófico sobre la integridad ecológica se utilizaron las comunidades colonizadoras (fouling) de sustratos artificiales. El primer año se realizaron los ensayos con placas de fibra de vidrio como sustratos a colonizar durante 2 y 4 meses, localizando 4 placas por estación ecológica (EE), y 5 EE por cada escenario (2). Los resultados fueron satisfactorios siendo suficiente la exposición a 2 meses, pasado el cual: se pudieron observar alteraciones claras de la composición y estructura de la comunidad; mediante perfiles ecológicos se obtuvieron las especies indicadoras de alteración; se midió la productividad primaria; y se analizó la d15N a nivel de la comunidad instalada. Con el objeto de mejorar la técnica (eliminación del efecto de borde, diferenciación del hábitat de productores y consumidores, pérdida de biomasa por rozamiento,...) a principios del verano de 2009 se repitieron los mismos experimentos pero utilizando un

bastidor con sustratos artificiales esféricos. Actualmente se están procesando los resultados.

Vigilancia triaxial de los Efectos Tóxicos

Para la vigilancia triaxial de los posibles efectos tóxicos de los vertidos de las granjas se planteó: el estudio de biomarcadores de exposición y efectos en organismos nativos y trasplantados; la realización de una batería de bioensayos con los vertidos y los biocidas utilizados en las piscifactorías; y el estudio de alteración de la integridad ecológica.

El estudio de la integridad ecológica es el mismo comentado anteriormente sobre la colonización de sustratos artificiales puesto que es imposible separar el efecto trófico del tóxico sobre las comunidades que se instalarían en condiciones naturales.

La batería de bioensayos utilizada consta de: test de luminiscencia bacteriana; test de microalgas; y test de embriones de erizo. Entre los objetivos pretendidos están, por un lado, evaluar el grado de dilución necesario para reducir a cotas admisibles la toxicidad de los vertidos y, por otro lado, fijar los niveles de seguridad ecológica de los principales biocidas utilizados en las granjas.

Como se dijo antes se puso a punto el ensayo miniaturizado de microalgas -mas rápido y menos oneroso que el de botella- para dos especies (*P. tricornutum* e *I. galbana*). Se evaluó la toxicidad de los vertidos de ocho granjas y la toxicidad de los biocidas utilizados en las granjas (antibióticos: sulfadiacina, oxitetraciclina, flumequina, amoxicilina; desinfectantes: formaldehído e hipoclorito sódico) y de residuos metabólicos (amonio). La concentración no efectiva predicha (PNEC) de los biocidas fluctuó entre 0,05 µg/l para formaldehído y 2500 µg/l para amoxicilina; la PNEC de amonio fue 0,85µM.

Con el bioensayo de larvas de erizo se comprobó que la toxicidad de los vertidos es muy variable, desde no tóxico hasta toxicidad por encima del 25% de dilución en agua de mar (1:4 v/v). El test resultó no sensible a los antibacterianos y ligeramente sensible al amonio ($EC_{50} = 100 \mu M$), sensible al hipoclorito ($EC_{50} = 10 mg/l$) y muy sensible al formaldehído ($EC_{50} = 200 \mu g/l$).

Respecto al test de bioluminiscencia se miniaturizó el test con *V. fisheri*. Los primeros resultados indican una alta y variable sensibilidad a los vertidos de las granjas. En general, para alcanzar los niveles PNEC es necesario realizar diluciones superiores a 1:20 v/v. Actualmente se está evaluando la toxicidad de los biocidas aisladamente.

Se plantea el estudio de la toxicidad de mezclas (amonio + desinfectante + antibiótico) -a bajas concentraciones y con los tres bioensayos- con el fin de comprobar la posibilidad de que se produzcan efectos sinérgicos.

Este eje se complementa con el estudio de biomarcadores de exposición y efectos (moleculares e histopatológicos) determinados en organismos nativos y trasplantados . Para este estudio se seleccionaron dos escenarios, en cada escenario se fijaron cinco EE localizadas a modo de gradiente ambiental frente al foco de vertido (50, 100, 200, 400 y 800m). Para el análisis de biomarcadores en cada EE de los gradientes establecidos, por un lado, se tomaron muestras de mejillón nativo (*M. galloprovincialis*) con similar índice de condición y, por el otro, se expusieron -durante 15, 30 y 45 días- 100 individuos juveniles y 60 adultos de almeja babosa (*Venerupis pullastra* Montagu, 1803). A los 45 días de exposición se estudió la supervivencia de los juveniles de almeja, observándose diferencias significativas frente al control en las EE mas próximas (<100m) al foco. Para el estudio histopatológico se procesaron 180 individuos. Tanto en las almejas trasplantadas, a los 45 días, como en el mejillón nativo se estudió la alteración histológica y citológica de branquias, gónadas, glándula digestiva y tejido conjuntivo de reserva. En las muestras de los dos moluscos procedentes de la EE mas expuestas, se observaron en las branquias una exfoliación intensa de las células epiteliales ciliadas de las laminillas branquiales e invasión de hemocitos (hemocitosis). También se observó hemocitosis fagocítica en tejido conjuntivo con formación intensa de agregados (cluster) de hemocitos, que se ubican en los canales hemolinfáticos y gonoductos, así como en el tejido conjuntivo. No se observaron alteraciones en glándulas digestivas ni en gónadas masculinas ni femeninas; tampoco se observaron alteraciones en ovocitos. La alteración branquial observada, a medio plazo, puede provocar dificultades en la respiración del animal, comprometiendo seriamente su supervivencia debido a la disminución

en la generación de energía y su alocaación. También el gasto energético, derivado de una hemocitosis fagocítica alta y sostenida, provocaría a medio-largo plazo un descenso en el desarrollo gonadal y una disminución del crecimiento del animal. Estos procesos son irreversibles porque los hemocitos comprometidos en la fagocitosis no se recuperan debido a que el animal debe seguir fabricándolos para mantener activa la barrera de defensa hemocítica.

La afectación observada en los moluscos mas expuestos a los vertidos es la que normalmente existe en entornos agresivos por la presencia de contaminantes en disolución o en partículas. Lo más sensible de estos animales son los epitelios branquiales que sufren el contacto directo con los agentes físico-químicos (p.e. disminución de pH, contaminación). Hemos de señalar que la línea de defensa que supone la barrera hemocitaria desarrollada es síntoma de otras alteraciones tisulares difícilmente observables, pero que pueden ponerse en evidencia mediante biomarcadores moleculares.

Para el estudio de evolución de biomarcadores moleculares en total se procesaron 1.080 órganos de los dos moluscos. Por otra parte, se realizó el análisis de los biomarcadores moleculares: EROD, Proteínas totales, LPO, DBF, Daño ADN, Znlibre, XO, GST, GPX, GR, CAT, MAO, COX y Transporte electrónico.

Estudios complementarios

Augas de Galicia, organismo responsable de la vigilancia ambiental de ríos y costas, aplica a las piscifactorías un Control de verificación basado en normas sobre calidad del vertido. El control se centra en regular los incrementos máximos autorizados de sólidos en suspensión, nitritos, fosfatos y carbono orgánico total, vertidos al mar en relación con las aguas de entrada a la granja. A partir de los resultados de los controles analíticos, realizados durante el periodo 2002-2008 en 18 piscifactorías, y de los bioensayos de toxicidad efectuados por nosotros con los vertidos procedentes de 8 granjas rediseñamos el control de verificación.

Consideramos que: pH, Ntotal, Namoniacoal, Pfosfatos, Sólidos en suspensión y al menos un test de toxicidad deberían ser los parámetros básicos a verificar. Para las diferencias de estos parámetros entre las aguas de salida y entrada (S-E) se

proponen los objetivos de calidad ecológica (EQO) a dos niveles uno para el 95% y otro, menos severo, para el resto de los casos (5%). Para algunos parámetros también se informa del EQO para el agua de salida (S) directamente.

Algunos de los estudios realizados para el diseño del PV suministran una información interesante sobre la posibilidad de aprovechamiento y reciclaje de los vertidos de las plantas acuícolas (viabilidad de cultivos politróficos). Es el caso de los bioensayos de campo realizados con trasplantes de almeja babosa y laminaria (*L. saccharina*). Los resultados histopatológicos, de biomarcadores, contenidos corporales de contaminantes, supervivencia y productividad suministran una información importante sobre la viabilidad de asociar el cultivo de estas u otras especies similares a la zona de vertido.

Los trasplantes de laminaria se analizaron en dos momentos del cultivo (a los 3 meses y en la recolección). Los índices de vigor (composición pigmentaria y fluorescencia clorofílica) fueron satisfactorios en todos los momentos y al final del cultivo no se observaron diferencias de crecimiento significativas respecto al control. En ninguna EE se observó incremento alguno de epifitismo, solo en las mas próximas debido al efecto llamada del vertido sobre los peces se incrementó el consumo por herbívoros. No se observó bioacumulación de metales y metaloides, pero si se detectaron residuos de algunos biocidas (antibióticos y pesticidas) aunque en cantidades inferiores a los niveles permitidos en alimentación humana. También en laminaria la señal isotópica ($\delta^{15}N$) resultó ser un buen indicador de exposición a los vertidos.

PROPUESTA METODOLÓGICA DE UN PVA PARA CULTIVOS MARINOS EN JAULAS FLOTANTES

1. Identificación de compartimentos del medio a incluir en los PVA's.

De todos los compartimentos del medio susceptibles de recibir los impactos derivados de los cultivos de peces en mar abierto, es el sistema bentónico el que en principio puede verse más afectado. Por ello es lógico que se preste una mayor y más intensa atención a los distintos componentes de este compartimento

que a otros. Puesto que las granjas de cultivo de peces en jaulas flotantes se disponen sobre fondos de tipo detrítico sedimentario, este va a ser el componente del sistema bentónico que reciba una vigilancia más intensa. Aunque las granjas marinas no están ni nunca han de estar en las proximidades de comunidades sensibles o de elevado valor ecológico (ver apartado 1.2.), cuando se tenga sospechas fundadas de que estas comunidades pudieran verse afectadas por los cultivos, deben ser incluidas en los PVA's. El sistema pelágico pudiera verse afectado aunque en menor medida que el sistema bentónico, tal como se comenta en el apartado 1.1. No obstante, consideramos que también debe ser incluido en la vigilancia ambiental, siendo de especial interés para los productores, ya que se trata del medio en el que se crían sus peces, y por tanto, es de vital importancia la calidad de las aguas donde se desarrolla la actividad piscícola.

Compartimentos seleccionados: Fondos sedimentarios y columna de agua.

Comunidades sensibles: praderas de fanerógamas, fondos rocosos y maërl.

2. Establecimiento de “zonas de efectos permitidos”.

Como cualquier actividad productiva, los cultivos marinos van a dejar una huella en el medio en que se desarrollan. Es importante pues conocer cuál va ser el alcance espacial no solo de los vertidos, sino lo que es más importante de sus efectos, con el fin de delimitar cual va a ser el área que los recibe y en el caso de que dicho impacto sea asumible (lo que debe haberse evaluado previamente en los estudios de impacto ambiental previos al desarrollo de la actividad), vigilar que no trascienden más allá de esa área de influencia. Es lo que en el contexto de las interacciones entre acuicultura y medio ambiente conocemos como “zona de efectos permitidos” (ZEP). Podríamos por tanto definir la ZEP como *el área de fondo marino y volumen de la masa de agua receptora donde la autoridad competente permite a los productores alguna superación de los niveles definidos por las normas de calidad ambiental, las cuales deben ser formuladas por grupos de expertos en base a estudios pilotos o datos existentes, produciendo un efecto*

negativo sobre el ecosistema que sea reversible. En esta ZEP asumimos que el medio receptor va a verse afectado por los residuos derivados del cultivo pero sin llegar a producirse efectos perniciosos. Por tanto, sabemos que en el caso del sistema bentónico, éste va a sufrir una serie de alteraciones en su dinámica biogeoquímica. Esta premisa no implica que el sistema bentónico se degrade en su totalidad. Los fondos detríticos – sedimentarios juegan un papel destacado en la degradación de la materia orgánica, y tanto por el bien del medio ambiente como del propio cultivo, es fundamental que no se pierda esta funcionalidad. Por ello el impacto que sabemos que se va a producir en la ZEP debe ser limitado. Esperamos que los poblamientos bacterianos e infaunales existentes en la ZEP experimenten desequilibrios o alteraciones como consecuencia de los cambios geoquímicos que se van a producir, favoreciéndose la mineralización de la materia orgánica por rutas anaerobias en el caso de los poblamientos bacterianos, y produciéndose una regresión de los poblamientos infaunales, parte de cuyos elementos son reemplazados por otros que se adaptan mejor al enriquecimiento orgánico y a la hipoxia, originándose poblamientos menos diversos y menos equilibrados en sus relaciones (tróficas, competencia, depredación, ...), pero capaces de procesar al menos en parte los residuos depositados. Si el impacto progresa más allá de lo que estos nuevos poblamientos son capaces de procesar, se perderá por completo la funcionalidad de estos fondos y se desencadenarán fenómenos biogeoquímicos que pueden llegar a afectar al propio cultivo: emisiones de sulfuros y metano a la columna de agua.

Existen herramientas (modelos) basadas en el conocimiento de la respuesta de este tipo de fondos ante el enriquecimiento orgánico, capaces de determinar las dimensiones de la ZEP en función de la intensidad del cultivo, de la capacidad dispersiva del medio (hidrodinamismo), de la batimetría y de las características físicas de los residuos (velocidad de sedimentación). No obstante, su aplicación es compleja, no siempre es posible y sus resultados son un tanto controvertidos y restrictivos. Otra posibilidad, mucho más fácil de manejar tanto administrativamente como ambientalmente, es utilizar las dimensiones de las

concesiones de las granjas como ZEP. Normalmente el espacio ocupado por las instalaciones es bastante menor que las dimensiones de las concesiones, y normalmente la influencia de los cultivos sobre los fondos no se extiende más allá de una centena de metros, luego los impactos severos no trascenderán más allá de la concesión, salvo casos muy excepcionales. Esto proporciona una mayor flexibilidad a los productores en tanto que el cinturón en torno a las instalaciones sobre el que los cultivos pueden ejercer una influencia es mayor que si se aplica un modelo para determinar la ZEP, siempre y cuando las empresas estén haciendo un uso racional de la concesión. A su vez, la concesión como ZEP facilita la gestión administrativa en una doble vertiente. Por una parte, la simplicidad en la delimitación de las ZEP's identifica claramente el alcance espacial de las responsabilidades de los productores para con el dominio público. Por otra parte, se favorece la ordenación espacial y regulación de la actividad: todos los elementos de las instalaciones incluidos los fondeos, deben estar dentro de los límites de la concesión; si esto no ocurre es porque las jaulas están demasiado próximas a los límites de la concesión, luego se incrementa la probabilidad de que el cultivo ejerza una influencia sobre zonas que no pertenecen a la ZEP (concesión). En estos casos, la empresa debería reestructurar sus instalaciones para que todos los elementos estén en el interior de su concesión y las jaulas alejadas de sus límites, o ampliar la concesión con el consiguiente incremento del canon de ocupación.

Las empresas productoras al ser beneficiarias de una concesión administrativa de ocupación del dominio público, adquieren ciertas responsabilidades sobre sus concesiones que podrían incluir las responsabilidades ambientales, lo que facilita la tarea administrativa del seguimiento ambiental. Asimismo, el propio PVA nos permitirá averiguar si las dimensiones de la ZEP son correctas o deben modificarse.

ZEP: límites de la concesión.

3. Perturbaciones no deseadas.

Entendemos como perturbaciones no deseadas (PnD) aquellos cambios ocasionados por el cultivo que son intolerables, no solo en la ZEP, sino también en su entorno. Establecer que tipo de alteraciones o perturbaciones son las que se pretende evitar es necesario para definir los objetivos de calidad y establecer unos límites, estándares de calidad o también llamadas normas de calidad ambiental. Cuando aparezcan PnD's, es decir, cuando se superan los límites establecidos es cuando la administración debe actuar, instando al productor a tomar las medidas oportunas, y si fuese necesario reducir la producción o incluso paralizarla.

PnD's en el sistema pelágico.

- a. Pérdida de la calidad del agua en forma de aumento de la disponibilidad de nutrientes derivados de los cultivos que supongan un incremento de la producción primaria planctónica por encima de determinados niveles que pudiesen conducir a la aparición o proliferación de plancton tóxico.
- b. Presencia de películas de aceites o combustibles en la capa superficial de agua.
- c. Aguas superficiales con olor manifiesto a pienso o descomposición orgánica.

PnD's en el sistema bentónico.

En fondos de tipo detritico – sedimentario.

- a. Deposición de material orgánico particulado derivado de los cultivos que conduzca a situaciones manifiestas de anoxia, toxicidad y regresión considerable de lo poblamientos infaunales y bacterianos que supongan una pérdida de funcionalidad.
- b. Acumulaciones visibles de gránulos de pienso en los fondos como consecuencia de deficiencias en la gestión de la alimentación.
- c. Presencia de peces cultivados muertos o restos óseos en el fondo.

- d. Presencia en el fondo de restos de *fouling* derivados de la limpieza de instalaciones o elementos.
- e. Presencia de tapices bacterianos de *Beggiatoa sp.* o de mantos de diatomeas.
- f. Presencia de burbujeo de gases tóxicos (metano, sulfuros).
- g. Presencia en el fondo de materiales plásticos, cabos, elementos metálicos, envases o cualquier elemento o herramienta de uso para el mantenimiento de las instalaciones.

En praderas de fanerógamas marinas.

- Cambios en la estructura poblacional, la productividad, o alteraciones fisiológicas que puedan llegar a suponer pérdida neta de la superficie ocupada por las praderas.

En fondos rocosos infra- o circalitorales.

- Cambios en la estructura poblacional, la productividad, o alteraciones fisiológicas de los organismos “formadores del hábitat” específicos en cada caso, que puedan llegar a suponer una regresión de la comunidad, o sustitución de estos organismos por otros oportunistas.

En fondos de Maërl.

- Cambios en la estructura poblacional, la productividad, o alteraciones fisiológicas de los organismos que forman parte de la comunidad específicos en cada caso, que puedan llegar a suponer una regresión de la comunidad, o sustitución de estos organismos por otros oportunistas.

4. Variables indicadoras.

VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SEDIMENTO.

La selección de variables se hace en base al estudio piloto realizado sobre fondos sedimentarios en 10 granjas (2 por comunidad autónoma (CA) participante: Andalucía, Canarias, Cataluña, Murcia y Valenciana) siguiendo un gradiente

teórico de afección, y de una profunda revisión bibliográfica. Las variables del sedimento contempladas en el estudio piloto fueron:

- Granulometría: % fracción fina ($< 65\mu\text{m}$).
- Potencial redox (Eh) y pH.
- Contenido en materia orgánica (MO: métodos LOI y Walkley & Black).
- Contenido en azufre total (TS), nitrógeno total (TN), fósforo total (TP) y carbono orgánico total (TOC).
- Contenido en sulfuros libres totales (TFS).
- Composición isotópica ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$).
- Poblamiento infaunal de poliquetos y anfípodos (nivel taxonómico de familia): nº de familias, abundancia total, riqueza de Margalef, diversidad de Shannon-Wiener y Equidad de Pielou.
- Tratamiento univariante: GLM-ANOVA. Tratamiento multivariante: escalado multidimensional (MDS), porcentajes de similitud (SIMPER), correlaciones entre variables abióticas y estructura de los poblamientos (BIOENV y perfiles ecológicos), familias indicadoras (metanálisis).

Las variables del sedimento que proporcionaron un mejor ajuste al gradiente de afección y una mejor correlación entre las variables bióticas y abióticas fueron: TFS, $\delta^{15}\text{N}$ y el poblamiento infaunal de poliquetos. No obstante, también se incluyeron otras variables (MO, TOC, fracción fina, pH y Eh) en el análisis de perfiles ecológicos para la determinación de los umbrales explicativos de la respuesta obtenida para el poblamiento de poliquetos en forma de Diversidad de Shannon-Wiener (Tabla 1).

Tabla 1: Umbrales de las variables abióticas del sedimento explicativos de la respuesta obtenida en el poblamiento infaunal de poliquetos en forma de diversidad de Shannon-Wiener (H), determinados a partir de análisis de perfiles ecológicos. V.E variable explicativa, V.R. variable respuesta.

V.E.	V.R.	Respuesta a la clase del factor						
		MUY DESFAVORABLE	DESFAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	FAVORABLE	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
TFS	H			<500	500-1750		1750-5000	>5000
$\delta^{15}\text{N}$	H		<2	2-4	4-6		>6	
%<63 μ	H		<10		10-30	30-60	>60	
MO	H		<3		3-7		>7	
COT	H		<2,5		2,5-8,5		>8,5	
pH	H			<7,5	7,5-8,5		>8,25	
Eh	H	<-200	-200 - 0		0-100	>100		

Vistos los resultados del estudio piloto, la revisión bibliográfica, después de la realización de paneles de expertos locales en cada CA, y de un intenso debate entre los miembros del equipo de trabajo que desarrolla este proyecto, se manejan dos opciones en cuanto a la selección de variables del sedimento:

Opción 1.

Siguiendo criterios **i)** de necesidad de utilizar alguna variable que permita una adecuada descripción física del medio (tipo de sedimento) que nos sirva para poder interpretar los procesos biogeoquímicos que se vayan observando, **ii)** criterios de necesidad de que la respuesta de las variables frente al problema que nos ocupa (impacto de la acuicultura) sea robusta y con capacidad de establecer relaciones causa-efecto, **iii)** criterios de grado de desarrollo y sencillez de los métodos analíticos, **iv)** criterios de capacidad integradora del estado ecológico del medio, **v)** criterios de simplicidad de la propuesta, y **vi)** criterios de ajuste al cumplimiento de los objetivos de calidad que más adelante trataremos, se propone la utilización exclusiva de las siguientes variables: **a) granulometría** (fracción < 65 μm) como variable descriptora o de estado, aunque también pudiera llegar a actuar como indicadora de enfangamiento; **b) sulfuros libres totales (TFS)** como variable causal o de impacto: los sulfuros son tóxicos y son los responsables de la regresión de los poblamientos infaunales. Además es una variable ampliamente avalada en la literatura científica específica. La robustez de la respuesta de esta variable frente al impacto derivado de los desechos

orgánicos de la acuicultura permite adaptarse a todos los tipos de fondos sedimentarios; y **c)** el **poblamiento de poliquetos** (nivel de familia; tamiz 1mm) como variable integradora del estado de salud de los fondos blandos (grupo taxonómico con la mayor sensibilidad demostrada para detectar alteraciones en sustratos blandos, gran flexibilidad trófica y capacidad para responder rápidamente frente al enriquecimiento orgánico). Para esta opción se describe una propuesta de protocolo de PVA íntegramente desarrollada, con sus estándares o normas de calidad formuladas, con adaptabilidad a la amplia casuística de las instalaciones de cultivos marinos en jaulas flotantes en el litoral español en función de la intensidad de producción, de la proximidad entre granjas y del cumplimiento de las normas de calidad propuestas conforme progresa el seguimiento ambiental (evolución del medio receptor). Para dicha adaptabilidad se jugaría con la consideración de todas o solo algunas de las variables propuestas, con la periodicidad de los muestreos y con el número de puntos de muestreo.

Opción 2.

Se considera la posibilidad de utilizar de partida un mayor número de variables, que serían granulometría (fracción < 65 μ , y en caso de que ésta superase el 75%, diferenciar entre limos y arcillas), pH y Eh, MO, TFS, $\delta^{15}\text{N}$ y el poblamiento infaunal de poliquetos. La utilización de un mayor número de variables tiene la ventaja de que se adquiere una información más completa acerca de los fenómenos subyacentes al impacto y permite hacer un seguimiento ambiental de todas y cada una de las variables que pudieran tener incidencia sobre el sistema bentónico. Los umbrales obtenidos en el estudio piloto (Tabla 1) supone una primera aproximación al establecimiento de los estándares o normas de calidad ambiental, sirviendo actualmente como valores guía y no deseables. Los resultados muestran que, dada la menor robustez de algunas de las variables en el sentido de cómo responden en fondos sedimentarios de distinta tipología y ambientes del proyecto piloto (Atlántico – Mediterráneo; arenoso – fangoso). La

distinción entre estas tipologías podría verse reflejada en los estándares o normas de calidad.

Esta opción contempla hacer la adaptabilidad de la vigilancia ambiental, jugando con la eliminación progresiva o mantenimiento de las variables, manteniendo o incrementando de la frecuencia de muestreo, en función de que los resultados obtenidos muestren valores normales o se produzcas efectos indeseables.

Variables indicadoras en sedimentos:

Opción 1: granulometría (fracción < 65 μ), TFS y poblamiento de poliquetos (a nivel de familia).

Opción 2: granulometría (fracción < 65 μ y en caso de que ésta superase el 75%, diferenciar entre limos y arcillas), pH y Eh, MO, TFS y poblamiento de poliquetos (a nivel de familia).

Variables de la columna de agua.

Los nutrientes disueltos liberados por los cultivos podrían estimular la producción primaria planctónica. En condiciones de mar abierto, la dilución y dispersión de los nutrientes es lo suficientemente rápida como para que apenas se puedan detectar ocasionalmente picos en los niveles de algunos nutrientes (ej. amonio y fosfatos) o de clorofila-a inmediatamente después de los períodos de alimentación, que muy rápidamente se desvanecen. Dado que las condiciones de cultivo en mar abierto imposibilitan un confinamiento de las aguas que provoque una acumulación de los nutrientes y por ende que se dispare la producción primaria planctónica, los impactos sobre el ecosistema pelágico son prácticamente inexistentes o despreciables. Además, la rápida dilución, dispersión e integración de los nutrientes en las cadenas tróficas pelágicas dificulta enormemente la monitorización de la columna de agua, a la vez que encarece sustancialmente su seguimiento.

Partiendo de la base de que los impactos más significativos y de mayor magnitud se reflejan en los fondos marinos, y por lo anteriormente mencionado, entendemos que no está justificada la realización de seguimientos de la columna de agua de una forma sistemática como hasta ahora se realiza en muchas granjas marinas, en los que se han venido incluyendo nutrientes (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , etc.) junto con toda una serie de variables descriptoras de la calidad de agua (O_2 disuelto, turbidez, contenido en clorofila-a, temperatura, salinidad, etc.). Pese a ello, en aquellos casos en que las condiciones hidrodinámicas sean poco propicias para la dispersión de los aportes de residuos disueltos (corrientes $< 5 \text{ cm s}^{-1}$), en situaciones de calmas prolongadas, o en los casos en que haya una concentración de instalaciones de cultivo en un área determinada, será necesario controlar los efectos de la entrada de nutrientes sobre la producción primaria planctónica y en la calidad del agua. En estas circunstancias será necesario monitorizar los niveles de **O_2 disuelto** (concentración y niveles de saturación) el contenido en **clorofila-a** y la **turbidez**, como indicadores del estado de estas aguas. Dada la transcendencia que representa tener una buena calidad del agua para las granjas y su producción, entendemos que para todas las instalaciones es recomendable el seguimiento cuanto más frecuente mejor pero mínimamente de forma trimestral, de las variables anteriormente propuestas como control de sus propias instalaciones y como garantía de la calidad de su medio.

Variables indicadoras en la columna de agua:

O_2 disuelto, contenido en clorofila-a y turbidez.

Obligatorio en zonas de bajo hidrodinamismo (corrientes $< 5 \text{ cm s}^{-1}$), calmas prolongadas y concentración de instalaciones. Recomendable en todos los casos.

Variables indicadoras de comunidades sensibles y/o de elevado valor ecológico.

Praderas de fanerógamas marinas.

En el seno del proyecto europeo MedVeg se llevó a cabo un estudio exhaustivo sobre la influencia de los cultivos marinos sobre las praderas de *P. oceanica*, utilizándose diversos descriptores a diferentes niveles (individuo, población, comunidad). De entre los descriptores posibles para monitorizar el impacto de los cultivos en mar abierto sobre las praderas de fanerógamas marinas, los más relevantes son la tasa de sedimentación (umbral de 1.5 g materia orgánica m⁻² d⁻¹; Díaz-Almela et al., 2008; Holmer et al., 2008) y los cambios netos en la estructura de la población (densidad de haces y cobertura de la pradera: densidad global). La utilización de uno u otro (o ambos) dependerá de la distancia entre las instalaciones y las praderas y de la magnitud potencial del alcance difuso de los impactos.

Variables indicadoras para fanerógamas marinas:

Tasa de sedimentación de materia orgánica.

Densidad global de haces.

Fondos rocosos infra- o circalitorales.

La naturaleza de estos hábitats está determinada por las relaciones entre los distintos miembros de la comunidad, que a su vez está influenciada por factores exógenos. La dinámica de las comunidades de sustrato duro está fuertemente influenciada por la dinámica de los organismos “formadores del hábitat”. Cualquier proceso que pueden influir sobre estos organismos a menudo conlleva “efectos cascada” sobre el resto de organismos que componen la comunidad. Por tanto, los esfuerzos deben centrarse sobre los “organismos formadores del hábitat” (biomasa por unidad de superficie), que dependiendo de la localización de la comunidad (acantilado, losas horizontales profundas, fotófilo, esciáfilo, etc.) pueden ser unos u otros organismos, por lo que habría que identificarlos como primer paso para su monitorización.

Variable indicadora para fondos rocosos:

Biomasa por unidad de superficie de organismos formadores del hábitat.

Fondos de Maërl.

Los fondos de Maërl están formados por algas calcáreas de vida libre que forman un complejo entramado en el que se dispone una muy diversa comunidad fito- y zoobentónica. En este entramado se distingue un estrato inferior formado por esqueletos calcáreos de algas muertas sobre el que se dispone un estrato compuesto de algas calcáreas vivas y otros organismos. La relación entre la biomasa por unidad de superficie de algas calcáreas vivas (biomasa) y muertas (tanatomasa) serviría como descriptor para la monitorización de esta comunidad. La dificultad estriba en localizar estaciones control adecuadas. No obstante, puesto que los fondos de Maërl no son muy abundantes en nuestro litoral, cabría esperar que no hubiesen lechos afectados por los cultivos en mar abierto, pero de darse el caso habría que prestar una atención especial tanto por la necesidad de conservarlos como para estudiar su respuesta ante perturbaciones antrópicas de este tipo en el Mediterráneo y en otros ambientes.

Variable indicadora para fondos de Maërl:

Relación biomasa / tanatomasa por unidad de superficie de algas calcáreas.

5. Inspección visual.

La presencia o ausencia de determinadas perturbaciones no deseadas (PnD) solo pueden ser constatadas mediante una inspección visual sistemática del entorno en que se desarrollan los cultivos. Esta inspección visual es también un sistema de control de la calidad del proceso de producción y sirve sistema de alerta de los efectos que se pueden o se están produciendo en las instalaciones. Es el caso de las PnD's relacionadas en los apartados 3.1. a) y b), y 3.2. b) – g). Para su control planteamos inspecciones visuales del lecho marino localizado inmediatamente

debajo de las instalaciones de cultivo (dentro de la ZEP) y por fuera de los límites de la concesión, y de la superficie del agua en el entorno de las instalaciones (dentro de la ZEP) y por fuera de los límites de la concesión, consistentes en ambos casos en la realización, con una frecuencia trimestral, de registros videográficos de transeptos de 200 metros de longitud en los que se constaten los siguientes aspectos:

1. Acumulaciones visibles de gránulos de pienso en los fondos como consecuencia de deficiencias en la gestión de la alimentación.
2. Presencia de peces cultivados muertos o restos óseos en el fondo.
3. Presencia en el fondo de restos de *fouling* derivados de la limpieza de instalaciones o elementos.
4. Presencia en los fondos de tapices bacterianos de *Beggiatoa sp.* o de mantos de diatomeas.
5. Presencia de burbujeo de gases tóxicos (metano, sulfuros) en los fondos.
6. Presencia en el fondo de materiales plásticos, cabos, elementos metálicos, envases o cualquier elemento o herramienta de uso para el mantenimiento de las instalaciones.
7. Presencia de películas de aceites o combustibles en la capa superficial de agua.
8. Aguas superficiales con olor manifiesto a pienso o descomposición orgánica.
9. Escapes de animales.

La calificación de estos aspectos se realiza conforme a la siguiente escala:

- En más del 75% del recorrido: Valor 0.
 - Entre el 50- 75 % del recorrido: Valor 2.
 - Entre el 25- 50 % del recorrido: Valor 4.
 - Menos del 25% del recorrido: Valor 6.
 - Ausencia: Valor 10.
- . Excepto para escapes de animales que se cuantifica:
- Presencia: 0
 - Ausencia: 10

El resultado de la inspección visual será:

- Todos los indicadores tiene valor 10, la vigilancia visual es: 10 (EXCELENTE)
- Todos los indicadores tiene valor > o igual 8: la vigilancia es 8 (MUY BUENO)
- Entre 1-3 indicadores tienen un valor igual a 6, la vigilancia es 6 (BUENO)
- Entre 1-3 indicadores tienen un valor igual a 4, la vigilancia es 4 y se presenta un indicador igual a 0 (MALO)
- Con 2 ó más indicadores con valor 0, la vigilancia es 0 (PÉSIMO)

Con los valores 6 (bueno) para la Vigilancia Visual, puede incluirse medidas correctoras como recomendada. Con los valores de 4 y 0 requieren replanteamiento de la gestión ambiental de la explotación. Este resultado puede dar a lugar a expedientes, sanciones o modificaciones de las instalaciones, ubicación o producción.

Por otra parte, el mantenimiento en buen estado de las redes que conforman el bolsillo en el que se cultivan los peces es crucial para evitar los escapes de peces, y dado que el aumento de granjas en las costas españolas está suponiendo un incremento proporcional del número de individuos escapados, entendemos que es necesaria una revisión de las redes en el contexto de los PVA's. Por ello planteamos que se lleve a cabo simultáneamente a la inspección visual, una inspección de las redes de al menos el 20% de las jaulas al azar, la mitad a barlovento y la otra mitad a sotavento de la corriente principal, mediante registros videográficos siguiendo un transepto que cubra toda la vertical de la red.

6. Objetivos de calidad.

Los objetivos de calidad para las interacciones ente los cultivos marinos y el medio ambiente se formulan sobre la base de que la magnitud espacial de los efectos sobre el ecosistema no supere la zona de efectos permitidos (ZEP), y que no se produzcan PnD's en ninguno de los compartimentos del medio.

El objetivo de calidad general es “evitar PnD’s en los fondos y en la columna de agua, de modo que los efectos negativos de la granja sobre el medio no sobrepasen la ZEP”. Se pretende por tanto:

- Vigilar que los impactos que se asume que se van a producir dentro de la ZEP no superen los límites establecidos en las normas de calidad, ya que además de afectar a la calidad ambiental también podría afectar a la calidad del cultivo.
- Vigilar que los efectos derivados del cultivo no se extienden más allá de la ZEP. Para ello hay que vigilar las proximidades de la ZEP, pero también vigilar zonas control donde se tenga garantías de que no existe ningún tipo de afección aunque sea de otro origen distinto a la acuicultura y que sean representativas del estado natural de la zona de estudio.

La actividad acuícola objeto de seguimiento va producir una afección de la calidad ambiental en el entorno en que se desarrolla. Dicha afección no debe poner en riesgo la capacidad de recuperación del fondo marino y la columna de agua ni a su funcionalidad para degradar mínimamente los residuos orgánicos emitidos, ni debe perjudicar a los servicios proporcionados por el ecosistema a otros usuarios de este dominio público. En definitiva, se asume cierto grado limitado de efectos negativos sobre el medio en la ZEP, que en ningún caso debe trascender más allá de los límites de la ZEP.

7. Diseño experimental.

Los propios objetivos de calidad y la necesidad de poder distinguir los cambios debidos a la actividad acuícola de los propios procesos naturales determinan la escala espacial del diseño experimental, mientras que las necesidades de conocer mínimamente la evolución del medio determinan la escala temporal.

Escala espacial y zonación.

Se definen tres zonas (**Z**) objeto de seguimiento (Figura 2):

Zona A: Zona que se encuentra físicamente bajo las instalaciones de cultivo y/o en su entorno más próximo. Se encuentra en el interior de la concesión administrativa, siendo la parte de la ZEP que va a experimentar los efectos más significativos de manera directa y sobre la que se lleva a cabo la monitorización.

Zona B: Zona de influencia del dominio público que se corresponde con el área circundante, de no más de 50 m de anchura desde los límites de la concesión (ZEP) hacia el exterior de la misma. Esta zona tiene un especial interés, ya que los efectos derivados del cultivo no deben afectarla de forma significativa al ser dominio público.

Zona C: se corresponde con zonas de referencia o control, que no reciban ningún tipo de influencia debida a los cultivos marinos ni a ninguna otra fuente de impacto. Debe situarse a no menos de 500m de las instalaciones y con fondos de naturaleza representativa del área en que se desarrolla el cultivo. Esta zona debe estar fuera de la influencia de la zona A y de otros impactos potenciales que afecten a la evaluación de los efectos potenciales en un contraste de hipótesis.

El seguimiento de esta zona nos ha de permitir distinguir los cambios en el medio debidos a la influencia de los cultivos de los debidos a la variabilidad natural. Se establecen un mínimo de dos zonas C, a barlovento y sotavento de las instalaciones, siguiendo el eje de la corriente predominante.

En cada una de las **Z** (A, B y C) se establecen como mínimo tres sitios (**S**) o puntos de muestreo al azar que se corresponden con la replicación espacial de las Z. En cada uno de los S se toman un mínimo de 3 muestras o réplicas (**n**) al azar. En la opción 1 (apartado 4.1.1.), la adaptabilidad en lo relativo a la escala espacial del diseño experimental se lleva a cabo manteniendo o incrementando el número de **S** en cada **Z** respecto a los asignados de partida para el nivel de

vigilancia correspondiente, en función del cumplimiento de las normas de calidad y de la evolución del medio en las distintas **Z**.

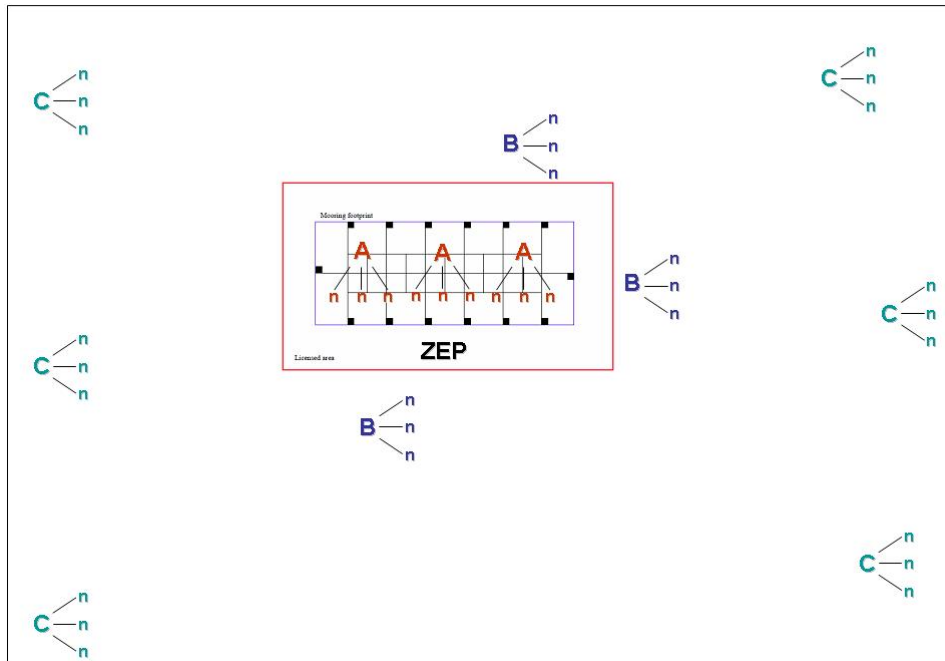


Figura 2: Esquema representativo de la zonación propuesta para los PVA's.

Escala temporal o periodicidad.

La vigilancia ambiental es continuada desde que comienza la producción hasta un mínimo de dos años después del cese de la actividad, con el fin de conocer la evolución del medio no solo durante la fase de producción, sino también para determinar si una vez abandonada la actividad, los fondos afectados se han recuperado o no.

Para la inspección visual y de redes: periodicidad trimestral. Ha de incluir los períodos de máxima y mínima producción de residuos.

Para el seguimiento de los fondos sedimentarios:

En la opción 1 (apartado 4.1.1.), la periodicidad va a depender de las variables indicadoras, del nivel de vigilancia que se haya establecido (ver más adelante), variando entre semestral, anual o bianual.

En la opción 2 (apartado 4.1.2.), la periodicidad es inicialmente anual, para todas las variables y se incrementaría a semestral en caso de incumplimiento de las normas de calidad ambiental. Esta opción, por tanto no contempla el incremento en número de puntos de muestreo dentro de las zonas, sino una revisión de la escala temporal de evaluación de la vigilancia ambiental de los indicadores propuestos, revisando las fuentes de impactos sobre el medio pelágico y bentónico.

Para el seguimiento de la columna de agua: periodicidad trimestral. Ha de incluir los períodos de máxima y mínima producción de residuos. Si en la zona A se supera el umbral establecido (ver más adelante) para clorofila-a, se realizarán medidas en continuo durante tres días consecutivos.

Tratamientos estadísticos de los datos.

Tratamiento univariante.

Es el tratamiento correspondiente a las variables físico-químicas del sedimento y de la columna de agua. Partimos de la base que el diseño experimental planteado se adecua a la aplicación del análisis de la varianza (ANOVA) como procedimiento estadístico, el cual además es el método más robusto en cuanto a asunción de la variabilidad y contraste de hipótesis. Puesto que hemos establecido dos zonas C y solo una zona A y una zona B, nos encontramos en una situación de asimetría entre zonas para la realización de los contrastes. La utilización de dos zonas C se justifica ante la necesidad de poder diferenciar con garantías los cambios debidos a la influencia de los cultivos de los debidos a la variabilidad natural. Desde un punto de vista estadístico formal, lo más “correcto” sería aplicar un modelo de ANOVA asimétrico, en el que se compararía el comportamiento de las diferentes variables en las zonas A y/o B respecto al

comportamiento de las mismas en el conjunto de las zonas C. Sin embargo, estos modelos de ANOVA asimétrico son complejos a la vez que controvertidos, habiendo opiniones contrapuestas en el ámbito científico respecto a la idoneidad de su aplicación. Nuestra propuesta sugiere la aplicación de un ANOVA en el que el factor Z cuenta con 4 niveles: zona A, zona B, zona C1 y zona C2 de carácter fijo, un factor tiempo en forma de campañas de muestreo (T) de carácter aleatorio, un factor punto de muestreo (S) dentro de cada Z y T de carácter aleatorio, con 3 réplicas ($n = 3$) tomadas al azar en cada S para cada variable indicadora. Se trata de un modelo de ANOVA simétrico, más simple en cuanto a ejecución matemática, menos correcto en cuanto a conceptos estadísticos, pero válido para el caso que nos ocupa. No obstante, la controversia de este modelo la encontraríamos en el hipotético pero probable caso que encontrásemos diferencias significativas entre C1 y C2.

En el caso que el diseño experimental propuesto se comience a aplicar en una instalación que empieza de cero con su producción, el factor que se ha de contrastar es el factor Z, para comprobar si se producen diferencias entre las distintas zonas (A-B, A-C, B-C). Conforme aumenta la vida de la granja, se va incrementando el número de campañas de muestreo (factor T), de modo que adquiere mayor interés el contraste de la interacción entre los factores Z y T ($Z \times T$), es decir, la comparación de la evolución en el tiempo de las distintas variables en las distintas zonas. El análisis de estas series temporales de datos permite valorar si la intensidad de la vigilancia ha de aumentar, disminuir o mantenerse.

En el caso de instalaciones que llevan funcionando un tiempo, difícilmente la información de anteriores seguimientos pueda ser incorporada a no ser que se hubiese desarrollado el mismo diseño experimental, algo bastante poco probable. Lo normal en estos casos es que cuando se aplique la presente propuesta de diseño experimental ya existan diferencias entre zonas, por lo que habría que estar especialmente atentos al cumplimiento de las normas de calidad antes de

poder analizar series temporales, que es donde verdaderamente se detectan los impactos.

Para la opción 1 (apdo 4.1.1.) respecto a la adaptabilidad de la propuesta en lo relativo a la escala espacial, si no se cumplen los estándares de calidad, se aumenta el número de S o la frecuencia de muestreo, lo que nos confiere mayor potencia estadística.

Tratamiento multivariante.

Para contrastar la evolución en el tiempo del poblamiento de poliquetos, a partir de una matriz de abundancia de las distintas familias por zonas y campañas se plantea un contraste mediante análisis multivariante de la varianza mediante permutaciones (PERMANOVA), siendo los factores e hipótesis las mismas que para el tratamiento univariante. Se acompaña de un escalado multidimensional (MDS) de la abundancia de las distintas familias por zonas y campañas para visualizar la ordenación espacial de las zonas a largo del tiempo, y un test de similitud (SIMPER) entre zonas a lo largo del tiempo.

Para la opción 1 (apdo 4.1.1.) respecto a la adaptabilidad de la propuesta en lo relativo a la escala espacial, si no se cumplen los estándares de calidad, se aumenta el número de S o la frecuencia de muestreo, lo que nos confiere mayor potencia estadística.

7. Estándares o normas de calidad ambiental (NCA).

Criterios para el establecimiento de NCA's.

Dependiendo de si establecemos niveles de las variables seleccionadas que no se deben superar, o si lo que se pretende es conocer la evolución del comportamiento de estas variables a lo largo del tiempo, los criterios para establecer los estándares de calidad pueden ser:

- Valor crítico.

- Intervalos de confianza.
- Significación estadística en un contraste de hipótesis uni- o multivariante y porcentajes de similaridad.

Puesto que en los objetivos de calidad se considera la evolución no solo de la ZEP (zona A) sino también de su periferia (zona B), los NCA's se formulan para ambas zonas.

Granulometría.

Se contempla como una variable descriptora del estado del sistema. No obstante, su monitorización es necesaria pues ayuda a la interpretación de las demás variables. Dada la influencia de las granjas sobre el hidrodinamismo local entraría dentro de lo posible que en la zona A (ZEP) se incrementase la proporción de la fracción más fina. Obviamente la magnitud de estos posibles cambios en la granulometría están influenciados no solo por la mayor o menor intensidad del cultivo (volumen de producción, tipo de alimento, especies cultivadas, etc.), sino también por el obstáculo hidrodinámico que representa el cultivo frente a la dinámica sedimentaria del entorno (condiciones ambientales). Puesto que la variabilidad espacial de la fracción más fina del sedimento es elevada (en general para cualquier descriptor del sedimento la variabilidad es alta), y de manera natural podemos encontrar valores de zonas con proporciones tanto muy altas como muy bajas, establecer estándares de calidad en base a valores críticos o intervalos de confianza resultaría poco fiable. Para un nivel de vigilancia bajo, una mera inspección visual podría mostrarnos indicios de enfangamiento. Sin embargo, para niveles de vigilancia superiores, la variabilidad a lo largo del tiempo de la fracción más fina en relación a la variabilidad natural sería el mejor estándar de calidad, especialmente para la zona B, donde en principio no se deben producir alteraciones distintas de las naturales. En definitiva, los estándares de calidad propuestos para las distintas zonas son:

- **Zona A:**

- No se debe producir un incremento del enfangamiento de los sedimentos perceptible mediante inspección visual. De producirse en niveles bajos de vigilancia o para niveles de vigilancia superiores, sería preceptivo un seguimiento mediante análisis granulométrico, pasando a ser la norma de calidad (EQS) la aceptación de la hipótesis nula H_0 : las diferencias en la fracción más fina del sedimento entre las zonas A y C a lo largo del tiempo no son significativas, mediante contraste de hipótesis.

- **Zona B:**

- No se debe producir un incremento del enfangamiento de los sedimentos perceptible mediante inspección visual. De producirse en niveles bajos de vigilancia o para niveles de vigilancia superiores, sería preceptivo un seguimiento mediante análisis granulométrico, pasando a ser el EQS la aceptación de la hipótesis nula H_0 : las diferencias en la fracción más fina del sedimento entre las zonas B y C a lo largo del tiempo no son significativas, mediante contraste de hipótesis.

Sulfuros libres totales (TFS).

Nos basamos en los resultados obtenidos en nuestro estudio piloto y en los límites propuestos por Hargrave et al. (2008). Los estándares de calidad propuestos para las distintas zonas son:

- **Zona A:**

- Valores promedio de TFS normales admitidos deben ser inferiores a $3000\mu\text{M} \pm 30\%$ (promedio de todas las muestras; no se admiten más de 3 muestras $> 6000 \mu\text{M}$).
- Valores de TFS de $3000 - 5000 \mu\text{M}$ implican seguimiento del poblamiento infaunal (contraste estadístico H_0 : no existen diferencias significativas entre zonas A y C) si es que éste no correspondía en el momento del análisis de TFS.
- Valores promedio de TFS $> 5000 \mu\text{M}$ implica actuaciones administrativas y de gestión como la reubicación de las instalaciones y/o disminución de la producción.

- **Zona B:**

- Valores de TFS admitidos dependientes de valores en zonas C: como máximo un 50% superior a los valores en controles.
- Valores promedio de TFS un 50% superior a los de los controles implican seguimiento del poblamiento de infaunal (contraste estadístico H_0 : no existen diferencias significativas en la evolución en el tiempo entre zonas B y C) si es que éste no correspondía en el momento del análisis de TFS. Implicaría gestiones administrativas de replanteamiento de las dimensiones de la concesión.
- Valores promedio de TFS $> 3000 \mu\text{M}$ Implicaría actuaciones administrativas y de gestión como la reubicación de las instalaciones y/o disminución de la producción.

En cualquier caso se ha de realizar un contraste estadístico univariante para conocer las diferencias a lo largo del tiempo entre las zonas A – C y B - C. El estándar de calidad sería la aceptación de la hipótesis nula H_0 : las diferencias entre zonas A o B y controles a lo largo del tiempo no son significativas.

Enriquecimiento orgánico expresado como contenido en materia orgánica (MO) o como contenido en carbono orgánico total (TOC).

- **Zona A:**

- Valores promedio de MO admitidos hasta un 50% superior que el promedio de las zonas control. Aquí debemos considerar que los valores de las zonas control tienen niveles similares en los valores preoperacionales y sin intervención humana.

- **Zona B:**

- Valores promedio de MO o TOC admitidos menores o iguales a los valores promedio de las zonas control. También se considera que los valores de las zonas control tienen niveles similares en los valores preoperacionales y sin intervención humana.
- Los valores normales admitidos sería inferiores a 4% en MO

Señal isotópica de ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$).

El método se basa en el hecho de que N tiene dos isótopos estables, un isótopo ligero, ^{14}N , y un isótopo más pesado, ^{15}N , que se producen en una proporción constante en la atmósfera, 99,635 y 0,365% respectivamente. Sin embargo, esta proporción varía de acuerdo con las diferentes vías metabólicas que una molécula sigue, como de las diversas reacciones del ciclo del N produciendo diferentes fraccionamientos de la fracción pesada isotópica (^{15}N). Las aplicaciones de este indicador incluyen indicación las fuentes de nitrógeno en los sistemas marinos. La relación isotópica es apropiada para vigilar el movimiento de N inorgánico disuelto en sedimentos. La proporción de ^{15}N es mayor en los residuos procedentes de una granja piscícola que el nitrógeno inorgánico existe en el medio natural.

- **Zona A:**

- Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ admitidos hasta un 6‰.

- **Zona B:**

- Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ admitidos equivalentes a los valores promedio de las zonas control.

pH.

Es un indicador descriptor del estado y la condición de óxico u anóxico del sedimento en correspondencia con el Eh. Es una variable que controla las condiciones para la reducción de los sulfatos y la forma química en la que se encuentre los sulfuros.

- **Zona A:**

- Valores promedio de pH admitidos estarán en los intervalos 7.0-7.5 8.5-9.5

- **Zona B:**

- Valores promedio de pH admitidos estarán en un intervalo de 7.5-8-5.

Potencial redox (Eh).

El potencial redox determina las reacciones de oxidación y reducción de muchos compuestos químicos presentes en sedimento. Así un valor Eh positivo y de alta magnitud es indicativo de un ambiente que favorece las reacciones de oxidación. Del otro lado, un valor Eh negativo y de baja magnitud es indicativo de un ambiente altamente reductor. La reactividad, solubilidad y movilidad cíclica de elementos esenciales para los sistemas biológicos son afectados por cambios en el potencial redox. Al mismo tiempo, el potencial redox afecta la distribución y la actividad metabólica de microorganismos. El objetivo de calidad de un sedimento es que no se alcancen condiciones anóxicas.

- **Zona A:**

- Valores promedio de Eh admitidos en un intervalo de -50 a -100 mV

- **Zona B:**

- Valores promedio de Eh admitidos .hasta -50 mV

Poblamiento infaunal de poliquetos

Tamaño del tamiz = 1mm; nivel de identificación taxonómico de familia. Los estándares de calidad propuestos para las distintas zonas son:

- **Zona A:**

- N° de familias de poliquetos admitido 75% inferior que en zonas C.
- N° de familias de poliquetos < 75% de zonas C implica reubicación de las instalaciones y disminución de la producción.

- **Zona B:**

- Contraste de hipótesis H_0 : no existen diferencias significativas entre la evolución en el tiempo de las zonas B y C, y porcentaje de similitud entre B y C $\geq 50\%$.
- N° de familias nunca 50% inferior que en zonas C.

Praderas de fanerógamas marinas.

Las instalaciones deben estar lo suficientemente alejadas de esta biocenosis, pero dada la elevada importancia ecológica de las praderas de fanerógamas

marinas y su estatus de protección, las praderas que se encuentren en el entorno de las granjas deben estar sujetas a seguimiento, especialmente cuando varias instalaciones se concentran en una misma zona y pudieran darse efectos aditivos. Puesto que la emisión de residuos, especialmente los de tipo disuelto, se lleva a cabo de forma continuada, las comunidades distantes pueden estar recibiendo el aporte de pequeñas cantidades de nutrientes derivados del cultivo pero de forma mantenida en el tiempo. Este tipo de impacto difuso no se encuentra tan bien caracterizado como los impactos directos, luego debe ser especialmente vigilado, máxime si el sistema ambiental que recibe los impactos está catalogado como de alto interés ecológico y de conservación. Obviamente, las praderas de fanerógamas nunca podrían estar localizadas ni en la zona A (ZEP) ni en la zona B, luego los estándares propuestos son únicos:

- El contenido en materia orgánica del material particulado que llega a la zona de la pradera más próxima a las instalaciones no debe superar los $1.5 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.
- Contraste de hipótesis H_0 : la evolución en el tiempo de la densidad global de haces en la zona de la pradera más próxima a las instalaciones no debe experimentar cambios distintos de los naturales, por comparación con múltiples estaciones de referencia.

Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.

Las instalaciones deben estar lo suficientemente alejadas de estas biocenosis. No obstante, cuando se tengan sospechas fundadas de que pueden recibir impactos difusos (una correcta evaluación previa del impacto ambiental debe ponerlo o no de manifiesto), es preceptiva su monitorización por los mismos motivos expuestos anteriormente para las praderas de fanerógamas. Obviamente, estas comunidades nunca podrían estar localizadas ni en la zona A (ZEP) ni en la zona B, luego el estándar propuesto es único:

- Fondos rocosos: contraste de hipótesis H_0 : la evolución en el tiempo de la biomasa de organismos formadores del hábitat en la zona más

próxima a las instalaciones no debe experimentar cambios distintos de los naturales, por comparación con múltiples estaciones de referencia.

- Fondos de Mäerl: contraste de hipótesis H_0 : la evolución en el tiempo de la relación entre biomasa y tanatoma de las algas calcáreas en la zona más próxima a las instalaciones no debe experimentar cambios distintos de los naturales, por comparación con múltiples estaciones de referencia.

Producción primaria fitoplanctónica.

- **Zona A:**

- Valores de clorofilas totales por debajo de 3 mg m^{-3} .
- Valores de clorofila-a entre $3 - 6 \text{ mg m}^{-3}$ implican seguimiento de los nutrientes durante al menos 3 días consecutivos.
- Valores superiores a 6 mg m^{-3} durante más de 3 días consecutivos implican reducción de la producción.

- **Zona B:**

- Valores admitidos hasta un 25% distinto de los de zonas control.
- Valores superiores en más de un 25% respecto a los controles durante 3 días consecutivos implican replanteamiento de la ZEP y/o disminución de la producción.

Oxígeno disuelto y turbidez.

- **Zona A:**

- Valores de oxígeno disuelto siempre superiores a 6 mg l^{-1} o nunca inferiores al 70% de saturación.
- Valores de turbidez nunca inferiores a 3 FTU.

- **Zona B:**

- Valores hasta un 25% distinto de los de zonas control.

8. Diseño adaptativo de la monitorización.

Los PVA's son herramientas dinámicas que se deben adaptar a las circunstancias conforme a la intensidad de producción y conforme vamos obteniendo información acerca de la evolución del medio receptor.

Niveles de impacto.

Se establecen distintos niveles de impacto que están determinados por la intensidad de producción y/o la proximidad entre granjas:

Nivel I.1: intensidad de producción *baja* < 500 tm año⁻¹.

Nivel I.2: intensidad de producción *media*: 500 – 2000 tm año⁻¹.

Nivel I.3: intensidad de producción *alta*: > 2000 tm año⁻¹.

Dentro del nivel de impacto I.3 diferenciamos casos especiales en función de la proximidad entre granjas, dado que pudiesen darse efectos sinérgicos (aditivos):

Nivel I.3a: intensidad de producción *alta*: > 2000 tm año⁻¹ (granjas individuales).

Nivel I.3b: intensidad de producción *muy alta*: polígonos acuícolas con más de dos granjas con producciones individuales ≥ 1000 tm año⁻¹ o cuando dos o más granjas están lo suficientemente próximas como para que sus ZEP's pudiesen quedar a menos de 200m unas de otras. El seguimiento ha de realizarse considerando estas granjas como una única unidad. Evaluación de efectos sinérgicos: estudio a una escala espacial más amplia mediante técnicas de cartografiado espacial, con idénticos estándares de calidad.

Nivel I.3c: granjas comprendidas en una zona de producción de 2.5km de radio. A los seguimientos individuales y/o colectivos hay que añadir un estudio de sinergias y valorar si el área de afección para toda la zona es o no asumible.

Niveles de vigilancia.

Cada nivel de impacto lleva asociado un nivel de vigilancia de partida. Los niveles de vigilancia pueden incrementarse o disminuir en función del cumplimiento de los estándares de calidad propuestos y de la evolución del medio. Dado que estamos planteando dos posibilidades en cuanto al número de variables indicadoras a utilizar (apartados 4.1.1. y 4.1.2.), también se plantean dos posibilidades en cuanto a la adaptabilidad del PVA conforme se van obteniendo resultados. Para la opción 2 (apartado 4.1.2.), la adaptabilidad consiste en reducir el número de variables a partir del segundo año de seguimiento (se mantienen MO, TFS, granulometría e infauna) y periodicidad si no se observan cambios significativos, o mantenerlas si la evolución es negativa.

Para cada compartimento se establecen los niveles de vigilancia, indicando variables a medir, periodicidad (C), zonas de muestreo (Z), nº de estaciones de muestreo (E) dentro de cada zona, nº de réplicas (n) por estación. Todos los niveles de vigilancia incluyen la inspección visual de los fondos conforme se recoge en el apartado 4.4.

Nivel de vigilancia V.1:

Aplicable al nivel de impacto I.1: granjas con producción < 500 tm año⁻¹.

- **Inspección visual:**
 - Zonas A (ZEP) y B (periferia ZEP).
 - Periodicidad trimestral.
- **Calidad del sedimento:** Opción 1 (apdo 4.1.1.) variables indicadoras: TFS y granulometría (si no se cumple el EQS 7.2.1. tras inspección visual). Opción 2 (apdo 4.1.2.) variables indicadoras: granulometría, TFS, MO, TOC, $\delta^{15}\text{N}$, pH y Eh.
- Zonas: A, B y dos C (controles).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 3.
- Réplicas por S: n = 3.

- Periodicidad: Opción 1: semestral, en épocas de máxima y mínima producción. Opción 2: anual, en época de máxima producción.
- **Poblamiento infaunal:** poblamiento de poliquetos (> 1mm, nivel familia).
- Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y dos C (controles).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 3.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad: anual, en época de máxima producción.
- Contraste de hipótesis (H_0 : no existen diferencias significativas en la evolución en el tiempo entre zonas).
- **Clorofila-a, O₂ y turbidez.**
- Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y dos C (controles).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 3.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad: trimestral.
- **Praderas de fanerógamas.**

En caso que la pradera más próxima se encuentre a menos de 2.5 km. Variable: densidad global de haces.

- Zonas: 2. Una de ellas en el frente de pradera más próximo a la granja (zona A) y otra como pradera de referencia (zona C).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 3.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.
 - **Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.**
- Zonas: 2. Una de ellas a la distancia menor de la granja (zona A) y otra como referencia (zona C).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 3.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

Nivel de vigilancia V.2.

Aplicable al nivel de impacto **I.2**: intensidad de producción *media*: 500 – 2000 tm año⁻¹.

- **Inspección visual:**
- Zonas A (ZEP) y B (periferia ZEP).
- Periodicidad trimestral.
- **Calidad del sedimento:** Opción 1 (apdo 4.1.1.) variables indicadoras: TFS y granulometría. Opción 2 (apdo 4.1.2.) variables indicadoras: granulometría, TFS, MO, TOC, $\delta^{15}\text{N}$, pH y Eh.
- Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y C (control).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 5.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad: semestral, en épocas de máxima y mínima producción.
- **Poblamiento infaunal:** poblamiento de poliquetos (> 1mm, nivel familia).
- Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y dos C (controles).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 5.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad: anual, en época de máxima producción.
- **Clorofila-a, O₂ y turbidez.**
- Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y dos C (controles).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 5.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad: trimestral.
- **Praderas de fanerógamas.**

En caso que la pradera más próxima se encuentre a menos de 2.5 km. Variable: densidad global de haces.

- Zonas: 2. Una de ellas en el frente de pradera más próximo a la granja (zona A) y otra como pradera de referencia (zona C).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 4.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.
- **Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.**

- Zonas: 2. Una de ellas a la distancia menor de la granja (zona A) y otra como referencia (zona C).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 4.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

Nivel de vigilancia V.3a.

Aplicable al nivel de impacto **I.3a**: intensidad de producción *alta* > 2000 tm año⁻¹.

- **Inspección visual:**
 - Zonas A (ZEP) y B (periferia ZEP).
 - Periodicidad trimestral.
 - **Calidad del sedimento:** Opción 1 (apdo 4.1.1.) variables indicadoras: TFS y granulometría. Opción 2 (apdo 4.1.2.) variables indicadoras: granulometría, TFS, MO, TOC, $\delta^{15}\text{N}$, pH y Eh.
 - Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y dos C (controles).
 - Puntos de muestreo (S) por zona: 6.
 - Réplicas por S: n = 3.
 - Periodicidad: semestral, en épocas de máxima y mínima producción.
 - **Poblamiento infaunal:** poblamiento de poliquetos (> 1mm, nivel familia).
 - Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y C (control).
 - Puntos de muestreo (S) por zona: 6.
 - Réplicas por S: n = 3.
 - Periodicidad: anual, en época de máxima producción.
 - **Clorofila-a, O₂ y turbidez.**
 - Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y C (control).
 - Puntos de muestreo (S) por zona: 6.
 - Réplicas por S: n = 3.
 - Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.
 - **Praderas de fanerógamas.**

En caso que la pradera más próxima se encuentre a menos de 2.5 km. Variable: densidad global de haces.

- Zonas: 2. Una de ellas en el frente de pradera más próximo a la granja (zona A) y otra como pradera de referencia (zona C).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 5.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.
- **Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.**
- Zonas: 2. Una de ellas a la distancia menor de la granja (zona A) y otra como referencia (zona C).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 5.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

Nivel de vigilancia V.3b.

Aplicable al nivel de impacto **I.3b**: polígonos acuícolas con más de dos granjas con producción individuales $\geq 1000 \text{ tm año}^{-1}$ o cuando dos o más granjas están lo suficientemente próximas como para que sus ZEP's pudiesen quedar a menos de 200m unas de otras.

- **Inspección visual:**
- Zonas A (ZEP) y B (periferia ZEP).
- Periodicidad trimestral.
- **Calidad del sedimento:** Opción 1 (apdo 4.1.1.) variables indicadoras: TFS y granulometría. Opción 2 (apdo 4.1.2.) variables indicadoras: granulometría, TFS, MO, TOC, $\delta^{15}\text{N}$, pH y Eh.
- Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y C (control).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 4 estaciones por zona por cada granja.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.
- **Poblamiento infaunal:** poblamiento de poliquetos (> 1mm, nivel familia).
- Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y C (control).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 4 puntos de muestreo por zona en cada granja.

- Réplicas por S: $n = 3$.
- Periodicidad: anual, en época de máxima producción.
- **Clorofila-a, O₂ y turbidez.**
- Zonas: A (ZEP), B (periferia ZEP) y C (control).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 4 estaciones por zona por cada granja.
- Réplicas por S: $n = 3$.
- Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.
- **Praderas de fanerógamas.**

En caso que la pradera más próxima se encuentre a menos de 2.5 km. Variables: densidad global de haces y material orgánico particulado.

- Zonas: 2. Una de ellas en el frente de pradera más próximo a la granja (zona A) y otra como pradera de referencia (zona C).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 5.
- Réplicas por S: $n = 3$.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.
- **Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.**
- Zonas: 2. Una de ellas a la distancia menor de la granja (zona A) y otra como referencia (zona C).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 5.
- Réplicas por S: $n = 3$.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

Nivel de vigilancia V.3c.

Aplicable al nivel de impacto **I.3c**: granjas comprendidas en una zona de producción de 2.5km de radio. A los seguimientos individuales y/o colectivos hay que añadir un estudio de sinergias para las variables TFS del sedimento y producción primaria en la columna de agua. Retícula centrada en la zona de cultivo con un mínimo de 36 puntos de muestreo georreferenciados separados como máximo 1km (Figura 3). Cartografiado de isolíneas de TFS y clorofila-a. Una muestra por punto de muestreo.

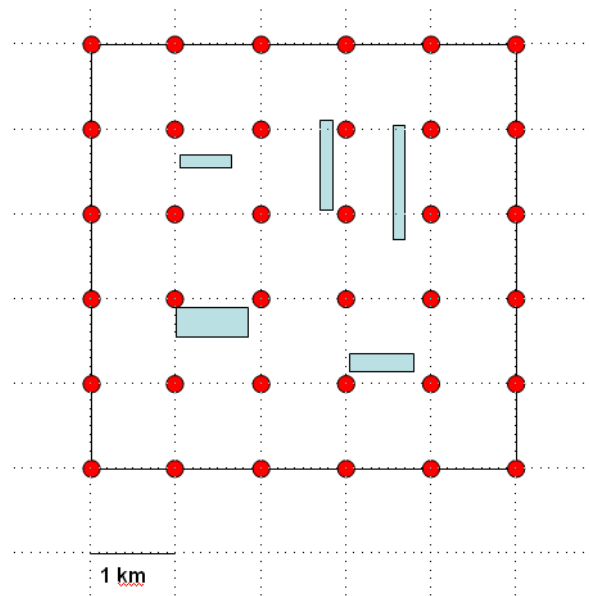


Figura 3: Esquema de retícula de puntos de muestreo para Nivel de vigilancia V.5 para estudio de sinergias.

- **Praderas de fanerógamas.**

En caso que la pradera más próxima se encuentre a menos de 2.5 km. Variables: densidad global de haces y material orgánico particulado.

- Zonas: 2. Una de ellas en el frente de pradera más próximo a la granja (zona A) y otra como pradera de referencia (zona C).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 6.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

- **Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.**

- Zonas: 2. Una de ellas a la distancia menor de la granja (zona A) y otra como referencia (zona C).
- Puntos de muestreo (S) por zona: 6.
- Réplicas por S: n = 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

Para la opción 1 (apdo. 4.1.1.) se presentan unas tablas resumen de los niveles de vigilancia y adaptabilidad:

Tabla 2: Nivel de impacto I.1. Nivel de vigilancia V.1.: producción < 500 tm / año.

Impacto / vigilancia	Inspección visual	Calidad sedimento	Poblamiento poliuetos	Columna de agua	Praderas fanerógamas	Roca / Mäerl	Sinergias
I.1. / V.1.	Z = 2 (AB) Trimestral No EQS enfangam. =	TFS Z = 3 (ABC) PM = 3 n = 3 Anual No EQS = FF	Z = 3 (ABC) PM = 3 n = 3 Anual semestral	Chl-a Z = 3 (ABC) PM = 3 n = 3 Trimestral	DG Z = 2 (I - C) PM = 3 n = 3 Anual	OFH / BM : TM Z = 2 (I - C) PM = 3 n = 3 Anual	-

Tabla 3: Nivel de impacto I.2. Nivel de vigilancia V.2.: producción 500 - 2000 tm / año.

Impacto / vigilancia	Inspección visual	Calidad sedimento	Poblamiento poliuetos	Columna de agua	Praderas fanerógamas	Roca / Mäerl	Sinergias
I.2. / V.2.	Z = 2 (AB) Trimestral	TFS + FF Z = 3 (ABC) S = 5 n = 3 Anual No EQS =	Z = 3 (ABC) S = 5 n = 3 Anual Semestral	Chl-a Z = 3 (ABC) S = 5 n = 3 Trimestral	DG Z = 2 (I - C) S = 4 n = 3 Anual	OFH / BM : TM Z = 2 (I - C) S = 4 n = 3 Anual	-

Z: zonas; PM: puntos de muestreo por zona; n: nº réplicas por PM; TFS: sulfuros libres totales; FF: fracción fina del sedimento; Chl-a: clorofila a; DG: densidad global de haces; OFH: organismos formadores del hábitat; BM : TM : biomasa / tanatomasa de algas calcáreas.

Tabla 4: Nivel de impacto I.3a. Nivel de vigilancia V.3a.: producción 2000 tm / año, granja individual.

Impacto / vigilancia	Inspección visual	Calidad sedimento	Poblamiento poliuretanos	Columna de agua	Praderas fanerógamas	Roca / Mäerl	Sinergias
I.3a / V.3a	Z = 2 (AB) Trimestral	TFS + FF Z = 3 (ABC) S = 6 n = 3 Anual No EQS =	Z = 3 (ABC) S = 6 n = 3 Anual Semestral	Chl-a Z = 3 (ABC) S = 6 n = 3 Trimestral	DG Z = 2 (I - C) S = 5 n = 3 Anual	OFH / BM : TM Z = 2 (I - C) S = 5 n = 3 Anual	-

Tabla 5: Nivel de impacto I.3b. Nivel de vigilancia V.3b.: + de 2 granjas con 1000 tm año-1 cada una; ZEP's a menos de 200m.

Impacto / vigilancia	Inspección visual	Calidad sedimento	Poblamiento poliuretanos	Columna de agua	Praderas fanerógamas	Roca / Mäerl	Sinergias
I.3b / V.3b Colectivo	Z = 2 (AB) Trimestral	TFS + FF Z = 3 (ABC) S = 4/granja n = 3 Anual No EQS =	Z = 3 (ABC) S = 4/granja n = 3 Anual Semestral	Chl-a Z = 3 (ABC) S = 4/granja n = 3 Trimestral	DG Z = 2 (I - C) S = 5 n = 3 Anual	OFH / BM : TM Z = 2 (I - C) S = 5 n = 3 Anual	-

Tabla 6: Nivel de impacto I.3c. Nivel de vigilancia V.3c.: grupo de granjas en un radio de 2.5 km.

Impacto / vigilancia	Inspección visual	Calidad sedimento	Poblamiento poliquetos	Columna de agua	Praderas fanerógamas	Roca / Mäerl	Sinergias
I.3c / V.3c	Z = 2 (AB) Trimestral	Individual o colectivo	Individual o colectivo	Individual o colectivo	DG Z = 2 (I - C) S = 6 n = 3 Anual	OFH / BM : TM Z = 2 (I - C) S = 6 n = 3 Anual	Cartografía TFS y Chl-a Retícula 1km 36pm

Z: zonas; PM: puntos de muestreo por zona; n: nº réplicas por PM; TFS: sulfuros libres totales; FF: fracción fina del sedimento; Chl-a: clorofila a; DG: densidad global de haces; OFH: organismos formadores del hábitat; BM: TM: biomasa / tanatomasa de algas calcáreas.

❖ **Actividad 5 Sentar las bases para la creación de una Red Nacional para el seguimiento ambiental de la acuicultura marina.**

Talleres de expertos regionales

1. Resultados Comunidad Autónoma de Canarias

Metodología.

El plan de Vigilancia Ambiental de la Acuicultura Marina (PVA) propuesto fue enviado a todos los actores implicados directamente o indirectamente en la acuicultura en jaula, así como a los posibles sectores afectados por su actividad. El estudio de su validación se realizó con diferentes categorías de participantes, cada uno de los cuales podría dar un visión complementaria del PVA. Así se propuso una metodología de validación mediante una validación interna y otro externa. La primera se refiere a la idoneidad de los indicadores y protocolos de trabajo e intervención contenidos en el documento de bases. Esta validación será

mejor resuelta en las cuestiones de los indicadores y parámetros ambientales propuestos. La validación externa pretende evaluar a dos realidades distintas y complementarias sobre el PVA: i) ser una herramienta que se ajuste a los objetivos y capacidades de las Administraciones competentes en la materia, y ii) constituir un instrumento de comunicación eficaz con los sectores económicos y sociales que comparten con la acuicultura intereses en la valorización y conservación de los entornos marinos costeros. Para esta validación, la opinión y valorización de administraciones, empresas de acuicultura y otros sectores concurrentes es importante.

Para la validación interna se seleccionó un grupo de expertos pertenecientes a universidades y consultoras con experiencia en evaluación y vigilancia ambiental. Los 16 expertos seleccionados son una base importante de los científicos con una opinión fundamentada sobre la materia de estudio, sin embargo sólo 13 entraron en el proceso por diferentes motivos. A este grupo se les formuló unos cuestionarios específicos que contenían cuatro bloques:

El primer bloque de cuestiones está constituido por aspectos generales de la acuicultura y su relación con el medio ambiente.

El segundo bloque abarca propiamente las cuestiones de validación de los indicadores de vigilancia sistemática y de los indicadores de inspección visual.

El tercer bloque contiene las cuestiones relativas al protocolo para la toma de datos; a los procedimientos de intervención de las Administraciones competentes en los casos en los que se detecten, a partir de los informes de vigilancia existentes por las empresas o de las acciones de control motivadas por la propia Administración. Valoración del PVA.

El cuarto bloque caracteriza la cualificación profesional del entrevistado a partir de su formación de base y de la experiencia acumulada en relación con la acuicultura. Información que podría permitir matizar la relevancia de las opiniones vertidas en los cuestionarios.

La validación externa realizó distinguiendo entre diversos grupos de destinatarios potenciales de los informes de vigilancia llevados a cabo por las empresas acuicultoras.

Un grupo estaba formado por Técnicos de las Administraciones aportando al cuestionario el bloque tercero, algunas preguntas específicas relativas a las consecuencias positivas y negativas para las empresas derivadas de la presentación de informes con impactos, respectivamente, bajo los niveles de referencia o en valores indeseables y no admisibles. También se les cuestionó sobre su percepción de la situación actual y mejoras que la administración ambiental debe adoptar para llevar a efecto un control eficaz de la gestión ambiental llevada a cabo por las empresas de acuicultura marina.

El otro grupo estaba formado por miembros del entorno económico-social con relaciones directas o colaterales con el tema de la acuicultura. Así se encuestaron a empresas de acuicultura del Archipiélago Canario. Empresas y organizaciones vinculadas al turismo de sol y playa en Canarias por la potencialmente la acuicultura puede producir al turismo en la forma de contaminación de playas, afectación del paisaje marino, residuos flotantes y malos olores. Cofradías de pescadores, que tradicionalmente han manifestado preocupaciones relacionadas con la incompatibilidad de mercado entre la pesca artesanal y la acuicultura, y por el impacto de los escapes de las jaulas de acuicultura marina. Empresas de buceo, representativas de las actividades recreativas que se sustentan en la calidad de los ecosistemas litorales y por tanto, potencialmente sensibles a las modificaciones de los procesos contaminantes en el sistema costero. También organizaciones sociales y de defensa del medio ambiente, en general preocupadas por la calidad ambiental del medio marino, en tanto que acoge hábitats y biodiversidad que requiere ser conservada, de un lado, y en tanto que proveedor de funciones recreativas o culturales de las que depende la calidad de vida de la sociedad en su conjunto.

A estos grupos se les realizó un cuestionario con preguntas específicas orientadas a conocer su particular visión del problema, en función de los intereses

económicos y sociales que representan. También se exploró su demanda y disposición a participar en ámbitos de representación que hagan de la gestión ambiental del medio marino, una dimensión esencial de la gestión integrada de este medio, con implicación efectiva de todos los sectores institucionales y sociales.

Tabla 1: I. Científicos expertos (CE); II. Técnicos de las Administraciones Públicas (TA); III. Empresas del sector (ES); IV. Empresas de actividades concurrentes con la Acuicultura (EC); V. Representantes de la pesca artesanal (PA) y VI. Representantes de organizaciones de defensa del medio ambiente marino (OA)

Sect.	Categoría	Enviados.	Recuperado	% Respuesta	% Respuesta total
I	CE	13	12	92	35
II	TA	7	4	57	12
III	ES	5	1	20	3
IV	EC	10	5	50	15
V	PA	9	6	67	18
VI	OA	8	6	75	18
	Totales	52	34	65	100

De los resultados destaca la muy baja participación de las empresas del sector del que sólo se pudo recuperar una encuesta lo que representa sólo 3% del total de los encuestados.

La metodología del trabajo se completó un seminario donde invitaba a los 52 participantes con el objetivo de debatir los aspectos técnicos del PVA, y como segunda actuación analizar otros asuntos considerados relevantes por los participantes, incluyendo la consideración de aspectos ambientales que escapan al ámbito de los PVA.

Al seminario asistieron 22 personas. Los debates del Seminario permitieron obtener información complementaria a la remitida en los cuestionarios y contrastar opiniones entre los asistentes.

1. Resultados. Cuestionario:

1.1. Bloque I: Cuestiones generales. El cuestionario utilizado, contenía las preguntas 1 a 10 (Bloque I), comunes a todos los sectores encuestados.

Preguntas	Emparist.	Administ.	Sector	Sec. Conc.	Pesca	Ambient.	Media gral.
1. La acuicultura es una actividad con elevado potencial e interés socioeconómico para Canarias, que debe ser apoyada por el sector público. (1: Muy en desacuerdo a 4: Muy de acuerdo).	3	3,75	4	1,8	1,3	3,2	2,8
2. Canarias, por la lejanía a los mercados y los costes de producción, a medio plazo no podrán competir con los productores del mediterráneo y de las potencias emergentes de Asia, por lo que los apoyos públicos serán recursos perdidos. (1: Muy en desacuerdo a 4: Muy de acuerdo).	2	1,5	1	3,2	2,7	2,2	2,1
3. Es posible, deseable y urgente una ordenación del litoral marino que compatibilice escrupulosamente la acuicultura con otros usos productivos (pesca artesanal, turismo, buceo) y de conservación. (1: Muy en desacuerdo a 4: Muy de acuerdo).	3,9	3,5	4	4	3,5	3,2	3,7
4. En comparación con otras actividades económicas que se desenvuelven en el mar o en tierra, en su opinión la acuicultura es: (1: Nada contaminante a 4: Muy contaminante).	2,4	2	2	3,8	3,8	3,2	2,9
5. En su opinión, la imagen ambiental de la que actualmente goza la acuicultura en su región es: (1: Muy negativa a 4: Muy positiva).	1,8	1,75	2	1,4	1,5	1,3	1,6
6. El grado en el que la imagen ambiental de la acuicultura puede influir en la demanda de los productos de la misma es, según Vd. (1: Nulo a 4: Muy alto).	2,9	3,25	2	3,6	3,2	3	3,0
7. La ejecución del PVA podrá representar costes insustentables para las empresas del sector: (1: Absolutamente innecesario a 4: Muy necesario).	2,8	2	3	2,6	2	3,0	2,8
8. El Plan Regional de Ordenación de la Acuicultura (PROAC) es un instrumento idóneo para la ordenación, la integración y la sostenibilidad de la acuicultura en Canarias. (1: Muy en desacuerdo a 4: Muy de acuerdo).	2,8	4	4	3	2,5	2,7	3,1
9. En su opinión, el grado de difusión que debe darse al PVA es: (1: El mínimo posible a 4: El máximo posible).	4	3,20	3	3,4	3,2	3,7	3,4
10. Los procedimientos administrativos de control ambiental, con respecto a la situación actual, deben simplificarse notablemente y actuar a tiempo, en caso contrario el PVA será poco o nada eficaz. (1: Muy en desacuerdo a 4: Muy de acuerdo).	3,4	4	4	3,4	3,2	2,8	3,5

Los resultados expresan lo siguiente para cada cuestión:

P1. Respecto de la afirmación: la acuicultura es una actividad de elevado potencial para Canarias y que debe ser apoyada por el sector público: la media general indica una valoración de (2,8), siendo los extremos, el sector de pesca artesanal (1,3) y los empresarios del sector de la acuicultura (4). Por su parte, los técnicos de las administraciones públicas expresan estar igualmente de acuerdo con una valoración de (3,75).

P2. Sobre la afirmación que: Canarias, por la lejanía de los mercados y los costes de producción, a medio plazo no podrá competir con los productores del Mediterráneo y potencias emergentes de Asia por lo que los apoyos públicos serán recursos perdidos: la media general indica una valoración de (2,1), lo cual

indica que en general no se está de acuerdo con dicha afirmación, siendo los extremos, el sector de empresarios concurrentes (3,2) y los empresarios del sector de la acuicultura (1).

P3. Respecto de la afirmación que: es posible, deseable y urgente una ordenación del litoral marino que compatibilice la acuicultura con otros usos: la media general expresa un claro acuerdo (3,7) y en ningún caso por debajo del valor promedio de 2,5.

P4. Sobre la opinión de si la acuicultura en comparación con otras actividades económicas resulta contaminante: la media general expresa un valor de (2,9) lo que indica que la percepción es que sí se entiende como contaminante, ubicándose en los extremos los técnicos de las administraciones públicas y empresarios del sector con una valoración de (2) y el sector de pesca artesanal y sectores concurrentes quienes peor la califican con una media de (3,8).

P5. Respecto de la imagen ambiental que actualmente goza la acuicultura en Canarias, la media considera que es negativa (1,6), y en ningún caso por encima del valor promedio de 2,5.

P6. Sobre el grado que la imagen ambiental de la acuicultura puede influir en la demanda de productos: la media general indica que el mismo es alto, con un valor de (3), siendo únicamente los empresarios del sector, quienes la califican por debajo del valor promedio de 2,5 con una valoración de (2).

P7. Respecto de la afirmación que la ejecución del PVA pueda representar costes inasumibles para las empresas del sector (1: Absolutamente innecesario a 4: Muy necesario) variando entonces el sentido para estos sectores, siendo presumiblemente interpretada como la necesidad de asumir los costes de PVA por parte de las empresas del sector, a lo que respondieron de media con una valoración de (2,7), con valores extremos de (2) para el sector de la pesca artesanal y (3,2) para los ambientalistas. Por su parte, los sectores de científicos expertos y técnicos de administraciones públicas lo valoraron de media (2,6) y (2) respectivamente, considerando el sentido general de 1 a 4 (mín. a máx.) el grado

de acuerdo con la afirmación propuesta. Se ha observado una interpretación errónea de esta pregunta ya que hay contradicciones aparentes. En general, si realiza una reinterpretación de los resultados es que puede asumir que las empresas del sector pueden realizar el PVA con unos costes asumibles.

P8. Sobre si el Plan Regional de Ordenación de la Acuicultura en Canarias (PROAC) es un instrumento idóneo para la ordenación, integración y sostenibilidad de la acuicultura en Canarias, la media general expresó estar de acuerdo (3,1), ubicándose únicamente el sector de la pesca artesanal por debajo del valor promedio de 2,5 con una valoración de (2,3).

P9. Respecto de la opinión sobre el grado de difusión que debe darse al PVA, la media general se situó en (3,4) siendo el valor de 4 el máximo posible, y en ningún caso se situó por debajo del valor promedio de 2,5.

P10. Sobre la afirmación que los procedimientos administrativos de control ambiental respecto de la situación actual deben simplificarse y actuar a tiempo ya que en caso contrario el PVA será poco o nada eficaz la media general se sitúa en (3,5) y en ningún caso se situó por debajo del valor promedio de 2,5.

1.1. Bloque II: Evaluación del Plan de Vigilancia Ambiental.

1.1.1. Indicadores de vigilancia sistemática.

Los indicadores de vigilancia sistemática propuestos fueron todos valorados positivamente, con valores de media que superan el valor promedio de 5 en la escala de 1 a 10 por la que se preguntaba. El orden de importancia en función de las medias obtenidas fue el siguiente:

- Poliquetos: (8,3) de valoración media del indicador. Se consideró en general estar de acuerdo con una valoración de los intervalos: Normal – Tolerable e Inadmisibles (nº de familias < 50% del control), no se encontró redundancia con otros indicadores y no se propone eliminarlo.

- Relación isotópica $\delta^{15}\text{N}$: (7,8) de valoración media del indicador. Se consideraron adecuados los intervalos (en %) propuestos de <5,5 ; 5,5-7,5 y >7,5, no se encontró redundancia con otros indicadores y no se propone eliminarlo.
- Materia Orgánica: (7,8) de valoración media del indicador. Por su parte, no se consideraron adecuados los rangos propuestos de: NORMAL (< 5,0); TOLERABLE (5,0 – 7,0) e INADMISIBLE (> 7) propuestos. No se propone eliminarlo.
- Potencial Redox: (7,8) de valoración media del indicador. Se consideraron adecuados los rangos propuestos (en mV) de: NORMAL (< -150); TOLERABLE (-150 – -250) e INADMISIBLE (> -250) propuestos. No se encontró redundancia con otros indicadores excepto una encuesta en los expertos científicos y no se propone eliminarlo.
- Sulfuros totales: (7,4) de valoración media del indicador. Se consideraron adecuados los rangos propuestos (en μM) de: NORMAL (< 750); TOLERABLE (750 – 3500) e INADMISIBLE (> 3500) propuestos. No se encontró redundancia con otros indicadores y no se propone eliminarlo.
- Granulometría: (6,8) de valoración media del indicador. Se consideró adecuado el análisis de sedimentos de fracciones <63 μm y no se propone eliminarlo.
- pH: (6,6) de valoración media del indicador. Se consideraron adecuados los rangos propuestos NORMAL (7,5-8,5); TOLERABLE (7,0-7,5 y 8,5-9,5) e INADMISIBLE (<7,0 ó >9,5) propuestos. No se encontró redundancia con otros indicadores excepto una encuesta en los expertos científicos y no se propone eliminarlo.

1.1.2. Indicadores de vigilancia de inspección visual.

Los indicadores de vigilancia visual propuestos fueron todos valorados positivamente, con valores de media que superan el valor promedio de 5 en la escala de 1 a 10. El orden de importancia en función de las medias obtenidas fue el siguiente:

- Acumulación de restos de piensos y/o heces: (8,9) de valoración media del indicador. No se encontró redundancia con otros indicadores y no se propone eliminarlo.
- Presencia de mantos de mantos de *Beggiatoa* sp (8,5) de valoración media del indicador. No se encontró redundancia con otros indicadores y no se propone eliminarlo.
- Acumulación de residuos plásticos (7,6) de valoración media del indicador. No se encontró redundancia con otros indicadores y no se propone eliminarlo.
- Presencia de Tapices de Diatomeas (7,6) de valoración media del indicador. No se encontró redundancia con otros indicadores y no se propone eliminarlo.
- Presencia de peces muertos (7,4) de valoración media del indicador. No se encontró redundancia con otros indicadores y no se propone eliminarlo.

1.2. Bloque III: Toma de muestras e intervención de las administraciones competentes.

El protocolo de toma de muestras propuesto, fue calificado positivamente por los sectores encuestados, registrando una valoración media general de (8,1) en una escala máxima de 10. En los extremos se situaron el sector de empresarial de la acuicultura que lo valoró con un (6) y el que mayor puntuación le otorgó fue el sector de técnicos de las administraciones públicas que les otorgaron una valoración de (9,5).

Cabe destacar que el sector de los representantes de organizaciones ambientalistas, no se manifestaron en relación a este punto.

Respecto de la zona B propuesta (50 m), se planteó la necesidad de ampliarla a 100m, o hasta la distancia que determine el modelo de dispersión del proyecto.

Sobre las zonas de control (C), se plantea la necesidad de tener 2 en lugar de 1, o zonas no impactadas y con características de sedimentos semejantes, a no menos de 500m de las zonas de granja o concesiones, preferiblemente una en

contra y otra a favor de la corriente dominante y en todo momento tener en cuenta el preoperacional en nuevas evaluaciones del PVA.

Tanto para la vigilancia sistemática como para la visual, existe aceptación en que la frecuencia del muestreo no debe ser anual, sino que para el caso de la vigilancia sistemática la mayoría acuerda que la misma se deba realizar en el período de máxima producción, mientras que para la inspección visual la frecuencia óptima resulta la trimestral.

Al respecto de las decisiones o medidas que la Administración competente podría adoptar cuando los indicadores sobrepasen los valores admisibles, parece existir acuerdo entre los científicos, técnicos de las administraciones y empresas del sector, en que las medidas pasen necesariamente y en el siguiente orden, por: (1) la asistencia técnica obligada, (2) la reducción de la producción proporcionalmente al grado de inadmisibilidad y (3) la obligación de traslado de la explotación. Cabe destacar que el sector de ambientalistas propone el orden inverso.

Por último, se solicitó una opinión una valoración global en conjunto (valor 1-4), sobre las características generales del PVA que se propone, obteniéndose una media general de (2,9), lo cual indica una consideración positiva de la propuesta, llegando a (3,7) en el caso de considerarse en el mismo los aportes brindados.

Finalmente, consultado sobre si es económicamente asumible para las empresas el PVA, la media general expresa con un valor de (3,4) que el mismo resulta claramente asumible. Asimismo, la valoración aumenta hasta (3,6) considerando los aportes brindados por los sectores implicados.

2. Conclusiones y Recomendaciones:

1. Un Plan Vigilancia Ambiental debe marcarse como objetivos la información a la Administración y los propietarios del tipo y grado de afección ambiental de la explotación. Un PVA claro y exclusivo para cada caso y explicativo de qué factores ambientales se deben controlar, qué variables se deben evaluar y con

qué periodicidad. El PVA debe servir para simplificación y actuación en tiempo de las administraciones competentes y verificar el cumplimiento de los objetivos planteado, debiendo disponer ésta de los medios adecuados para ello.

2. Sobre los cetáceos, delfines y tortugas que son los objetivos de conservación de las ZECs Marinos de la Red Natura 2000 deben tenerse en cuenta los informes del servicio de Biodiversidad de la Consejería de Medio Ambiente, que señalan que se están produciendo cambios en los patrones de conducta de los mamíferos marinos en el entorno de las jaulas de cultivos situadas dentro de las ZECs, por lo que es necesario recoger y proponer, o cuando no existan, realizar, los informes de interacción de las jaulas de cultivos con los objetivos de conservación de las ZECs, ya que pueden ser un motivo de conflicto e incompatibilidad de la acuicultura en esas zonas.

3. Establecer una secuencia cronológica de alerta de los indicadores de tal forma que los primeros sean los más sensibles. Especialmente en el caso de que se produzcan escapes o roturas en los sacos de las jaulas. Esta función la podría hacer muy bien el plan de Vigilancia Visual.

4. Existe un claro consenso entre todos los sectores, que la acuicultura es una actividad de elevado potencial para Canarias y que debe ser apoyada por el sector público.

5. La imagen de la acuicultura puede mejorar si se realizan un control eficiente y eficaz de los procesos contaminantes. Así se destaca la necesidad de una ordenación y control de la ubicación atendiendo a las características hidrodinámicas, morfométricas y batimétricas de las zonas para la optimización de la producción como medio de minimizar los posibles impactos negativos sobre el entorno.

6. Plan Regional de Ordenación de la Acuicultura en Canarias (PROAC), es un documento fundamental en el ordenamiento del litoral marino, reclamado por todos los sectores, y que deberá necesariamente compatibilizar la acuicultura con

otros usos productivos y la conservación de los recursos naturales, debiendo contar con la mayor participación y la máxima difusión posible.

7. Los indicadores propuestos son reconocidos como adecuados para el seguimiento ambiental de la acuicultura en jaulas.

2. Resultados Comunidad Autónoma de Valencia

Metodología.

Se realizó una reunión de expertos en la Universidad de Alicante con para dar a conocer el PVA propuesto y recoger la opinión de otros científicos con experiencia en el seguimiento de instalaciones de acuicultura, técnicos de empresas productoras y empresas de consultoría ambiental, y técnicos de la administración.

La metodología empleada en la reunión se dividió en tres fases:

1. introducción al problema en cuestión en base a los resultados del presente proyecto
2. Realización de cuestionarios elaborado por la Universidad de Las Palmas de Gran Canarias (grupo ECOMAS) bajo la supervisión de coordinador del proyecto de Indicadores.
3. Discusión de los aspectos más interesantes.

Resultados y principales conclusiones.

1. Los Planes de Vigilancia Ambiental deben ser asumibles económicamente para las empresas y deben adaptarse en sus exigencias al tamaño de la empresa y niveles de producción. Debe plantearse un PVA que sea adaptativo al impacto potencial de la actividad y reducir los procedimientos administrativos.
2. Los resultados de los PVA deben ser públicos.

3. Los indicadores propuestos son aceptados ampliamente, proponiendo otros alternativos de interés en determinadas circunstancias como son el acúmulo de antibióticos y la demandad biológica de oxígeno en sedimento.
4. Existe cierta discrepancia en la ausencia de un seguimiento de las características de la columna de agua, proponiendo la incorporación de medidas de clorofila a, nitratos y fosfatos, turbidez y presencia de lípidos en la interfase agua-atmósfera.
5. La definición de valores de referencia que sirvan para establecer la magnitud del impacto deben establecerse en base a los valores obtenidos en zonas control, ya que es muy difícil establecer valores para toda la Comunidad Valenciana debido a la gran variabilidad espacial.
6. Existe un sentir común en la necesidad de auditorías de la calidad de los planes de seguimiento realizados por las empresas de consultoría ambiental, o la realización de la contratación desde la administración, incorporando el coste de los PVA en los impuestos cobrados a las empresas productoras, evitando el fraude en los resultados presentados en los PVA.
7. Se considera interesante la realización de una inspección visual de la calidad ambiental en base ya sea mediante video o inspección directa por buceadores, donde se evalúe la presencia de residuos plásticos, pienso sin comer, peces muertos, restos de limpieza de fouling, presencia de mantos de *Beggiatoa* o la presencia de redes en mal estado que favorezcan los escapes. Este aspecto estará influenciado en gran medida por la visibilidad en el fondo de la instalación.
8. La mortalidad de aves y las interacciones negativas con mamíferos marinos deben ser considerados en el PVA.
9. Si existen problemas concretos de interacción negativa con pescadores, o la actividad acuícola se produce las inmediaciones de caladeros tradicionales de pescadores artesanales, la evaluación de las agregaciones de peces salvajes puede ser relevante y deben ser incluidos en el plan de seguimiento.

10. El control de los escapes debe ser prioritario y los datos deben ser reportados a la administración por parte de las empresas.

3. Resultados Comunidad Autónoma de Murcia

Metodología.

La Comunidad Autónoma de Murcia realizó el siguiente procedimiento en una reunión única con los expertos convocados:

1. Revisión bibliográfica y documental.
2. Identificación de errores, estrategias y herramientas.
3. Pre-selección de variables ambientales.
4. Estudios piloto.
5. Formulación de propuesta de protocolo en base a las consideraciones expuestas a continuación.

Resultados y principales conclusiones

Las modificaciones propuestas con respecto al PVA presentado fueron los siguientes:

1. Vigilar las acumulaciones visibles de fouling procedente de la limpieza de las estructuras de cultivo en la zona de efectos no permitidos
2. Vigilar las acumulaciones de cabos, sacos, herramientas, en la zona de efectos no permitidos y en sus inmediaciones.
3. Necesidad de una buena documentación de base (cartografías binómicas, batimétricas, topográficas submarinas, ...) para la localización de hábitats sensibles o prioritarios de conservación
4. Posibilidad de incluir en el seguimiento los escapes e ictiofauna asociada.

5. Control de la calidad del agua según criterios de la Directiva Marco del Agua: nutrientes y clorofila-a.
6. El protocolo propuesto se ajusta con claridad al impacto causado por la actividad.
7. El protocolo propuesto se ajusta a la situación económica del sector en cuanto a costes de realización, ya que contempla las variables estrictamente necesarias.
8. Dificultad de aplicación si no viene amparado por una normativa administrativa.
9. Necesidad de intercalibración en los métodos de medida, análisis, identificación faunística y toma de muestras.
10. Posibilidad de aplicar el índice BOPA en vez del poblamiento de poliquetos, basado en la respuesta de las especies o grupos taxonómicos a las perturbaciones.
11. Dudas acerca de los estándares de calidad relativos al poblamiento de poliquetos.
12. Posibilidad de hacer menos hincapié en la ZEP y aplicar más intensidad en la zona B.

Resultados comunes del proceso de valoración.

1. **Con respecto al PVA:** Un Plan Vigilancia Ambiental deben ser instrumentos para la información a la Administración y a los propietarios del tipo y grado de afección ambiental de la explotación. Un PVA claro y exclusivo para cada caso y explicativo de qué factores ambientales se deben controlar, qué variables se deben evaluar y con qué periodicidad. El PVA debe servir para simplificación y la actuación en tiempo de las administraciones competentes y verificar el cumplimiento de los objetivos planteado, debiendo disponer ésta de los medios adecuados para ello. Deben ser públicos y económicamente asumibles por las empresas. La unificación de los planes de vigilancia requiere no sólo un acuerdo sino un amparo jurídico para una aplicación eficaz. La eficacia de estos planes

requiere unas auditorías de la calidad por las empresas de consultoría ambiental, o la realización de la contratación desde la administración, incorporando el coste de los PVA en los impuestos cobrados a las empresas productoras, evitando el fraude en los resultados presentados en los PVA.

2. Con respecto al plan de Vigilancia Visual: Los indicadores de vigilancia visual propuestos fueron todos valorados positivamente, proponiéndose una vigilancia trimestral que podría estar asistido mediante video o inspección directa por buceadores dependiendo de la visibilidad del fondo de las instalaciones. Se propone añadir los restos de fouling como indicador en este plan de vigilancia visual. El control de los escapes debe ser prioritario y los datos deben ser enviados a la administración por parte de las empresas.

3. Zonificación de acción del PVA. Se ha propuesto una Zona de Efectos Permitidos (ZEP), que equivale a la concesión administrativa, sin embargo se requiere una mejor definición de la zona inmediatamente posterior (Zona B) ya que los 50 m podrían ser insuficiente y quizás un modelo dispersión de contaminante podría ser más eficaz. Sobre las zonas de control (C), se plantea la necesidad de tener 2 en lugar de 1, no zonas no impactadas y con características de sedimentos semejantes, a no menos de 500m de las zonas de granja o concesiones, preferiblemente una en contra y otra a favor de la corriente dominante y en todo momento tener en cuenta el preoperacional en nuevas evaluaciones del PVA.

4. Indicadores propuestos. Los indicadores de vigilancia sistemática propuestos fueron todos valorados positivamente, con especial incidencia en los valores biológicos (poliquetos). No obstante, se ha propuesto otros índices o estimadores con indicadores biológicos que podrían ser también útiles para valorar el grado de afección al sedimento. Se han propuesto ampliar con algunos indicadores que pudieran dar una alteración en las aguas y sedimento para complementar la información de los indicadores propuestos.

2.5. CONCLUSIONES

Las conclusiones materializadas en el Protocolo de PVA que se ha elaborado ha sido evaluado durante el año 2011 en dos tipos de talleres de expertos, en las CCAA y posteriormente en el Taller Nacional de expertos:

VARIABLES INDICADORAS. Fondos detríticos – sedimentarios: perfiles ecológicos y BIOENV

- Granulometría: fracción fina (< 65µm): descriptor del medio e indicador de enfangamiento.
- TFS: indicador causal (toxicidad – regresión).
- Poblamiento infaunal de poliquetos (familia; > 1mm): indicador de estado.
- COT o MO: indicadores de enriquecimiento orgánico
- pH y Eh: descriptores de la capacidad oxidativa del medio
- δ15N: indicador del origen del enriquecimiento orgánico y del alcance espacial.

Propuesta de Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) para instalaciones de jaulas marinas:

Opción 1:

- Granulometría, TFS y poliquetos.
- Adaptabilidad en función de evolución del medio, incrementando o disminuyendo la frecuencia y el nº de puntos de muestreo

Opción 2:

- Granulometría, TFS, poliquetos, COT, MO, pH-Eh y δ15N.
- Adaptabilidad en función de la evolución del medio, manteniendo o disminuyendo el nº de variables y/o la frecuencia de muestreo.

Existen diferencias interregionales en cuanto a criterios, contenidos, procedimientos y metodologías para los estudios de vigilancia ambiental.

En ocasiones, en la realización de los estudios de vigilancia ambiental se genera información poco útil, hay una pérdida de oportunidades y conocimiento y hay una gestión poco efectiva con riesgo de pérdida de sostenibilidad del sector.

Los resultados de este proyecto aportan herramientas y criterios específicos para tener un control efectivo sobre el medio donde se desarrolla la acuicultura, y uniformar los requerimientos exigidos por la administración,

tanto para la realización de los estudios ambientales previos al desarrollo de la actividad como para los programas de vigilancia a desarrollar en la fase operativa.

Los indicadores seleccionados en este proyecto son útiles para llevar a cabo estudios de afecciones ambientales y planes de vigilancia, forman parte de diseños de muestreo adecuados y sencillos, y contribuirán de manera eficaz a la protección del medio y a la sostenibilidad de la acuicultura.

La participación de las empresas de cultivos en este proyecto ha sido fundamental, ya que cada una de las Comunidades Autónomas participantes desarrolló una experiencia piloto con distintas empresas productoras.

A partir de los resultados obtenidos, las empresas dispondrán de criterios homogéneos para la realización de los estudios ambientales, lo que les facilitará la elaboración de los mismos y al mismo tiempo les permitirá tener un mayor conocimiento de las interacciones de su actividad con el entorno.

La transferencia de resultados al sector se ha materializado mediante la realización de paneles de expertos, con participación de las distintas administraciones, con competencia en materia de acuicultura y medio ambiente, y los distintos agentes o sectores involucrados en esta actividad.

Se ha realizado una coordinación de equipos e interrelación de grupos de investigadores de las Comunidades Autónomas participantes para la elaboración de los resultados y consenso de indicadores.

Se ha elaborado una Propuesta Metodológica para la realización de Planes de Vigilancia Ambiental de cultivos en granjas marinas.

Se han elaborado también protocolos de metodologías para cada uno de los indicadores propuestos para la vigilancia ambiental.

Se creará un grupo de trabajo en el seno de JACUMAR, que trabajará para elaborar una propuesta de homogeneización de los criterios para el seguimiento ambiental de las granjas marinas a nivel nacional y, si procede, la elaboración de normativa en este ámbito. A este grupo se invitará a participar a los responsables de medio ambiente de las CCAA, los responsables de acuicultura, los investigadores participantes en el proyecto, empresas participantes, y otros aquellos agentes que se consideren de interés para aportar conocimientos en este ámbito.

2.6. VALORACIÓN

La participación de las empresas de cultivos ha sido uno de los requisitos más importantes en este proyecto, ya que cada una de las Comunidades participantes desarrolló una experiencia piloto con distintas empresas productoras.

A partir de los resultados obtenidos, el Protocolo o Guía de PVA para el seguimiento ambiental de la acuicultura en jaulas marinas, se pretende que las empresas dispongan de una serie de criterios homogéneos para la realización de los estudios ambientales, lo que les facilitará la elaboración de los mismos y al mismo tiempo les permitirá tener un mayor conocimiento de las interacciones acuicultura – medio ambiente.

La transferencia de los resultados al sector se ha materializado mediante:

- La participación de empresas productoras en los trabajos del proyecto piloto en cada CCAA participante en el proyecto.
- La propuesta de indicadores para el seguimiento y la gestión ambiental de las instalaciones que mejoren la aceptación social de la actividad
- La transferencia de información y resultados del proyecto al sector, mediante la realización de una serie de paneles de expertos, en los que participaron las empresas, las distintas administraciones, con competencia en materia de

acuicultura y medio ambiente, y otros agentes o sectores involucrados en esta actividad.

- La elaboración del protocolo de Seguimiento ambiental de las instalaciones de cultivos marinos en jaulas, en el que se han desarrollado propuestas metodológicas que garanticen la uniformidad de los estudios ambientales y de los programas de vigilancia ambiental.

- La Interacción con otras actividades económicas (pesca artesanal, turismo, empresas consultorías ambientales, organizaciones ecologistas, administraciones regionales y locales) mediante los talleres de expertos.

Los resultados obtenidos y consensuados han permitido, mediante el proyecto piloto, los talleres de expertos y la implicación de los sectores empresarial y administrativo, consensuar un protocolo de PVA para el seguimiento ambiental de las instalaciones de cultivo en jaulas marinas.

En líneas generales el proyecto ha sido calificado en su globalidad de interés por parte del sector empresarial y la administración, ya que consideran necesaria una uniformidad en las exigencias administrativas a nivel estatal y el desarrollo de modelos ambientales sencillos y adaptados a su función.

2.7. DIFUSIÓN

En el año 2009 el proyecto ha sido presentado a la Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos (APROMAR), con el propósito de dar a conocer los objetivos que se pretenden conseguir con el desarrollo del mismo y recabar información sobre el interés del sector en cuanto a iniciativas medioambientales para un óptimo desarrollo de la actividad acuícola.

En octubre de 2009 tuvo lugar en Madrid, el I Foro de Planes Nacionales de Cultivos Marinos donde la coordinadora del proyecto, presentó este proyecto Plan Nacional de Selección de Indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para

estudios ambientales en acuicultura marina, seleccionado por la Secretaria de Pesca dentro del marco de medio ambiente.

Congresos y publicaciones:

- C. Carballeira, F. Aguado-Giménez, N. González, P. Sánchez-Jerez, J.M. Texeira, J.I. Gairin, A. Carballeira, B. García-García, V. Fernández-González, J. Carreras, J.C. Macías, D. Acosta, C. Collado (2011) .Determinación de los umbrales, de las variables geoquímicas de sedimentos, indicadores del impacto generado por los cultivos marinos en mar abierto, mediante técnicas de análisis de gradientes ambientales. XIV Foro Recursos Marinos y Acuicultura de las Rías gallegas.
- Carballeira, F. Aguado-Giménez, N. González, P. Sánchez-Jerez, J.M. Texeira, J.I. Gairin, B. García-García, V. Fernández-González, J. Carreras, J.C. Macías, D. Acosta, C. Collado (2011). Utilización de “perfiles ecológicos” para la selección de variables geoquímicas de sedimentos marinos como indicadores del impacto ambiental generado por los cultivos marinos en mar abierto. XIII Congreso Nacional de Acuicultura.
- E. Martínez-García, A. Carballeira, F. Aguado-Giménez, N. González, P. Sánchez-Jerez, D. Acosta, J.I. Gairin, C. Carballeira, B. García-García, J.L. Sánchez-Lizaso, J. Carreras, J.C. Macías, D. Acosta, C. Collado (2011). Meta-análisis de los cambios en la estructura del poblamiento de poliquetos debido a la actividad de engorde de peces en jaulas flotantes en las costas españolas. XIII Congreso Nacional de Acuicultura
- C, I. Carballeira Viana, Rey-Asensio A., Carballeira A. Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: bioensayos de fertilidad in situ. XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura de las Rías gallegas. O Grove, Galicia, España, 7 y 8 de octubre de 2010.
- M.R., C de Orte, Carballeira y A. Carballeira. Desarrollo de un bioensayo miniaturizado de microalgas para evaluar la ecotoxicidad de vertidos marinos: aplicación a piscifactorías marinas instaladas en tierra. Comunicación congreso, XVII Simpósio de Botânica Criptogâmica. Tomar (Portugal), 23 y 26 de Septiembre de 2009.
- González Viana I., A. Rey-Asensio & A. Carballeira. Eliminación de “discos fantasmas” en bioensayos con ulva sp. XVII Simpósio de Botânica Criptogâmica. Tomar (Portugal), 23 y 26 de Septiembre de 2009
- C. Carballeira, Martín-Díaz M.L. y Del Valls T. A. Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: biomarcadores moleculares en mejillón nativo. XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura de las Rías gallegas. O Grove, Galicia, España, 7 y 8 de octubre de 2010.
- C. Carballeira Espinosa J. y Carballeira A. Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: Alteraciones histológicas en moluscos nativos y trasplantados. XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura de las Rías gallegas. O Grove, Galicia, España, 7 y 8 de octubre de 2010.
- Rey-Asensio A., I. González Viana, J.B. Cremades & A. Carballeira. Bioensayo de colonización de sustratos artificiales como una medida de alteración

de la integridad ecológica en el medio marino. XVII Simpósio de Botânica Criptogâmica. Tomar (Portugal), 23 y 26 de Septiembre de 2009.

- C.A. de Andalucía. Estudio de indicadores ambientales en granjas de acuicultura en tierra en la región Sur-Atlántica. XII Congreso Nacional de Acuicultura 2009. Madrid, 24-26 noviembre de 2009

Artículos publicados en revistas científicas:

- C. Carballeira, L. Martín-Díaz, T.A. DeI Valls. (2011). Influence of salinity on fertilization and larval development toxicity tests with two species of sea urchin. Marine Environmental Research In Press, Accepted Manuscript, Available online 5 September 2011.
- I.G. Viana, J.A. Fernández, J.R. Aboal, A. Carballeira. Measurement of ¹⁵N in macroalgae stored in an environmental specimen bank for regional scale monitoring of eutrophication in coastal areas. (2010). Ecological Indicators 11 (2011) 888–895.
- Panel de expertos sobre seguimiento ambiental de cultivos marinos. Revista especializada web: <http://www.ipacuicultura.com> IPacuicultura.
- Expertos presentan propuesta de Plan de Vigilancia Ambiental para la acuicultura web: <http://www.ipacuicultura.com> IPacuicultura.

Talleres de Trabajo:

- **Panel de expertos regional** en las CCAA (junio-julio-septiembre 2011)
- **Panel de expertos nacional:** II Foro Nacional de Planes de Cultivos Marinos (JACUMAR). Noviembre 2011 Castelldefels (Barcelona).

2.8. INCIDENCIAS DE DESARROLLO

Las propias de trabajar en instalaciones de empresas y en mar abierto.

Cambio de coordinador en el último año por motivos de denuncia del Convenio entre la entidad coordinadora y la gestora económica.

2.9. BIBLIOGRAFÍA

- Del Valls, A. (2007): Diseño y aplicación de modelos integrados de evaluación de la contaminación y sus efectos sobre los sistemas marinos litorales y la salud humana. Serie Investigación. Ed. Ministerio de la Presidencia (CEPRECO).
- Díaz-Almela, E., N. Marbá, E. Álvarez, R. Santiago, M. Holmer, A. Grau, S. Mirto, R. Danovaro, A. Petrou, M. Argyrou, I. Karakassis and C. Duarte. - 2008. Benthic input rates predict seagrass (*Posidonia oceanica*) fish-farm induced decline. Mar. Poll. Bull. 56(7): 1332-1342.

- Hargrave, B.T., Holmer, M., Newcombe, C.P. (2008). Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biogeochemical indicators. *Mar. Poll. Bull.* 56(5): 810-824.
- Holmer, M., Argyrou, M., Dalsgaard, T., Danovaro, R., Díaz-Almela, E., Duarte, C.M., Frederiksen, M., Grau, A., Karakassis, I., Marbà, N., Mirto, S., Pérez, M., Pusceddu, A., Tsapakis, M. (2008). Effect of fish farm waste on *Posidonia oceanica* meadows: synthesis and provision of monitoring and management tools. *Mar. Poll. Bull.* 56: 1618-1629.
- Tett, P., Gowen, R., Mills, D., Fernandes, T., Gilpin, L., Huxham, M., Kennington, K., Read, P., Service, M., Wilkinson, M., Malcolm, S. (2007): Defining and detecting undesirable disturbance in the context of marine eutrophication. *Marine Pollution Bulletin* 55:282-297
- Underwood (1997): *Experiments in ecology. Their logical and interpretation using analysis of variance.* Cambridge Univ. Press.

3.- ANEXOS CON LOS INFORMES DE LAS DISTINTAS CCAA (estos informes podrán tener el formato que determine cada CCAA, incluidos sus logotipos oficiales).

**PROPUESTA DE CONTENIDOS Y
METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE
PROGRAMAS DE VIGILANCIA AMBIENTAL
EN INSTALACIONES DE ACUICULTURA EN
MAR, EN ANDALUCÍA.**

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la acuicultura presenta retos importantes como es el poder satisfacer la creciente demanda de alimento de origen marino en la sociedad, la mejora en la calidad de producción y la sostenibilidad ambiental entre otros. En la actualidad, son cada vez más, los países desarrollados donde se están imponiendo las restricciones sobre el uso de sustancias químicas, así como la introducción de programas de seguimiento de residuos, contaminantes, etc (Martí et al, 2005). La industria de la acuicultura tiene por objeto garantizar las condiciones ambientales favorables para los peces de piscifactoría con el fin de promover la salud de los peces y el crecimiento óptimo de los mismos (Torrent y Sánchez, 2001). Además, debe evitar los impactos ambientales innecesarios de las granjas de peces, o que las actividades de la acuicultura puedan dañar de forma irremediable el entorno.

El estudio de las zonas costeras, como las actividades que en ellas se realizan, concretamente la acuicultura en nuestro caso, es esencial si se quiere comprender la dinámica de los procesos e interacciones que allí se producen tanto a nivel ambiental, económico y social. Todas las actividades humanas ejercen cierta influencia sobre el medio que las rodea, y la acuicultura no es una excepción. Si bien la mayoría de las prácticas acuícolas han tenido poco efecto negativo en los ecosistemas circundantes, incluso a veces se las ha considerado beneficiosas, es también cierto que se han dado algunos casos de degradación del medio ambiente en zonas costeras, debidos por ejemplo a operaciones intensivas de cultivo en jaulas en el Norte de Europa y el cultivo de langostinos en el Sudeste Asiático y América Latina. Los principales problemas medioambientales relacionados con las instalaciones de acuicultura derivan de la descarga de nutrientes en dilución, emisión de desechos tales como alimento no ingerido, heces, peces muertos, etc., que se pueden acumular en el sedimento cercano a las jaulas (Gowen y Bradbury, 1987; Gowen, 1991; Iwama, 1991; Wu, 1995; Karakassis et al., 2000; Hermosilla et al., 2005; Belias et al., 2007).

El impacto medioambiental de una piscifactoría depende en gran manera de la especie, el método de cultivo, la densidad, el tipo de alimentación y las condiciones hidrográficas (Borja, 2002). Pero también depende de la sensibilidad de un determinado ecosistema y la resistencia que tenga el mismo a la hora de hacer frente a dichos vertidos o cargas. Además, las instalaciones de acuicultura en jaulas flotantes actúan como un elemento atrayente para especies piscícolas salvajes (Dempster et al., 2002, 2005), proporcionándoles un lugar donde esconderse de predadores y aporte alimentario (Carss, 1990; Dempster et al., 2004).

En los últimos años se han venido desarrollando tanto a nivel nacional como regional diversos estudios dirigidos a conocer los efectos ambientales derivados de la actividad acuícola. Estos estudios plantean como base el desarrollo de un seguimiento ambiental específico para evaluar y cuantificar los cambios ecológicos del medio acuático en el que se desarrollan estas actividades, identificando alteraciones y estableciendo medidas correctoras para minimizarlos.

Se están llevando a cabo estudios, programas, etc., que tienen por objetivo definir una serie de parámetros indicadores asociados a la evaluación de la calidad y el estado del medio marino ligado a las instalaciones de acuicultura. Diversas instituciones y universidades españolas han realizado estudios en lo que tratan de desarrollar metodologías para la evaluación del impacto ambiental de las jaulas flotantes observando parámetros químicos, físicos y biológicos que pudieran verse afectados por los aportes de excesos de alimento no ingerido, heces, peces muertos, etc. De esta forma, se concretan las bases sobre las que diseñar futuros planes de seguimiento ambiental, junto a los protocolos de métodos y medidas a evaluar para ver el estado del medio marino ligado a la actividad acuícola. Además de tales

estudios saldrán los valores límites o referencia de los parámetros que sean adecuados para su uso como indicadores del estado del ecosistema.

Es necesario por tanto establecer unos criterios aplicables al ámbito regional y que terminen de una vez con la amalgama de diferentes requerimientos que se solicitan a las empresas del sector en nuestra comunidad y que promueven la confusión tanto de las empresas dedicadas a la acuicultura como de la propia Administración a la hora de evaluar dichos informes y actuar en consecuencia.

En general, la mayoría de estudios muestran cierta afección en un radio comprendido entre los 50 y 150 m alrededor de las jaulas de cultivo en el caso de instalaciones en mar abierto (Angel et al., 1995, Beveridge, 1996; Pearson y Black, 2000; Chelossi et al., 2003; Sarà et al., 2004 y 2006; Porrello et al., 2005). No obstante estas distancias pueden variar dependiendo de las características hidrológicas, oceanográficas, climatológicas, la batimetría, corrientes etc. existentes en la ubicación de la instalación. En general, si se sobrepasa la capacidad de asimilación de los ecosistemas, los desechos de las piscifactorías (restos de comida, peces muertos y heces) (Vite et al., 2004b) pueden originar un enriquecimiento en nutrientes (Aguado-Gimenez y García-García, 2004; Karakassis et al., 2005) e incluso eutrofización de las aguas circundantes (Persson, 1991), y en mayor medida del sedimento cercano a estas instalaciones donde pueden observarse efectos tales como un incremento en la demanda de oxígeno, episodios de anoxia, gases tóxicos, cambios en las comunidades bentónicas así como una disminución de la diversidad de dichas comunidades (Wu et al., 1994; Mermillod-Blondin et al., 2005), aumento de la infauna bentónica y del ratio de degradación de materia orgánica (Hansen y Blackburn, 1992; Kristensen et al., 1992), enriquecimiento orgánico (Belias et al., 2007). Sin embargo, y asumiendo que necesariamente existirá un impacto, lo deseable será que dicho impacto sea limitado, manteniendo la zona en una situación de transición según la clasificación anterior. Incluso, estos restos sólidos que caen desde las jaulas pueden originar cambios físicos en el sedimento que provocan alteraciones de la granulometría, cambios en las propiedades impermeabilidad-porosidad que afecten a la flora y fauna, principalmente comunidades bentónicas allí representadas.

En cuanto a la flora, principalmente praderas de fanerógamas marinas (*Posidonia oceánica*, *Cymodocea nodosa*, etc), se puede ver afectada por el material sólido particulado que quede flotando en la columna de agua (sólidos en suspensión), el acúmulo de materia orgánica (Cancemi et al., 2003).

Finalmente, aunque la acuicultura marina, en comparación con otros sectores productivos y otras actividades que utilizan el litoral, puede tener un menor efecto sobre el medio ambiente, es obvio que producirá algún impacto como se ha visto, y por ello, para asegurar el respeto a los valores medioambientales del entorno donde se realiza y cumplir sin fisuras los principios del desarrollo sostenible, lo importante será conocer cuáles pueden ser estos impactos para tratar de corregirlos y en su caso minimizarlos con el objetivo de garantizar unas condiciones de vida de los peces de cultivo, así como para prevenir efectos inaceptables en los alrededores.

De esto se extrae que es necesario la realización de un Seguimiento o vigilancia ambiental periódica y sistemática para proporcionar una visión general de los posibles cambios en las condiciones del fondo marino en las zonas donde afecten instalaciones de cría de peces y así determinar su origen y poder actuar en su corrección o eliminación si es posible.

Ámbito de aplicación

Con este protocolo se pretende eliminar el alto nivel de arbitrariedad por el cual se rigen las exigencias de los diversos Planes de Vigilancia Ambiental, Estudios de

Impacto Ambiental, Informes ambientales, etc., que son exigidos por las Administraciones a las empresas del sector. El objetivo es establecer unas normas que controlen que es lo que se exige a cada empresa en función de lo que puedan contaminar o no. Esta actuación redundará en un beneficio tanto material por el posible ahorro de costes al analizar parámetros que no aporten información válida como de tiempo empleado por las empresas del sector en realizar dichos Planes de Vigilancia Ambiental como las Administraciones al poder evaluarlos.

Estos protocolos forman una guía que informa sobre los parámetros a estudiar en cada caso y cuál es el método apropiado para ello. Además informan de cuál es la periodicidad para realizar el seguimiento. Éste se estructura en tres niveles o tipos fundamentales de seguimiento en función del tamaño de producción de las empresas. No obstante, dependiendo de los resultados obtenidos en el estudio que le corresponda se podrán exigir un mayor número de parámetros o por el contrario reducirlo siempre hasta la base del estudio tipo asociado a su producción.

Normativa Legal

LEY 1/2002, de 4 de abril, de ordenación, fomento y control de la Pesca Marítima, el Marisqueo y la Acuicultura Marina (Junta de Andalucía, BOJA 45/2002).

REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

Acuerdo Colectivo Marco para la Acuicultura Marina Nacional (BOE num.21, 24 de enero de 2007).

Estas normativas promueven un marco amplio de actuación en el cual queda a expensas de la Administración con competencias en Medio Ambiente el especificar concretamente que es lo que se va a exigir a las diferentes empresas.

Definiciones

Valor umbral

Valor de un parámetro por encima del cual se constata que se está produciendo un impacto en el medio ambiente que lo rodea dentro de un Plan de Vigilancia Ambiental.

Localización de la granja de peces

Área aprobada para la instalación de las jaulas de la granja piscícola, incluyendo estructuras tanto emergidas como sumergidas necesarias para su establecimiento.

Programa de Vigilancia Ambiental

Conjunto de campañas de muestreos, mediciones de los parámetros elegidos para la monitorización ambiental que detectan los posibles efectos ambientales de las granjas de peces.

El Programa de Vigilancia Ambiental se compone de tres tipos diferentes de investigaciones según sea el nivel de producción de la granja piscícola y su posible nivel de contaminación.

Destinatario

Cuerpo de agua o fondo marino (sedimentos) que reciben los aportes de material tanto de origen natural, como el que se puede producir por vertidos procedentes de la acuicultura o de aportes terrígenos de origen antropogénico.

Plan de Vigilancia Ambiental

Estos protocolos y normas se basan en la relación directa que existe entre los vertido tanto sólidos como líquidos (restos de comida, heces, etc.) generados por una granja de peces y la respuesta del medio ambiente a ese aporte. Esto se manifiesta principalmente en las proximidades de la piscifactoría. Las condiciones ambientales y los niveles de tolerancia asociados son muy variables en las aguas marinas. Por lo tanto, es importante tener claro cuales parámetros son los que se pueden utilizar como indicadores de estos efectos, así como sus valores umbrales o de referencia que nos ayuden a comprender en que grado estas afecciones son perjudiciales o no.

Los principios para la regulación de los impactos ambientales se pueden resumir de la siguiente manera:

- Se vigilan y estudian los efectos ambientales en la zona de estudio, no sólo el volumen de los aportes procedentes de la granja.
- La intensidad de la vigilancia se adapta a la extensión e intensidad del impacto.
- El sistema debe ser flexible para que permita que nuevos estudios en el futuro sean aplicados con la posibilidad de que los parámetros, estrategias, distancias de afección, etc., puedan ser sustituidos o modificados según corresponda de acuerdo a los avances en el conocimiento o nuevas normativas legales.

Tipos de Plan de Vigilancia Ambiental (PVA)

Los diferentes tipos de PVAs que se exigen, se han clasificado y determinado atendiendo al nivel de producción de las empresas de acuicultura marina en jaulas.

Tabla 1: Tipos de Planes de Vigilancia Ambiental.

Producción	Menos de 500Tn	Entre 500 y 1000Tn	Más de 1000Tn
Tipo de PVA	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3

Las zonas afectadas

Los aportes de una granja de peces consisten en partículas de gran tamaño (bolitas de desperdicio de alimento y heces), pequeñas partículas en suspensión (polvo de los piensos y restos de heces rotas) y material disuelto (nutrientes, orgánicos compuestos, etc.). Estos tipos de aportes tienen diferentes potenciales cinéticos de dispersión, y afectan a la columna de agua y al fondo marino a diferentes distancias de la piscifactoría.

Como es lógico, los mayores impactos se detectarán en la zona justo bajo las jaulas para ir disminuyendo su influencia a medida que nos alejamos de las mismas. No obstante, esta tendencia puede verse alterada por diversos factores como pueden ser la propia orografía del fondo, la intensidad y dirección de las corrientes, riadas provenientes de los ríos, emisarios, etc. Alrededor de las instalaciones de cría de peces en jaulas en mar abierto se pueden detectar varias zonas, las cuales están afectadas en diferente grado (ver Tabla 1). La tabla da información sobre la definición de las zonas del estudio, la fuente de impacto y los posibles impactos potenciales.

Tabla 2: Resumen de las zonas de impacto

	Zona de Impacto bajo las jaulas	Zona de impacto intermedio	Zona Control
Definición	El área bajo y cerca de las jaulas de una granja de peces, donde la mayoría de las partículas de mayor tamaño se depositan. Esto no suele extenderse más allá de 25 metros de la jaula	Zona comprendida entre la zona de impacto local y la zona de impacto regional, donde se produce la sedimentación de las partículas más pequeñas. Esta zona se comprende entre los 50-100mt de distancia de las jaulas y en dirección de la corriente predominante.	Área más allá de la zona intermedia de impacto. Esta área se sitúa normalmente a 800-1000mt de distancia en dirección de la corriente predominante.

Fuente del impacto	Granja de peces	La granja de peces es la principal fuente del impacto, pero otros factores también podrían contribuir.	La granja de peces es una de las varias fuentes de impacto, aquí también influyen aportes de origen diverso
Impacto potencial	Cambios marcados en comunidades de fauna bentónica y condiciones químicas y físicas del fondo marino.	Gradualmente menos impacto que en las zonas más cercanas	Posibilidad de que no se produzcan impactos o si ocurren se encuentren por debajo del nivel de significación
Pradera de Fanerógamas marinas	Cambios importantes en la cobertura, y densidad de haces.	Cambios importantes en la cobertura, y densidad de haces.	Cambios importantes en la cobertura, y densidad de haces.

Periodicidad de las Campañas de muestreos en los PVAs

La frecuencia de las campañas de muestreo que componen el estudio ambiental a lo largo de un año se determinarán en función del tipo de PVA exigido a la empresa, además deberá coordinarse con el ciclo de producción que dicha empresa tenga, con el objetivo de adaptarnos de la mejor forma posible a los momentos de mayor y menor impacto posible. De esta forma podremos observar diferencias, establecer patrones y pautas ya sean naturales por el propio ciclo biológico de las especies o alteradas por los aportes derivados de las actividades humanas en el entrono marino susceptible de ser afectado.

Una de las campañas que conformen el PVA de un año debe realizarse en el momento de máxima producción de la granja obligatoriamente. El resto de campañas se distribuirá a lo largo del año, intentando que una de las campañas restantes coincida con el momento de menor producción y contenido de peces en las jaulas.

Tabla 3: La frecuencia de los muestreos tipo 1, 2 y 3 en relación a los impactos potenciales.

Tipo de muestras	Nivel de Seguimiento ambiental		
	PVA Tipo 1	PVA Tipo 2	PVA Tipo 3
Fisco-Química	Cada 6 meses	Cada 3 meses	Cada 3 meses
Endofauna	Sólo si lo determina la Autoridad Ambiental autorizada, entonces se realizaría cada 6 meses	Cada 6 meses	Cada 6 meses
Pradera de Fanerógamas marinas	Se estudiarán si se localizan a menos de 500mt en bahías cerradas y 800mt en aguas abiertas. Cada 6 meses.	Se estudiarán si se localizan a menos de 500mt en bahías cerradas y 800mt en aguas abiertas. Cada 6 meses.	Se estudiarán si se localizan a menos de 800mt en bahías cerradas y 1km en aguas abiertas. Cada 6 meses.

Nota: En los muestreos que tengan una periodicidad de 6 meses, éstos se llevarán acabo en las fechas de mayor y menor producción de la granja a lo largo del ciclo anual de las mismas.

No obstante, antes de que una jaula se utilice para el cultivo de peces, se ha de realizar un estudio del estado ambiental de la zona de ubicación de las jaulas para poder obtener un estado CERO del ecosistema bajo las mismas. Este estudio proporciona una serie de datos de las condiciones medioambientales previas a la granja, las cuales, cuando las comparamos con posteriores estudios, revelará la medida en que la piscifactoría afecta al medio. Este estudio se llevará a cabo según la tipología del PVA asignado en función de la producción estimada y en la época en la que tendrían la máxima producción.

Si por diversos inconvenientes no se puede realizar esta primera campaña de muestreo CERO se asumirá que la campaña realizada en la época de menor producción es la inicial.

El aumento de la producción de las granjas de peces en mar abierto implica un mayor número de muestras, pero también puede ser ampliado para incluir parámetros adicionales tales como medicamentos (compuestos antiparasitarios y antibióticos), nitrógeno total, carbono orgánico total, fósforo total, azufre, zinc, cobre, etc.

Los programas de seguimiento deberían ser evaluados regularmente y ajustados de acuerdo a los resultados obtenidos. Así, a la finalización de cada campaña de muestreo se deben remitir los resultados de la misma como muy tarde 1 mes antes de la posterior campaña del mismo PVA. Este periodo entre la entrega del informe de una campaña y la realización de la siguiente servirá para la evaluación de los resultados obtenidos por las autoridades competentes y en base a ello podrán decidir cambios en posteriores muestreos o las sanciones, advertencias o diligencias que estimen oportunas.

Cartografía

En los distintos Planes de Vigilancia Ambiental se debe presentar una cartografía detallada con la localización de las jaulas y de los puntos de muestreo en las tres zonas especificadas anteriormente. Además se incluirán otros elementos de relevancia para el estudio como pueden ser emisarios submarinos, zonas de extracción de áridos, etc., que puedan afectar a los parámetros a medir. Se debe representar en los mapas la batimetría de los mismos.

Los siguientes mapas y cartas son se proporcionan a la puesta en marcha del programa de vigilancia:

- Mapa que muestra el sitio y la posición de la piscifactoría. Además, un mapa hidrográfico original se pondrá a disposición, que abarca el sitio y su sus alrededores.
- Mapa donde se muestre la batimetría de la costa. El mapa debe abarcar la granja y las zonas de muestreo intermedia y control.
- Mapa que muestra la forma y dimensiones de la piscifactoría, que comprende el número, longitud, anchura y diámetro de las jaulas y la distancia entre las jaulas. Se muestran los contornos de profundidad.

Estas cartas y mapas sólo se deberán presentar en la primera campaña del PVA del año, a menos que durante ese año se varíen localizaciones de los elementos que conforman el PVA (jaulas, puntos de muestreo, etc). En tal caso habría que presentarlos en la campaña correspondiente. Posteriormente si no sufren nuevas variaciones el protocolo de presentación de los mismos vuelve a adaptarse a la primera campaña del PVA en el siguiente año.

Localización de las zonas de estudio:

Cada campaña consta de la toma de muestra en las diferentes zonas de estudio. Estas se localizarán en función de la dirección de la corriente predominante observada en las jaulas y a diferentes distancias. Estas zonas son:

- Zona de impacto bajo las jaulas (Ej. A).
- Zona de impacto intermedio: a 50-100mt en la dirección de la corriente predominante (Ej. B).
- Zona control: a 800-1000mt de las jaulas en la dirección de la corriente predominante (Ej. C).

En cada una de las zonas se determinarán 3 estaciones, referenciadas geográficamente (Ej. C1, C2 y C3). Dentro de cada estación se tomarán 3 puntos al azar para la toma de muestras (Ej. C21, C22 y C23).



Esquema diseño zonas y puntos de muestreo

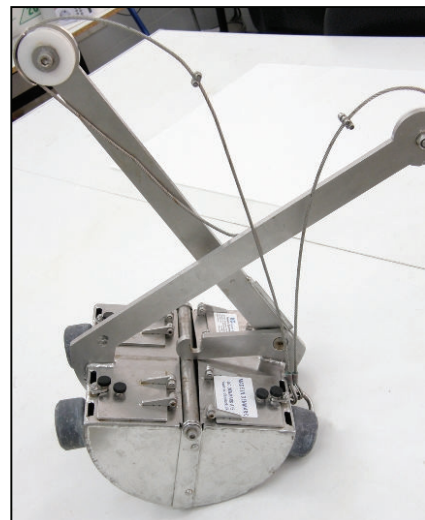
A la hora de establecer las zonas de impacto, intermedia y control, se deben tener en cuenta una serie de consideraciones de manera que, tanto las zonas como los puntos de muestreo deben ser, en la medida de lo posible, homogéneos en cuanto a profundidad y naturaleza del sustrato, con el fin de evitar detectar diferencias producidas por otros factores que puedan enmascarar las afecciones propias de la actividad o inculpar indebidamente al sector de la acuicultura por algo de lo cual no sean los responsables. Así mismo, es importante tener en cuenta la ausencia o no de cualquier otra fuente de impacto en las proximidades de las zonas de estudio. En el caso que las hubiera deben ser caracterizadas y cuantificadas con el objeto de poder separar, en la medida de lo posible, su influencia de la que se puedan producir desde la granja de peces.

Muestreos:

Antes de comenzar las campañas de muestreo se debe contar con la experiencia de los responsables de la empresa así como con su personal técnico, los cuales pueden ser un importante elemento a la hora de establecer la localización exacta de las zonas de muestreo y por ende de las estaciones de muestreo y así cumplir las recomendaciones del Plan de Vigilancia Ambiental. Además, contar con su apoyo y colaboración resulta esencial para entorpecer en el menor grado posible la propia actividad de la granja.

- Metodología de muestreo:

En cada una de las zonas de muestreo, A, B y C se toman muestras de 3 estaciones (Ej.: A1, A2, A3, etc.). Posteriormente cada una de esas estaciones dentro de una zona se replica 3 veces. (Ej.: A11, A12, A13, etc). Con lo que al final obtenemos 9 estaciones de muestreo, 3 en cada zona, y con 3 réplicas en cada estación (27muestras/campaña e instalación).



Draga Van Veen para la recolección de muestras de sedimentos

Para la obtención de las muestras de sedimento destinadas a medir los parámetros fisicoquímicos se utilizó una draga Van Veen de 20x20cm. Esta draga se lanzó desde la embarcación. Una vez izada, se toman datos de pH y Temperatura directamente de la draga. Para este cometido se pueden utilizar diversos ph-metros (Ej. Crison mod.25 con el sensor 50 51 T electrodo de pH, con sensor de temperatura Pt1000 incorporado, para medios difíciles). De cada draga que se iza



Ej. ph-metro Crison mod.25 con los sensores 50-51 T electrodo de pH

se toman tres réplicas tanto de pH como de Temperatura.

Finalizada la toma de datos de pH y Temperatura se extrae de la draga mediante una jeringa capada una submuestra superficial (0-2cm de profundidad) para la determinación de los Sulfuros (Wildish, et al 1999). Se extraen unos 5cc de sedimento con la jeringa capada. La jeringa se conserva a -18°C



Jeringas capadas usadas para la toma de muestras en la determinación de sulfuros

en nevera hasta su llegada a puerto o al laboratorio donde son los sulfuros. No demorar su análisis más de 1 día.

Una vez tomada la jeringa capada y almacenada se procede a realizar las 3 réplicas de las muestras de sedimento para el estudio de la composición granulométrica y la materia orgánica llenando 3 botes de 1/2litro con el sedimento subido por la draga. Estos botes se almacenan en frío y oscuridad para su traslado al laboratorio.

Este procedimiento se repite en cada una de las estaciones de muestreo, en total 9 veces por cada campaña de muestreo en cada instalación.

En el caso que sea necesaria la toma de muestras para Endofauna, una vez realizada la toma de muestras para el estudio fisicoquímico del sedimento se toman las muestras destinadas al estudio de la endofauna. En ese mismo



Tamizado de muestras para endofauna

punto de muestreo de la estación correspondiente lanzamos la draga 3 veces más. Al subirla el contenido se vierte sobre unos tamices con diferente luz de maya (de más gruesa a más fina), el último con maya fina de 0.5mm para eliminar los fangos. Lo que quede retenido en el tamiz de luz más fina se introduce en un bote de 1litro al que se le añade formol neutralizado al 4% para su conservación. Repetid este proceso con cada uno de los 3 lances de la draga para cada punto dentro de cada estación de muestreo.

A continuación se expone el protocolo de muestreo por pasos:

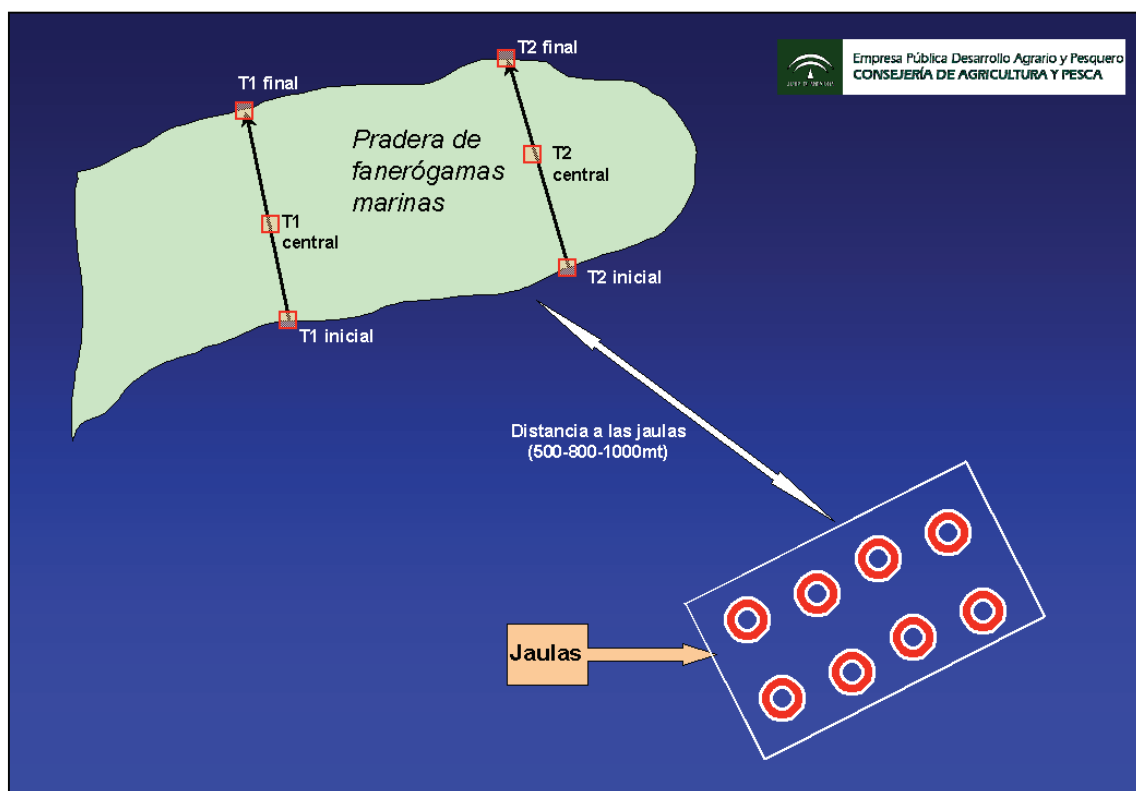
1. Lanzar la draga para recoger el sedimento.
2. Una vez subida la draga, ésta se abre un poquito y se toman 3 medidas (réplicas) de pH y de Temperatura pinchando con el sensor en el sedimento.
3. Recoger con jeringa "capada" 5ml de sedimento de la capa superficial.
4. Guardar la jeringa en congelador a 18°C hasta su medición en puerto o laboratorio.
5. Rellenar 3 botes (duquesas) de 1/2litro con el sedimento recogido por el primer dragazo, rotularlos y conservarlos en nevera. Total 27 botes de sedimentos en la campaña.
6. Lanzar la draga otras 3 veces en el mismo punto para la endofauna. Al subir la draga, tamizar su contenido siendo la malla de menor luz la de 0.5mm. Verter lo que quede contenido en esta última malla en un bote duquesa tapón negro de 1litro, añadir un poco de formol al 4% y rellenar con agua para su conservación. Haced esto con cada

una de los 3 lances. En total saldrían 3 botes de 1litro de endofauna por cada punto y 9 botes en cada estación a las distancias A, B y C. Total 27 botes de endofauna en la campaña.

Si además es necesario el estudio de las praderas de fanerógamas marinas, éste se desarrollará mediante la técnica de transectos, que permite un seguimiento adecuado de la evolución de la pradera, obteniendo así una visión global de la misma.

En la pradera objeto de estudio se realizarán al menos 2 transectos perpendiculares al eje mayor de la misma. En cada uno se determinan tres estaciones de muestreo:

- zona inicial (límite más profundo de la pradera)
- zona central
- zona final (límite menos profundo de la pradera)



Esquema del diseño de los transectos y puntos de muestreo en praderas cercanas

En cada estación de muestreo se realizarán medidas de los siguientes parámetros, cobertura y Densidad de haces.

- **Grado de Cobertura de la pradera:** En cada uno de los puntos de muestreo las medidas se realizan mirando a través de un cuadrado de 30x30cm a una altura de 3 metros desde la pradera. Este cuadrado va acoplado a la cámara de fotos e irá dividido en 9 cuadrantes más pequeños. Se realizan 20-25 fotografías por punto o estación de muestreo y las imágenes se valorarán en ordenador para la estimación de su cobertura mediante análisis de imagen. Las imágenes se analizan sobre una plantilla en el ordenador, que a su vez divide en 4 cada uno de los 9 cuadrantes en los que está dividido el cuadrante de 30x30cm. Se observa la presencia o ausencia en cada uno de esos 4 subdivisiones de uno de las 9 divisiones del marco. Así se establecen los grados de 0, 25, 50, 75% de cobertura para cada división de las 9 del marco. Con todos los datos del marco de 30x30cm (9 divisiones) se hace una media para estimar la cobertura observada en una fotografía. Se repite el proceso para las fotografías restante de un mismo punto de muestreo. Posteriormente se calcula la cobertura media para dicho punto mediante la media de los valores de las fotografías correspondientes.
- **Densidad de haces:** En cada estación de muestreo se tomarán un mínimo de 3 réplicas de densidad de haces con los marcos de 50x50cm. Estos marcos se dividen en 4 cuadrados de 25x25cm y se anota el número de haces en cada uno de ellos. En total se tendrían al menos 12 medidas de densidad para cada punto (4 medidas por réplica). Posteriormente, con los datos obtenidos, se estima la densidad media de la estación de muestreo correspondiente.

Protocolos de laboratorio:

Granulometría:

Este procesado debe ser realizado por el método de tamizado en húmedo (Buchanan, 1984). Los botes con el sedimento se vierten en un cuenco cerámico que se coloca en estufa a 100°C durante 24hrs para secar la

muestra. Posteriormente se extrae de él una cantidad de entre 100-150gr para la determinación de la composición granulométrica. El resto se conserva para posteriores análisis.

La parte extraída se hace pasar por un tamiz de 0.063mm, lavándola con agua para así eliminar limos y arcillas, hasta que el agua salga limpia. Posteriormente lo que quede retenido en ese tamiz se pasa a un cuenco y se mantiene 24hrs en estufa entre a 100°C. Una vez seca se hace pasar lo que nos quede por una batería de tamices ordenada desde el grano más grueso (grava) al más fino (limos y arcillas). La luz de malla de los tamices empleados así como su colocación en la columna en orden descendente son: 2mm, 0.5mm, y 0.063mm, así obtendremos la cantidad de gravas, arenas gruesas, arenas finas y limos y arcillas, respectivamente. Una vez tamizada la muestra se pesa el contenido retenido en cada tamiz. La cantidad de limos y arcillas se obtiene de restarle a la cantidad inicial de muestra la suma de lo retenido en cada tamiz tras pasarlo por la tamizadora automática. A continuación se expone el protocolo seguido:

1. Descongelar los botes de la muestra (si está congelada).
2. Vaciar unos 300cc (lo que haya en el bote) de sedimento de cada bote en un cuenco de cerámica y rotular el cuenco.
3. Secar la muestra de los cuencos en estufa a 100°C durante 1 día (24h).
4. Coger 100-150gr de la muestra seca y se retira la porción de limos y arcillas lavándola en un tamiz de 0.063mm. Verter lo que te quede de nuevo en el cuenco de cerámica del que provenía. El resto se guarda en bote para el análisis de otros parámetros.
5. Secado del cuenco cerámico con lo que queda de la muestra en estufa a 100°C durante 1 día (24h).
6. Pasar la muestra por una batería de tamices. Los tamices son ordenados en orden descendente de 2mm, 0.5mm y 0.063mm.
7. Pesado de lo retenido en cada tamiz.
8. Obtener el contenido en limos y arcillas restando al peso inicial de la muestra la suma de lo retenido en cada tamiz.

Materia Orgánica (pérdida de peso por ignición):

Previamente al análisis del contenido de Materia Orgánica, los botes que contienen lo que ha sobrado de muestra tras la extracción de la porción para el análisis granulométrico se tamizan a 0.5mm. En este caso deseamos lo que queda retenido en el tamiz (fracción gruesa) y nos quedamos con lo que pasa (<0.5mm) que servirá para el análisis de este parámetro.

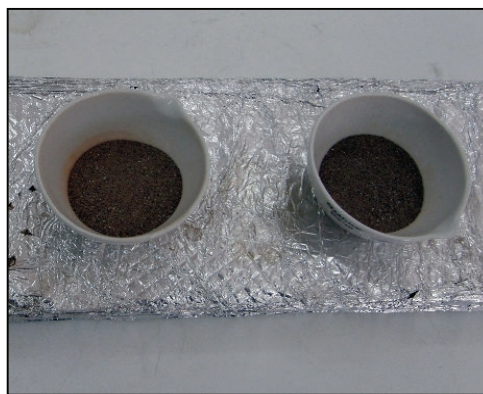
En este caso se va a analizar este parámetro siguiendo el método de pérdida de peso por ignición (LOI) manteniendo las muestras en un horno a 450°C durante 4hrs. Para el análisis se deben utilizar pocillos cerámicos de 5cm de diámetro. Estos



Pocillos cerámicos para la estimación de la Materia Orgánica por Ignición

pocillos son pesados. Una vez pesados se taran y se echa en ellos aproximadamente

5gr de muestra tamizada a 0.5mm y se anota el peso exacto de la muestra que se va a quemar. Luego, introducimos los pocillos al horno, en donde estarán 4hrs a 450°C. Tras este tiempo se sacan los pocillos se dejan enfriar y se pesan. La diferencia entre el peso inicial (pocillo + muestra) y el final nos da el dato de Materia Orgánica presente en la muestra, los valores se expresan en porcentaje (%).



Pocillos tras ser sacados del horno a 450°C

A continuación se expone el protocolo seguido:

1. Pesar el recipiente (cuenco) de porcelana.
2. Tarar el cuenco de porcelana.
3. Pesar 5gr aproximadamente de muestra.
4. Pesar el conjunto muestra-recipiente (de porcelana).
5. Meter los recipientes con las muestras al horno a 450°C durante 4horas.
6. Sacar las muestras del horno y tras enfriarse pesarlas.

Nota: puede ser que en algún caso el horno (mufla) queme de forma desigual según donde sea colocado el pocillo en su interior. En este caso se recomienda hacer 3 réplicas para cada bote o muestra, colocando los pocillos correspondientes a una misma muestra en las parte mas alejada, media y próxima de la puerta del horno (mufla) respectivamente.

Sulfuros (Wildish, et al 1999):

Los Sulfuros deben ser analizados mediante el método de Wildish, et al. (1999) del electrodo del ión selectivo. Este método consiste en pasar la muestra de la jeringuilla capada a un bote (por Ej. de 50ml) y añadir 5ml de tampón Anti-oxidante de los Sulfuros (SAOB, ionplus). Mezclado el contenido de la jeringa con los 5ml de tampón SAOB por agitación se espera 5 minutos antes de proceder a su medición, no sobrepasar los 15 minutos desde que se mezcla el sedimento muestra con el tampón SAOB y se produce la medición. La medición se puede realizar mediante el uso de un DUAL STAR™ pH/ISE-metro marca Thermo Scientific (ORION) con el sensor ORION 9416BN y el sensor de referencia ORION 90-02.

Para el uso del DUAL STAR™ pH/ISE-metro hay que realizar antes de tomar cualquier medida de los sedimentos una curva patrón para la correcta calibración del aparato. A continuación se expone el protocolo seguido:

1. Tomar la muestra con la draga.
2. Coger de la muestra en los 2 primeros cm de profundidad un volumen conocido mediante una jeringa capada. Coger aproximadamente 5ml.
3. Añadir el mismo volumen de sedimento (5ml) que de la Solución SAOB.
4. Esperar 5min.
5. Medir con el sensor de ión selectivo para Sulfuros. No sobrepasar el tiempo de 15min desde que se añada la solución SAOB hasta su medición con el sensor.



DUAL STAR™ pH/ISE-metro marca Thermo Scientific (ORION) con los sensores para sulfuros

Curva de calibración:

Solución Stock 0.1M: 2.402gr de $\text{Na}_2\text{S } 9\text{H}_2\text{O}$ en 100ml de agua destilada. Esta solución se puede almacenar en oscuridad y a 4°C durante 48hrs.

- Solución 10 000 $\mu\text{m S}^-$: 10ml de Soluc. Stock + 90ml de agua destilada.
- Solución 1000 $\mu\text{m S}^-$: 10ml de Solución 10 000 $\mu\text{m S}^-$ + 90ml de agua destilada.
- Solución 100 $\mu\text{m S}^-$: 10ml de Solución 1000 $\mu\text{m S}^-$ + 90ml de agua destilada.

Patrones:

1) 10 000 $\mu\text{m S}^-$	10ml de SOL10 000 $\mu\text{m S}^-$ + 10ml SAOB	lectura sensor
2) 1000 $\mu\text{m S}^-$	10ml de SOL1000 $\mu\text{m S}^-$ + 10ml SAOB	lectura sensor
3) 100 $\mu\text{m S}^-$	10ml de SOL100 $\mu\text{m S}^-$ + 10ml SAOB	lectura sensor

El aparato con estas concentraciones realiza automáticamente una curva patrón para su calibración que posteriormente utilizará de forma automática en sus mediciones.

Personal:

Los planes de Vigilancia Ambiental deben ser llevados a cabo por una empresa independiente a la granja y que conste con personal cualificado para tales trabajo. Sin embargo, la ayuda por parte del piscicultor se estima como determinante a la hora de poder coordinar mejor las épocas de realización de las campañas de muestreo, así como, ayuda material y humana para la realización del Plan en caso que sea necesario.

Material necesario:

- Draga Van Veen: Una draga una superficie de muestreo de al menos 20x20cm. La draga se cierra completamente, así que el agua y los sedimentos no se escapan durante el ascenso a la superficie, y estará equipado con trampillas en la parte superior, para permitir la inserción de los electrodos de Temperatura, pH y los Sulfuros sí éstos se realizan en la embarcación directamente.
- Equipo de medición de pH.

- Equipo de medición de la Temperatura.
- Equipo de medición de los Sulfuros (DUAL STAR™ pH/ISE-metro marca Thermo Scientific ORION con el sensor ORION 9416BN y el sensor de referencia ORION 90-02).
- Botes de 1/2litro para las muestras de sedimento (Granulometría y Materia orgánica).
- Endofauna: Baño blanco de plástico de dimensiones apropiadas para abrir la draga, tamiz con orificios de malla redonda de 1 mm de diámetro para hacer pasar la muestra de endofauna y botes de 1 litro para recolectar la muestra. Ésta se fija con alcohol de 70°.
- Marco de 30x30cm para la cobertura de la pradera. Este cuadrado va acoplado a la cámara de fotos e irá dividido en 9 cuadrantes más pequeños.
- Marco de 50x50cm para la Densidad de haces en la pradera. Este marco se divide en 4 cuadrados de 25x25cm.

Presentación de informes:

Al término de un estudio, se elaborará un breve informe que contenga un gráfico (1: 5000), el mapa topológico, mapa de la jaula, con puntos de muestreo marcados y todos los formularios rellenos durante el estudio. En el informe se dará una breve descripción de las condiciones de la granja de peces, se expondrán los resultados obtenidos y una comparación de los resultados de las diferentes muestras.

El informe contendrá una comparación con investigaciones anteriores y pondrá de manifiesto las tendencias de desarrollo. Un anexo con todos los datos serán incluidos y toda la información necesaria para permitir que cualquier otra persona pueda llevar a cabo una encuesta idéntica. El informe debe ser presentado en papel y en formato electrónico.

Plan de Vigilancia Ambiental Tipo 1

Este Plan de Vigilancia Ambiental trata de satisfacer las necesidades y requerimientos de los productores con menor producción y permitir, a la vez, que las Administraciones con competencias en el sector puedan obtener una imagen adecuada del estado de la zona cercana a las jaulas y las posibles afecciones derivadas del cultivo de peces en ellas.

El PVA Tipo 1 tienen que realizarlo aquellas empresas cuya producción anual sea menor de 500 toneladas. Este PVA presenta una periodicidad semestral. Las dos campañas de muestreos a lo largo del año coincidirán con las épocas de mayor producción y menor producción, normalmente verano e invierno. No obstante habrá que adecuarse a ritmo productivo de la empresa que se trate.

Tipo de muestras	PVA Tipo 1
Fisco-Química	Cada 6 meses
Endofauna	Sólo si lo determina la Autoridad Ambiental, entonces se realizaría cada 6 meses
Pradera de Fanerógamas marinas	Se estudiarán si se localizan a menos de 500mt en bahías cerradas y 800mt en aguas abiertas. Cada 6 meses.

Parámetros indicadores exigidos y opcionales en este estudio:

A continuación se expone en la tabla los parámetros indicadores requeridos en este plan así como el método de recolección de las muestras y la metodología a emplear para su determinación.

Matriz	Parámetros exigidos	Método de recolección	Método de análisis
SEDIMENTO Físico Química	Granulometría	Draga Van Veen	Tamizaje en húmedo. (Buchanan,1984).
	Temperatura	Draga Van Veen	Electrodo Temperatura
	pH	Draga Van Veen	Electrodo pH
	Materia orgánica	Draga Van Veen	Pérdida de peso por ignición.
	Sulfuros libres volátiles (AVS)	Draga Van Veen	Espectr. Absorción Molecular. Electrodo de ión selectivo (protocolo Wildish et al, 1999)
Matriz	Parámetros opcionales	Análisis	Índices

SEDIMENTO Faunístico y comunidades macrobentónicas	Endofauna: Poliquetos	Cuantitativo y cualitativo. Determinación de sp. indicadores de estrés ambiental	Riqueza, Abundancia, Diversidad, Shannon y Equitabilidad.
	Praderas de fanerógamas marinas	Vigilancia y control en zonas y casos puntuales	Densidad de haces y % cobertura.

En el caso de la Endofauna su estudio se realizará siempre que la autoridad competente lo determine necesario. Con relación a las Praderas de fanerógamas marinas, el estudio contendrá su investigación si se encuentran a menos de 500mt en bahías cerradas y 800mt en aguas abiertas. En ambos casos, la periodicidad en la toma de muestras será de 6 meses y coincidirá con los muestreos establecidos para el estudio físico-químico del sedimento.

Plan de Vigilancia Ambiental Tipo 2

Este Plan de Vigilancia Ambiental afecta a los productores con una producción intermedia y permite a las Administraciones la obtención de una imagen adecuada del estado de la zona cercana a las jaulas y las posibles afecciones derivadas del cultivo de peces en ellas.

El PVA Tipo 2 tienen que realizarlo aquellas empresas cuya producción anual esté comprendida entre 500 y 1000 toneladas. Este PVA presenta una periodicidad trimestral para los indicadores físico-químicos del sedimento y semestral para el estudio tanto de la endofauna (poliquetos) como las praderas de fanerógamas marinas, siempre y cuando ésta última sea requerida como parte del Plan de Vigilancia Ambiental.

Tipo de muestras	PVA Tipo 2
Físico-Química	Cada 3 meses
Endofauna	Cada 6 meses
Pradera de Fanerógamas marinas	Se estudiarán si se localizan a menos de 500mt en bahías cerradas y 800mt en aguas abiertas y lo determina la Autoridad Ambiental competente. Cada 6 meses.

La periodicidad de las campañas para los datos del estudio físico-químico del sedimento será trimestral. Con lo que a lo largo del año serán 4 campañas, de las cuales una debe coincidir con la época de mayor producción y otra con la de menor producción. Para la parte de estudio de la Endofauna, la periodicidad es semestral y coincidirá con los muestreos en las épocas de mayor y menor producción para datos físico-químicos del sedimento.

Con relación a las Praderas de fanerógamas marinas el estudio, si es necesario, tendrá una periodicidad semestral y coincidirá con los muestreos establecidos en las épocas de mayor y menor producción de la granja para el estudio físico-químico del sedimento y la endofauna.

Parámetros indicadores exigidos en este estudio:

A continuación se expone en la tabla los parámetros indicadores requeridos en este plan así como el método de recolección de las muestras y la metodología a emplear para su determinación.

Matriz	Parámetros exigidos	Método de recolección	Método de análisis
SEDIMENTO Físico Química y Endofauna	Granulometría	Draga Van Veen	Tamizaje en húmedo. (Buchanan,1984).
	Temperatura	Draga Van Veen	Electrodo Temperatura
	pH	Draga Van Veen	Electrodo pH
	Materia orgánica	Draga Van Veen	Pérdida de peso por ignición.
	Sulfuros libres volátiles (AVS)	Draga Van Veen	Espectr. Absorción Molecular. Electrodo de ión selectivo (protocolo Wildish et al, 1999)
	Endofauna: Poliquetos	Draga Van Veen	Cuantitativo y cualitativo. Determinación de sp. indicadoras de estrés ambiental. Índices propuestos Riqueza, Abundancia, Diversidad, Shannon y Equitabilidad.
Matriz	Parámetros opcionales	Análisis	Índices
Flora	Praderas de fanerógamas marinas	Vigilancia y control en zonas y casos puntuales	Densidad de haces y % cobertura.

Plan de Vigilancia Ambiental Tipo 3

Este Plan de Vigilancia Ambiental afecta a los productores con una producción elevada y permite a las Administraciones la obtención de una imagen adecuada del estado de la zona cercana a las jaulas y las posibles afecciones derivadas del cultivo de peces en ellas.

El PVA Tipo 3 tienen que realizarlo aquellas empresas cuya producción anual supera las 1000 toneladas. Este PVA presenta una periodicidad trimestral para los indicadores físico-químicos del sedimento y semestral para el estudio tanto de la endofauna (poliquetos) como las praderas de fanerógamas marinas, siempre y cuando ésta última sea requerida como parte del Plan de Vigilancia Ambiental.

Tipo de muestras	PVA Tipo 2
Físico-Química	Cada 3 meses
Endofauna	Cada 6 meses
Pradera de Fanerógamas marinas	Se estudiarán si se localizan a menos de 800mt en bahías cerradas y 1000mt en aguas abiertas y lo determina la Autoridad Ambiental competente. Cada 6 meses.

La periodicidad de las campañas para los datos del estudio físico-químico del sedimento será trimestral. Con lo que a lo largo del año serán 4 campañas, de las cuales una debe coincidir con la época de mayor producción y otra con la de menor producción. Para la parte de estudio de la Endofauna, la periodicidad es semestral y coincidirá con los muestreos en las épocas de mayor y menor producción para datos físico-químicos del sedimento.

Con relación a las Praderas de fanerógamas marinas el estudio, si es necesario, tendrá una periodicidad semestral y coincidirá con los muestreos establecidos en las épocas de mayor y menor producción de la granja para el estudio físico-químico del sedimento y la endofauna.

Parámetros indicadores exigidos en este estudio:

A continuación se expone en la tabla los parámetros indicadores requeridos en este plan así como el método de recolección de las muestras y la metodología a emplear para su determinación.

Matriz	Parámetros exigidos	Método de recolección	Método de análisis
SEDIMENTO Físico Química y Endofauna	Granulometría	Draga Van Veen	Tamizaje en húmedo. (Buchanan,1984).
	Temperatura	Draga Van Veen	Electrodo Temperatura
	pH	Draga Van Veen	Electrodo pH
	Materia orgánica	Draga Van Veen	Pérdida de peso por ignición.
	Sulfuros libres volátiles (AVS)	Draga Van Veen	Espectr. Absorción Molecular. Electrodo de ión selectivo (protocolo Wildish et al, 1999)
	Endofauna: Poliquetos	Draga Van Veen	Cuantitativo y cualitativo. Determinación de sp. indicadoras de estrés ambiental. Índices propuestos Riqueza, Abundancia, Diversidad, Shannon y Equitabilidad.
Matriz	Parámetros opcionales	Análisis	Índices
Flora	Praderas de fanerógamas marinas	Vigilancia y control en zonas y casos puntuales	Densidad de haces y % cobertura.

SEGUIMIENTO AMBIENTAL EN GRANJAS DE PECES EN TIERRA

Actualmente, la acuicultura presenta retos importantes como es el poder satisfacer la creciente demanda de alimento de origen marino en la sociedad, la mejora en la calidad de producción y la sostenibilidad ambiental entre otros. En la actualidad, son cada vez más, los países desarrollados donde se están imponiendo las restricciones sobre el uso de sustancias químicas, así como la introducción de programas de seguimiento de residuos, contaminantes, etc (Martí et al, 2005). La industria de la acuicultura tiene por objeto garantizar las condiciones ambientales favorables para los peces de piscifactoría con el fin de promover la salud de los peces y el crecimiento óptimo de los mismos (Torrent y Sánchez, 2001). Además, debe evitar los impactos ambientales innecesarios de las granjas de peces, o que las actividades de la acuicultura puedan dañar de forma irremediable el entorno.

El estudio de las zonas costeras, como las actividades que en ellas se realizan, concretamente la acuicultura en nuestro caso, es esencial si se quiere comprender la dinámica de los procesos e interacciones que allí se producen tanto a nivel ambiental, económico y social. Todas las actividades humanas ejercen cierta influencia sobre el medio que las rodea, y la acuicultura no es una excepción. Los principales problemas medioambientales relacionados con las instalaciones de acuicultura derivan de la descarga de nutrientes en dilución, emisión de desechos tales como alimento no ingerido, heces, peces muertos, etc., que se pueden acumular en el sedimento cercano a las jaulas (Gowen y Bradbury, 1987; Gowen, 1991; Iwama, 1991; Wu, 1995; Karakassis et al., 2000, Hermosilla et al., 2005; Belias et al., 2007).

El impacto medioambiental de una piscifactoría depende en gran manera de la especie, el método de cultivo, la densidad, el tipo de alimentación y las condiciones hidrográficas (Borja, 2002). Pero también depende de la sensibilidad de un determinado ecosistema y la resistencia que tenga el mismo a la hora de hacer frente a dichos vertidos o cargas.

En los últimos años se han venido desarrollando tanto a nivel nacional como regional diversos estudios dirigidos a conocer los efectos ambientales derivados de la actividad acuícola. Estos estudios plantean como base el desarrollo de un seguimiento ambiental específico para evaluar y cuantificar los cambios ecológicos del medio acuático en el que se desarrollan estas actividades, identificando alteraciones y estableciendo medidas correctoras para minimizarlos.

Se están llevando a cabo estudios, programas, etc., que tienen por objetivo definir una serie de parámetros indicadores asociados a la evaluación de la calidad y el estado del medio marino ligado a las instalaciones de acuicultura. Diversas instituciones y universidades españolas han realizado estudios en lo que tratan de desarrollar metodologías para la evaluación del impacto ambiental de las jaulas flotantes observando parámetros químicos, físicos y biológicos que pudieran verse afectados por los aportes de excesos de alimento no ingerido, heces, peces muertos, etc. De esta forma, se concretan

las bases sobre las que diseñar futuros planes de seguimiento ambiental, junto a los protocolos de métodos y medidas a evaluar para ver el estado del medio marino ligado a la actividad acuícola. Además de tales estudios saldrán los valores límites o referencia de los parámetros que sean adecuados para su uso como indicadores del estado del ecosistema.

Es necesario por tanto establecer unos criterios aplicables al ámbito regional y que terminen de una vez con la amalgama de diferentes requerimientos que se solicitan a las empresas del sector en nuestra comunidad y que promueven la confusión tanto de las empresas dedicadas a la acuicultura como de la propia Administración a la hora de evaluar dichos informes y actuar en consecuencia.

Aunque la acuicultura marina, en comparación con otros sectores productivos y otras actividades que utilizan el litoral, puede tener un menor efecto sobre el medio ambiente, es obvio que producirá algún impacto como se ha visto, y por ello, para asegurar el respeto a los valores medioambientales del entorno donde se realiza y cumplir sin fisuras los principios del desarrollo sostenible, lo importante será conocer cuáles pueden ser estos impactos para tratar de corregirlos y en su caso minimizarlos con el objetivo de garantizar unas condiciones de vida de los peces de cultivo, así como para prevenir efectos inaceptables en los alrededores.

De esto se extrae que es necesario la realización de un Seguimiento o vigilancia ambiental periódica y sistemática para proporcionar una visión general de los posibles cambios en las condiciones del fondo marino en las zonas donde afecten instalaciones de cría de peces y así determinar su origen y poder actuar en su corrección o eliminación si es posible.

AMBITO DE APLICACIÓN

Con este protocolo se pretende eliminar el alto nivel de arbitrariedad por el cual se rigen las exigencias de los diversos Planes de Vigilancia Ambiental, Estudios de Impacto Ambiental, Informes ambientales, etc., que son exigidos por las Administraciones a las empresas del sector. El objetivo es establecer unas normas que controlen que es lo que se exige a cada empresa en función de lo que puedan contaminar o no. Esta actuación redundará en un beneficio tanto material por el posible ahorro de costes al analizar parámetros que no aporten información válido como de tiempo empleado por las empresas del sector en realizar dichos Planes de Vigilancia Ambiental como las Administraciones al poder evaluarlos.

Estos protocolos forman una guía que informa sobre los parámetros a estudiar en cada caso y cual es el método apropiado para ello. Además informan de cual es la periodicidad para realizar el seguimiento. No obstante, dependiendo de los resultados obtenidos en el estudio que le corresponda se podrán exigir un mayor número de parámetros o por el contrario reducirlo siempre hasta la base del estudio tipo asociado a su producción.

NORMATIVA LEGAL

(jose ramón)

DEFINICIONES

.....yo eliminaría este apartado.....

PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL

Estos protocolos y normas se basan en la relación directa que existe entre los vertido tanto sólidos como líquidos (restos de comida, heces, etc.) generados por una granja de peces y la respuesta del medio ambiente a ese aporte. Esto se manifiesta principalmente en las proximidades de la piscifactoría. Las condiciones ambientales y los niveles de tolerancia asociados son muy variables en las aguas marinas. Por lo tanto, es importante tener claro cuales parámetros son los que se pueden utilizar como indicadores de estos efectos, así como sus valores umbrales o de referencia que nos ayuden a comprender en que grado estas afecciones son perjudiciales o no.

Los principios para la regulación de los impactos ambientales se pueden resumir de la siguiente manera:

- Se vigilan y estudian los efectos ambientales en la zona de estudio, no sólo el volumen de los aportes procedentes de la granja.
- La intensidad de la vigilancia se adapta a la extensión e intensidad del impacto.
- El sistema debe ser flexible para que permita que nuevos estudios en el futuro sean aplicados con la posibilidad de que los parámetros, estrategias, distancias de afección, etc., puedan ser sustituidos o modificados según corresponda de acuerdo a los avances en el conocimiento o nuevas normativas legales.

Tipos de Plan de Vigilancia Ambiental

Los diferentes tipos de PVAs que se exigen, se clasifican atendiendo al nivel de producción de las empresas de acuicultura marina, en Andalucía todas las instalaciones situadas en tierra tienen producciones inferiores a las 500 toneladas que es el umbral que determinan los distintos tipos de PVAs.

Zonas afectadas

Los aportes de una granja de peces consisten en partículas de gran tamaño (bolitas de desperdicio de alimento y heces), pequeñas partículas en suspensión (polvo de los piensos y restos de heces rotas) y material disuelto (nutrientes, orgánicos compuestos, etc.). Estos tipos de aportes tienen diferentes potenciales cinéticos de dispersión, y afectan a la columna de agua y al sedimento a diferentes distancias de la piscifactoría.

Como es lógico, los mayores impactos se detectarán en la zona justo en la compuerta de desagüe de la instalación, para ir disminuyendo su influencia a

medida que nos alejamos de las mismas. No obstante, esta tendencia puede verse alterada por diversos factores como pueden ser la propia orografía del fondo, la intensidad y dirección de las corrientes, escorrentías procedentes de los campos de cultivos adyacentes al llover, emisarios, etc. Alrededor de las instalaciones se pueden detectar dos zonas, dependiendo de si están afectadas por la influencia de la instalación o no, estas zonas se denominan zonas de impacto, situada inmediatamente donde se sitúa el desagüe principal de la instalación y zonas control, situada entorno a 0,5 millas (0,8 Km) del punto de impacto en dirección hacia donde sube la marea, esto es debido a que las instalaciones situadas en tierra toman y liberan agua principalmente en mareas llenas o cuando este se encuentra subiendo.

Tabla 1: Resumen de las zonas de impacto

	Zona de Impacto	Zona Control
Definición	Zonas situadas en el punto donde se realiza la evacuación principal del agua procedente del cultivo.	Zonas situada entorno 800-1000mt de distancia del punto de vertido principal de desagüe en dirección hacia donde sube la marea.
Fuente del impacto	Instalación acuicola	La instalación acuicola es una de las varias fuentes de impacto, aquí también influyen aportes de origen diverso.
Impacto potencial	Cambios marcados en comunidades de fauna bentónica y condiciones químicas y físicas del fondo.	Posibilidad de que no se produzcan impactos o si ocurren se encuentren por debajo del nivel de significación

Periodicidad de las campañas

La frecuencia de las campañas de muestreo que componen el estudio ambiental a lo largo de un año se determinarán en función del ciclo de producción que la empresa tenga, con el objetivo de adaptar el PVA de la mejor forma posible a los momentos de mayor y menor impacto. De esta forma podremos observar diferencias, establecer patrones y pautas ya sean naturales por el propio ciclo biológico de las especies o alteradas por los aportes derivados de las actividades humanas en el entrono marino susceptible de ser afectado.

Una de las campañas que conformen el PVA de un año debe realizarse en el momento de máxima producción de la granja obligatoriamente. El resto de campañas se distribuirá a lo largo del año, intentando que una de las campañas restantes coincida con el momento de menor producción y carga de peces en la instalación.

Por lo tanto, respecto a la periodicidad de los muestreos de agua en las zonas de impacto, se debe diferenciar dos tipos de campañas de muestreos,

una en los meses de verano en los que la instalación posee las mayores cargas de cultivo, donde los muestreos serán mensuales, y otra en los meses de invierno, en los que la carga de cultivo es sensiblemente inferior y los muestreos serán más espaciados en el tiempo. En la zona control, los muestreos tendrán la misma periodicidad que en la campaña de menor carga de cultivo. Respecto a los parámetros relativos al sedimento y endofauna, se realizarán dos muestreos anuales tanto en las zonas de impacto como en las de control, habrá uno cada seis meses.

Tabla 2: Periodicidad y tipo de muestra.

TIPO DE MUESTRA	Zona de Impacto	Zona Control
AGUA	-Campaña de mayor carga de cultivo: meses de Junio, Julio, Agosto. -Campaña de menor carga de cultivo: Enero, Abril y Octubre.	Cada 3 meses: Enero, Abril, Julio y Octubre.
SEDIMENTO	Cada 6 meses: Enero y Julio.	Cada 6 meses: Enero y Julio.
ENDOFAUNA	Cada 6 meses: Enero y Julio.	Cada 6 meses: Enero y Julio.

No obstante, antes de que una instalación entre en funcionamiento, se ha de realizar un estudio del estado ambiental de la zona para poder obtener un estado CERO del ecosistema que rodea a la misma. Este estudio proporciona una serie de datos de las condiciones medioambientales previas a la instalación, las cuales, cuando las comparamos con posteriores estudios, revelará la medida en que la piscifactoría afecta al medio. Este estudio se llevará a cabo según la tipología del PVA asignado en función de la producción estimada y en la época en la que tendrían la máxima producción. Si esto no es posible realizarse, esta primera campaña de muestreo CERO se asumirá que la campaña realizada en la época de menor producción es la inicial.

Los programas de seguimiento deberían ser evaluados por la autoridad medio ambiental regularmente y ajustados de acuerdo a los resultados obtenidos. Así, a la finalización de cada campaña de muestreo se deben remitir los resultados de la misma antes de la posterior campaña del mismo PVA. Este periodo entre la entrega del informe de una campaña y la realización de la siguiente servirá para la evaluación de los resultados obtenidos por las autoridades competentes y en base a ello podrán decidir cambios en posteriores muestreos.

Cartografía

En los distintos Planes de Vigilancia Ambiental se debe presentar una cartografía detallada con la localización de la instalación y de los puntos de muestreo. Además se incluirán otros elementos de relevancia para el estudio como pueden ser emisarios, zonas de extracción de áridos, campos de cultivos, campos de golf, etc., que puedan afectar a los parámetros a medir.

Los siguientes mapas se proporcionan a la puesta en marcha del programa de vigilancia:

- Mapa que muestre la situación de la piscifactoría y sus alrededores con las zonas de muestreo de impacto y control.
- Mapa que muestra la forma y dimensiones de la piscifactoría, con los estanques, reservas, canales, etc....y se aprecie el número, forma y longitud de todos ellos.

Estas cartas y mapas sólo se deberán presentar en la primera campaña del PVA del año, a menos que durante ese año se varíen localizaciones de los elementos que conforman el PVA. En tal caso habría que presentarlos en la campaña correspondiente. Posteriormente si no sufren nuevas variaciones el protocolo de presentación de los mismos vuelve a adaptarse a la primera campaña del PVA en el siguiente año.

Localización de la zona de estudio

Cada campaña consta de la toma de muestra en las diferentes zonas de estudio. Estas zonas se dividirán en zonas de impacto y zonas control y en función de esto se determinarán los diferentes parámetros a estudiar y periodicidades.

- Zona de impacto: Se determinará una estación de muestreo con un sólo punto de muestreo situado en el foco de desagüe principal de la instalación, aproximadamente a 0,5 metros de profundidad. En esta zona sólo se tomarán muestras de agua para su análisis físico-químico.
- Zona control: Se determinará una estación de muestreo situada aproximadamente a 0,5 millas en dirección hacia donde sube la marea, en el punto de bajamar viva. Se tomarán muestras de agua, sedimento e infauna según determinen las distintas periodicidades establecidas.

Estos puntos se determinarán y referenciarán geográficamente mediante coordenadas.

A la hora de establecer las zonas de impacto y control, se deben tener en cuenta una serie de consideraciones de manera que, tanto las zonas como los puntos de muestreo deben ser, en la medida de lo posible, homogéneos en cuanto a profundidad y naturaleza del sustrato, con el fin de evitar detectar diferencias producidas por otros factores que puedan enmascarar las afecciones propias de la actividad o inculpar indebidamente al sector de la acuicultura por algo de lo cual no sean los responsables. Así mismo, es importante tener en cuenta la ausencia o no de cualquier otra fuente de impacto en las proximidades de las zonas de estudio. En el caso que las hubiera deben ser caracterizadas y cuantificadas con el objeto de poder separar, en la medida de lo posible, su influencia de la que se puedan producir desde la instalación acuicola.

MUESTREOS

Antes de comenzar las campañas de muestreo se debe contar con la experiencia de los responsables de la empresa así como con su personal técnico, los cuales pueden ser un importante elemento a la hora de establecer la localización exacta de las zonas de muestreo y por ende de las estaciones de muestreo y así cumplir las recomendaciones del Plan de Vigilancia Ambiental. Además, contar con su apoyo y colaboración resulta esencial para interferir en el menor grado posible la propia actividad productiva.

Metodología de muestreo

Muestreo de aguas

Las tomas de muestras de agua se realizarán a pie o desde embarcación dependiendo de la estación de muestreo que se trate y la accesibilidad al punto. El agua se captará en un recipiente opaco de 1 litro aproximadamente convenientemente etiquetado con los datos de la instalación, fecha y hora y punto de muestreo. Además en cada punto de muestreo se tomarán medidas in situ de oxígeno disuelto utilizando su equipo correspondiente.

Una vez tomadas todas las muestras se procede a trasladarlas al laboratorio donde se analizarán los siguientes parámetros: Nitrógeno total, Amonio, fósforo total, carbono orgánico total y sólidos en suspensión.

Muestreo del sedimento

Los objetivos de esta parte del estudio son descubrir procesos de acumulación de materia orgánica, episodios de hipoxia y en conjunción a lo que se detecte en las estaciones control estimar si el origen de esas alteraciones son o no derivadas de la actividad en las instalaciones (esteros), o por el contrario proceden de otras actuaciones de origen humano, como pueden ser obras cercanas, vertidos desde otras zonas, etc. En cada uno de los puntos destinados a este estudio se recogen tres réplicas por cada punto de muestreo y campaña. Las muestras se obtienen mediante una draga Van Veen que es lanzada en los distintos puntos. Se recoge el sedimento con una paleta y se introduce en 3 botes (duquesas) de aproximadamente ½ litro destinado a tal efecto e identificado previamente.

Posteriormente, las muestras se analizarán en el laboratorio con la finalidad de detectar posibles acumulaciones de materia orgánica procedente de las instalaciones (heces de los peces, alimento no ingerido, etc) o procedentes de otras actuaciones u orígenes.



**Draga Van Veen para la
recolección de muestras de
sedimentos**

Muestreo de bentos

Estos muestreos, se desarrollan con objeto de evaluar posibles incidencias producidas sobre los distintos organismos y comunidades o biocenosis presentes en el medio natural estudiado, así como conocer el gradiente: entrada-cultivo-salida, y relacionar los resultados con los efectos de la marea, estancamiento de las aguas, salinidad y temperatura en los resultados obtenidos.

La toma de sedimento para la obtención de muestras de bentos se desarrolla con una draga de tipo Van Veen, introduciéndolo posteriormente en bolsas o botes de aproximadamente 1 litro con su correspondiente identificación, para luego trasladarlas al laboratorio. Una vez introducidas las muestras en sus correspondientes recipientes, se añadirá alcohol de 70°C y se completará el espacio que falta con agua. Se lanza la draga 3 veces en el mismo punto para obtener tres réplicas.

Una vez en el laboratorio se procederá a lavar cada muestra y pasarlas por un tamiz con objeto de separar el fango, lodo y arena de los distintos individuos a determinar. Posteriormente se cuantificará el número de individuos, determinando hasta nivel taxonómico de familia.

Protocolo de laboratorio

Análisis de aguas

- Análisis de Amonio (NH₄ mg/l) y Fósforo Total (P mg /l):

Estos parámetros son analizados mediante el uso de un Fotómetro Multiparamétrico de Sobremesa Hanna C99 y de los diferentes kits que utiliza para cada uno de los parámetros a analizar.

- Análisis de Sólidos en Suspensión:

- 1.Preparar los filtros de papel secante.
- 2.Secar los filtros en estufa a 100°C durante 24hrs y rotularlos.
- 3.Pesar los filtros ya secos en una balanza de precisión.
- 4.Agitar los botes muestra de agua para homogeneizar la muestra.
- 5.Hacer pasar por los filtros 500ml del agua muestra que corresponda de cada muestra.
- 6.Meter los filtros húmedos en estufa a 100°C durante 24hrs para su secado.

7. Pesar los filtros de nuevo en balanza de precisión.

La diferencia del peso del embudo antes y después de hacer pasar el agua muestra nos dará la cantidad de sólidos en suspensión que contiene.

- Carbono orgánico total y nitrógeno orgánico total:

En primer lugar se realiza un tamizado a 0,5 mm y se separan las muestras para su posterior análisis en analizador elemental PERKIN-ELMER 2400 CHN y analizador elemental LECO CHNS 932. A continuación se realiza el proceso basado en la combustión completa de la muestra en condiciones óptimas (de 950 a 1300 °C en atmósfera de oxígeno puro), lo cual provoca la conversión de estos elementos en gases simples (CO₂ N₂ H₂O y SO₂) expresando los porcentajes de cada uno de los elementos respecto a total de la muestra. Para esta combustión se ha utilizado un horno de pirólisis LECO VTF 900.

Análisis de granulometría

Este procesado debe ser realizado por el método de tamizado en húmedo (Buchanan, 1984). Los botes con el sedimento se vierten en un cuenco cerámico que se coloca en estufa a 100°C durante 24hrs para secar la muestra. Posteriormente se extrae de él una cantidad de entre 100-150gr para la determinación de la composición granulométrica. El resto se conserva para posteriores análisis.

La parte extraída se hace pasar por un tamiz de 0.063mm, lavándola con agua para así eliminar limos y arcillas, hasta que el agua salga limpia. Posteriormente lo que quede retenido en ese tamiz se pasa a un cuenco y se mantiene 24hrs en estufa entre a 100°C. Una vez seca se hace pasar lo que nos quede por una batería de tamices ordenada desde el grano más grueso (grava) al más fino (limos y arcillas). La luz de malla de los tamices empleados así como su colocación en la columna en orden descendente son: 2mm, 0.5mm, y 0.063mm, así obtendremos la cantidad de gravas, arenas gruesas, arenas finas y limos y arcillas, respectivamente. Una vez tamizada la muestra se pesa el contenido retenido en cada tamiz. La cantidad de limos y arcillas se obtiene de restarle a la cantidad inicial de muestra la suma de lo retenido en cada tamiz tras pasarlo por la tamizadora automática. A continuación se expone el protocolo seguido:

- Descongelar los botes de la muestra (si está congelada).
- Vaciar unos 300cc (lo que haya en el bote) de sedimento de cada bote en un cuenco de cerámica y rotular el cuenco.
- Secar la muestra de los cuencos en estufa a 100°C durante 1 día (24h).
- Coger 100-150gr de la muestra seca y se retira la porción de limos y arcillas lavándola en un tamiz de 0.063mm. Verter lo que te quede de nuevo en el cuenco de cerámica del que provenía. El resto se guarda en bote para el análisis de otros parámetros.
- Secado del cuenco cerámico con lo que queda de la muestra en estufa a 100°C durante 1 día (24h).
- Pasar la muestra por una batería de tamices. Los tamices son ordenados en orden descendente de 2mm, 0.5mm y 0.063mm.
- Pesado de lo retenido en cada tamiz.
- Obtener el contenido en limos y arcillas restando al peso inicial de la muestra la suma de lo retenido en cada tamiz.

Análisis de materia orgánica en el sedimento

Previamente al análisis del contenido de Materia Orgánica, los botes que contienen lo que ha sobrado de muestra tras la extracción de la porción para el análisis granulométrico se tamizan a 0.5mm. En este caso se desecha lo que queda retenido en el tamiz (fracción gruesa) y se conserva la fracción que pasa (<0.5mm) que servirá para el análisis de este parámetro.

En este caso se va a analizar este parámetro siguiendo el método de pérdida de peso por ignición (LOI) manteniendo las muestras en un horno a 450°C durante 4hrs. Para el análisis se deben utilizar pocillos cerámicos de 5cm de diámetro. Estos pocillos son pesados. Una vez pesados se taran y se echa en ellos aproximadamente 5gr de muestra tamizada a 0.5mm y se anota el peso exacto de la muestra que se va a quemar. Luego, se introduce los pocillos al horno, donde estarán 4hrs a 450°C. Tras este tiempo se sacan los pocillos se dejan enfriar y se pesan. La diferencia entre el peso inicial (pocillo + muestra) y el final nos da el dato de Materia Orgánica presente en la muestra, los valores se expresan en porcentaje (%).



Pocillos cerámicos para la estimación de la Materia Orgánica por Ignición



Pocillos tras ser sacados del horno a 450°C

A continuación se detalla el protocolo seguido:

- Pesar el recipiente (cuenco) de porcelana.
- Tarar el cuenco de porcelana.
- Pesar 5gr aproximadamente de muestra.
- Pesar el conjunto muestra-recipiente (de porcelana).
- Meter los recipientes con las muestras al horno a 450°C durante 4horas.
- Sacar las muestras del horno y tras enfriarse pesarlas.

Nota: puede ser que en algún caso el horno (mufla) queme de forma desigual según donde sea colocado el pocillo en su interior. En este caso se recomienda hacer 3 réplicas para cada bote o muestra, colocando los pocillos correspondientes a una misma muestra en las parte mas alejada, media y próxima de la puerta del horno (mufla) respectivamente.

Análisis de Endofauna (poliquetos)

Para la identificación de invertebrados asociados a los sedimentos marinos, se realizan a los siguientes pasos:

- Lavado de muestras con agua y cambio de formol al 4% como agente fijador a alcohol al 70%, si la muestra fue fijada con formol.
- Una vez transcurrido cuatro días aproximadamente, se limpia las muestras con tamices de 0,5, 0,25 y 0,125 micras para eliminar los materiales terrígenos.
- El resultante del tamizado se depositó en una bandeja y se separan los diferentes organismos por grupos taxonómicos en viales debidamente etiquetados.
- Cada grupo taxonómico se identifica a nivel de familia con la ayuda de una lupa binocular de 40 aumentos y de guías especializadas en cada grupo.
- Los datos por estaciones de muestreo son introducidos en una tabla excel para realizar los cálculos de biodiversidad y equitatividad de las muestras recolectadas.

Personal ejecutor

Los planes de Vigilancia Ambiental deben ser llevados a cabo por una empresa independiente a la granja y que conste con personal cualificado para tales trabajos. Sin embargo, la ayuda por parte del piscicultor se estima como determinante a la hora de poder coordinar mejor las épocas de realización de las campañas de muestreo, así como, ayuda material y humana para la realización del Plan en caso que sea necesario.

Material de muestreo

- Draga Van Veen: Una draga una superficie de muestreo de al menos 20x20cm. La draga se cierra completamente, así que el agua y los sedimentos no se escapan durante el ascenso a la superficie.
- Equipo de medición de Oxígeno disuelto in situ.
- Botes opacos de 1 litro para las muestras de agua.
- Botes de 1/2litro para las muestras de sedimento (Materia orgánica y granulometría)
- Endofauna: Baño blanco de plástico de dimensiones apropiadas para abrir la draga, botes de 1 litro para recolectar la muestra. Ésta se fija con alcohol de 70°.

Presentación de informes

Al término de un estudio, se elaborará un breve informe que contenga un mapa (1: 5000) de la instalación con los puntos de muestreo marcados y todos los formularios rellenos durante el estudio. En el informe se dará una breve descripción de las condiciones de la instalación, se expondrán los resultados obtenidos y una comparación de los resultados de las diferentes muestras.

El informe contendrá una comparación con investigaciones anteriores y pondrá de manifiesto las tendencias de desarrollo. Un anexo con todos los

datos serán incluidos y toda la información necesaria para permitir que cualquier otra persona pueda llevar a cabo una encuesta idéntica. El informe debe ser presentado en papel y en formato electrónico.

SELECCIÓN DE INDICADORES Y VALORES DE REFERENCIA PARA UN PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL TIPO

A continuación se detalla en las tablas sucesivas aquellos parámetros indicadores recomendados así como los valores de que limitan la legislación actual para las aguas especiales, los valores de referencia según esta clase de ecosistemas e instalación, y la frecuencia de toma de muestras. Estos valores de referencia se han calculado según la media de los valores obtenidos a lo largo de dos años de muestreos en una instalación tipo. Por lo tanto, en las tablas 3,4 y 5 se detalla la información referente a los parámetros de agua, sedimento y endofauna que más información aporta en un Plan de Vigilancia Ambiental, tanto en las estaciones de impacto como en las estaciones control.

Tabla 3: Selección de indicadores y valores de referencia para muestras de agua en un Plan de Vigilancia Ambiental.

TIPO DE MUESTRA	Parámetros	Valores Límites (Según legislación)	Valores de Referencia		Frecuencia de Muestreos	
			EC	EI	EC	EI
AGUA	Sólidos en Suspensión	1.15 MN	375	454	Enero Abril	Enero Abril
	Oxígeno Disuelto %	80	98	102	Junio Julio	Junio -
	Amonio	0,6 mg/l	0,64	1	Agosto	-
	Carbono Orgánico Total	2 mg/l	6	7	Octubre	Octubre
	Nitrógeno Total	-	0,3	0,4		
	Fósforo Total	0,6 mg/l	0,04	0,04		

Para las muestras de sedimento se han seleccionado dos parámetros como son la materia orgánica en % y la granulometría.

Tabla 4: Selección de indicadores y valores de referencia para muestras de sedimento en un Plan de Vigilancia Ambiental.

TIPO DE MUESTRA	Parámetros	Valores de Referencia		Frecuencia de Muestreos
		EC	EI	
SEDIMENTO	Granulometría %	-Limos y arcillas: 61 - Arenas finas: 31 -Arenas gruesas: 5 -Gravas: 3	-Limos y arcillas 71 - Arenas finas: 17 -Arenas gruesas: 9 -Gravas 3	Enero y Julio
	Materia Orgánica %	4,5	5,7	

Respecto a la endofauna, se han seleccionado 3 índices:

La riqueza específica es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de familias presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. Es una de las medidas más usadas para evaluar efectos contaminantes en las comunidades pues la reducción de las familias es la respuesta más constante ante los disturbios. Su estimación se ha realizado a través del **Índice de Margalef** y tiene la siguiente expresión $I=(s-1)/\ln N$, donde I es la biodiversidad, s es el número de familias presentes, y N es el número total de individuos encontrados (pertenecientes a todas las familias). La notación Ln denota el logaritmo neperiano.

Valores inferiores a 2 son considerados como relacionados con zonas de baja biodiversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.

El **índice de Shannon** o **índice de Shannon-Wiener** expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las familias de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que familia pertenecerá un individuo escogido al azar de una muestra. Asume que todos los individuos son seleccionados al azar y que todas las familias están representadas en la muestra. Este índice se representa normalmente como H' y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5, los valores se aproximan a cero cuando hay una sola familia.

La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

donde:

- S – número de familias
- p_i – proporción de individuos de la familia i respecto al total de individuos (es decir la

abundancia relativa de la familia i): $\frac{n_i}{N}$

- n_i – número de individuos de la familia i

N – número de todos los individuos de todas las familias

El **índice de Equidad de Pielou** mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor varía entre 0 y 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las familias son igualmente de abundantes.

Tabla 5: Selección de indicadores y valores de referencia para muestras de endofauna en un Plan de Vigilancia Ambiental.

TIPO DE MUESTRA	Parámetros	Valores de Referencia		Rango de Valores en Ecosistemas	Frecuencia de Muestreos
		EC	EI		
ENDOFAUNA	ÍNDICE DE DIVERSIDAD (D)	2,5	1,4	2 - 5	Enero y Julio
	ÍNDICE DE SHANNON (H)	1,7	1,2	1 - 5	
	ÍNDICE DE EQUIDAD DE PIELOU (J)	0,6	0,6	0 - 1	

Propuesta de Plan de Seguimiento Ambiental para las granjas de engorde de dorada y lubina en la Comunidad Valenciana.

Pablo Sanchez-Jerez, Victoria Fernández González, Elena Martínez, Just Bayle. Departamento de Ciencias de Mar y Biología Aplicada. Universidad de Alicante.

1. Producción acuícola marina en la Comunidad Valenciana.

En el marco del proyecto subvencionado por JACUMAR, y titulado “SELECCIÓN DE INDICADORES, DETERMINACIÓN DE VALORES DE REFERENCIA, DISEÑO DE PROGRAMAS Y PROTOCOLOS DE MÉTODOS Y MEDIDAS PARA ESTUDIOS AMBIENTALES EN ACUICULTURA MARINA”, se realiza la siguiente propuesta metodológica para la realización de los planes de seguimiento.

Según el informe de APROMAR, en 2009, en la Comunidad Valenciana se produjo 39% del total de dorada de España (9.200 ton), encabezando la producción, y un 12 % de lubina (1.700 ton), por detrás de Canarias, Murcia y Andalucía. La producción podría crecer hasta 15.000 ton autorizadas por el momento. En conjunto, se sitúa como el mayor productor de España con un 33 %. Respecto a otras especies, destaca en la producción de corvina, que aunque se encuentra en un nivel muy incipiente, con una producción de 450 ton (27 %), puede incrementar su producción en los próximos años. Otra especie destacable en la Comunidad Valenciana es la anguila (*Anguilla anguilla*), actividad tradicional en España que se mantiene con una producción anual 510 t en 2009, pero que no emplea el sistema de jaulas flotantes. Respecto al número de instalaciones, desde 2005 se ha producido una reducción paulatina del número de granjas, reduciéndose de 18 a 11 granjas de producción de animales marinos, de las cuales 10 se encuentran en el medio marino. Aunque a nivel nacional es irrelevante, es interesante citar la existencia de productores de mejillón en la Comunidad Valenciana, asociados en la Unión Mejillonera del Puerto de Valencia, con alrededor de un 1% de la producción nacional, (83.29 ton en 2010), dominada por Galicia. Otras especies en las que se utiliza el medio marino para su producción, pero con un valor muy reducido, son la ostra plana y la zamburiña (4.95 y 0.23 ton respectivamente).

Es interesante destacar que, ante los datos presentados, la producción de la Comunidad Valenciana está centrada en la producción de especies carnívoras, con un nivel trófico de 3.26 y 3.79 para dorada y lubina respectivamente (www.fishbase.org). El índice de conversión es relativamente alto comparado con el cultivo de otros peces carnívoros. A nivel nacional se consumió en 2009 99.700 ton de pienso para el cultivo de peces marinos. Considerando la producción anual cifrada por APROMAR en 48.400 ton, supone un índice de conversión medio de 2.05. Ambos aspectos suponen que el impacto potencial sobre el medio puede ser importante, lo que justifica la existencia de planes de seguimiento.

En la Comunidad Valenciana no existe un plan de selección espacial de localidades y gestión integral de la acuicultura, desarrollándose a partir de iniciativas particulares sometidas a un estudio de impacto ambiental, donde se define el plan de seguimiento.

Por lo tanto, a diferencia de otras comunidades autónomas donde se ha dado un proceso de concentración de las mismas en polígonos, las instalaciones de dorada y lubina de la Comunidad Valenciana se reparten a lo largo de todo el litoral de la Comunidad, destacando los municipios de Oropesa, Burriana, Sagunto, Calpe, Altea, Villajoyosa, Campello y Guardamar del Segura. En las bahías de Altea y de Guardamar es donde se da una mayor concentración de las mismas. Estas empresas se encuentran asociadas en la Asociación Valenciana de Empresas Piscícolas (<http://www.avempi.com>). Las instalaciones son de tamaño pequeño a intermedio, rondando entre 300 y 1000 ton/año de producción, y predominan las jaulas flotantes alimentadas manualmente o con cañón de aire desde embarcación, con de momento una única instalación con plataforma y alimentación automática. Los fondos que ocupan las instalaciones son predominantemente fangosos y arenosos, situándose en algún caso cerca de praderas de *Posidonia oceanica* y *mäerl* y su separación de la costa está alrededor de 3 km.

2. Plan experimental de seguimiento ambiental en la Comunidad Valenciana.

Durante los años 2009 y 2010 se ha desarrollado un Plan experimental de seguimiento ambiental de instalaciones de dorada y lubina, coordinado con el resto de Comunidades Autónomas. En dos instalaciones “tipo” se han realizado una serie de muestreos con el fin de establecer qué variables físico-químicas y biológicas son las más informativas para su utilización en planes de seguimiento. Se seleccionaron dos instalaciones con fondos blandos arenosos y fangosos y situadas a una profundidad similar para poder tener una correcta replicación y evitar otros factores ambientales que afectasen a la variación de los indicadores elegidos. En Octubre 2009 (periodo cálido) y en Marzo de 2010 (periodo frío) se han realizado las campañas de muestreo en dos instalaciones situadas en la provincia de Alicante. Se acordó utilizar solo variables bentónicas y no muestrear en la columna del agua, debido a la variabilidad encontrada en los resultados de otros trabajos.

Se ha muestreado siguiendo el siguiente diseño de muestreo:

Zonas de muestreo en relación al impacto potencial de la acuicultura:

Zona A: Dentro del sistema de jaulas

Zona B: En la zona de afección, justo en el límite de la concesión de la instalación, en dominio público marítimo-terrestre (sobre 100 m distancia a jaulas más externas)

Zona C: Zona control alejada de las jaulas, a unos 800 m del sistema de producción

En cada zona se ha muestreado en tres sitios al azar, y dentro de cada sitio se tomaron réplicas al azar. Se tomaron 3 muestras para el estudio de la comunidad bentónica y 3 muestra para la realización de los análisis de sedimento.

Las variables medidas en el sedimento han sido las siguientes:

Variable	Método de muestreo	Método de análisis
Granulometría	Draga Van Veen	Método del hidrómetro de Bouyoucos (Buchanan, 1984)
Potencial redox	Draga Van Veen	Electrodo Eh
pH	Draga Van Veen	Electrodo pH
Materia orgánica	Draga Van Veen	Pérdida por ignición (450°, 4 horas)
Carbono Orgánico Total (TOC)	Draga Van Veen	Combustión autoanalizador Elemental CHNS
Nitrógeno Total (%TN)	Draga Van Veen	Combustión autoanalizador Elemental CHNS
d ¹⁵ N	Draga Van Veen	Combustión en analizador elemental FlashEA1112 (ThermoFinnigan) unido a un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas Deltaplus (ThermoFinnigan)
Fósforo Total (%TP)	Draga Van Veen	Método del persulfato
Azufre Total (TS)	Draga Van Veen	Combustión mediante Autoanalizador Elemental CHNS
Sulfuros libres volátiles (AVS)	Draga Van Veen	Espectr. Absorción Molecular. Electrodo de ión selectivo (protocolo Wildish et al, 1999)

Variables biológicas:

Variable	Método de muestro	Método de análisis
Poblamiento de poliquetos	Draga Van Veen	Separación e identificación a nivel de familia.
Poblamiento de anfípodos	Draga Van Veen	Separación e identificación a nivel de familia.

Análisis estadísticos empleados:

Análisis multivariante de gradientes:

- No paramétrico: MDS, SIMPER y BEST: paquete PRIMER
- Paramétrico: RDA y CCA: Paquete CANOCO

Análisis univariante de las variables seleccionadas: ANOVA. El modelo de fuentes de variabilidad aplicado fue el siguiente:

$X = \text{media} + \text{Estación} + \text{Granja} + \text{Impacto} + \text{EsxGr} + \text{EsxIm} + \text{GrxIm} + \text{EsxGrxIm} + \text{Si} (\text{EsxGrxIm}) + \text{Residual}$

Donde los factores Estación es un factor fijo (dos niveles, periodo frío y cálido), Granja un factor al azar (dos niveles, las granjas muestreadas) e Impacto un factor fijo (tres niveles, granja, intermedio y control), los tres ortogonales entre si, y Sitio un factor al azar y anidado en la interacción de los tres (tres niveles).

3. Resultados del plan de seguimiento piloto de la Comunidad Valenciana.

Los resultados de las variables ambientales muestran que existen una amplia variabilidad a diferentes niveles espaciales, siendo en algunos casos difícil diferenciar el impacto de las actividad de engorde de peces en comparación con la zona control. La zona intermedio, de influencia de la actividad acuícola, presenta una respuesta bastante variable como se verá a continuación. En muchas situaciones, las granjas han mostrado ciertas diferencias, mostrando diferencias significativas solo una de ellas, quizás debido a ciertas diferencias de profundidad o carga en la producción.

Estructura sedimentaria.

Las muestras de sedimento fueron recogidas de los 2 cm superficiales, mediante una pequeña pala, y fueron introducidas en bolsas de plástico previamente etiquetadas. En el laboratorio, las muestras de sedimento fueron colocadas en bandejas de plástico y puestas a secar al aire.

Para realizar el análisis granulométrico se siguió el método del hidrómetro de Bouyoucos (Buchanan, 1984). Previo al análisis, las muestras de sedimento fueron lavadas con agua destilada, hasta que la conductividad fue menor de 2 mmhos.

Tras este tratamiento, los sedimentos se pasaron a una botella de plástico de 1 litro y se añadieron 50 cc de una solución dispersante de hexametofosfato sódico y 300 cc de agua destilada, manteniéndose en agitación durante 12 horas.

Posteriormente el contenido de la botella se pasó a una probeta de 1 litro y se completó con agua destilada.

Tras agitar, se realizaron medidas con el hidrómetro a los 30 segundos, 1 minuto, 3 minutos, 10 minutos, 7 horas y 16 horas.

Así mismo, se prepara una probeta-blanco con 50 cc de solución dispersante y completada con agua destilada. En el blanco, además de tomar las medidas en los tiempos antes indicados, se midió la temperatura a la que se realizan las medidas. Con dicho blanco se realizan las correcciones debidas a las variaciones en la densidad del agua por efecto de la temperatura o de la mezcla con el dispersante.

A partir de los valores de las lecturas directas y de las temperaturas medidas en el blanco y con las tablas en las que se calculan los valores del diámetro máximo de las partículas en suspensión, se hallaron los porcentajes de partículas de un diámetro determinado:

$$\% P = (R-RL)*F$$

donde R = Lecturas del hidrómetro en la muestra

RL = Lecturas del hidrómetro en el blanco y

F = 100 / (40-H)

Donde H es la humedad medida en 40 gramos de sedimento, calculada por diferencia de pesadas tras secar hasta peso constante a 105°C durante 24 horas.

Para el cálculo de las arenas, el contenido de las probetas se pasó por tamices de 500, 250 y 63 micras, se secó a 105°C durante 24 horas y se pesó el contenido respectivo de cada una de las fracciones.

Para la clasificación de las distintas fracciones finas se consideraron los siguientes rangos:

Arenas gruesas: de 2mm a 500 micras de diámetro

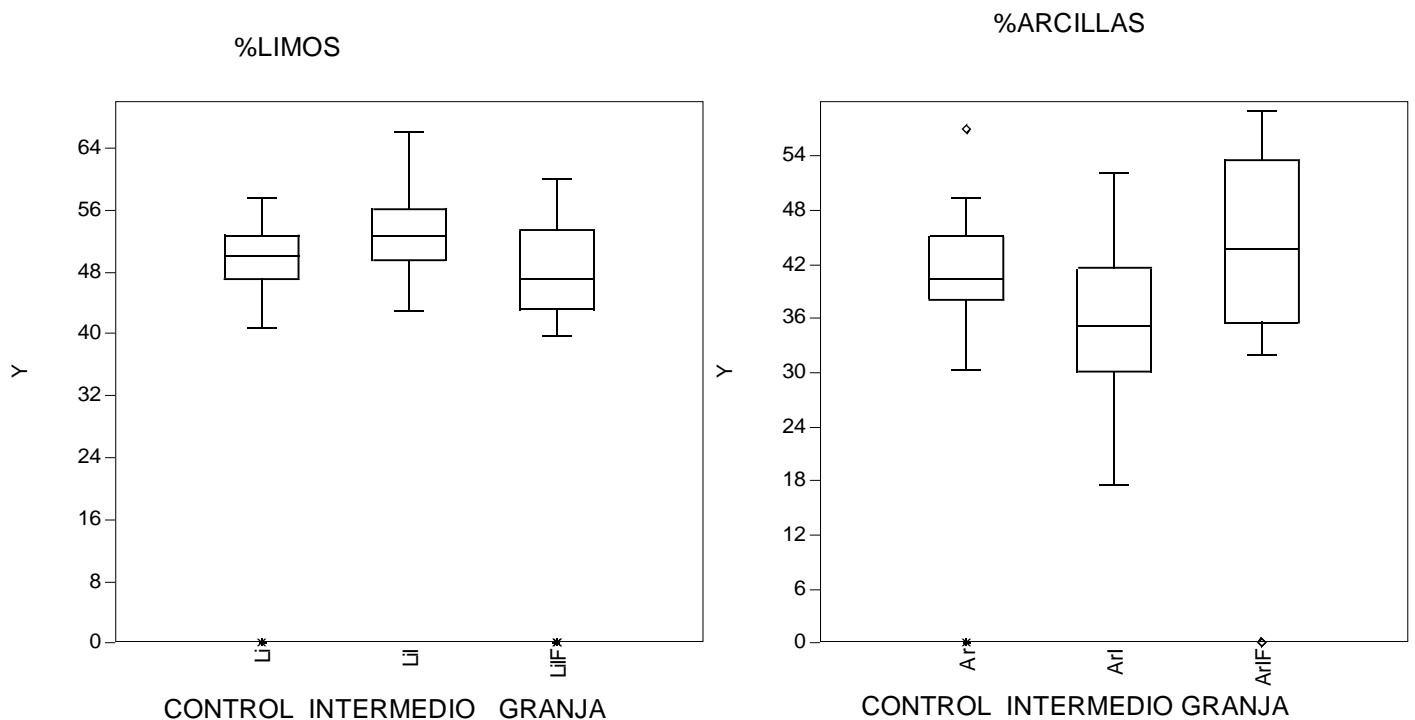
Arenas medias: de 500 a 250 micras de diámetro

Arenas finas: de 250 a 63 micras de diámetro

Limos: de 63 micras a 4 micras de diámetro

Arcillas: diámetro < 4 micras

El análisis del sedimento muestra que la proporción de arcillas sufre un ligero aumento en la zona afectada por la granja, pero sin mostrar diferencias significativas. Los limos no mostraron diferencias significativas, de igual manera, la fracción conjunta de finos (limos + arcillas).

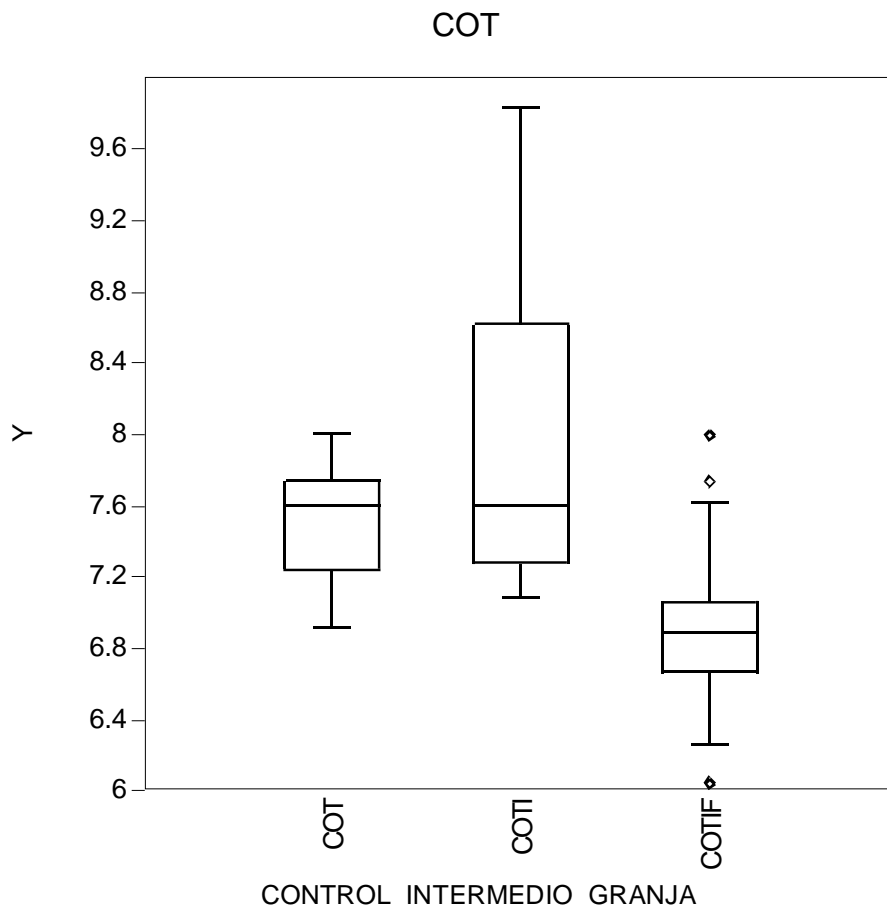


Carbono orgánico total (%).

Para el análisis de carbono orgánico total, se extrajo una submuestra de sedimento superficial (0 – 2 cm de profundidad) de 5 cc mediante el uso de una jeringuilla capada.

Posteriormente, el sedimento fue acidificado con HCl 0.1N, secado al aire y tamizado a 500 micras. El análisis de esta variable se realizó mediante combustión en un autoanalizador CHNS.

El carbono orgánico total, a diferencia de lo esperado, mostró una reducción en la zona de impacto, con un incremento en la zona de influencia. Este resultado quizás pueda ser explicado por el efecto del hidrodinamismo, produciendo su acumulación en la parte aledaña a la instalación.



Materia Orgánica (%)

La determinación se realizó mediante el método de pérdida por ignición (LOI), consistente en la combustión total de la materia orgánica en un horno-mufla. Para ello, se tomaron 7 gramos de sedimento superficial, tamizado a 500 micras y secado en la estufa 24h a 105°C, y se introdujeron en la mufla a 450°C durante 4 horas.

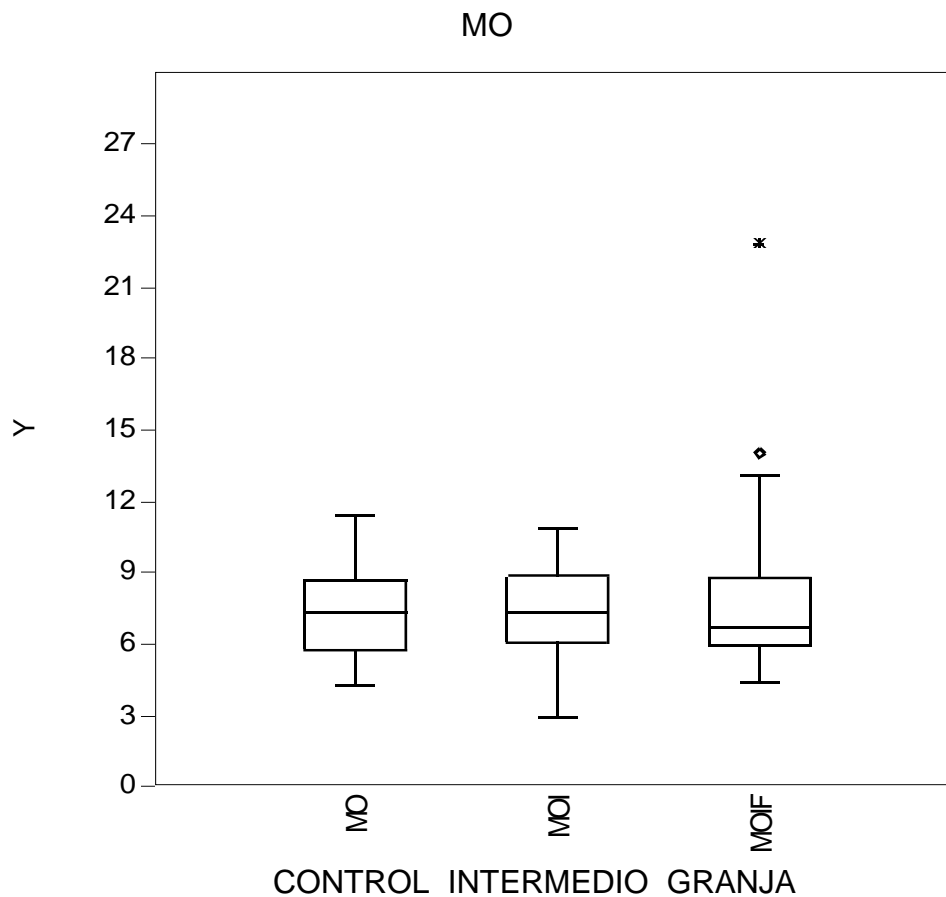
El porcentaje de materia orgánica en el sedimento se calcula según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MOS} = \left(\frac{P_s - P_m}{P_s} \right) \times 100$$

donde P_s es el peso del sedimento secado a la estufa y

P_m es el peso después de salir de la mufla.

La materia orgánica no mostró diferencias significativas.



Fósforo Total (%)

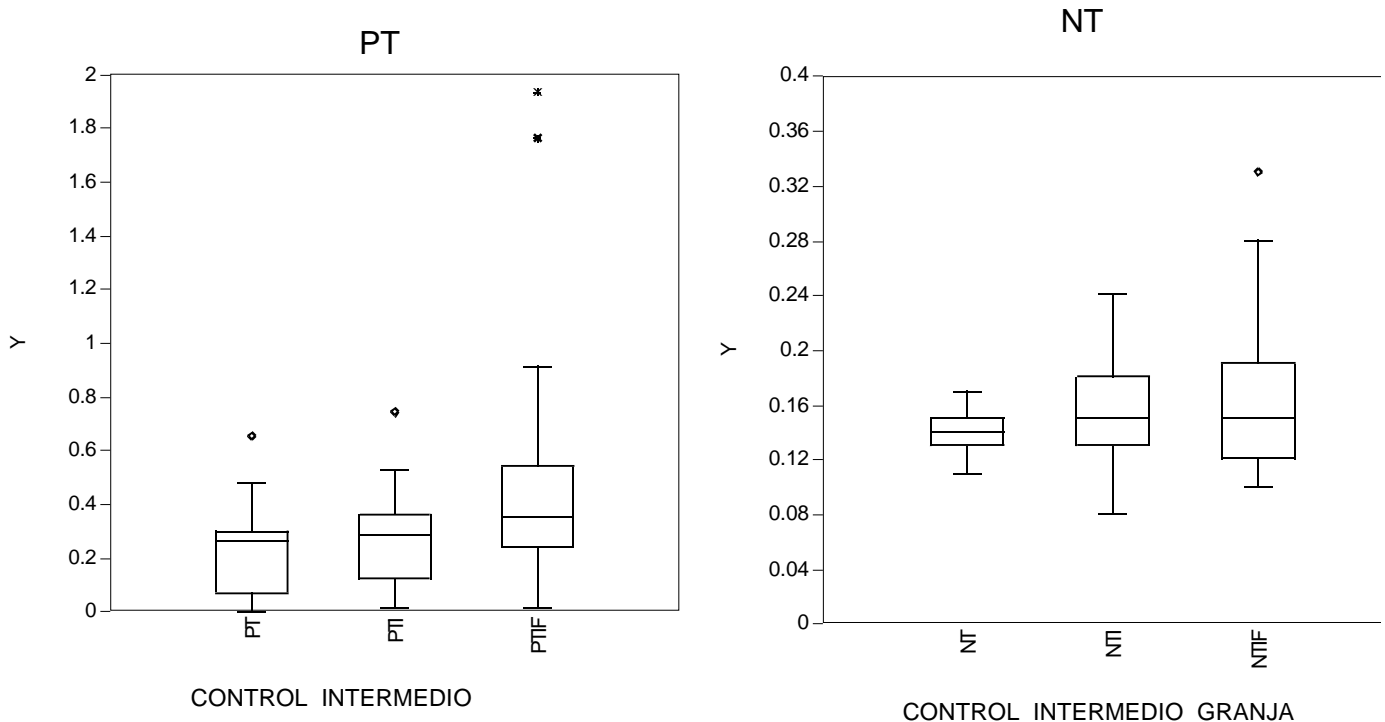
A partir de 1 gramo de muestra de sedimento seco, previamente tamizada (fracción inferior a 2 mm), se procedió a la digestión del fósforo mediante un tratamiento con ácido sulfúrico y persulfato potásico a 130 °C durante 3 horas. Transcurrido este tiempo, las muestras fueron filtradas y llevadas a un volumen de 100 ml en agua destilada.

Para la determinación de la concentración de fósforo de las muestras, se usó una curva de calibración de concentraciones conocidas de fósforo, a partir de una solución de dihidrógeno fosfato de potasio (KH_2PO_4), realizando las mediciones de absorbancia a una longitud de onda de 885 nm.

Nitrógeno total (%)

El estudio del nitrógeno presente en las muestras de sedimento se realizó por combustión en un autoanalizador CHNS, a partir de una submuestra de sedimento superficial (0 – 2 cm de profundidad) secada a 80°C durante 24 horas y tamizada a 500 micras.

Ambas variables no mostraron diferencias significativas. Solo el fósforo mostró un ligero incremento, pero no significativo.

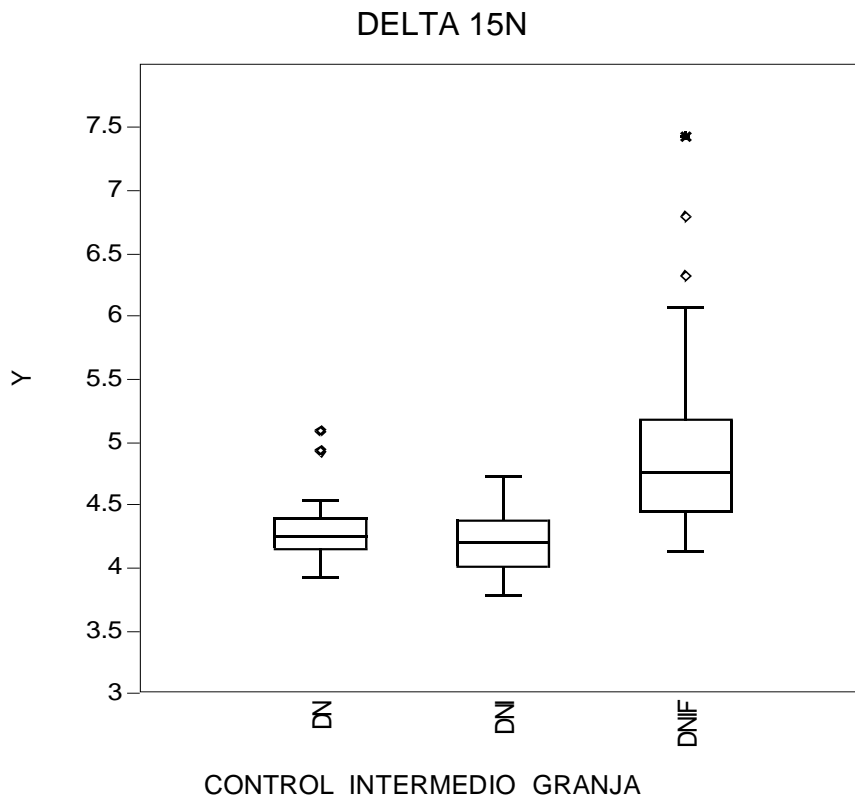


Delta N15

Para el estudio del delta 15N se utilizó un analizador elemental FlashEA1112 (ThermoFinnigan) unido a un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas Deltaplus (ThermoFinnigan).

Para ello las muestras fueron pretratadas, siendo molidas en mortero lo más fino posible, a fin de garantizar la homogeneidad y representatividad de la fracción usada, y secadas en estufa a 80°C durante 24 horas. El patrón empleado para la cuantificación de %N fue acetanilida y la expresión de las relaciones isotópicas para N se realizó como delta 15N *versus* AIR.

El N15 si mostró un patrón claro con un incremento significativo en la instalación.



Sulfuros libres (μM).

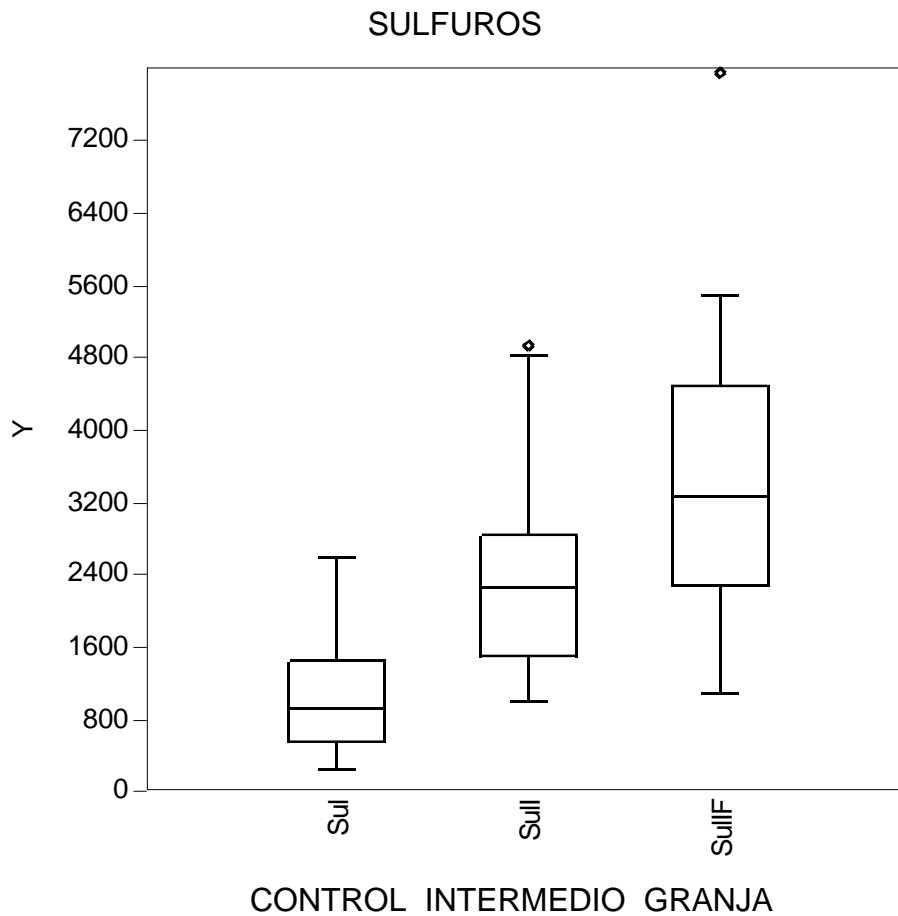
Para realizar el análisis de esta variable, las muestras fueron extraídas de la capa más superficial del sedimento (0 – 2 cm de profundidad), tomando 5 cc mediante el uso de una jeringuilla capada. Las muestras fueron conservadas inmediatamente en un frasco con tapa y congeladas a -20°C dentro de las cuatro horas posteriores a la recolección.

La determinación de sulfuro se realizó de acuerdo con el método propuesto por Wildish, et al, 1999. Para ello, se tomaron 5 ml de sedimento y se añadieron 5 ml de SAOB

(solución de NaOH y EDTA) con ácido ascórbico, mezclando vigorosamente. Posteriormente, se introduce el electrodo y en cuanto la lectura se estabilice tomar la medida de concentración.

La curva de calibrado se realizó a partir de una solución stock de sulfuro preparada con $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ y agua desoxigenada.

Los sulfuros mostraron un claro gradiente de incremento desde el control hacia el centro de la instalación.

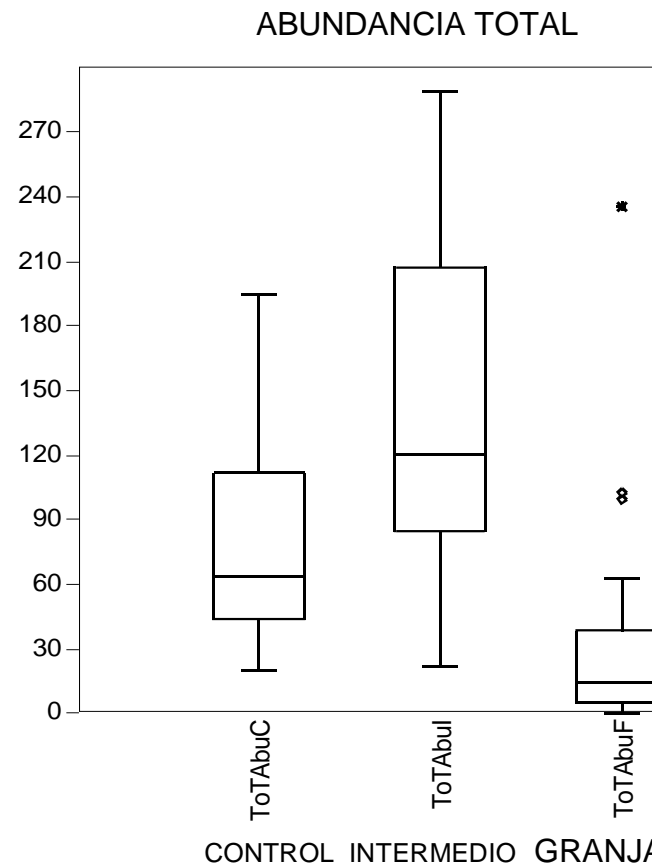
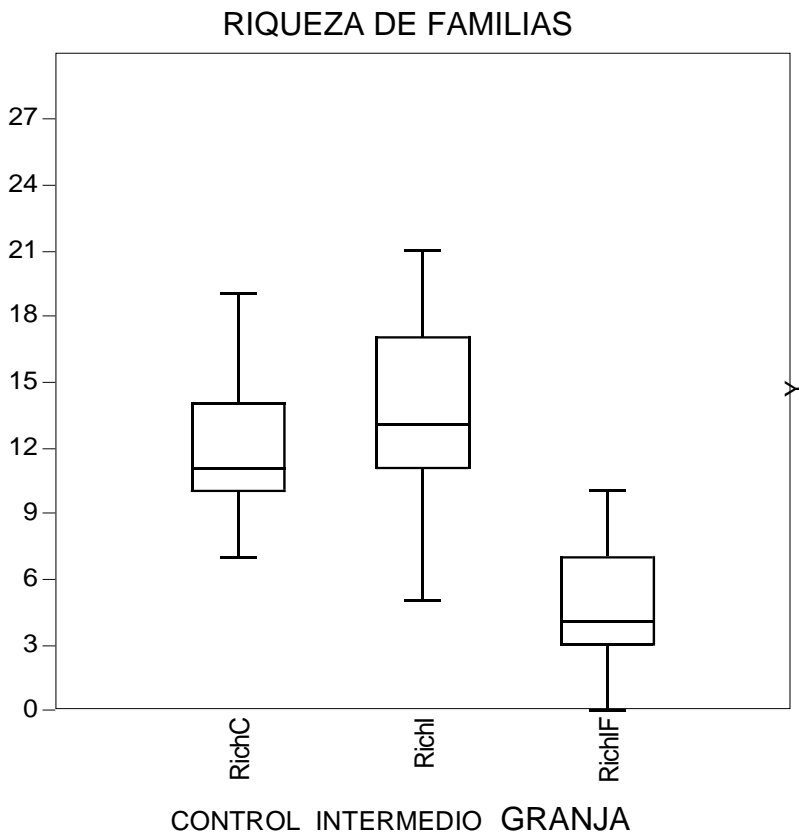


Comunidades bentónicas.

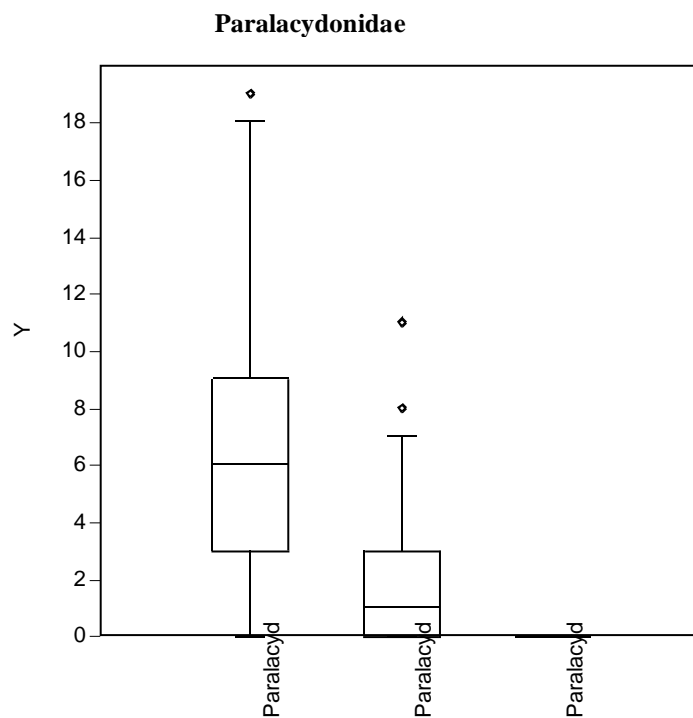
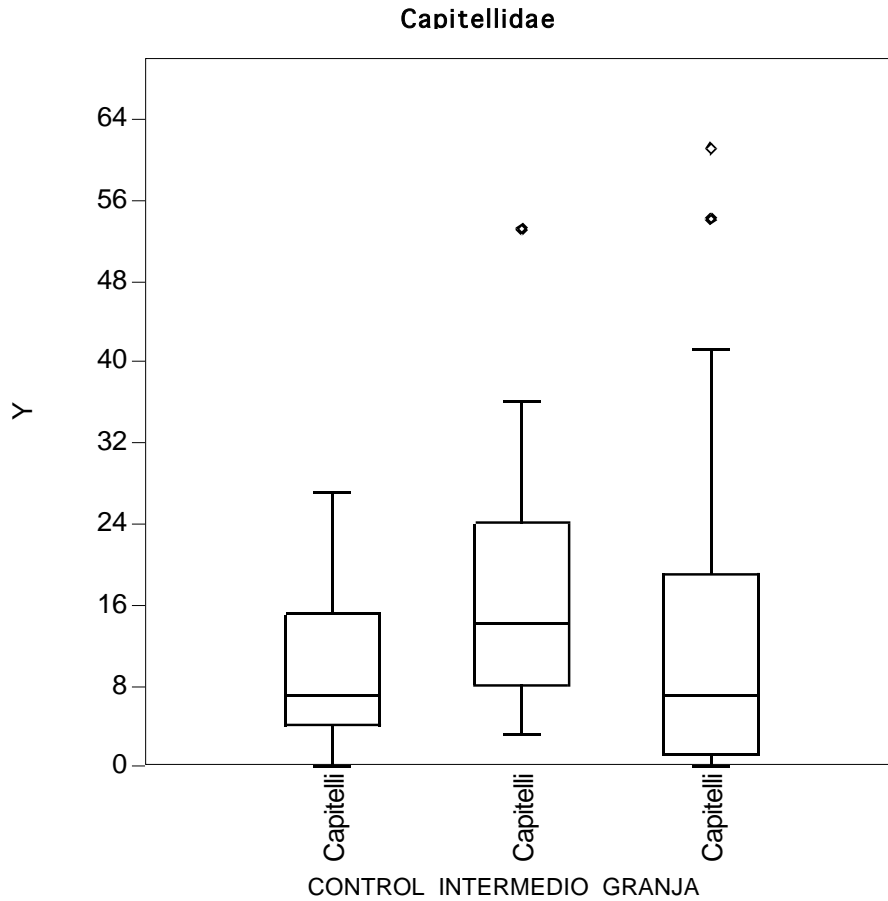
Al analizar los cambios en las variables biológicas, los anfípodos no mostraron un patrón acorde con los factores experimentales, además de mostrar unas abundancias muy bajas. Sin embargo los poliquetos si que respondieron a los cambios inducidos por la actividad acuícola.

Cambios en el poblamiento de poliquetos.

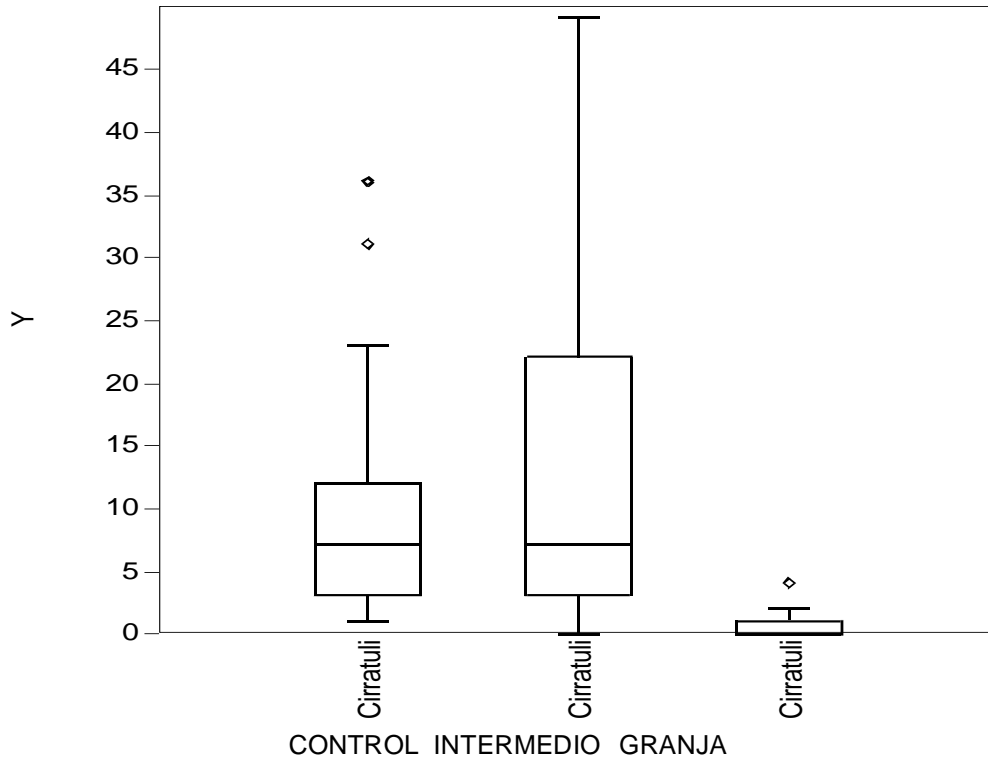
Tanto la riqueza de familia como la abundancia total mostraron diferencias significativas, con una reducción en la zona de la granja.



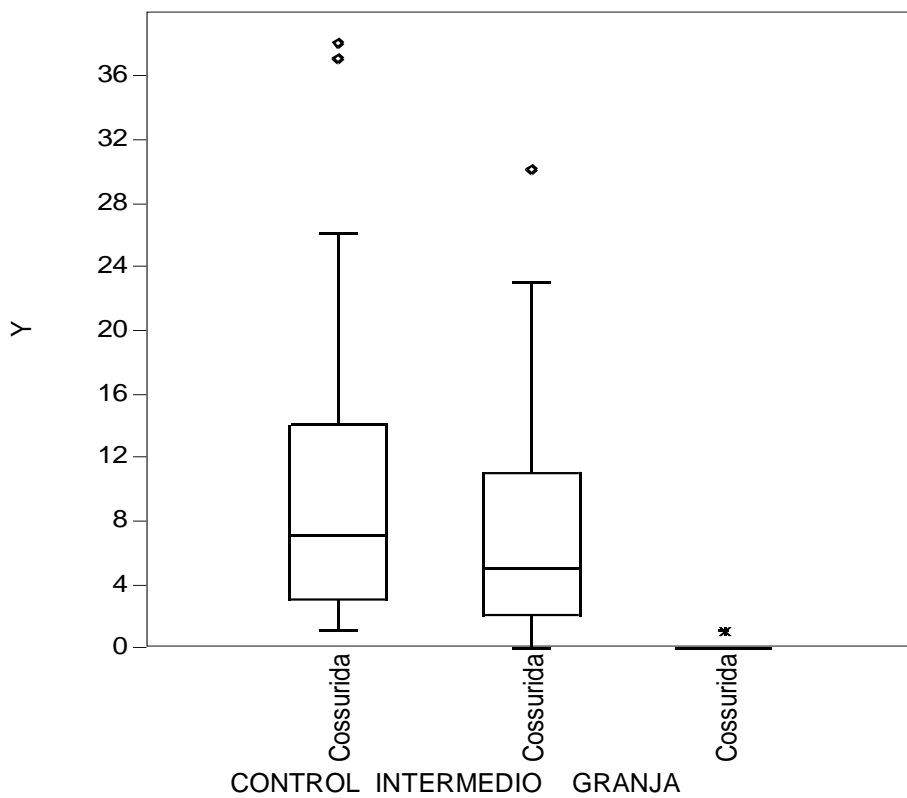
Algunas familias de la que se esperaba alguna respuesta, como los Capitellidos, no mostraron ningún patrón. Sin embargo, familias como Cirratulidae o Cosuridae mostraron una disminución en su abundancia, con diferencias significativas.



Cirratulidae



Cossuridae



Correlación entre la estructura del sedimento y la comunidad de poliquetos.

La rutina BEST del paquete PRIMER determinó una correlación de las variables ambientales sulfuros, Delta 15N, COT y PT como el conjunto que mejor explica los cambios en la composición de poliquetos, junto con la proporción de arcillas.

BEST: Biota and/or Environment matching

Parameters

Rank correlation method: Spearman

Method: BIOENV

Maximum number of variables: 5

Resemblance:

Analyse between: Samples

Resemblance measure: D1 Euclidean distance

Variables

1 Sul, 2 MO, 3 DN, 4 COT, 5 NT, 6 ST, 7 PT, 8 Gr, 9 Ag. 10 Am, 11 Af, 12 Lim,13 Arc

Global Test

Sample statistic (Rho): 0.501

Significance level of sample statistic: 1%

Number of permutations: 99 (Random sample)

Number of permuted statistics greater than or equal to Rho: 0

Best results

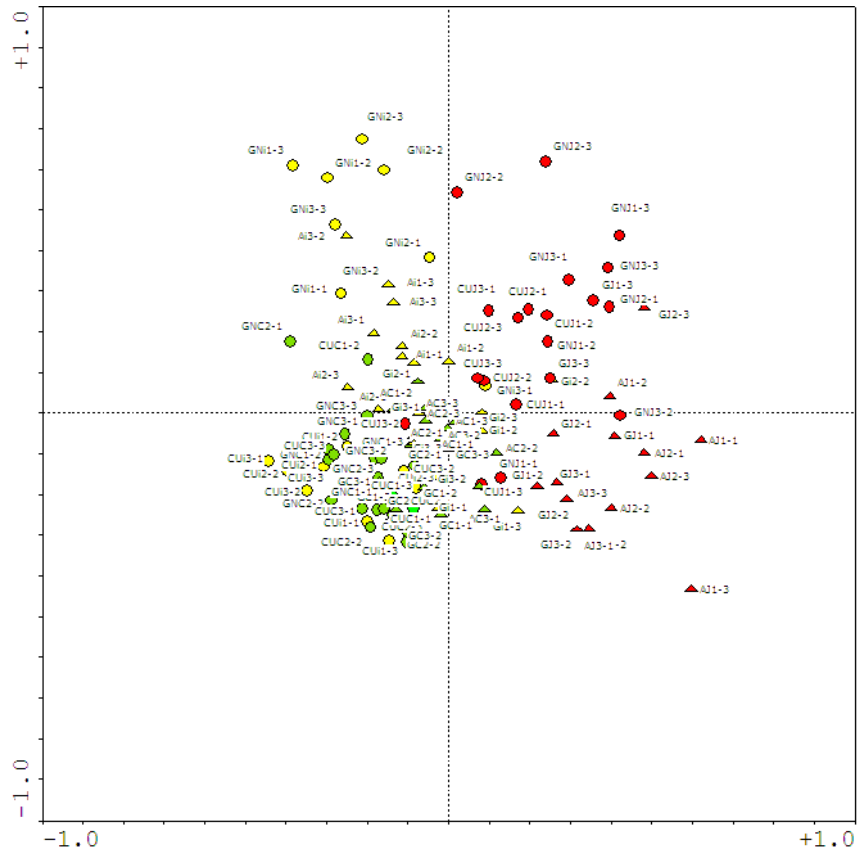
No.Vars Corr. Selections

4 0.501 1,3,4,7 Sulfuros, Delta 15N, COT, PT

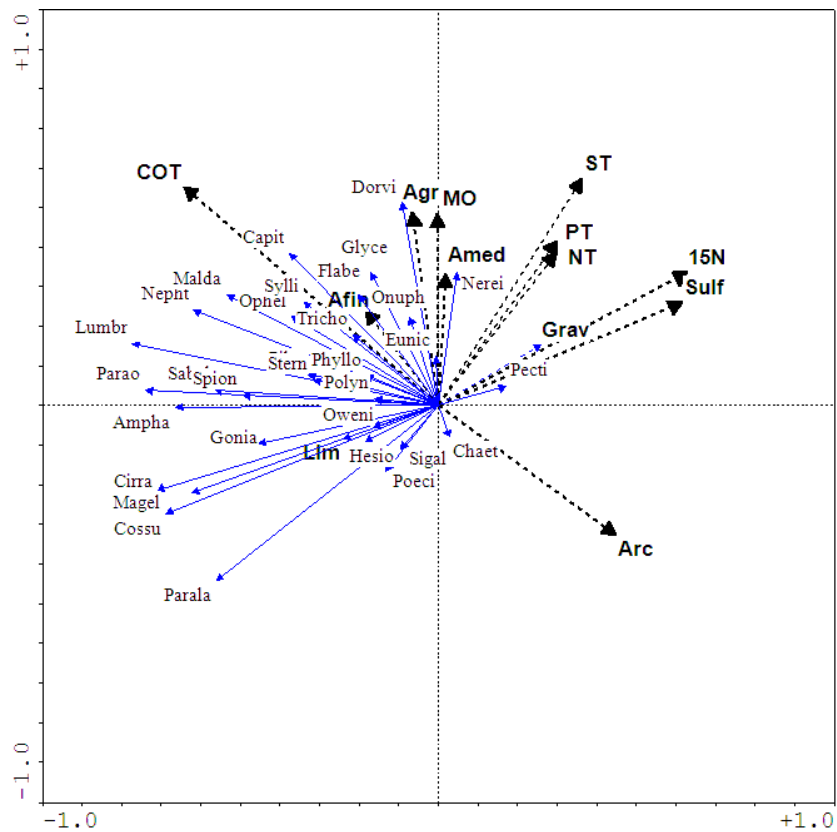
5 0.494 1,3,4,7,13 + Arcillas

La representación gráfica del RCA mostró una clara segregación de las muestras pertenecientes al tratamiento Granja, en rojo, respecto a las de Intermedio (amarillo) y Control (verde). Al analizar utilizando CCA los cambios en la estructura de poliquetos, se identifica una relación de la familias con los diferentes parámetros ambientales, como por ejemplo capitellidae con el contenido en materia orgánica. En el gráfico vemos otro grupo en relación opuesta a N15 y Sulfuros Libres formado por Cirratulidae, Magelonidae, Cossuridae, Paralacydonidae y Ampharetidae, todas ellas familias que reducen su abundancia bajo la influencia de las granjas.

RCA:



CCA:



En relación a los cambios de poliquetos producidos en la Comunidad Valenciana, se recomienda realizar un análisis de la estructura del poblamiento que consista en:

- Riqueza específica.
- Abundancia total.
- Familias sensibles. Las familias Cossuridae, Paralacydonidae, Magelonidae, Ampharetidae requieren especial atención por su drástica disminución de abundancia bajo la influencia de las granjas. A pesar del comportamiento conocido de Paralacydonidae y Ampharetidae de estar presentes en sedimentos contaminados por exceso de materia orgánica, en este estudio se encontró una disminución en su abundancia. Cabe destacar que todas las localidades donde se llevó a cabo el estudio están influenciadas por los sedimentos enriquecidos por materia orgánica del río Segura, pero al sumarle el impacto producido por las granjas estas especies desaparecen.
- Familias tolerantes. Las familias Capitellida y Dorvilleidae requieren especial atención por su posible proliferación bajo la influencia de las granjas.

Teniendo en cuenta que debe ir relacionado con un estudio para una mayor comprensión de los cambios producidos en el sedimento a causa del aporte de las granjas marinas.

4. Recomendación para la realización de planes de seguimiento en la Comunidad Valenciana.

Tras los resultados obtenidos en el plan de vigilancia ambiental piloto realizado en las instalaciones de la Comunidad Valenciana se proponen las bases para establecer un plan de vigilancia ambiental, que con un coste mínimo, proporcione las herramientas necesarias para poder reducir el impacto ambiental y proponer medidas de mitigación cuando sea necesario.

Hay que matizar que los muestreos se han realizado en dos instalaciones situadas sobre fondos predominantemente fangosos, por lo que la respuesta de las comunidades bentónicas y del propio sedimento en áreas más arenosas puede ser diferente si se reduce la carga de materia orgánica natural e incrementa el hidrodinamismo.

4.1. Método de muestreo:

El uso de la draga Van-Been se ha demostrado muy eficiente cuando los fondos son fangosos, evitando el coste que supone la utilización de buceo autónomo para la recolección de muestras. Sin embargo su uso se ve más limitado cuando los fondos se encuentran más compactados al ser arenosos o presentar guijarros que dificultan su buen funcionamiento. Por lo tanto, se puede recomendar la estandarización del uso de dragas con una superficie mínima de muestreo de 20x20 cm, empleando cores de 10 cm de diámetro cuando las características del sustrato impidan su utilización.

4.2. Diseño experimental y distribución de muestras:

La actividad de la acuicultura produce un impacto irremediable sobre un determinado sector del entorno costero, que se asume por parte de la administración ambiental competente si el EIA es positivo, con la posibilidad de establecer una serie de medidas correctoras que minimicen este impacto. El área donde se asume el impacto debe corresponder con la concesión administrativa del dominio público marítimo en la que se permite la realización de la actividad. Fuera de esta concesión, en el propio dominio público, el impacto de la actividad de la acuicultura debe ser reducido y no afectar al funcionamiento del ecosistema, a la estructura de las comunidades o especies y hábitat de interés especial y a los recursos marinos explotados por otros usuarios como puede ser la pesca. Por lo tanto se propone la definición de un Área de Impacto Asumido que coincide con la concesión administrativa donde se puede desarrollar la actividad y delimitada físicamente por fondeos. Este sector debe soportar la mayor presión por la sedimentación directa de la materia orgánica, el efecto del sombreado de las instalaciones, modificación del hidrodinamismo,...pero su efecto sobre el medio no puede ser nunca devastador, manteniéndose unos niveles óptimos de oxígeno y una mínima biodiversidad que aseguren la capacidad de recuperación del medio en caso de que la actividad acuícola cese su actividad. Alrededor de la instalación, y en una distancia de unos 100 m, podemos definir un Área de Influencia de la Acuicultura, perteneciente al dominio público y donde puede producirse cierto impacto que debe ser mínimo. Dependiendo del hidrodinamismo y de la producción anual, así como de la gestión de la instalación, no podemos encontrar que el área de influencia puede variar en su disposición espacial y área ocupada. Por último, en todo plan de seguimiento debe emplearse un área de referencia o control, ya que la variabilidad espacial y temporal de las comunidades bentónicas y de las características del sedimento es generalmente de gran magnitud. Por otra parte suele existir una falta de datos de las características ambiental de la zona antes de comenzar la actividad acuícola, o si existen no tienen una replicación espacial y temporal adecuada o no coinciden los parámetros medidos con los utilizados por el plan de seguimiento. Todo ello hace fundamental el muestreo en estas zonas de referencia que en todo caso deberían estar replicadas para, por comparación entre ellas y con las otras zonas afectadas potencialmente por la acuicultura, definir el grado de impacto de la actividad.

Por lo tanto proponemos la utilización de una sectorización del ambiente donde se desarrolla la actividad en base a estos tres criterios: a) zona de efecto permitido, b) zona de influencia, c) zonas control.

4.3. Replicación espacial a diferentes escalas.

Las comunidades bentónicas manifiestan una gran variabilidad espacial a diferentes escalas espaciales. Es decir, en pocos metros de distancia podemos encontrar diferencias suficientes importantes como para enmascarar el efecto del factor principal en estudio, en el presente caso el efecto de la acuicultura en mar abierto. Por lo tanto se hace necesario la replicación espacial a un nivel superior al de la replicación, lo que se conoce como un muestreo anidado, con una replicación en al menos 3 sitios al azar en la cada una de las zonas establecidas, con una replicación de al menos 3 muestras al azar en cada sitio.

4.4 Variables de caracterización del sedimento:

En el estudio piloto se han identificado una serie de variables que han respondido significativamente a la actividad acuícola. La propuesta para el Plan de Vigilancia Ambiental que se propone se basa en estos resultados y en la experiencia del equipo de trabajo, ya que como se ha comentado anteriormente, en fondos arenosos se puede esperar una respuesta un tanto diferente.

En relación al coste y a la información obtenida se plantea la utilización de las siguientes variables utilizando las técnicas analíticas detalladas anteriormente:

- Estructura sedimentaria: proporción de limos y arcillas
- Potencial Redox
- Carbono orgánico total
- Fósforo total
- Sulfuros libres
- Delta N15

4.5. Variables biológicas.

Los cambios en la estructura de los poblamientos de poliquetos identificados a nivel de familia son una herramienta muy útil en la identificación de impactos sobre fondos blandos. Se propone la utilización de esta variable y su análisis a nivel de comunidad mediante análisis multivariantes (MDS, CCA o RDA) y el análisis univariante de la abundancia total, número de familias presentes y la abundancia de las familias Capitellidae, Cirratulidae y Cossuridae.

5. Recomendaciones derivadas de la reunión de expertos.

El 28 de julio de 2011 se realizó una reunión de expertos en la UA con el fin de conocer la opinión de otros científicos con experiencia en el seguimiento de instalaciones de acuicultura, técnicos de empresas productoras y empresas de consultoría ambiental, y técnicos de la administración.

La lista de asistentes fue la siguiente:

Asistentes a la reunión:

Carolina Assadi García - OCEANSNELL, S.L. CEEI Valencia (Parque Tecnológico)
Avda. Benjamín Franklin, 12 46980 Paterna (VALENCIA).
carolina.assadi@oceansnell.com

David Gras Olivares. Instituto de Ecología Litoral. C/ Jacinto Benavente, 21. 03560 El Campello d.gras@ecologialitoral.com

Juan Carlos Navarro Tárrega. Director del Instituto de Acuicultura de Torre de la Sal.
C/ Ribera de Cabanes, sn. Cabanes. Castellón. E-12595 (ESPAÑA).
jcnavarro@iats.csic.es

Inmaculada Varó. Instituto de Acuicultura de Torre de la Sal. C/ Ribera de Cabanes, sn. Cabanes. Castellón. E-12595 (ESPAÑA). inma@iats.csic.es

Eduardo Minguez. Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente Generalitat Valenciana. minguez_edu@gva.es

Damián Fernández Jover. Instituto Multidisciplinar para el Estudio del Medio "Ramón Margalef" (IMEM). Universidad de Alicante. jover@ua.es

Pablo Sanchez-Jerez. Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada. Universidad de Alicante. Ap. C. 99 CP 03080 Alicante. psanchez@ua.es

Just Bayle Sempere. Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada. Universidad de Alicante. Ap. C. 99 CP 03080 Alicante. bayle@ua.es

Victoria Fernández-González. Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada. Universidad de Alicante. Ap. C. 99 CP 03080 Alicante. Victoria.fernandez@ua.es

Elena Martínez. Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada. Universidad de Alicante. Ap. C. 99 CP 03080 Alicante. elena.martinez@ua.es.

Miguel Rodilla Alama, Universidad Politécnica de Valencia Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de zonas Costeras IGIC, Universidad Politécnica de Valencia, C/Paranimf, 1. 46730, Gandía (Valencia). mrodilla@hma.upv.es

Silvia Falco Giaccaglia. Universidad Politécnica de Valencia Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de zonas Costeras IGIC, Universidad Politécnica de Valencia, C/Paranimf, 1. 46730, Gandía (Valencia). sfalcog @ hma.upv.es

Tania Morata Higon. Universidad Politécnica de Valencia Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de zonas Costeras IGIC, Universidad Politécnica de Valencia, C/Paranimf, 1. 46730, Gandía (Valencia). tamohi@upvnet.upv.es

Rebeca Velasco. Parque Natural de Sierra Helada. serragelada@gva.es

Paco Montero. ICBiBE. Unidad de Zoología Marina. Universidad de Valencia. francisco.e.montero@uv.es

Sofía Blasco. CULMAR. Grupo Marjal. Pol. Ind. "Santa Ana" P-1 · 03140 Guardamar del Segura (Alicante). sofia@marjal.com

Carmen Marín. CULMAREX. C/ Don Carnal s/n Polígono Industrial de Águilas, 30880 ÁGUILAS (MURCIA). carmen.marin@culmarex.com

Kilian Toledo Guedes.. BIOECOMAC. Dpto. Biología Animal. Ciencias Marinas. Universidad de La Laguna. Facultad de Biología. C/ Astrofísico Francisco Sánchez s/n 38206 La Laguna. Tenerife. ktoledo@ull.es

La metodología empleada en la reunión fue la siguiente: introducción al problema en cuestión en base a los resultados del presente proyecto, distribución de un cuestionario elaborado por la Universidad de Las Palmas de Gran Canarias (ECOMAS) y discusión de los aspectos más interesantes.

De los resultados de la reunión cabe destacar los siguientes puntos de gran interés para la definición de un plan de vigilancia ambiental:

- a. Los Planes de Vigilancia Ambiental deben ser asumibles económicamente para las empresas y deben adaptarse en sus exigencias al tamaño de la empresa y niveles de producción. Debe plantearse un PVA que sea adaptativo al impacto potencial de la actividad y reducir los procedimientos administrativos.
- b. Los resultados de los PVA deben ser públicos.
- c. Los indicadores propuestos son aceptados ampliamente, proponiendo otros alternativos de interés en determinadas circunstancias como son el acúmulo de antibióticos y la demandad biológica de oxígeno en sedimento.
- d. Existe cierta discrepancia en la ausencia de un seguimiento de las características de la columna de agua, proponiendo la incorporación de medidas de clorofila a, nitratos y fosfatos, turbidez y presencia de lípidos en la interfase agua-atmósfera.
- e. La definición de valores de referencia que sirvan para establecer la magnitud del impacto deben establecerse en base a los valores obtenidos en zonas control, ya que es muy difícil establecer valores para toda la Comunidad Valenciana debido a la gran variabilidad espacial.
- f. Existe un sentir común en la necesidad de auditorias de la calidad de los planes de seguimiento realizados por las empresas de consultoría ambiental, o la realización de la contratación desde la administración, incorporando el coste de los PVA en los impuestos cobrados a las empresas productoras, evitando el fraude en los resultados presentados en los PVA.
- g. Se considera interesante la realización de una inspección visual de la calidad ambiental en base ya sea mediante video o inspección directa por buceadores, donde se evalúe la presencia de residuos plásticos, pienso sin comer, peces muertos, restos de limpieza de fouling, presencia de mantos de *Beggiatoa* o la presencia de redes en mal estado que favorezcan los escapes. Este aspecto estará influenciado en gran medida por la visibilidad en el fondo de la instalación.
- h. La mortalidad de aves y las interacciones negativas con mamíferos marinos deben ser considerados en el PVA.
- i. Si existen problemas concretos de interacción negativa con pescadores, o la actividad acuícola se produce las inmediaciones de caladeros tradicionales de pescadores artesanales, la evaluación de las agregaciones de peces salvajes puede ser relevante y deben ser incluidos en le plan de seguimiento.
- j. El control de los escapes debe ser prioritario y los datos deben ser reportados a la administración por parte

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ESTUDIOS DE SEGUIMIENTO DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LOS CULTIVOS MARINOS.

Felipe Aguado Giménez

**Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario
(IMIDA).**

ÍNDICE.

1. COMPARTIMENTOS DEL MEDIO AFECTADOS O SUSCEPTIBLES DE RECIBIR IMPACTOS	1
1.1. Impactos más relevantes sobre el sistema pelágico	1
1.2. Impactos más relevantes sobre el sistema bentónico	2
1.3. Otros tipos de impactos	4
2. ESTABLECIMIENTO DE “ZONAS DE EFECTOS PERMITIDOS” (Allowable Zone Effects: AZE)	5
3. VARIABLES A MONITORIZAR	9
3.1. Sistema bentónico	10
3.1.1. Fondos de tipo detrítico – sedimentario	10
3.1.1.1. Granulometría	10
3.1.1.2. Sulfuros libres totales (TFS)	10
3.1.1.3. Poblamiento infaunal de poliquetos	12
3.1.2. Praderas de fanerógamas marinas	14
3.1.3. Fondos rocosos infra- o circalitorales	16
3.1.4. Comunidad de Mäerl	17
3.2. Sistema pelágico	18
3.2.1. Producción primaria fitoplanctónica	18
3.2.2. Calidad del agua	19
4. PERTURBACIONES INDESEABLES	20
4.1. Perturbaciones indeseables en el sistema pelágico	20
4.2. Perturbaciones indeseables en el sistema bentónico	20
4.2.1. En fondos de tipo detrítico – sedimentario	20
4.2.2. En praderas de fanerógamas marinas	20
4.2.3. En fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl	21
5. OBJETIVOS DE CALIDAD “EQO’s”	22
6. ESTÁNDARES DE CALIDAD “EQS’s”	23

6.1. Criterios para el establecimiento de EQS´s	23
6.2. Estándares de calidad para el sistema bentónico	23
6.2.1. Granulometría	23
6.2.2. Sulfuros libres totales (TFS)	24
6.2.3. Poblamiento infaunal de poliquetos	25
6.2.4. Praderas de fanerógamas marinas	26
6.2.5. Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl	27
6.3. Estándares de calidad para el sistema pelágico	27
6.3.1. Producción primaria fitoplanctónica	27
6.3.2. Calidad del agua	28
7. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA MONITORIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	29
7.1. Justificación del diseño propuesto	29
7.2. Niveles de los factores, nivel de significación, replicación y grados de libertad	33
8. DISEÑO ADAPTATIVO DE LA MONITORIZACIÓN	36
8.1. Niveles de impacto	36
8.2. Niveles de vigilancia	37
8.2.1. Nivel de vigilancia V.1.	38
8.2.2. Nivel de vigilancia V.2.	39
8.2.3. Nivel de vigilancia V.3.	40
8.2.4. Nivel de vigilancia V.4.	41
8.2.5. Nivel de vigilancia V.5.	43
9. METODOLOGÍAS PROPUESTAS PARA MUESTREO Y ANÁLISIS ..	45
9.1. Impacto visual de los fondos	45
9.2. Métodos de estudio para sustratos de tipo detrítico – sedimentario	46
9.2.1. Análisis de sulfuros libres totales (TFS)	48
9.2.2. Análisis granulométrico	48
9.2.3. Poblamiento infaunal de poliquetos	49

9.3. Métodos de estudio para praderas de fanerógamas marinas	49
9.3.1. Densidad global de haces	49
9.3.2. Material particulado que alcanza las praderas	50
9.4. Métodos de estudio en fondos rocosos infra- o circalitorales	50
9.5. Métodos de estudio en fondos de Mäerl	51
9.6. Métodos de estudio en la columna de agua	51
9.6.1. Análisis químico de nutrientes	51
9.6.2. Otras variables oceanográficas: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez y clorofilas	52
10. BIBLIOGRAFÍA	53

1. COMPARTIMENTOS DEL MEDIO AFECTADOS O SUSCEPTIBLES DE RECIBIR IMPACTOS.

La tendencia en cuanto a la ubicación de las instalaciones de cultivos marinos en el medio natural, es situarlas en zonas más o menos alejadas de la línea de costa. Es lo que se ha dado en llamar acuicultura en mar abierto o cultivos *offshore*. Los motivos subyacentes a la elección de estas ubicaciones son:

- Minimización de las interacciones con otros usos del litoral.
- Facilitar la dispersión de los residuos generados por los cultivos al situarse en zonas más expuestas.
- Distanciamiento de las zonas de producción respecto a la mayoría de las biocenosis marinas sensibles o de interés ecológico para evitar afecciones en las mismas.

Los residuos más relevantes cuantitativamente que los cultivos marinos liberan al medio tienen su origen principalmente en los procesos de alimentación y crecimiento y son de tipo orgánico, pudiendo estar en forma disuelta (amonio, fosfatos, urea, etc.) o particulada (heces, mucosidades, escamas, alimento suministrado no ingerido, etc.). Esta distinta naturaleza de los residuos más relevantes va a tener distintas repercusiones sobre diferentes compartimentos dentro del ecosistema marino. Así, los residuos de tipo disuelto van a tener una mayor incidencia sobre el sistema pelágico, principalmente sobre el plancton y la calidad del agua, mientras que los de tipo particulado van a afectar mayoritariamente al sistema bentónico.

1.1. Impactos más relevantes sobre el sistema pelágico.

Los nutrientes disueltos liberados por el cultivo podrían estimular la producción primaria planctónica. En condiciones de mar abierto, la dilución y dispersión de los nutrientes es lo suficientemente rápida como para que apenas se puedan detectar picos en los niveles de algunos nutrientes (amonio y fosfatos) o de clorofila-A inmediatamente después de los períodos de alimentación, que muy rápidamente se desvanecen. Dado que las condiciones de cultivo en mar abierto imposibilitan un confinamiento de los nutrientes y por ende que se

dispare la producción primaria planctónica, los impactos sobre el ecosistema pelágico son prácticamente inexistentes o despreciables. No obstante, en situaciones de calmas prolongadas o en los casos en que haya una concentración de instalaciones de cultivo en un área determinada, podría ser necesario controlar los efectos de los residuos orgánicos sobre la producción primaria planctónica y la calidad del agua, ya que podrían darse fenómenos aditivos. En casos extremos podrían desencadenarse proliferaciones desmedidas de microalgas e incluso de plancton tóxico (mareas rojas).

1.2. Impactos más relevantes sobre el sistema bentónico.

Los residuos de tipo particulado son dispersados en menor medida que los disueltos y tienden a depositarse en los fondos en las inmediaciones de las instalaciones de cultivo, llegando a ocasionar alteraciones en el sistema bentónico. El distanciamiento entre las zonas de cultivo y la costa supone que la mayor parte de las comunidades sensibles y/o de alto valor ecológico, como las praderas de fanerógamas marinas o las biocenosis de sustrato rocoso infralitoral, queden lo suficientemente distantes como para no verse afectadas. Estas comunidades además suelen gozar de algún estatus de protección. No obstante, existen otras biocenosis infra- o circalitorales que se encuentran en mar abierto, que pudieran verse influenciadas por los cultivos marinos si éstos se instalan próximos a ellas. Entre estas biocenosis destacan las biocenosis de algas calcáreas libres (diferentes facies del *mäerl*) y biocenosis de roca infra- o circalitoral distintas de las presentes en los acantilados costeros. Una adecuada selección de los emplazamientos aptos para los cultivos en mar abierto y un correcto procedimiento de evaluación del impacto ambiental, debieran dejar también a estas comunidades al margen de la influencia de los cultivos.

Los fondos de tipo detrítico - sedimentario ocupan enormes extensiones de la plataforma y el talud continental del Mediterráneo. Estos fondos se caracterizan por una aparente uniformidad y una diversidad biológica baja si se compara con otros fondos más ricos, como los rocosos o las praderas marinas. No obstante, desempeñan un papel importante en el reciclado de la materia

orgánica sedimentaria y albergan importantes recursos pesqueros demersales. Dadas sus características de baja biodiversidad y mayor potencial para degradar los aportes orgánicos, las zonas ocupadas por este tipo de fondos han sido seleccionadas – casi por eliminación -, para la ubicación de las instalaciones de cultivos en mar abierto. Sin embargo, cuando la carga orgánica que se deposita sobre ellos supera su capacidad de mineralización, se producen alteraciones bio-geoquímicas que conducen a la pérdida de su funcionalidad por desequilibrios en las comunidades bacterianas e infaunales existentes, que en casos avanzados podrían incluso llegar a afectar a los cultivos.

Las instalaciones de cultivo de peces en mar abierto están compuestas básicamente por jaulas flotantes o de gravedad. Estas estructuras constan de una serie de anillos concéntricos flotantes de los que pende un bolsillo de red cuya altura es variable, pero que normalmente oscila entre los -15 y los -30m, dependiendo de la profundidad de la zona de cultivo y de la gestión de las instalaciones y de la producción de la empresa. Las jaulas flotantes, más aun cuando están llenas de peces, suponen un obstáculo para el hidrodinamismo y la dinámica sedimentaria local, pudiendo verse favorecida la deposición de material particulado (tanto derivado del cultivo como de origen natural) en el entorno de las instalaciones. De darse esta situación, la distribución de tamaño de las partículas del fondo podría verse modificada, incrementándose las fracciones más finas del sedimento, bien porque las corrientes de fondo no sean lo suficientemente intensas y/o frecuentes como para transportar estos depósitos de materiales más finos a mayores distancias, bien porque la intensidad de la sedimentación supere a la capacidad de estas corrientes de fondo. Estos cambios en la composición granulométrica actúan sinérgicamente con el incremento del contenido orgánico del sedimento, alterando las condiciones en que se desarrollan las comunidades de fondos blandos.

Por otra parte, aunque para los casos de cultivos en mar abierto el impacto previsible derivado de los residuos de tipo disuelto sea poco o nada significativo, y aunque las comunidades biológicas sensibles o de elevado interés ecológico se encuentren en principio distantes, el principio de precaución debe primar por encima de todo, en el sentido de que el impacto

difuso de estos nutrientes pudiese alcanzar a estas comunidades. Dado que la liberación de nutrientes es continuada en el tiempo y que en determinadas circunstancias las instalaciones de cultivo se concentran en grandes áreas de producción, pudieran darse efectos acumulativos de disponibilidad de nutrientes en zonas en principio alejadas de los focos de emisión. En estos casos es por tanto importante tener localizadas estas comunidades sensibles y ante la sospecha de que pudiesen verse afectadas, incluirlas en los programas de seguimiento ambiental.

1.3. Otros tipos de impactos.

Existen otros tipos de impactos derivados de los cultivos que generan otro tipo de efectos en el medio, que en el caso del Mediterráneo no están todavía lo suficientemente estudiados. Son los impactos derivados del uso de antibióticos y antiparasitarios, pinturas *antifouling*, escapes de peces cultivados, etc., y sus efectos sobre los sistemas bentónicos y pelágicos, así como la atracción de fauna salvaje a las instalaciones de cultivo, ya sean peces, aves o mamíferos. Estos aspectos requieren de investigaciones más profundas y detalladas para conocer la magnitud de sus efectos y en caso necesario su consideración en los seguimientos ambientales.

De todos los compartimentos del medio susceptibles de recibir los impactos derivados de los cultivos de peces en mar abierto, es el sistema bentónico el que en principio puede verse más influenciado. Por ello es lógico que se preste una mayor y más intensa atención a los distintos componentes de este compartimento que a otros.

2. ESTABLECIMIENTO DE “ZONAS DE EFECTOS PERMITIDOS” (*Allowable Zone of Effects: AZE*).

Como cualquier actividad productiva, los cultivos marinos van a dejar una huella en el medio en que se desarrollan. Con el nivel de conocimiento alcanzado hasta la actualidad, se sabe que la zona que va a experimentar los impactos directos y evidentes derivados de los cultivos en mar abierto se circunscribe al entorno de las instalaciones, en torno a unas decenas de metros, como mucho una o pocas centenas de metros alrededor de las mismas, no de manera uniforme sino con una desviación en el sentido de las corrientes predominantes en cada caso (pluma de dispersión o lágrima de dilución). Es importante pues conocer cual va a ser el alcance espacial no solo de los vertidos, sino lo que es más importante de los impactos, con el fin de delimitar cual va a ser el área que los recibe y en el caso de que dicho impacto sea asumible (lo que debe haberse evaluado previamente en los estudios de impacto ambiental previos al desarrollo de la actividad), vigilar que no trasciendan más allá de esa área de influencia. Es lo que en el contexto de las interacciones entre acuicultura y medio ambiente conocemos como “zona de efectos permitidos” (del inglés “Allowable Zone of Effects”: AZE).

En esta AZE asumimos que el medio receptor va a verse afectado por la deposición de los residuos derivados del cultivo. Por tanto sabemos que en el caso del sistema bentónico, éste va a sufrir una serie de alteraciones en su dinámica bio-geoquímica. Esta asunción no implica que demos por consentido que el lecho se degrade en su totalidad. Como comentamos anteriormente, los fondos detrítico – sedimentarios juegan un papel destacado en la degradación de la materia orgánica, y tanto por el bien del medio ambiente como del propio cultivo, es fundamental que no se pierda esta funcionalidad. Por ello el impacto que sabemos que se va a producir en la AZE debe ser limitado. Esperamos que en la AZE los poblamientos infaunales van a experimentar una sucesión (regresión) ecológica como consecuencia de los cambios geoquímicos que se van a producir, y serán reemplazados por otros tolerantes al enriquecimiento orgánico, a la hipoxia/anoxia y a la toxicidad, menos diversos y menos equilibrados en sus relaciones (tróficas, competencia, depredación, ...), pero

capaces de procesar al menos en parte los residuos depositados. Si el impacto progresa más allá de lo que estos nuevos poblamientos son capaces de procesar, se perderá por completo la funcionalidad de estos fondos y se desencadenarán fenómenos bio-geoquímicos que pueden llegar a afectar al propio cultivo: emisiones de sulfuros y metano a la columna de agua.

Existen herramientas basadas en el conocimiento de la respuesta de este tipo de fondos ante el enriquecimiento orgánico, capaces de determinar las dimensiones de la AZE en función de la intensidad del cultivo, de la capacidad dispersiva del medio (hidrodinamismo), de la batimetría y de las características físicas de los residuos (velocidad de sedimentación). Por consiguiente es fundamental para una buena gestión ambiental de la acuicultura, aplicar estas herramientas para determinar las dimensiones del área en la que se va a permitir que se produzcan alteraciones, y vigilar que más allá de la misma el medio mantenga intacta su funcionalidad.

- Modelos de dispersión del vertido y de respuesta bentónica.
- Ecuación de Gowen & Bradbury (1989) + experiencia (intuición) previa:

$$D = p \times V_c / v_{sed}$$

D: distancia horizontal (m)

P: profundidad (m)

V_c : velocidad de la corriente ($m s^{-1}$)

v_{sed} : velocidad de sedimentación ($m s^{-1}$)

Suponiendo que no se haya aplicado un modelo de dispersión que delimite el área de afección, aplicando la ecuación de G&B (1989) para una zona de 36m de profundidad, con una $V_c = 0.15m s^{-1}$, y para unas $v_{sed} = 0.14m s^{-1}$ (pellets de pienso de 8mm), $0.06m s^{-1}$ (pellets de 2mm, pellets fecales) y $0.002m s^{-1}$ (polvo de pienso), se obtendrían distancias teóricas de aproximadamente 38m, 90m y 2700m respectivamente. Pero esta serían las distancias que podrían alcanzar los residuos, otra cosa distinta es que lleguen a generar un impacto. Por consiguiente, ¿cuál sería la AZE? Los resultados del ejemplo ponen de

manifiesto que la zona permite una dispersión importante de los residuos. En tanto que no estemos familiarizados con el uso de herramientas o modelos para determinar el AZE y no seamos capaces de aplicarlas, tenemos que establecer la AZE en función de nuestra experiencia y del cumplimiento de los objetivos de calidad que nos planteemos, de modo que la AZE resultante sea realista. Para este caso concreto, la AZE no debiera ser superior al área concéntrica a las instalaciones a una distancia de 30 – 50m de las jaulas. Si la zona permitiese una mayor dispersión (mayor profundidad y/o V_c), el tamaño de la AZE disminuiría, y si fuese menos dispersiva (menor profundidad y/o V_c) aumentaría (Tabla 1), pero en ningún caso debería ser superior al área concéntrica a las instalaciones a una distancia de 100m. Puesto que los cultivos en jaulas flotantes se están desarrollando en condiciones de mar abierto (salvo excepciones), las AZE's deben ser no muy extensas (25 – 100m), presuponiendo que la dispersión es considerable. Debemos aprender como se operan estos modelos para aplicarlos en la estimación de las AZE's; entre tanto solo nos queda la intuición. En definitiva, la definición de la AZE es una tarea que debe hacerse individualizadamente para cada granja. Asimismo, el propio PVA nos permitirá averiguar si las dimensiones de la AZE son correctas o deben modificarse. Los PVA's han de ser dinámicos también para el dimensionamiento de la AZE.

Además de la AZE o zona A, debemos definir una zona B en la periferia de la AZE, que es sobre la que se ha de poner un mayor interés y esfuerzos por controlar que no experimenta afecciones derivadas de los cultivos. Asimismo se deben establecer estaciones control que nos servirán para evaluar la evolución tanto de la AZE como de la zona B.

Portion of data set	All data	Predicted ITI (\pm EAP)		Regulatory data set
		Most dispersive	Least dispersive	
0 m	4 \pm 4	15 \pm 5	1 \pm 4	4 \pm 4
25 m	5 \pm 4	22 \pm 5	4 \pm 4	21 \pm 5
50 m	16 \pm 5	59 \pm 18	15 \pm 5	59 \pm 12
100 m	34 \pm 8	59 \pm 18	36 \pm 9	59 \pm 18
AZE severity - Average predicted ITI under cages	1.9	16.9	1.1	1.6
AZE extent - Area enclosed by 37 ITI contour ($\times 10^5 \text{m}^2$)	3.95	0.75	4.27	2.36
Distance from cages to AZE boundary:	SW ^a 100 m	25 m	100 m	25 m
	NE ^a 100 m	0 m	100 m	50 m

^a The boundary of the AZE is the 37 ITI contour for this site

Tabla 1: AZE calculada (DEPOMOD) para un mismo sitio bajo diferentes condiciones dispersivas (extraído de Cromey & Black, 2005).

3. VARIABLES A MONITORIZAR.

Las variables que utilicemos para monitorizar el impacto ambiental derivado de los cultivos en mar abierto deben cumplir una serie de propiedades:

- Capacidad para establecer relaciones causa – efecto:
 - Que sean específicos y potentes: su respuesta sea concreta para un tipo de impacto concreto, sin que surjan dudas a la hora de interpretar los resultados que nos aportan.
 - Que sean consistentes y plausibles: su respuesta ha de mostrarse robusta, sólida, poco sujeta a cambios bruscos en su variabilidad, y por lo tanto recomendable en su utilización.
 - Que se ajuste a secuencias espaciales y temporales: su respuesta permita discriminar claramente entre zonas con distintos niveles de impacto en función de los niveles de la variable, y que la variación de sus niveles se ajuste al tiempo de exposición a la fuente de impacto.
 - Que su respuesta sea clara frente a la causa del impacto.
- Método analítico desarrollado y contrastado, y al alcance de cualquier usuario.
- Resultados relevantes, significativos de las condiciones del medio.
- Expresión comprensible de los resultados: facilidad y claridad para interpretar los niveles o valores obtenidos por respuesta.

A continuación se enumeran las variables propuestas para el seguimiento ambiental en los diferentes compartimentos del medio susceptibles de recibir impactos derivados de los cultivos en mar abierto, justificándose en cada caso la idoneidad de los mismos.

3.1. Sistema bentónico.

3.1.1. Fondos de tipo detrítico – sedimentario.

3.1.1.1. Granulometría.

El conocimiento de la distribución de tamaños de las partículas del sedimento (granulometría) es importante desde dos puntos de vista. Por una parte, su variación a lo largo del tiempo aporta información a cerca de la dinámica sedimentaria y el hidrodinamismo, de modo que nos puede alertar si se está produciendo un aumento de la deposición de materiales finos procedentes o no de los cultivos como consecuencia de la obstaculización de las corrientes causada por la presencia de las instalaciones. Asimismo, su variación en el tiempo también aporta información sobre la intensidad de las corrientes de fondo que serían responsables de la resuspensión de las fracciones más finas y de su transporte a zonas más distantes, lo cuál es interesante de cara a mantener la funcionalidad de este tipo de fondos. Por otra parte, se sabe que la granulometría es un factor determinante en la estructura de los poblamientos infaunales y de las condiciones físicas del sedimento que a su vez determinarán el potencial mineralizador de los aportes orgánicos y el equilibrio metabólico aerobio/anaerobio y la mayor o menor facilidad de intercambio gaseoso y de metabolitos en el perfil vertical del sedimento (porosidad, permeabilidad), de modo que es de gran utilidad para la interpretación de variaciones de otras variables.

En definitiva, nos permite monitorizar los efectos debidos a la obstaculización de las corrientes a la vez que actúa como un muy buen descriptor de las condiciones del medio para explicar las condiciones geoquímicas y el comportamiento de otras variables tanto bióticas como abióticas.

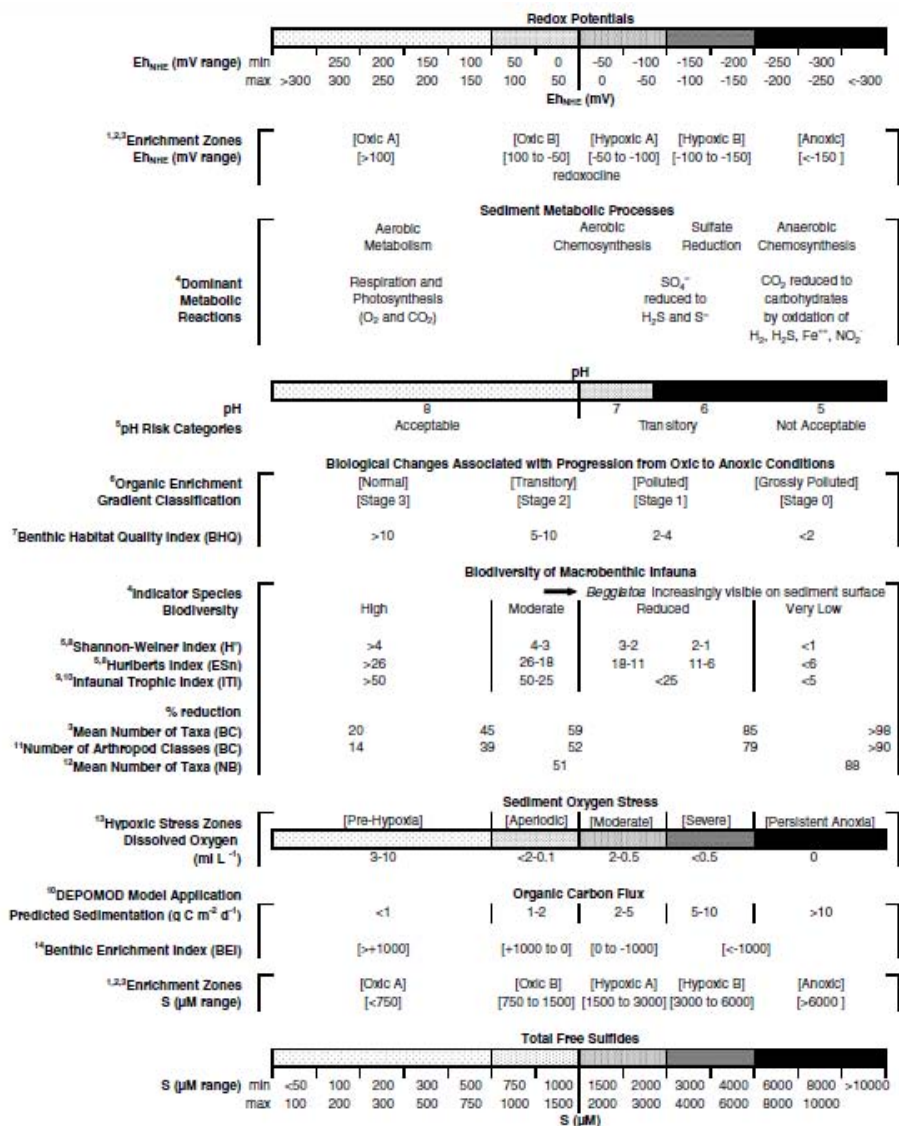
3.1.1.2. Sulfuros libres totales (TFS).

La mineralización de la materia orgánica en el sedimento puede llevarse a cabo mediante procesos metabólicos aerobios (respiración, fotosíntesis, desnitrificación, ...) o anaerobios (actividad sulfato-reductora principalmente, aunque también metanogénesis). De hecho, estas rutas metabólicas tan

diferentes en cuanto a condiciones coexisten en el sedimento y están equilibradas, dependiendo del oxígeno disponible, de la cantidad de materia orgánica presente y de la profundidad del sedimento. Cuando el enriquecimiento orgánico en el sedimento es elevado se produce un incremento en el consumo de oxígeno y la capacidad de mineralización siguiendo rutas metabólica aeróbicas se ve limitada, produciéndose un desequilibrio a favor del metabolismo anaerobio. Tanto más acusado será este último cuanto menos oxígeno haya disponible para mineralizar la materia orgánica. En estas circunstancias, la disponibilidad de oxígeno se ve también limitada por procesos de re-oxidación de los metabolitos derivados del metabolismo anaerobio, principalmente sulfuros, produciéndose un efecto de *feed-back*. La acumulación de sulfuros en los sedimentos localizados bajo instalaciones de cultivo hace que estos fondos sean de los más ricos en sulfuros en todos los mares (Holmer & Kristensen, 1992). La estimulación de la actividad bacteriana sulfato-reductora debida al enriquecimiento orgánico en los sedimentos localizados bajo instalaciones de cultivo de peces es uno de los problemas más importantes debido a la acumulación de sulfuros, que resultan tóxicos para la mayor parte de los organismos infaunales (macro- y meiofauna) del sedimento, y que junto con la hipoxía/anoxia son los factores que determinan la magnitud del impacto debido a la excesiva deposición de materia orgánica sobre los fondos.

Por consiguiente, el establecimiento de relaciones causa – efecto entre el deterioro del medio y la actividad acuícola mediante los niveles de TFS es directo. Existen numerosos trabajos en los que se han estudiado los niveles de sulfuros en el entorno de instalaciones de cultivo, y su relación con las condiciones óxicas, el metabolismo sedimentario, los flujos bentónicos y los poblamientos infaunales (Hargrave et al., 1993, 1997, 2008; Hargrave 2010, entre los más destacados), habiéndose propuesto incluso valores de referencia para diferenciar el estado de calidad del sedimento en función de los niveles de sulfuros (Tabla 2). Además, existen protocolos detallados sobre la metodología analítica que por otra parte es bastante simple y asequible (electrodo de ion selectivo).

Tabla 2: Nomograma para la zonación del enriquecimiento orgánico bentónico en base a los niveles de sulfuros libres totales y otras variables (Hargrave et al., 2008).



3.1.1.3. Poblamiento infaunal de poliquetos.

La capacidad de integración de los distintos niveles de organización en que se puede dividir los sistemas biológicos es mayor cuanto más complejo es el nivel (Figura 1). Sin embargo, al aumentar en complejidad, resulta más complicado su estudio. Dependiendo de los objetivos del estudio, se ha de seleccionar el nivel de integración que más interesa para mantener un buen equilibrio en cuanto a coste y beneficio.

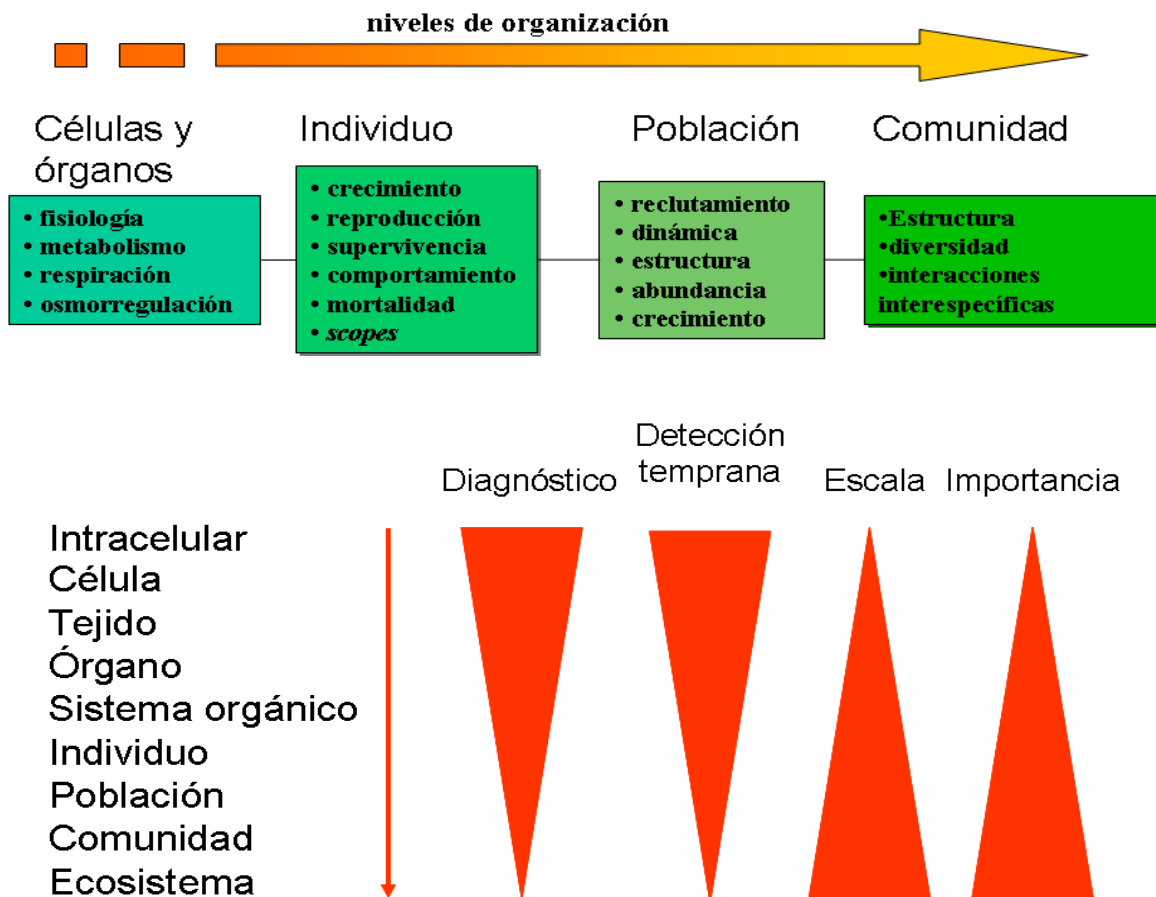
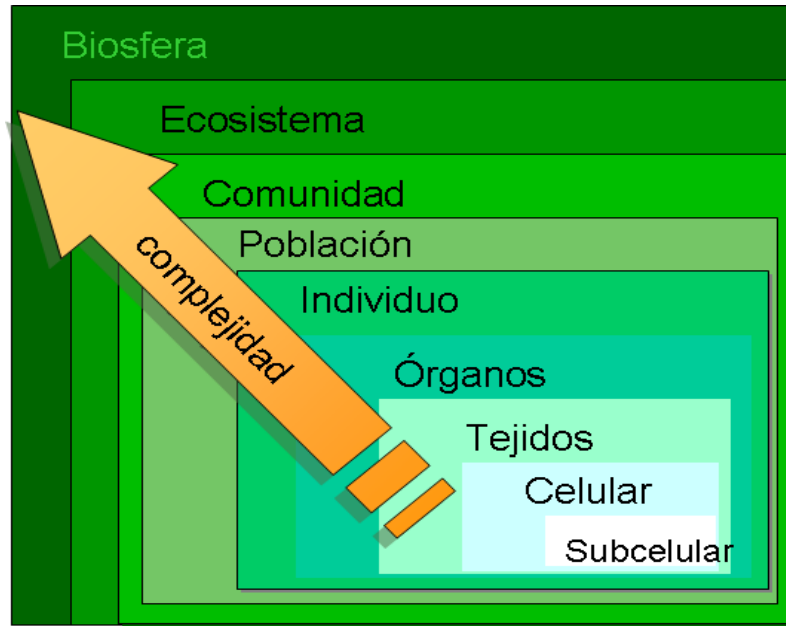


Figura 1: Niveles de organización, integración y complejidad de los sistemas biológicos.

Un estudio a nivel de comunidad en el entorno de una instalación de cultivo en mar abierto nos aportaría una magnífica información acerca de cómo es el impacto con un nivel de integración muy alto. Sin embargo, sería un estudio muy costoso en tiempo y costes, ya que supone estudiar todos los grupos taxonómicos existentes y no todos responden al impacto a una misma escala temporal. De entre todos los grupos faunísticos que habitan en los fondos de tipo detrítico – sedimentario, y en relación al impacto de los cultivos marinos en estos fondos, el grupo taxonómico de los anélidos poliquetos ha recibido una atención especial, ya que este grupo se ha mostrado como el más sensible para detectar impactos derivados del enriquecimiento orgánico del sedimento (Salas, 1996). Además, Lampadariou et al (2005) han comprobado que el estudio del poblamiento de poliquetos estudiados a un nivel taxonómico de familia y utilizando un tamiz de 1mm es suficientemente preciso para detectar cambios en la estructura del poblamiento debidas al enriquecimiento orgánico derivado de los cultivos marinos.

3.1.2. Praderas de fanerógamas marinas.

Debido a la localización en mar abierto de las instalaciones de cultivo en el litoral español, las únicas fanerógamas marinas que pudieran verse afectadas por la actividad son *Cymodocea nodosa* y *Posidonia oceanica*. Ambas comunidades constituyen hábitats prioritarios de conservación y por consiguiente se encuentran protegidas por legislaciones comunitarias y estatales. *P. oceanica* ocupa grandes extensiones de fondos blandos en el Mediterráneo donde es endémica, mientras que *C. nodosa* presenta una distribución en manchas mucho menos uniformes y extensas, aunque en algunos lugares, especialmente en el litoral de las Islas Canarias, pueden ocupar extensiones importantes. Dependiendo de la transparencia de las aguas, el límite inferior de distribución de ambas fanerógamas varía, pudiendo alcanzar en ambos casos los 35 – 40 m, aunque lo normal es que para *P. oceanica* se encuentre entre los 25 – 30 m, y para *C. nodosa* entre los 15 – 25 m. La influencia de los cultivos marinos sobre *P. oceanica* ha sido ampliamente estudiado (Holmer et al., 2008), mientras que sobre *C. nodosa* se prestado una

menor atención (Delgado et al., 1997). No obstante, aunque la magnitud de la respuesta puede variar entre ambas especies, las causas que conducen a su degradación son las mismas (atenuación de la luz incidente, hipersedimentación (compuestos orgánicos biopoliméricos y fósforo), epifitismo y presión por herbívoros (efecto cascada), principalmente), y los efectos netos son la disminución en el tamaño de los haces y la disminución de la densidad de haces, lo que supone una pérdida progresiva de la superficie de las praderas.

Holmer et al. (2008) propusieron una distancia mínima entre las instalaciones de cultivos marinos y las praderas de *P. oceanica* de 400 m (*sensu* Díaz-Almela et al., 2008). Trabajos recientes en los que se ha realizado un seguimiento de la señal isotópica del ^{15}N , han puesto de manifiesto que el alcance espacial de los residuos (esencialmente de tipo disuelto) derivados de los cultivos en mar abierto - lo que podríamos denominar “alcance difuso” -, es mucho mayor - en torno a 2-3 km -, si bien a esas distancias no se observaron alteraciones en la estructura y dinámica poblacional de la pradera (Aguado-Giménez et al., 2007). Estos hallazgos condicionan el que la distancia mínima entre praderas e instalaciones se aumente significativamente por encima de esos 400 m propuestos, al menos hasta 2 km, ya que a distancias comprendidas entre 400 – 1000 m aun se han detectado efectos perniciosos sobre el crecimiento (Marbà et al., 2006).

En el seno del proyecto europeo MedVeg se llevó a cabo un estudio exhaustivo sobre la influencia de los cultivos marinos sobre las praderas de *P. oceanica*, utilizándose diversos descriptores a diferentes niveles (individuo, población, comunidad). De entre los descriptores posibles para monitorizar el impacto de los cultivos en mar abierto sobre las praderas de fanerógamas marinas, los más relevantes son la tasa de sedimentación (umbral de 1.5 g materia orgánica $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$; Díaz-Almela et al., 2008; Holmer et al., 2008) y los cambios netos en la estructura de la población (densidad de haces y cobertura de la pradera). La utilización de uno u otro (o ambos) dependerá de la distancia entre las instalaciones y las praderas y de la magnitud potencial del alcance difuso de los impactos.

3.1.3. Fondos rocosos infra- o circalitorales.

Los sustratos rocosos albergan comunidades muy dispares y heterogéneas debido a la diversa combinación de atributos abióticos y bióticos. La orientación, inclinación, rugosidad, tamaño de los bloques, profundidad, hidrodinamismo, disponibilidad de nutrientes, irradiancia, etc., motivan la presencia y abundancia de uno u otro tipo de organismos. En cualquier caso, la composición faunística y florística en comunidades de sustrato duro y las distintas interrelaciones que se dan entre los diferentes componentes del hábitat (bióticos y abióticos) determinan la estructura de la comunidad. En este sentido, las comunidades de fondos rocosos están formadas por organismos que estructuralmente desempeñan distintas funciones. Según la clasificación de Jones & Andrews (1993) podemos encontrar diferentes tipos de organismos:

- Organismos “formadores del hábitat”: aquellos que caracterizan el hábitat.
- Organismos “determinantes del hábitat”: aquellos capaces de influenciar la distribución de los “formadores del hábitat”, normalmente a través de mecanismos de depredación o ramoneo.
- Organismos “sensibles al hábitat”: aquellos cuya distribución y abundancia está fuertemente influenciada por el estado del hábitat.

La naturaleza de estos hábitats está determinada por las relaciones entre los distintos miembros de la comunidad, que a su vez está influenciada por factores exógenos. La dinámica de las comunidades de sustrato duro está fuertemente influenciada por la dinámica de los organismos “formadores del hábitat”. Cualquier proceso que pueden influir sobre estos organismos a menudo conlleva “efectos cascada” sobre el resto de organismos que componen la comunidad.

Puesto que partimos de la base de que estas comunidades solo podrían verse influenciadas como mucho por el alcance difuso de los residuos derivados de los cultivos, consideramos que evaluar el estado de la comunidad en su conjunto sería una tarea desmedida en cuanto al coste que ello implica. En aquellas situaciones en que se sospeche que determinados comunidades de

sustrato duro pudieran verse afectadas por los cultivos en mar abierto, los esfuerzos deberían centrarse sobre los “organismos formadores del hábitat”, que dependiendo de la localización de la comunidad (acantilado, losas horizontales profundas, fotófilo, esciáfilo, etc.) pueden ser unos u otros organismos, por lo que habría que identificarlos como primer paso para su monitorización.

3.1.4. Comunidad de Mäerl.

Mäerl es un término general utilizado para englobar a aquellos lechos infra- o circalitorales cubiertos por algas rojas calcáreas, nodulares y de vida libre (rodolitos). Estas formaciones algales se distribuyen en manchas más o menos extensas sobre fondos detrítico – sedimentarios, que en el Mediterráneo aparecen entre los 25 -90 m de profundidad. Estas algas rojas calcáreas se caracterizan por un crecimiento muy lento y por estar adaptadas a unas condiciones de luz, temperatura, hidrodinamismo, sedimentación y disponibilidad de nutrientes muy particulares (Wilson et al., 2004). Los fondos de Mäerl forman un entramado estructural complejo (algas calcáreas vivas junto con esqueletos calcáreos muertos), a modo de bosque a pequeña escala, de manera que proporciona una gran variedad de nichos ecológicos que sirven para el desarrollo de una importante y diversa comunidad de algas filamentosas, invertebrados y peces de interés comercial, algunos de ellos exclusivos de este tipo de fondos. Las “especies formadoras del hábitat” más destacadas son *Phymatolithon calcareum* y *Lithothamnion corallioides* (incluidas en el anexo V de la Directiva Hábitat), aunque dependiendo de las hidrodinámica del fondo, pueden ser más abundantes otras especies de los géneros *Peyssonnelia spp.* o *Lythophyllum spp.* Sus características de elevada diversidad biológica, complejidad estructural, crecimiento lento y sensibilidad a las condiciones ambientales, han supuesto que los fondos de Mäerl hayan sido catalogados como de protección prioritaria.

El impacto de los cultivos marinos sobre estos fondos ha sido estudiado en muy pocas ocasiones, afortunadamente porque no se han dado muchos casos

en que las instalaciones de cultivo se hayan localizado directamente sobre estos fondos. No obstante, se ha podido constatar que la influencia de los cultivos marinos sobre esta comunidad se debe a una disminución de la irradiancia como consecuencia del incremento de la turbidez, que junto con la hipersedimentación limitan enormemente el potencial fotosintético y el crecimiento de estas algas calcáreas, ocasionándoles la muerte por enterramiento o por pérdida de su capacidad autótrófica. El propio entramado que forman los talos algales actúa como trampa para retener el material particulado que sedimenta sobre ellos, dificultando las posibilidades de resuspensión y transporte. Asimismo, el resto de la comunidad también experimenta importantes alteraciones al verse limitadas las capacidades filtradoras, suspensoras, etc., como consecuencia del aumento de materiales en suspensión y del deterioro de las condiciones geoquímicas de los sedimentos subyacentes (Hall-Spencer et al., 2006).

La identificación taxonómica tan solo de las algas que aparecen en este tipo de fondos es una tarea altamente especializada. Dado que el entramado que forman los rodolitos está formado por algas vivas y esqueletos calcáreos de algas muertas, la evolución en el tiempo en comparación con estaciones control de la relación entre la cobertura y del peso de Mäerl vivo y muerto serviría como descriptor para la monitorización de esta comunidad. La dificultad estriba en localizar estaciones control adecuadas. No obstante, puesto que los fondos de Mäerl no son muy abundantes en nuestro litoral, cabría esperar que no hubiesen lechos afectados por los cultivos en mar abierto, pero de darse el caso habría que prestar una atención especial tanto por la necesidad de conservarlos como para estudiar su respuesta ante perturbaciones antrópicas de este tipo en el Mediterráneo.

3.2. Sistema pelágico.

3.2.1. Producción primaria fitoplanctónica.

Con anterioridad se ha comentado que en condiciones de mar abierto, la probabilidad de que se produzcan fenómenos mantenidos de hipernutricación

y elevada producción primaria fitoplanctónica es bastante baja. Sin embargo, en zonas confinadas con escasa renovación, o donde se concentran varias instalaciones de cultivo (polígonos acuícolas) en mar abierto donde pudieran darse efectos aditivos de nutrientes y fitoplancton a una escala espacial más amplia, sería necesario controlar la producción fitoplanctónica, sobre todo porque pudieran dar paso a las conocidas y temidas “mareas rojas”.

El descriptor más destacado para la estimación de la producción primaria fitoplanctónica es el contenido en clorofila - A. En el Mediterráneo, se consideran niveles normales de $0.2 - 2 \text{ mg m}^{-3}$, mientras que valores por encima de los 10 mg m^{-3} se consideran indicativos de exceso de nutrientes en el medio.

3.2.2. Calidad del agua.

Entendemos como calidad del agua en el entorno de una instalación de cultivos en mar abierto, como el mantenimiento de unas condiciones adecuadas para el crecimiento de los organismos en cultivo, y que no ponen en riesgo el desarrollo de la vida marina en general ni la salud humana. Las variables tradicionalmente utilizados para evaluar la calidad del agua en mar abierto en relación con la acuicultura son las concentraciones de nutrientes (amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos), turbidez (transparencia), pH, oxígeno disuelto, temperatura y contenido en clorofilas. Ya se ha comentado en varias ocasiones la enorme dificultad para monitorizar en la columna de agua cualquier variable relacionada con los residuos derivados de los cultivos marinos, debido a la rápida dilución y dispersión de los mismos. El seguimiento de estas variables solo se contempla en situaciones en las que varias instalaciones se encuentren próximas entre sí y pudiesen darse efectos aditivos de pérdida de calidad del agua. No obstante es aconsejable la adquisición de datos de forma rutinaria por parte de los productores para llevar a cabo un auto-control de determinadas variables de interés directo para el desarrollo de los cultivos (oxígeno disuelto y temperatura), que también pueden ser relevantes en los seguimientos ambientales.

4. PERTURBACIONES INDESEABLES.

Establecer que tipo de alteraciones o perturbaciones son las que se pretende evitar es necesario para definir los objetivos de calidad y establecer unos límites o estándares de calidad. Cuando aparezcan perturbaciones indeseables, es decir, cuando se superan los límites establecidos es cuando la administración debe actuar, instando al productor a tomar las medidas oportunas, y si fuese necesario reducir la producción o incluso paralizarla.

4.1. Perturbaciones indeseables en el sistema pelágico.

- Pérdida de la calidad del agua en forma de aumento de la disponibilidad de nutrientes derivados de los cultivos que supongan un incremento de la producción primaria planctónica por encima de determinados niveles que pudiesen conducir a la aparición de mareas rojas.

4.2. Perturbaciones indeseables en el sistema bentónico.

4.2.1. En fondos de tipo detrítico – sedimentario.

- Deposición de material orgánico particulado derivado de los cultivos que conduzca a situaciones manifiestas de anoxia, toxicidad y regresión considerable de los poblamientos infaunales.
- Acumulaciones visibles de gránulos de pienso en los fondos como consecuencia de deficiencias en la gestión de la alimentación.
- Presencia de peces cultivados muertos en el fondo.
- Presencia de tapices bacterianos de *Beggiatoa sp.*

4.2.2. En praderas de fanerógamas marinas.

- Cambios en la estructura poblacional, la productividad, o alteraciones fisiológicas que puedan llegar a suponer pérdida neta de la superficie ocupada por las praderas.

4.2.3. En fondos rocosos infra- o circalitorales y fondos de Mäerl.

- Cambios en la estructura poblacional, la productividad, o alteraciones fisiológicas de los organismos “formadores del hábitat” específicos en cada caso, que puedan llegar a suponer una regresión de la comunidad, o sustitución de estos organismos por otros oportunistas.

5. OBJETIVOS DE CALIDAD “EQO´s”.

El objetivo primordial del establecimiento de objetivos de calidad es la protección desde diversos puntos de vista:

- De los consumidores.
- Del ecosistema litoral.
- De los valores estéticos, culturales y recreativos.
- De la integración con otros usos litorales.

Este protocolo se centra en la protección del ecosistema litoral exclusivamente.

Los objetivos de calidad para las interacciones ente los cultivos marinos y el medio ambiente se formulan sobre la base de que la magnitud espacial de los impactos no supere la zona de efectos permitidos (AZE), y que no se produzcan perturbaciones indeseables en ninguno de los compartimentos del medio.

El objetivo de calidad general es *“minimizar la emisión de residuos orgánicos para evitar perturbaciones indeseables en los fondos y en la columna de agua, de modo que los efectos negativos de la granja sobre el medio no sobrepasen la AZE estimada”*. Se pretende por tanto:

Vigilar que los impactos que se asume que se van a producir dentro de la AZE (zona A) no superen los límites establecidos en los estándares de calidad, ya que además de afectar a la calidad ambiental también podría afectar a la calidad del cultivo.

Vigilar que la AZE se mantiene, es decir que los efectos no se extienden más allá de la AZE (zona B). Para ello hay que vigilar las proximidades de la AZE, pero también vigilar zonas control (zonas C) donde se tenga garantías de que no existe ningún tipo de afección aunque sea de otro origen distinto a la acuicultura y que sean representativas del estado natural de la zona de estudio.

6. ESTÁNDARES DE CALIDAD “EQS´s”.

6.1. Criterios para el establecimiento de EQS´s.

Dependiendo de si establecemos niveles de las variables seleccionadas que no se deben superar o si lo que se pretende es conocer la evolución del comportamiento de estas variables a lo largo del tiempo, los criterios para establecer los estándares de calidad pueden ser:

- Valor crítico.
- Intervalos de confianza.
- Significación estadística en un contraste de hipótesis uni- o multivariante. Como medida de precaución se establece un $\alpha = 0.1$

Puesto que en los objetivos de calidad se considera la evolución no solo de la AZE (zona A) sino también de su periferia (zona B), los EQS´s se formulan para ambas zonas.

6.2. Estándares de calidad para las variables seleccionadas del sistema bentónico.

6.2.1. Granulometría.

Se contempla como una variable descriptora. No obstante, su monitorización es necesaria pues ayuda a la interpretación de las demás variables. Dada la influencia de las granjas sobre el hidrodinamismo local entraría dentro de lo posible que en la zona A (AZE) se incrementase la proporción de la fracción más fina. Obviamente la magnitud de estos posibles cambios en la granulometría están influenciados no solo por la mayor o menor intensidad del cultivo, sino por las dinámicas hidrológicas y sedimentarias locales. Puesto que la variabilidad espacial de la fracción más fina del sedimento es elevada (en general para cualquier descriptor del sedimentos la variabilidad es alta), y de manera natural podemos encontrar valores zonas con proporciones tanto muy altas como muy bajas, establecer estándares de calidad en base a valores críticos o intervalos de confianza resultaría poco fiable. Para un nivel de vigilancia bajo, una mera inspección visual podría mostrarnos indicios de

enfangamiento. Sin embargo, para niveles de vigilancia superiores, la variabilidad a lo largo del tiempo de la fracción más fina en relación a la variabilidad natural sería el mejor estándar de calidad, especialmente para la zona B, donde en principio no se deben producir alteraciones distintas de las naturales. En definitiva, los estándares de calidad propuestos para las distintas zonas son:

➤ **Zona A:**

- No se debe producir un incremento del enfangamiento de los sedimentos perceptible mediante inspección visual. De producirse en niveles bajos de vigilancia, sería preceptivo un seguimiento mediante análisis granulométrico, pasando a ser el EQS la aceptación de la hipótesis nula H_0 : las diferencias en la fracción más fina del sedimento entre las zonas A y C a lo largo del tiempo no son significativas, mediante contraste de hipótesis. Como medida de precaución se establece un $\alpha = 0.1$

➤ **Zona B:**

- No se debe producir un incremento del enfangamiento de los sedimentos perceptible mediante inspección visual. De producirse en niveles bajos de vigilancia, sería preceptivo un seguimiento mediante análisis granulométrico, pasando a ser el EQS la aceptación de la hipótesis nula H_0 : las diferencias en la fracción más fina del sedimento entre las zonas B y C a lo largo del tiempo no son significativas, mediante contraste de hipótesis. Como medida de precaución se establece un $\alpha = 0.1$

6.2.2. Sulfuros libres totales (TFS).

Nos basamos en los resultados obtenidos en el proyecto JACUMAR PROTOCOLOS (2008 – 2011) y en los límites propuestos por Hargrave et al. (2008). Los estándares de calidad propuestos para las distintas zonas son:

➤ **Zona A:**

- Valores de TFS admitidos: hasta $3000\mu\text{M} \pm 30\%$ (promedio de todas las muestras; no se admiten más de 3 muestras $> 6000 \mu\text{M}$).
- Valores de TFS de $3000 - 6000\mu\text{M}$ implican seguimiento del poblamiento infaunal (contraste estadístico H_0 : no existen diferencias significativas entre zonas).
- Valores de TFS $> 6000 \mu\text{M}$ implica reubicación de las instalaciones y/o disminución de la producción.

➤ **Zona B:**

- Valores de TFS admitidos dependientes de valores en zonas C: como máximo un 50% superior a los valores en controles.
- Valores promedio de TFS un 50% superior a los de los controles implican seguimiento del poblamiento de infaunal (contraste estadístico H_0 : no existen diferencias significativas en la evolución en el tiempo entre zonas B y C). Replanteamiento de las dimensiones de la AZE.
- Valores promedio de TFS $> 3000 \mu\text{M}$ implica reubicación de las instalaciones y/o disminución de la producción.

En cualquier caso se ha de realizar un contraste estadístico univariante para conocer las diferencias a lo largo del tiempo entre las zonas A - C, B - C y A - B. El estándar de calidad sería la aceptación de la hipótesis nula H_0 : las diferencias entre zonas A o B y controles a lo largo del tiempo no son significativas. Como medida de precaución se establece un $\alpha = 0.1$

6.2.3. Poblamiento infaunal de poliquetos

Tamaño $> 1\text{mm}$; nivel de identificación taxonómico de familia. Los estándares de calidad propuestos para las distintas zonas son:

➤ **Zona A:**

- N° de familias de poliquetos admitido 75% inferior que en zonas C.
- N° de familias de poliquetos $< 75\%$ de zonas C implica reubicación de las instalaciones y disminución de la producción.

➤ **Zona B:**

- Contraste de hipótesis (H_0 : no existen diferencias significativas entre la evolución en el tiempo de las zonas B y C).
- N° de familias nunca 50% inferior que en zonas C.

Se ha de realizar un contraste estadístico multivariante (PERMANOVA) para conocer las diferencias a lo largo del tiempo entre las zonas A - C, B - C y A - B. Se recomienda el cálculo de índices de diversidad y/o equitatividad y la representación gráfica mediante escalado multidimensional como herramientas de ayuda para la interpretación y presentación de resultados. El estándar de calidad sería la aceptación de la hipótesis nula H_0 : las diferencias entre zonas A o B y controles a lo largo del tiempo no son significativas. Como medida de precaución se establece un $\alpha = 0.1$

6.2.4. Praderas de fanerógamas marinas.

Las instalaciones deben estar lo suficientemente alejadas de estas biocenosis, pero dada la elevada importancia ecológica de las praderas de fanerógamas marinas y su estatus de protección, las praderas que se encuentren en el entorno de las granjas deben estar sujetas a seguimiento, especialmente cuando varias instalaciones se concentran en una misma zona y pudieran darse efectos aditivos. Puesto que la emisión de residuos, especialmente los de tipo disuelto, se lleva a cabo de forma continuada, las comunidades distantes pueden estar recibiendo el aporte de pequeñas cantidades de nutrientes derivados del cultivo pero de forma mantenida en el tiempo. Este tipo de impacto difuso no se encuentra tan bien caracterizado como los impactos directos, luego debe ser especialmente vigilado, máxime si la comunidad que recibe los impactos está catalogada como de alto interés ecológico y de conservación. Obviamente, las praderas de fanerógamas nunca podrían estar localizadas ni en la zona A (AZE) ni en la zona B, luego los estándares propuestos son únicos:

- El contenido en materia orgánica del material particulado que llega a la zona de la pradera más próxima a las instalaciones no debe superar los $1.5 \text{ gr m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

- Contraste de hipótesis H_0 : la evolución en el tiempo de la densidad global de haces en la zona de la pradera más próxima a las instalaciones no debe experimentar cambios distintos de los naturales, por comparación con múltiples estaciones de referencia.

6.2.5. Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.

Las instalaciones deben estar lo suficientemente alejadas de estas biocenosis. No obstante, cuando se tengan sospechas fundadas de que pueden recibir impactos difusos (una correcta evaluación previa del impacto ambiental debe ponerlo o no de manifiesto), es preceptiva su monitorización por los mismos motivos expuestos anteriormente para las praderas de fanerógamas. Obviamente, estas comunidades nunca podrían estar localizadas ni en la zona A (AZE) ni en la zona B, luego el estándar propuesto es único:

- Fondos rocosos: contraste de hipótesis H_0 : la evolución en el tiempo de la población de organismos formadores del hábitat en la zona más próxima a las instalaciones no debe experimentar cambios distintos de los naturales, por comparación con múltiples estaciones de referencia.
- Fondos de Mäerl: contraste de hipótesis H_0 : la evolución en el tiempo de la relación entre el peso seco de Mäerl vivo y muerto en la zona más próxima a las instalaciones no debe experimentar cambios distintos de los naturales, por comparación con múltiples estaciones de referencia.

-

6.3. Estándares de calidad para las variables seleccionadas del sistema pelágico.

6.3.1. Producción primaria fitoplanctónica.

➤ Zona A:

- Valores de clorofilas totales por debajo de 3 mg m^{-3} .

- Valores de clorofila entre 3 – 6 mg m⁻³ implican seguimiento de los nutrientes durante al menos 3 días consecutivos.
- Valores superiores a 6 mg m⁻³ durante más de 3 días consecutivos implican reducción de la producción.

➤ Zona B:

- Valores hasta un 25% distintos de los de zonas control.
- Valores superiores en más de un 25% respecto a los controles durante 3 días consecutivos implican replanteamiento de la AZE y/o disminución de la producción.

6.3.2. Calidad del agua.

➤ Zona A:

- Valores de oxígeno disuelto superiores a 6 mg l⁻¹ o 70% de saturación.
- Valore de pH entre 7 y 9.
- Valores de turbidez inferiores a 3 FTU.

➤ Zona B:

- Valores hasta un 25% distintos de los de zonas control.

7. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA MONITORIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

7.1. Justificación del diseño propuesto.

El problema más importante al que nos enfrentamos cuando queremos conocer como se comporta cualquier componente de los diferentes compartimentos del medio marino, ya sea en el sistema pelágico o en el bentónico, es la enorme heterogeneidad espacial y temporal inherente al ecosistema marino. Las comunidades biológicas no se distribuye de forma homogénea en el espacio ni cambian al unísono con el paso del tiempo. Las condiciones geoquímicas del sedimento muestran su enorme heterogeneidad a escalas espaciales de centímetros. La materia orgánica derivada de los cultivos no se deposita uniformemente en los fondos, ya que las corrientes de fondo determinan la existencia de zonas sumidero (*patchiness*). Esta variabilidad intrínseca al medio es lo que nos encontramos cuando queremos conocer si se han producido alteraciones como consecuencia de una perturbación: la gran heterogeneidad espacio-temporal puede que no nos permita obtener conclusiones reales si no nos hemos ocupado de tratar la variabilidad de forma correcta. Puesto que la variabilidad es algo que no podemos manejar (es la que hay), lo que debemos hacer es utilizar las herramientas apropiadas para asumirla en la mayor medida posible. Esto se consigue mediante diseños de muestreo adecuados.

En una gran parte de los seguimientos ambientales, el enfoque de la monitorización ha sido la detección de cambios en los valores medios de cualquiera que fuese la variable considerada como apropiada en una zona impactada en comparación con una zona control. Ante este diseño experimental tan simple surgen dos grandes inconvenientes: afortunadamente solo había disponible una única zona impactada, pero jugárselo todo a una única carta con una única zona control es como asumir que ese único control refleja exactamente el comportamiento de toda el área que no recibe las perturbaciones, y esto obviamente es una frivolidad cuando sabemos de la enorme variabilidad de los sistemas biológicos. Del mismo modo, tampoco sabemos si la zona impactada y la que hemos seleccionado como control

funcionaban de forma semejante antes de empezar a producirse las perturbaciones.

Para poder diferenciar los cambios que observamos en una zona impactada de los que ocurren de forma natural, es básico utilizar varias zonas control para poder asumir la variabilidad espacial natural y diferenciarla de la inducida por la perturbación. Por otra parte, tampoco es cuestión de decidir si una zona ha experimentado cambios si no conocemos como evolucionan esos cambios a lo largo del tiempo, máxime cuando sabemos que los sistemas biológicos se rigen por ritmos circadianos, del mismo modo que los cultivos marinos tienen una dinámica temporal ligada a las estaciones del año (temperatura y fotoperíodo básicamente). De hecho, para decidir si se está produciendo un impacto lo verdaderamente interesante es saber si los cambios experimentados en la zona impactada a lo largo del tiempo difieren de los cambios naturales a lo largo del tiempo, más que saber si en un momento dado la zona impactada es distinta de la control, ya que pudiera ser que un control también fuese distinto de otro control en un momento dado. A su vez, sería muy interesante conocer si los cambios a lo largo del tiempo en la zona impactada eran similares a los de las zonas control antes de producirse el impacto, ya que de ser distintos, una vez que comience el impacto la evolución de ambas zonas está ya condicionada por sus diferencias previas. Este diseño en el que se considera el comportamiento - entendido como evolución en el tiempo - de una variable antes y después de aparecer la perturbación en la zona que recibe los impactos frente a las mismas respuestas en múltiples zonas control, es sin lugar a dudas la solución más lógica y robusta tanto para identificar con garantías que se está produciendo un impacto como para abordar su monitorización. De esta manera podemos asimilar la variabilidad tanto espacial como temporal y tener garantías de averiguar si se está produciendo un impacto. Estos diseños experimentales reciben el nombre de diseños *beyond* – *BACI* (más allá de **B**efore – **A**fter **C**ontrol – **I**mpact: múltiples muestreos antes y después de aparecer los impactos – múltiples controles) (Underwood, 1991, 1992, 1993, 1994).

La caracterización *a priori* del medio susceptible de recibir los impactos (comúnmente denominado como estado pre-operacional o estado 0) es una

tarea fundamental para poder hacer los pronósticos necesarios sobre como va a ser la evolución del medio, cual va a ser la magnitud de los impactos, cual va a ser el alcance espacial de los mismos, etc. Si obtuviésemos esta información pre-operacional relativa a la zona que va a recibir los impactos y de múltiples zonas control durante un período de tiempo suficientemente amplio, sería posible aplicar el diseño óptimo *beyond – BACI*, pero normalmente el estudio pre-operacional solo se realiza una vez poco antes de comenzar la actividad, (luego en la gran mayoría de los casos no sabemos si la zona que se va a impactar funcionaba de manera semejante al resto de su entorno, lo cual hubiese sido interesante conocer para que los pronósticos de impacto hubiesen sido más finos), por lo que normalmente no es posible utilizar este diseño experimental. Por tanto, desde el punto de vista de la monitorización, el estado pre-operacional (un único muestreo antes de comenzar la actividad) asume un menor protagonismo que el que desempeñaba en la evaluación del impacto, en detrimento de como va a ser la evolución del medio a lo largo del tiempo.

Aunque rara vez se va a poder aplicar el diseño óptimo *beyond – BACI*, si hay algunas de sus características que nos interesa mantener para el diseño que finalmente vamos a aplicar, como son la utilización de múltiples controles para conocer y asumir la variabilidad natural, y la repetición de un mismo esquema de muestreo mientras dure la actividad para conocer y asumir la variabilidad temporal. Al formular los objetivos de calidad planteábamos la necesidad de monitorizar no solo la zona que va a recibir los impactos directos del cultivo (zona A o AZE), sino también la periferia (zona B) de la AZE para vigilar que los impactos no se extiendan más allá de lo permitido. Además dispondremos de varias zonas C como referencia para conocer la variabilidad natural. Dentro de cada una de estas tres “Zonas” (factor **Z**: 3 niveles A, B y C) se localizan varias “Estaciones” (factor **E**: nº de niveles según nivel de vigilancia) de muestreo con el fin de asumir la mayor variabilidad espacial posible de cada una de las zonas, y dentro de cada estación se toman varias réplicas ($n = n^{\circ}$ de réplicas según nivel de vigilancia). Este esquema de muestreo se repite periódicamente (según nivel de vigilancia) a lo largo del tiempo en forma de “Campañas” de muestreo mientras la actividad está en funcionamiento (factor **C**: nº de niveles según nivel de vigilancia y longevidad). En la Figura 2 se muestra un esquema

a modo de ejemplo del diseño experimental planteado y el modelo de análisis de la varianza (ANOVA) que se utiliza para el contraste de hipótesis

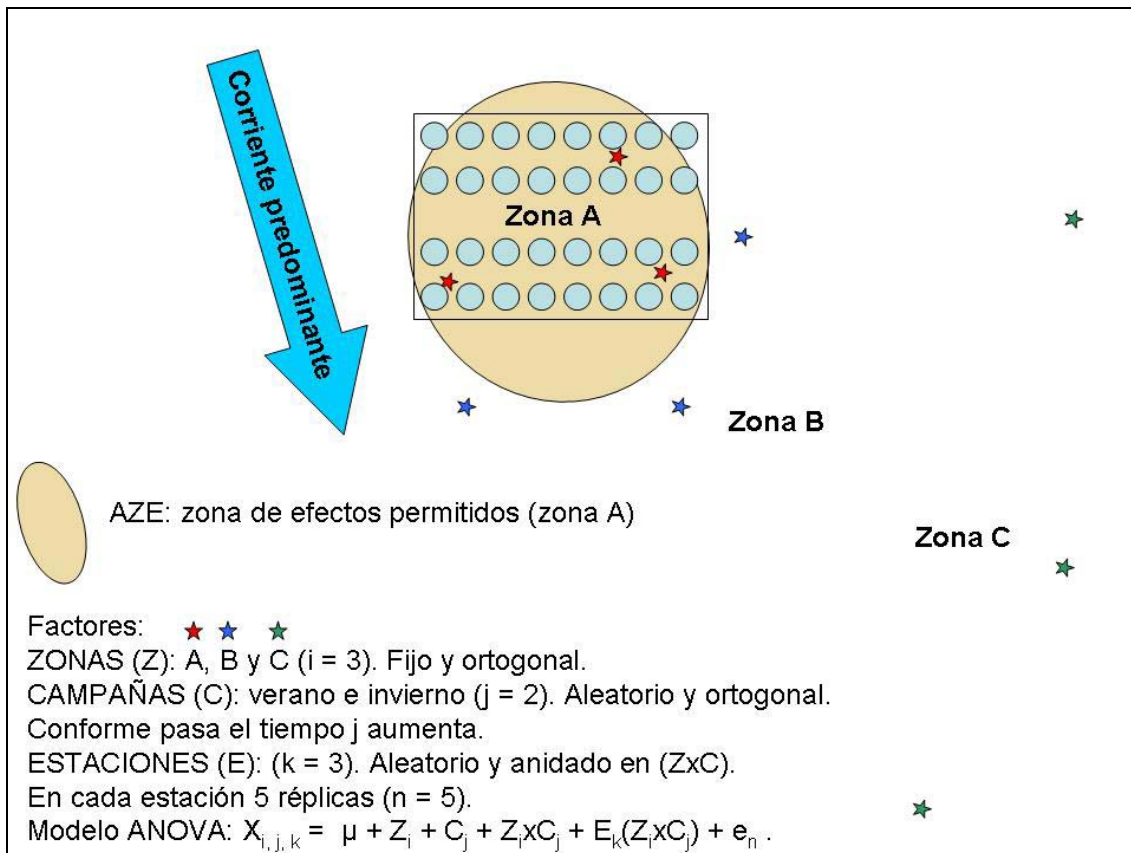


Figura 2: Esquema del diseño experimental y del modelo de ANOVA para el tratamiento de los datos y contraste de hipótesis.

La hipótesis nula que nos interesa testar es H_0 : las variaciones a lo largo del tiempo en las distintas zonas son iguales. Por tanto, la significación de la interacción entre los factores zona y campañas ($Z_i \times C_j$) va a ser la que nos indique si la evolución de las variables que consideremos es o no distinta en la AZE (zona A) y en la periferia de la AZE (zona B), con relación a la variabilidad natural (zona C). El test *post-hoc* de Student-Newman-Keuls (SNK) nos ayudará junto con la representación gráfica de la media de las variables en cada zona a lo largo del tiempo a identificar donde se producen las diferencias significativas. Este modelo de ANOVA exige una serie de condiciones metodológicas: que la localización de las estaciones dentro de cada zona sea aleatoria, que las estaciones dentro de cada zona sean independientes, que las réplicas que se toman en cada estación dentro de cada zona sean aleatorias e independientes y que el número de observaciones esté balanceado, es decir,

que tengamos el mismo número de observaciones de la variable para cada combinación de los factores. Asimismo, la distribución de los datos de las variables que consideremos debe ajustarse a una distribución normal (test de Kolmogoroff – Smirnof o test de Wilk – Shapiro, según el tamaño muestral) y las varianzas entre los niveles de cada factor deben ser homogéneas (test de Cochran o test de Levene), lo que comúnmente conocemos por homocedasticidad. A menudo, estas dos últimas condiciones no se cumplen debido a la gran variabilidad a la que hacíamos alusión al comienzo de este apartado. Para ajustarnos a estas condiciones existe la posibilidad de transformar las variables para conseguir homocedasticidad. Dependiendo de la naturaleza de los datos, las transformaciones más habituales son:

- $\sqrt{x+1}$: para datos en forma de frecuencias o n° de observaciones por unidad (de superficie, de volumen, ...).
- $\text{Log}_e(x+1)$: para datos en forma de tasas, ratios, concentraciones, ...
- $\text{Arcsin}(x)$: para datos en forma de porcentaje o proporciones.

No obstante, si después de la transformación seguimos sin lograr homocedasticidad, podremos continuar con el test sin transformar los datos, dada la robustez del ANOVA tratar estas asunciones cuando el número de observaciones es relativamente grande y están balanceadas (Underwood, 1997).

7.2. Niveles de los factores, nivel de significación, replicación y grados de libertad.

Cuando nos planteamos un diseño experimental para realizar un contraste de hipótesis determinado, debemos hacerlo de tal manera que minimicemos la probabilidad de cometer errores a la hora de aceptar o rechazar la hipótesis nula. Estos errores estadísticos son de dos tipos: I y II (Figura 3). El error de tipo I es aquel en el que se rechaza la H_0 cuando en realidad es falsa (falso positivo). En nuestro caso sería como admitir que existen diferencias en la evolución en el tiempo entre la zona A o la zona B y la zona C cuando no las hay. La estrategia para disminuir la probabilidad de cometer un error de este

tipo es aumentar el nivel de significación α . La propuesta para este protocolo es utilizar un $\alpha = 0.1$.

H_0	Aceptamos	Rechazamos
Verdadera		Error I α
Falsa	Error II β	

Figura 3: Distintos tipos de errores estadístico en un contraste de hipótesis.

El error de tipo II es aquel en el que se acepta la H_0 cuando realmente es falsa. En nuestro caso sería como admitir que no existen diferencias en la evolución en el tiempo entre la zona A o la zona B y la zona C cuando si las hay (falso negativo). El recurso para disminuir la probabilidad de cometer un error de este tipo es aumentar los grados de libertad (g.l.) mediante el incremento del tamaño muestral. Por consiguiente, aumentar los g.l. es sinónimo de mayor seguridad a la hora de discernir si existen o no diferencias significativas en la evolución en le tiempo de las variables consideradas entre las distintas zonas. Para nuestro diseño experimental, podemos aumentar el tamaño muestral de dos maneras, bien incrementando el número de réplicas en cada estación dentro de cada zona o aumentando el número de estaciones dentro de cada zona. Con el diseño experimental propuesto, para la hipótesis nula que debemos testar, es decir para la fuente de variación $Z_i \times C_j$, el estadístico F que usaremos para decidir si se acepta o rechaza la H_0 , se construye con $(i - 1) \times (j - 1)$ grados de libertad en el numerador, y con $i \times j \times (k - 1)$ grados de libertad en el denominador. Para nuestro diseño experimental, el valor de i es fijo (= 3: zonas A, B y C), el valor de j aumenta conforme con el paso de las campañas de muestreo, luego cuantas más campañas llevemos realizadas, los grados de libertad aumentan en el numerador y en el denominador, y el valor de k será tanto mayor cuantas más estaciones establezcamos dentro de cada zona,

aumentando los grados de libertad del denominador. Por lo tanto para nuestro caso, es mejor aumentar el número de estaciones dentro de cada zona (E) que aumentar el número de réplicas (n).

8. DISEÑO ADAPTATIVO DE LA MONITORIZACIÓN.

Los PVA's son herramientas dinámicas que se deben ir adaptando a las circunstancias conforme vamos obteniendo información a cerca de la evolución del medio receptor. La intensidad, frecuencia, compartimentos y el nº de variables a utilizar va a depender principalmente de:

- Intensidad de producción (tm año⁻¹, biomasa en stock año⁻¹, ...).
- Proximidad entre granjas.
- Condiciones dispersivas de la zona: profundidad y corrientes.
- Impacto potencial y escala espacial del mismo.
- Proximidad de comunidades sensibles y/o de alto valor ecológico.

Los niveles de vigilancia pueden incrementarse o disminuir en función del cumplimiento de los estándares de calidad propuestos.

8.1. Niveles de impacto.

Se establecen distintos niveles de impacto que están determinados por la intensidad de producción y/o la proximidad entre granjas:

Nivel I.1: intensidad de producción *baja* < 500 tm año⁻¹.

Nivel I.2: intensidad de producción *media*: 500 – 2000 tm año⁻¹.

Nivel I.3: intensidad de producción *alta*: > 2000 tm año⁻¹.

Dentro del nivel de impacto I.3 diferenciamos casos especiales en función de la proximidad entre granjas, dado que pudiesen darse efectos sinérgicos (aditivos):

Nivel I.3a: intensidad de producción *alta*: > 2000 tm año⁻¹ (granjas individuales).

Nivel I.3b: intensidad de producción *muy alta*: polígonos acuícolas con más de dos granjas con producciones individuales ≥ 1000 tm año⁻¹ o cuando dos o más granjas están lo suficientemente próximas como para que sus AZE's pudiesen

quedar a menos de 200m unas de otras. El seguimiento ha de realizarse considerando estas granjas como una única unidad. Evaluación de efectos sinérgicos: estudio a una escala espacial más amplia mediante técnicas de cartografiado espacial, con idénticos estándares de calidad.

Nivel I.3c: granjas comprendidas en una zona de producción de 2.5km de radio. A los seguimientos individuales y/o colectivos hay que añadir un estudio de sinergias y valorar si el área de afección para toda la zona es o no asumible.

En todos los niveles hay que definir la AZE. Estos serían los niveles de partida para aplicación en las granjas.

8.2. Niveles de vigilancia.

Cada nivel de impacto lleva asociado un nivel de vigilancia de partida. Se puede incrementar o disminuir el nivel de vigilancia en función de la evolución del medio.

Para cada compartimento se establecen los niveles de vigilancia, indicando variables a medir, periodicidad (C), zonas de muestreo (Z), nº de estaciones de muestreo (E) dentro de cada zona, nº de réplicas (n) por estación. Todos los niveles de vigilancia incluyen la inspección visual de los fondos consistente en el control cualitativo de diversos aspectos de los fondos.

Inspección visual:

- Grado de enfangamiento.
- Color superficial, olor.
- Estado de la macrofauna.
- Presencia de tapices de *Beggiatoa sp.* (inadmisible en zonas A y B).
- Presencia de acúmulos de pienso (inadmisible en zonas A y B).
- Presencia de peces cultivados muertos (inadmisible en zonas A y B).

La evaluación de estos aspectos puede dar lugar a un incremento en el nivel de vigilancia, en función del cumplimiento de los estándares de calidad.

8.2.1. Nivel de vigilancia V.1:

Aplicable al nivel de impacto I.1: granjas con producción < 500 tm año⁻¹.

➤ **Inspección visual:**

- Zonas A (AZE) y B (periferia AZE).
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

➤ **Calidad del sedimento:** variable indicadora: TFS.

- Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
- Estaciones por zona: 3.
- Réplicas por estación: 3.
- Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.

➤ **Poblamiento infaunal:** poblamiento de poliquetos (> 1mm, nivel familia).

- Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
- Estaciones por zona: 3.
- Réplicas por estación: 3.
- Periodicidad: bianual, en época de máxima producción.
- Contraste de hipótesis (H_0 : no existen diferencias significativas en la evolución en el tiempo entre zonas).

➤ **Producción primaria:** clorofilas.

- Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
- Estaciones por zona: 3.
- Réplicas por estación: 3.
- Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.

➤ **Praderas de fanerógamas.**

En caso que la pradera más próxima se encuentre a menos de 2.5 km.

Variable: densidad global de haces.

- Zonas: 2. Una de ellas en el frente de pradera más próximo a la granja (zona A) y otra como pradera de referencia (zona C).
- Estaciones por zona: 3.
- Réplicas por estación: 3.

- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.
 - **Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.**
- Zonas: 2. Una de ellas a la distancia menor de la granja (zona A) y otra como referencia (zona C).
- Estaciones por zona: 3.
- Réplicas por estación: 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

8.2.2. Nivel de vigilancia V.2.

Aplicable al nivel de impacto **I.2**: intensidad de producción *media*: 500 – 2000 tm año⁻¹.

- **Inspección visual:**
 - Zonas A (AZE) y B (periferia AZE).
 - Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.
- **Calidad del sedimento:** variables indicadoras: TFS y granulometría.
 - Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
 - Estaciones por zona: 5.
 - Réplicas por estación: 4.
 - Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.
- **Poblamiento infaunal:** poblamiento de poliquetos (> 1mm, nivel familia).
 - Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
 - Estaciones por zona: 5.
 - Réplicas por estación: 4.
 - Periodicidad: anual, en época de máxima producción.
 - **Producción primaria:** clorofilas.
 - Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
 - Estaciones por zona: 5.
 - Réplicas por estación: 4.
 - Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.

➤ **Praderas de fanerógamas.**

En caso que la pradera más próxima se encuentre a menos de 2.5 km.
Variable: densidad global de haces.

- Zonas: 2. Una de ellas en el frente de pradera más próximo a la granja (zona A) y otra como pradera de referencia (zona C).
- Estaciones por zona: 4.
- Réplicas por estación: 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

➤ **Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.**

- Zonas: 2. Una de ellas a la distancia menor de la granja (zona A) y otra como referencia (zona C).
- Estaciones por zona: 4.
- Réplicas por estación: 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

8.2.3. Nivel de vigilancia V.3.

Aplicable al nivel de impacto **I.3a**: intensidad de producción *alta* > 2000 tm año⁻¹.

➤ **Inspección visual:**

- Zonas A (AZE) y B (periferia AZE).
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

➤ **Calidad del sedimento:** variables indicadoras: TFS y granulometría.

- Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
- Estaciones por zona: 5.
- Réplicas por estación: 4.
- Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.

➤ **Poblamiento infaunal:** poblamiento de poliquetos (> 1mm, nivel familia).

- Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
- Estaciones por zona: 5.
- Réplicas por estación: 4.

- Periodicidad: anual, en época de máxima producción.
- **Producción primaria: clorofilas.**
- Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
- Estaciones por zona: 5.
- Réplicas por estación: 4.
- Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.
- **Praderas de fanerógamas.**

En caso que la pradera más próxima se encuentre a menos de 2.5 km.
Variable: densidad global de haces.

- Zonas: 2. Una de ellas en el frente de pradera más próximo a la granja (zona A) y otra como pradera de referencia (zona C).
- Estaciones por zona: 5.
- Réplicas por estación: 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.
- **Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.**
- Zonas: 2. Una de ellas a la distancia menor de la granja (zona A) y otra como referencia (zona C).
- Estaciones por zona: 5.
- Réplicas por estación: 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

8.2.4. Nivel de vigilancia V.4.

Aplicable al nivel de impacto **I.3b**: polígonos acuícolas con más de dos granjas con producción individuales $\geq 1000 \text{ tm año}^{-1}$ o cuando dos o más granjas están lo suficientemente próximas como para que sus AZE's pudiesen quedar a menos de 200m unas de otras.

- **Inspección visual:**
- Zonas A (AZE) y B (periferia AZE).
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

- **Calidad del sedimento:** variables indicadoras: TFS y granulometría.
 - Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
 - Estaciones por zona: 4 estaciones por zona por cada granja.
 - Réplicas por estación: 3.
 - Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.
- **Poblamiento infaunal:** poblamiento de poliquetos (> 1mm, nivel familia).
 - Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
 - Estaciones por zona: 4 estaciones por zona por cada granja.
 - Réplicas por estación: 3.
 - Periodicidad: anual, en época de máxima producción.
- **Producción primaria:** clorofilas.
 - Zonas: A (AZE), B (periferia AZE) y C (control).
 - Estaciones por zona: 4 estaciones por zona por cada granja.
 - Réplicas por estación: 3.
 - Periodicidad: 2 veces al año, en épocas de máxima y mínima producción.
- **Praderas de fanerógamas.**

En caso que la pradera más próxima se encuentre a menos de 2.5 km.
Variables: densidad global de haces y material orgánico particulado.

- Zonas: 2. Una de ellas en el frente de pradera más próximo a la granja (zona A) y otra como pradera de referencia (zona C).
 - Estaciones por zona: 5.
 - Réplicas por estación: 4.
 - Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.
- **Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.**
 - Zonas: 2. Una de ellas a la distancia menor de la granja (zona A) y otra como referencia (zona C).
 - Estaciones por zona: 5.
 - Réplicas por estación: 4.
 - Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

8.2.5. Nivel de vigilancia V.5.

Aplicable al nivel de impacto **I.3c**: granjas comprendidas en una zona de producción de 2.5km de radio. A los seguimientos individuales y/o colectivos hay que añadir un estudio de sinergias para las variables TFS del sedimento y producción primaria en la columna de agua. Retícula centrada en la zona de cultivo con un mínimo de 36 puntos de muestreo georreferenciados separados como máximo 1km (Figura 4). Cartografiado de isólinas de TFS y clorofilas. Una muestra por punto de muestreo.

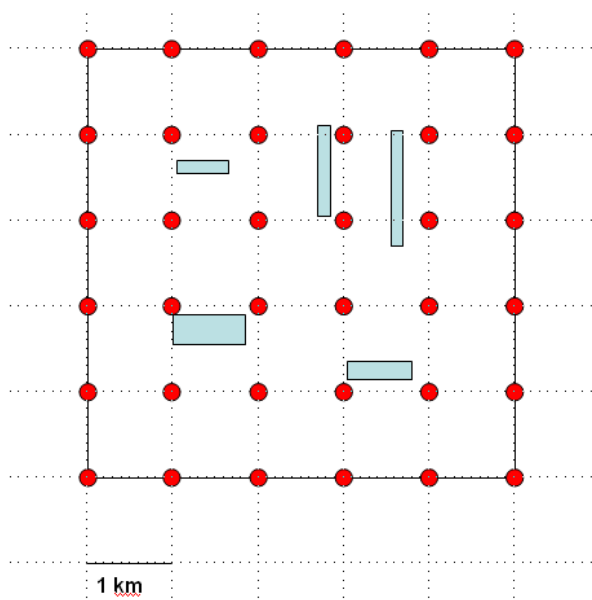


Figura 4: Esquema de retícula de puntos de muestreo para Nivel de vigilancia V.5 para estudio de sinergias.

➤ Praderas de fanerógamas.

En caso que la pradera más próxima se encuentre a menos de 2.5 km. Variables: densidad global de haces y material orgánico particulado.

- Zonas: 2. Una de ellas en el frente de pradera más próximo a la granja (zona A) y otra como pradera de referencia (zona C).
- Estaciones por zona: 6.
- Réplicas por estación: 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

➤ **Fondos rocosos infra- y circalitorales y fondos de Mäerl.**

- Zonas: 2. Una de ellas a la distancia menor de la granja (zona A) y otra como referencia (zona C).
- Estaciones por zona: 6.
- Réplicas por estación: 3.
- Periodicidad anual, durante el período de máxima producción.

9. METODOLOGÍAS PROPUESTAS PARA MUESTREO Y ANÁLISIS.

9.1. Inspección visual de los fondos.

La inspección visual de los fondos se puede realizar mediante buceo con escafandra autónoma o mediante sistemas de vídeo remotos (Figura 5). En cualquiera de los casos debe realizarse una filmación de los mismos para su evaluación en el laboratorio. Esta inspección debe cubrir un área lo suficientemente amplia (al menos cuatro transectos independientes de 25m) de las zonas A y B como para determinar el estado de los fondos considerando los siguientes aspectos:

- Grado de enfangamiento.
- Color superficial, olor.
- Estado de la macrofauna.
- Presencia de tapices de *Beggiatoa sp.* (inadmisible en zonas A y B).
- Presencia de acúmulos de pienso (inadmisible en zonas A y B).
- Presencia de peces cultivados muertos (inadmisible en zonas A y B).



Figura 5: Sistema remoto de vídeo submarino por arrastre desde embarcación (Fuente: TAXON S.L. Gutiérrez et al., 2007).

9.2. Métodos de estudio en fondos de tipo detrítico - sedimentario.

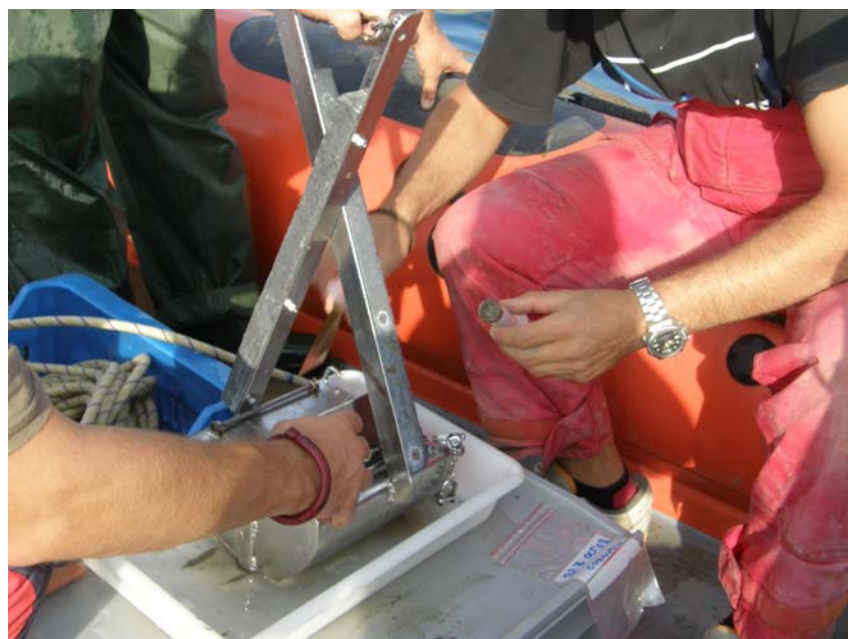
Varios trabajos llevados a cabo en el Mediterráneo en el contexto de las interacciones acuicultura – medio ambiente han demostrado que el método de obtención de muestras de sedimentos marinos con una mejor relación coste / beneficio es la utilización de dragas tipo Van-Veen (Figura 6A) frente a otro tipo de dragas (box-corer) o a la toma de muestras mediante buceo con escafandra autónoma (Lampadariou et al., 2005; Aguado-Giménez et al., 2007). Obviamente, cada muestreador tiene sus ventajas e inconvenientes y ninguno es perfecto, pero el método que reúne las mejores propiedades en términos de facilidad de manejo, coste de manejo, representatividad de la muestra, etc., es la draga tipo Van-Veen. Es un muestreador ampliamente utilizado para estudios de fondos blandos, accesible en el mercado y operable desde una embarcación neumática sin necesidad de grandes infraestructuras. Permite la obtención de submuestras para la medición de los niveles de sulfuros, y la medición de pH y potencial redox directamente de la draga (Figura 6B y C). Asimismo permite la adquisición de submuestras para análisis granulométrico y la obtención de muestras de volumen conocido para el estudio del poblamiento de poliquetos (Figura 6D). Se utilizarán dragas tipo Van-Veen estándar de 20cm de lado y 10cm de fondo, con ventanas para la toma de submuestras y medición directa con electrodos.



Figura 6: A) Toma de muestras con draga Van-Veen. B) Toma de submuestras para análisis de TFS. C) Medición de pH y Eh con electrodos directamente de la draga. D). Tamizado de muestras para estudio del poblamiento de poliquetos.

9.2.1. Análisis del contenido en sulfuros libres totales (TFS) del sedimento.

Las submuestras (5ml de sedimento) se toman en los primeros 2cm de sedimento con jeringuillas “capadas” (Figura 11): jeringuillas de 20ml (2cm de diámetro) a las que se les ha quitado la parte apical de modo que adquieren aspecto de émbolo. En estas jeringuillas, la marca de 5ml coincide con 2cm de penetración en el sedimento.



Inmediatamente se tapan con una tira de parafina y si la medición no se va a realizar en el mismo barco (lo cual es posible con una mínima infraestructura), se conservan en frío y oscuridad. Se recomienda su medición lo antes posible, pero nunca más allá de 72h. La medición del contenido en TFS se realiza con electrodo de ion selectivo ($\text{Ag}^+ / \text{S}^{2-}$). Se recomienda el uso del electrodo marca ORION modelo BNWP 9616 Sure-flow. En Wildish et al. (1999) se encuentra detalladamente descrito el método analítico (ver archivos adjuntos).

9.2.2. Análisis granulométrico.

Submuestras homogéneas de aproximadamente 120g de peso seco se destinan al análisis granulométrico siguiendo el método de tamizado húmedo descrito en Buchanan (1984) (ver archivos adjuntos).

9.2.3. Poblamiento infaunal de poliquetos en sedimentos marinos.

El tamizado con luz de malla de 1mm conviene realizarlo inmediatamente después de tomar la muestra con la draga (Figura 6D). Las muestras se conservan en recipientes estancos debidamente rotulados e identificados y una vez en el laboratorio se procede a su fijación con formol 4% (en agua de mar) si las muestras no van a tratarse seguidamente, o con etanol 70% para fijaciones largas (más de 4-5 días). La separación de los poliquetos se realiza bajo una lupa binocular. Los individuos separados se fijan en etanol 70% hasta el momento de su identificación a nivel de familia. Una vez identificados, los datos de abundancia se almacenan en matrices de familias x estaciones y campañas.

9.3. Métodos de estudio en praderas de fanerógamas marinas.

9.3.1. Densidad global de haces.

Dado que las instalaciones de cultivo se localizan en mar abierto, será el límite inferior de distribución de las praderas (pradera profunda) la que se pueda encontrar más próxima a las instalaciones. Esta zona de las praderas se caracteriza por una distribución espacial heterogénea, formando manchas intercaladas por claros de sedimento. La densidad de haces (n° haces / m^2) se mide contando el número de haces dentro de un cuadrado de 40 cm de lado, dispuesto sobre las manchas de pradera. La cobertura (%) se mide visualmente a lo largo de transectos lineales de 25 m estimando el porcentaje de sustrato ocupado por manchas de pradera. La densidad global de haces (D_g) se calcula a partir de la densidad de haces (d) y la cobertura de pradera (%C) según la ecuación de Romero (1989):

$$D_g = d \times \%C / 100.$$

Obviamente, estas tareas se han de llevar a cabo mediante buceo con escafandra autónoma por personal debidamente entrenado.

9.3.2. Material particulado que alcanza la pradera.

Se utilizan trampas de sedimentación en forma de cilindros de 14 cm de diámetro y 1 m de largo, acabadas en un receptáculo para la recolección de la muestra (Figura 7). Las trampas han de estar fondeadas un mínimo de 24h y un máximo de 48h. Para el cálculo de la materia orgánica sedimentada se utiliza el método de pérdida de peso de la muestra (previamente desecada) por ignición a 450 °C durante 4h. Obviamente, estas tareas se han de llevar a cabo mediante buceo con escafandra autónoma por personal debidamente entrenado.

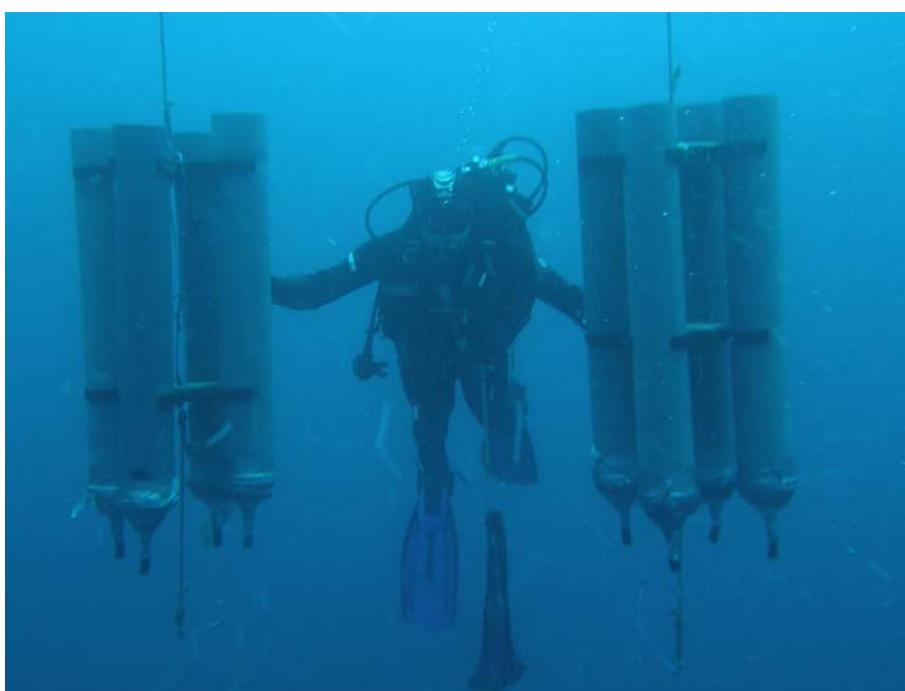


Figura 7: Trampas de sedimentación para captura de material particulado.

9.4. Métodos de estudio en sustratos rocosos infra- y circalitorales.

Se utilizan cuadrados de 20 cm de lado, de los que se extraen los organismos formadores del hábitat en cada caso. Obviamente, estas tareas se han de llevar a cabo mediante buceo con escafandra autónoma por personal debidamente entrenado y capaz de identificar correctamente estos organismos. Se calcula la biomasa de estos organismos (peso seco después de exposición a 105 °C durante 24h).

9.5. Métodos de estudio en fondos de Mäerl.

Se utilizan cuadrados de 20 cm de lado, de los que se extrae toda la comunidad. Obviamente, estas tareas se han de llevar a cabo mediante buceo con escafandra autónoma por personal debidamente entrenado. Se calcula el % en peso seco (105 °C; 24h) de las porciones viva y muerta (esqueletos calcáreos claramente decolorados) y la proporción de cada una de ellas.

9.6. Métodos de estudio en la columna de agua.

9.6.1. Análisis químico de nutrientes.

Como muestreador se utilizarán botellas hidrográficas tipo Niskin (Figura 8) que permiten la toma de muestras de agua a distintas profundidades desde una embarcación. Para el análisis de nutrientes se requiere un mínimo de 250 ml por muestra. El método recomendado para el análisis de nutrientes (amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos) es el autoanalizador de nutrientes (Figura 9). Este equipamiento se encuentra disponible en diversos servicios de apoyo a la investigación de diferentes organismos públicos y privados de investigación. Existen otros métodos químicos igualmente válidos descritos en AOAC (1996) pero resultan más costosos en tiempo y dinero.



Figura 8: Botella hidrográfica Niskin para toma de muestras de agua a diferentes profundidades.



Figura 9: Autoanalizador de nutrientes en agua marina.

9.6.2. Otras variables oceanográficas: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez y clorofilas.

El método recomendado es la utilización de sondas oceanográficas multiparamétricas tipo CTD (Figura 10). Estos equipos, además de permitirnos la adquisición de datos para muchas variables, pueden hacerlo en toda la columna de agua, obteniendo perfiles verticales para dichas variables, o bien ser ancladas a una profundidad fija para la obtención de series temporales. Existen medidores individuales para cada variable o métodos analíticos para el caso e la clorofila pero se consume más tiempo y esfuerzo para la obtención de datos.

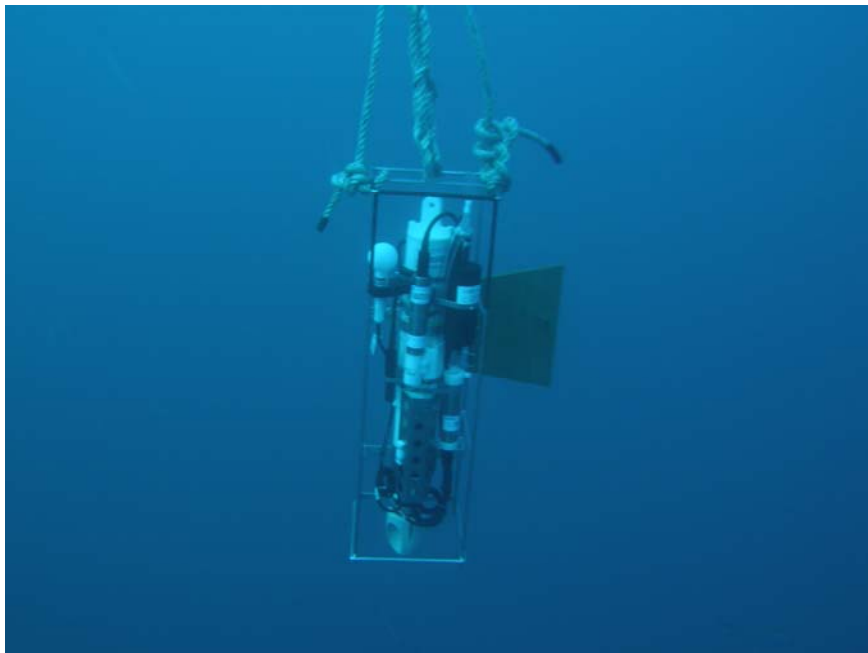


Figura 10: Sonda oceanográfica multiparamétrica dotada de sensores de temperatura, conductividad-salinidad, profundidad, turbidez, clorofilas, oxígeno disuelto, irradiancia, velocidad y dirección de la corriente.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Aguado-Giménez, F., A. Marín, S. Montoya, L. Marín-Guirao, M.A. Piedecausa, B. García-García. (2007). Comparison between some procedures for monitoring offshore cage culture in western Mediterranean Sea: sampling methods and impact indicators in soft substrata. *Aquaculture* 271: 357-370.
- AOAC. (1985). *Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemistry*. 14th edn., Washington. 1018 pp.
- Buchanan, J.B. 1984. Sediment analysis. In: Holme, N.A. & McIntyre, A.D. (Eds). 1984. *Methods for the study of marine benthos*. 2nd edition. IBP Handbook n.16. Blackwell Scientific Publications. Oxford, United Kingdom. 334 pp.
- Cromey, C.J., Black, K.D. (2005). Modelling the impacts of finfish aquaculture. En: Hargrave, B.T. (Ed.). *Environmental effects of marine finfish aquaculture*. Springer-Verlag. Berlin. 467pp.
- Delgado, O., A. Grau, S. Pou, F. Riera, C. Massuti, M. Zabala, E. Ballesteros. (1997). Seagrass regression caused by fish cultures in Fornells Bay (Menorca, western Mediterranean). *Oceanol. Acta* 20(3): 557-563.
- Díaz-Almela, E., N. Marbá, E. Álvarez, R. Santiago, M. Holmer, A. Grau, S. Mirto, R. Danovaro, A. Petrou, M. Argyrou, I. Karakassis and C. Duarte. - 2008. Benthic input rates predict seagrass (*Posidonia oceanica*) fish-farm induced decline. *Mar. Poll. Bull.* 56(7): 1332-1342.
- Gowen, R. J., J., Bradbury N. B. & Brown J. R. (1989). The use of simple models in assessing two of the interactions between fish farming and the marine environment. In *Aquaculture-a biotechnology in progress*. European Aquaculture Society, Belgium, pp. 1071-1080.
- Gutiérrez, J.M., Perán, A., Belmonte, A., Aliaga, V., Senabre, T. (2007). Protocolo para la realización de los planes de vigilancia ambiental de las instalaciones de acuicultura marina de la Región de Murcia. Servicio de

Pesca y Acuicultura. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
148pp.

- Hall-Spencer, J., White, N., Gillespie, E., Gillham, K., Foggo, A. (2006). Impact of fish farms on maerl beds in strongly tidal areas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 326: 1-9.
- Hargrave, B.T., Duplisea, D.E., Pfeiffer, E., Wildish, D.J. (1993). Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 96: 249-257.
- Hargrave, B.T., Phillips, G.A., Doucette, L.I., White, M.J., Milligan, T.G., Wildish, D.J., Cranston, R.E. (1997) Assessing benthic impacts of organic enrichment from marine aquaculture. *Water Air Soil Pollut* 99: 641–650.
- Hargrave, B.T., Holmer, M., Newcombe, C.P. (2008). Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biogeochemical indicators. *Mar. Poll. Bull.* 56(5): 810-824.
- Hargrave, B.T. (2010). Empirical relationships describing benthic impacts of salmon aquaculture. *Aquacult. Environ. Interact.* 1: 33-46.
- Holmer, M., Kristensen, E. (1992). Impact of marine fish cage farming on metabolism and sulphate reduction of underlying sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80: 191-201.
- Holmer, M., Argyrou, M., Dalsgaard, T., Danovaro, R., Díaz-Almela, E., Duarte, C.M., Frederiksen, M., Grau, A., Karakassis, I., Marbà, N., Mirto, S., Pérez, M., Pusceddu, A., Tsapakis, M. (2008). Effect of fish farm waste on *Posidonia oceanica* meadows: synthesis and provision of monitoring and management tools. *Mar. Poll. Bull.* 56: 1618-1629.
- Jones, G.P., Andrew, N.L. (1993). Temperate reefs and the scope of seascape ecology. *Proc. 2nd Temperate Reef Symp.*: 63-76.

- Lampadariou, N., Karakassis, I., Pearson, T.H. (2005). Cost / benefit analysis of benthic monitoring of organic benthic enrichment using different sampling and analysis methods. *Mar. Poll. Bull.* 50: 1606-1618.
- Marbà, N., Santiago, R., Díaz-Almela, E., Álvarez, E., Duarte, C.M. (2006). Seagrass (*Posidonia oceanica*) vertical growth as an early indicator of fish farm-derived stress. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67: 475-483.
- Romero, J. (1989). Note sur une méthode d'évaluation de la densité de faisceaux dans herbiers de posidonies. *Rarr. Comm. Int. Mer. Medit.*
- Salas, F. (1996). Assessment and applicability of organic pollution indices in the management of the marine environment. PhD Thesis. University of Murcia, Spain.
- 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: 569–587.
- Underwood, A. J. (1992). Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 161: 145–178.
- Underwood, A. J. (1993). The mechanics of spatially replicated sampling programmes to detect environmental impacts in a variable world. *Australian Journal of Ecology* 18: 99–116.
- Underwood, A. J. (1994). On Beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecological Applications* 4: 3–15.
- Underwood, A. J. (1997). *Experiments in ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance.* Cambridge University Press, Cambridge. 504 pp.
- Wildish, D.J., Akagiu, H.M., Hamilton, N., Hargrave, B.T. (1999). A recommended method for monitoring sediments to detect organic

enrichment from mariculture in the Bay of Fundy. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2286: iii + 31p.

Wilson, S., Blake, C., Berges, J.A., Maggs, C.A., (2004). Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European maerl conservation. Biol. Conserv.: 120: 283–293.

**PROYECTO DEL PLAN NACIONAL DE CULTIVOS MARINOS:
SELECCIÓN DE INDICADORES, DETERMINACIÓN DE VALORES
DE REFERENCIA, DISEÑO DE PROGRAMAS Y PROTOCOLOS DE
MÉTODOS Y MEDIDAS PARA ESTUDIOS AMBIENTALES EN
ACUICULTURA MARINA. 2008-11**

RESUMEN INFORME FINAL DEL SUBPROYECTO
TITULADO:

**Diseño de un Plan de Vigilancia Ambiental
integral de las Piscifactorías Marinas
Instaladas en Tierra**

Presentado por:

A. Carballeira
Ecotoxicología, Área de Ecología
Facultad de Biología
USC

Santiago de Compostela, Diciembre de 2011

PROYECTO DEL PLAN NACIONAL DE CULTIVOS MARINOS:
SELECCIÓN DE INDICADORES, DETERMINACIÓN DE VALORES DE REFERENCIA, DISEÑO DE PROGRAMAS Y PROTOCOLOS DE MÉTODOS Y MEDIDAS PARA ESTUDIOS AMBIENTALES EN ACUICULTURA MARINA (2008-11).

DISEÑO DE UN PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL INTEGRAL DE LAS PISCIFACTORÍAS MARINAS INSTALADAS EN TIERRA

RESUMEN

El diseño de un Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) integrado de las piscifactorías marinas instaladas en tierra (LBMFF¹) requiere la determinación, por un lado, de los contaminantes y de la toxicidad de los vertidos y, por otro, de la capacidad de asimilación del medio.

Con los resultados de los controles analíticos efectuados hasta la fecha, en las LBMFF existentes en Galicia, se creó una base de datos que recoge la variabilidad de las características físico-químicas del agua de entrada y salida en estas instalaciones. Después del análisis de estos datos se proponen los parámetros y sus umbrales a utilizar en el PVA. Diferentes marcadores (químicos, moleculares e histológicos) fueron analizados en biomonitores nativos y transplantados expuestos en el área de influencia de las LBMFF. Igualmente se caracterizó la capacidad trófica y tóxica de los vertidos de las LBMFF mediante la aplicación de una batería de bioensayos realizados en el laboratorio y campo.

Los parámetros que deben ser considerados “provisionalmente” en un PVA integrado de las LBMFF son: el balance out-input de pH, Amonio, y Sólidos en suspensión; la toxicidad potencial de los efluentes, determinada mediante una batería mínima de bioensayos; la señal isotópica $\delta^{15}\text{N}$ en macroalgas nativas como “descriptor” del área de influencia potencial; la abundancia relativa de macroalgas intermareales oportunistas y el estado histopatológico de mejillones nativos como representación de la integridad ecológica del área de influencia.

Los parámetros y la frecuencia de los controles del PVA serán ajustados a cada LBMFF en función de la relación entre la “carga” de los efluentes y la capacidad de asimilación del impacto/sensibilidad del medio receptor (capacidad dispersiva del medio, presencia de especies o hábitats protegidos,...).

¹ LBMFF: Land-Based Marine Fish Farm

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la acuicultura es más rápido que el estudio de sus efectos ambientales y que la velocidad de desarrollo de las regulaciones ambientales requeridas. Entre los impactos de la acuicultura en el medio acuático destacan los derivados de los residuos metabólicos y del uso de compuestos químicos, principalmente efectos tróficos y tóxicos respectivamente. El desarrollo de la acuicultura y sus efectos requiere de acciones específicas que garanticen la plena integración de los requisitos de protección del medio ambiente. Estos requisitos deben ser establecidos en función de la capacidad de asimilación del medio y cuantificados mediante herramientas de bajo coste, sencillas, rápidas y que permitan establecer relaciones causa-efecto. El cumplimiento de estos requisitos y de su continuidad a lo largo del tiempo será evaluado mediante la aplicación de planes de vigilancia ambiental (PVA).

En el caso de las granjas marinas instaladas en tierra (*Land-Based Marine Fish Farm, LBMFF*) la detección de los impactos ambientales (Figura 1) está condicionada por la elevada capacidad dispersiva del medio en el que habitualmente vierten los residuos. La falta de sedimentos finos impide la utilización de la principal matriz (físico-química-biológica) de estudio en los trabajos de impacto marino, como son los relacionados con la acuicultura marina en jaulas. Por otro lado, el reducido número y localización geográfica de este tipo de piscifactorías explica la escasez de estudios científicos sobre su potencial impacto ambiental, sobretodo si lo comparamos con la información disponible sobre los cultivos en jaulas.

Por todo ello, el objetivo principal del trabajo realizado era explorar diferentes perspectivas y herramientas metodológicas que pudieran servir como base científica para el diseño de un PVA integrado y dinámico, adaptado a las especiales características de las LBMFF. En la Figura 2 se esquematizan los diferentes aspectos o líneas de evidencia que se abordaron en el estudio de impacto ambiental integral de las LBMFF.

El trabajo realizado es un estudio piloto, de sondeo de las diversas posibilidades técnicas hábiles para implementar en un PVA de las LBMFF. En consecuencia, las conclusiones/propuestas realizadas serán tomadas como una primera aproximación, que es

necesario refrendar y aquilatar con posteriores estudios, que nos permitan desarrollar un protocolo de operaciones prácticas preciso y robusto, así como definir adecuadamente los umbrales interpretativos de los parámetros seleccionados.

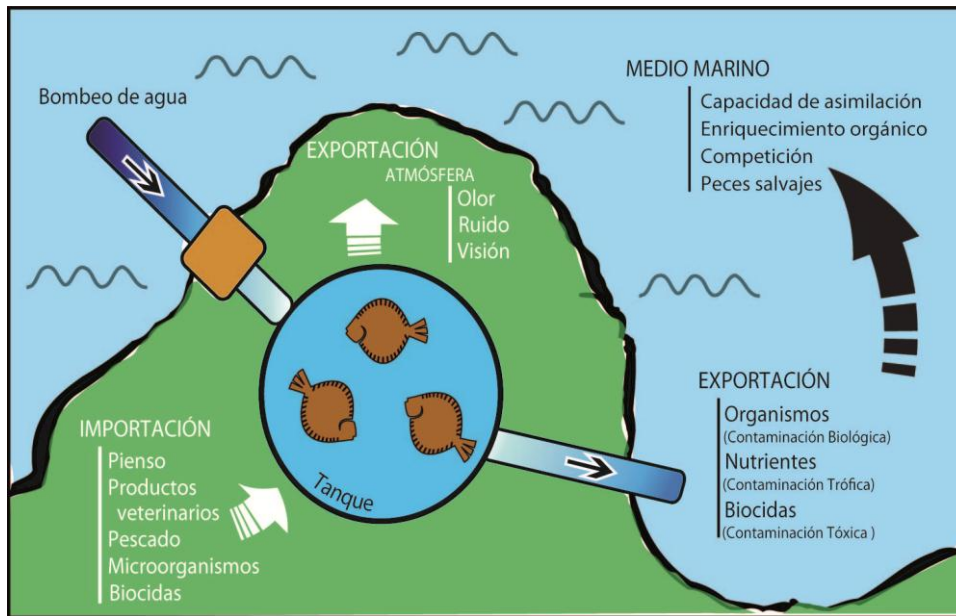


Figura 1.- Representación de los aportes de una piscifactoría marina instalada en tierra (LBMFF) al medio marino.

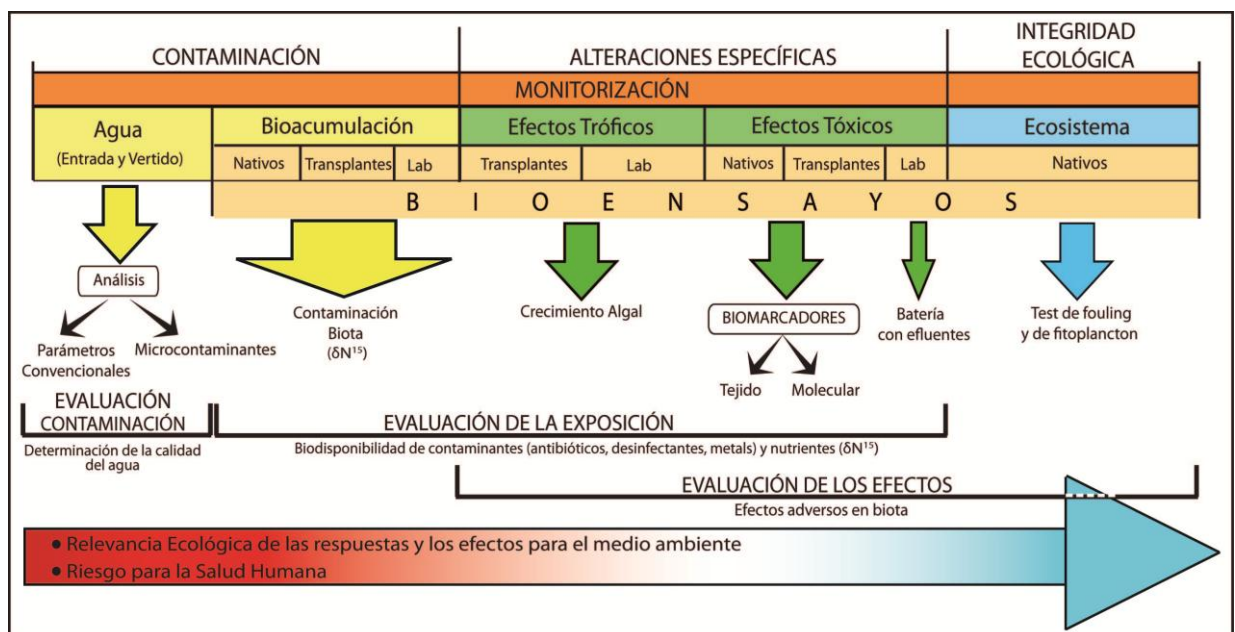


Figura 2.- Esquema de los aspectos (líneas de evidencia) de un estudio integral para el diseño de un PVA de las LBMFF.

BASES CIENTÍFICAS PARA EL DISEÑO DE UN PVA DE LAS LBMFF

Los estudios realizados se ordenan según la relevancia ecológica, esquematizado en la Figura 2, en tres grandes líneas de evidencia: Evaluación de la contaminación, Evaluación de la exposición y Evaluación de los efectos

Para la *Evaluación de la Contaminación*, en primer lugar, se creó una base de datos recopilando y ordenando la información suministrada por la administración (Augas de Galicia, XUGA) procedente de los controles de vigilancia y por las propias empresas. SE recopiló información procedente de 17 LBMFF instaladas en Galicia. La base de datos se centró en parámetros físico-químicos convencionales, principalmente en los del agua de entrada y salida de las granjas, utilizados en los controles de vertido (Tabla 1). Datos disponibles sobre otros parámetros (i.e. temperatura, pH, oxígeno disuelto, amonio, metales pesados, PAH,...) también fueron recopilados. Se suministró una copia de la base de datos creada a la agencia ambiental responsable.

Tabla 1.- Parámetros, incrementos y periodicidad del control de vertidos de las LBMFF instaladas en Galicia.

Control del Vertido		
Parámetro	Incremento (Salida-Entrada) mg/l	Periodicidad
Sólidos en suspensión	<5	Trimestral*
Nitritos	<0.05	Trimestral*
Fosfatos	<0.2	Trimestral*
Carbono orgánico total	<0.5	Trimestral*
* En el caso de que durante un año los valores obtenidos en todas las muestras no superen el 30% de los incrementos permitidos la empresa podrá solicitar la reducción de la medición a una periodicidad semestral.		

Área de influencia y toxicidad potencial

El primer problema al que se enfrenta cualquier estudio de impacto ambiental es determinar cual puede ser el área de influencia de un foco, es decir, hasta donde tengo que tomar muestras, realizar controles, etc. El *área de influencia* viene determinada por el alcance máximo de los posibles efectos ambientales generados por los vertidos. La *toxicidad potencial*, presente dentro del área de influencia, describe la capacidad que tienen los contaminantes de ser incorporados por los organismos y provocar un cambio perjudicial.

Ambos parámetros intentaron ser definidos a través de: las diferencias en los parámetros físico-químicos del agua de entrada y salida; distintos “marcadores de exposición” y la acumulación de sustancias de origen antropogénico en biomonitores localizados a distinta distancia del emisario siguiendo la corriente predominante.

Las medidas de parámetros convencionales del agua (entrada-salida) como el pH, SS, oxígeno disuelto, COT, amonio, nitritos, nitrógeno,... debido al bajo coste, la información suministrada y el control de vertidos han de ser tenidos en cuenta.

Las concentraciones de microcontaminantes relacionados con esta actividad (i.e. biocidas, metales pesados, antifouling,...) en el agua, debido a los altos caudales bombeados se encontraron por debajo del límite de detección, lo que unido junto al elevado coste de este tipo de análisis y al desconocimiento de las sustancias usadas, descarta estas medidas para ser incluidas en un PVA sistemático.

Como alternativa se exploró la viabilidad de medir los contaminantes en biomonitores (bioacumulación). Se analizó el incremento de nutrientes (especialmente N) en macroalgas. Las algas se encontraron siempre con N por encima del nivel crítico lo que no permite establecer grados tróficos debidos al vertido. Se analizaron metales pesados en macroalgas (*Fucus vesiculosus*, *F. serratus*, *F. spiralis*, *Codium tomentosum*, *Ulva spp*, *Saccharina saccharina*), mejillón nativo (*Mytilus galloprovincialis*) y *Anemone sulcata*, y biocidas (antibióticos, y pesticidas) en macroalgas procedentes de diferentes escenarios afectados por LBMFF. En todos los casos se encontró nula o débil bioacumulación de microcontaminantes. De manera anecdótica, se apreciaron ligeros incrementos de Hg en la anémona recolectada en dos escenarios (Lira y Merexo, Figura 3).

Respecto a los biocidas (antibióticos y pesticidas) analizados en *S. saccharina* cultivada en el área de influencia de dos LBMFF (Lira y Xove) solo se apreciaron leves incrementos de algunos de los elementos analizados que siempre se mantuvieron por debajo de los niveles

aptos para el consumo humano. El coste y los resultados obtenidos en la exploración de la bioacumulación de microcontaminantes como marcadores de exposición desaconsejan su utilidad en un PVA sistemático.

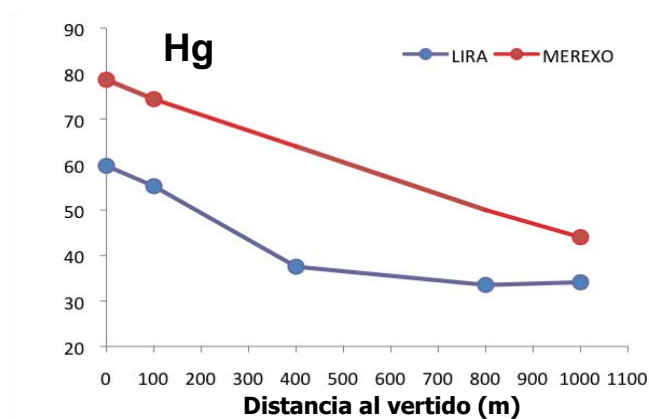


Figura 3.- Concentración corporal de Hg (ppb) en *Anemone sulcata* recolectada en el área de influencia de dos LBMFF (Lira y Merexo).

Relación isotópica $\delta^{15}N$ en macroalgas como marcador de exposición.- Mientras que la bioacumulación de microcontaminantes y nutrientes (N) no dieron resultados satisfactorios como marcadores de exposición a los vertidos todo lo contrario ocurrió con la medida de la relación isotópica $\delta^{15}N$ en macroalgas. La $\delta^{15}N$ en macroalgas se reveló como un excelente marcador de exposición dado que varía claramente bajo la influencia de los vertidos de las piscifactorías dependiendo la intensidad de la señal de la carga, de la capacidad dispersiva del medio y de la distancia al foco. Por ello, para facilitar su interpretación, se procedió al cálculo del rango de referencia regional (Figura 4) en la especie piloto (*Fucus vesiculosus*), analizando especímenes provenientes de 36 localidades.

A pequeña escala (i.e. unos centenares de metros, como es el área de influencia de una LBMFF), puede no encontrarse la macroalga piloto se comprobó si existían diferencias interespecíficas en la señal isotópica. En 39 localidades se tomaron siempre que fue posible muestras de *Fucus vesiculosus*, *F. serratus*, *F. spiralis*, *Ulva spp* y *Codium tomentosum*. Se analizó la $\delta^{15}N$ y no se encontraron diferencias significativas entre pares (t de Student para muestras relacionadas $p < 0.05$), lo cual facilita la biomonitorización. También se comprobó la baja variabilidad estacional de la señal de las macroalgas en el medio natural,

pero como la señal varía con la carga contaminante se recomienda su determinación en la época de mayor producción, finales de verano-principios de otoño.

Por ultimo, con el fin de reducir la periodicidad de los controles se estudió en *F. vesiculosus* si se podían hacer estudios retrospectivos de $\delta^{15}\text{N}$ en función de la edad de los frondes. Desafortunadamente los resultados indicaron que la señal se reduce con la edad.

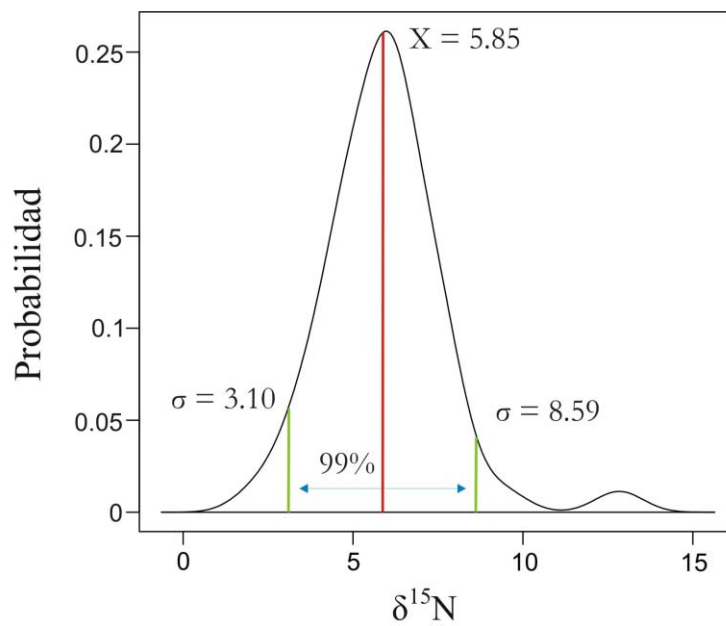


Figura 4.- Rango de referencia regional de relación isotópica $\delta^{15}\text{N}$ en la especie piloto *Fucus vesiculosus*.

Riesgo Tóxico y Trófico

La caracterización de los efectos tóxicos y tróficos de los vertidos se llevó a cabo mediante experimentos *in vitro* e *in situ*.

Bioensayos *in vitro*.- Es necesario emplear una batería mínima de bioensayos que integre al menos 3 niveles tróficos y que sean, a su vez, sensibles a la baja toxicidad de los vertidos. Se recomienda usar un descomponedor (bacteria), un productor primario (microalga) y un consumidor primario (invertebrado) debido a las distintas sensibilidades que los organismos muestran frente a los diversos tipos de contaminantes que pudieran estar presentes en los efluentes. Cabe señalar que el bioensayo realizado con microalgas integra tanto efectos tóxicos como tróficos.

Se comprobó la actividad de los vertidos procedentes de 8 LBMFF mediante la aplicación de diferentes tests estandarizados como: el test de bioluminiscencia miniaturizado realizado con la bacteria marina *Vibrio fischeri* (NRRL B-11177); el test de toxicidad-fertilidad miniaturizado (ISO 10253) realizado con las microalgas *Isochrysis aff. Galbana* (clon T-ISO) y *Phaedactylum tricornutum* (AROSA); y el test de embriones de erizos de mar realizado con *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) o *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) bajo dos criterios: deformidades larvarias y espículas (Figura 5). Los vertidos ensayados eran muestras compuestas de tomas continua con bomba peristáltica (8 am-8 pm) representativas de la actividad media diurna. La dilución de los efluentes 1:4 (v/v) es la que mejor diferenciaba la toxicidad entre vertidos.

Además de los vertidos (mezclas) se ensayaron de manera aislada los biocidas (6 antibióticos y 2 desinfectantes) cuyo uso está permitido en estas instalaciones y amonio como componente principal de los efluentes.

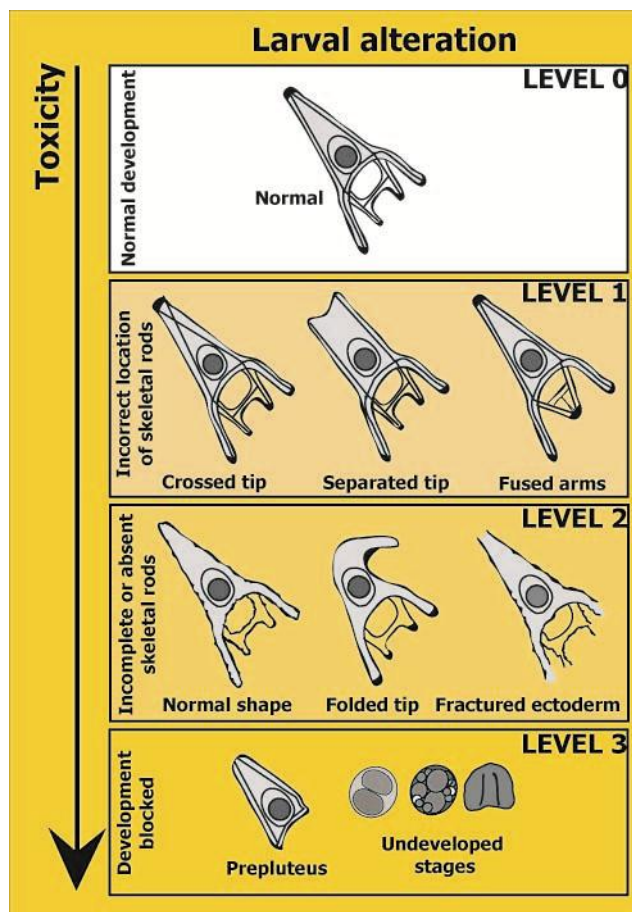


Figura 5.- Criterios de toxicidad en función de las deformidades observadas en larvas de erizo expuestas a los vertidos de las LBMFF.

Las especies tests resultaron ser sensibles a los vertidos, cubrir el espectro de productos utilizados y los resultados pueden ser expuestos mediante un diagrama triangular (Figura 6) e integrados mediante un índice que pondera la toxicidad (EC20) con el caudal bombeado (Índice de riesgo tóxico potencial, PEEP).

$$P = \log_{10} \left[1 + n \left[\frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \right] Q \right]$$

$P = \log_{10} (1 + \text{toxic print} \times \text{flow}) = \log_{10} (\text{toxic load})$

P = PEEP numerical value
 n = # of biotests exhibiting a (geno)toxic response
 N = maximum # of measurable responses
 T_i = toxic units^a generated by each biotest before and after biodegradability testing of the effluent sample
 Q = effluent flow (m³/h)

a) Toxic Units = [100% effluent v/v] / measurement endpoint concentration value in % v/v specific to each bioassay

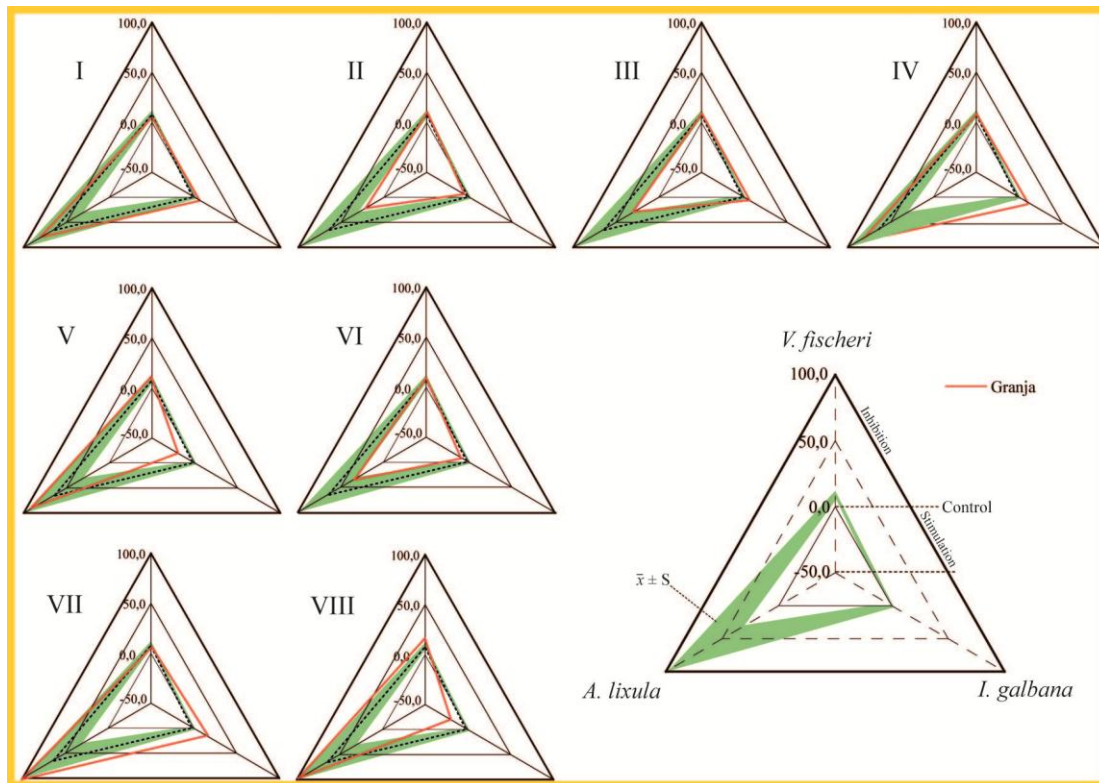


Figura 6.- Perfiles toxicológicos de la dilución 1:4 (v/v) de los vertidos procedentes de 8 LBMFF.

Bioensayos *in situ*.- La realización de bioensayos con transplantes de productores primarios (micro y macroalgas) y filtradores (moluscos bivalvos) permite conocer los efectos tróficos-tóxicos de los vertidos.

Se realizaron bioensayos de estrés (índices pigmentarios y fluorescencia clorofílica) y crecimiento de discos de *Ulva spp* expuestos en cámaras de metacrilato, de *S. saccharina* cultivada long-line y de la comunidad de fitoplancton nativo expuesto dentro de bolsas de diálisis (Figura 7). De todos los bioensayos el de crecimiento de discos de *Ulva sp* arrojó los mejores resultados, pero antes fue necesario resolver el problema de la aparición de “discos fantasma”. Se comprobó que el tratamiento de los discos antes de la exposición con 0,5ml/l de NaClO (10%) durante 60s sellaba los bordes eliminando significativamente la aparición de los discos fantasma tanto en condiciones de laboratorio como de campo. Además, los resultados de este bioensayo se correlacionan significativamente con el indicador de exposición la señal $\delta^{15}\text{N}$ determinada en los propios discos.



Figura 7.- Procedimiento de los bioensayos *in situ* realizados con discos de *Ulva* spp y con la comunidad de fitoplancton nativo.

Integridad ecológica

La integridad ecológica puede ser evaluada mediante los trasplantes de la comunidad de fitoplancton, bioensayos de colonización de sustratos artificiales (biofouling) y biomarcadores en moluscos nativos.

Los trasplantes de la comunidad fitoplanctónica no presentaron diferencias significativas entre las localidades expuestas a los vertidos y los respectivos controles.

La composición y la estructura de la comunidad colonizadora de sustratos artificiales (fouling) pueden ser utilizadas en la evaluación de la integridad ecológica del medio receptor de los vertidos. La creación de perfiles ecológicos de las especies del fouling permite seleccionar las especies resistentes (oportunistas) y sensibles al vertido (Figura 8).

I Composición estructura de la comunidad

	LIRA									
	2 meses					4 meses				
	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5
Riqueza Específica	16	18	19	18	13	31	23	17		
Diversidad Específica	3,07	3,26	3,26	2,17	2,16	3,33	1,79	1,64		

	XOVE									
	2 meses					4 meses				
	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5
Riqueza Específica	12	18	21	27	16	6	11	20	26	18
Diversidad Específica	2,07	1,64	3,55	3,88	2,68	1,73	2,39	3,26	3,45	3,05

II Selección de especies indicadoras (*Perfiles ecológicos*)

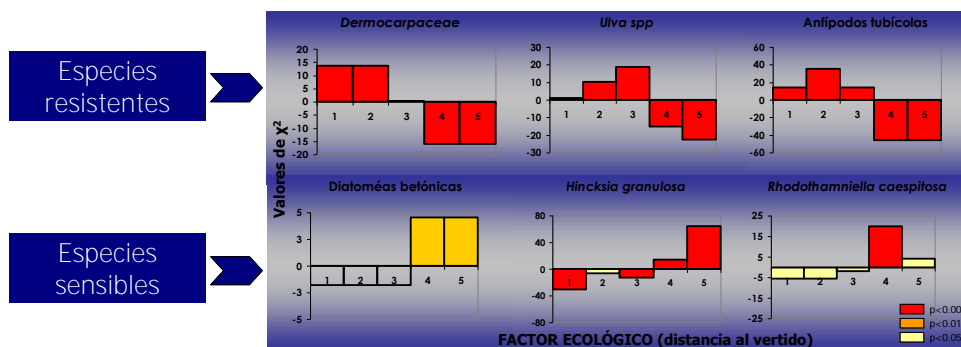


Figura 8.- Las especies indicadoras o la composición-estructura de la comunidad colonizadora de sustratos artificiales (fouling) pueden ser utilizadas en la evaluación de la integridad ecológica del medio receptor de los vertidos.

El estudio de biomarcadores (moleculares, histopatológicos,..) en moluscos trasplantados o nativos recolectados en el área de influencia es otra alternativa para la evaluación de la integridad ecológica. Se realizaron trasplantes de almeja babosa (*Venerupis pullastra*) y se recolectaron mejillones nativos (*Mytilus galloprovincialis*). De todos los biomarcadores utilizados las alteraciones histopatológicas suministraron los mejores resultados. Se comprobó que un índice que pondera el grado de alteración por su frecuencia (WID) se correlaciona significativamente con la señal $\delta^{15}\text{N}$ determinada en los mismos mejillones.

Como la evaluación de la integridad ecológica es compleja y costosa se debería centrar los esfuerzos en la vigilancia de las especies indicadoras (i.e. cobertura de macroalgas oportunistas de la franja intermareal en el área de influencia). En segundo lugar se recomienda el estudio de daños histopatológicos en mejillón nativo, el molusco más abundante y cosmopolita de la zona intermareal rocosa.

PROPUESTA PROVISIONAL DE UN PVA DE LAS LBMFF

Actualmente el Plan de Autovigilancia de los vertidos de las LBMFF es llevado a cabo únicamente mediante la medición de parámetros físico-químicos convencionales del agua de entrada, de salida y de diversas zonas próximas al vertido. El PVA integrado y dinámico propuesto considera prioritarios los siguientes parámetros:

Balance entrada-salida: Medida prioritaria de N_{amoniaco} , pH, y SS en el agua de entrada y de salida, en una muestra de agua compuesta (8 am-8 pm). Secundariamente se podrán determinar: N_{total} , N_{nitritos} , P_{fosfatos} .

Evaluación de la toxicidad potencial de los efluentes: Se propone una batería mínima de bioensayos, con al menos tres especies test (bacteria, microalga e invertebrado). Se ha de aplicar en el momento de máxima producción mediante una muestra compuesta (8am-8pm). Para el cálculo de los EC_{20} se utilizará como referencia la dilución 1:4 (v/v) de cada vertido. La toxicidad observada deberá ser ponderada por el caudal de los efluentes (i.e. PEEP).

Secundariamente se puede evaluar la toxicidad potencial en función de la bioacumulación de contaminantes, expresada en términos de Factor de Contaminación (FC). El FC es la relación entre la concentración corporal del contaminante y el nivel de fondo corporal natural (control).

Medida de la Exposición: Se propone la determinación en la época de máxima producción de la $\delta^{15}N$ en macroalgas nativas recolectadas a modo de gradiente respecto al foco de emisión en la dirección de la corriente dominante. $\delta^{15}N$ es un descriptor de exposición que integra la carga contaminante y la capacidad dispersiva del medio. Su uso permite vigilar la intensidad y la extensión del impacto potencial.

Vigilancia de la integridad ecológica: La abundancia (cobertura relativa o biomasa) de las macroalgas oportunistas en la franja intermareal del área de influencia delimitada por los valores observados de $\delta^{15}N$. Según los resultados observados se podrá exigir la realización de estudios histopatológicos en moluscos nativos (p.e. mejillón)

Además, el tipo y periodicidad de los controles ha de realizarse en función de la carga del efluente ($\sim T_n/\text{año}$) y de la sensibilidad del medio (capacidad dispersiva, presencia de poblaciones sensibles, etc.).

Objetivos de calidad ecológica de los diferentes parámetros considerados en la propuesta provisional del plan de vigilancia ambiental de granjas marinas instaladas en tierra.

BALANCE ENTRADA-SALIDA

En el Cuadro I se recogen los parámetros prioritarios y secundarios analizar en las aguas de entrada y salida de las piscifactorías y se indican los criterios que califican como adecuado, admisible e inadmisibles la calidad físico-química de los vertidos.

Cuadro I.- Parámetros y criterios de calidad para el balance de agua de entrada y salida [Nº: número de datos analizados; E: entrada; S: salida; Vr: Valor de referencia para vertidos (Anexo III de la Orden MAM/85/2008)]

Parámetro	Criterio AUGAS DE GALICIA	Nº	Mediana de los valores observados			ADECUADO	ADMISIBLE	INADMISIBLE
			E	S	S-E			
pH	-	168	8,03 ±0,03	7,73 ±0,06	-0,30 ±0,05	E-S<0,30	95% casos E-S< 0,35 5% casos E-S < 0,40	>5% casos E-S > 0,40 S<7,3
N_{NH4} mg/l	- Vr: 1	54	2,33 ±1,35	2,42 ±1,56	0,12 ±0,21	S-E< 0,12	95% casos S-E<0,15 5% casos S-E<0,55	>5% casos S-E>0,55 S>4,5
SS mg/l	S-E< 5 Vr: 25	180	13 ±20	13 ±27	0,68 ±0,87	S-E < 2,5	95% casos S-E<2,5 5% caso S-E<5	>5% caso S-E>5 S>75
N_{Total} mg/l	-	157	1,34 ±0,17	1,78 ±0,24	0,29 ±0,15	S-E<0,45	95% casos S-E <0,3 5% casos S-E <0,6	>5% casos S-E >0,6mg/l S>4
P fosfatos mg/l	S-E<0,2 Vr:0,7	157	0,19 ±0,04	0,24 ±0,05	0,05 ±0,01	S-E <0,10	95% casos S-E<0,05 5% casos S-E<0,15	>5% casos S-E>0,15 S>0,35

ECOTOXICIDAD POTENCIAL DE LOS EFLUENTES

En el Cuadro II se recogen los bioensayos y se indican los criterios que califican como adecuado, admisible e inadmisibles la ecotoxicidad de los vertidos. Para calcular el índice ecotoxicológico es necesario aplicar una batería mínima de tres bioensayos, preferentemente con especies test pertenecientes a niveles tróficos diferentes. La toxicidad observada (Huella tóxica, HT) deberá ser ponderada por el caudal de los efluentes (PEEP). En el mismo cuadro se recogen los niveles de los FC que califican el grado de bioacumulación de contaminantes.

Cuadro II.- Bioensayos y criterios de calidad ecotoxicológica del agua de salida. [% Inh= % de Inhibición respecto al control para EC20 y una dilución 1/4]

	ADECUADO	ADMISIBLE	INADMISIBLE
Test Microtox %Inh.	S-E ≤ 20 %Inh	95% casos Inh ≤ 20% 5% casos Inh ≤ 30%	>5% casos Inh > 30%
Test microalgas %Inh.	S-E ≤ 20 %Inh	95% casos Inh ≤ 20% 5% casos Inh ≤ 35 %	>5% casos Inh > 35 %
Test erizo %Inh.	S-E ≤ 20%Inh	95% casos Inh ≤ 20% 5% casos Inh ≤ 25%	>5% casos Inh > 25%
Huella toxica HT	HT ≤ 22	95% casos HT ≤ 32 5% casos HT ≤ 43	>5% casos HT > 43
PEEP	PEEP ≤ 5,1	95% casos PEEP ≤ 5,5 5% casos PEEP ≤ 5,9	>5% casos PEEP > 5,9
FC biocidas en macroalgas	FC _{MAX} ≤ 2	2 < FC _{MAX} ≤ 5	FC _{MAX} > 5

INTEGRIDAD ECOLÓGICA

En el Cuadro III se recogen los parámetros y se indican los criterios que califican como adecuado, admisible e inadmisibles la alteración de la integridad ecológica dentro del área de influencia de los vertidos.

Cuadro III.- Criterios de calidad ecológica del medio receptor.

Parámetro	ADECUADO	ADMISIBLE	INADMISIBLE
Abundancia de macroalgas oportunistas			
Δ Cobertura sp oportunistas (Intermareal disponible) (%)	Δ ≤15	15 > Δ ≤ 30	Δ > 30
Δ Biomasa sp oportunistas (Máximo estacional) (Kg/m ²)	Δ ≤1	1 < Δ ≤ 1,3	Δ >1,3
Lesiones histológicas en molusco nativo			
Ind. Ponderado de daño (WID) en <i>M. galloprovincialis</i>	WID=0	0 < WID ≤ 1	WID >1

PERIODICIDAD DE LA VIGILANCIA

La periodicidad de la vigilancia depende de:

Carga potencial del efluente

Sensibilidad del medio

Admitiendo que la gestión de las LBMFF – excepto las que recirculan el agua- es similar la carga potencial del efluente puede ser estimada a partir de la producción anual (Tn/año), del caudal bombeado (Hm/año) o del consumo (Kw/año).

La capacidad de acogida y la sensibilidad del medio debe ser estimada para cada caso en particular ya que depende de la capacidad dispersiva (hidrodinamismo, batimetría, topografía,...) y de la presencia de poblaciones o hábitats protegidos, distancia al foco, etc.

Suponiendo que se ha realizado una buena “elección del sitio” antes de instalar la LBMFF la periodicidad de la vigilancia se puede diseñar acorde a la carga potencial. En el Cuadro IV se recoge una simulación de la periodicidad de la vigilancia en función de la carga potencial (Tn/año). Como se puede observar en todos los casos se prioriza la vigilancia en septiembre (Sp) dentro de la época de mayor producción o cuando el efecto acumulado puede ser mas elevado. La idea es que si en el período más crítico los resultados de la vigilancia son satisfactorios en el resto del año aun lo serían más.

Cuadro III.- Periodicidad de la vigilancia en función de la carga potencial.

Carga potencial <i>(Tn.año⁻¹)</i>	BAJA <500	MEDIA 500-2000	ALTA >2000
Indicadores Balance Entrada -Salida	Trimestral <i>Mr, Jn, Sp, Dc</i>	Bimensual <i>En, Mr, My, JI, Sp, Nv</i>	Mensual <i>En, Fb Mr, Ab, My, Jn, JI, Ag, Sp, Oc, Nv, Dc</i>
Bioensayos ecotoxicidad	Anual <i>Sp</i>	Semestral <i>Sp, Mr</i>	Trimestral <i>Mr, Jn, Sp, Dc</i>
Indicador descriptor de exposición	Anual <i>Sp</i>	Anual <i>Sp</i>	Anual <i>Sp</i>
Lesiones histológicas en molusco nativo	Trienal <i>Sp</i>	Bienal <i>Sp</i>	Anual <i>Sp</i>
Integridad ecológica	Trienal <i>Sp</i>	Bienal <i>Sp</i>	Anual <i>Sp</i>

El PVA a de ser dinámico por lo que se priorizará mas la tendencia que el dato estático. También el PVA debe contemplar la posible reducción de la periodicidad de la medición, por ejemplo: *“Si durante un periodo de tiempo representativo (~3 años) -mientras se mantengan las condiciones de producción- los valores obtenidos en todas las muestras no superen un determinado valor de determinados indicadores”*.

SOPORTE BIBLIOGRÁFICO

Los resultados del proyecto fueron presentados en diferentes foros y publicados parcialmente en revistas científicas. A continuación se da una reseña de los temas expuestos, los cuales se adjuntaron en las memorias anuales:

Publicaciones

Viana, I. G., Aboal, J.R., Fernández, J.A., Real, C., Villares, R., Carballeira, A. 2010. **Use of macroalgae stored in an Environmental Specimen Bank for application of some European Framework Directives.** Water Research 44, 1713-1724.

Carballeira, C., Martín-Díaz, M.L., DelValls, A., Carballeira, A. (en prensa). **Designing an Integrated Environmental Monitoring Plan for Marine land-based Fish Farms.** Aquaculture Environment Interactions

Viana, I. G., Fernández, J.A., Aboal, J.R., Carballeira, A. 2011. **Measurement of $\delta^{15}\text{N}$ in macroalgae stored in an environmental specimen bank for regional scale monitoring of eutrophication in coastal areas.** Ecological Indicators 11: 888-895

Carballeira, C., Viana, I.G., Carballeira, A. (en revision) **$\delta^{15}\text{N}$ in macroalgae as an indicator of the potential impact of waste disposal from land-based marine fish farms.** Marine Pollution Bulletin

Viana, C. Carballeira, A. Rey-Asensio, A. Carballeira (enviado). **Temporal trends of $\delta^{15}\text{N}$ in *Fucus vesiculosus* L.** Marine Pollution Bulletin
I.

Carballeira, C; Martín-Díaz, M.L. & DelValls, A. (2011) **Optimization of fertilization and larval development toxicity tests using two marine sea urchin species: Study of salinity influence.** Mar. Env. Res. 72:196-203

Carballeira, C; Martín-Díaz, M.L. & DelValls, A. (en prensa) **Specific malformations of sea urchin larvae when assessing toxicity from land-based marine fish farm.** Arch. Env. Cont. and Toxicology

Carballeira, C; Viana, I.G., De Orte, M.R. & Carballeira, A. (enviado). **Implementation of a minimal biological test set for assessment of ecotoxic effect of effluents from land-based marine fish farms.**

Carballeira, C; Espinosa, J., Carballeira, A. (2011). **Linking $\delta^{15}\text{N}$ and histopathological effects in molluscs *in situ* exposed to effluents from land-based marine fish farms.** Marine Pollution Bulletin 62:2633-2641

Respecto a los bioensayos sobre los posibles responsables de la toxicidad-fertilidad de los vertidos de las LBMFF se ha finalizado la redacción de tres artículos y que está en fase de revisión:

Viana, I.G., Carballeira, C.; De Orte, M.R. & Carballeira, A. **Assessing the ecotoxicity of chemicals compounds associated to land-based marine fish farms: Development of mini-scale *Vibrio fischeri* tests**

Se comprueba la toxicidad de diferentes biocidas: antibióticos (sulfadiazina, oxitetraciclina, flumequina, amoxicilina, ampicilina y estreptomycin), desinfectantes (formaldehído e hipoclorito sódico), junto al residuo (amonio), usados habitualmente en las LBMFF, mediante el test de inhibición de la bioluminiscencia. Se estudia el efecto de los biocidas considerando diferentes tiempos de exposición (15, 30, 45 y 60min) y dos salinidades (20 y 35 g/L). Se comprueba que a 60min se aumenta significativamente la sensibilidad del test frente al tiempo estándar y que la toxicidad disminuye claramente con la salinidad. Se acredita que la correspondencia entre el uso de microplacas y el método estándar es satisfactoria lo que reduce el coste y simplifica el bioensayo.

De Orte, M.R.; Carballeira, C.; Viana, I.G. & Carballeira, A. **Assessing the ecotoxicity of chemicals compounds associated to land-based marine fish farms: Development of mini-scale microalgal toxicity tests**

Se comprueba la toxicidad/fertilidad de diferentes biocidas: antibióticos (sulfadiazina, oxitetraciclina, flumequina, amoxicilina, ampicilina y estreptomycin), desinfectantes (formaldehído e hipoclorito sódico) y residuo (amonio), usados habitualmente en la LBMFF. Se emplea el test de toxicidad a mini-escala con dos especies de microalgas *Phaeodactylum tricorutum* e *Isochrysis galbana*. Se comprueba bibliográficamente que las microalgas son más sensibles que otros organismos a los biocidas ensayados. El uso de micro-placas permite ensayar más tratamientos y réplicas y es menos onerosa que la estándar.

Carballeira, C.; Viana, I.G., De Orte, M.R. & Carballeira, A. **Assessing the ecotoxicity of chemicals compounds associated to land-based marine fish farms: Sea urchin embryo bioassay with *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula***

Se comprueba la toxicidad de diferentes biocidas: antibióticos (sulfadiazina, oxitetraciclina, flumequina, amoxicilina, ampicilina y estreptomycin), desinfectantes (formaldehído e hipoclorito sódico), junto al residuo (amonio), usados habitualmente en las LBMFF, mediante el test de erizo. Se estudia el efecto sobre el desarrollo embrionario y la fertilización de dos especies de erizo: *Paracentrotus lividus* y *Arbacia lixula*. El objetivo de utilizar dos especies es aumentar la disponibilidad de organismos test, aumentar el período anual hábil para realizar el ensayo e inter-calibrar las respuestas.

Congresos

Título **$\delta^{15}\text{N}$ en macroalgas como marcador del área de influencia de los vertidos de piscifactorías marinas instaladas en tierra**

Tipo de participación Comunicación oral

Congreso XVII Simpósio de Botánica Criptogámica

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración Portugal (Tomar) 2009

Título **Desarrollo de un bioensayo miniaturizado de microalgas para evaluar la ecotoxicidad de vertidos marinos: Aplicación a piscifactorías marinas instaladas en tierra**

Tipo de participación Comunicación oral

Congreso XVII Simpósio de Botánica Criptogámica

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración Portugal (Tomar) 2009

Título **Bases científicas para el diseño de un plan de vigilancia ambiental de las piscifactorías marinas instaladas en tierra**

Tipo de participación Conferencia invitada

Congreso XII Foro Recursos Marinos y Acuicultura

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración O Grove (Pontevedra) 2009

Título **Eliminación de discos fantasmas en bioensayos con *Ulva sp***
Tipo de participación Póster presentation
Congreso XVII Simpósio de Botánica Criptogamica
Publicación Libro resúmenes
Lugar de celebración Portugal (Tomar) 2009

Título **Bioensayo de colonización de sustratos artificiales como una medida de alteración de la integridad ecológica en el medio marino**
Tipo de participación Póster presentation
Congreso XVII Simpósio de Botánica Criptogamica
Publicación Libro resúmenes
Lugar de celebración Portugal (Tomar) 2009

Título **Preliminary evaluation of aquaculture effluents effects in the sea anemones (*Anemonia sulcata*) of the Galicia Coast**
Tipo de participación Comunicación técnica
Reunión Grupos Ecotoxicología Marina
Publicación Interna
Lugar de celebración Universidad de Aveiro (Portugal) 2010

Título **Evaluation of the interespecific differences in $\delta^{15}\text{N}$ in coexisting marine macroalgae**
Tipo de participación Póster communication
Congreso The 7th International Conference on Applications of Stable Isotope Techniques to Ecological Studies
Publicación Libro resúmenes
Lugar de celebración Alaska (Fairbanks) 2010

Título **Seasonal variation of $\delta^{15}\text{N}$ in macroalgae**
Tipo de participación Póster communication
Congreso The 7th International Conference on Applications of Stable Isotope Techniques to Ecological Studies
Publicación Libro resúmenes
Lugar de celebración Alaska (Fairbanks) 2010

Título *Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: Bioacumulación de microcontaminantes*
Tipo de participación Póster communication
Congreso XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura
Publicación Libro resúmenes
Lugar de celebración O Grove (Pontevedra) 2010

Título *Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: Bioensayos *in situ* de fertilidad.*
Tipo de participación Póster communication
Congreso XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura
Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración O Grove (Pontevedra) 2010

Título *Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: Alteraciones histológicas en moluscos nativos y trasplantados.*

Tipo de participación Póster communication

Congreso XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración O Grove (Pontevedra) 2010

Título *Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: Biomarcadores moleculares en mejillón nativo*

Tipo de participación Póster communication

Congreso XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración O Grove (Pontevedra) 2010

Título **Biomonitorización de los efluentes de piscifactorías marinas instaladas en tierra: Bioensayos con embriones de erizo.**

Tipo de participación Póster communication

Congreso XIII Foro Recursos Marinos y Acuicultura

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración O Grove (Pontevedra) 2010

Título **Differential accumulation of metals and changes in Acetylcholinesterases and $\delta^{15}\text{N}$ levels in the sea Anemones as a function of aquaculture effluent gradient exposition**

Gadelha, J; Rey, A; Gonzales, I; Carballeira, A.; Vieira, L., Guilhermino, L., Abreu, S.; Rendón von Osten, J., Morgado, F. & A.M.V.M. Soares

Tipo de participación Poster

Congreso SETAC

Lugar de celebración Italia (Milán) Jn 2011

Título **Determinación de los umbrales, de las variables geoquímicas de sedimentos, indicadores del impacto generado por los cultivos marinos en mar abierto mediante técnicas de análisis de gradientes ambientales.**

C. Carballeira, A. Carballeira, F. Aguado-Giménez, N. González, P. Sánchez-Jerez, J.M. Texeira, J.I. Gairin, B. García-García, V. Fernández-González, J. Carreras, J.C. Macías, D. Acosta, C. Collado.

Tipo de participación Poster

Congreso XIV Foro Recursos Marinos y Acuicultura

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración O Grove (Pontevedra) Oct 2011

Título **Plan integrado para la vigilancia ambiental de las piscifactorías marinas instaladas en tierra**
C. Carballeira, J. Ramos-Gómez, A. Carballeira

Tipo de participación Poster

Congreso XIV Foro Recursos Marinos y Acuicultura

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración O Grove (Pontevedra) Oct 2011

Título **Vigilancia de la ecotoxicidad de los efluentes de las piscifactorías marinas instaladas en tierra**
C. Carballeira, MR de Orte, IG Viana, A. Carballeira

Tipo de participación Poster

Congreso XIV Foro Recursos Marinos y Acuicultura

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración O Grove (Pontevedra) Oct 2011

Título **Diseño de un plan de integral para la vigilancia ambiental de las piscifactorías marinas instaladas en tierra**
A. Carballeira, J. Ramos-Gómez y C. Carballeira

Tipo de participación Comunicación oral

Congreso XIII Congreso Nacional de Acuicultura

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración Barcelona Nov 2011

Título **Utilización de perfiles ecológicos para la selección de variables geoquímicas de sedimentos marinos como indicadores del impacto ambiental generado por los cultivos marinos en mar abierto**
A. Carballeira, F. Aguado-Giménez, N. González, P. Sánchez-Jerez, J.M. Texeira, J.I. Gairin, C. Carballeira, B. García-García, V. Fernández-González, J. Carreras, Macías, J.C., D. Acosta, Collado, C.

Tipo de participación Comunicación oral

Congreso XIII Congreso Nacional de Acuicultura

Publicación Libro resúmenes

Lugar de celebración Barcelona Nov 2011



**Selección de indicadores,
determinación de
valores de referencia,
diseño de programas y protocolos
de métodos y medidas para estudios
ambientales en
Acuicultura marina**

INFORME CATALUÑA

2011

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la Acuicultura Marina se está proyectando como una alternativa de futuro en Cataluña y en el resto del Estado Español. Han tenido que pasar muchos años para que las empresas que existen hoy en día, puedan cerrar sus ciclos productivos y empezar nuevos. El grado tecnológico y el conocimiento biológico de las especies a cultivar hacen posible que las explotaciones acuícola sean una realidad.

El hecho es que la Acuicultura Marina en Cataluña se está acabando de desarrollar y su crecimiento se empieza a ver.

El 70% de las piscifactorías de la costa catalana son de jaulas flotantes. Estos tipos de instalaciones presentan unas características tanto técnicas como biológicas que pueden ser idóneas para favorecer el cultivo de especies de moluscos bivalvos. Dentro del aspecto técnico, los anclajes, los cabos y las boyas se pueden amoldar a las estructuras para cultivos de bivalvos. Respecto a la biología, la polución generada por el polígono de jaulas puede favorecer el crecimiento de estos moluscos.

Existe un aumento de la producción piscícola en nuestro país, y se debe por un lado al intento de no agotar los recursos naturales y por otro el de no aumentar las importaciones de peces de alta calidad, manteniendo un nivel óptimo de oferta.

La Acuicultura Marina es uno de los sectores económicos con mejores perspectivas de crecimiento y rentabilidad.

El sector alimentario es tradicionalmente un sector con buenas posibilidades de inversión. Dentro de él nos encontramos además con diversos productos que en los últimos años registran un aumento continuo de la demanda, destacando entre ellos el pescado.

El aumento de la demanda de pescado, mientras la oferta se debate entre el coste cada vez más elevado de la pesca tradicional y el agotamiento de los caladeros marinos, se produce en un momento en el que, paralelamente, el conocimiento biológico de las especies marinas y la solución a los problemas técnicos que

presenta su cultivo, ha permitido desarrollar con éxito diversas líneas de cría y engorde de dichas especies.

Así pues, con una balanza comercial altamente deficitaria y unas condiciones naturales favorables para su desarrollo, la Acuicultura es uno de los retos que tiene frente a sí el sector de la pesca en España. La Política Pesquera Común plantea entre sus objetivos la potenciación de la Acuicultura, y España no solamente se ha limitado a recoger las posibilidades que ofrece Bruselas en cuanto a política de ayudas, sino que además, con recursos solamente nacionales, ha puesto en marcha disposiciones propias, con el fin de no dejar fuera proyectos de un gran interés para el sector pesquero.

Según la Asociación Empresarial de Productores Marinos, APROMAR, el ritmo de crecimiento de la acuicultura de peces europea ha sido del 6% anual en los últimos 10 años. En 2007 se alcanzaron 1.632.258 Tm, un 13,9 % superior a 2006, según la Federación Europea de Productores de Acuicultura (FEAP). La previsión para 2008 era de 1.711.921 Tm, es decir, un crecimiento del 4,9 %.

Su valor comercial en primera venta fue de 4.812 millones de euros, que sin embargo supuso un 3,7% menos que en 2006. El valor medio en la comercialización de los peces de acuicultura europeos pasó por ello de 3,49 €/Kg en 2006 a 2,95 €/kg en 2007, un 15% menos.

Al revisar las cifras por especies, la producción acuícola de dorada en España en 2007 ha sido de 22.320 toneladas, un 10,4 por ciento más que en 2006. Las previsiones para 2008 apuntaban a un nuevo incremento de esta producción hasta superar las 24.790 Tm, es decir, un 11,1 % más. Con respecto a la producción de lubina, en 2007 ha sido de 10.480 toneladas, un 17,4 por ciento mayor que en 2006. Las previsiones para 2008 apuntaban a un incremento del 12,2 por ciento hasta alcanzar 11.760 Tm. Indican desde Apromar que por primera vez Canarias se sitúa como primera Comunidad Autónoma productora de lubina de acuicultura, con el 32 por ciento del total nacional, cuando tradicionalmente lo ha sido Andalucía (31%). Otras comunidades productoras de lubina son la Comunidad Valenciana (18 %), Murcia (15 %) y Cataluña (5%).

Según la FAO en el 2008 se empezó a apreciar el previsto crecimiento de producción en la acuicultura, mientras la industria pesquera parece permanecer estable.

La producción de pescado total mundial (la pesca y la acuicultura) sigue aumentando, pero sólo gracias a la acuicultura. Las cifras de FAO muestran un nuevo registro de 144 millones de toneladas (excluyendo plantas acuáticas) en el 2006, por encima de las 143 millones de toneladas del 2005.

La producción en 2007 ha registrado 145 millones de toneladas, que confirmarían la tendencia a largo plazo de aumentos modestos. China confirma su papel como el productor principal, informando 52 millones de toneladas en 2006, de cual 34 millones de toneladas han sido de acuicultura. En general, el 80 por ciento de la producción mundial de pescado y productos de piscifactoría se da en países en vía de desarrollo.

Comparado con las producciones de hace una década, la estimación en el 2007 representa un aumento de más de 20 millones de toneladas. Este suministro adicional es completamente debido a la expansión de la acuicultura que, en 2006, alcanzó 52 millones de toneladas (excluyendo plantas acuáticas), representando el 36 por ciento de pescado total.

Sin embargo, es interesante apuntar que el valor del desarrollo de la producción de acuicultura parece aminorarse a corto plazo, mientras que las provisiones de la industria pesquera de captura parecen haber alcanzado un estado a largo plazo de estabilidad.

Según la FAO, la acuicultura influye en el medio ambiente. Utiliza recursos y provoca cambios medioambientales. La mayoría de estas mutuas influencias tienen efectos beneficiosos. Ha habido beneficios socio-económicos sustanciales provenientes de la expansión de la acuicultura. Estos beneficios incluyen aumento de los ingresos y el empleo, la obtención de intercambios exteriores y la mejora de la nutrición (Pullin, 1989). Habría que reconocer que hasta el momento la mayoría de las prácticas acuícolas han tenido poco efecto negativo en los ecosistemas. Sin embargo, se han dado algunos casos de degradación del medio ambiente en zonas costeras, debidos por ejemplo a operaciones intensivas de cultivo en jaulas en Europa y a las prácticas de cultivo de camarones en el Sudeste Asiático y en América Latina.

Las operaciones de acuicultura pueden aumentar todavía en muchos países templados y tropicales. Es necesario consolidar los actuales esfuerzos en el desarrollo de la acuicultura para mejorar más la ordenación y realización de muchas factorías acuícolas con el fin de asegurar su duración y su compatibilidad

con el medio ambiente. Desgraciadamente, la planificación y coordinación del desarrollo de la acuicultura sostenido por una adecuada información de base que contenga datos tecnológicos y socio- económicos suficientes es todavía en la mayoría de los países una excepción más que una práctica común.

Aunque hay posibilidades de desarrollo en muchas zonas, la acuicultura debe someterse cada vez más a toda una serie de constricciones medioambientales, de recursos y de mercado. La acuicultura compite por los recursos terrestres y marinos, lo cual ha dado como resultado en algunos casos conflictos con otros usuarios de esos recursos. Además, hay un interés creciente por las implicaciones medioambientales del desarrollo de la acuicultura, incluidos los efectos negativos de la actividad acuícola en el medio ambiente, así como las consecuencias de una creciente polución de las aguas, que afectan a la viabilidad y a un desarrollo sólido de la acuicultura.

Durante los dos últimos decenios, se ha prestado atención creciente a los posibles riesgos medioambientales que lleva consigo el desarrollo de la acuicultura. En algunos casos, los problemas medioambientales han sido resultado de la transformación de hábitats húmedos, el vertido de desechos nutritivos y orgánicos, la introducción de especies exóticas, el uso de productos químicos, así como del deterioro de la calidad del agua y de la disponibilidad cada vez menor de lugares adecuados para la acuicultura. Todos estos problemas han sido planteados repetidamente, en reuniones internacionales de expertos, por ejemplo, por la Comisión de Pesca del Indo-Pacífico (CPIP), la Comisión Asesora Europea sobre Pesca Continental (CAEPC), el Consejo Internacional para la Exploración del Mar (CIEM), la Sociedad Asiática de Pesca, el Centro Internacional para la Ordenación de los Recursos Acuáticos Vivos (ICLARM), la Sociedad Mundial de Acuicultura (WAS), la Sociedad Europea de Acuicultura (EAS) y el Grupo Mixto de Expertos OMI/FAO/Unesco/OMM/OMS/OIEA/Naciones Unidas/PNUMA1 sobre los Aspectos Científicos de la Contaminación de las Aguas (GESAMP).

Las recomendaciones hechas en estas reuniones han subrayado repetidamente la necesidad urgente de mejoras en varios campos, como son:

- (i) la aplicación de métodos adecuados de acuicultura,
- (ii) planificación y ordenación sectorial del desarrollo,
- (iii) integración de la acuicultura en zonas costeras multi-sectoriales y sistemas de ordenación de las cuencas fluviales,
- (iv) legislación que rijan la acuicultura,
- (v) evaluación y seguimiento de los cambios ecológicos y socioeconómicos que comporta el desarrollo de la acuicultura.

2. OBJETIVOS

El objetivo General de este proyecto es conseguir un consenso a nivel Nacional, sobre la metodología y presentación de los resultados de los **PLANES DE VIGILANCIA AMBIENTAL**, que deberán seguir las empresas de Acuicultura Marina, que tengan instalaciones en tierra o en el mar. Con este proyecto se pretende dar herramientas para que las empresas acuícolas puedan desarrollar sus Pva, y a la administración las pautas a seguir en el seguimiento de estos Pva.

Este proyecto se engloba en los Planes JACUMAR, y concretamente en: **Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina.**

En este sentido se han apuntado otros objetivos:

LINEA 1: Identificar los parámetros y métodos de trabajo de los estudios ambientales.

- Situación actual de los proyectos de Acuicultura en Cataluña.
- Revisión de la normativa comunitaria catalana.
- Elaborar un mapa con las situaciones de cada instalación, presente y futura, para establecer las variabilidades de los EIA.

LINEA 2: Elaborar un Modelo conceptual para la monitorización ambiental de la acuicultura.

- Generar analíticas de las diferentes instalaciones dependiendo de su fase de explotación.
- Profundizar en el análisis de las tareas del cultivo que pueden generar impacto.
- Estudiar cada entorno particular.

LINEA 3: Seleccionar y confirmar los parámetros indicadores y las metodologías aplicables. Definir y determinar los valores de referencia para dichos parámetros.

- Buscar interrelación entre bienestar animal i magnitud de alteración del medio.

LINEA 4: Generar un protocolo para la formulación de los Programas de Vigilancia ambiental.

Como objetivo del proyecto también se ha planteado:

- 1 **Análisis previo:** diferentes características biológicas, oceanográficas y climáticas, que han acompañado la vida productiva, y como referencia, de las dos instalaciones propuestas para estudio.
- 2 **Diseño Experimental**
- 3 **Propuesta de PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL.**

Las dos instalaciones estudiadas son:

- L'Ametlla de Mar: **CRIPESA S.L.**: 40° 51' N, 00° 48' E
- Les cases d'Alcanar: **AQUICULTURA ELS ALFACS, S.L.:**
40°32,220' N, 00°33'600 E

2.1. Características generales

2.3. Descripción de la especie

DORADA (*Sparus aurata*)

Biología: Familia *Sparidae*. Pez de cuerpo alto con el dorso arqueado y frontal fuertemente oblicuo. Dientes muy desarrollados que le sirven para triturar la concha de bivalvos, caracoles o cangrejos de los cuales se alimenta. De tonos plateados, presenta una banda dorada que le va de un ojo al otro, y una mancha negra en el borde superior del opérculo. Vive en los fondos arenosos, entre algas o fondos rocosos, a unos 30 metros de profundidad. Generalmente forma bancos, y se acercan a la costa en primavera. Una parte de su vida son machos i otra hembras, del mismo modo que otras especies de la misma familia. Se reproducen de Octubre a Diciembre, lejos de la costa y a mucha profundidad. Vive en agua salada como en el agua salobre e, incluso, en agua dulce. Su longitud más común oscila entre los 25 y 35 cm., pero puede llegar a los 60 ó 70 con un peso máximo de 6Kg.

Cultivo: Es una de las primeras especies engordadas en Italia y en Francia. Muy buenos resultados en la producción controlada de alevines. Engorde en jaulas a partir de 10 gr. Densidades de 7-20 Kg./m³. Talla comercial en 12-14 meses (engorde de 10 gr. a 450 gr.). Índice de conversión 1:2,5. Temperatura de 10 a 27 °C y salinidad de 35 gr./l.

LUBINA (*Dicentrarchus labrax*)

Biología: Cuerpo alargado, labios carnosos. Lengua con dientes. Dos espinas bien visibles en el final del opérculo. Preopérculo dentado por detrás, espinas en la base. Caudal débilmente escotada. Tinte plateado, gris plomo el dorso, una mancha pardo-oscuro sobre el opérculo. Escamas: 65-80 e.t.. Aletas: D1 VIII-XI, D2 I-12-13. A III-10-12. Talla: hasta 1 m. y 10 Kg

Distribución: Se encuentra en el Atlántico desde Noruega hasta Canarias y es común en el Mediterráneo y en la costa catalana. Sexos separados. Primera maduración entre los dos y tres años. Época de reproducción en la costa catalana desde Diciembre hasta Marzo (de 11Cº a 14Cº). Crecimiento rápido (200 gr. en 22-24 meses). Soporta bien los cambios de salinidad. Los límites de temperatura se sitúan entre los 3Cº y 35Cº.

AQUICULTURA ELS ALFACS, S.L.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN EXISTENTE.

3.1. Parámetros referentes a la calidad del litoral

3.1.1. Características químicas del agua y microbiología

Esta parte del proyecto se ha realizado tomando como referencia básica los datos del **“Programa de Vigilància i Control de Qualitat Ambiental de les Aigües del Litoral Català”**, con valores de las campañas de 1994-1999 y otros de los años 2007 a 2009, que lleva a cabo l’Agència Catalana de l’Aigua y el instituto de Ciencias del Mar de Barcelona.. Los datos analizados corresponden a los puntos de muestreo cercanos a Les Cases d’Alcanar y hay que considerarlos como significativos del lugar de emplazamiento de la instalación.

Respecto a los datos del programa del 2007 al 2009 de l’Agència Catalana de l’Aigua , este Programa tiene por objeto el seguimiento de las condiciones tróficas de las aguas litorales y funciona durante todo año. A tal efecto, se realizan medidas in situ y se toman muestras del agua de mar superficial, a lo largo de todo el litoral catalán tanto desde la línea de costa (con una frecuencia mensual o trimestral dependiente del caso), como en puntos alejados de la costa a unos 1500m (campo mediano) y unos 5000m (campo lejano). Estos controles se enmarcan en los seguimientos para el cumplimiento de la Directiva marco del agua 2000/60/CE.

El punto de partida han sido los valores extremos que no ha de sobrepasar el agua para el buen desarrollo de la cría de especies marinas, según los criterios y prioridades establecidos en la legislación vigente (Orden Ministerial de 29 de Abril de 1977, BOE num. 151 de 25 de Junio 1977; Real Decreto 1138/1990, de 14 de Septiembre, BOE num. 226 de 20 de Septiembre 1990; Directiva del Consejo de 18 de Julio de 1978, 78/659/CEE; Real Decreto 258/1989 de 10 de Marzo). Los valores de referencia están indicados a la derecha de las tablas de resultados obtenidos; para aquellos parámetros que no existe normativa, están indicados con “-”.

Respecto de los datos que se han extraído del mencionado "Programa de Vigilancia y Control de la Calidad del Litoral Catalán", hay que hacer constar que, para el área de Les Cases d'Alcanar, los análisis que se ha efectuado son de caracterización general de calidad y de presencia de contaminantes específicos. Los datos del "Programa" y campañas oceanográficas han de considerarse como los de mayor importancia para el seguimiento de la calidad del agua, sin olvidar que también son indicativos de la viabilidad DEL ENGORDE DE DORADA Y LUBINA.

Para la caracterización de la calidad de las aguas litorales se han analizado los bioindicadores de contaminación fecal y diferentes parámetros físico-químicos. La evaluación de la presencia de sustancias contaminantes se ha llevado a termino mediante el análisis de las principales familias de contaminantes orgánicos y de metales pesados.

Parámetros físico-químicos:

Los parámetros que aquí se analizan son: el ph, fósforo total, los fosfatos, el nitrógeno total, los nitratos, los nitritos, el amoníaco, la DBO5, los detergentes, los fenoles y los cianuros. Los valores hallados se expresan en la siguiente tabla. Aquellos de los que no se han obtenido resultados, serán objeto de estudio y analítica en el futuro como parte del programa anual de seguimiento y control:

parámetros	valores obtenidos			lim.máx.
	media	máx.	min.	
ph	8,12	8,56	6,83	9
fósforo total (mg/l)	-	-	-	-
fosfatos (microg-at/l)	0,25	0,76	0,01	5 mg/l
nitrógeno orgánico (micro.g/l)	-	-	-	
nitratos (microg-at/l)	4.26	46.8	0.05	50 mg/l
nitritos (micro.g-at/l)	0 .2	0.7	0.01	100 mg/l
amonío (microg-at/l)	1.06	3.37	0.13	
DBO5 (mg O2/l)	1.28	3.86	0.026	3 mg/l
detergentes (mg/l)	-	-	-	0,2
fenoles (mg/l)	-	-	-	0,0005
cianuros (mg/l)	-	-	-	0,005

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 1.994-1.999

Las sales nutritivas consideradas (nitritos, nitratos y fosfatos), indicadores de posible riesgo de eutrofización de las aguas, se presentan en concentraciones escasamente apreciables en las diferentes estaciones del año. Estos nutrientes, en especial los nitritos i nitratos, experimentan un ligero incremento durante la actuación de los temporales (primavera y otoño, principalmente), cuando son resuspendidos desde el fondo por estos.

ALCANAR	PUNTO DE CONTROL DE MARJAL								
FECHA	Salinidad (psu)	pH	D Secchi (m)	DBO ₅	NO ₃ (μmol/l)	NO ₂ (μmol/l)	NH ₄ (μmol/l)	PO ₄ (μmol/l)	SiO ₄ (μmol/l)
06/02/2007	36,2	8,10	---	2,70	27,77	0,29	0,65	0,24	4,04
22/05/2007	35,8	8,18	---	2,27	8,77	0,35	4,11	0,62	3,77
29/08/2007	35,2	8,13	---	4,06	8,64	0,25	1,10	0,02	1,91
20/11/2007	36,3	8,35	---	3,62	9,71	0,35	2,81	0,02	4,08
19/02/2008	35,4	8,26	---	2,45	9,09	0,27	1,01	0,02	2,42
20/05/2008	34,6	8,27	---	sd	18,04	0,63	4,32	0,08	6,11
07/08/2008	35,7	8,23	---	3,32	11,03	0,31	1,71	0,16	10,79
18/11/2008	34,6	8,52	---	4,02	15,56	0,60	1,20	0,32	6,61
17/02/2009	34,9	8,38	---	1,81	17,96	0,35	0,67	0,36	5,76
26/05/2009	35,1	8,44	---	5,87	10,10	0,25	1,39	0,29	2,30
18/08/2009		7,87	---	5,49	6,02	0,13	1,19	0,36	3,52

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 2007-2009

ALCANAR	PUNTO DE CONTROL CAMP MITJA								
FECHA	Salinidad (psu)	pH	D Secchi (m)	DBO ₅	NO ₃ (μmol/l)	NO ₂ (μmol/l)	NH ₄ (μmol/l)	PO ₄ (μmol/l)	SIO ₄ (μmol/l)
13/11/2007	35,0	---	3,0	---	5,11	0,08	0,50	0,02	6,69
29/02/2008	75,0	---	4,0	---	2,21	0,28	0,10	0,10	2,20
03/06/2008	36,5	---	4,0	---	8,96	0,67	0,83	0,08	7,70
17/07/2008	35,5	---	4,0	---	8,19	0,10	1,61	0,03	8,82
19/11/2008	35,8	---	4,0	---	8,53	0,24	1,00	0,49	9,82
19/02/2009	35,9	---	5,0	---	8,30	0,23	0,26	0,11	2,52
21/05/2009	34,6	---	5,0	---	7,69	0,14	0,04	0,18	3,17
20/07/2009	37,0	---	<i>sd</i>	---	3,14	0,09	0,24	0,04	3,03

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 2007-2009

Análisis de metales pesados:

Los metales que se deben analizar son: el arsénico, el cadmio, el mercurio, el cromo hexavalente y el plomo. La tabla siguiente recoge los valores de algunos de estos, así como los máximos permitidos por la legislación.

parámetros	valores obtenidos			lim.máx.
	media	máx.	min.	
arsénico (mg/l)				50 (µg/l)
cadmio (mg/l)	<0.001	<0.003	<0.0005	5 (µg/l)
mercurio (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.0005	1 (µg/l)
cromo VI (mg/l)				50 (µg/l)
plomo (mg/l)				50 (µg/l)

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 1.994-1.999

- Contaminantes orgánicos:

Se da la misma situación que en el caso anterior. Los compuestos orgánicos que se deben analizar en el futuro son los compuestos volátiles, los pesticidas organoclorados y PCB's, los pesticidas organofosforados y los hidrocarburos aromáticos policíclicos:

parámetros	concentración . observada	lim.máx.
volátiles (µg/l)		
cloroformo	<0.1	12
tetracloruro carbono	<0.1	12
tetracloroetileno	<0.1	-
hexaclorobutadieno	<0.07	-
benzeno		-
tolueno		-
xileno	.	-
isopropilbenzeno	.	-

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral
 Catalán 1.994-1.999

parámetros	concentración observada	lim.máx.
pesticidas organoclorados y PCB's (ng/l)		
hexaclorobenzeno	<0.2	30
lindane	4.5	20
aldrina	<0.2	30
dieldrina	<0.2	30
PCB's		500
isodrina	<0.2	-
endrina	<1	-
P,P'-DDT	<1	-.
pentaclorofenol µg/l	< 0.05	
pesticidas organofosforados		-
hidrocarburos aromáticos policíclicos (ng/l)		200

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 1.994-1.999

- Análisis de bioindicadores de contaminación:

Los parámetros que se han analizado son: los coliformes totales, los coliformes fecales, los estreptococos fecales y Escherichia coli

Para el estudio de la calidad microbiológica de las aguas donde se ubicará la instalación, se han recogido las analíticas de l'Agència Catalana de l'Aigua

La microbiología de las playas de Les Cases d'Alcanar, se exponen a continuación. Estos datos nos darán una idea de la concentración de bacterias fecales, que en condiciones muy desfavorables, dada la distancia de la costa a la que se halla la instalación, podrían llegar a la zona de cultivo.

Los resultados de los análisis son los siguientes:

Pub Castor	LES CASES D'ALCANAR		AÑO 2007
FECHA	Coliformes totales	Coliformes fecales	Enterococos intestinales
	(ufc/100 ml)	(ufc/100 ml)	(ufc/100 ml)
26/05/2007	NA	1	0
02/06/2007	NA	0	0
09/06/2007	NA	0	2
16/06/2007	NA	0	10
23/06/2007	NA	630	23
30/06/2007	NA	2	2
07/07/2007	NA	0	0
14/07/2007	NA	2	22
21/07/2007	NA	25	22
28/07/2007	NA	0	2
04/08/2007	NA	2	0

11/08/2007	NA	0	17
18/08/2007	NA	15	10
27/08/2007	NA	12	2
01/09/2007	NA	0	23
08/09/2007	NA	0	10
15/09/2007	NA	53	7

Pub Castor	LES CASES D'ALCANAR	AÑO 2008
FECHA	Enterococos intestinales (ufc/100 ml)	Escherichia coli (ufc/100 ml)
31/05/2008	2	2
07/06/2008	2	2
14/06/2008	2	7
21/06/2008	2	2
28/06/2008	3	7
05/07/2008	3	17
12/07/2008	2	2
22/07/2008	2	8
26/07/2008	2	2
02/08/2008	3	17
09/08/2008	2	7
16/08/2008	2	2
23/08/2008	2	12
30/08/2008	2	2
06/09/2008	2	57
13/09/2008	2	2
20/09/2008	2	2

Pub Castor	LES CASES D'ALCANAR	AÑO 2009
FECHA	Enterococos intestinales (ufc/100 ml)	Escherichia coli (ufc/100 ml)
30/05/2009	2	2
06/06/2009	2	8
13/06/2009	2	2
20/06/2009	2	2
27/06/2009	2	2
04/07/2009	2	2
11/07/2009	2	7
18/07/2009	15	3
25/07/2009	17	2
01/08/2009	15	5
08/08/2009	2	2
15/08/2009	3	2
22/08/2009	2	2
29/08/2009	8	2
05/09/2009	2	2
12/09/2009	13	3
19/09/2009	7	2

Algún resultado de la analítica microbiológica en las playas del punto de muestreo de las aguas de Les Cases d'Alcanar, son ligeramente superiores a los citados en la legislación; no obstante hay que considerar que la instalación de las jaulas flotantes se halla a unos 1000 metros del lugar de la recogida de las muestras para los análisis microbiológicos realizados.

3.1.2 Temperatura

Los datos referentes a la distribución de temperaturas del agua del mar de la zona del emplazamiento de las jaulas, han sido obtenidos tomando como bases diversas fuentes entre las que cabe mencionar los estudios del "Programa de Vigilancia y Control de la Calidad del Litoral Catalán", muestreos de temperatura de otros proyectos de moluscos y datos recogidos "in situ" por los propios autores de este proyecto.

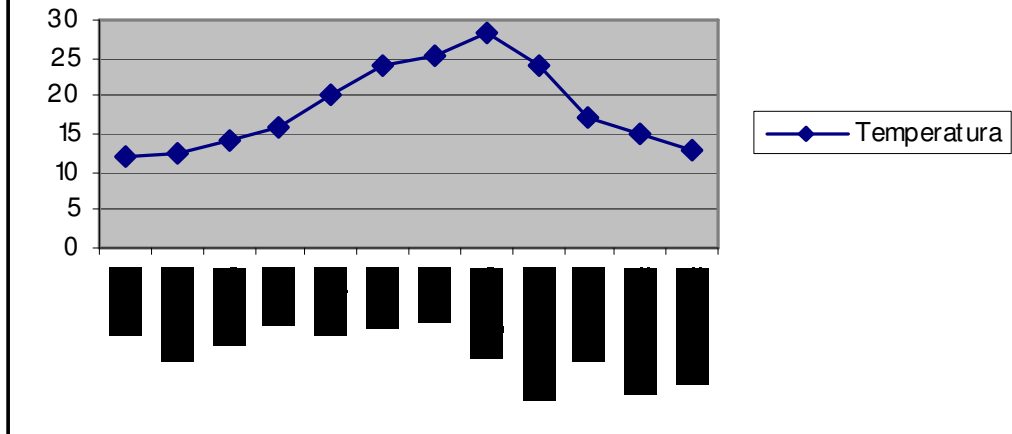
Los datos térmicos se expresan en la gráfica y la tabla que siguen a continuación. Los diferentes estudios realizados, y los correspondientes datos recogidos indican que el mes de Febrero se caracteriza por una homogeneidad térmica de superficie a fondo. A partir del mes de Abril, al iniciarse el aumento de la temperatura de las aguas superficiales, aparece la termoclina que, en Mayo, se halla situada entre 10 y 20 metros de profundidad, manteniéndose por debajo de las mismas temperaturas próximas a los 13 °C. Más tarde, hacia el mes de Junio, la localizamos entre 20 y 30 metros, en tanto que, a finales de Julio y principios de Agosto, sufre una ascensión encontrándose de nuevo entre 10 y 20 metros. Posteriormente profundiza de nuevo, llegando a desaparecer en otoño.

Las temperaturas superficiales en los meses de verano se acercan a los 28 °C en los meses de Agosto y Septiembre, mientras que en invierno, se hallan temperaturas muy homogéneas comprendidas entre los 12 y 13 °C en todos los niveles.

**TEMPERATURA Les
 Cases d'Alcanar. 1 m**

Enero	12
Febrero	12.5
Marzo	14
Abril	16
Mayo	20.1
Junio	24
Julio	25.3
Agosto	28.3
Septiembre	24
Octubre	17
Noviembre	15
Diciembre	13

**TEMPERATURA DEL AGUA A 1m LES CASES
 D'ALCANAR**



3.1.3. Salinidad y nutrientes

Valores obtenidos a partir de los datos recogidos en los estudios hidrográficos del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona y del "Programa de Vigilancia y Control de la Calidad del Litoral Catalán"

El agua superficial presenta salinidades prácticamente siempre inferiores a 38 por mil, siendo particularmente inferiores las registradas a partir del mes de Mayo, mes en que los aportes de los ríos se dejan notar. Si se relaciona la temperatura y la salinidad se aprecia la evolución de las masas de agua a lo largo del año; así en el mes de Septiembre pueden detectarse fácilmente tres niveles de aguas: superficiales, intermedias y profundas. Poco a poco, en los meses sucesivos, las más superficiales se van encontrando a mayores profundidades hasta que, en Diciembre y Febrero, encontramos una mezcla de las mismas con las aguas intermedias, siendo en este momento cuando dejan de detectarse las más profundas. A partir del mes de Marzo se inicia el proceso inverso que acaba de completarse con la estratificación estival. A medida que nos acercamos a la costa los aportes fluviales junto a la acción de los vientos cobran importancia al influir en la salinidad y por tanto en la distribución de aguas. De esta forma en el enclave previsto para las jaulas se detecta en los meses de Marzo y Mayo una salinidad inferior junto con cantidades de nutrientes altas impropias de aguas mediterráneas. El incremento que se aprecia en Abril, unido a altas densidades es consecuencia de los vientos que se registran en el citado mes.

3.1.4. Oxígeno disuelto

Los datos que aquí se relacionan han sido obtenidos a partir de los estudios hidrográficos del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona y del antes mencionado “Programa de Vigilancia y Control del Litoral Catalan”.

Las concentraciones de oxígeno encontradas, indican que este no actúa como factor limitante de la vida marina, si bien son un indicio de la productividad de las aguas al hallarse en concentraciones superiores al 100% de saturación (5,79 ml/l a 15 °C para el agua de mar) en la época primaveral.

Un análisis más detallado de los diferentes valores permite observar que durante el periodo de control la concentración de oxígeno se situó alrededor de los 7 ml/l, la cual cosa indica que la zona de ubicación de las jaulas es un medio oxigenado. Esta oxigenación se debe, por un lado, a los movimientos provocados por el oleaje que aceleran la mezcla y la difusión del oxígeno atmosférico en el agua. Por otro lado, la concentración de oxígeno está condicionada por los procesos biológicos de producción y consumo de oxígeno (fotosíntesis y respiración).

Se observa una cierta tendencia estacional de las concentraciones medias mensuales que son en general más bajas en los meses de verano, mientras que los valores máximos se detectan en la primavera. Este fenómeno de disminución veraniega está relacionado con la disminución de la actividad fotosintética, con el incremento de la actividad respiratoria de los organismos, con la disminución de la turbulencia en la superficie del agua y con el incremento de la temperatura. Los valores expresados en ml/l se exponen en las siguientes tabla y gráfica:

ALCANAR	PUNTO DE CONTROL DE MARJAL		
FECHA	Temperatura °C	O2 (mg/l)	O2 (%)
06/02/2007	12,5	8,76	104,2
22/05/2007	20,1	7,27	99,3
29/08/2007	25,5	7,42	111,2
20/11/2007	15,1	8,08	101,7
19/02/2008	13,0	8,38	99,9
20/05/2008	20,4	7,30	100,2
07/08/2008	28,3	6,43	100,7
18/11/2008	17,2	7,57	98,4
17/02/2009	12,8	8,44	99,4
26/05/2009	21,6	7,75	108,6
18/08/2009	28,4	6,46	99,2

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 2007-2009

ALCANAR	PUNTO DE CONTROL CAMP MITJA		
FECHA	Temperatura °C	O2 (mg/l)	O2 (%)
13/11/2007	17,1	7,71	99
29/02/2008	14,8	8,36	103
03/06/2008	21,5	8,27	113
17/07/2008	24,6	7,30	107
19/11/2008	15,6	7,91	99
19/02/2009	12,2	9,23	108
21/05/2009	20,6	8,19	112
20/07/2009	25,3	6,82	103

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 2007-2009

Al estudiar los datos de los dos puntos de control de la concentración de oxígeno y el % de saturación, se aprecia que en todos los casos ***el agua está saturada de oxígeno, incluso en los meses con temperaturas más altas.***

3.1.5. Turbidez del agua y materiales en suspensión

El contenido de sólidos en suspensión tiene en el área de cría, como prácticamente a lo largo de todo el litoral catalán, una clara tendencia estacional, y se observa un incremento considerable a finales del verano y en otoño. Este incremento puede asociarse a dos fenómenos básicos:

- Incremento del material aluvial proveniente del aumento del caudal del río.
- Incremento de los procesos físicos de mezcla en el mar, como consecuencia de la ruptura de la termoclina y temporales de otoño que tienen un efecto de resuspensión del material sedimentado en el fondo de la plataforma continental proximal.

El incremento de los sólidos en suspensión en el otoño parece indicar que las condiciones atmosféricas y oceanográficas determinan las condiciones de este parámetro.

De los resultados obtenidos se deduce que los aportes de sólidos en suspensión de origen antropogénico no tienen un efecto directo sobre las concentraciones en el agua de mar, ya que durante los meses de presión demográfica mayor (meses de verano), no se detecta un aumento cuantitativamente apreciable. No obstante, el incremento de materiales en suspensión en el otoño, probablemente incluye un porcentaje de material que se ha sedimentado durante el verano en los fondos costeros, y que durante esta estación vuelve al medio acuático mediante la resuspensión de parte del material.

3.1.6. Producción y fitoplancton

La extracción de los datos que se reflejan en este apartado se ha efectuado a partir de los propios datos de las Campañas Hidrográficas del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona.

El afloramiento de aguas profundas se caracteriza por la existencia de dos movimientos ascensionales de escasa importancia. El primero acostumbra a tener lugar a finales de otoño y el segundo, algo más importante, pero también de escasa entidad tiene lugar en el mes de Abril. Los vientos del tercer cuadrante tienen una gran importancia en este fenómeno de los afloramientos ya que son favorables al mismo. Por lo tanto no es de extrañar que en el mes de Abril se produzca, coincidiendo con el predominio de los vientos de este cuadrante, el afloramiento más importante de los dos.

Sin embargo, no podemos hablar, en líneas generales, de una auténtica subida de aguas profundas ricas en nutrientes y que puedan provocar una eutrofización de las aguas y por tanto una disminución del oxígeno. En caso de ser así habríamos detectado valores de salinidad más altos, mayor concentración de nutrientes y valores de oxígeno inferiores a los registrados. Las aguas que llegan a la superficie son, por tanto, de escasa profundidad.

En consecuencia pues y debido sobre todo a lo escaso de los afloramientos ricos en nutrientes, no cabe esperar ningún fenómeno que pueda provocar un exceso de producción y por tanto una eutrofización de las aguas próximas a la zona costera, y por consiguiente una disminución de su contenido en oxígeno que afecte al proceso de cría en la instalación.

El estudio de la secuencia de poblaciones planctónicas en el área de les Cases d'Alcanar, conviene seguir de cerca el desarrollo y proliferación de algunas especies de Dinoflagelados como *Goniodoma* y *Ceratium* que se dan en periodo estival y que en circunstancias extremas pueden producir toxinas perjudiciales (mareas rojas).

Por lo demás, la secuencia sigue las características típicas que se dan en esta área del Mediterráneo Occidental, con una proliferación otoñal de *Asterionella* y *Thalassiothrix*, una importante producción invernal de

Asterionella japonica, *Chaetoceros* y nanoplancton como consecuencia del afloramiento de finales de otoño, y las poblaciones primaverales de *Rhizolemia* y *Nitzschia*.

El valor habitual de la **Clorofila** en aguas costeras superficiales mediterráneas está por debajo de 0,5µg/l. En el caso del área de Les Cases d'Alcanar, entre los meses de enero y marzo, los valores de la clorofila aumentan por la proliferación fitoplanctónica que se da debido al afloramiento de aguas claras y fértiles del fondo, asociadas a la mezcla invernal. En estos casos la concentración de clorofila puede llegar a 3 mg/m³. Después, las concentraciones vuelven a sus valores normales de 0,2 a 0,4 mg/m³ de clorofila en verano, dónde la estratificación de las aguas y la aparición de la termoclina limitará las poblaciones más productivas. En otoño, cuando desaparece la termoclina hay una nueva proliferación relacionada con las aguas que han estado en contacto con los sedimentos.

ALCANAR	MARJAL
FECHA	Chla (µg/l)
06/02/2007	1,16
22/05/2007	1,40
29/08/2007	5,44
20/11/2007	1,67
19/02/2008	11,56
20/05/2008	0,61
07/08/2008	0,51
18/11/2008	1,04
17/02/2009	1,99
26/05/2009	1,40
18/08/2009	<i>sd</i>

ALCANAR	C.MITJA
FECHA	Chla (µg/l)
13/11/2007	3,50
29/02/2008	1,83
03/06/2008	17,22
17/07/2008	0,90
19/11/2008	0,60
19/02/2009	1,11
21/05/2009	1,51
20/07/2009	<i>sd</i>

Según *la Agencia Catalana del Agua* el estado de eutrofización de las aguas costeras se ha aproximado utilizando dos parámetros que se determinan en la red de control FITO que actualmente explota la Agencia Catalana del Agua: clorofila y proliferaciones de algas nocivas. La concentración de clorofila considerada (µg/l) ha sido la media de los valores correspondientes a dos ciclos anuales enteros (octubre de 2002-septiembre de 2003 y octubre de 2003-septiembre de 2004). Por lo que respecta a las proliferaciones de algas potencialmente tóxicas o nocivas (*blooms*), se han utilizado los datos sobre frecuencias de aparición de determinadas especies y cantidades. Para cada uno de los dos parámetros, se han distinguido cinco categorías de calidad.

Concentración de clorofila (µg/l)	Frecuencias de aparición de cantidades de especies potencialmente tóxicas o nocivas (%)	Calidad
< 1	<2	Muy buena
1 - 2	2 - 15	Buena
2 - 4	15 - 25	Moderada
4 - 6	25 - 70	Deficiente
6 >	> 70	Mala

Fuente: Agencia Catalana del Agua

Como vemos en las tablas anteriores, las aguas de les Cases d'Alcanar, presenta altas probabilidades de aparición de especies potencialmente toxicas, aunque los datos de concentración de clorofila son puntuales.

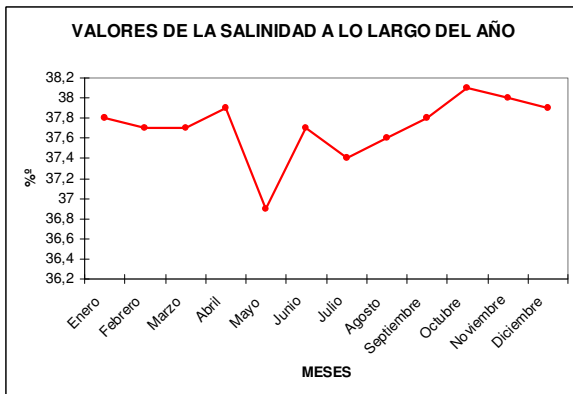
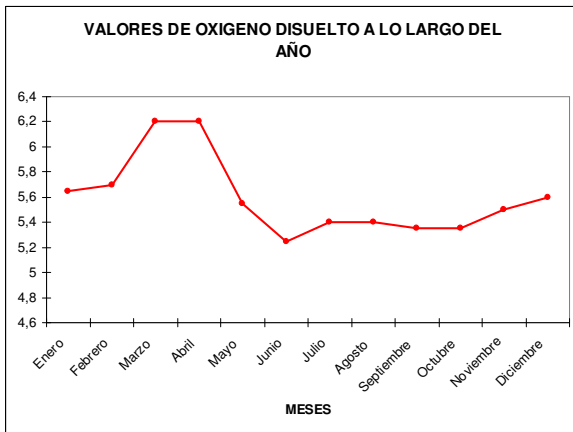
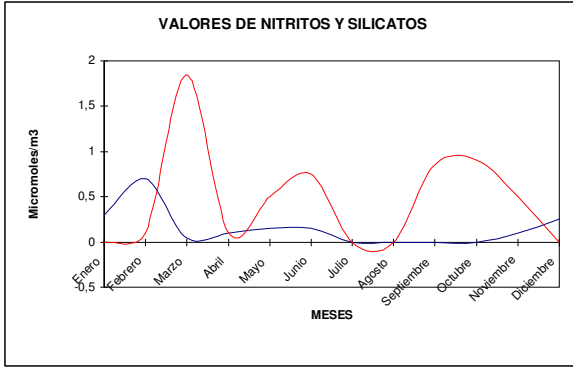
3.1.7. Zooplancton

El zooplancton de la zona costera de Les Cases d'Alcanar instal·lació acuícola, destaca por la presencia de meroplancton (naturaleza costera del mismo), en el que abundan numerosas formas larvárias de la mayor parte de animales bentónicos. Esta presencia de meroplancton está acompañada por representantes de los principales grupos holoplanctónicos (sifonóforos, copépodos, cladóceros, quetognatos, tunicados), que son también especies típicas del zooplancton costero.

El máximo poblacional en lo que se refiere a número de individuos y diversidad, se da a finales de la primavera y principios del verano, coincidiendo con la explosión del fitoplancton. En otoño se aprecia otro pequeño máximo ligado a los incrementos irregulares de fitoplancton por la acción de los temporales.

La comunidad zooplanctónica se estructura en tres fracciones: la autóctona y perenne, la temporal y la fracción alóctona (organismos aportados ocasionalmente al área de estudio por condiciones ambientales anómalas (corrientes y temporales).

El zooplancton perenne está constituido por especies comunes en el ámbito costero del Mediterráneo Occidental. El grupo de especies temporales está representado, fundamentalmente, por las larvas meroplanctónicas, las cuales surgen en primavera y otoño. El holoplancton también aporta especies de distribución temporal que deben su temporalidad principalmente a exigencias de tipo térmico. La fracción alóctona está constituida por organismos aportados ocasionalmente al área de estudio por condiciones ambientales anómalas (corrientes y temporales).



4.3. Fondo marino y bentos

El fondo marino donde está anclada la instalación de jaulas , está formado por arenas finas y muy finas, y una fracción de limos. La relación es de 70 % arenas y 30% limos.

Se encuentra una comunidad típica de *Turritella communis* y *Ditrupa arietina*, como especies preferentes. Las especies indicadoras acompañantes son: *Astropecten aurantiacus*, *Dentalium rubescens* y *Corbula gibbia*.

Por el conjunto de datos estudiado, el sustrato original es una expresión de Biocenosis de Fondo Blando Inestable. Se trata de una biocenosis con marcado carácter transitorio con poco equilibrio ecológico a causa del factor de estrés de la sedimentación. Es un ritmo sedimentario que rompe la película nutritiva superficial provocando la aparición de especies suspensívoras como *Corbula gibbia* y *Ditrupa arietina* y carnívoras como *Dentalium rubescens*.

La presencia de *Turritella communis*, especie que se alimenta de la película superficial, sigue los diferentes episodios de una sedimentación que se dan en la Bahía de Rosas y que se expresan por medio de una estructura poblacional de altos y bajos, propias de las estrategias de la r.

Precisamente, el desequilibrio del ritmo sedimentario, provocado entre otros motivos por las descargas fluviales del río Ebro, implican la destrucción comentada de la película alimentaría superficial, la cual cosa provoca la desaparición temporal de la fauna suspensívora como *Corbula*, *Dosinia* y *Ditrupa* . Los detritívoros como *Turritella* o *Aporrahis*, solo serán presentes cuando se restaure la referida película superficial.

Su inestabilidad acostumbra a ser tan grande que normalmente no da tiempo a que las especies pioneras sean substituidas por especies características, ya que nuevos episodios de sedimentación provocan un nuevo estado. (F. Pereira 1.995)

El lugar constituye el hábitat de un gran número peces, como Escachos, Arañas, Salmonetes, Pageles, Besugos y diferentes especies de peces planos.

4.5. Mareas y corrientes

La extracción de los datos que se reflejan en este apartado, se ha efectuado a partir de los datos de las Campañas Hidrográficas del Instituto de Ciencias de Mar de Barcelona y de los datos suministrados a los autores del Proyecto, por parte del Servicio Nacional de Meteorología.

En el área mediterránea las mareas son de poca importancia y por tanto sus efectos sobre la instalación pueden considerarse nulos.

En lo referente a la circulación general en la costa catalana, esta se concreta en una corriente dominante hacia el SW de una velocidad de transporte de unos **0.1 nudos y con máximos de 0.5 nudos** en algunos momentos del año.

Sin embargo, esta circulación general en ausencia de mareas importantes es claramente dependiente en el litoral de los parámetros climatológicos, especialmente de los vientos.

La estructura de la circulación a gran escala en el Mediterráneo Noroccidental (J. FONT, A. JULIA, J. ROVIRA, J. SALAT y J. SÁNCHEZ-PARDO 1987), es relativamente permanente debido a la distribución de las distintas masas de agua presentes en la región. Éstas se encuentran en equilibrio dinámico que genera una circulación termohalina ciclónica.

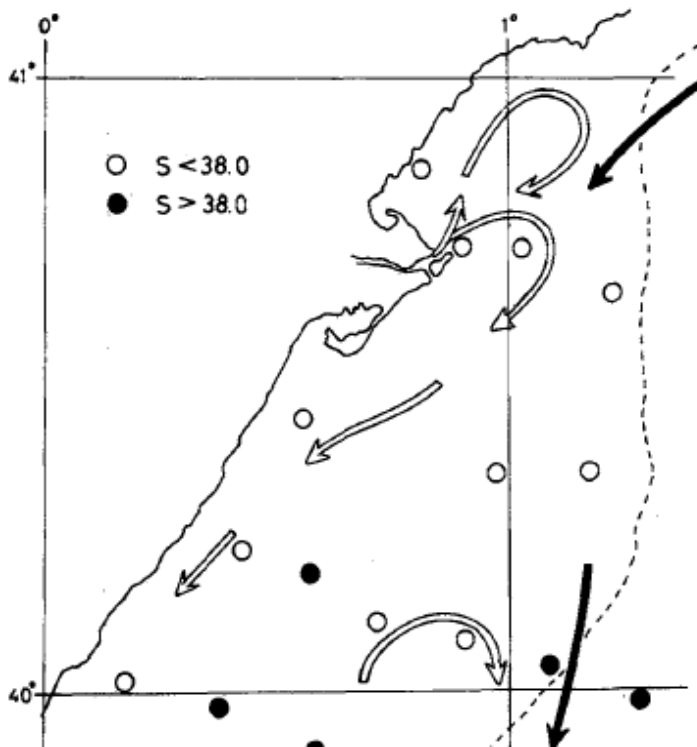
En la zona de la costa catalana esta circulación se concreta en una corriente dominante hacia el suroeste.

Una sección vertical transversal desde la costa peninsular hasta el centro del mar Catalán podemos distinguir tres zonas desde el punto de vista dinámico: sobre la plataforma continental la circulación general hacia el SW es fácilmente alterada por la influencia de los vientos locales y los efectos de las descargas continentales, dando esquemas de circulación altamente variables. A continuación hay una zona de frente donde la corriente es más definida, estable e intensa y con una trayectoria ligada a la topografía (talud continental). Por último, en la parte central los gradientes de densidad son mucho menos significativos y consecuentemente la circulación es débil (Font *et al.*, 1987).

Las características geográficas de la zona próxima al delta del Ebro hacen que allí la situación sea más compleja y se produzca una fuerte interacción entre la circulación de la plataforma y la corriente ligada al frente.

Como resultado de los correspondientes análisis hidrográficos de las campañas se han podido identificar las características de las diferentes masas de agua. El primer hecho destacable es la aparición sobre la plataforma continental, al NE y E del delta, de aguas más frías y saladas que las de su entorno. En superficie la situación es aparentemente poco clara, ya que precisamente en dirección al **NE** desembocan las aguas del Ebro, dulces pero también más frías que las de la capa superficial del mar. Pero a medida que se analizan niveles más profundos vemos que la mancha del mínimo de salinidad (debida al río) y la del de temperatura no coincide. Por debajo de los cuarenta metros en las inmediaciones del delta ya no hay ninguna influencia de las aguas fluviales que, al ser más ligeras, permanecen cerca de la superficie sin haberse mezclado con las circundantes. Al E del delta aparece claramente una mancha de agua densa, fría y salada, que hacia niveles más profundos va tomando la forma de una lengua procedente del NE. Este hecho, que se ha observado repetidamente, indica un afloramiento, sobre la plataforma, de aguas que por su densidad les corresponde estar a mucha más profundidad

El agua del Ebro, debido a la forma de la desembocadura, inicialmente fluye hacia el NE, pero pronto encuentra a su paso la corriente contraria que la desvía hacia el E y seguidamente hacia el S. Esta confrontación de flujos activa la mezcla y favorece la aparición de bolsas de agua poco salada rodeadas de agua más salada. Los datos de la campaña EBROMS 9, en el golfo de Valencia, muestran como el agua de origen continental se va degradando rápidamente hacia el sur al tiempo que queda confinada hacia la costa. Pero la situación dinámica es más compleja. A lo largo del talud, y rompiendo la estructura simple del frente superficial, aparecen filamentos o lentes de agua desgajada de la plataforma.



Esquema interpretativo de la circulación sobre la plataforma del Ebro a partir de los datos presentados en el trabajo de J. FONT, A. JULIA, J. ROVIRA, J. SALAT y J. SÁNCHEZ-PARDO 1987.

4.6. Régimen de Vientos

Debido a la relación que existe entre el régimen de vientos y las corrientes superficiales, así como la posibilidad de que se produzcan movimientos de turbulencia a causa de unos vientos favorables en las aguas litorales, hemos considerado conveniente realizar un análisis concienzudo de los datos al respecto, procedentes del análisis estadístico de los vientos en la zona próxima a l'Ampolla, a lo largo de 4 años por el Servei de meteorologia de Catalunya. Las tablas suministradas se exponen en las páginas siguientes.

También se han valorado los datos de Puertos del Estado, en el punto WANA mas al este de la localización de la instalación.

Por su situación geográfica y orográfica permite extrapolar los resultados a la zona de ubicación de la instalación de jaulas. Se ha evaluado la intensidad de los vientos en nudos y se ha calculado el tiempo de duración de los pulsos de viento referidos a cada uno de los cuadrantes. Los resultados de la gráficas vienen dados en m/s recorridas en cada una de las 8 direcciones escogidas correspondientes a los cuatro cuadrantes.

Se observa que durante los años estudiados, los vientos son del **cuarto cuadrante** y algo del primer cuadrante, dominando los del NW.

Como se ha explicado anteriormente, aparece un sentido muy marcado de corriente de deriva, en la dirección S-SE que llegan a frenar la corriente de la desembocadura del río. Aparece una intensidad baja, ya que en la mayoría de observaciones el transporte que originan, se sitúa alrededor de los 0.2 nudos como se hacia constar con anterioridad.

4.7. Estudio del régimen de oleaje

Al respecto de este apartado hay que hacer constar que por las características de la instalación, ubicada a mar abierto, el estudio del régimen de oleaje es de gran importancia tanto para su dimensionamiento, como para el diseño del plan de mantenimiento y control. Los datos de que se disponen para la zona del emplazamiento de la instalación corresponden a los datos del punto **WANA 20553044** de la red de medidas de Puertos del Estado.

Analizando las gráficas, se observa que durante los meses de febrero-marzo y noviembre-diciembre, se dan las olas mas altas, aunque puntuales se registran alturas significante de ola (Hs) de hasta 3,6m.

Todos os años la probabilidad de altura de ola mas alta esta entre los 0,5 y 1 metros de altura.

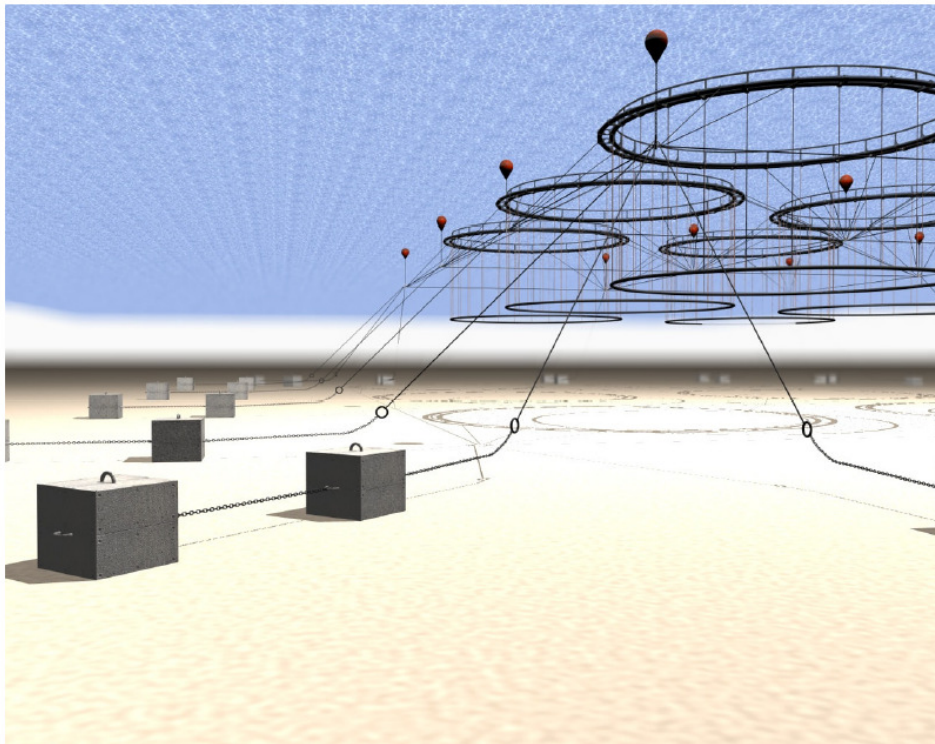
Tras analizar estas tablas, tenemos que señalar que en algunos años se han registrado periodos de pico de ola Tp, superiores a los 9 segundos.

Las rosas de oleaje nos muestran, como la dirección dominante de las olas todos los años se encuentra entre el Sur, el Este y el Sur –Este. Este dato coincide con lo que se observa en las gráficas de dirección del viento dominante, del NW.

4. Jaulas

Jaulas de 22 metros de diámetros, y 7 metros de profundidad.

La profundidad media de la ubicación del polígono de la concesión es de 11,5 metros.



5. ESTUDIO DE INCIDENCIA AMBIENTAL

5.1. Análisis del posible efecto sobre el bentos y sobre la calidad de las aguas.

En la fase de explotación, los residuos que afectan al medio marino, en su mayor cuantía son los provenientes de los restos de alimento y de las heces de los peces.

La acumulación en el fondo marino de restos de alimento y heces supone un aumento de materia orgánica y nutriente. Entre éstos hay que tener en cuenta el fósforo y nitrógeno, ya que son limitantes de la producción primaria en el medio marino. También las aguas circundantes a la instalación, como la columna existente debajo de las jaulas se ven influidas por el aumento de estos nutrientes.

La composición del pienso varía según su fabricación, oscilando las proteínas entre el 40-60%, las grasas entre el 10-26%, los carbohidratos entre el 9-15%, cenizas 10-15% y fibra 1-3%.

En el programa de producción de AQUICULTURA ELS ALFACS, aparece un máximo de biomasa presente en las jaulas de 1000.014 Kg de dorada Y lubina , consideramos el dato como punto de partida, para calcular la cantidad de kilos de fósforo y nitrógeno, que se liberan al medio, atendiendo al consumo de pienso.

Partimos del dato suministrado por la empresa, de la cantidad de Kg de pienso suministrados para producir la biomasa de dorada. La cantidad es de 202.8000 Kg de pienso, que corresponden a un índice de conversión cercano a 2.

CÁLCULO DE LA DESCARGA CON LA TEORÍA DEL BALANCE DE MASAS

Descripción de la comida	Comida 1		Comida 2		Comida 3	
	Arranque1.9	digestibilidad	Engorde 3	digestibilidad	Engorde 4.5	digestibilidad
Proteínas	54,00%	92%	47,00%	90%	44,00%	90%
Lípidos	18,00%	92%	22,00%	92%	24,00%	92%
NFE	10,90%	40%	15,80%	40%	14,90%	40%
Fibras	1,60%	0%	2,00%	0%	2,40%	0%
Cenizas	8,50%	50%	7,20%	50%	7,20%	50%
Fósforo	1,40%	60%	1,00%	60%	1,00%	60%
Humedad	8,60%		8,00%		9,90%	
Índice conversión	0,8		1,1		1,5	
Perdida comida	1%		2%		2%	

Descripción de los peces	5 g	50 g	1000 g
contenido proteínas	14,00%	16,00%	17,00%
Contenido Nitrógeno (g/kg)	22,4	25,6	27,2
Contenido Fósforo	7,00	7,00	7,00

**PIENSO TOTAL, CICLO COMPLETO DE ENGORDE DORADA Y LUBINA :
 202.8000 Kg**

DESCARGA POR Kg DE COMIDA		Arranque1.9	Engorde 3	Engorde 4.5
Materia en suspensión (g)		3600	47798	407658
Descarga total de Nitrógeno (g)		996,7	10912,1	94778,3
Nitrógeno sólido en heces (g)		146,9	1848,2	14960,1
Nitrógeno soluble excretado (g)		849,8	9064,0	79818,1
Amonio NH4+ (g)		874,0	9322,9	82098,7
Fósforo total P (g)		148,9	1192,1	9772,7
Fósforo sólido P (g)		105,7	816,4	7059,4
Fósforo soluble P (g)		40,6	334,0	2353,1
PO4- (g)		124,3	1023,5	7211,2

	Arranque1.9	Engorde 3	Engorde 4.5
Alimento distribuido (kg)	19063,20	208275,60	1800864,00
% alimento no consumido	1,00%	2,00%	2,00%
Mat. seca no consumida (kg)	174,24	3832,27	32451,57
Alimento ingerido (kg)	18872,57	204110,09	1764846,72
Proteínas no digestibles (kg)	815,29	9593,17	77653,26
Lípidos no digestibles (kg)	271,76	3592,34	33885,06
Glúcidos no digestibles (kg)	1234,27	19349,64	157777,30
Fibras no digestibles (kg)	301,96	4082,20	42356,32
Cenizas no digestibles (kg)	802,08	7347,96	63534,48
Total materias no digestibles (kg)	3425,37	43965,31	375206,41
Total materias en suspensión (kg)	3599,61	47797,58	407657,98

		Arranque 1.9	Engorde 3	Engorde 4.5
Alimento distribuido (kg)		19.063,20	208.275,60	1.800.864,00
Índice de conversión		0,65	1,10	1,50
% alimento no consumido		0,01	0,02	0,02
Alimento no consumido (kg)		190,63	4.165,51	36.017,28
Proteínas distribuidas (kg)		10.294,13	97.889,53	792.380,16
Proteínas no consumidas		102,94	1.957,79	15.847,60
Proteínas consumidas		10.191,19	95.931,74	776.532,56
Proteínas digeridas		9.375,89	86.338,57	698.879,30
Proteínas fecales		918,24	11.550,96	93.500,86
Nitrógeno fecal		146,92	1.848,15	14.960,14
Proteínas retenidas		4.064,86	29.688,74	200.015,96
Proteínas excretadas		5.311,03	56.649,83	498.863,34
Nitrógeno excretado		849,76	9.063,97	79.818,13
Nitrógeno amoniacal		679,81	7.251,18	63.854,51
Amoniaco NH4+		874,04	9.322,94	82.098,65
Nitrógeno total lanzado		996,68	10.912,13	94.778,27

		Arranque 1.9	Engorde 68 3	Engorde 4.5
Alimento distribuido (kg)		19.063,20	208.275,60	1.800.864,00
Índice de conversión		0,80	1,10	1,50
% alimento no consumido		0,01	0,02	0,02
Alimento no consumido (kg)		190,63	4.165,51	36.017,28
Fósforo distribuido (kg)		266,88	2.082,76	18.008,64
P no consumido		2,67	41,66	360,17
P ingerido		264,22	2.041,10	17.648,47
P digerido		158,53	1.224,66	10.589,08
P retenido		117,95	890,66	8.235,95
P excretado soluble		40,58	334,00	2.353,13
P04 excretado soluble		124,35	1.023,54	7.211,20
P particulado		105,69	816,44	7.059,39
P total lanzado		148,93	1.192,09	9.772,69

De los resultados del apartado anterior, nos aparecen las siguientes tablas:

JAULAS	DESCARGAS POR CICLO COMPLETO	
	NITROGENO (kg)	FOSFORO (kg)
25	106.687,08	11.113,71

Determinación de la lágrima de dilución:

Hemos calculado la distancia de dispersión del alimento no ingerido (D1) y de los excrementos producidos por los peces (D2). Ambas distancias nos determinan el área o pluma de influencia de la actividad piscícola sobre el fondo marino.

La distancia de dispersión del alimento ingerido está determinada por el tiempo que tarda este al llegar al fondo, tiempo que viene dado por la tasa de sedimentación del alimento (s_1) a través de una profundidad (z) y que se representa mediante la expresión matemática: $td_1 = z/s_1$, durante este tiempo, una corriente de velocidad v desplazará las partículas horizontalmente una distancia $XD_1 = V_1/t = Vz/s_1$, desde la jaula (X_s).

Teniendo en cuenta la tasa de sedimentación de los pelets de alimento no ingerido por los peces, que según Gowen & Bardbury (1987) es de 0,12 m/s; los valores mínimos (0.1 m/s) y máximos (0.5 m/s) de la corriente a lo largo de año en la zona estudiada y la profundidad media en su lugar de implantación (11,5m), se ha procedido a calcular la distancia de dispersión:

Velocidad de corriente (V) x Profundidad
(z)

Distancia de dispersión (D1)= _____

Tasa de sedimentación del alimento (s)

D1 (V min) =9,6m

D1 (V max)=47,9m

Distancia media = 28,8 m Dirección 135-180°

En relación a la distancia de dispersión de los excrementos generados por los peces (D_2) está determinada por el tiempo que tarda este al llegar al fondo, tiempo que viene dado por la tasa de sedimentación de los excrementos (s_2) a través de una profundidad (z) y que se representa mediante la expresión matemática $t_{d2} = z/s_2$; durante este tiempo, una corriente de velocidad V desplazará las partículas horizontalmente una distancia $X D_2 = V t_{d2} = vz/s_2$ desde la jaula (X_s). La tasa de sedimentación de los pelets fecales es de 0.10 m/s (Gowen & Bardbury, 1987), el resto de datos son similares a los del cálculo anterior.

(z) Velocidad de corriente (V) x Profundidad

Distancia de dispersión (D_2)= _____

(s) Tasa de sedimentación los excrementos

$D_2 (V \text{ min}) = 11,5 \text{ m}$
 $D_2 (V \text{ max}) = 57,5 \text{ m}$
Distancia media = 34,5 m

Los resultados muestran como la influencia de los excrementos o pelets fecales, es mayor que los restos de alimento no ingerido. Este hecho está determinado por su medida mas pequeña, una densidad menor y por su tasa de sedimentación mas baja, lo que hace que la corriente los pueda desplazar mucho más lejos que el alimento no ingerido.

Así pues debemos considerar que la lágrima de dilución podría llegar a 34,5 metros en dirección SW desde donde acaban las jaulas.

En este apartado debemos hacer constar que a 34,5 metros de la instalación, no se encuentran comunidades de fanerógamas marinas, ni lugares de reclutamiento defino de alguna especie piscícola.

VARIABLES ABIÓTICAS

Columna de agua

Los resultados de los análisis efectuados por la Agencia Catalana del agua, revelan que las condiciones fisicoquímicas de la columna de agua, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez, y ph entre otros, se encuentran dentro de los valores normales del litoral Catalán.

Sedimento

El fondo marino de la zona donde está ubicada la instalación de jaulas flotantes, es un fondo compuesto por arena muy fina y limos. Se encuentra una comunidad típica de *Turritella communis* y *Ditrupa arietina*, como especies preferentes. Las especies indicadoras acompañantes son: *Astropecten aurantiacus*, *Dentalium rubescens* y *Corbula gibbia*.

Por el conjunto de datos estudiado, el sustrato original es una expresión de Biocenosis de Fondo Blando Inestable. Se trata de una biocenosis con marcado carácter transitorio con poco equilibrio ecológico a causa del factor de estrés de la sedimentación. Es un ritmo sedimentario que rompe la película nutritiva superficial provocando la aparición de especies suspensívoras como *Corbula gibbia* y *Ditrupa arietina* y carnívoras como *Dentalium rubescens*.

La presencia de *Turritella communis*, especie que se alimenta de la película superficial, sigue los diferentes episodios de una sedimentación que se dan en la zona y que se expresan por medio de una estructura poblacional de altos y bajos, propias de las estrategias de la r.

Precisamente, el desequilibrio del ritmo sedimentario, provocado entre otros motivos por las descargas fluviales del río Ebro, implican la destrucción comentada de la película alimentaría superficial, la cual cosa provoca la desaparición temporal de la fauna suspensívora como *Corbula*, *Dosinia* y *Ditrupa*. Los detritívoros como *Turritella* o *Aporrhais*, solo serán presentes cuando se restaure la referida película superficial.

Su inestabilidad acostumbra a ser tan grande que normalmente no da tiempo a que las especies pioneras sean substituidas por especies

VARIBLES BIÓTICAS

En este caso el inventario de especies frecuentes en la zona como cupleiformes, escombriformes, carangiformes, perciformes y pleuronectiformes se verá favorecido por el aumento de la aportación de materia orgánica al medio circundante a las jaulas. De la misma manera ocurrirá con los moluscos, poliquetos, crustáceos y equinodermos, pues encontrarán estructuras para su fijación o apoyo en el polígono de jaulas.

La acción más agresiva de las operaciones que se llevan a cabo en la granja es la administración de pienso. La minimización del impacto negativo se logrará mediante un riguroso control en la administración del racionamiento diario, procurando que la pérdida de alimento sea lo más baja posible.

CRIPESA S.L.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN EXISTENTE.

3.1. Parámetros referentes a la calidad del litoral

3.1.1. Características químicas del agua y microbiología

Hemos tomado como referencia básica los datos del **“Programa de Vigilància i Control de Qualitat Ambiental de les Aigües del Litoral Català”**, con valores de las campañas de 1994-1999 y otros de los años 2007 a 2009, que lleva a cabo l’Agència Catalana de l’Aigua y el instituto de Ciencias del Mar de Barcelona. Los datos analizados corresponden a los puntos de muestreo cercanos a la Ametlla de Mar (Tarragona) y hay que considerarlos como significativos del lugar de emplazamiento de la instalación. Los datos de los años 2007 a 2009 corresponden al punto de **muestreo del Campo medio; Cap de Santes Creus; UTMX 314531 , UTMY 4525679.**

Respecto a los datos del programa del 2007 al 2009 de l'Agència Catalana de l'Aigua , este Programa tiene por objeto el seguimiento de las condiciones tróficas de las aguas litorales y funciona durante todo año. A tal efecto, se realizan medidas in situ y se toman muestras del agua de mar superficial, a lo largo de todo el litoral catalán tanto desde la línea de costa (con una frecuencia mensual o trimestral dependiente del caso), como en puntos alejados de la costa a unos 1500m (campo mediano) y unos 5000m (campo lejano). Estos controles se enmarcan en los seguimientos para el cumplimiento de la Directiva marco del agua 2000/60/CE.

Parámetros físico-químicos:

Los parámetros que aquí se analizan son: el ph, fósforo total, los fosfatos, el nitrógeno total, los nitratos, los nitritos, el amoníaco, la DBO5, los detergentes, los fenoles y los cianuros. Los valores hallados se expresan en la siguiente tabla.

parámetros	valores obtenidos			lim.máx.
	media	máx.	min.	
ph	8,12	8,56	6,83	9
fósforo total (mg/l)	-	-	-	-
fosfatos (microg-at/l)	0,25	0,76	0,01	5 mg/l
nitrógeno orgánico (micro.g/l)	-	-	-	
nitratos (microg-at/l)	4.26	46.8	0.05	50 mg/l
nitritos (micro.g-at/l)	0 .2	0.7	0.01	100 mg/l
amoníaco (microg-at/l)	1.06	3.37	0.13	
DBO5 (mg O2/l)	1.28	3.86	0.026	3 mg/l
detergentes (mg/l)	-	-	-	0,2
fenoles (mg/l)	-	-	-	0,0005
cianuros (mg/l)	-	-	-	0,005

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 1.994-1.99

Las sales nutritivas consideradas (nitritos, nitratos y fosfatos), indicadores de posible riesgo de eutrofización de las aguas, se presentan en concentraciones escasamente apreciables en las diferentes estaciones del año. Estos nutrientes, en especial los nitritos i nitratos, experimentan un ligero incremento durante la actuación de los temporales (primavera y otoño, principalmente), cuando son resuspendidos desde el fondo por estos.

Municipio	Punto de control	Tipus						
Fecha	Salinidad (psu)	pH	DBO ₅	NO ₃ (µmol/l)	NO ₂ (µmol/l)	NH ₄ (µmol/l)	PO ₄ (µmol/l)	SiO ₄ (µmol/l)
l'Ametlla de Mar	cap de Santes Creus	Camp mitjà						
13/11/2007	37,8	-	-	0,85	0,04	1,08	0,08	0,39
29/02/2008	36,1	-	-	25,61	0,32	0,25	0,12	1,53
28/05/2008	30,1	-	-	26,77	1,40	0,05	0,20	8,85
16/07/2008	37,7	-	-	0,05	0,04	0,86	0,07	0,63
19/11/2008	37,9	-	-	0,53	0,08	0,36	0,04	0,33
19/02/2009	38,1	-	-	1,49	0,16	0,12	0,10	2,02
20/05/2009	34,6	-	-	7,95	0,15	0,56	0,05	3,49
20/07/2009	37,2	-	-	0,07	0,02	0,09	0,04	1,88
18/11/2009	37,5	-	-	2,32	0,07	0,23	0,04	2,29

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 2007-2009

Análisis de metales pesados:

Los metales que se deben analizar son: el arsénico, el cadmio, el mercurio, el cromo hexavalente y el plomo. La tabla siguiente recoge los valores de algunos de estos, así como los máximos permitidos por la legislación.

parámetros	valores obtenidos			lim.máx.
	media	máx.	min.	
arsénico (mg/l)				50 (µg/l)
cadmio (mg/l)	<0.001	<0.003	<0.0005	5 (µg/l)
mercurio (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.0005	1 (µg/l)
cromo VI (mg/l)				50 (µg/l)
plomo (mg/l)				50 (µg/l)

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 1.994-1.999

- Contaminantes orgánicos:

Se da la misma situación que en el caso anterior. Los compuestos orgánicos que se deben analizar en el futuro son los compuestos volátiles, los pesticidas organoclorados y PCB's, los pesticidas organofosforados y los hidrocarburos aromáticos policíclicos:

parámetros	concentración . observada	lim.máx.
volátiles (µg/l)		
cloroformo	<0.1	12
tetracloruro carbono	<0.1	12
tetracloroetileno	<0.1	-
hexaclorobutadieno	<0.07	-
benzeno		-
tolueno		-
xileno	.	-
isopropilbenzeno	.	-

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 1.994-1.999

parámetros	concentración observada	lim.máx.
pesticidas organoclorados y PCB's (ng/l)		
hexaclorobenzeno	<0.2	30
lindane	4.5	20
aldrina	<0.2	30
dieldrina	<0.2	30
PCB's		500
isodrina	<0.2	-
endrina	<1	-
P,P'-DDT	<1	-.
pentaclorofenol µg/l	< 0.05	
pesticidas organofosforados		-
hidrocarburos aromáticos policíclicos (ng/l)		200

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 1.994-1.999

- Análisis de bioindicadores de contaminación:

Los parámetros que se han analizado son: los coliformes totales, los coliformes fecales, los estreptococos fecales y Escherichia coli

Para el estudio de la calidad microbiológica de las aguas, se han recogido las analíticas de l'Agencia Catalana de l'Aigua

La microbiología de las playas cercanas a la Ametlla de Mar, se exponen a continuación. Estos datos nos darán una idea de la concentración de bacterias fecales, que en condiciones muy desfavorables, dada la distancia de la costa a la que se halla la instalación de las jaulas flotantes pueden llegar a la zona de cultivo y viceversa.

Los resultados de los análisis se exponen en la página siguiente:

	Coliformes totales	Coliformes fecales	Enterococos intestinales
AÑO 2007 Fecha	(ufc/100 ml)	(ufc/100 ml)	(ufc/100 ml)
PUNTO DE MUESTREO:MIG PLATJA			
26/05/2007	NA	0	0
02/06/2007	NA	29	0
09/06/2007	NA	7	0
16/06/2007	NA	0	2
23/06/2007	NA	10	0
30/06/2007	NA	0	2
07/07/2007	NA	8	13
14/07/2007	NA	13	30
21/07/2007	NA	0	48
28/07/2007	NA	0	35
04/08/2007	NA	185	17
11/08/2007	NA	34	40
18/08/2007	NA	391	23
25/08/2007	NA	51	63
01/09/2007	NA	3	5
08/09/2007	NA	2	8
15/09/2007	NA	3	7

AÑO 2008 Fecha	Enterococos intestinales	<i>Escherichia coli</i>
	(ufc/100 ml)	(ufc/100 ml)
PUNTO DE MUESTREO:MIG PLATJA		
31/05/2008	2	2
07/06/2008	2	2
14/06/2008	2	3
21/06/2008	3	21
28/06/2008	2	2
05/07/2008	15	21
12/07/2008	10	15
19/07/2008	8	39
29/07/2008	15	38
02/08/2008	2	8
09/08/2008	7	2
16/08/2008	2	8
23/08/2008	5	8
30/08/2008	5	7
06/09/2008	2	2
13/09/2008	2	2
20/09/2008	7	20

AÑO 2009 Fecha	Enterococos intestinales	<i>Escherichia coli</i>
	(ufc/100 ml)	(ufc/100 ml)
PUNTO DE MUESTREO:MIG PLATJA		
30/05/2009	2	2
06/06/2009	3	12
13/06/2009	7	5
20/06/2009	13	13
27/06/2009	12	2
04/07/2009	8	10
11/07/2009	12	2
18/07/2009	13	8
25/07/2009	40	10
01/08/2009	12	17
08/08/2009	3	7
15/08/2009	13	18
22/08/2009	13	22
29/08/2009	2	2
05/09/2009	13	3
12/09/2009	3	2
19/09/2009	2	2

AÑO 2010 Fecha	Enterococos intestinales	<i>Escherichia coli</i>
	(ufc/100 ml)	(ufc/100 ml)
PUNTO DE MUESTREO:MIG PLATJA		
29/05/2010	2	2
05/06/2010	10	2
12/06/2010	13	2
19/06/2010	3	2
26/06/2010	2	2
03/07/2010	10	10
10/07/2010	98	3
17/07/2010	15	8
24/07/2010	8	70
31/07/2010	13	20

Algún resultado de la analítica microbiológica en las playas del punto de muestreo de las aguas de La Ametlla de Mar, no encontramos valores superiores a los apuntados en la legislación.

3.1.2 Temperatura

Los datos referentes a la distribución de temperaturas del agua del mar de la zona del emplazamiento de las jaulas, han sido obtenidos tomando como bases diversas fuentes entre las que cabe mencionar los estudios del "Programa de Vigilancia y Control de la Calidad del Litoral Catalán", muestreos de temperatura de otros proyectos y datos recogidos "in situ" por los propios técnicos de la instalación.

Los diferentes estudios realizados, y los correspondientes datos recogidos indican que el mes de Febrero se caracteriza por una homogeneidad térmica de superficie a fondo. A partir del mes de Abril, al iniciarse el aumento de la temperatura de las aguas superficiales, aparece la termoclina que, en Mayo, se halla situada entre 10 y 20 metros de profundidad, manteniéndose por debajo de las mismas temperaturas próximas a los 13 °C. Más tarde, hacia el mes de Junio, la localizamos entre 20 y 30 metros, en tanto que, a finales de Julio y principios de Agosto, sufre una ascensión encontrándose de nuevo entre 10 y 20 metros. Posteriormente profundiza de nuevo, llegando a desaparecer en otoño.

Las temperaturas superficiales en los meses de verano se acercan a los 25 °C en los meses de Agosto y Septiembre, mientras que en invierno, se hallan temperaturas muy homogéneas comprendidas entre los 13 y 14 °C en todos los niveles.

Punto de control	Tipo	Fecha	Temp °C
cap de Santes Creus (DMA)	Camp mitjà	13/11/2007	18,5
cap de Santes Creus (DMA)	Camp mitjà	29/02/2008	14,3
cap de Santes Creus (DMA)	Camp mitjà	28/05/2008	19,5
cap de Santes Creus (DMA)	Camp mitjà	16/07/2008	24,4
cap de Santes Creus (DMA)	Camp mitjà	19/11/2008	17,3
cap de Santes Creus (DMA)	Camp mitjà	19/02/2009	12,6
cap de Santes Creus (DMA)	Camp mitjà	20/05/2009	20,4
cap de Santes Creus (DMA)	Camp mitjà	20/07/2009	24,8
cap de Santes Creus (DMA)	Camp mitjà	18/11/2009	17,2

Programa de Vigilancia y Control de la Calidad Ambiental de las aguas del Litoral Catalán 2007-2009

Las temperaturas registradas por la Agencia Catalana de l'aigua , no presentan desviaciones de las temperaturas típicas en estas aguas.

3.1.3. Oxígeno disuelto

Los datos que aquí se relacionan han sido obtenidos a partir de los estudios hidrográficos del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona y del antes mencionado “Programa de Vigilancia y Control del Litoral Catalan”.

Las concentraciones de oxígeno encontradas, indican que este no actúa como factor limitante de la vida marina, si bien son un indicio de la productividad de las aguas al hallarse en concentraciones superiores al 100% de saturación (5,79 ml/l a 15 °C para el agua de mar) en la época primaveral.

Un análisis más detallado de los diferentes valores permite observar que durante el periodo de control la concentración de oxígeno se situó alrededor de los 5,75-6 ml/l, la cual cosa indica que la zona de ubicación de las jaulas es un medio oxigenado. Esta oxigenación se debe, por un lado, a los movimientos provocados por el oleaje que aceleran la mezcla y la difusión del oxígeno atmosférico en el agua. Por otro lado, la concentración de oxígeno está condicionada por los procesos biológicos de producción y consumo de oxígeno (fotosíntesis y respiración).

Se observa una cierta tendencia estacional de las concentraciones medias mensuales que son en general más bajas en los meses de verano, mientras que los valores máximos se detectan en la primavera. Este fenómeno de disminución veraniega está relacionado con la disminución de la actividad fotosintética, con el incremento de la actividad respiratoria de los organismos, con la disminución de la turbulencia en la superficie del agua y con el incremento de la temperatura. Los valores expresados en ml/l se exponen en las siguientes tabla y gráfica:

oxígeno disuelto (ml/l)

valor medio anual	5,84
valor max. anual	6.57
valor min. anual	5,33

FECHA	O2 (mg/l)	O2 (%)
Camp mitjà	Santes Creus	
13/11/2007	7,35	98,30
29/02/2008	8,28	101,04
28/05/2008	8,55	111,20
16/07/2008	7,02	104,11
19/11/2008	7,43	97,23
19/02/2009	8,20	97,88
20/05/2009	8,40	114,26
20/07/2009	6,84	101,96
18/11/2009	7,73	100,73

Agencia Catalana de l'aigua 2007-2009

Los valores de oxígeno no han sufrido una variación negativa durante los años de engorde de Dorada en CRIPESA.

3.1.4. Producción y fitoplancton

Ídem a lo explicado en AQUICULTURA ELS ALFACS

FECHA	Chla (µg/l)
Camp mitjà	Santes Creus
13/11/2007	0,17
29/02/2008	2,37
28/05/2008	<i>sd</i>
16/07/2008	0,14
19/11/2008	0,27
19/02/2009	0,35
20/05/2009	2,06
20/07/2009	0,78
18/11/2009	0,75

Según la Agencia Catalana de l'Aigua, cuando la concentración de Clorofila (µg/l) es inferior a 1, la calidad del agua esta catalogada como **muy buena**, en relación a la aparición de especies potencialmente tóxicas.

Como vemos en la tabla anterior las aguas la Armella de Mar se pueden catalogar como **muy buenas**.

Aquí también vemos que el engorde de doradas durante estos años no ha tenido una influencia negativa, en cuanto al incremento del potencial de proliferación de algas.

3.1.5. Mareas y corrientes

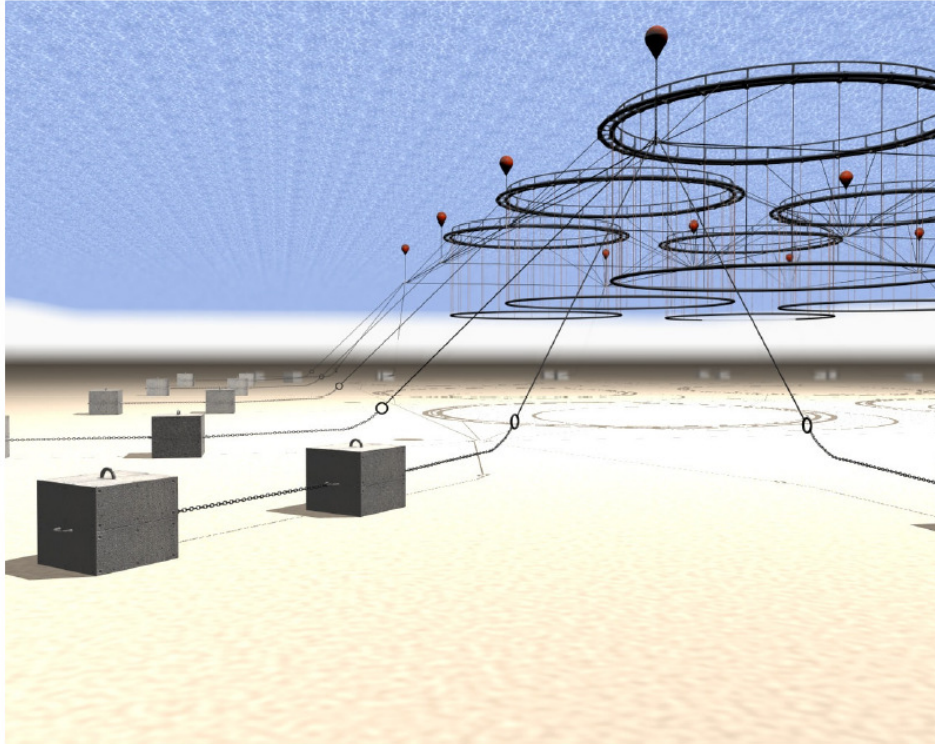
Ídem a lo explicado en AQUICULTURA ELS ALFACS

en la instalación de CRIPESA, aparecen dos corrientes claramente dominantes a lo largo del año, una hacia el SW y otra hacia el NE. La dinámica explicada, seguramente crea una lágrima de dilución que adquiere forma de cono, al tomar la corriente al NE, cambio de dirección paulatino.

4. Jaulas

Jaulas de 22 ,metros de diámetro por 10 de fondo de red.

La profundidad media de la ubicación del polígono de la concesión es de 15 metros.



5. ESTUDIO DE INCIDENCIA AMBIENTAL

5.1. Análisis del posible efecto sobre el bentos y sobre la calidad de las aguas.

En el programa de producción de CRIPESA, aparece un máximo de biomasa presente en las jaulas de 925.000 Kg de dorada, consideramos el dato como punto de partida, para calcular la cantidad de kilos de fósforo y nitrógeno, que se liberan al medio, atendiendo al consumo de pienso.

Partimos del dato suministrado por la empresa, de la cantidad de Kg de pienso suministrados para producir la biomasa de dorada. La cantidad es de 185.0185 Kg de pienso, que corresponden a un índice de conversión cercano a 2.

CÁLCULO DE LA DESCARGA CON LA TEORÍA DEL BALANCE DE MASAS

Descripción de la comida	Comida 1		Comida 2		Comida 3	
	Arranque1.9	digestibilidad	Engorde 3	digestibilidad	Engorde 4.5	digestibilidad
Proteínas	54,00%	92%	47,00%	90%	44,00%	90%
Lípidos	18,00%	92%	22,00%	92%	24,00%	92%
NFE	10,90%	40%	15,80%	40%	14,90%	40%
Fibras	1,60%	0%	2,00%	0%	2,40%	0%
Cenizas	8,50%	50%	7,20%	50%	7,20%	50%
Fósforo	1,40%	60%	1,00%	60%	1,00%	60%
Humedad	8,60%		8,00%		9,90%	
Índice conversión	0,8		1,1		1,5	
Perdida comida	1%		2%		2%	

Descripción de los peces	5 g	50 g	1000 g
contenido proteínas	14,00%	16,00%	17,00%
Contenido Nitrógeno (g/kg)	22,4	25,6	27,2
Contenido Fósforo	7,00	7,00	7,00

PIENSO TOTAL, CICLO COMPLETO DE ENGORDE DORADA: 1.850.185 Kg

DESCARGA POR kg DE COMIDA	Arranque1.9	Engorde 3	Engorde 4.5
Materia en suspensión (g)	3284	43602	371877
Descarga total de Nitrógeno (g)	909,2	9954,4	86459,5
Nitrógeno sólido en heces (g)	134,0	1685,9	13647,1
Nitrógeno soluble excretado (g)	775,2	8268,4	72812,4
Amonio NH4+ (g)	797,3	8504,7	74892,8
Fósforo total P (g)	135,9	1087,5	8914,9
Fósforo sólido P (g)	96,4	744,8	6439,8
Fósforo soluble P (g)	37,0	304,7	2146,6
PO4- (g)	113,4	933,7	6578,3

	Arranque1.9	Engorde 3	Engorde 4.5
Alimento distribuido (kg)	17390,00	189995,00	1642800,00
% alimento no consumido	1,00%	2,00%	2,00%
Mat. seca no consumida (kg)	158,94	3495,91	29603,26
Alimento ingerido (kg)	17216,10	186195,10	1609944,00
Proteínas no digestibles (kg)	743,74	8751,17	70837,54
Lípidos no digestibles (kg)	247,91	3277,03	30910,92
Glúcidos no digestibles (kg)	1125,93	17651,30	143928,99

Fibras no digestibles (kg)	275,46	3723,90	38638,66
Cenizas no digestibles (kg)	731,68	6703,02	57957,98
Total materias no digestibles (kg)	3124,72	40106,42	342274,09
Total materias en suspensión (kg)	3283,67	43602,33	371877,35

	Arranque 1.9	Engorde 3	Engorde 4.5
Alimento distribuido (kg)	17390,00	189995	1642800
Índice de conversión	0,65	1,10	2
% alimento no consumido	1%	2%	2%
Alimento no consumido (kg)	173,90	3799,90	32856,00
Proteínas distribuidas (kg)	9390,60	89297,65	722832,00
proteínas no consumidas	93,906	1785,953	14456,64
proteínas consumidas	9296,69	87511,70	708375,36
proteínas digeridas	8552,95848	78760,5273	637537,824
proteínas fecales	837,64	10537,12	85294,18
nitrógeno fecal	134,0	1685,9	13647,1
proteínas retenidas	3708,1	27082,9	182460,3
proteínas excretadas	4844,9	51677,6	455077,5
nitrógeno excretado	775,2	8268,4	72812,4
nitrógeno amoniacal	620,1	6614,7	58249,9
amoniaco NH4+	797,3	8504,7	74892,8
nitrógeno total lanzado	909,2	9954,4	86459,5

		Arranque 1.9	Engorde 68 3	Engorde 4.5
Alimento distribuido (kg)		17390	189995	1642800
Indice de conversión		0,80	1,10	1,50
% alimento no consumido		1%	2%	2%
Alimento no consumido (kg)		173,90	3799,90	32856,00
Fósforo distribuido (kg)		243,46	1899,95	16428,00
P no consumido		2,4346	37,999	328,56
P ingerido		241,03	1861,95	16099,44
P digerido		144,62	1117,17	9659,66
P retenido		107,60	812,49	7513,07
P excretado soluble		37,01	304,68	2146,59
P04 excretado soluble		113,43	933,71	6578,27
P particulado		96,41	744,78	6439,78
P total lanzado		135,86	1087,46	8914,93

De los resultados del apartado anterior, nos aparecen las siguientes tablas:

JAULAS	DESCARGAS POR CICLO COMPLETO	
	NITROGENO (kg)	FOSFORO (kg)
19	97.323,1	10.138,25

Determinación de la lágrima de dilución:

Hemos calculado la distancia de dispersión del alimento no ingerido (D1) y de los excrementos producidos por los peces (D2). Ambas distancias nos determinan el área o pluma de influencia de la actividad piscícola sobre el fondo marino.

La distancia de dispersión del alimento ingerido está determinada por el tiempo que tarda este al llegar al fondo, tiempo que viene dado por la tasa de sedimentación del alimento (s_1) a través de una profundidad (z) y que se representa mediante la expresión matemática: $td_1 = z/s_1$, durante este tiempo, una corriente de velocidad v desplazará las partículas horizontalmente una distancia $XD_1 = V \cdot t = Vz/s_1$, desde la jaula (X_s).

Teniendo en cuenta la tasa de sedimentación de los pelets de alimento no ingerido por los peces, que según Gowen & Bardbury (1987) es de 0,12 m/s; los valores mínimos (0.1 m/s) y máximos (0.5 m/s) de la corriente a lo largo de año en la zona estudiada y la profundidad media en su lugar de implantación (15m), se ha procedido a calcular la distancia de dispersión:

Velocidad de corriente (V) x Profundidad (z)

Distancia de dispersión (D1)= _____

Tasa de sedimentación del alimento (s)

D1 (V min) =12.5m

D1 (V max)=62,50m

Distancia media = 37,50 m Dirección 360º

En relación a la distancia de dispersión de los excrementos generados por los peces (D_2) está determinada por el tiempo que tarda este al llegar al fondo, tiempo que viene dado por la tasa de sedimentación de los excrementos (s_2) a través de una profundidad (z) y que se representa mediante la expresión matemática $t_{d2} = z/s_2$; durante este tiempo, una corriente de velocidad V desplazará las partículas horizontalmente una distancia X $D_2 = Vt = vz/s_2$ desde la jaula (X_s). La tasa de sedimentación de los pelets fecales es de 0.10 m/s (Gowen & Bardbury, 1987), el resto de datos son similares a los del cálculo anterior.

Velocidad de corriente (V) x Profundidad (z)

Distancia de dispersión (D_2)= _____

Tasa de sedimentación los excrementos (s)

$D_2 (V \text{ min}) = 15 \text{ m}$

$D_2 (V \text{ max}) = 75 \text{ m}$

Distancia media = 45m

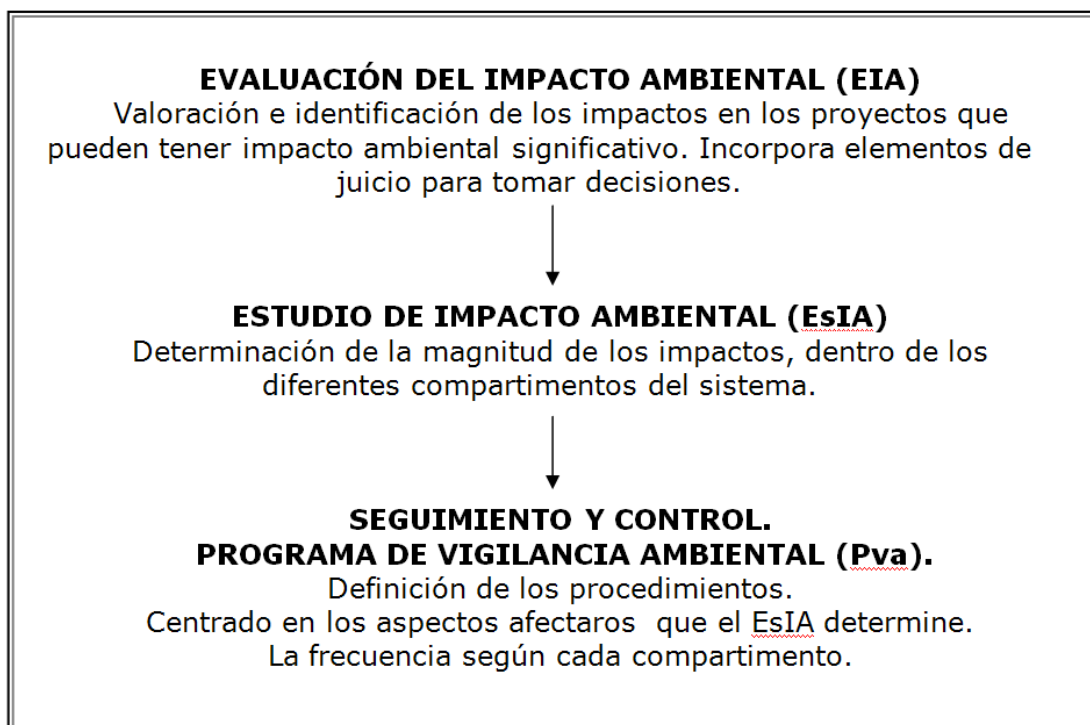
Los resultados muestran como la influencia de los excrementos o pelets fecales, es mayor que los restos de alimento no ingerido. Este hecho está determinado por su medida mas pequeña, una densidad menor y por su tasa de sedimentación mas baja, lo que hace que la corriente los pueda desplazar mucho más lejos que el alimento no ingerido.

Así pues debemos considerar que la lágrima de dilución podrá llegar a 45 metros en todas direcciones desde donde acaban las jaulas.

En este apartado debemos hacer constar que a 45 metros de la instalación, no se encuentran comunidades de fanerógamas marinas, ni lugares de reclutamiento defino de alguna especie piscícola.

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para poder llegar a definir un Programa o Plan de Vigilancia ambiental, existen unos pasos previos como se apunta en el siguiente esquema:



Siguiendo este esquema, en el presente proyecto se han seleccionado parámetros identificadores de impactos, así como sus metodologías de análisis.

En el principio del proyecto y según nuestra experiencia, y después de revisar toda la bibliografía que llegó a nuestras manos, creíamos que los mejores indicadores para establecer un plan de vigilancia ambiental, en las instalaciones de acuicultura en el mar, son aquellos que se hallan relacionados con el sedimento marino, **y más concretamente con la naturaleza del mismo**. Diferentes autores encuentran diferencias en sustratos de limos y sustratos arenosos.

Los indicadores que proponemos son aquellos que, según nuestro entender, tienen que ver con los procesos de eutrofización, por ejemplo:

El oxígeno disuelto baja de alrededor de 9 mg/l a 4 mg/l lo cual afecta negativamente y de inmediato a los organismos. Cuando el nivel baja a 2 mg/l todos los animales han muerto. Hay una significativa elevación de la DBO.

La concentración de compuestos nitrogenados, fosfatados se incrementa, así como la de otros elementos químicos.

Si el exceso de nutrientes sigue fluyendo las bacterias anaerobias predominan en sedimentos, quedando estos reducidos debido a la producción del ácido sulfhídrico (H₂S) y metano (CH₄) durante la descomposición de la materia orgánica.

DBO₅ es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente.

El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado. Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización.

El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización.

El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

A continuación detallamos los indicadores que propusimos para estudio.

DESCRIPTORES	
SEDIMENTOS CATALUNYA	METODO ANALISIS (Rocolección Core o Van Been)
Granulometría	Tamizado húmedo
Materia Orgánica	Ignición (450º, 4 horas)
Nitrógeno total	Combustión CHNS
Fósforo total	Espectrofotometría
Sulfitos volátiles	Electrodo
Carbono total orgánico	Combustión CHNS
DBO5	Método Winkler
Potencial Redox	Electrodo
Comunidades bentónicas	Estudio de familias

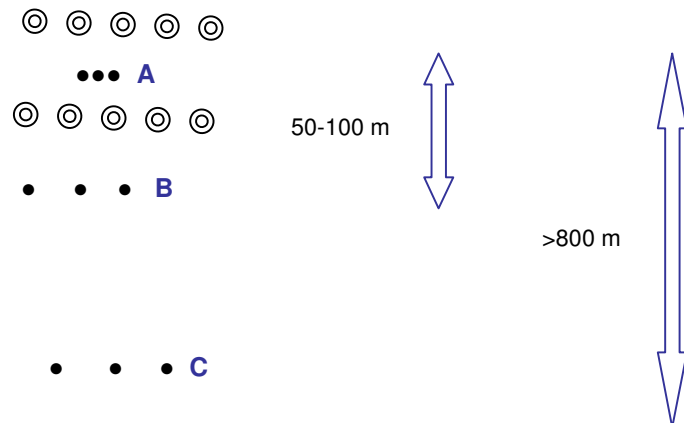
Tras varia reuniones, en la de la Universidad de Alicante se consensuo que los parámetros serían los siguientes:

DESCRIPTORES	
(MATRIZ) SEDIMENTOS	METODO ANALISIS (Rocolección Core o Van Been)
Granulometría	Tamizado húmedo (Buchanan, 1984)
Materia Orgánica	Ignición (450º, 4 horas)
Nitrógeno total	Combustión autoanalizador Elemental CHNS
Fósforo total	Método Vanadio - Molibdato y espectrofotometría
Sulfuros libres totales	Electrodo de ión selectivo (Wildish et al, 1999)
Carbono Orgánico Total (TOC)	Combustión CHNS
Isótopo ^{15}N	Combustión analizador elemental y espectrometría de masas
Potencial Redox	Electrodo Eh
Infauna	Determinación de sp. indicadoras de estrés ambiental (Poliquetos y Anfípodos).

Diseño de muestreo espacial y temporal:

Escala espacial: al menos en dos instalaciones, 3 estaciones en la zona de las jaulas (A), 3 estaciones en la zona de afección (entre 50-100 m del tren de jaulas, B) y 3 en zona alejada de las jaulas (sobre 800 m, C). En cada punto se tomarán muestras por triplicado, es decir un total 54 muestras, 27 por instalación.

Escala temporal: dos veces al año (primavera – otoño). En total se tomarán 108 muestras al año.



Zona A: Dentro del sistema de jaulas, 3 muestreos al azar por triplicado (9 muestras)

Zona B: En la zona de afección, entre 50-100 m distancia a jaulas, 3 muestreos al azar por triplicado (9 muestras)

Zona C: Zona alejada de las jaulas, a unos 800 m del sistema, 3 muestreos al azar por triplicado (9 muestras)

Experiencia Piloto,

Se acordó recoger las muestras con Draga Van Been.

En las dos instalaciones, y seguramente por la poca profundidad y naturaleza del sedimento, se tuvieron que coger Cores, ya que la draga no alcanzaba a cerrarse correctamente.





PUNTOS DE MUESTREO

AQUICULTURA ELS ALFACS

ZONA A		
A1	40° 32,236' N	00° 33,519' E
A2	40° 32,155' N	00° 33,463' E
A3	40° 32,078' N	00° 33,397' E
ZONA B		
B1	40° 32,233' N	00° 33,448' E
B2	40° 32,156' N	00° 33,393' E
B3	40° 32,070' N	00° 33,327' E
ZONA C		
C1	40° 32,270' N	00° 32,953' E
C2	40° 32,233' N	00° 32,881' E
C3	40° 32,154' N	00° 32,838' E

Fechas

04/05/2010

21/10/2010

CRIPESA

ZONA A		
A1	40° 51,628' N	00° 47,959' E
A2	40° 51,630' N	00° 47,950' E
A3	40° 51,619' N	00° 47,897' E
ZONA B		
B1	40° 51,587' N	00° 47,983' E
B2	40° 51,559' N	00° 47,921' E
B3	40° 51,556' N	00° 47,870' E
ZONA C		
C1	40° 51,168' N	00° 47,850' E
C2	40° 51,161' N	00° 47,709' E
C3	40° 51,179' N	00° 47,646' E

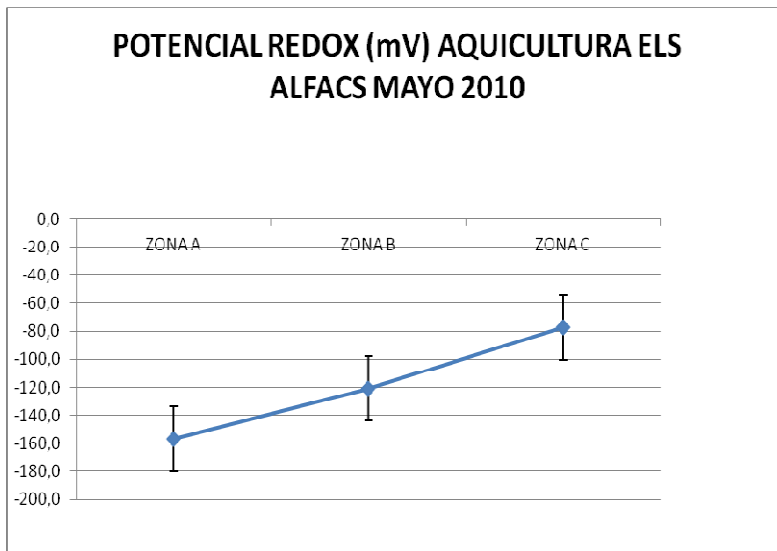
Fechas

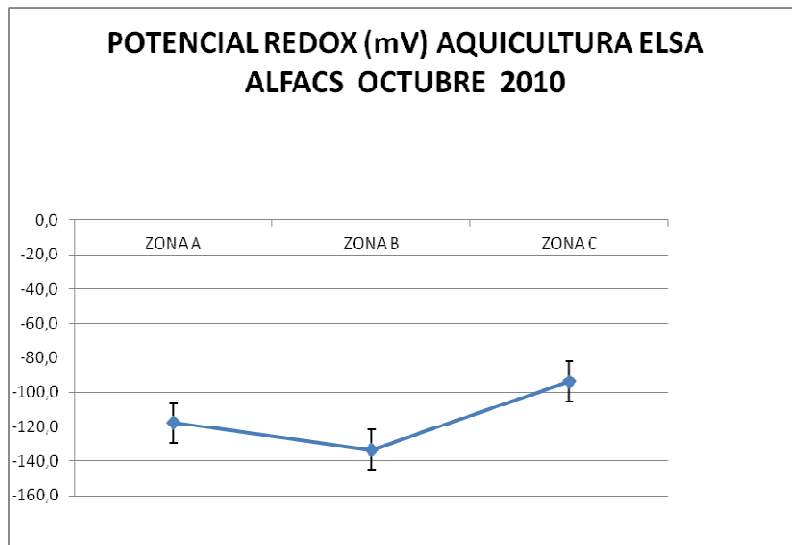
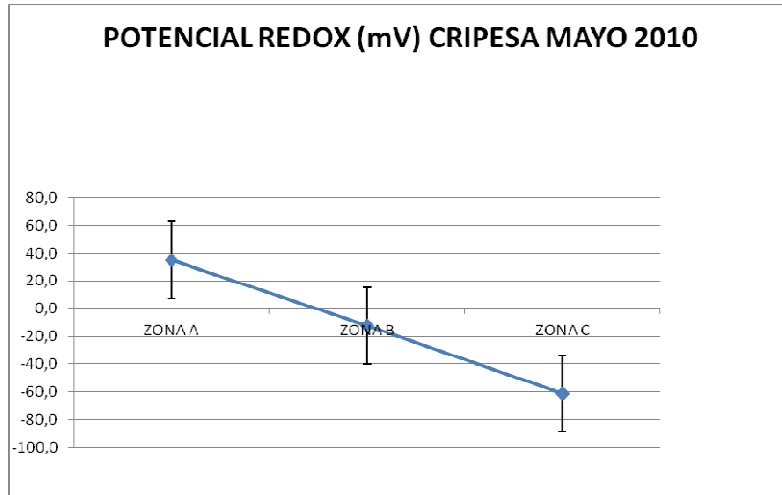
13/05/2010

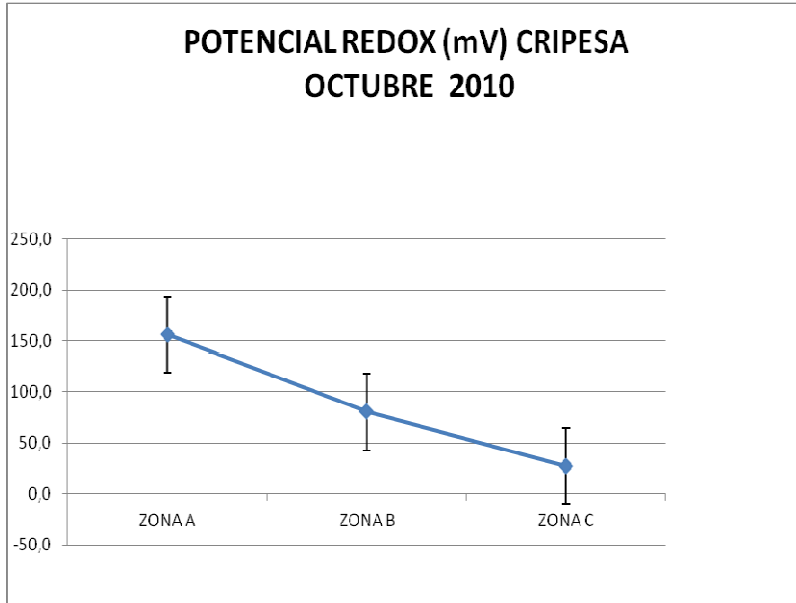
20/10/2010

RESULTADOS DE LAS DOS CAMPAÑAS, MAYO Y OCTUBRE 2010

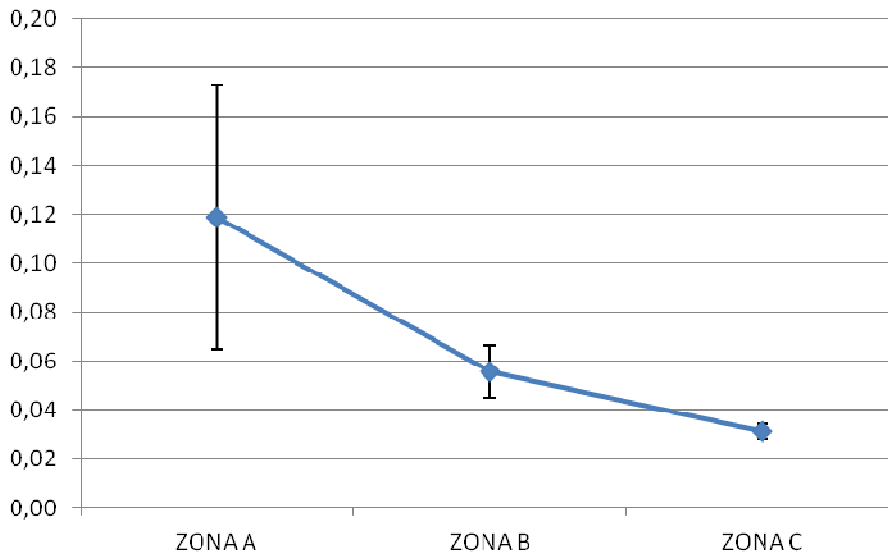
Potencial Redox mV



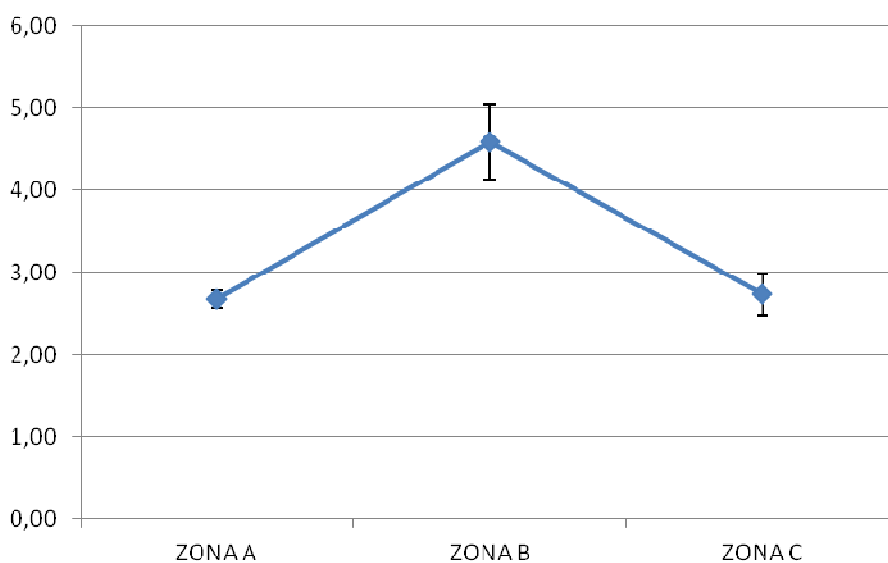




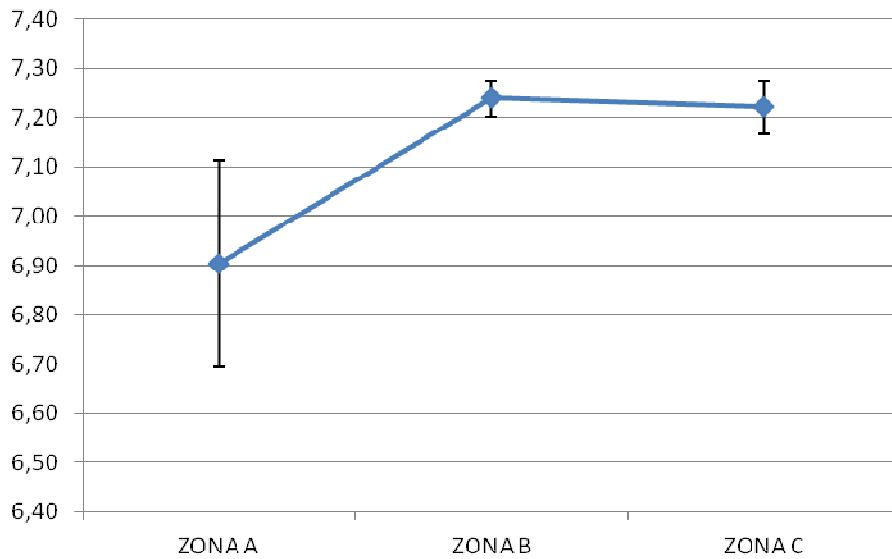
FOSFORO TOTAL % AQUICULTURA ELS ALFACS MAYO 2010



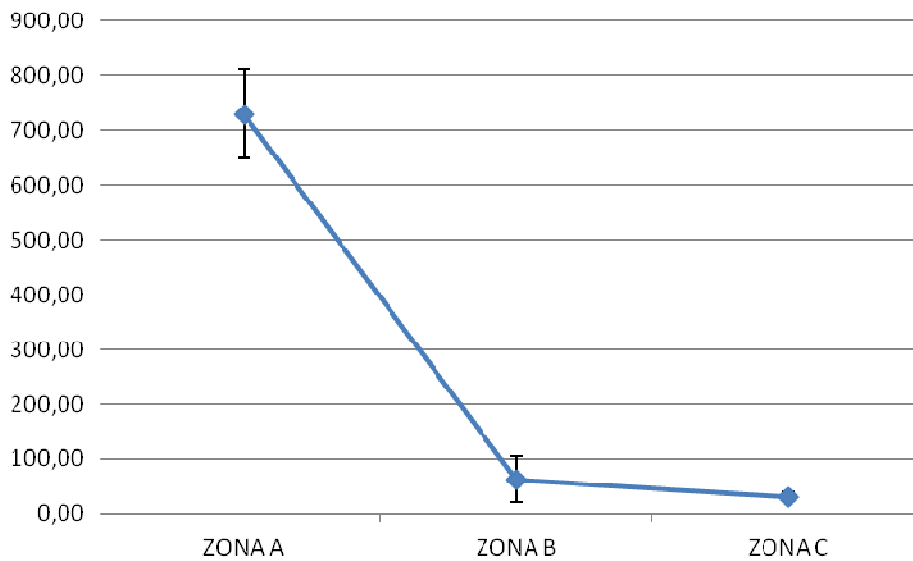
MATERIA ORGÁNICA% AQUICULTURA ELS ALFACS MAYO 2010

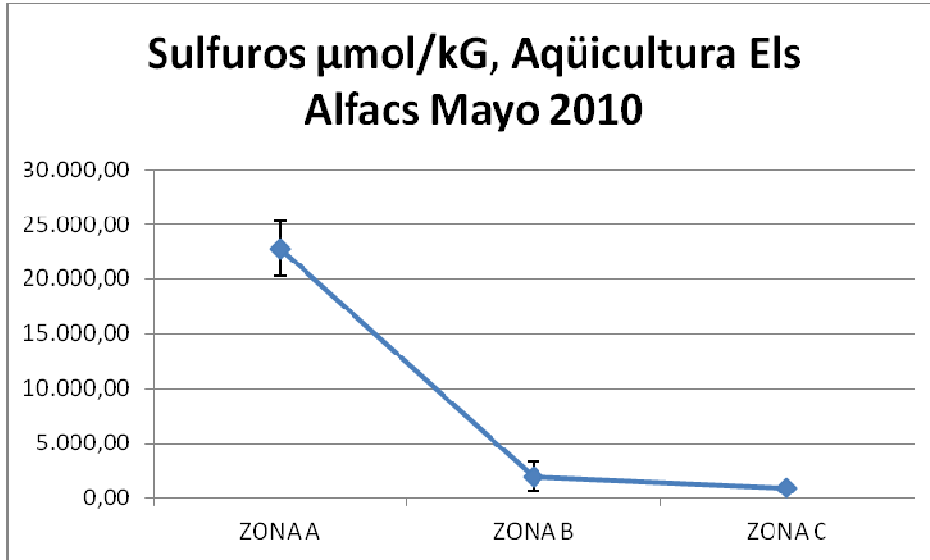


pH AQUICULTURA ELS ALFACS MAYO 2010

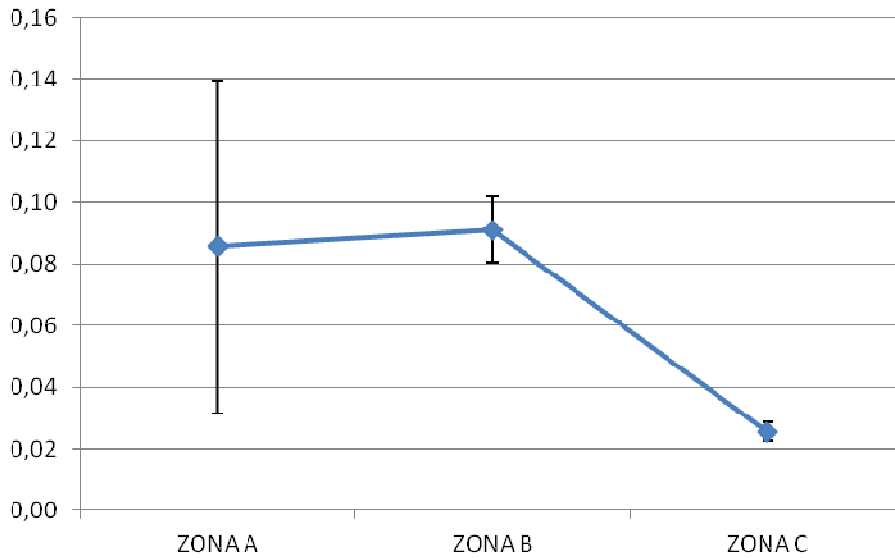


SULFUROS mg/l ELS ALFACS MAYO 2010

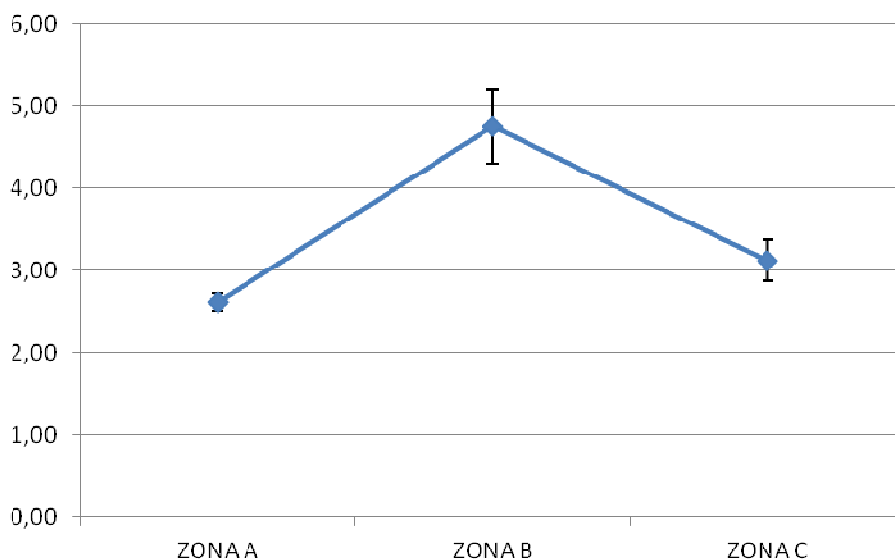




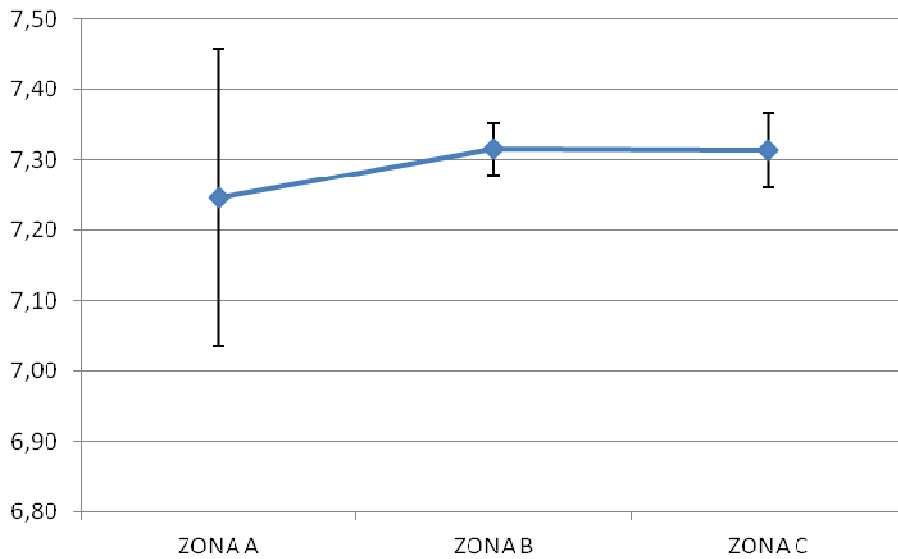
FOSFORO TOTAL % AQUICULTURA CRIPESA MAYO 2010



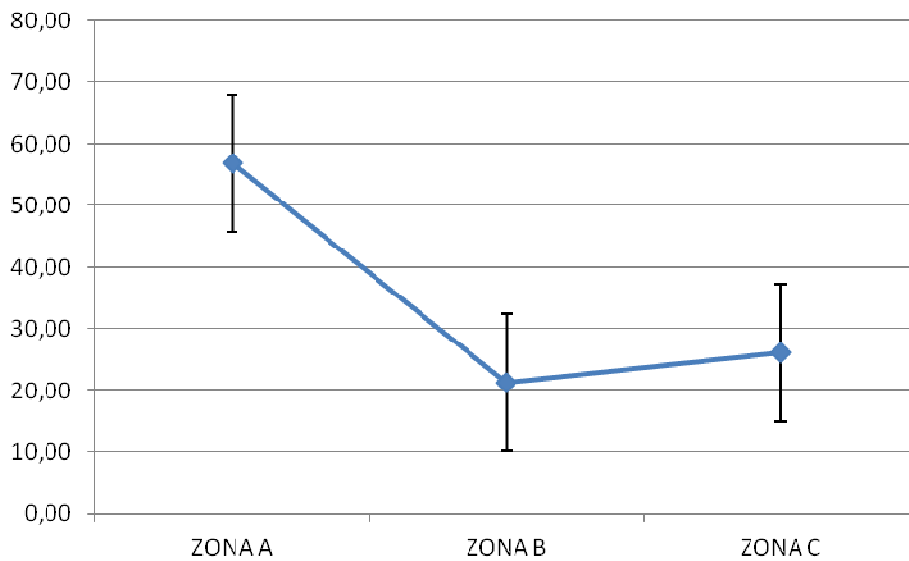
MATERIA ORGÁNICA% CRIPESA MAYO 2010

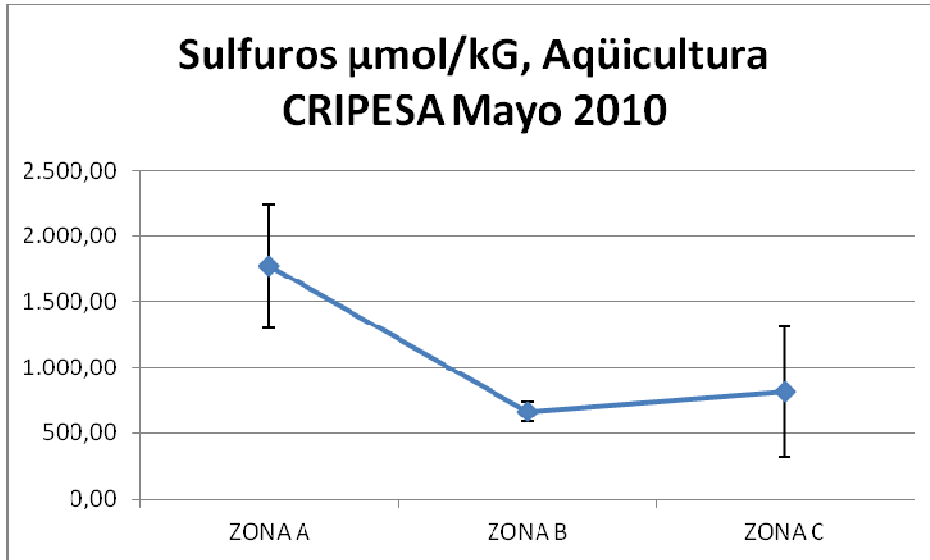


pH AQUICULTURA CRIPESA MAYO 2010

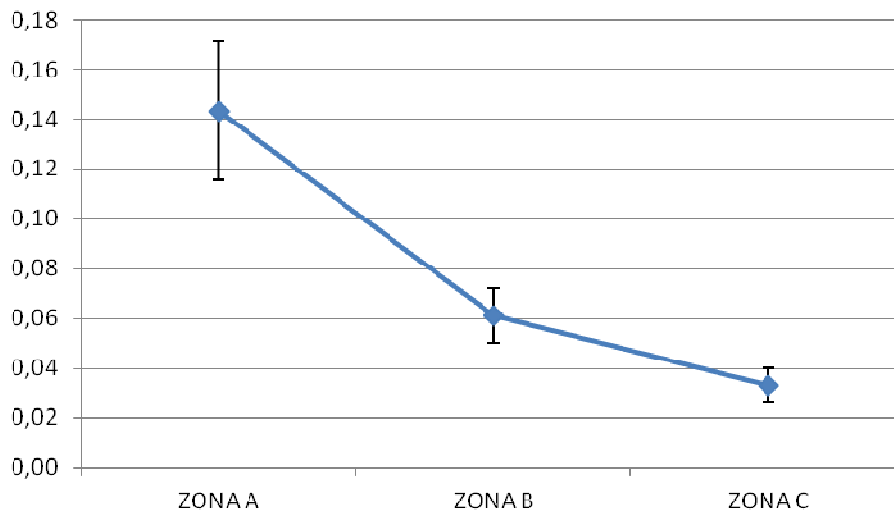


SULFUROS mg/l CRIPESA MAYO 2010

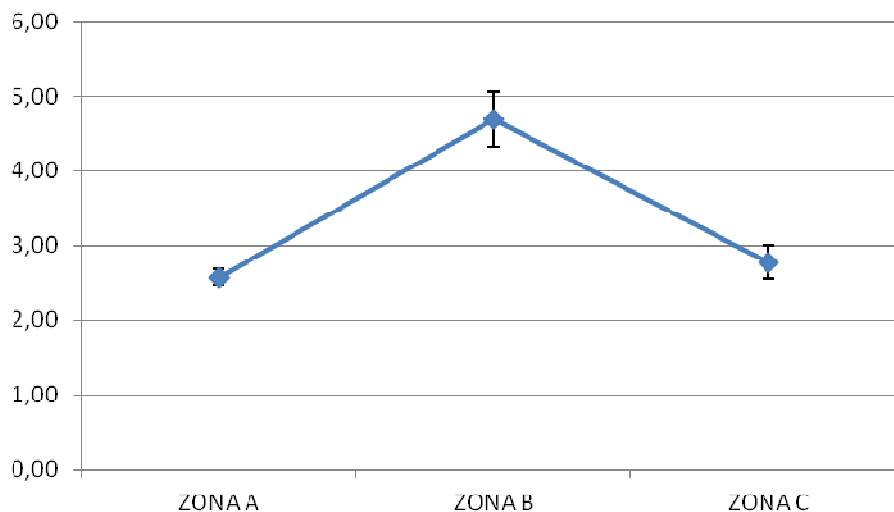




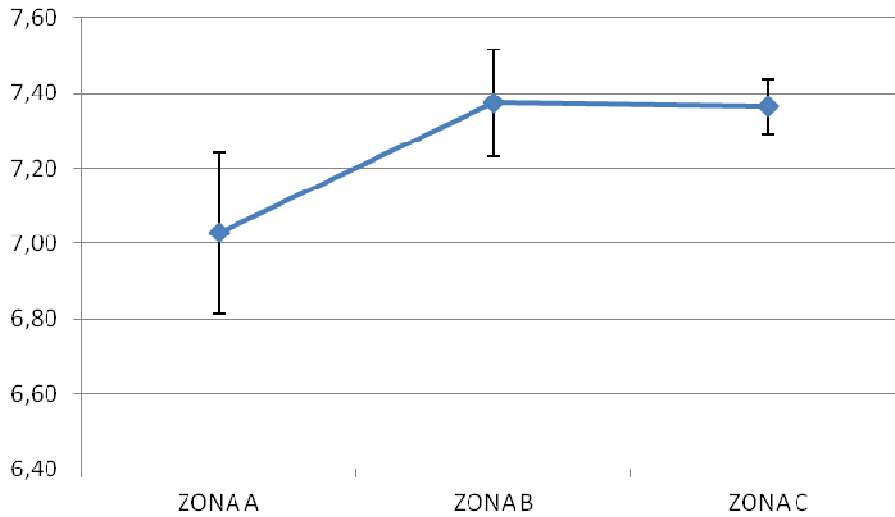
FOSFORO TOTAL % AQUICULTURA ELS ALFACS OCTUBRE 2010



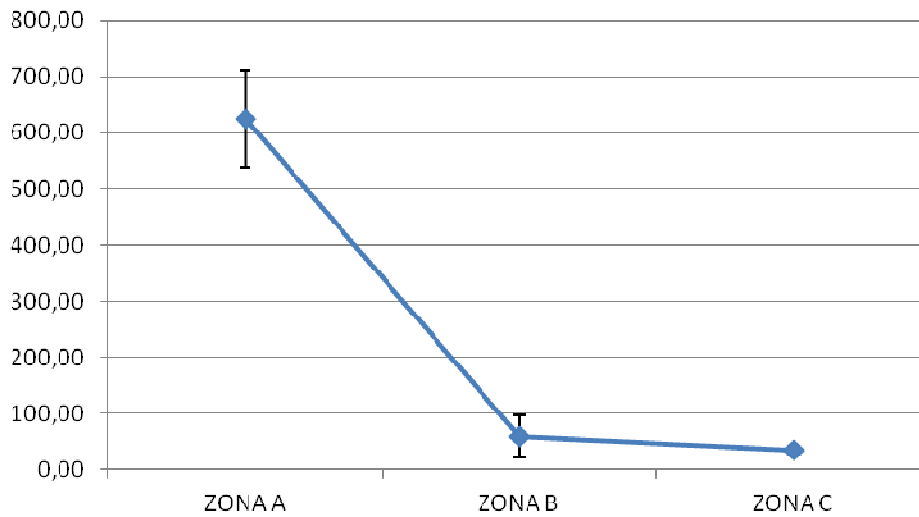
MATERIA ORGÁNICA% AQUICULTURA ELS ALFACS OCTUBRE 2010

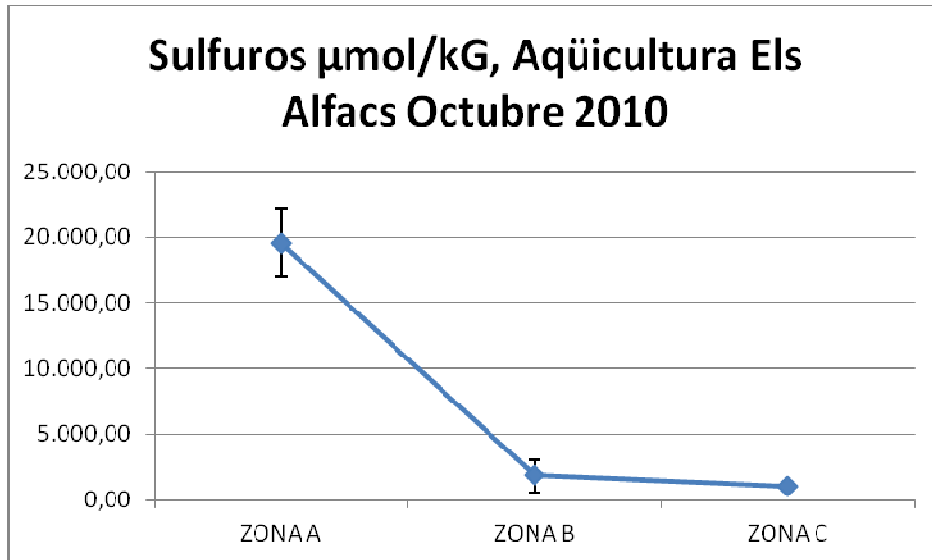


pH AQUICULTURA ELS ALFACS OCTUBRE 2010

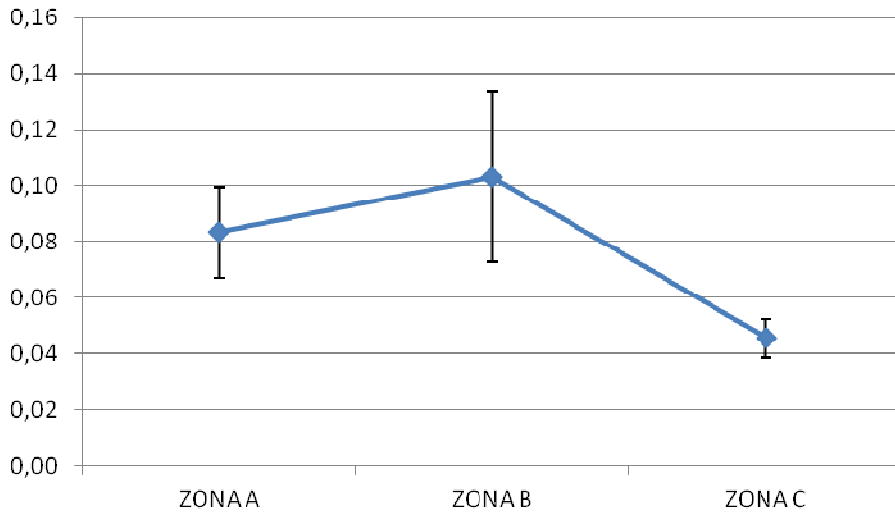


SULFUROS mg/l ELS ALFACS OCTUBRE 2010

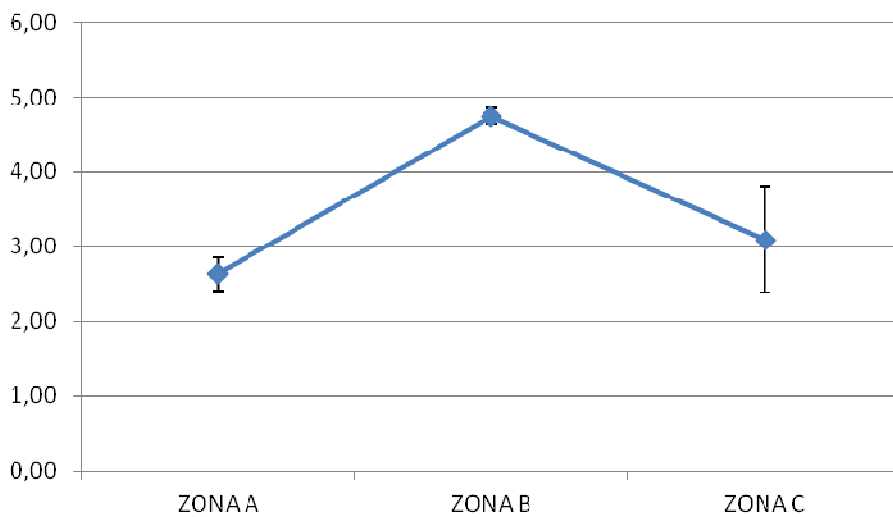




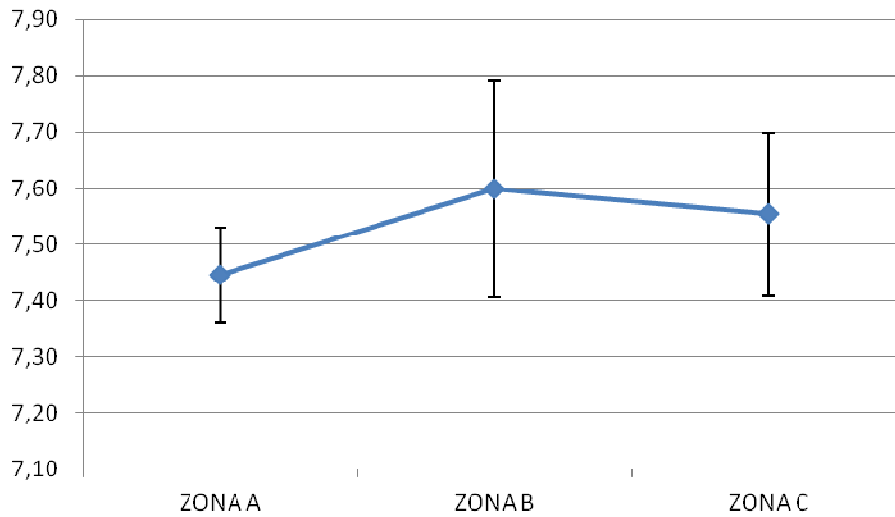
FOSFORO TOTAL % CRIPESA OCTUBRE 2010



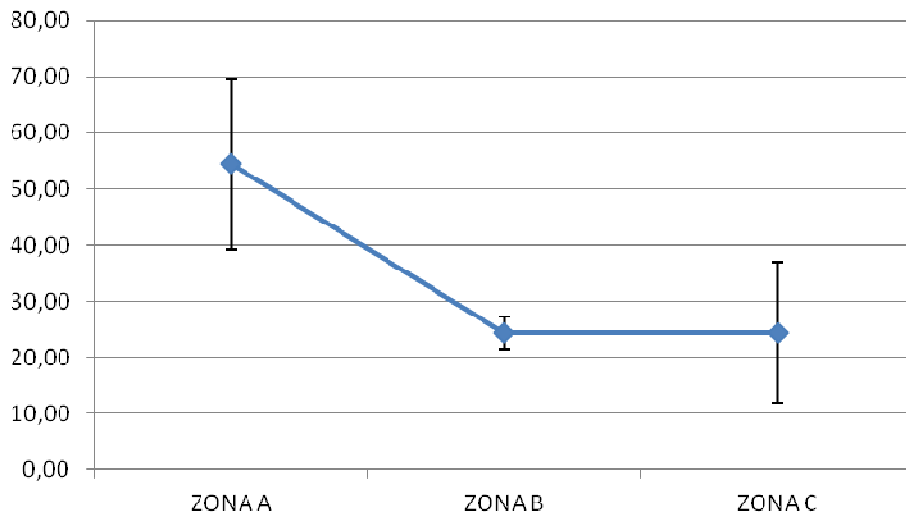
MATERIA ORGÁNICA% CRIPESA OCTUBRE 2010

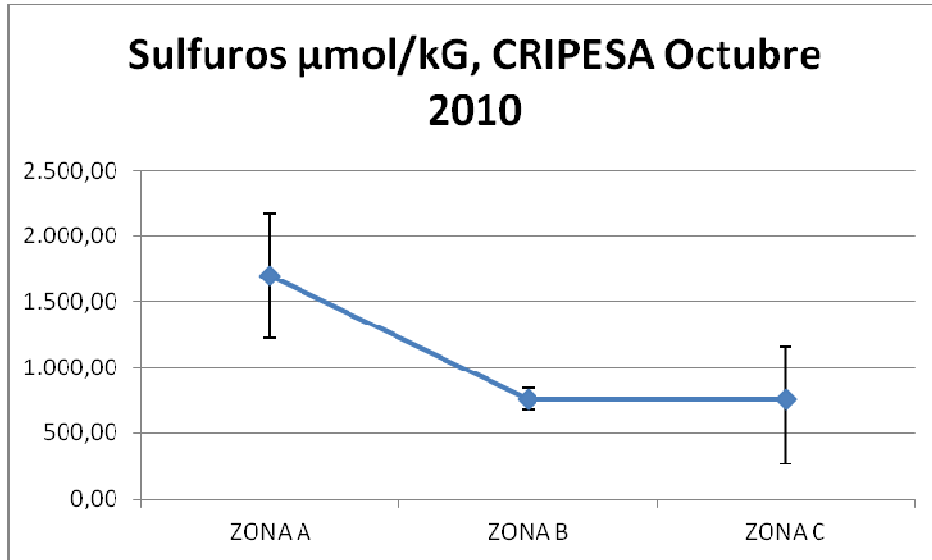


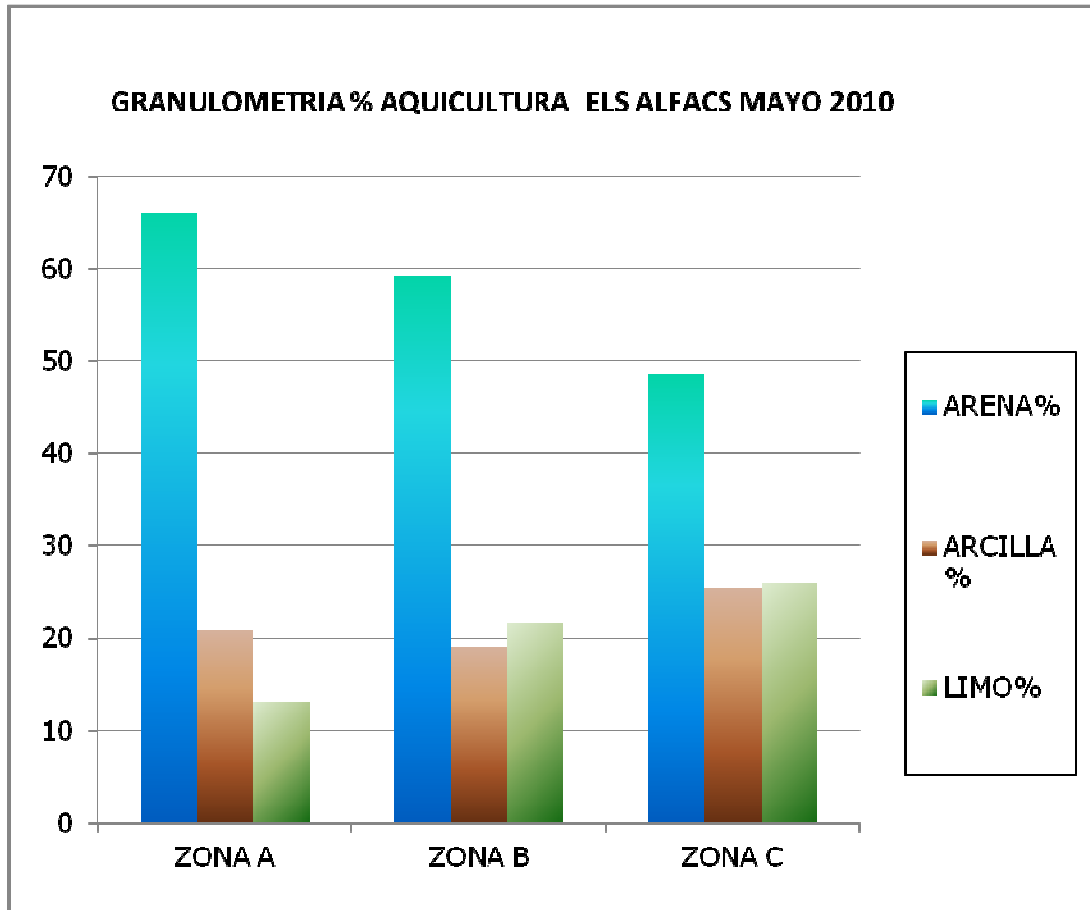
pH AQUICULTURA CRIPESA OCTUBRE 2010

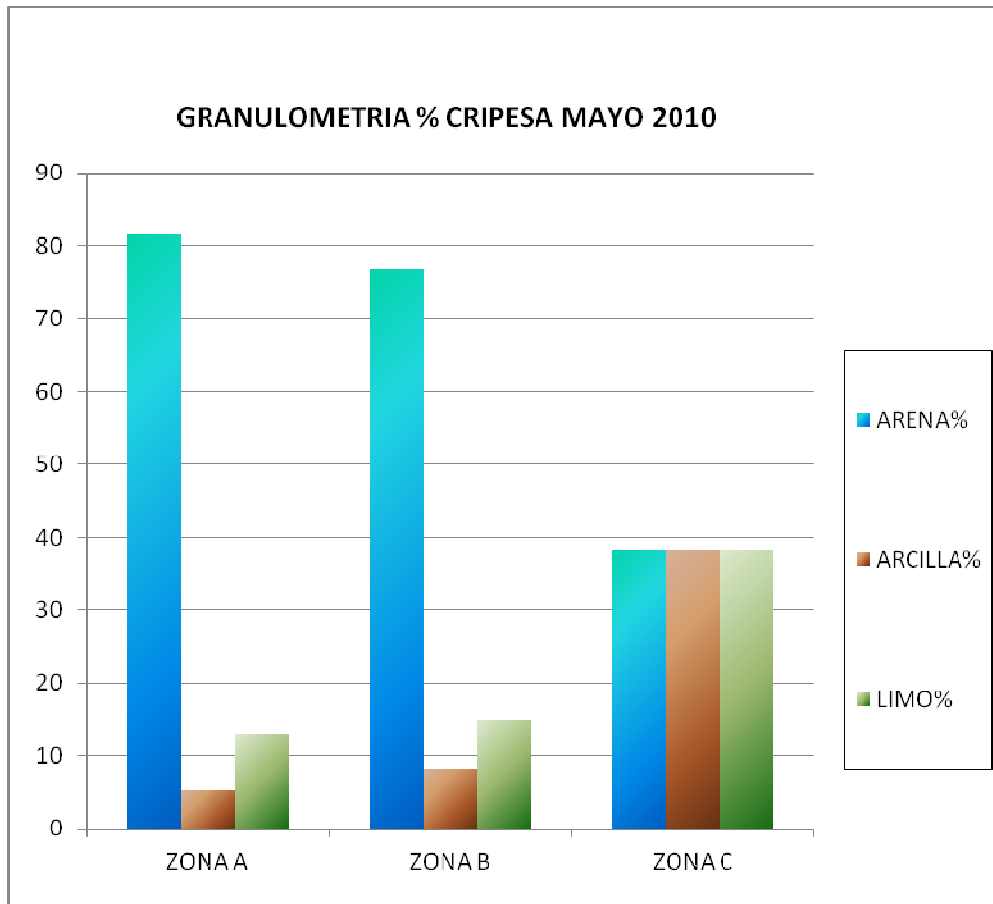


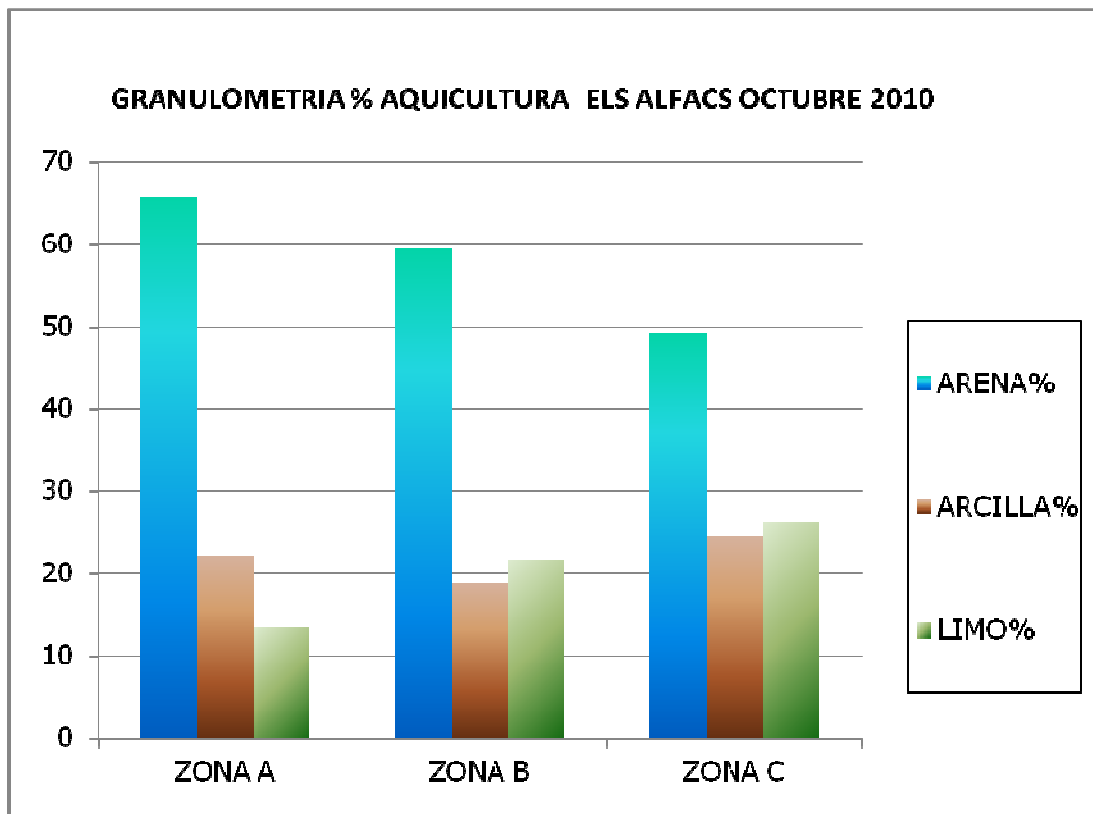
SULFUROS mg/l CRIPESA OCTUBRE 2010

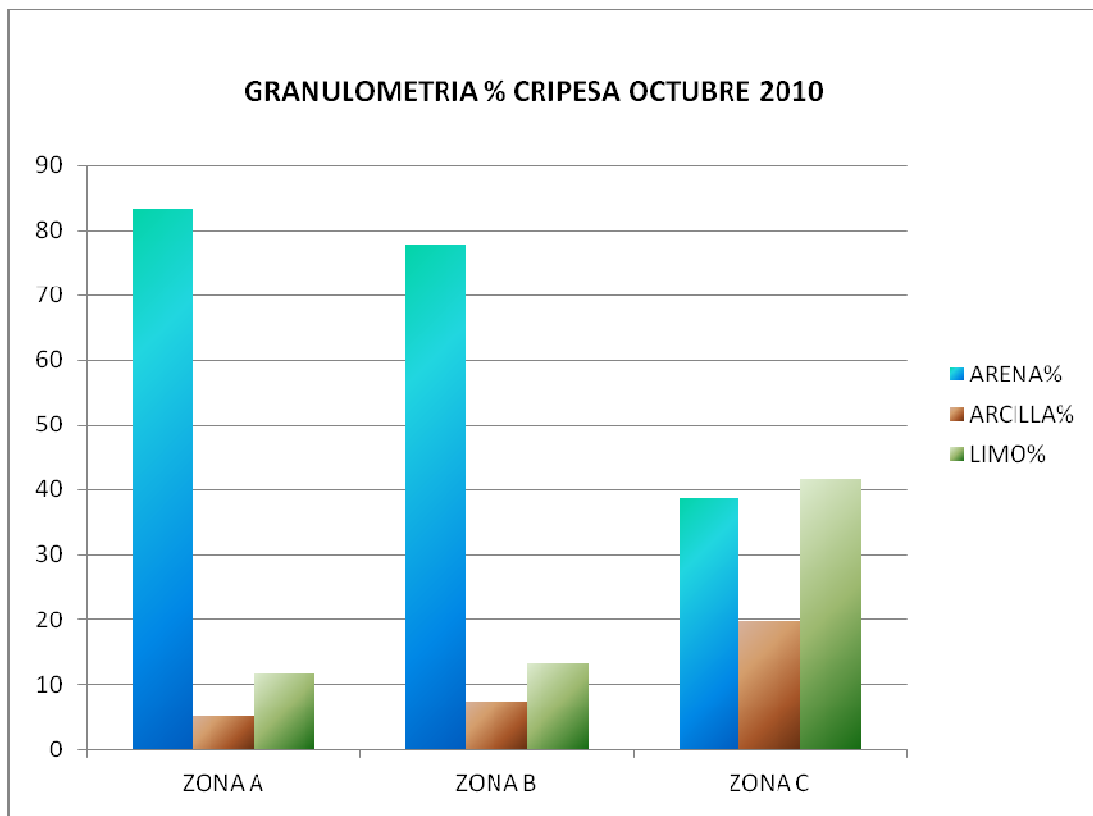


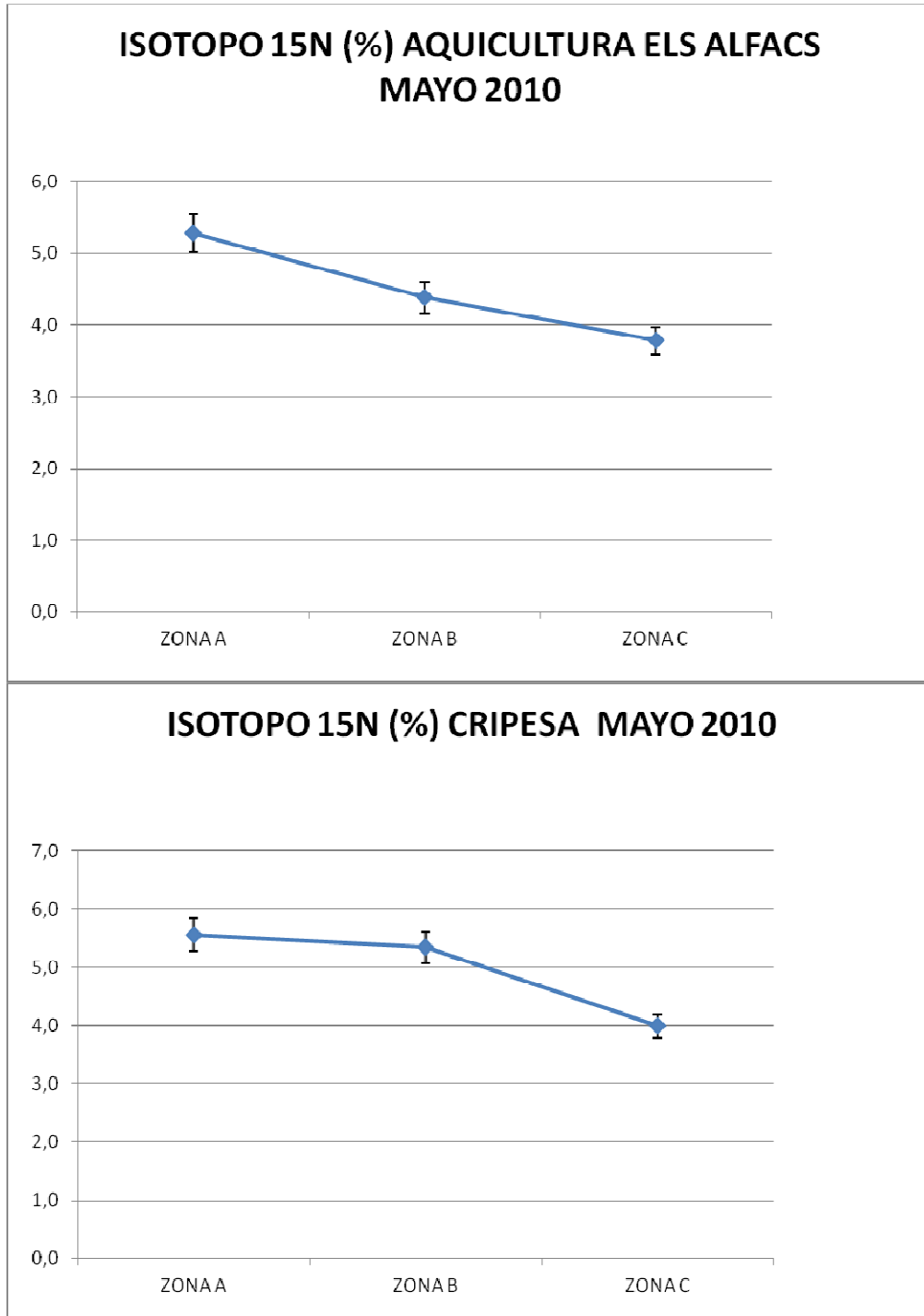


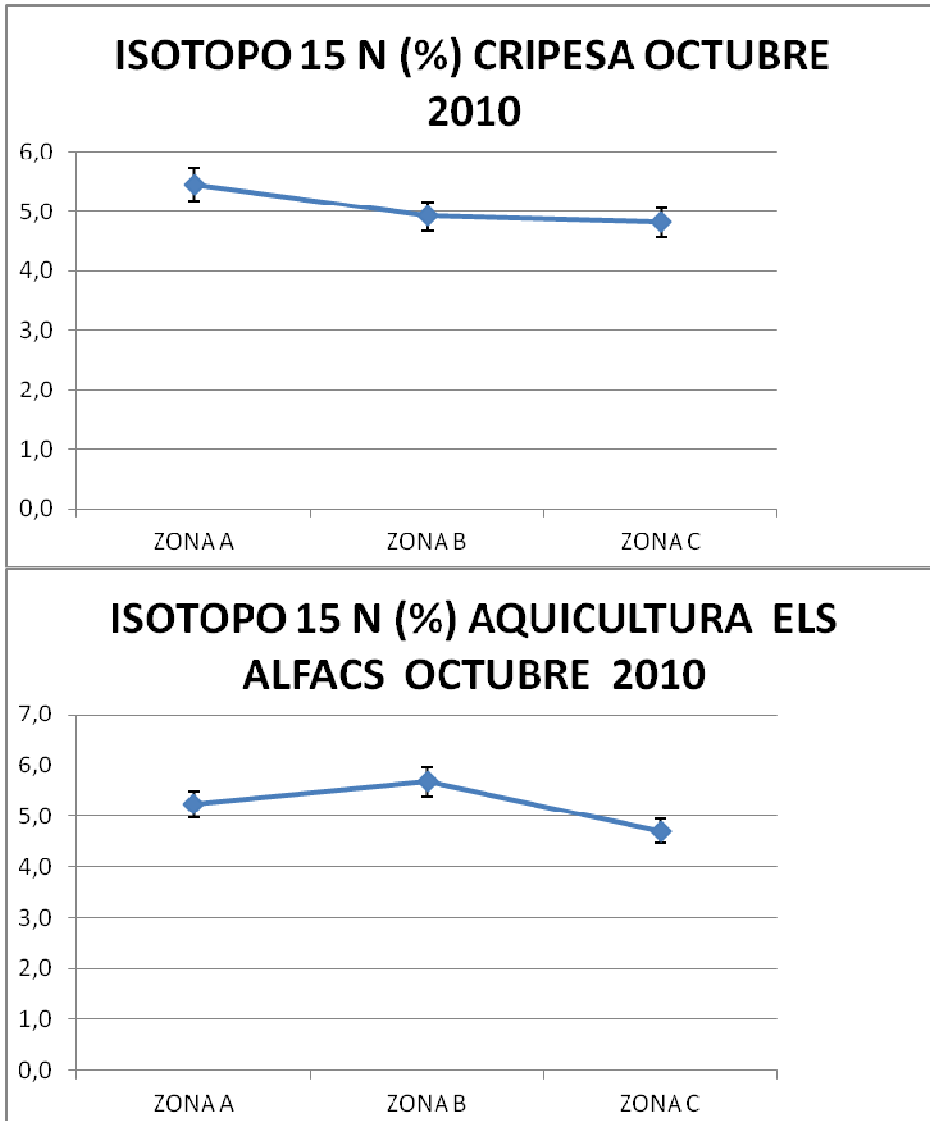


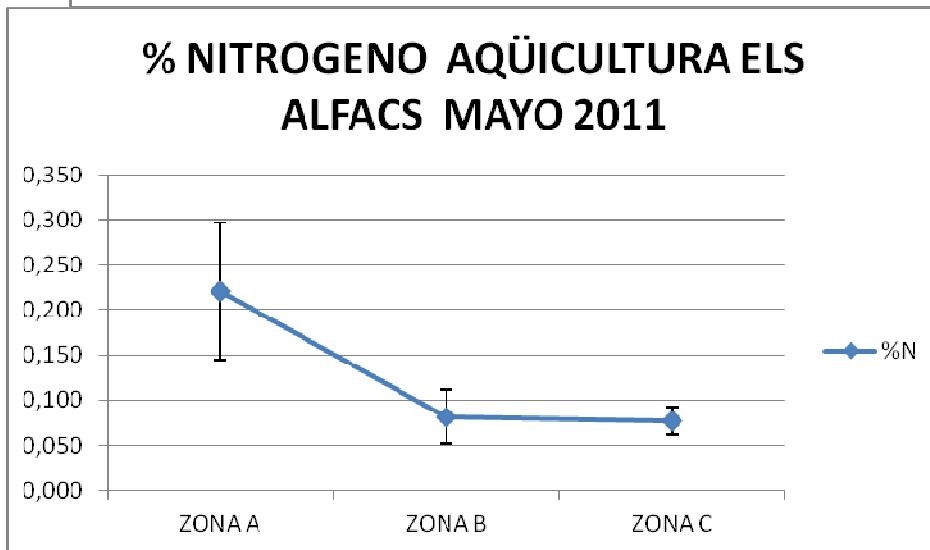
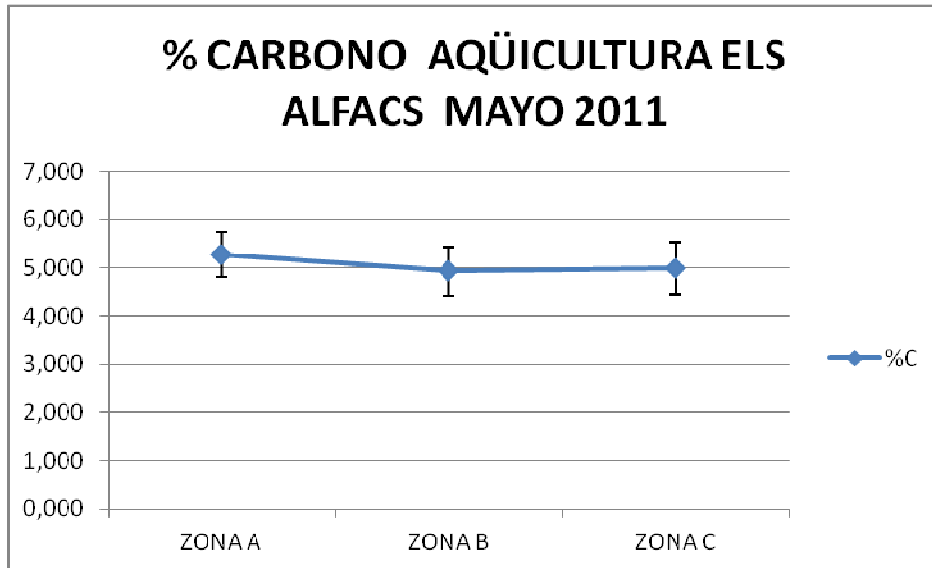


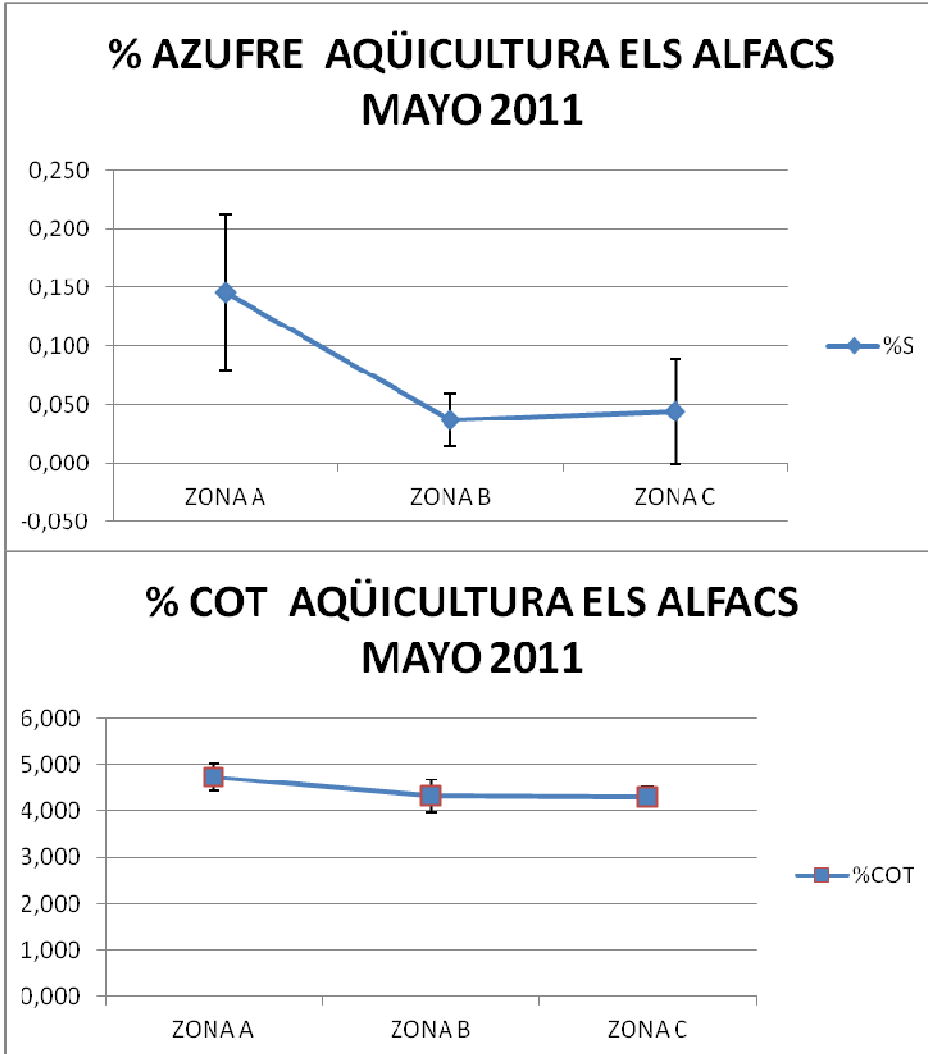


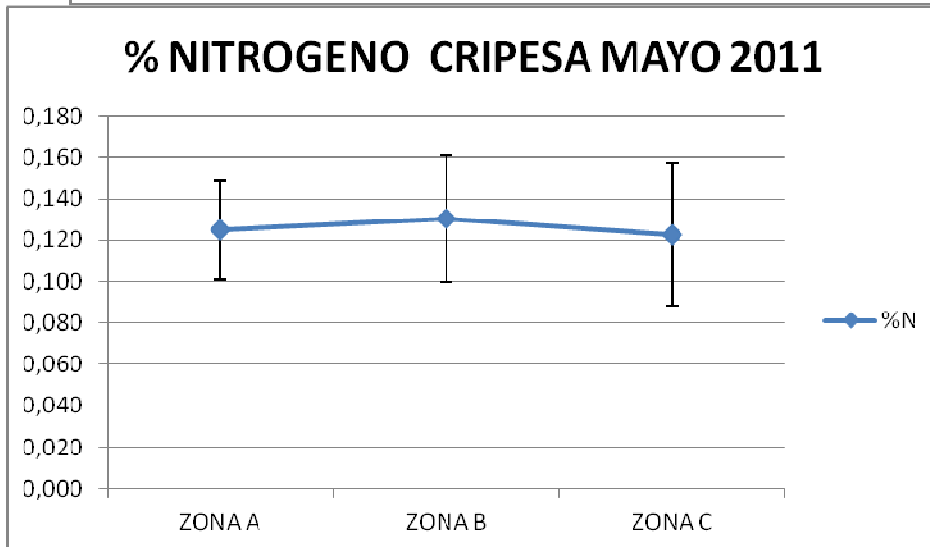
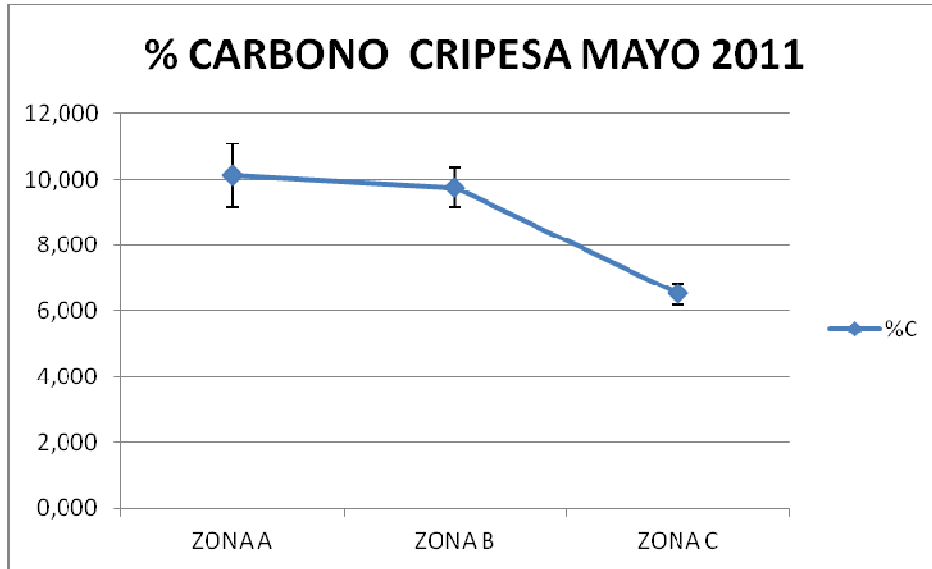


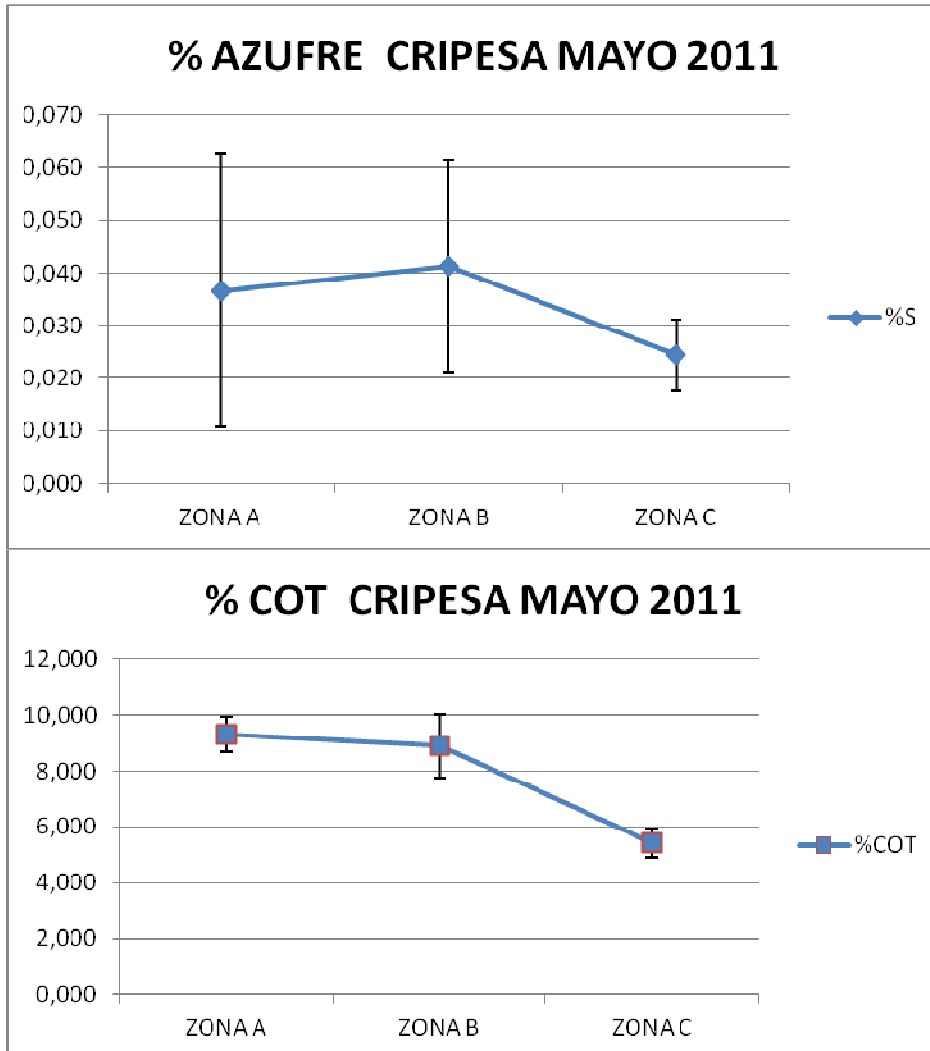


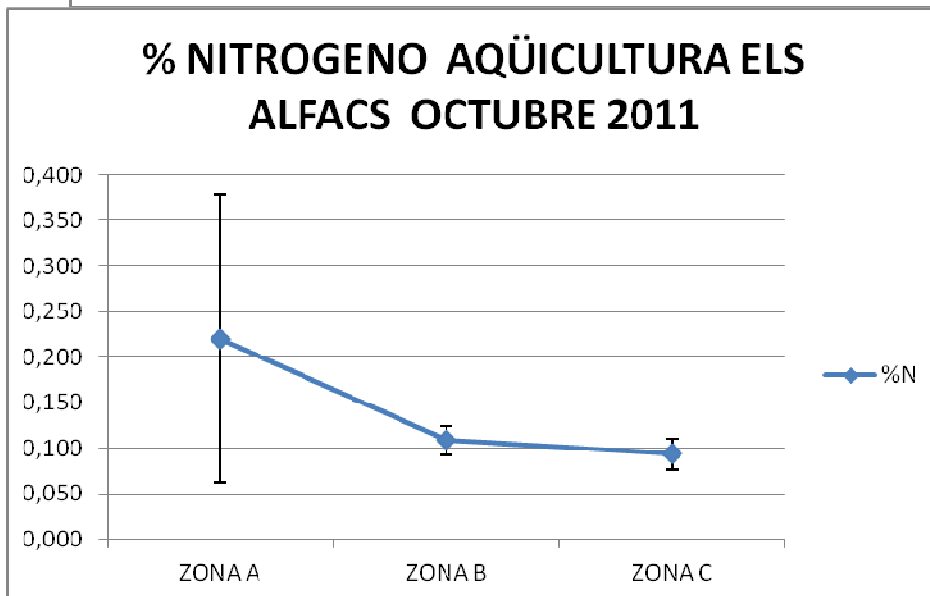
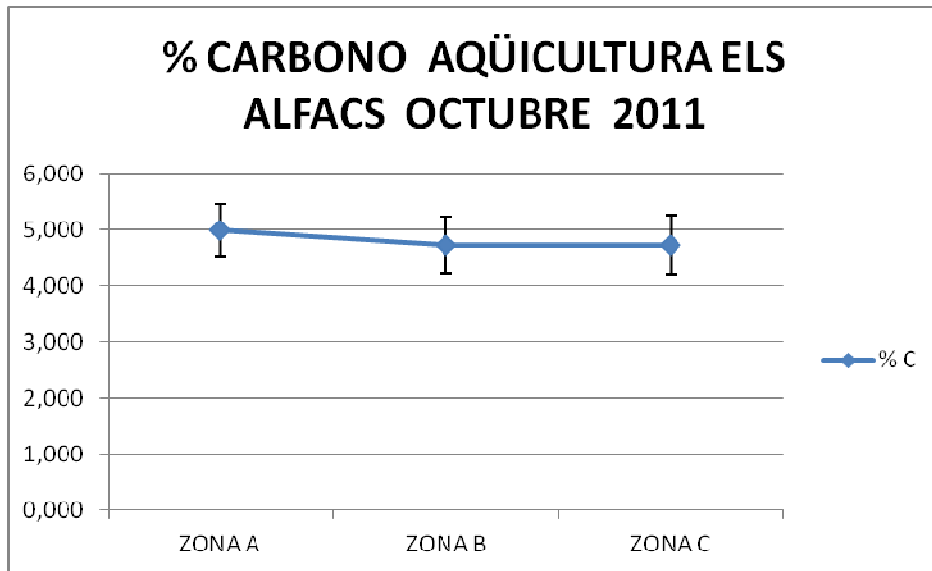


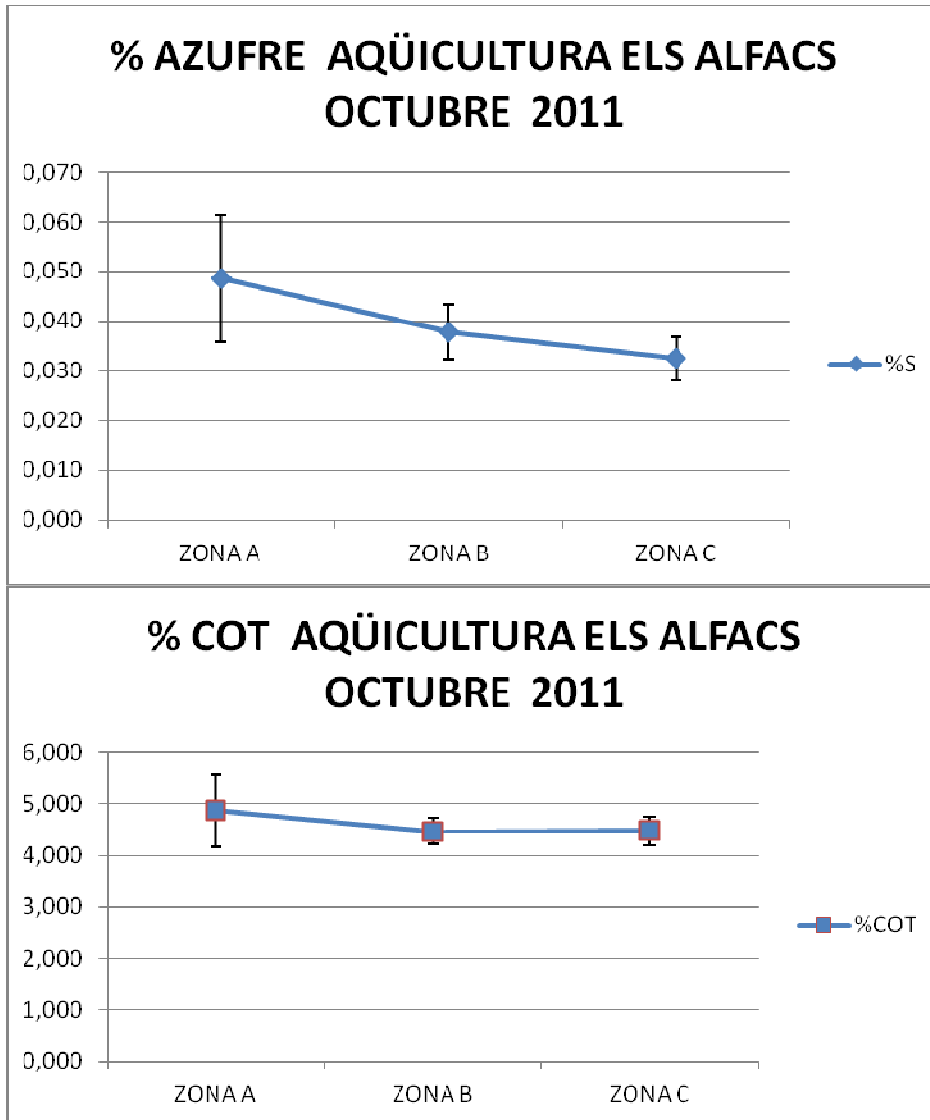


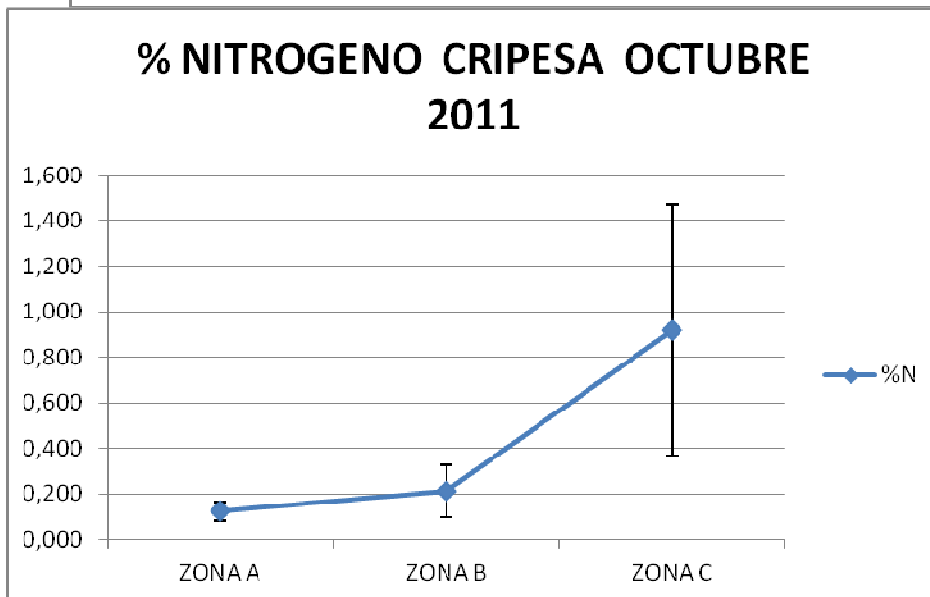
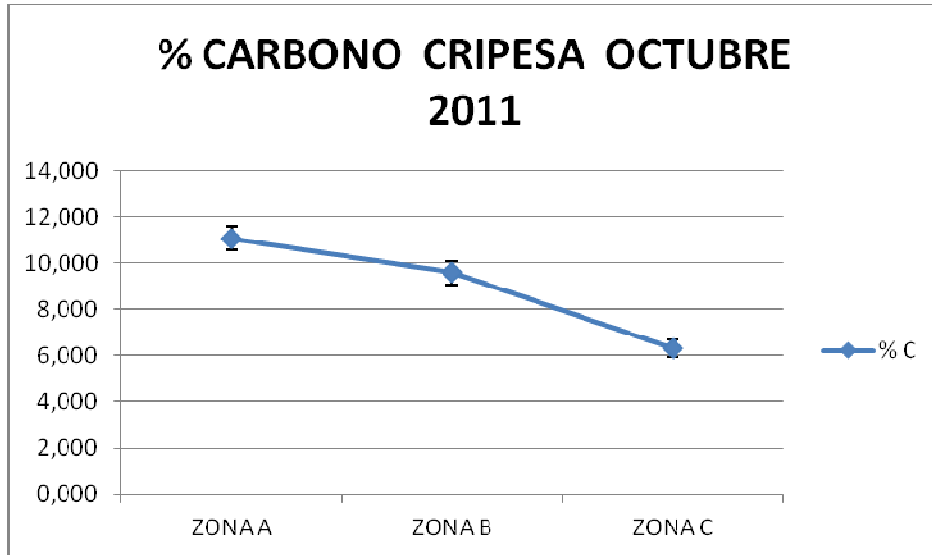


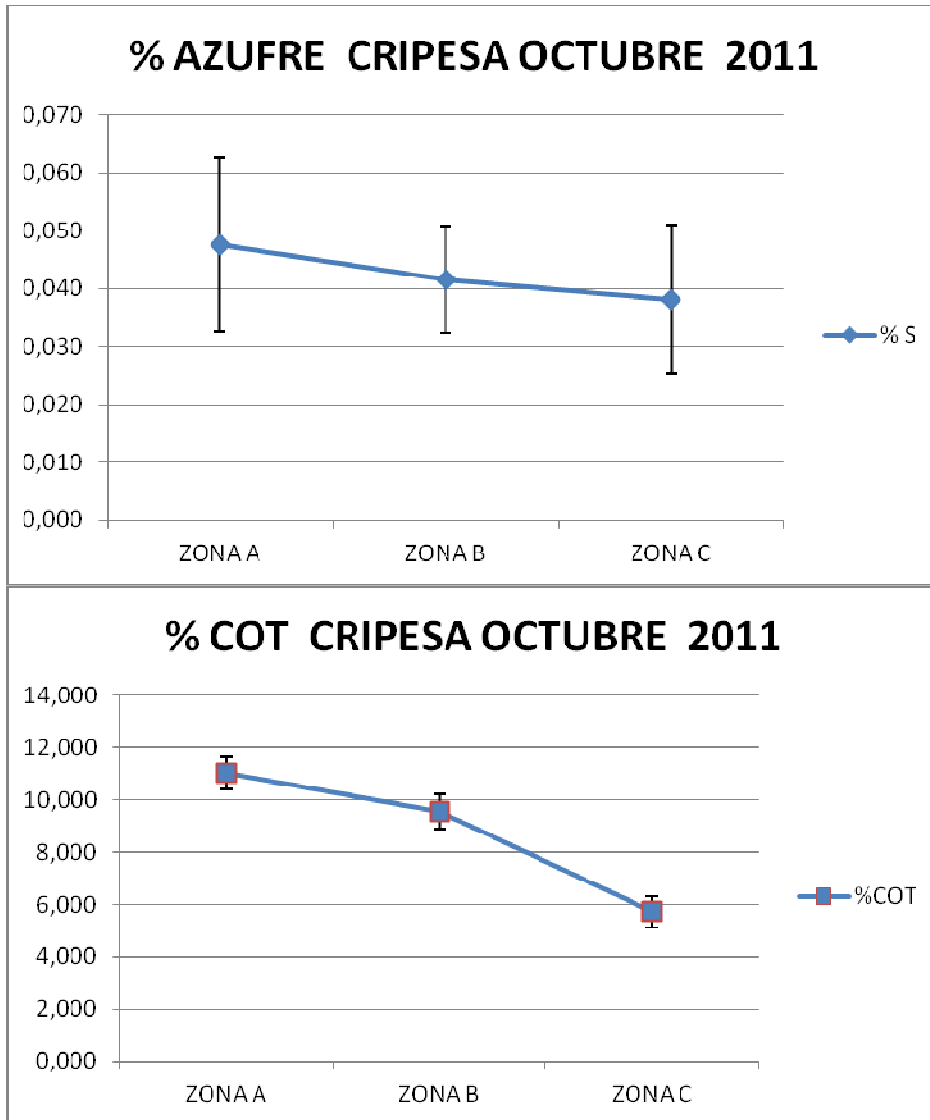


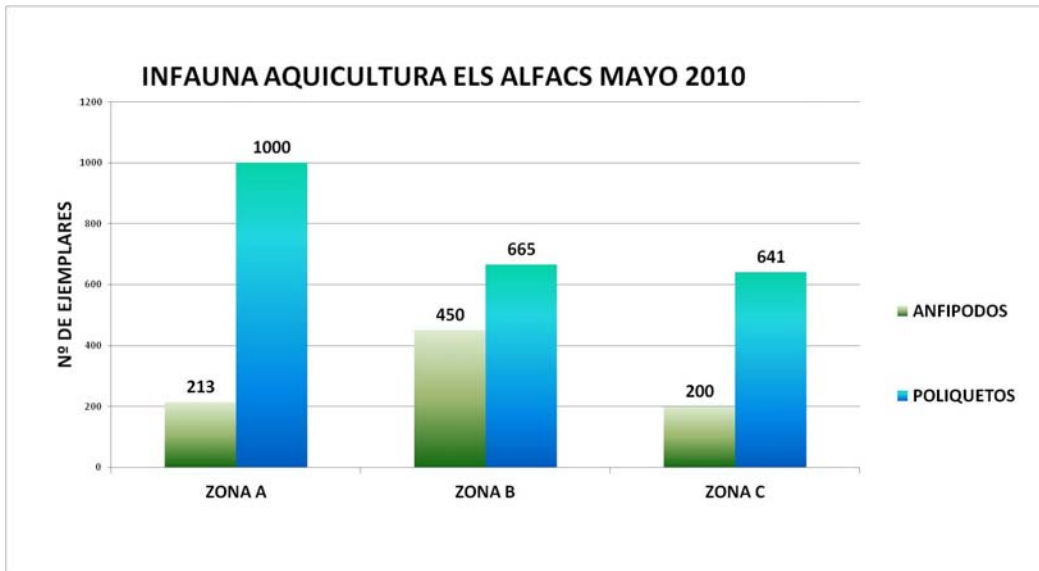
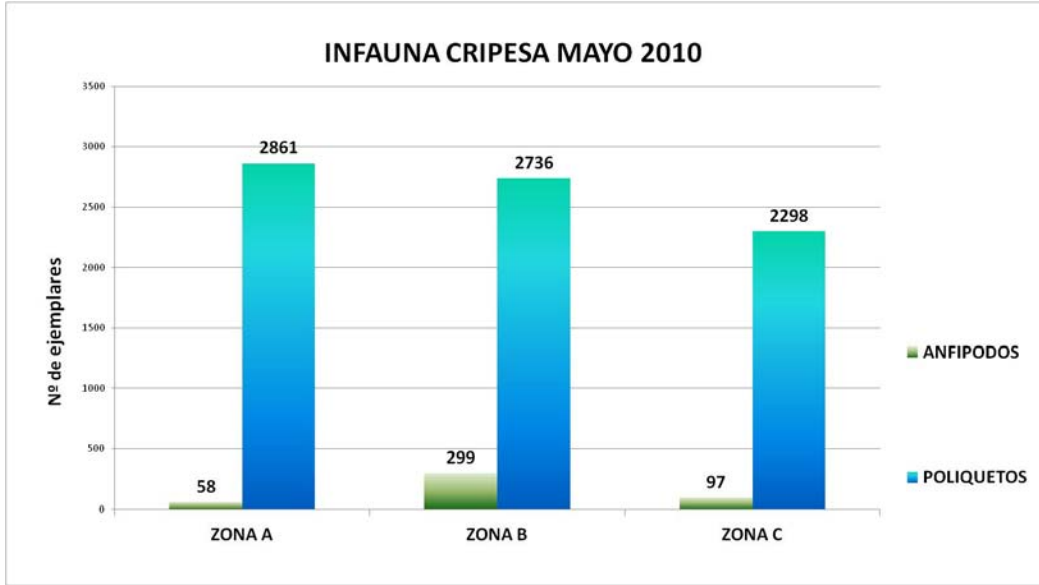






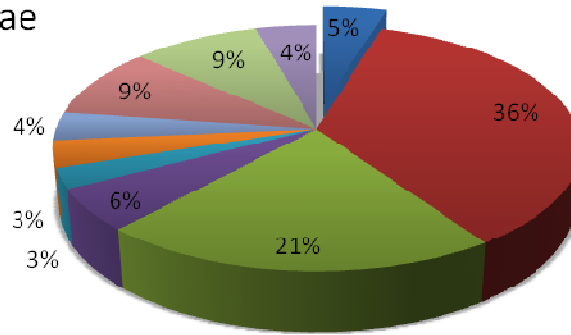






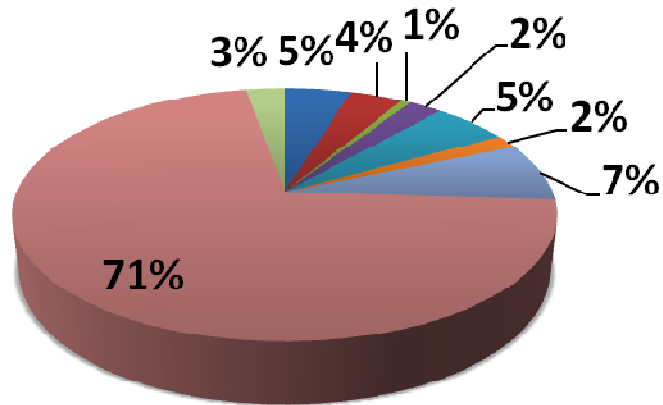
ANFIPODOS ZONA A CRIPESA MAYO 2010

- Ampeliscidae
- Aoridae
- Dexaminidae
- Eusiridae
- Ischyroceridae
- Lysianassidae
- Melitidae
- Phoxocephalidae
- Phtisicidae
- Urothoidae



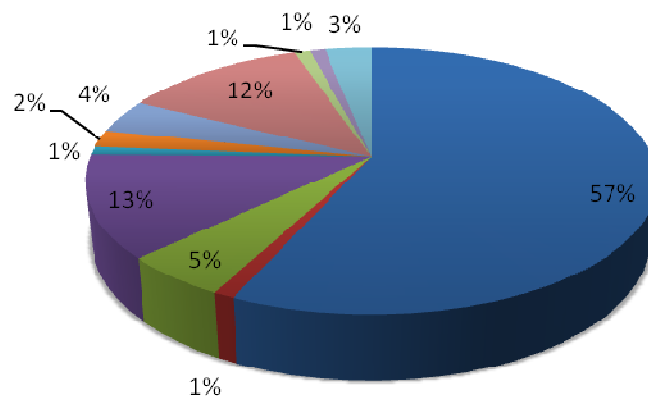
ANFIPODOS ZONA B CRIPESA MAYO 2010

- Ampeliscidae
- Corophiidae
- Isaeidae
- Aoridae
- Dexaminidae
- Leucothoidae



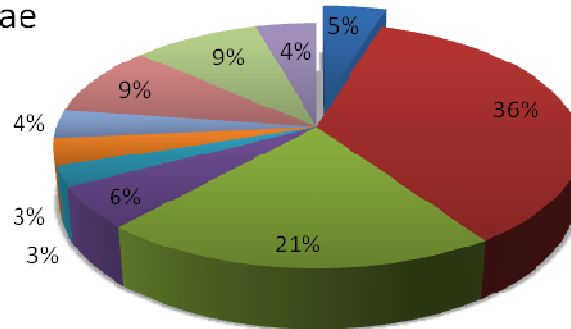
ANFIPODOS ZONA C CRIPESA MAYO 2010

- Ampeliscidae
- Isaeidae
- Lysianassidae
- Phtisicidae
- Corophiidae
- Ischyroceridae
- Oedicerotidae
- Urothoidae
- Dexaminidae
- Leucothoidae
- Pariambidae



ANFIPODOS ELS ALFACS ZONA A MAYO 2010

- Ampeliscidae
- Aoridae
- Dexaminidae
- Eusiridae
- Ischyroceridae
- Lysianassidae
- Melitidae
- Phoxocephalidae
- Phtisicidae
- Urothoidae



PANEL DE EXPERTOS

El 23 de junio de 2011, se hizo llegar a los diferentes expertos que más adelante se relacionan, la siguiente carta:

Joan Ignasi Gairin

Desenvolupament de la Recerca i la Innovació
IRTA
Ctra. de Poblenou Km. 5,5
43540 Sant Carles de la Ràpita
(Tarragona) Spain
Telf. 902 789 449 Ext:1825
Ignasi.gairin@irta.cat

Jordi Carreras Doll

Litoralgestion de Producciones Acuicolas S.L.
Alvarez nº 9, C-3
08173 Sant Cugat del Valles
Tel. 0034629731015Fax 0034935892058
litoralgestion@telefonica.net
www.litoralgestion.com

Sant Carles de la Ràpita junio 23, 2011

Estimado/a Sr/a:

Nos gustaría invitarle como experto al “Panel de Expertos e Implicados en el Seguimiento Ambiental de los Cultivos Marinos en Jaulas Flotantes”. Este panel surge del proyecto “Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina”, financiado por los Planes Nacionales de Acuicultura JACUMAR (2008 – 2011) de la Secretaría General del Mar (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino). Este proyecto surge de la necesidad de homogeneización de los estudios de seguimiento ambiental en el territorio nacional.

El objetivo principal es la elaboración de un *protocolo estandarizado para la elaboración de los estudios de seguimiento ambiental de los cultivos marinos en jaulas flotantes*, que se adapte a las distintas situaciones en que se desarrolla esta actividad en todo el territorio nacional. Su elaboración se basa en una serie de consideraciones científicas, metodológicas, socio-económico y de gestión.

Con su apreciada participación podremos llegar a definir una herramienta consensuada, eficiente y válida de vigilancia ambiental destinada a los cultivos marinos en jaulas flotantes. Una vigilancia ambiental encaminada a que la actividad productiva sea cada vez más respetuosa y sostenible.

Le ruego que me comunique con la mayor brevedad posible, que días estará disponible durante la semana del 4 al 8 de julio, para hacerle una visita.

Atentamente,



Joan Ignasi Gairin



Jordi Carreras Doll

Se hicieron tres grupos de expertos:

- 1-Administración y científicos
- 2-Consultores y empresarios
- 3-Cofradías de Pescadores y Capitanías Marítimas

1- Administración y científicos

Sr. Ramon Jordana Simon
Departament de *Medi Ambient i Habitatge*. Agència de Residus de
Catalunya. *Dr. Roux*, 80. 08017 Barcelona. rjordana@gencat.cat

Sr. Eduard Chifre Petit *Direcció General de Pesca i Afers Marítims*
Av. Diagonal, 523-525, de Barcelona. jchifre@gencat.cat

Dr. Camp Sancho, Jordi
Departament: Biologia Marina i Oceanografia
ICM-SCIC BARCELONA
e-mail: jcampicm.csic.es

Dr. Gutiérrez, Joaquim CU -Director- jgutierrez@ub.edu
Diagonal Sud, Facultat de Biologia
DIAGONAL, 645
08028 BARCELONA Adreça postal 93 402 10 87
dega-biologia@ub.edu

Dr. Francesc Castello Orvay
Fac Biologia UAB. fcastello@ub.edu

2-Consultores y empresarios

Antonio Marzoa Notlevsen

A C A (Associació Catalana d'Aqüicultura)
Edifici de Cooperatives del Mar, Moll Pesquer s/n
08350 - Arenys de Mar (Barcelona)
telf. + 34 93 795 82 44
fax + 34 93 795 82 32
marzoa@danepa.net

- **Litoralconsul**

- Sr. Josep Hurtado Díaz : Marina Seca, Planta 1. Port Fòrum. C/ de la Pau 12, 08930 St. Adrià del Besòs (Barcelona) Tel: +34 93 409 06 95
- e-mail: pep@litoralconsult.com

- **Submon**

- Sr. Manel Gazo: C/Rabassa 49-51, local 1
- Barcelona, 08024 (ESP)
- Tel. (+34) 93 213 58 49
- info@submon.org

3-Cofradías de Pescadores y Capitanías Marítimas

Sr. Josep Molina , Confaria de Pescadors de l'Ampolla de Mar.
TARRAGONA

Sr. Fernando J. Collado Simón
Dirección General de la Marina Mercante
Capitanía Marítima de Tarragona
Arranque Rompeolas S/N 43001TARRAGONA
fcollado@fomento.es

A estos Srs. se les hizo llegar el PowerPoint, **PROTOCOLO PARA EL PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL (PVA)**, y un archivo con las preguntas siguientes:

- ¿Cuáles cree que serían los límites de la AZE?
- ¿Qué variables cree que se deberían utilizar? ¿Cuántas?
- ¿Que efectos sobre el medio considera indeseables o inadmisibles?
- ¿Con que intensidad se deben realizar los PVA?
- ¿Con que periodicidad se deberían llevar a cabo los seguimientos?
- ¿Se debe penalizar el incumplimiento de los EQS 's? ¿Como?
- ¿Se debe premiar el cumplimiento de los EQS y/o la mejora en la gestión ambiental de los cultivos? ¿Como?
- ¿Incluiría información sobre la sostenibilidad de la empresa en los PVA?

Relación canon ocupación con Pva

FEP y grado de implicación en el Pva que se propone para nuevos proyectos.

FEP y grado de implicación en el Pva en instalaciones en marcha y ampliación de inmovilizado.

Impuesto sociedades en relación según resultados Pva.

Valoración económica de los diferentes métodos analíticos

Pva en función del potencial productor de la empresa.

Repercusión económica del coste de Pva en el cash-flow.

Justificación de la admisión de efectos no deseados, con el coste del Pva.

Relación entre gastos de gestión y logística para el pva

Monitorización y Pva

Minimización de de los costes de Pva en relación a la gestión de los engordes.

Pva según distancia entre instalaciones.

Pva según densidad de instalaciones en una zona determinada

Disminución de costos del pva al compartir medios para el pva, en zonas con varias empresas.

Costos del Pva en relación a la distancia de la costa.

No se pudo reunir a estas personas, y se realizaron diferentes visitas a sus lugares de trabajo.

El resumen de las diferentes entrevistas fue el siguiente:

- (i) Se deben tener en cuenta los niveles de referencia de la calidad del entorno, entendiéndose que cada lugar tiene unas características determinadas. De estos niveles de base, se deben coger como niveles no admisibles.
- (ii) Premiar el seguimiento de Pva correcto. Se deben imponer castigos por no cumplir lo establecido en el Pva.
- (iii) Se debe atender a la legislación existente, como las normativas de las aguas de litoral.
- (iv) A nivel de sedimento se debe atender a la legislación que regula los aspectos permitidos en la zona.
- (v) Difundir que la actividad es positiva, desde el punto de vista medioambiental
- (vi) Tener en cuenta los parámetros ambientales legislados: Rutas migratorias, antibióticos, especies aloctonas.
- (vii) No desequilibrar las comunidades bentónicas.
- (viii) Descartar fondos rocosos, y en los arenosos llegar a un consenso
- (ix) Minimizar los problemas que se ocasionan a las aves con las redes anti pájaros.
- (x) El Pva ha de garantizar que no se alterara la ley de aguas.
- (xi) Las buenas prácticas se han de cumplir y no rebajar el canon de ocupación. No se puede institucionalizar un premio por realizar un buen Pva.
- (xii) Vigilar la liberación de metales pesados, usando pinturas antifouling.
- (xiii) Los FEP, pueden intervenir en la mejora de los Pva.

Sant Carles de la Ràpita , noviembre 2011



Selección de indicadores,
determinación de valores
de referencia, diseño de
programas y protocolos
de métodos y medidas
para estudios ambientales
en acuicultura marina

Informe Final



ÍNDICE.

1.- Introducción	1
1.1.- Efectos de la acuicultura en el medioambiente.....	2
1.1.1.- Impactos más relevantes	4
1.2.- Identificación de las acciones capaces de producir impactos.....	6
1.2.1.- Sistema de Gestión Medioambiental	7
1.3.- Justificación y objetivo del PVA	8
2.- Objetivos de este proyecto	10
3.- Resumen del proyecto "Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina"	12
3.1.- Diseño experimental	13
3.2.- Actividades realizadas.....	15
3.3.- Resultados.....	18
3.4.- Conclusiones	55
4.- Diseño de un PVA para seguimiento de sistemas <i>off-shore</i> de acuicultura	58
4.1.- Parámetros propuestos.....	60
4.1.1.- Parámetros de Obligado Cumplimiento	60
4.1.2.- Parámetros Complementarios.....	64

4.1.2.1.- En Sedimento	64
4.1.2.2.- Comunidades de Especial Interés	65
4.1.2.3.- Sistema de Gestión Ambiental	66
4.1.2.4.- Corrientes.....	68
4.1.3.- Parámetros en Situaciones Especiales	69
4.1.3.1.- Agua.....	70
5.- Propuesta PVA	73
5.1.- Diseño de muestreo	73
5.2.- Número de muestras.....	75
5.3.- Localización de los puntos de muestreo	75
5.4.- Periodicidad	79
5.5.- Metodología.....	79
5.5.1.- Parámetros de Obligado Cumplimiento	80
5.5.2.- Parámetros Complementarios.....	80
5.5.3.- Parámetros en Situaciones Especiales	83
5.6.- Valores de referencia	84
5.6.1.- Rangos de afección en Parámetros de Obligado Cumplimiento	85
5.6.2.- Rangos de afección en Parámetros Complementarios.....	86
5.6.3.- Rangos de afección en Parámetros de Situaciones Especiales .	87
6.- Bibliografía	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de Materia orgánica (método de LOI).....	18
Tabla 2. Anova para la Materia orgánica (método de LOI).....	19
Tabla 3. SNK para la Materia orgánica (método de LOI).....	20
Tabla 4. Valores de Materia orgánica (WB).....	20
Tabla 5. Anova para la Materia orgánica (método de WB).....	21
Tabla 6. SNK para la Materia orgánica (método de WB).....	22
Tabla 7. Valores de Fósforo (método de BR).....	22
Tabla 8. Anova para Fósforo Total (método de BR).....	23
Tabla 9. SNK para el fósforo (método de BR).....	24
Tabla 10. Valores de granulometría.....	25
Tabla 11. Valores para la fracción de sedimento de porcentaje < de 0,063 mm...	27
Tabla 12. ANOVA para la fracción más fina de la granulometría.....	28
Tabla 13. SNK para la fracción más fina de la granulometría.....	28
Tabla 14. Valores de Carbono Orgánico Total.....	29
Tabla 15. ANOVA para COT.....	30
Tabla 16. SNK para la fracción más fina de la granulometría.....	30
Tabla 17. Valores de Sulfuro.....	31
Tabla 18. ANOVA para COT.....	31
Tabla 19. SNK para los valores de sulfuro.....	32

Tabla 20. Valores de porcentaje de Nitrógeno Total.....	33
Tabla 21. ANOVA Nitrógeno Total	34
Tabla 22. SNK para los valores de nitrógeno total.....	34
Tabla 23. Valores de porcentaje de Azufre.....	35
Tabla 24. ANOVA para los resultados de azufre.....	36
Tabla 25. SNK para los valores de azufre	36
Tabla 26. Valores de porcentaje de Carbono.....	37
Tabla 27. ANOVA para los resultados de carbono	38
Tabla 28. SNK para los valores de carbono.....	38
Tabla 29. Valores de porcentaje de Hidrógeno	39
Tabla 30. ANOVA para los resultados de Hidrógeno.....	40
Tabla 31. SNK para los valores de hidrógeno.....	40
Tabla 32. Valores de Isótopo del Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$)	41
Tabla 33. ANOVA para los resultados del Isótopo del Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$).....	42
Tabla 34. SNK para los valores del Isótopo del Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$)	42
Tabla 35. Valores de pH	43
Tabla 36. ANOVA para los resultados de pH.....	44
Tabla 37. SNK para los valores de pH	44
Tabla 38. Valores de Potencial Redox	45
Tabla 39. ANOVA para los resultados Potencial redox	46
Tabla 40. SNK para los valores de potencial redox.....	46

Tabla 41. Abundancias medias de infauna, en tono más oscuro las familias de poliquetos.....	47
Tabla 42. Datos del análisis de diversidad de poliquetos	48
Tabla 43. Disimilitud entre A y B	50
Tabla 44. Disimilitud entre A y C	51
Tabla 45. Disimilitud entre B y C.....	51
Tabla 46. Análisis de diversidad de anfípodos.....	52
Tabla 47. Diferencia de anfípodos entre A y B	54
Tabla 48. Diferencia de anfípodos entre A y C	55
Tabla 49. Diferencia de anfípodos entre B y C	55
Tabla 50. Resumen de los parámetros propuestos, rangos, calificación de impacto y medidas correctoras.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Contenido en MO obtenido mediante el método de LOI para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2. Contenido en MO obtenido mediante el método de W&B para las estaciones de ADSA y Procria</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3. Contenido en P obtenido mediante el método de Burton y Riley para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4. Distribución granulométrica de las muestras para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 5. Porcentaje medio de la fracción < 0,063 mm de sedimento para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6. Carbono Orgánico Total para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7. Valores de Sulfuros para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases).</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8. Valores de Nitrógeno Total para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 9. Valores de Azufre para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 10. Valores de Carbono para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.</i>	<i>37</i>

<i>Figura 11. Valores de Hidrógeno para las estaciones de ADSA y PROCRÍA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 12. Valores de Isótopo del Nitrógeno para las estaciones de ADSA y PROCRÍA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 13. Valores de Isótopo del pH para las estaciones de ADSA y PROCRÍA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 14. Valores de Potencial redox para las estaciones de ADSA y PROCRÍA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 15, Riqueza de familias de poliquetos registrada.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 16. Abundancia de familias de poliquetos registrada.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 17. Diversidad de Margalef de poliquetos.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 18. Equitatividad de Pielou poliquetos.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 19. Diversidad de Shannon poliquetos.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 20. MDS con las zonas de muestreo (Verde: A; Azul marino: B; Azul celeste: C)</i>	<i>50</i>
<i>Figura 21, Riqueza de familias de anfipodos registrada.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 22, Abundancia de familias de anfipodos registrada.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 23, Diversidad de Margalef de familias de anfipodos registrada.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 24, Equitatividad de Pielou de familias de anfipodos registrada.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 25, Diversidad de Shannon de familias de anfipodos registrada.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 26. MDS con las zonas de muestreo (Verde: A; Azul marino: B; Azul celeste: C)</i>	<i>54</i>
<i>Figura 27, Ejemplo de estudio de dispersión de acuicultura.</i>	<i>69</i>

<i>Figura 28,Esquema de procesos que tienen lugar en un sistema off-shore de cultivos marinos</i>	<i>72</i>
<i>Figura 29. Esquema general de diseño de PVA</i>	<i>74</i>
<i>Figura 30. Vista lateral de una concesión tipo</i>	<i>76</i>
<i>Figura 31. Ejemplo de ubicación de las estaciones de muestreo para una concesión de cultivos de 12 jaulas y una producción entre 500 y 2000 Tn</i>	<i>77</i>
<i>Figura 32. Ejemplo de ubicación de las estaciones de muestreo para una concesión de cultivos de 2 trenes de 12 jaulas (total 24) y una producción de más de 2000 Tn.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 33. Ejemplo de ubicación de las estaciones de control</i>	<i>78</i>

1.- INTRODUCCIÓN

La acuicultura marina en jaulas flotantes ("off-shore") surge como actividad complementaria para contribuir al abastecimiento de productos de origen marino a la población, dada la fuerte demanda del mercado y la actual sobreexplotación de dichos recursos. Entendida pues como una actividad productiva que requiere de su desarrollo en el medio natural presenta unos efectos medioambientales, lo que hace necesario establecer una metodología de estudio y seguimiento del impacto que se produce. Esta necesidad surge tanto de la obligada protección del medio como de la propia supervivencia del futuro de la actividad acuicultora.

En términos generales, la acuicultura puede causar impactos sobre el medio ambiente a través de procesos como el consumo de recursos, el proceso de transformación o producción y la generación del producto final.

El impacto medioambiental de una piscifactoría marina estará íntimamente relacionado con el tipo y método de cultivo (especie y tipo de alimentación), la densidad, el volumen de producción, la zona de implantación y las condiciones hidrográficas. Pero también va a depender de la sensibilidad de los ecosistemas presentes en dicho medio; praderas de fanerógamas marinas, moluscos y cnidarios filtradores, anélidos poliquetos, etc.

La deposición de restos orgánicos sobre los fondos marinos y la alteración de las comunidades biológicas existentes son consideradas como el principal impacto ambiental de la acuicultura.

Estos restos orgánicos están formados por sólidos en suspensión que provienen del alimento no ingerido y desechos de los organismos cultivados, así como de la epifauna, plantas y demás organismos asociados a las estructuras de las jaulas, que sedimentan en el fondo en forma de materia orgánica particulada o bien son resuspendidos en la columna de agua causando severos efectos medioambientales.

Son numerosos los trabajos llevados a cabo en diferentes países sobre los efectos que la acuicultura tiene en el medio ambiente; Brown et al., 1987; Jan Aure *et al.*, 1990; Weston, 1990; Gowen, 1991; Iwama, 1991; Karakassis, 2000; Vergara Martín, J.M., González Henríquez, N., Haroun Tabraue, R.J., Molina Domínguez, L. y García Rodríguez, I. 2001; Soler-Onís, E. N. González-Henríquez y García-Rodríguez I, 2001 a y b; Dempster et al., 2002; Aguado y García, 2004. Estudios llevados a cabo en diversas piscifactorías han demostrado que se puede detectar un impacto significativo en un radio de un kilómetro alrededor de las jaulas de cultivo, siendo éste generalmente mayor en el sedimento, donde se puede observar un incremento en la demanda de oxígeno, procesos anóxicos, producción de gases tóxicos, cambios en las comunidades, disminución de la diversidad del bentos, desarrollo de especies resistentes a la contaminación, que pueden resultar dañinas para las especies cultivadas, y fomentar blooms de fitoplancton, entre otros.

El desarrollo sostenido de la acuicultura costera necesita de un buen entendimiento con el medio ambiente, respetándolo y realizando acciones que tiendan a disminuir los posibles impactos que se deriven de dicha actividad. A la hora de identificar los efectos ambientales de la acuicultura marina es interesante hacer en primer lugar una evaluación general, en los diferentes ámbitos donde se desarrolla la actividad, de los posibles impactos ambientales que se producen, así como los principales objetivos y directrices para mejorar la gestión ambiental.

1.1.- Efectos de la acuicultura en el medioambiente

Se conoce como impacto al "conjunto de consecuencias provocadas por un hecho o actuación que afecta a un entorno o ambiente social o natural".

La actividad acuícola constituye una de las actividades económicas que ha experimentado el mayor crecimiento durante los últimos años y como actividad productiva que es, ejerce un efecto en el medio ambiente que la rodea.

España, y muy especialmente Canarias, poseen una costa con una orografía y un clima muy diversos que proporcionan las características físico-químicas y ambientales idóneas para el desarrollo y expansión de la misma. Sin embargo y de acuerdo con la **ley 16/2002, de 1 de Julio, de prevención y control integrado de la contaminación**, relativa a la prevención y control integrado de la contaminación es **objetivo** de todos proteger al medio ambiente en su conjunto, aplicando los principios de prevención y control ambiental de una forma integrada, con el fin de impedir la transferencia de contaminación de un medio a otro. Para ello se deben imponer específicamente para cada instalación valores límite en todos los vectores ambientales (atmósfera, aguas, ruidos, residuos, suelos, etc.), así como Planes de Vigilancia al respecto.

Según además la **ley 11/1990, de 13 de julio, de Prevención del Impacto Ecológico de la Comunidad Autónoma de Canarias**, los proyectos de acuicultura (incluidos en el anexo II de dicha ley) están obligados a someterse a una Evaluación de Impacto Ambiental; **Real decreto legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos**, cuyo artículo 7, capítulo II, establece además que deberán incluir, entre otros, un **Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)** que garantice el cumplimiento de las indicaciones y medidas, protectoras y correctoras contenidas en el EIA.

El seguimiento ambiental que se establece para la acuicultura debe perseguir evaluar y cuantificar los cambios ecológicos que tienen lugar en el medio marino, de manera que se puedan identificar impactos y establecer medidas correctoras para minimizarlos. Hay que hacer uso de indicadores representativos, fiables y relevantes de la influencia en el sistema, así como fáciles de medir y de número reducido.

En función de esto un Plan de Vigilancia Ambiental debe integrar la totalidad de los efectos que puede producir cualquier actividad piscicultora en el medio marino en particular y debe proporcionar un instrumento dinámico de previsión y control de estos efectos;

- Introducción de especies alóctonas
- Uso indiscriminado de fármacos (antibióticos para controlar o prevenir enfermedades de los peces en granjas costeras y hormonas para el crecimiento) que dan como resultado cambios cualitativos y cuantitativos en la flora microbiana y efectos tóxicos en los organismos salvajes
- Otro tipo de agentes químicos, como los pesticidas, antiincrustantes o productos de limpieza son también contaminantes para el medio marino y pueden alterar gravemente el ecosistema al resultar tóxicos para la vida marina y la especie cultivada
- Incremento en la demanda de oxígeno y producción de procesos anóxicos y gases tóxicos
- Cambios en las comunidades bentónicas
- Disminución de la diversidad y desarrollo de especies resistentes a la contaminación que pueden resultar dañinas para las especies cultivadas
- ...etc

Todos estos efectos y el conjunto de sus consecuencias son de vital importancia para la sostenibilidad del medio ambiente en general y de los propios productores en particular.

1.1.1.- Impactos más relevantes

De todos los posibles impactos que pueden producir las acciones antes identificadas en una fase de producción de una empresa piscicultora en jaulas, el causado sobre el sedimento es sin duda el que merece mayor atención y esfuerzo de minimización (Pearson, TH y R. Rutger (1978), Karakassis, I (2011)).

El sedimento actúa como sumidero de una gran cantidad de material orgánico particulado de origen natural y no natural, que puede ser generado en el mar por las comunidades biológicas que lo habitan o ingresar a esta a través de otras fuentes antrópicas. Los sedimentos tienen una importante función reguladora en el ecosistema costero debido a la gran capacidad de almacenaje de materia orgánica y, por lo tanto, de nutrientes. Ellos afectan el balance de oxígeno de las aguas de fondo y permiten la renovación o liberación de nutrientes nuevos hacia la columna de agua, lo que finalmente también afecta a la producción de fitoplancton (Jorgensen 1996). Por otra parte, se debe tener presente, que en los sedimentos costeros existe una alta tasa de metabolismo microbial, el que dependiendo de la cantidad de materia orgánica acumulada y de la tasa de ventilación puede provocar condiciones de hipoxia o anoxia en los sedimentos y en los estratos suprayacentes de la columna de agua (Libes 1992, Silva 1998).

Si el aporte de oxígeno disuelto decae o su demanda se incrementa, se producen cambios dramáticos en la química del sedimento, en los procesos metabólicos bacterianos dominantes y en el flujo de nutrientes hacia el agua suprayacente, lo cual tiene consecuencias en la supervivencia de los organismos bentónicos.

Para un lugar determinado, la profundidad de la interfase óxido-reductora puede cambiar entonces a lo largo del año dependiendo de la tasa de sedimentación de material orgánico y de la concentración de oxígeno del agua que se encuentra sobre el sedimento (Jorgensen 1996). Los sedimentos y sus comunidades bentónicas asociadas son, por lo tanto, una de las partes más sensibles del ecosistema costero.

Las diferentes acciones y los efectos que estas van a tener sobre el medio bentónico constituyen el objetivo principal de este proyecto para buscar los mejores y más eficaces indicadores de perturbación sobre los recursos de plantas y animales que constituyen el fondo sobre el que sustenta la actividad piscicultura en jaulas flotantes *off-shore*.

1.2.- Identificación de las acciones capaces de producir impactos

La acuicultura debe hacer frente a varios desafíos, pero principalmente a la creciente competencia por los recursos naturales (el espacio, el agua, etc) ya que como otras muchas actividades de cultivo, depende de su utilización para subsistir. Lo que determina la naturaleza y escala de las interacciones ambientales es fundamentalmente la utilización de tales recursos por parte de los acuicultores y el acceso a una cantidad y calidad adecuada de esos recursos. Desde el punto de vista económico, el principal problema que debe afrontar para promover su desarrollo es la **reducción de sus efectos externos**. Para ello es necesario minimizar estos efectos que crean condiciones desfavorables sobre el medio.

El cultivo en jaulas flotantes *off-shore* consiste básicamente en un polígono de estructuras que consta cada una de ellas de un elemento flotante, un sistema de anclaje superficial que une al conjunto de estructuras flotantes entre sí y otro sistema de anclaje que une todo el conjunto al fondo marino.

De cada uno de esos elementos flotantes cuelga una red que encierra una biomasa de peces en su interior, la cual se va engordando con el paso del tiempo mediante la utilización de técnicas de cultivo específicas para la especie.

Las acciones susceptibles de producir efectos ambientales en el medio se dividen según se produzcan en la fase de instalación, la fase de explotación y en una hipotética fase de abandono de las instalaciones y la posterior recuperación del fondo.

Para evitar o minimizar los impactos negativos sobre el medio en la fase de producción durante la cual se llevan a cabo los Planes de Vigilancia se deberían tener en cuenta al menos los siguientes aspectos relacionados con este tipo de actividades:

- *Siembra*: Acción por la que se introduce en el medio marino, en las infraestructuras montadas para tal fin, la especie objeto de producción, teniendo en cuenta para ello el trasvase a las instalaciones en mar abierto mediante la embarcación adecuada.
- *Alimentación*: el fin es conseguir la mejor producción con el mínimo efecto posible sobre el medio.
- *Cuidado de los ejemplares*: Aplicación de tratamientos preventivos y tratamientos curativos, además de la retirada de ejemplares enfermos y muertos.
- *Muestreo*: Verificación de la talla y el peso de los ejemplares en producción a modo de control, con el consecuente traslado de los peces y la utilización de la maquinaria necesaria.
- *Mantenimiento de las instalaciones*: Proceso por el cual se realizan las labores de limpieza, mantenimiento y reparación de las redes y entramado de las jaulas (productos *antifouling*).
- *Despesque o trasvase de ejemplares cultivados*: Proceso por el cual se extraen los ejemplares cultivados para su comercialización o trasvase a otro recinto.
- *Manejo de embarcaciones* implicadas en las diferentes tareas de producción
- Instalaciones en tierra para almacenar el pienso, material de laboreo, herramientas, redes y residuos.

1.2.1.- Sistema de Gestión Medioambiental

Los problemas medioambientales que causa la acuicultura en general pueden ser minimizados, incluso eliminados con un buen plan de buenas prácticas.

Los emprendimientos/establecimientos de acuicultura deben operar con responsabilidad con el objetivo de cumplir con el código de Buenas Prácticas de la actividad (FAO, Roma,1995) cuyo objetivo es minimizar cualquier impacto negativo sobre la salud humana y el medio ambiente, incluyendo cualquier potencial cambio ecológico.

Las soluciones correctas parten de planteamientos correctos. La crianza de seres marinos requiere de una calidad del agua y un entorno sin contaminar ya que el principal interesado en mantener su medio en las mejores condiciones es el criador. La contaminación del medio, venga de donde venga, de la propia actividad de crianza o de actividades o circunstancias exteriores, es incompatible con la Acuicultura Sostenible, por lo que hay una serie de condiciones y pautas previas indispensables para mantener la actividad en el tiempo y no arruinar el propio negocio.

En base a este y otros objetivos que nos marcamos en este primer borrador acerca de un PVA estandarizado para los cultivos marinos, se propone como segundo sistema de monitorización un protocolo de buenas prácticas que incluya la revisión y control de algunas pautas a seguir en la Gestión del cultivo y como condicionantes indispensables para mantener una Acuicultura Sostenible.

1.3.- Justificación y objetivo del PVA

Hasta ahora el enfoque que se le da a un Plan de Vigilancia Ambiental para la acuicultura marina en jaulas flotantes, así como los requerimientos de los estudios ambientales que deben aportar, varían mucho entre comunidades en función de las administraciones autonómicas a las que estén sujetas y la empresa ambiental que lo realice. Por esto, y a lo largo de diversos estudios de investigación realizados al respecto, existe una demanda urgente por parte de todos los sectores implicados de uniformar y estandarizar todo lo relativo a los estudios ambientales que debe integrar un PVA.

El objetivo principal de este estudio enmarcado en el proyecto JACUMAR: “*Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina (2008-2010)*”, es el **establecimiento de las bases sobre las que diseñar protocolos y planes de seguimiento ambiental de la acuicultura y generar un protocolo para la formulación de futuros Programas de Vigilancia con el único propósito de facilitar a las empresas estudios ambientales más prácticos, entendibles y fácilmente identificables, así como simplificar a las administraciones la gestión ambiental relativa a la acuicultura marina.**

El objetivo específico de este informe es adelantar un **primer borrador** acerca del futuro PVA propuesto por la comunidad de Canarias para cumplir con los objetivos antes expuestos. Se trata de un protocolo unificado de requerimientos para el seguimiento de vigilancia sistemática en instalaciones de acuicultura que garantice la calidad de la información presentada y esté acorde con la legislación vigente en materia de PVA. Por tanto, se formalizará en un protocolo que recoja los requerimientos tanto en objetivos y estándar de calidad, que marque el diseño de muestreo, la determinaciones de los parámetros en el laboratorio y el tratamiento de los datos obtenidos. Este PVA debe contener:

- Las variables medidas
- Los protocolos usados en el tratamiento y análisis de las muestras
- El número de muestras, tamaño de las unidades de muestreo
- Mapa de la distribución espacial de las estaciones de muestreo
- Numero de réplicas
- Épocas del año en las que se realizó el muestreo
- Frecuencia de muestreo

- Análisis estadísticos aplicados
- Anexos que ilustren los procedimientos de control de calidad, análisis de datos, plantillas, etc.

2.- OBJETIVOS DE ESTE PROYECTO

Objetivo General

El objetivo general de este proyecto está dirigido hacia el establecimiento de las bases sobre las que diseñar protocolos y planes de seguimiento ambiental de la acuicultura y generar un protocolo para la formulación de Programas de Vigilancia Ambiental, con el propósito de facilitar a las empresas el desarrollo de los estudios ambientales pertinentes, y simplificar a las administraciones la gestión ambiental relativa a la acuicultura marina.

Objetivos Específicos

Los objetivos específicos propuestos del proyecto han sido:

Objetivo 1. Identificar los parámetros y métodos de trabajo de los estudios ambientales en las CCAA.

- Revisión de proyectos JACUMAR (EIA 1997-1999, FBI 1998-2000, IPSIAM 2003 2005), estudios ambientales, planes de vigilancia o monitorización ambiental, proyectos de investigación, literatura científica, etc.

- Revisión de los protocolos JACUMAR "Protocolo para la gestión medioambiental de las instalaciones de acuicultura en jaulas" (1999 – 2007) AZTI.

- Elaboración de una base de datos con la información recopilada.

Objetivo 2. Elaborar un Modelo Conceptual causa-efecto para la monitorización ambiental de la acuicultura.

- Identificación de fuerzas motrices y elementos clave que determinan la estructura básica del modelo conceptual.

- Identificación de presiones, impactos y respuestas pertinentes para una mejor gestión ambiental de la acuicultura en jaulas.

- Elaboración (definición y propuesta) del modelo: búsqueda de datos existentes sobre cada elemento del modelo para alimentarlo. Establecer relaciones matemáticas estimadoras de las relaciones entre componentes del modelo.

Objetivo 3. Seleccionar y confirmar los parámetros indicadores y las metodologías aplicables al estudio y análisis de los parámetros propuestos. Definir y determinar los valores de referencia para dichos parámetros.

- Analizar los parámetros utilizados en los estudios de impacto ambiental (EIA) y planes de vigilancia ambiental (PVA) en las diferentes CCAA implicadas.

- Realizar el diseño de los muestreos espacial y temporal y el seguimiento espaciotemporal intenso en zonas impactadas pero sobre todo en múltiples zonas control.

- Información disponible en las diferentes CCAA sobre calidad del medio marino y valores de referencia de las masas de aguas litorales.

- Estudiar los parámetros establecidos y sus valores de referencia en todas las CCAA.

□ **Objetivo 4.** Generar un protocolo para la formulación de los Programas de Vigilancia Ambiental.

- Establecer las pautas para la programación de PVA.

- Realizar una serie de propuestas metodológicas aplicables a los estudios ambientales para monitorización de la acuicultura.

- Editar manuales incluyendo métodos, parámetros indicadores, análisis y gestión de datos para desarrollar la vigilancia ambiental de las instalaciones acuícolas en mar abierto.

□ **Objetivo 5.** Sentar las bases para la creación de una Red Nacional para el seguimiento ambiental de la acuicultura marina.

- Localizar la información disponible a escala nacional relativa al seguimiento ambiental.

- Organizar y agrupar la información en una base de datos y establecer los criterios para su aplicabilidad integral al territorio español.

- Realizar una serie de reuniones con Panel de expertos en todas las CCAA (de los sectores implicados: sector acuícola, consultorías, administraciones, etc...) para concensuar los protocolos.

3.- RESUMEN DEL PROYECTO “SELECCIÓN DE INDICADORES, DETERMINACIÓN DE VALORES DE REFERENCIA, DISEÑO DE PROGRAMAS Y PROTOCOLOS DE MÉTODOS Y MEDIDAS PARA ESTUDIOS AMBIENTALES EN ACUICULTURA MARINA”

El proyecto; “**Selección de Indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina**”, ha definido una serie de parámetros como mejores indicadores del estado del entorno de una concesión de cultivos marinos off shore a partir de su diferenciación entre niveles de polución y zonas de impacto, los cuales se utilizarán en esta primera propuesta para la realización de Planes de Vigilancia Ambiental en acuicultura off-shore .

3.1.- Diseño experimental

Al comienzo del proyecto, y en base a la bibliografía consultada y los diferentes planes de vigilancia ambientales que se han realizado en las concesiones de cultivos estudiadas, se plantearon los siguientes parámetros de estudio:

- Granulometría: Tamizaje en húmedo (Buchanan, 1984)
- Potencial redox (Eh); medida in situ mediante el uso de una sonda (Wildish, et al 1999)
- pH: medida in situ mediante el uso de una sonda (Wildish et al. 1999)
- Materia Orgánica (LOI); método de ignición (Davies,1974) basado en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a una temperatura de 430 °C en horno-mufla durante 24 h. Este método permite la determinación de la MO total del suelo, incluyendo las formas condensadas, humus, humatos y residuos orgánicos poco alterados.
- Materia Orgánica (W&B): método de combustión húmeda (Walkley-Black, 1934) consistente en una oxidación con dicromato de potasio en medio de ácido sulfúrico. La reacción toma el calor de la disolución del ácido, lo que eleva la temperatura y logra la oxidación del carbono orgánico. El dicromato residual es posteriormente titulado con una sal ferrosa (Carreira, 2005). El método de combustión húmeda determina sólo una parte del carbono orgánico, discriminando las formas condensadas y excluyendo en un 90 a 95% el carbono elemental (Jackson, 1976).
- Fósforo total (P); método de espectrofotometría tras una digestión con ácido nítrico y perclórico y en presencia de molibdato amónico. (Burton & Riley (1956))
- Nitrógeno Total (%TN), Carbono Orgánico Total (TOC) y Azufre Total (TS): mediante autoanalizador CHNS

- Sulfuros libres totales (S^2); medida in situ mediante el uso de una sonda (Wildish et al. 1999)
- Relación isotópica $^{14}N/^{15}N$ ($\delta^{15}N$): Mediante un autoanalizador elemental
- Macrofauna bentónica: Recolección de la muestra mediante corers, de la que se extrae una muestra de sedimento superficial (0-5cm) con una paleta y se procede a su tamizado con un tamiz de 500 micras y su fijación con formol al 4% en agua de mar. Se analizaron el grupo de Poliquetos y Anfípodos hasta su identificación taxonómica a nivel de familia.

Para el estudio estadístico de los factores elegidos se optó por un diseño experimental con cuatro factores:

Factor ZONA (ZO: fijo y ortogonal), con tres niveles siguiendo un gradiente de afección:

- Nivel A: Impacto severo, estaciones ubicadas bajo jaulas.
- Nivel B: Impacto moderado, estaciones ubicadas dentro de la zona de influencia pero no sometidas a impacto severo.
- Nivel C: No impacto, estaciones ubicadas en el entorno de las granjas pero sin recibir su influencia directa.

La ubicación exacta de las estaciones vendrá motivada por la experiencia del investigador y de su conocimiento sobre la zona de estudio. De manera general se consensó que el nivel de afección B se ubicaría a una distancia de entre 25 y 50 metros del nivel A, y el nivel C a una distancia superior a 300 metros de A.

Factor CAMPAÑA (CA: fijo y ortogonal), con dos niveles que viene determinados por los momentos de mayor y menor aporte de residuos (final de verano – principio de otoño y pleno invierno).

Factor LOCALIDAD (LO: aleatorio y ortogonal) con dos niveles correspondientes a las dos concesiones seleccionadas, Alevines y Doradas Sociedad Anónima (ADSA) y Productos de Crianza S.L. (PROCRIA), ambas dedicadas al engorde intensivo de dorada y lubina.

Factor ESTACIÓN (ES: aleatorio y anidado dentro de cada uno de los factores anteriores). Asegura un mayor abarcamiento de la variabilidad existente.

En cada campaña y en cada una de las zonas de cada localidad se tomaron tres réplicas de campo ($n = 3$) aleatorias de muestras de sedimento.

3.2.- Actividades realizadas

Las actividades desarrolladas durante el transcurso de este proyecto 2008-2011 han correspondido con el siguiente esquema planteado:

Línea 1: Identificar los parámetros y métodos de trabajo de los estudios ambientales

- 1.1. Revisión de proyectos, estudios, publicaciones, etc..
- 1.2. Elaboración de la Base de datos.
- 1.3. Implementación de la BDEAA.
- 1.4. Análisis de información de la BDEAA.

Línea 2: Elaborar un Modelo conceptual para la monitorización ambiental de la acuicultura

- 2.1. Identificación de Fuerzas Motrices y elementos clave que determinan la estructura básica del modelo conceptual
- 2.2. Identificación de: Presiones, impactos y respuestas pertinentes para una mejor gestión ambiental de la acuicultura en jaulas

2.3. Elaboración (Definición y propuesta) del modelo. Búsqueda de datos existentes sobre cada elemento del modelo para alimentarlo. Establecer relaciones matemáticas estimadoras de las relaciones entre componentes del modelo

Línea 3: Seleccionar y confirmar los parámetros indicadores y las metodologías aplicables. Definir y determinar los valores de referencia para dichos parámetros.

3.1. Estudiar los parámetros establecidos y sus valores de referencia

3.2. Determinar la escala espacial y temporal de medidas

3.3. Elaborar diseños experimentales apropiados

Línea 4: Generar un protocolo para la formulación de los Programas de Vigilancia Ambiental

4.1 Establecer las pautas para la programación de PVA.

4.2 Realizar una serie de propuestas metodológicas.

4.3 Elaborar el documento de formulación de los PVA.

4.4 Editar manuales incluyendo métodos, parámetros indicadores, análisis y gestión de datos para desarrollar la vigilancia ambiental de las instalaciones acuícolas en mar abierto.

Línea 5: Creación de una Red Nacional para el seguimiento ambiental de la acuicultura marina

5.1 - Recopilar la información disponible a escala nacional relativa al seguimiento ambiental

5.2 - Organizar y agrupar la información en una base de datos y establecer los criterios para su aplicabilidad integral al territorio español

5.3 - Crear la RED Nacional de SAAM

5.4. - Reunión de Panel de expertos (implicando a todos los sectores) para consensuar los protocolos establecidos.

En el año 2008 la ejecución del proyecto en cuanto a los objetivos previstos se basó en las dos primeras líneas de trabajo con ligeras modificaciones. Las modificaciones respondieron básicamente a la gran cantidad de información respecto a PVAs y EIAs existentes en determinadas CCAA que requirieron de más tiempo para ser analizadas a lo largo del proyecto, quedando las acciones 1.1., 1.2 y 1.3 como un proceso continuo para la obtención de datos históricos que después se utilizarían para establecer valores de referencia a nivel local o regional.

Las actividades desarrolladas durante el año 2009 se correspondieron con la tercera línea de trabajo. En este año se pretendían llevar a cabo las dos fases de la experiencia piloto, correspondiente con la actividad 3.1. Sin embargo, solo se realizó la primera fase, ya que los primeros 6 meses del año se dedicaron a la definición de los parámetros a estudiar, de las metodologías de análisis y de muestreo y a la elaboración del diseño experimental para el desarrollo de la experiencia piloto. Una vez analizadas las diferentes fuentes de información (PVA, Declaraciones de Impacto Ambiental, EIA, literatura científica, etc.) el siguiente paso fue la identificación de descriptores que podían ser definidos como indicadores potenciales para detectar posibles impactos generados por la actividad acuícola.

En el mes de abril tuvo lugar en la Universidad de Alicante una reunión, con participación de todos los grupos que intervienen en el proyecto, con los siguientes objetivos:

- Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos a estudiar, en las experiencias piloto de seguimiento ambiental de la acuicultura en mar abierto.
- Definir aspectos metodológicos de muestreo de campo y de análisis.
- Definir aspectos relativos al diseño de muestreo espacial y temporal.

La 2º fase de la experiencia comenzó en noviembre del 2009 y continuó en el 2010, entre los meses de marzo/abril. Con los resultados obtenidos a partir de la experiencia piloto se reorientó la formulación de una primera propuesta de protocolo para un PVA estandarizado de la acuicultura.

Durante este último año 2011 se han llevado a cabo una serie de reuniones con actores locales y a nivel nacional para la definición del protocolo de PVA para acuicultura con los últimos análisis y resultados obtenidos y cuyos datos se exponen en el siguiente apartado.

3.3.- Resultados

Tras la realización de las diferentes campañas de muestreo en la Comunidad Autónoma de Canarias los resultados obtenidos definieron aquellos parámetros que mejor funcionaron como Indicadores de polución en una concesión *off-shore* de acuicultura.

MATERIA ORGÁNICA (LOI)

En la tabla I, se muestran los resultados obtenidos para la materia orgánica, por el método de LOI en las dos concesiones de estudio y durante las dos fases de estudio.

Tabla 1. Valores de Materia orgánica (método de LOI)

Fase	Zona	ADSA		PROCRÍA	
		Media	ES	Media	ES
Fase I	A	4,383	0,824	3,217	0,854
	B	4,34	0,308	2,938	0,261
	C	3,838	0,403	2,938	0,261
Fase II	A	4,04	0,46	3,38	0,33
	B	4,57	0,66	2,95	0,33
	C	3,16	0,50	3,31	0,24

A priori, se apreciaron algunas diferencias entre las dos concesiones, y las diferencias entre estaciones (A, B y C) no fueron muy acusadas. Durante esta segunda fase, en Adsa, los valores bajo la concesión (A) fueron ligeramente superiores a la zona C, pero inferiores a la zona B. Sin embargo, en Procría, los valores de A y C fueron similares y superiores a los detectados en la zona B.

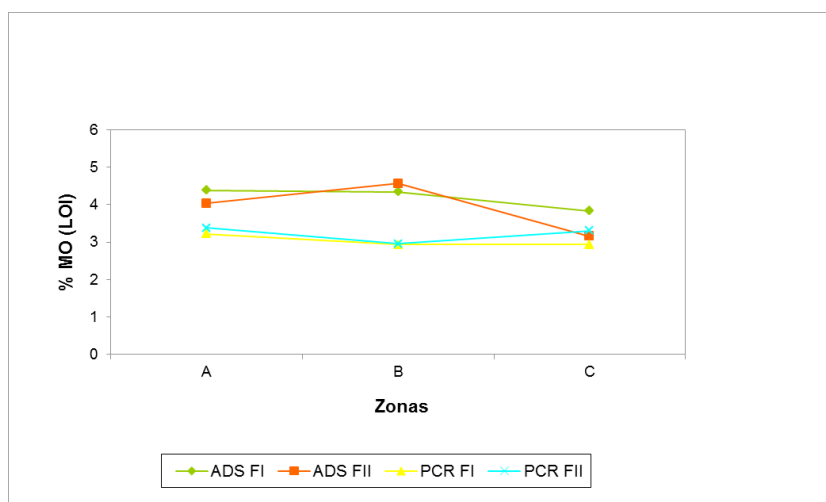


Figura 1. Contenido en MO obtenido mediante el método de LOI para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

El análisis estadístico presentó los siguientes resultados, detectándose diferencias significativas en el factor Zona, entre A, B y C, en el factor Localidad, entre las dos concesiones, en las estaciones de muestreo (réplicas) y en la interacción entre Zona y Campaña y Zona y Localidad

Tabla 2. Anova para la Materia orgánica (método de LOI)

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
ZO	4,176	2	2,088	10,893	***
CA	0,045	1	0,045	0,236	n.s.
LO	23,579	1	23,579	122,999	***
ES(ZO*CA*LO)	9,991	24	0,416	2,172	***
ZO*CA	0,375	2	0,187	0,978	n.s.
ZO*LO	5,798	2	2,899	15,121	***
CA*LO	1,379	1	1,379	7,193	***
ZO*CA*LO	1,817	2	0,909	4,740	**
Error	13,803	72	0,192		

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos generó las siguientes diferencias:

Tabla 3. SNK para la Materia orgánica (método de LOI)

SNK (0.05)			
ZO:	A = B ≠ C	CA*LO:	FI: PCR ≠ ADS
LO:	ADS ≠ PCR		FII: PCR ≠ ADS
ZO*LO:	Zona A: ADS ≠ PCR		ADS: FI ≠ FII
	Zona B: ADS ≠ PCR		PCR: FI = FII
	Zona C: ADS ≠ PCR		
	Adsa: C ≠ B = A		
	Procría: A=B=C		

Los principales resultados aquí revelan solamente que en ADSA la zona Control mostró diferencias con la zona Impacto mientras que en PROCRIA, tanto en la Fase I como en la Fase II, las tres zonas se mantienen sin diferencias.

MATERIA ORGÁNICA (WALKEY & BLACK)

En la tabla I, se muestran los resultados obtenidos para la materia orgánica, por el método de Walkey & Black en las dos concesiones de estudio y durante las dos fases de estudio.

Tabla 4. Valores de Materia orgánica (WB)

MO WB	ADSA			PROCRIA	
	Zona	Media	ES	Media	ES
Fase I	A	0,47	0,16	0,75	0,08
	B	0,35	0,03	0,51	0,08
	C	0,21	0,03	0,60	0,10
Fase II	A	0,56	0,25	0,58	0,02
	B	0,49	0,19	0,43	0,02
	C	0,30	0,02	0,47	0,03

Las diferencias entre estaciones (A, B y C) fueron claramente apreciables en la concesión de ADSA, y no tanto en Procría. Este comportamiento se registró para ambas fases de muestreo (FI y FII) detectándose una disminución de los valores a medida que nos alejamos de la fuente de impacto, principalmente en ADSA. En Procría, fue en el punto B, dónde se detectaron los valores mínimos.

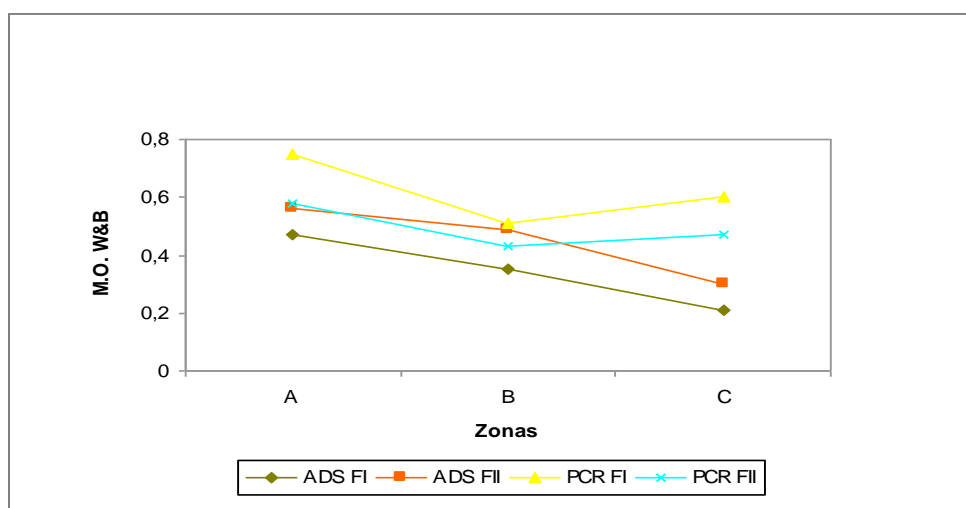


Figura 2. Contenido en MO obtenido mediante el método de W&B para las estaciones de ADSA y Procría

El análisis estadístico presentó los siguientes resultados, detectándose diferencias significativas entre todos los factores y sus interacciones entre ellos, menos en el factor Campaña que resultó no significativo y la interacción entre Zona, Campaña y Localidad (ZO*CA*LO).

Tabla 5. Anova para la Materia orgánica (método de WB)

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
ZO	0,70897	2	0,35449	154,93	***
CA	0,00233	1	0,00233	1,02	n.s.
LO	0,68829	1	0,68829	300,81	***
ES(ZO*CA*LO)	1,08884	24	0,04537	19,83	***
ZO*CA	0,02671	2	0,01335	5,84	***
ZO*LO	0,24307	2	0,12154	53,12	***
CA*LO	0,35306	1	0,35306	154,30	***
ZO*CA*LO	0,00279	2	0,00139	0,61	n.s.
Error	0,16474	72	0,00229		

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos generó las siguientes diferencias:

Tabla 6. SNK para la Materia orgánica (método de WB)

SNK (0.05)			
ZO:	C > B > A	LO*ZO:	ADS: C > B > C
LO:	ADS > PCR		PCR: B > C > A
ZO*CA:	FI: C ≥ B > A	CA*LO:	FI: ADS > PCR
	FII: C > B > A		FII: ADS > PCR
CA*ZO:	A: FII > FI	LO*CA:	ADS: FI > FII
	B: FI > FII		PCR: FII > FII
	C: FII ≥ FI		
ZO*LO:	Zona A: ADS > PCR		
	Zona B: ADS > PCR		
	Zona C: ADS > PCR		

Los resultados muestran como es en la concesión de ADSA dónde se registra una diferencia clara entre las zonas de muestreo (A, B y C) mientras que en la concesión de Procría las diferencias entre la zona intermedia (B) y la zona Control (C) no fueron tan obvias.

FÓSFORO

En la tabla III, se muestran los resultados obtenidos para el parámetro de Fósforo Total, por el método de Burton & Riley en las dos concesiones de estudio y durante las dos fases de estudio.

Tabla 7. Valores de Fósforo (método de BR)

P	ADSA			PROCRÍA	
	Zona	Media	ES	Media	ES
Fase I	A	2,7187	0,2322	1,5741	0,2579
	B	2,8762	0,2090	1,3750	0,2063
	C	2,6232	0,2602	1,2051	0,1618
Fase II	A	2,2667	0,1349	1,3600	0,1059
	B	2,5011	0,1373	1,4758	0,4104
	C	2,4318	0,1746	1,3421	0,1333

Las primeras gráficas descriptivas no mostraron ninguna diferencia entre las estaciones de muestreo (A, B y C), ni entre las diferentes fases, siendo clara solamente la diferencia entre zonas de muestreo (ADS – PCR). Los resultados no presentan un patrón lógico definido, siendo incluso los valores de Fósforo en la zona A inferiores en ocasiones a la zona B y C.

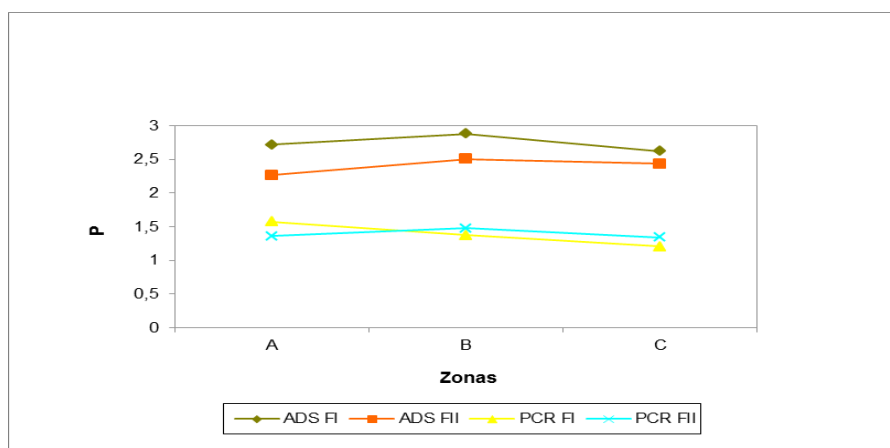


Figura 3. Contenido en P obtenido mediante el método de Burton y Riley para las estaciones de ADSA y PROCRÍA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

A pesar de esas inapreciables diferencias en la gráfica anterior, el análisis estadístico detectó diferencias significativas entre todos los factores y sus interacciones entre ellos, menos en la interacción Zona y Campaña.

Tabla 8. Anova para Fósforo Total (método de BR)

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
ZO	0,4407	2	0,2204	14,73	***
CA	0,8148	1	0,8148	54,45	***
LO	37,6531	1	37,6531	2516,28	***
ES(ZO*CA*LO)	3,4467	24	0,1436	9,60	***
ZO*CA	0,0650	2	0,0325	2,17	n.s.
ZO*LO	0,3259	2	0,1630	10,89	***
CA*LO	0,7421	1	0,7421	49,59	***
ZO*CA*LO	0,4321	2	0,2161	14,44	***
Error	1,0774	72	0,0150		

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos generó las siguientes diferencias:

Tabla 9. SNK para el fósforo (método de BR)

SNK (0.05)	
ZO:	C > A > B
CA:	FII > FI
LO:	PCR > ADS
ZO*LO:	Zona A: PCR > ADS
	Zona B: PCR > ADS
	Zona C: PCR > ADS
LO*ZO:	ADS: A = C > B
	PCR: C > B = A
CA*LO:	FI: PCR > ADS
	FII: PCR > ADS
LO*CA:	ADS: FII > FI
	PCR: FII = FI
ZO*CA*LO:	FI-ADS: C = A > B
	FI-PCR: C = A ≥ B
	FII-ADS: A > C = B
	FII-PCR: C > B > A
CA*ZO*LO:	A-ADS: FII > FI
	A-PCR: FI > FII
	B-ADS: FII > FI
	B-PCR: FII ≥ FI
	C-ADS: FII > FI
	C-PCR: FII > FI
LO*ZO*CA:	A-FI: PCR > ADS
	A-FII: PCR > ADS
	B-FI: PCR > ADS
	B-FII: PCR > ADS
	C-FI: PCR > ADS
	C-FII: PCR > ADS

Los resultados evidencian pues una similitud entre el factor zona, existiendo semejanza entre las estaciones A y ÇC en el caso de ADSA y entre la estación B y A en el caso de PROCRIA. También dejan claro la diferencia entre localidades y entre las distintas fases de muestreo.

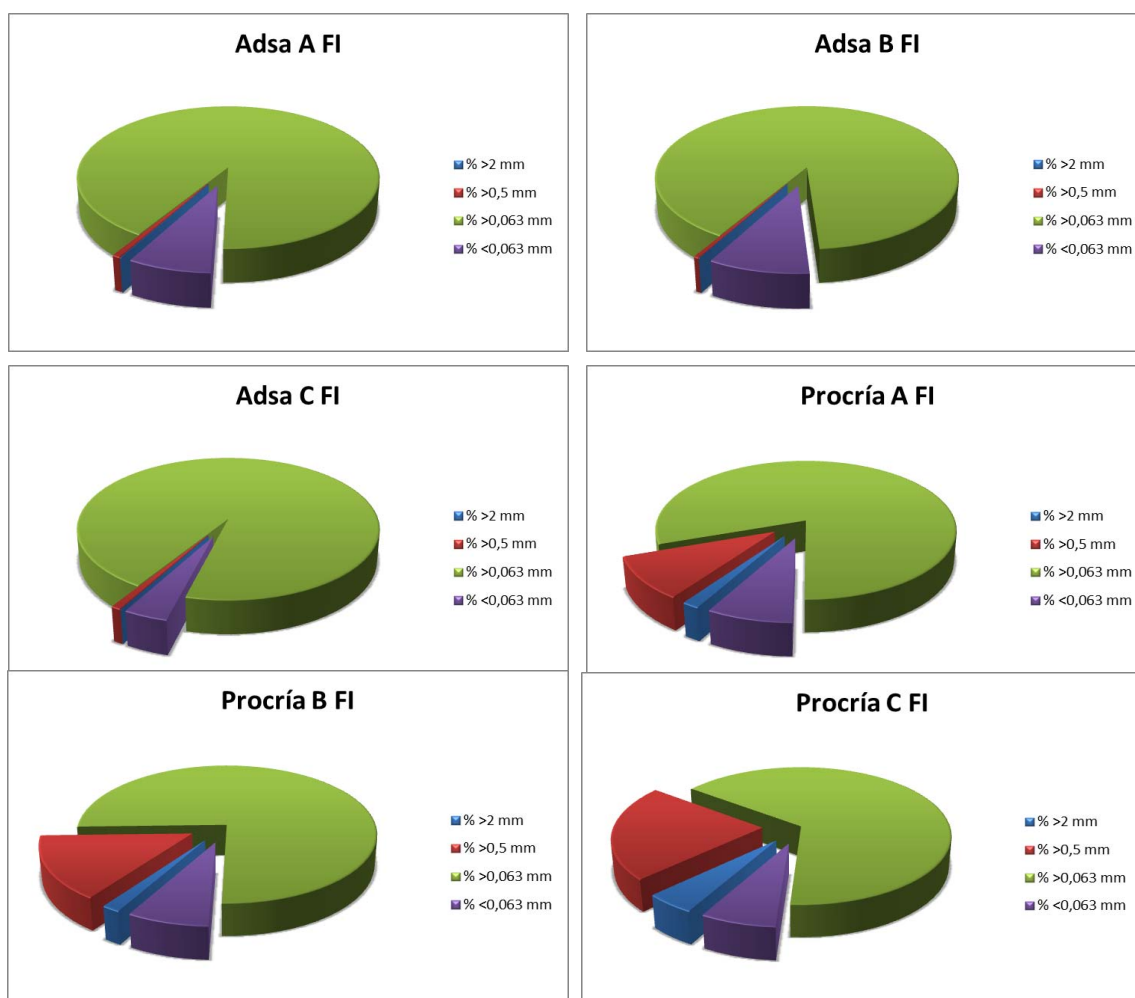
GRANULOMETRÍA

Para el análisis granulométrico se ha enfocado el análisis estadístico en el porcentaje de la fracción más fina del sedimento, la menor a 0,063 mm, ya que es la que posiblemente se vería más afectada por un cambio en el entorno como consecuencia de la interacción con los procesos del cultivo.

Para completar el estudio a continuación se muestran las gráficas de las diferentes composiciones de cada una de las estaciones que nos permite tener una idea del tipo de sedimento que nos encontramos en cada zona.

Tabla 10. Valores de granulometría

Fase I					Fase II				
ADSA	% >2 mm	% >0,5 mm	% >0,063 mm	% <0,063 mm	ADSA	% >2 mm	% >0,5 mm	% >0,063 mm	% <0,063 mm
A	0,08	0,71	91,60	7,59	A	0,04	5,93	93,34	0,70
B	0,03	0,48	91,19	9,29	B	0,19	0,82	96,27	2,72
C	0,02	0,87	95,11	4,06	C	0,13	1,90	97,07	0,89
PROCRÍA					PROCRÍA				
A	1,61	9,91	80,61	7,93	A	1,77	16,11	79,18	2,94
B	1,71	14,83	75,94	7,58	B	3,32	18,21	73,46	5,01
C	4,72	22,55	65,69	7,02	C	4,07	24,49	67,41	4,03



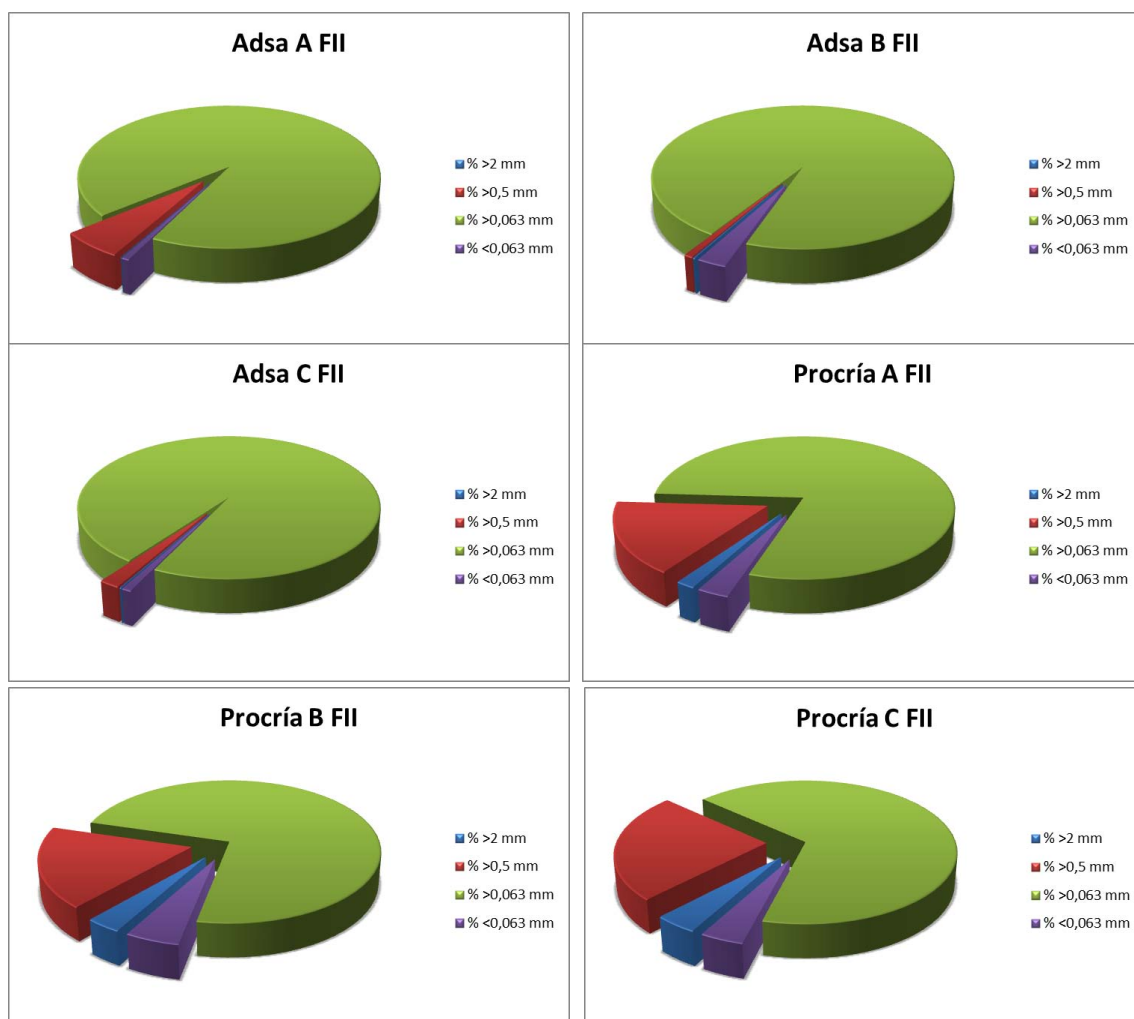


Figura 4. Distribución granulométrica de las muestras para las estaciones de ADSA y PROCRÍA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

En la tabla 11, se muestran los resultados medios obtenidos para la fracción de porcentaje < de 0,063 mm en las dos concesiones de estudio y durante las dos fases de estudio.

Tabla 11. Valores para la fracción de sedimento de porcentaje < de 0,063 mm

Gr <0,063mm	Zona	ADSA		PROCRÍA	
		Media	ES	Media	ES
Fase I	A	7,5921	3,3800	12,4500	2,3400
	B	9,2944	8,1184	11,8167	2,4106
	C	2,8833	2,1625	10,5870	3,4048
Fase II	A	0,6960	0,3958	2,9401	0,6667
	B	2,7179	1,6342	5,0112	1,8001
	C	0,8910	0,2599	4,0251	1,0019

La siguiente gráfica no muestra un patrón claro del comportamiento de la fracción menor de 0,063 mm de sedimento en las diferentes zonas de muestreo, tanto para ADSA como para PROCRÍA (A, B y C), si diferenciando claramente entre las localidades (ADS – PCR) y las campañas de muestreo (FI vs FII).

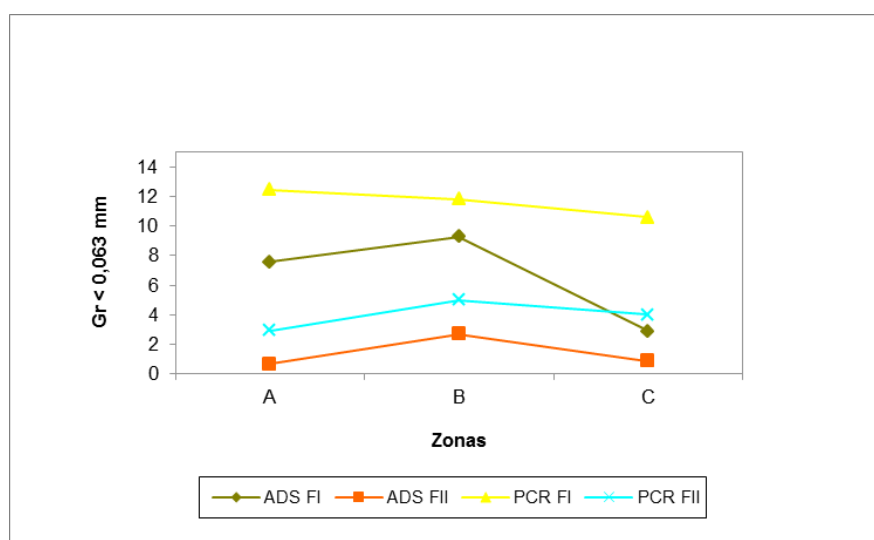


Figura 5. Porcentaje medio de la fracción < 0,063 mm de sedimento para las estaciones de ADSA y PROCRÍA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

El análisis estadístico realizado detectó diferencias significativas en todos los factores de forma individual y en todas las interacciones realizadas menos entre los factores Zona y Campaña (ZO*CA).

Tabla 12. ANOVA para la fracción más fina de la granulometría

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
ZO	435,64	2	217,82	15,201	***
CA	21630,09	1	21630,09	1509,515	***
LO	39934,77	1	39934,77	2786,956	***
ES(ZO*CA*LO)	838,63	24	34,94	2,439	***
ZO*CA	37,16	2	18,58	1,297	n.s.
ZO*LO	136,87	2	68,43	4,776	*
CA*LO	30175,48	1	30175,48	2105,878	***
ZO*CA*LO	250,38	2	125,19	8,737	***
Error	1031,70	72	14,33		

Tabla 13. SNK para la fracción más fina de la granulometría

SNK (0.05)	
ZO:	C > A = B
CA:	FI > FII
LO:	ADS > PCR
ZO*LO:	Zona A: ADS > PCR
	Zona B: ADS > PCR
	Zona C: ADS > PCR
LO*ZO:	ADS: C ≥ A ≥ B
	PCR: C > B > A
CA*LO:	FI: ADS > PCR
	FII: ADS > PCR
LO*CA:	ADS: FII > FI
	PCR: FI > FII
ZO*CA*LO:	FI-ADS: C = A = B
	FI-PCR: C = A = B
	FII-ADS: A = C = B
	FII-PCR: C > B > A
CA*ZO*LO:	A-ADS: FII > FI
	A-PCR: FI > FII
	B-ADS: FII > FI
	B-PCR: FI > FII
	C-ADS: FII = FI
	C-PCR: FI > FII
LO*ZO*CA:	A-FI: ADS = PCR
	A-FII: ADS > PCR
	B-FI: ADS = PCR
	B-FII: ADS > PCR
	C-FI: ADS = PCR
	C-FII: ADS > PCR

Tras el análisis a posteriori se destaca que los resultados varían en función de la localidad. Mientras en ADSA no existen diferencias entre las zonas de muestreo, en PROCRIA se observa una diferencia entre la zona B y C únicamente en la FII, ya que en la FI los valores son similares y no existen tales diferencias significativas.

CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)

El carbono orgánico total presentó claras diferencias entre las distintas localidades, con valores más altos en la localidad de Procría, que presenta un sedimento mucho más carbonatado. Sin embargo, dentro de cada concesión no se aprecian diferencias destacables en las estaciones de muestreo, ni entre campañas.

Tabla 14. Valores de Carbono Orgánico Total

Fase	Zona	ADSA		PROCRIA	
		Media	ES	Media	ES
Fase I	A	2,025	0,966	9,274	0,536
	B	1,261	0,35	9,296	1,103
	C	1,332	0,188	9,664	0,782
Fase II	A	1,40	0,53	9,11	0,67
	B	1,49	0,65	8,70	1,06
	C	1,67	0,16	9,41	0,60

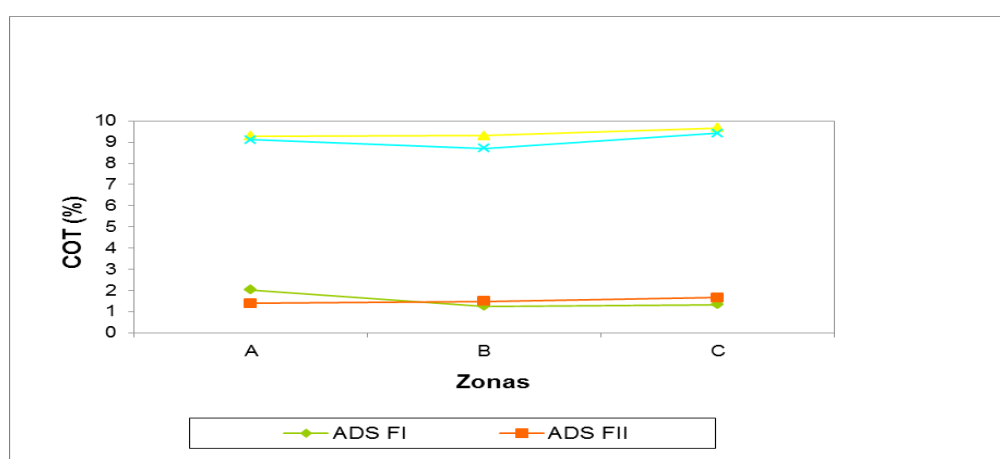


Figura 6. Carbono Orgánico Total para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

Las diferencias entre concesiones quedaron constatadas con el análisis estadístico, que evidenció diferencias significativas entre el factor Localidad.

Tabla 15. ANOVA para COT

	SS	Degr. of	MS	F	p
ZO	2,242	2	1,121	2,458	n.s.
CA	0,886	1	0,886	1,944	n.s.
LO	1606,286	1	1606,286	3523,058	***
ES(ZO*CA*LO)	14,062	24	0,586	1,285	n.s.
ZO*LO	1,527	2	0,763	1,674	n.s.
ZO*CA	0,375	2	0,187	0,978	n.s.
CA*LO	0,861	2	0,43	0,944	n.s.
ZO*CA*LO	2,945	4	0,736	1,615	n.s.
Error	32,827	72	0,456		

Tabla 16. SNK para la fracción más fina de la granulometría

SNK (0.05)	
LO:	ADS ≠ PCR

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos también reveló estas diferencias.

SULFUROS

El patrón registrado por los datos de sulfuro presentó una disminución en gradiente desde la zona más Impactada, debajo de las jaulas, hasta el punto más alejado de la fuente de impacto, el punto Control. En las diferentes concesiones el patrón fue el mismo, variando únicamente en la cantidad de Sulfuros presentes en la zona A, que alcanza su valor más alto en la fase I (otoño) de ADSA.

Tabla 17. Valores de Sulfuro

Fase	Zona	ADSA		PROCRÍA	
		Media	ES	Media	ES
Fase I	A	2127,43	1282,48	835,59	370,78
	B	11,4	18,71	103,77	85,36
	C	11,8	13,52	92,73	124,3
Fase II	A	1009,91	409,96	595,97	217,96
	B	41,92	70,15	71,61	53,10
	C	8,21	15,23	14,24	6,59

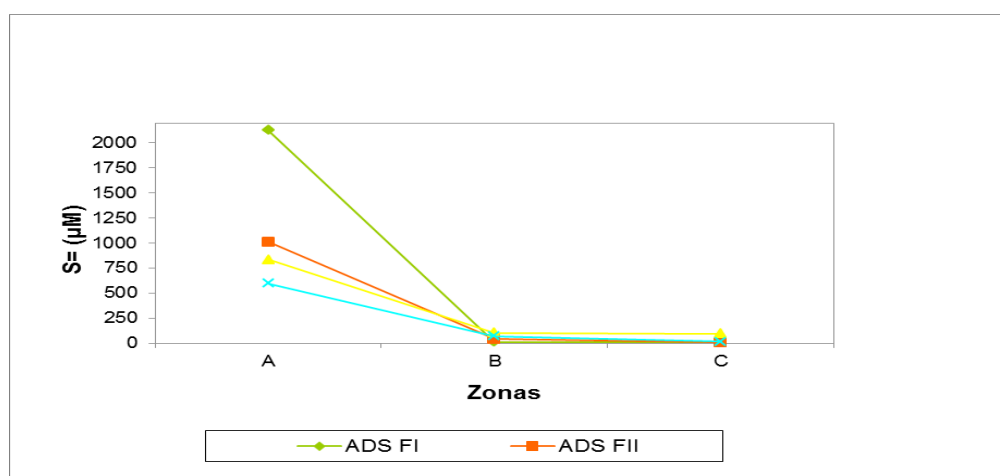


Figura 7. Valores de Sulfuros para las estaciones de ADSA y PROCRÍA en las distintas estaciones y en las diferentes fases).

Esta diferencia se constata con el análisis estadístico, que detectó diferencias significativas en todas las combinaciones.

Tabla 18. ANOVA para COT

	SS	Degr. of	MS	F	p
ZO	28930939	2	14465470	223,3235	***
CA	1558004	1	1558004	24,0531	***
LO	1681248	1	1681248	25,9558	***
ES(ZO*CA*LO)	11569107	24	482046	7,4420	***
ZO*LO	4915949	2	2457975	37,9472	***
ZO*CA	****	2	1300646	20,0799	***
CA*LO	411544	1	411544	6,3536	**
ZO*CA*LO	3945189	4	986297	15,2268	***
Error	4663700	72	64774		

Tabla 19. SNK para los valores de sulfuro

SNK (0.05)			
ZO:	C = B ≠ A	ZO*CA*LO:	FI-ADS: C = B ≠ A
CA:	FI ≠ FII		FII-PCR: C = B ≠ A
LO:	ADS ≠ PCR		FII-ADS: C = B ≠ A
LO*ZO:	A: PRC ≠ ADS		FII-PCR: C = B ≠ A
	B: PCR = ADS	CA*ZO*LO:	A-ADS: FII ≠ FI
	C: PCR = ADS		A-PCR: FII ≠ FI
ZO*LO:	ADS: C = B ≠ A		B-ADS: FII = FI
	PCR: C = B ≠ A		B-PCR: FII = FI
ZO*CA:	FI: A ≠ B = C		C-ADS: FII = FI
	FII: A ≠ B = C		C-PCR: FII = FI
CA*ZO:	A: FII ≠ FI	LO*ZO*CA:	A-FI: ADS ≠ PCR
	B: FII = FI		A-FII: ADS ≠ PCR
	C: FII = FI		B-FI: ADS = PCR
CA*LO:	ADS: FI ≠ FII		B-FII: ADS = PCR
	PCR: FI = FII		C-FI: ADS = PCR
LO*CA:	FI: PCR ≠ ADS		C-FII: ADS = PCR
	FII: PCR ≠ ADS		

Las diferencias más acusadas se dieron entre A-B y A -C. La zona sin embargo de Impacto moderado en ambas concesiones no se diferenció apenas del Control.

NITRÓGENO TOTAL

El Nitrógeno Total presentó patrones dispares sobre todo en ADSA. En esta, en la fase I, el contenido de Nitrógeno disminuye a medida que nos alejamos de la concesión, de A a C, y en la fase II el valor se mantiene constante en A y B, y disminuye luego en C.

En la concesión de PROCRIA, los valores entre zonas se mantienen con el mismo comportamiento entre fases. Disminuye del punto A a B para volver luego en C a los valores similares de A.

Tabla 20. Valores de porcentaje de Nitrógeno Total

		ADSA		PROCRIA	
Fase	Zona	Media	ES	Media	ES
Fase I	A	0,062	0,029026	0,06489	0,008313
	B	0,03867	0,00691	0,04589	0,005947
	C	0,028	0,00967	0,05056	0,006654
Fase II	A	0,07	0,03	0,08	0,01
	B	0,07	0,02	0,07	0,01
	C	0,04	0,01	0,07	0,01

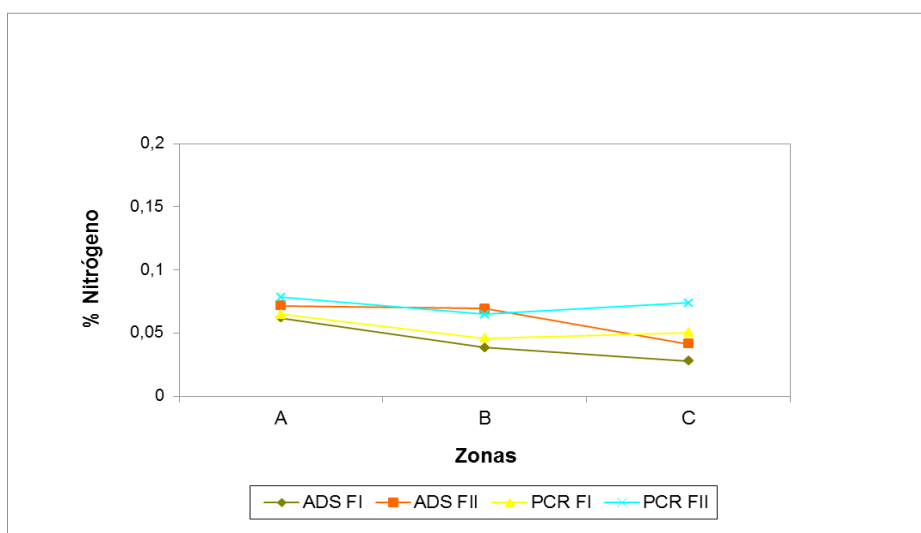


Figura 8. Valores de Nitrógeno Total para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

El análisis estadístico registró diferencias significativas entre las diferentes zonas, así como en las distintas campañas y las distintas concesiones (localidad), siendo también significativa la diferencia entre la interacción zona y localidad.

Tabla 21. ANOVA Nitrógeno Total

	SS	Degr. of	MS	F	p
ZO	0	2	0	23,5241	***
CA	0	1	0	52,0167	***
LO	0	1	0	19,9338	***
ES(ZO*CA*LO)	0	24	0	3,1523	***
ZO*LO	0	2	0	10,4914	***
ZO*CA	0	2	0	2,3070	n.s.
CA*LO	0	1	0	0,0282	n.s.
ZO*CA*LO	0	4	0	1,9632	n.s.
Error	0	72	0		

Tabla 22. SNK para los valores de nitrógeno total

SNK (0.05)			
ZO:	C ≠ B ≠ A	LO*ZO:	A: ADS = PCR
CA:	FI ≠ FII		B: ADS = PCR
LO:	ADS ≠ PCR		C: ADS ≠ PCR
ZO*LO:	ADS: A ≠ B ≠ C		
	PCR: B = C ≠ A		

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos reveló que efectivamente hay diferencias significativas entre zonas, principalmente en ADSA. En PROCRIA, al tratarse de una concesión mucho más expuesta, las diferencias entre A (Impacto Severo) y B (Impacto Moderado) no son tan acusadas, por lo que B siempre se asemeja a C.

AZUFRE

Los datos de porcentaje de azufre registraron una diferencia entre localidades notable.

En ADSA la diferencia entre zonas fue mucho más acusadas que en PROCRIA, a medida que nos alejábamos del foco de emisión del Impacto, el nivel de Azufre disminuía, de A a C. En PROCRIA, sin embargo, los valores se mantienen casi estables.

El comportamiento fue similar para las diferentes campañas de muestreo en las distintas localidades.

Tabla 23. Valores de porcentaje de Azufre

Fase	Zona	ADSA		PROCRÍA	
		Media	ES	Media	ES
Fase I	A	0,09678	0,063557	0,03856	0,0202
	B	0,02822	0,012765	0,03989	0,014426
	C	0,02878	0,012081	0,03867	0,011424
Fase II	A	0,06	0,04	0,06	0,01
	B	0,03	0,00	0,03	0,01
	C	0,02	0,01	0,02	0,01

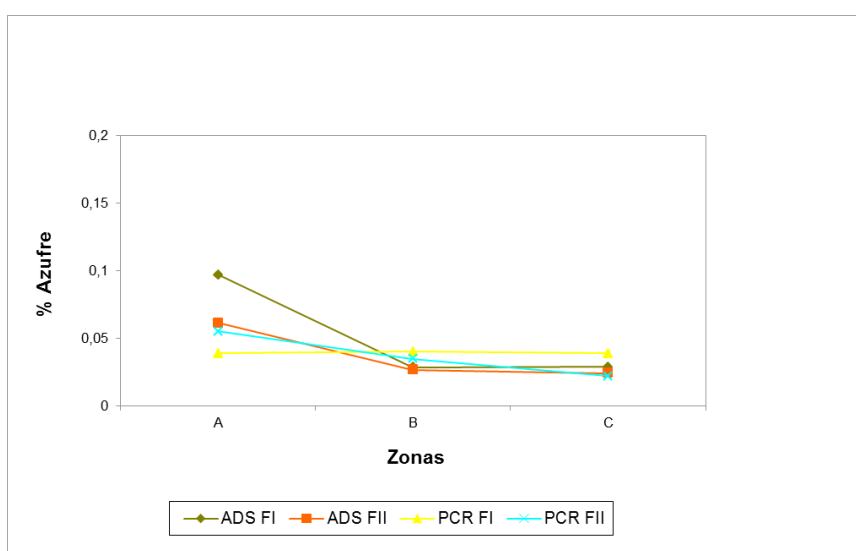


Figura 9. Valores de Azufre para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

En el análisis ANOVA las diferencias significativas registradas fueron entre zonas A, B y C, entre fases de muestreo (otoño y primavera), la interacción entre la zona y localidad y la interacción entre zona, campaña y localidad.

Tabla 24. ANOVA para los resultados de azufre

	SS	Degr. of	MS	F	p
ZO	0	2	0	59,1187	***
CA	0	1	0	7,9468	***
LO	0	1	0	4,6438	*
ES(ZO*CA*LO)	0	24	0	7,6804	***
ZO*LO	0	2	0	21,4144	***
CA*LO	0	1	0	4,5878	*
ZO*CA	0	2	0	0,6185	n.s.
ZO*CA*LO	0	2	0	12,4339	***
Error	0	72	0		

Tabla 25. SNK para los valores de azufre

SNK (0.05)			
ZO:	C = B ≠ A	CA*ZO*LO:	A-ADS: FII ≠ FI
CA:	FII ≠ FI		A-PCR: FI ≥ FII
LO:	PCR ≠ ADS		B-ADS: FI = FII
ZO*LO:	ADS: C = B ≠ A		B-PCR: FI ≥ FII
	PCR: C = B ≠ A		C-ADS: FII = FI
LO*ZO:	A: PCR ≠ ADS		C-PCR: FII ≥ FI
	B: PCR ≥ ADS	LO*ZO*CA:	A-FI: PCR ≠ ADS
	C: ADS = PCR		A-FII: PCR ≥ ADS
ZO*CA*LO:	FI-ADS: B = C ≥ A		B-FI: ADS ≥ PCR
	FI-PCR: A ≥ C ≥ B		B-FII: ADS = PCR
	FII-ADS: C = B ≠ A		C-FI: ADS ≥ PCR
	FII-PCR: C = B ≠ A		C-FII: ADS = PCR

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos nos muestra que las diferencias acusadas entre zonas solo son entre A Y B porque la localidad B en ambas concesiones es igual a C.

CARBONO

Los datos registrados en el análisis de Carbono, presentan diferencias entre concesiones, al igual que el COT, presentando valores más altos en PROCRIA. En cuanto a los valores entre las diferentes zonas y campañas, no se apreciaron diferencias, siendo los valores muy continuos.

Tabla 26. Valores de porcentaje de Carbono

Fase	Zona	ADSA		PROCRIA	
		Media	ES	Media	ES
Fase I	A	2,38133	0,59814	9,97411	0,405722
	B	1,73511	0,618864	9,39733	0,799337
	C	1,82178	0,554873	9,66067	0,692687
Fase II	A	2,22	1,05	9,88	0,63
	B	2,19	1,31	10,04	0,66
	C	1,49	0,48	10,29	0,69

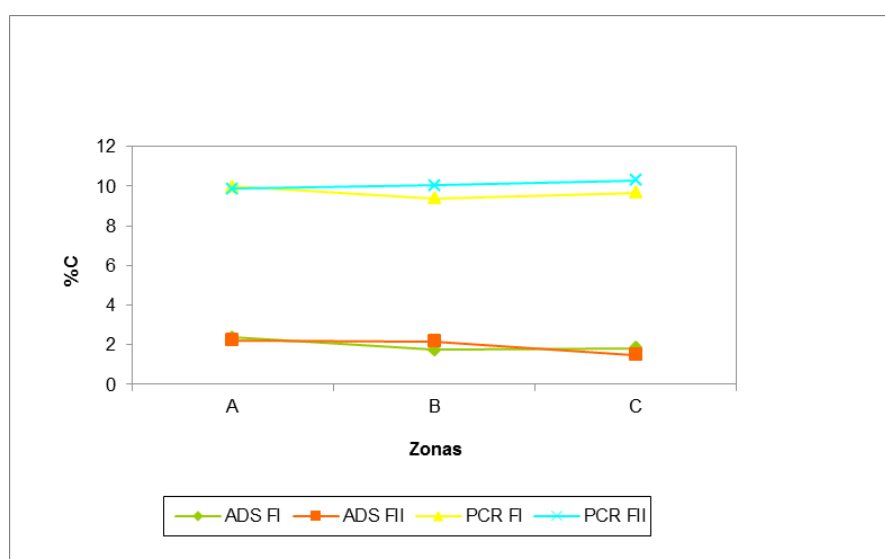


Figura 10. Valores de Carbono para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

Esta similitud en el comportamiento fue constatada por el análisis estadístico, que únicamente detectó diferencias significativas entre las dos

localidades muestreadas.

Tabla 27. ANOVA para los resultados de carbono

	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
ZO	2	2	1	2,1410	n.s.
CA	1	1	1	2,0630	n.s.
LO	1686	1	1686	3637,2520	***
ES(ZO*CA*LO)	20	24	1	1,8080	*
ZO*LO	2	2	1	2,6340	n.s.
ZO*CA	2	2	1	2,2310	n.s.
CA*LO	1	1	1	2,4170	n.s.
ZO*CA*LO	1	2	1	1,1410	n.s.
Error	33	72	0		

Tabla 28. SNK para los valores de carbono

SNK (0.05)	
LO:	ADS ≠ PCR

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos también reveló las diferencias solo entre concesiones.

HIDRÓGENO

El Hidrógeno presentó diferencias notables entre localidades, y en cada una de ellas, el patrón fue diferente. En ADSA, con valores muy superiores a PROCRÍA, los valores obtenidos aumentan de A a B, para luego disminuir en el punto C. En cambio en PROCRÍA, los valores son más similares entre zonas y entre campañas.

Tabla 29. Valores de porcentaje de Hidrógeno

	ADSA			PROCRÍA	
	Zona	Media	ES	Media	ES
Fase I	A	0,583	0,12	0,337	0,05
	B	0,62	0,07	0,325	0,09
	C	0,483	0,10	0,339	0,126
Fase II	A	0,54	0,12	0,28	0,09
	B	0,65	0,07	0,27	0,01
	C	0,47	0,10	0,30	0,03

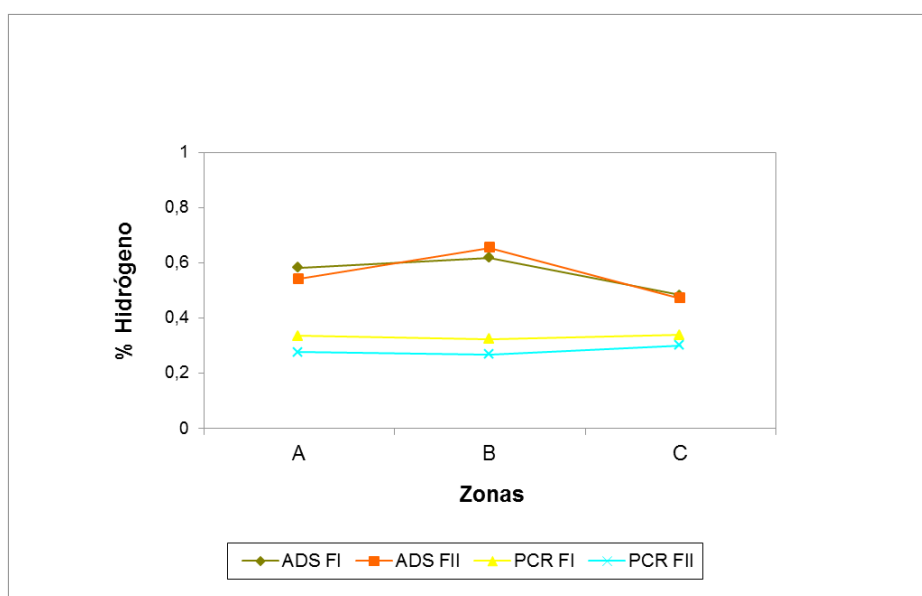


Figura 11. Valores de Hidrógeno para las estaciones de ADSA y PROCRÍA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

El análisis estadístico detectó diferencias significativas en el factor Zona, detectando diferencias entre A, B y C, Localidad, detectando las diferencias entre ADSA y PROCRÍA y entre la interacción Zona y localidad.

Tabla 30. ANOVA para los resultados de Hidrógeno

	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
ZO	0	2	0	11,3400	***
CA	0	1	0	5,8020	*
LO	2	1	2	462,5970	***
ES(ZO*CA*LO)	0	24	0	1,8580	*
ZO*LO	0	2	0	20,6170	***
ZO*CA	0	2	0	0,9780	n.s.
CA*LO	0	1	0	3,8230	n.s.
ZO*CA*LO	0	2	0	0,9720	n.s.
Error	0	72	0		

Tabla 31. SNK para los valores de hidrógeno

SNK (0.05)	
ZO:	C ≠ A ≠ B
LO:	ADS ≠ PCR
ZO*LO:	ADS: C ≠ A ≠ B
	PCR: B = A = C
LO*ZO:	A: PCR ≠ ADS
	B: PCR ≠ ADS
	C: PCR ≠ ADS

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos refleja que efectivamente las diferencias entre zonas solo se dan en ADSA.

ISÓTOPO NITRÓGENO 15

El Isótopo del Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) presentó el mismo patrón para todas las localidades y las distintas fases de muestreo, disminuyendo la señal del isótopo a medida que nos alejamos de la concesión, siendo los valores diferentes entre las distintas campañas de muestreo y para las dos concesiones.

Tabla 32. Valores de Isótopo del Nitrógeno ($\delta^{15}N$)

	ADSA			PROCRÍA	
	Zona	Media	ES	Media	ES
Fase I	A	0,583	0,12	0,337	0,05
	B	0,62	0,07	0,325	0,09
	C	0,483	0,10	0,339	0,126
Fase II	A	0,54	0,12	0,28	0,09
	B	0,65	0,07	0,27	0,01
	C	0,47	0,10	0,30	0,03

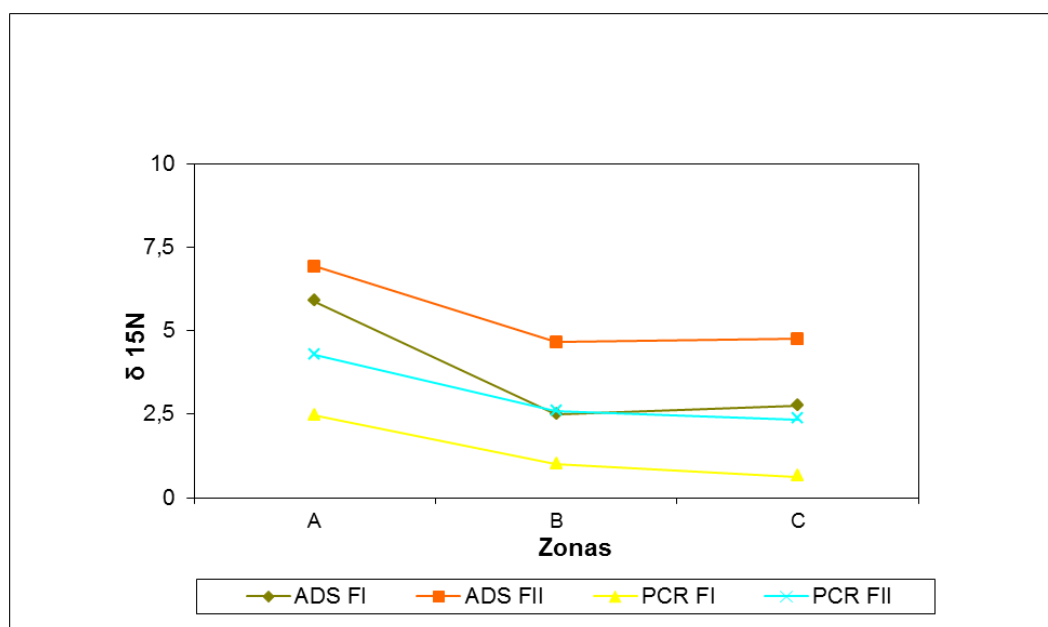


Figura 12. Valores de Isótopo del Nitrógeno para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

El análisis estadístico detectó diferencias significativas entre zonas, A, B y C, las distintas campañas (Fase I y II) y las diferentes concesiones, detectando también diferencias significativas entre la interacción Zona y Localidad.

Tabla 33. ANOVA para los resultados del Isótopo del Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$)

	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
ZO	119	2	60	191,7370	***
CA	80	1	80	258,2000	***
LO	150	1	150	482,7960	***
ES(ZO*CA*LO)	20	24	1	2,6230	***
ZO*LO	7	2	4	11,4080	***
ZO*CA	1	2	1	1,7660	n.s.
CA*LO	0	1	0	0,0230	n.s.
ZO*CA*LO	2	2	1	3,7100	*
Error	22	72	0		

Tabla 34. SNK para los valores del Isótopo del Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$)

SNK (0.05)	
ZO:	C = B ≠ A
CA:	FI ≠ FII
LO:	PCR ≠ ADS
ZO*LO:	ADS: B = C ≠ A
PCR:	C = B ≠ A
LO*ZO:	A: PCR ≠ ADS
	B: PCR ≠ ADS
	C: PCR ≠ ADS

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos mostró principalmente que a pesar de existir diferencias entre zonas, estas son más acusadas entre A y C, ya que normalmente los valores entre B y C se parecen en ambas concesiones.

pH

Se mantiene prácticamente constante, tanto en las diferentes localidades, como en las diferentes fases y las distintas zonas.

Tabla 35. Valores de pH

Fase	Zona	ADSA		PROCRÍA	
		Media	ES	Media	ES
Fase I	A	8,26	0,49	8,29	0,36
	B	8,54	0,13	7,8	0,12
	C	7,2	0,21	7,78	0,08
Fase II	A	7,94	0,10	8,00	0,15
	B	7,95	0,12	7,84	0,21
	C	8,12	0,04	7,96	0,12

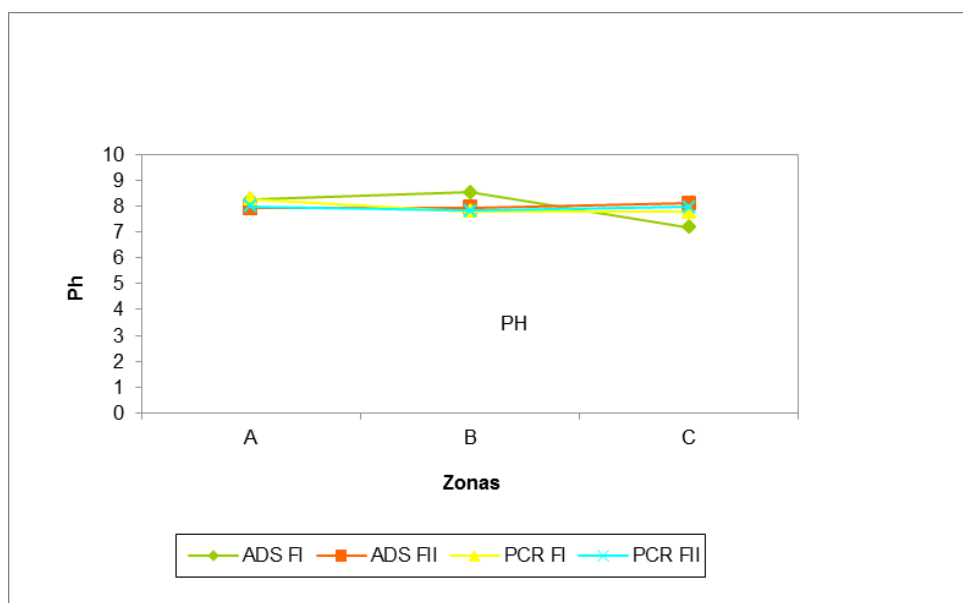


Figura 13. Valores de Isótopo del pH para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases

Aun así, y contrario a lo que pueda reflejar el gráfico, se detectaron diferencias significativas en todos los factores.

Tabla 36. ANOVA para los resultados de pH

	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
ZO	1	2	1	36,4000	***
CA	2	1	2	155,7000	***
LO	1	1	1	52,9000	***
ES(ZO*CA*LO)	3	24	0	10,3000	***
ZO*LO	3	2	1	102,0000	***
ZO*CA	1	2	1	46,5000	***
CA*LO	0	1	0	17,9000	***
ZO*CA*LO	1	2	1	52,8000	***
Error	1	72	0		

Tabla 37. SNK para los valores de pH

SNK (0.05)			
ZO:	B = C ≠ A	ZO*CA*LO:	FI-ADS: A = C ≠ C
CA:	FII ≠ FI		FI-PCR: C = B ≠ A
LO:	PCR ≠ ADS		FII-ADS: A = B ≠ C
ZO*LO:	ADS: A ≠ B = C		FII-PCR: B ≥ A ≠ C
	PCR: B = C ≠ A	CA*ZO*LO:	A-ADS: FII ≠ FI
LO*ZO:	A: ADS ≠ PCR		A-PCR: FII ≠ FI
	B: PCR ≠ ADS		B-ADS: FII ≠ FI
	C: PCR ≠ ADS		B-PCR: FI ≥ FII
ZO*CA:	FI: C ≠ B ≠ A		C-ADS: FII ≠ FI
	FII: B ≥ A ≥ C		C-PCR: FI ≠ FII
CA*ZO:	A: FII ≠ FI	LO*ZO*CA:	A-FI: ADS ≠ PCR
	B: FII ≠ FI		A-FII: ADS ≥ PCR
	C: FII = FI		B-FI: ADS ≠ PCR
CA*LO:	ADS: FII ≠ FI		B-FII: ADS ≠ PCR
	PCR: FII ≠ FI		C-FI: ADS ≠ PCR
LO*CA:	FI: PCR ≠ ADS		C-FII: ADS ≠ PCR
	FII: PCR ≠ ADS		

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos mostro nuevamente que las principales diferencias entre zonas se muestran cuando comparamos A con C.

POTENCIAL REDOX

El Potencial redox aumentó siempre desde la zona impactada (A) en ambas épocas de muestreo y en las diferentes localidades, desde valores negativos hasta positivos, observándose un claro gradiente de A a C.

Tabla 38. Valores de Potencial Redox

Fase	Zona	ADSA		PROCRÍA	
		Media	ES	Media	ES
Fase I	A	-241,16	48,04	-38,06	126,81
	B	14,39	124,87	35,46	81,98
	C	46,87	90,54	105,06	40,92
Fase II	A	-295,59	92,09	-144,29	76,53
	B	4,22	128,88	-22,46	99,72
	C	134,09	44,45	129,67	25,09

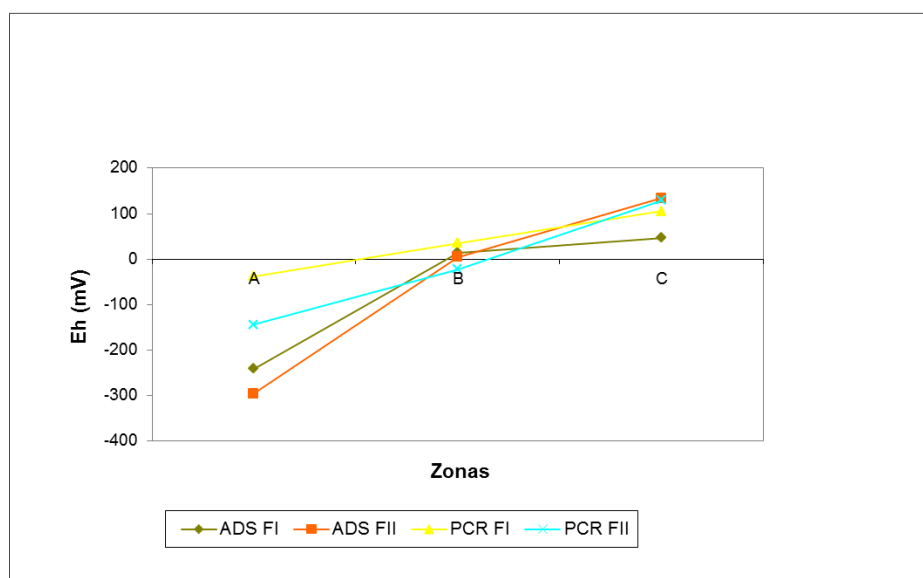


Figura 14. Valores de Potencial redox para las estaciones de ADSA y PROCRIA en las distintas estaciones y en las diferentes fases.

Este comportamiento, y estas diferencias entre zonas fueron detectadas por el análisis estadístico, que encontró diferencias significativas entre las diferentes zonas, las diferentes localidades, la interacción entre zonas y campañas de muestreo y la interacción entre las diferentes localidades y zonas.

Tabla 39. ANOVA para los resultados Potencial redox

	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
ZO	1499079	2	749539	189,9407	***
CA	10251	1	10251	2,5978	n.s.
LO	121529	1	121529	30,7967	***
ES(ZO*CA*LO)	468429	24	19518	4,9460	***
ZO*LO	167627	2	83814	21,2392	***
ZO*CA	86404	2	43202	10,9478	***
CA*LO	19721	1	19721	4,9974	*
ZO*CA*LO	266	2	133	0,0336	n.s.
Error	284125	72	3946		

Tabla 40. SNK para los valores de potencial redox

SNK (0.05)	
ZO:	A ≠ B ≠ C
LO:	ADS ≠ PCR
ZO*LO:	ADS: A ≠ B ≠ C
	PCR: A ≠ B ≠ C
LO*ZO:	A: ADS ≠ PCR
	ZO*CA: FI: A ≠ B ≠ C
	FII: A ≠ B ≠ C
	A: FII ≠ FI
	B: FII = FI
	C: FI ≠ FII
	B: PCR = ADS
	C: ADS = PCR

El test a posteriori utilizado de Student Newman Keuls para los valores significativos mostro claramente las diferencias existentes entre zonas y en ambas concesiones.

INFAUNA

De los dos grupos analizados; poliquetos y anfípodos, se detectaron un total de 21 familias para los poliquetos y 9 para los anfípodos, tal y como se representa en la tabla 41.

Tabla 41. Abundancias medias de infauna, en tono más oscuro las familias de poliquetos

Familia	ADS A I	ADS B I	ADS C I	ADS A II	ADS B II	ADS C II	PCR A I	PCR B I	PCR C I	PCR A II	PCR B II	PCR C II
Capitellidae	75,44	0,33	0,44	30,78	0,00	0,00	38,22	1,56	0,44	35,67	1,00	0,11
Cirratulidae	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,22	0,00	0,00	0,00
Dorvilleidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,33	0,11	0,00	1,11
Eunicidae	0,00	0,00	0,11	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00
Glyceridae	0,00	0,00	0,33	0,11	0,11	0,00	0,00	0,22	0,44	0,11	0,00	0,00
Lumbrineridae	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	1,00	0,00	0,22	0,56
Magelonidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,11
Maldanidae	0,00	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nephtyidae	0,00	0,22	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nereididae	0,00	0,11	0,11	0,56	0,00	0,00	44,56	1,67	0,00	10,00	0,56	0,00
Onuphidae	0,67	17,44	5,11	0,00	7,11	4,44	2,56	2,89	4,11	0,33	1,22	4,56
Orbiniidae	0,33	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,11	0,00	0,11
Oweniidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
Paraonidae	0,78	8,44	2,00	0,00	0,00	0,11	0,56	4,56	1,67	0,00	0,00	0,00
Poecilochaetidae	0,00	0,00	0,44	0,00	6,67	1,44	0,00	0,22	0,11	0,67	2,00	0,78
Sabellidae	0,00	2,78	1,11	0,00	0,44	1,78	0,11	0,56	2,89	0,00	0,44	0,00
Serpulidae	0,00	0,00	0,11	0,00	0,89	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	8,78
Sigalionidae	0,00	0,89	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
Spionidae	0,11	0,22	0,78	0,22	0,11	0,00	0,11	0,78	0,44	2,67	1,78	0,67
Syllidae	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,11	0,00	0,89	0,78	1,11	0,33	0,11
Terebellidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ampeliscidae	0,67	11,67	4,56	0,22	22,56	13,89	0,44	0,00	0,33	0,11	1,33	0,00
Urothoidea	0,00	0,67	1,44	0,00	0,00	0,56	0,22	3,33	2,56	0,00	1,22	0,89
Leucothoidea	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lysianassidae	0,00	1,00	1,11	0,00	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Phoxocephalidae	0,00	0,00	0,22	0,00	0,11	0,00	0,00	0,11	0,11	0,00	0,00	0,00
Isaeidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	1,44
Ischyroceridae	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,11	0,33	0,56	0,00	0,00	0,00
Aoridae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
Corophiidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,11	0,22

El análisis de diversidad muestra, en el caso de los poliquetos, una mayor abundancia de individuos en las zonas bajo las jaulas (A), con valores inferiores de diversidad y valores menores de equitatividad de Pielou, lo que indica un desequilibrio en la comunidad, tal y como se muestra en la siguiente tabla 42.

Tabla 42. Datos del análisis de diversidad de poliquetos

	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
ADS A I	5	77	0,92	0,01	0,14	0,00
ADS B I	9	31	2,33	0,54	0,20	0,62
ADS C I	15	12	5,70	0,71	1,92	0,83
ADS A II	5	32	1,16	0,11	0,18	0,01
ADS B II	9	16	2,89	0,56	1,23	0,67
ADS C II	7	8	2,87	0,62	1,21	0,71
PCR A I	6	86	1,12	0,48	0,86	0,54
PCR B I	12	14	4,16	0,80	1,99	0,88
PCR C I	15	14	5,32	0,79	2,15	0,90
PCR A II	9	51	2,04	0,43	0,94	0,47
PCR B II	9	9	3,71	0,91	2,00	0,96
PCR C II	11	17	3,51	0,61	1,47	0,71

Esta tendencia de un gradiente desde la zona más Impactada hacia la zona menos Impactada, se observa con mayor claridad en los siguientes gráficos de índices de diversidad:

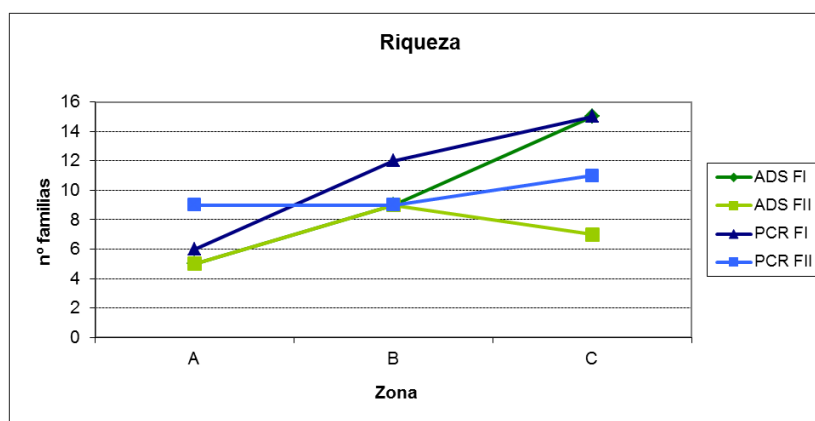


Figura 15. Riqueza de familias de poliquetos registrada

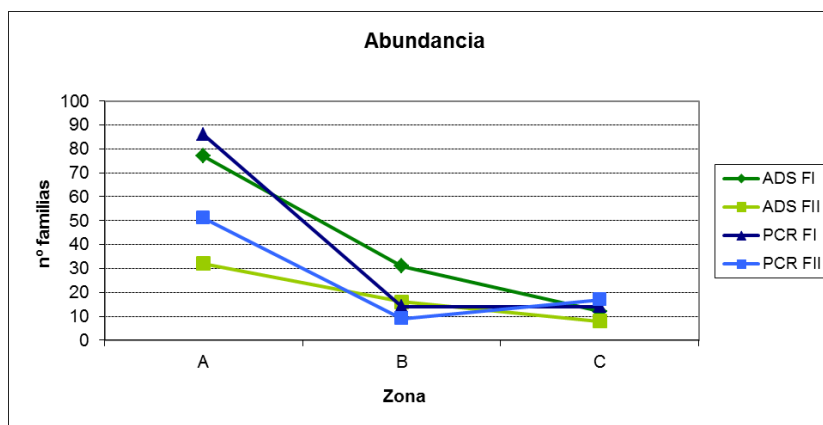


Figura 16. Abundancia de familias de poliquetos registrada

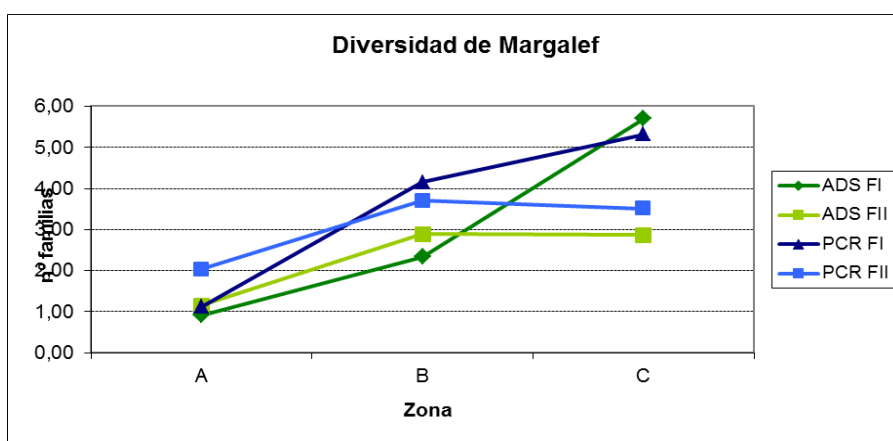


Figura 17. Diversidad de Margalef de poliquetos

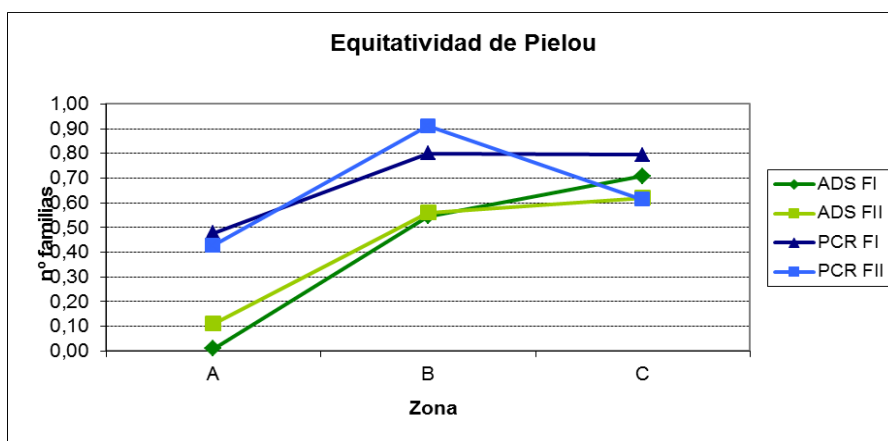


Figura 18. Equitatividad de Pielou poliquetos

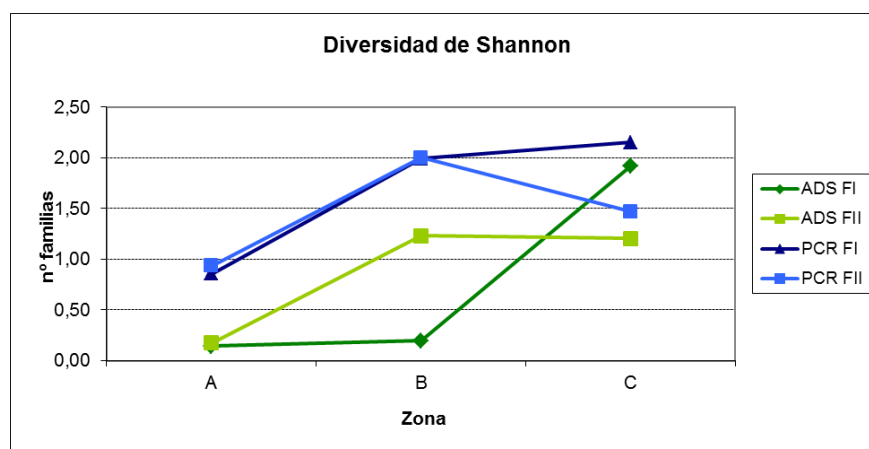


Figura 19. Diversidad de Shannon poliquetos

En todos los casos el gradiente se observó en mayor o menor medida. Esta diferencia o agrupación se constató también con un análisis de escalado multidimensional no paramétrico, a partir de matrices de Similitud de Bray Curtis (MDS) que nos permite agrupar las zonas con mayor similitud.

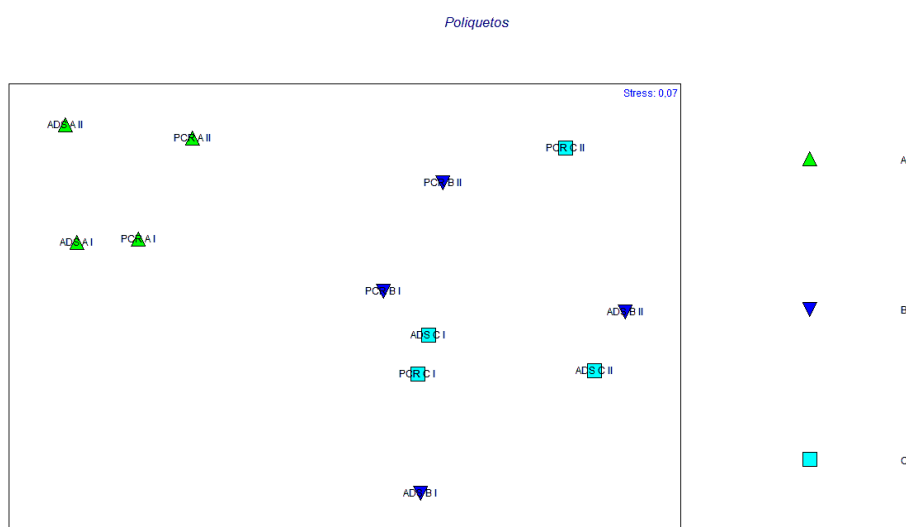


Figura 20. MDS con las zonas de muestreo (Verde: A; Azul marino: B; Azul celeste: C)

Se observó claramente como por un lado se agrupan todas las zonas A (Impacto) y se diferencian claramente de las zonas B y C.

Esa diferencia fue constatada con el análisis SIMPER, utilizado para determinar la contribución de las diferentes familias registradas a la disimilitud entre el factor zona (A, B y C).

Tabla 43. Disimilitud entre A y B

Zona A - B	Disimilitud media		93,18			
	Zona A	Zona B				
Familias	Av. Abund	Av. Abund.	Av. Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum %
Capitellidae	45,03	0,72	57,57	3,31	61,79	61,79
Nereididae	13,78	0,58	14,59	0,82	15,66	77,45
Onuphidae	0,89	7,17	8,31	1,03	8,92	86,37
Paraonidae	0,33	3,25	4,1	0,92	4,4	90,77

Entre las zonas A y B, la disimilitud media fue de 93,18, siendo la familia *Capitellidae* la que más contribuye a esta diferencia, con un 61,79%.

Tabla 44. Disimilitud entre A y C

Zona A - C		Disimilitud media 95,23				
	Zona A	Zona C				
Familias	Av. Abund	Av. Abund.	Av. Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum %
Capitellidae	45,03	0,25	61,73	3,52	64,82	64,82
Nereididae	13,78	0,03	15,51	0,83	16,29	81,11
Onuphidae	0,89	4,56	5,83	1,79	6,12	87,23
Serpullidae	0	2,25	3,12	0,55	3,28	90,51

Entre las zonas A y C la disimilitud fue de 95,23, siendo, al igual que entre A y C, la familia *Capitellidae* la que más contribuye a esta diferencia con un 64,82%.

Tabla 45. Disimilitud entre B y C

Zona B - C		Disimilitud media 60,72				
	Zona B	Zona C				
Familias	Av. Abund	Av. Abund.	Av. Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum %
Onuphidae	7,17	4,56	15,25	1,58	25,12	25,12
Paraonidae	3,25	0,94	9,69	1,35	15,96	41,08
Serpullidae	0,5	2,25	7,85	0,74	12,92	54
Poecilochaeti	2,22	0,69	7,68	0,92	12,65	66,65
Sabellidae	1,06	1,44	4,47	1,45	7,36	74,01
Capitellidae	0,72	0,25	2,48	1,13	4,09	78,09
Spionidae	0,72	0,47	2,48	0,88	4,08	82,18
Nereidae	0,58	0,03	2,25	0,87	3,71	85,89
Orbiniidae	0	0,39	1,34	0,92	2,21	88,1
Syllidae	0,31	0,28	1,31	1,19	2,16	90,25

Sin embargo, entre la zona B y C, la disimilitud fue de 60,72, siendo la familia que más contribuye a esta diferencia *Onuphidae*, con un 25%.

En cuanto a los anfípodos, el número de individuos fue sustancialmente menor, siendo prácticamente inexistentes en la zona bajo las jaulas.

Tabla 46. Análisis de diversidad de anfipodos

	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
ADS A I	1	1				
ADS B I	4	14	1,15	0,41	0,56	0,28
ADS C I	5	7	1,99	0,66	1,07	0,65
ADS A II	1					
ADS B II	2	23	0,32	0,00	0,00	0,00
ADS C II	4	15	1,12	0,18	0,25	0,11
PCR A I	3	1		0,87	0,96	
PCR B I	5	4	2,89	0,41	0,66	0,40
PCR C I	5	4	2,95	0,67	1,08	0,72
PCR A II	1					
PCR B II	4	3	0,75	0,75	1,04	0,92
PCR C II	3	3	0,82	0,82	0,90	0,91

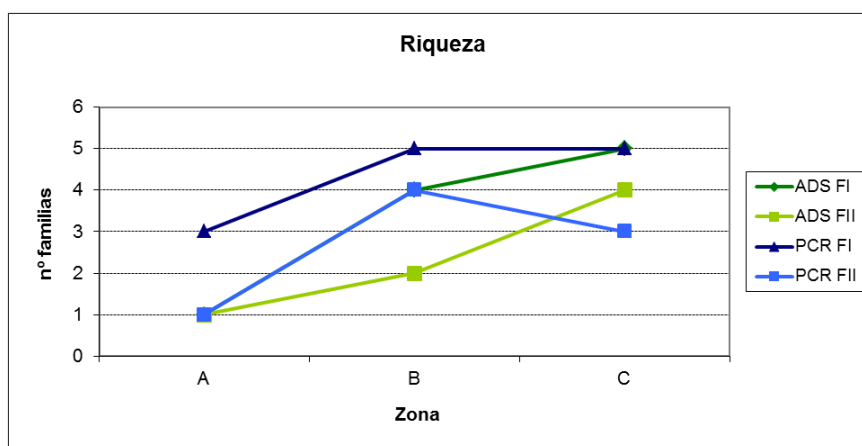


Figura 21, Riqueza de familias de anfipodos registrada

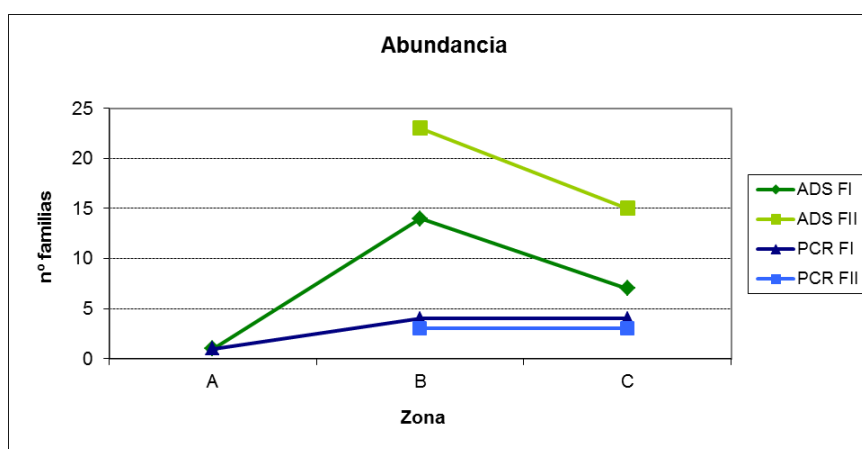


Figura 22, Abundancia de familias de anfipodos registrada

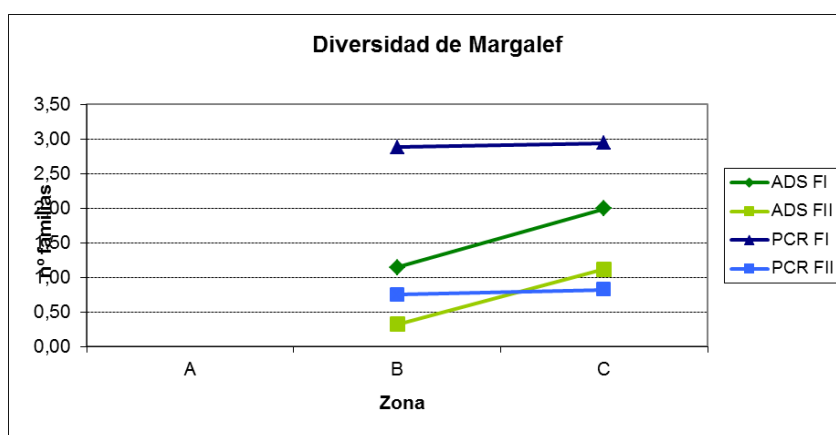


Figura 23, Diversidad de Margalef de familias de anfipodos registrada

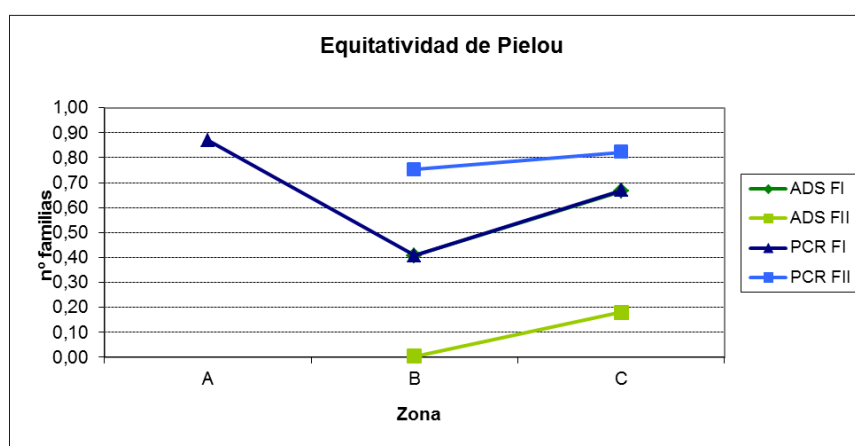


Figura 24, Equitatividad de Pielou de familias de anfipodos registrada

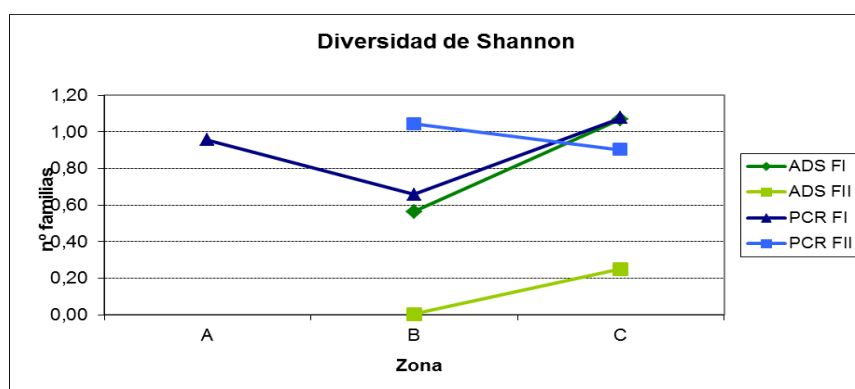


Figura 25, Diversidad de Shannon de familias de anfipodos registrada

Para los anfípodos, también se realizó un análisis de ordenación mediante MDS, dónde se observó, al igual que en los poliquetos, una agrupación de la zona bajo las jaulas (A), con menos definición.

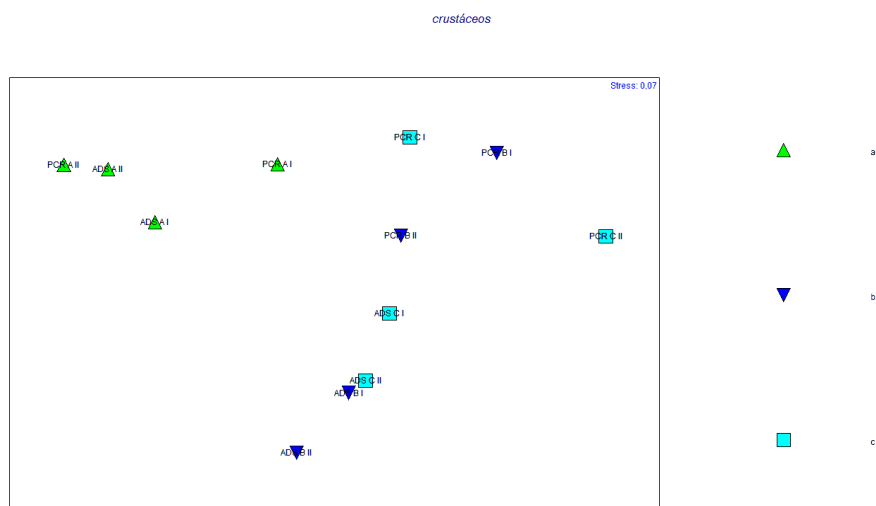


Figura 26. MDS con las zonas de muestreo (Verde: A; Azul marino: B; Azul celeste: C)

El análisis SIMPER mostró que la estación A es la que marca la diferencia con respecto a B y C, siendo las familias *Ampeliscidae* y *Urothidae* las que más contribuyeron a esta diferencia. Ver tablas XIV-XVI.

Tabla 47. Diferencia de anfípodos entre A y B

Zona A - B	Disimilitud media		90,92			
	Zona A		Zona B			
Familias	Av. Abund	Av. Abund.	Av. Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum %
Ampeliscidae	0,36	8,89	53,5	1,43	58,84	58,84
Urothidae	0,06	1,31	58,54	0,92	31,38	90,22

Tabla 48. Diferencia de anfípodos entre A y C

Zona A - C		Disimilitud media 91,32				
	Zona A	Zona B				
Familias	Av. Abund	Av. Abund.	Av. Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum %
Ampeliscidae	0,36	4,69	39,73	1,11	43,51	43,51
Urothidae	0,06	1,36	26,81	1,27	29,36	72,87
Isaeidae	0	0,39	12,33	0,92	31,38	86,37
Lysianassida	0	0,31	3,71	0,92	31,38	90,43

Tabla 49. Diferencia de anfípodos entre B y C

Zona B - C		Disimilitud media 63,61				
	Zona A	Zona B				
Familias	Av. Abund	Av. Abund.	Av. Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum %
Ampeliscidae	8,89	4,69	43,41	1,44	68,23	68,23
Urothidae	1,31	1,36	9,12	0,96	14,34	82,57
Isaeidae	0,06	0,39	4,15	0,55	6,53	89,1
Lysianassida	0,28	0,31	2,67	0,78	4,2	93,3

3.4.- Conclusiones

De forma general el comportamiento de algunos parámetros analizados demostró su validez como Indicadores de los cambios biológicos y físico-químicos que se pueden producir en el sedimento de una y otra concesión, y por tanto de diferentes grados de polución. Esto nos indica que existe la posibilidad de obtención de parámetros más útiles y fiables para una concesión de cultivos marinos estándar de los que se llevaban utilizando hasta ahora y cuya meta es el objetivo principal de este proyecto.

Las variables abióticas presentaron resultados dispares. Principalmente la Materia Orgánica, el porcentaje de Carbono y el Carbono orgánico total (COT), el Fósforo, la granulometría y el Hidrógeno, los cuales no siguieron un patrón definido de la zona más Impactada a la zona Control.

La Materia Orgánica por el método de Walkey y Black sin embargo, manifestó el patrón decreciente desde la zona Impacto a la zona Control con algo más de claridad que el método LOI (Dean, 1974)), principalmente en ADSA.

El método de W & B es un método químico donde la Materia Orgánica es oxidada únicamente por la acción de dicromato y ácido sulfúrico concentrado. Se trata de un método más exacto que el método convencional de ignición (LOI) a 430° debido a que oxida un alto porcentaje de la materia orgánica lábil presente en el sedimento y no sobreestima la presente por la calcinación de los carbonatos ni contempla la eliminación de agua de constitución, cristalización y probablemente ocluida, además de material inorgánico que pueden conducir a interpretaciones erróneas.

Por otro lado ni el Fósforo ni la granulometría mostraron un patrón claro en las diferentes zonas de muestreo, tanto para ADSA como para PROCRIA y lo mismo ocurriría con el Carbono Orgánico Total y el porcentaje de Carbono calculado con autoanalizador elemental, los cuales mostraron únicamente diferencias significativas entre las dos concesiones.

Con el Hidrógeno pasó algo similar, las diferencias solo se notaron en ADSA, con valores muy superiores a PROCRIA. Los valores obtenidos aumentaban de A a B, para luego retornar casi a los valores de A en el punto C. Este comportamiento es común encontrarlo entre ambas concesiones debido a las diferencias existentes entre ellas ya que PROCRIA se encuentra situada en un área mucho más expuesta a las corrientes, lo que favorece la dispersión de los contaminantes en el sedimento y posee un tipo de fondo mucho más carbonatado y grueso que ADSA.

La utilización pues de estas cinco variables no parece lo más acertado, ya que como evidencian los datos pueden verse altamente influenciadas por el tipo de sedimento donde se localice la concesión, como es el caso que nos ocupa.

Las variables abióticas que si mostraron un claro gradiente desde la zona más impactada hacia la menos impactada, en todas las campañas y en las diferentes localizaciones, con valores superiores en la zona A que en el resto, fueron por orden de importancia: el Potencial Redox, los Sulfuros y la relación isotópica $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$, seguidos del Nitrógeno Total y el pH.

El Potencial Redox disminuyó desde la zona Impactada a la zona Control, con valores de muy negativos que evidencian condiciones claramente anóxicas a valores positivos y en las dos concesiones de acuicultura con la misma diferencia estadística.

Las diferencias más acusadas para los Sulfuros se dieron entre A-B y A-C, siendo siempre los valores especialmente altos en la zona Impacto con respecto a la zona Control.

La relación isotópica entre ^{15}N y ^{14}N ($\delta^{15}\text{N}$) mostró también esta disminución de la señal a medida que nos alejamos de la zona Impacto (A) y siendo la diferencia más notable entre A-C para ambas concesiones.

El Nitrógeno Total fue estadísticamente significativo en el factor zona, siendo diferente A, de B de C en ADSA, mientras que para PROCRIA la única zona diferente fue A (Impacto severo) con respecto a B (Impacto moderado) y C (Control). Debido a las diferentes fuentes de las que procede este elemento puede ser que la diferencia entre concesiones se deba a la cercanía a costa de ADSA, que podría estar influenciada por otros aportes de carácter antrópico provenientes de esta (cercanía de emisarios, puerto industrial, etc). Por lo tanto los resultados pueden ser malinterpretados.

En cuanto al pH a pesar de no aparentar mostrar muchas diferencias en el gráfico, se detectaron diferencias significativas en todos los factores analizados estadísticamente hablando. Las principales desigualdades entre zonas se ven cuando comparamos zona Impacto (A) con zona Control (C).

➤ **Respecto a las variables bióticas**, la infauna mostró en todos los casos diferencias claras entre gradientes. La zona impacto (A) está caracterizada normalmente por especies oportunistas de poca diversidad, baja riqueza y mayor abundancia de individuos que las zonas Control.

En definitiva, y en base a los resultados obtenidos en el proyecto piloto, podemos concluir que comparando las diferentes zonas, en función de las

campañas y localidades muestreadas, hay una serie de parámetros que los podemos considerar buenos indicadores para futuros Planes de Vigilancia Ambiental de instalaciones de cultivos en mar abierto:

- Potencial Redox (Eh)
- Sulfuros(S²⁻)
- Relación isotópica entre ¹⁵N y ¹⁴N
- Infauna

4.- DISEÑO DE UN PVA PARA SEGUIMIENTO DE SISTEMAS OFF-SHORE DE ACUICULTURA

La identificación y valoración de los parámetros a monitorizar en cualquier estudio o Plan de Vigilancia Ambiental tiene que contener todos los aspectos necesarios para poder conocer las relaciones causa-efecto, predecir (cuantificar), valorar (interpretar) y prevenir (corregir de forma preventiva) el impacto ambiental ocasionado por la actividad acuicultora. En función de esto es necesario identificar las principales medidas de monitorización sobre las que se van a invertir todos los esfuerzos de los estudios para conseguir un desarrollo sostenible en la conservación de la tierra, el agua y los recursos genéticos de plantas y animales.

Según la FAO (FAO, 1998); Desarrollo Sostenible es la gestión y conservación de los recursos naturales y el cambio en la orientación tecnológica e institucional que asegure el alcance y la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones actuales y futuras. En este sentido, el GESAMP (1991), propuso una serie de cinco estrategias para la sostenibilidad de la actividad acuicultora:

1. Hacer uso concreto de la capacidad ecológica de las zonas costeras para generar productos acuícolas.

2. Desarrollar mecanismos de gestión que reduzcan conflictos con otras actividades.
3. Prevenir y reducir los impactos ambientales de la acuicultura.
4. Gestionar y controlar las actividades de la acuicultura para asegurar que sus impactos se sitúen en límites aceptables.
5. Reducir los riesgos sanitarios por consumo de productos acuícolas.

A partir de estas propuestas, Borja (2002), adaptando a Barg (1994), define un decálogo de acciones adaptadas a la acuicultura española, que posibiliten la sostenibilidad de dicha actividad:

- Realizar planes de gestión y desarrollo de la acuicultura costera.
- Aplicar los procesos de Estudio o Evaluación de Impacto Ambiental (EIA o EIA) de la acuicultura.
- Mejorar las operaciones de gestión de la acuicultura, asegurando la salud del stock, reduciendo los vertidos, etc...
- Establecer la capacidad del ecosistema para conseguir una acuicultura sostenible.
- Establecer guías de buenas prácticas para el uso de compuestos bioactivos (GESAMP, 1997).
- Evaluar las consecuencias de la introducción de especies alóctonas, utilizando los códigos CIEM .
- Regular los vertidos desde tierra mediante estándares de calidad (límites de vertido, objetivos de calidad)
- Establecer medidas de control de los productos acuícolas, incluyendo Directivas Europeas e informando al público.
- Aplicar incentivos para reducir la degradación ambiental de la

acuicultura.

- Vigilar el cambio ecológico.

En función de estas directrices y en coherencia con el principio de prevención, la mejor política de medio ambiente consiste pues en evitar, desde el principio, la creación de contaminaciones o daños, más que en combatir posteriormente sus efectos y en la necesidad de tener en cuenta, lo antes posible, las repercusiones sobre el medio ambiente en todos los procesos técnicos de planificación y decisión.

A continuación se describen los principales sistemas sobre los que se debe llevar un seguimiento ambiental, su importancia y los parámetros objetos de cuantificación del impacto.

Debido a que como hemos justificado ya en el punto 2.2 el impacto más relevante de la acuicultura se produce sobre el **medio bentónico** vamos a dividir los sistemas sobre los que se debe llevar un seguimiento en orden de importancia y en tres categorías en función de que se les considere de Obligado Cumplimiento, Complementarios o se reserven solo para determinadas Situaciones Especiales que pasaremos a explicar.

En el posterior capítulo de Valoración de Impactos se tratará de dar una aproximación a los límites de polución o umbrales de impacto que la experiencia de los diferentes expertos a lo largo de varios años de investigación han aportado en cada uno de los parámetros aquí analizados.

4.1.- Parámetros propuestos

4.1.1.- Parámetros de Obligado Cumplimiento

Las variables que se proponen en este primer borrador acerca de una

propuesta metodológica para Planes de Vigilancia del Impacto Ambiental ocasionado por los cultivos marinos cumplen una serie de propiedades fijadas como objetivos en el estudio: "*Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina (JACUMAR 2008-2010)*" y que son:

➤ Capacidad para establecer relaciones causa – efecto:

- Que sean específicos y potentes: su respuesta sea concreta para un tipo de impacto concreto, sin que surjan dudas a la hora de interpretar los resultados que nos aportan.

- Que sean consistentes y plausibles: su respuesta ha de mostrarse robusta, sólida, poco sujeta a cambios bruscos en su variabilidad, y por lo tanto recomendable en su utilización.

- Que se ajuste a secuencias espaciales y temporales: su respuesta permita discriminar claramente entre zonas con distintos niveles de impacto en función de los niveles de la variable, y que la variación de sus niveles se ajuste al tiempo de exposición a la fuente de impacto.

- Que su respuesta sea clara frente a la causa del impacto.

➤ Método analítico desarrollado y contrastado, y al alcance de cualquier usuario.

➤ Resultados relevantes, significativos de las condiciones del medio.

➤ Expresión comprensible de los resultados: facilidad y claridad para interpretar los niveles o valores obtenidos por respuesta.

A partir de aquí, los experimentos llevados a cabo en el mencionado proyecto han definido los siguientes parámetros como buenos indicadores para evaluar la salud del entorno de una concesión de cultivos off-shore:

- **Potencial redox (E_h)**: En condiciones normales existe un gradiente

vertical de intercambio entre la columna de agua y el sedimento, tanto en la concentración de oxígeno como en otros parámetros (potencial de oxidación y reducción, nutrientes, ph, etc.). En condiciones de cultivo, estos gradientes se intensifican cuanto mayor es la productividad y mayor es la tasa de sedimentación de la materia orgánica. Cuando la demanda de oxígeno en el sistema columna-agua se vuelve mayor que la tasa de difusión del mismo, el sedimento se vuelve anóxico y las condiciones reductoras provocan que la capa de discontinuidad del potencial redox se aproxime más a la superficie (Pearson y Rosemberg, 1978), observando entonces valores negativos de E_h .

- **Sulfuros libres totales (S^{-2}):** La mineralización de la materia orgánica en el sedimento proveniente de una fuente de "input" puede llevarse a cabo mediante procesos metabólicos aerobios (respiración, fotosíntesis, desnitrificación, ...) o anaerobios (actividad sulfato-reductora principalmente). Dependiendo del oxígeno disponible, la cantidad de materia orgánica presente y la profundidad del sedimento se da una u otra. Cuando el enriquecimiento orgánico en el sedimento es elevado se produce un incremento en el consumo de oxígeno y la capacidad de mineralización siguiendo rutas metabólica aeróbicas se ve limitada, produciéndose un desequilibrio a favor del metabolismo anaerobio. Tanto más acusado será este último cuanto menos oxígeno haya disponible para mineralizar la materia orgánica. En estas circunstancias, la disponibilidad de oxígeno se ve también limitada por procesos de re-oxidación de los metabolitos derivados del metabolismo anaerobio, principalmente sulfuros, produciéndose un efecto de *feed-back*. La acumulación de sulfuros en los sedimentos localizados bajo instalaciones de cultivo y la estimulación de la actividad bacteriana sulfato-reductora debida al enriquecimiento orgánico es uno de los problemas más importantes de los sedimentos, pudiendo resultar estos tóxicos para la mayor parte de los organismos que constituyen la fauna y flora del sedimento, así como para los propios organismos (peces) que estamos

cultivando.

- **$\delta^{15}\text{N}$:** El uso de la relación isotópica $\delta^{15}\text{N}$ en el sedimento permite valorar de una forma directa la eutrofización, ya que incrementos en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ son indicadores de cambios en el estatus trófico del ecosistema (Voss et al, 2000). La relación isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ del sedimento, en condiciones normales es próxima a cero, ya que el nitrógeno acumulado es de origen atmosférico. Un incremento en $\delta^{15}\text{N}$ indica un aporte de nitrógeno de origen animal. Este aumento en $\delta^{15}\text{N}$ no se debe a las fuentes (excrementos animales), sino más bien a los procesos de fraccionamiento isotópico que experimenta el N de dichas fuentes en el medio (Fry, 2006). Efectivamente, la elevada señal isotópica del pool de N de vertidos urbanos se debe a la pérdida del isótopo ligero del sistema en los procesos de volatilización del amonio y subsiguiente nitrificación (Lahjta y Michener 1994; Cole et al. 2005).
- **Infauna:** La estructura de las comunidades de infauna han sido extensamente usadas en programas de monitorización para detectar diferentes grados de contaminación, principalmente la causada por un input de materia orgánica (Pearson y Rosemberg 1978; Weston, 1990; Gray et al, 1990; Henderson y Ross, 1995; Yokoyama et al., 1997). La importancia de esta comunidad reside en la estrecha relación que existe entre el tipo de sedimento y la estructura de la población cuyos cambios son fácilmente visibles y relativamente rápidos. Los cambios más comunes son la alteración en la densidad, tamaño, frecuencia o comportamiento de algunos miembros de la comunidad, parámetros básicos que definen la estabilidad de una comunidad.

En base a esto Weston (1990) exhibió una serie de síntomas espaciales y temporales que se suceden de forma generalizada en una comunidad macrobentónica sujeta a un incremento en la carga de materia orgánica;

1. Disminución de la riqueza específica y aumento en el n° total de individuos como resultado de una alta densidad de unas pocas

especies oportunistas

2. Reducción general de la biomasa, aunque inicialmente puede verse aumentada debido a la alta densidad de especies oportunistas
3. Disminución en el tamaño medio del cuerpo de las especies o individuos
4. Tendencia de la infauna a concentrarse en la parte más superficial del sedimento
5. Cambios en la dominancia relativa de los grupos tróficos

No obstante, el aumento o disminución en el número de individuos de un taxón concreto va a depender principalmente de la composición faunística de la comunidad natural que es objeto de estudio, y ésta a su vez dependerá del tipo de ambiente donde se desarrolle. Es por esto que cuantos más taxones: poliquetos, crustáceos, moluscos, etc, se estudien, más completa será la información obtenida para interpretar y valorar después los niveles de afección.

4.1.2.- Parámetros Complementarios

Son todos aquellos parámetros de vital importancia para completar la información obtenida por los parámetros de obligado cumplimiento y cuyos efectos demuestran con la misma eficacia la salud de un ecosistema. Son pues los otros indicadores que a pesar de haberse utilizado siempre en los estudios de Impacto Ambiental y en multitud de estudios no se midieron en este proyecto por conocer ya su validez como indicadores de polución.

4.1.2.1.- *En Sedimento*

- **Inspecciones visuales del fondo: olor, color y restos** de pienso, sacos, plásticos, maderas, estructuras, etc.

Estos parámetros implican una medida directa de los vertidos y efectos que está causando la concesión justo bajo el fondo y nos dan una información rápida y directa de lo que está sucediendo para poder tomar decisiones también rápidas.

4.1.2.2.- Comunidades de Especial Interés

- **Macrofauna:** Inicialmente el aumento de materia orgánica en un medio incrementa el número y la biomasa de las especies (Pearson y Rosemberg 1978) y ejerce un fenómeno de atracción.

Sin embargo cuando las condiciones físico-químicas del sedimento cambian se producen también alteraciones en la composición y estructura de las poblaciones zoobentónicas que llevan al abandono y/o sustitución de unas especies por otras, así como a su mortandad. La identificación de estas especies como bioindicadores y su seguimiento en la estructura de la población es de vital importancia para ayudar a establecer niveles de polución.

- **Fitobentos (Flora):** La eutrofización como proceso general consiste en el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El origen de estos nutrientes puede ser natural, si es debido a aportes procedentes de reservorios que se encuentran en otros ecosistemas o de origen antropogénico si proviene de actividades humanas. Consecuentemente, estos aportes aceleran diferentes procesos de los ecosistemas, fundamentalmente el crecimiento de algunas comunidades vegetales como las diatomeas y comunidades de *Caulerpa sp.* en detrimento de otras más sensibles al enriquecimiento orgánico como el maërl o las praderas de fanerógamas marinas.

De existir la presencia de cualquiera de estas u otras comunidades vegetales, **catalogadas especialmente con algún tipo de protección, tanto en el área donde se encuentra ubicada la concesión como en las zonas adyacentes a ella**, su monitorización es de vital importancia para ayudar a dilucidar el alcance de la polución y su nivel de importancia.

- **Bacterias (*Beggiatoa*):** En el bentos se hallan presentes las tres grandes categorías ecológicas de productores (vegetales), consumidores (animales) y descomponedores (bacterias). Estas últimas son abundantísimas y muy importantes para detectar los primeros síntomas de un sedimento anóxico ya que crecen en la interfaz de las capas aeróbicas y anaeróbicas del mismo. Su proliferación aumenta con altas cargas orgánicas, inicios de anoxia y presencia de ácido Sulfídrico en el sedimento. Cuando aparecen mantos blanquecinos de esta bacteria recubriendo las capas más superficiales del sedimento está indicando la degradación ambiental que se está produciendo debido a las condiciones desfavorables en el fondo.

4.1.2.3.- Sistema de Gestión Ambiental

En el caso de los sistemas extensivos en jaulas de mar abierto, la alteración del medio va a depender de tres causas fundamentales: alimentación, productos químicos (Tratamientos de enfermedades y patologías, *antifouling*, productos de limpieza y desinfecciones, etc) y resto de residuos procedentes de la actividad productora (plásticos, maderas, peces muertos, etc). En la metodología de seguimiento propuesta para un PVA del impacto generado por los cultivos marinos se deberían incluir al menos dos; gestión de la alimentación y gestión de los residuos, ya que son los dos factores que más repercuten en el medio de manera acumulativa y sobre el sustrato en particular.

a) ALIMENTACIÓN

La fuente fundamental de posible contaminación es el "pienso", bien sin consumir o consumido proveniente de los residuos que aportan las heces. Es muy difícil estimar la cantidad de cada uno de estos dos contaminantes sumados aunque por lo general se evalúa en un 10% del pienso que no es "capturado" por los peces. La incidencia de estas cantidades depende de la "calidad" del pienso por lo que el desarrollo del pienso tiende a mejorar el nivel de carga contaminante.

La carga contaminante proviene del fósforo, nitrógeno y materia orgánica, y está directamente relacionada con el índice de conversión. Por tanto, la solución estará por un lado en la ubicación adecuada de la concesión de jaulas, de forma que se disperse por efecto de las mareas y de las corrientes marinas y por otro, en la correcta alimentación de los peces en función de la elección del pienso con las mejores características para una especie en concreto y en las maneras de alimentarlo.

b) GESTIÓN DE LOS RESIDUOS

Por último, en la generación de residuos propios de cualquier actividad productiva podemos destacar:

- Peces muertos, que requieren un destino controlado.
- Residuos de limpiezas y lodos del tratamiento de efluentes.
- Envases y embalaje de productos tóxicos y normales.
- Residuos del mantenimiento propio de instalaciones industriales, especialmente aceites.

La implantación de un Sistema de Gestión Medioambiental (SGMA) que implique información y sensibilización medioambiental, así como una serie de criterios y estándares de producción limpia mejora muchísimo la imagen del sector y demuestra la aplicación de las buenas prácticas ambientales en sus operaciones de cultivo, agregando un mayor valor a sus productos en los mercados de destino.

En el siguiente capítulo pues de metodología se propondrán una serie de factores o variables a monitorizar para que se cumplan una serie de medidas de minimización de la contaminación producida en mar, definiendo los indicadores ambientales a controlar y analizando los resultados obtenidos.

4.1.2.4.- Corrientes

La instalación de jaulas de cultivo en mar abierto lleva consigo la necesidad de conocer el hidrodinamismo de la zona donde se pretenden emplazar las jaulas. La hidrodinámica de la zona aporta la información necesaria para conocer los regímenes de oleaje, corrientes y mareas, datos que son necesarios para determinar qué tipo de jaulas y estructuras son apropiadas para cada zona en concreto y sus posteriores efectos.

Un régimen adecuado de corrientes en la zona permite la rápida dilución y mezcla de la carga de nutrientes, impide la acumulación de los productos de desecho y mitiga los efectos negativos que estos pueden causar. Además determina la densidad de peces que se pueden mantener en la zona.

Las corrientes nos proporcionan una herramienta de gestión ambiental para adecuar la localización de estas instalaciones en el litoral, que unido a otros factores como la batimetría, la cercanía a costa y el conocimiento del clima marítimo contribuyen a disminuir enormemente el impacto.

Por este motivo, es fundamental realizar un **estudio de dispersión de la concesión de cultivos para definir la ubicación de los puntos de muestreo del PVA**, ya que con el software adecuado podremos simular la pluma de dispersión y la sedimentación de los excedentes de la actividad acuicultora. La modelización de estos parámetros nos permite ubicar de forma precisa las estaciones de muestreo.

Después de la elección del emplazamiento no hay que olvidar que además las jaulas, una vez en funcionamiento, ejercen un efecto de freno sobre las corrientes locales y en consecuencia sobre el transporte de los sedimentos, pudiendo modificar también la naturaleza textural del fondo.

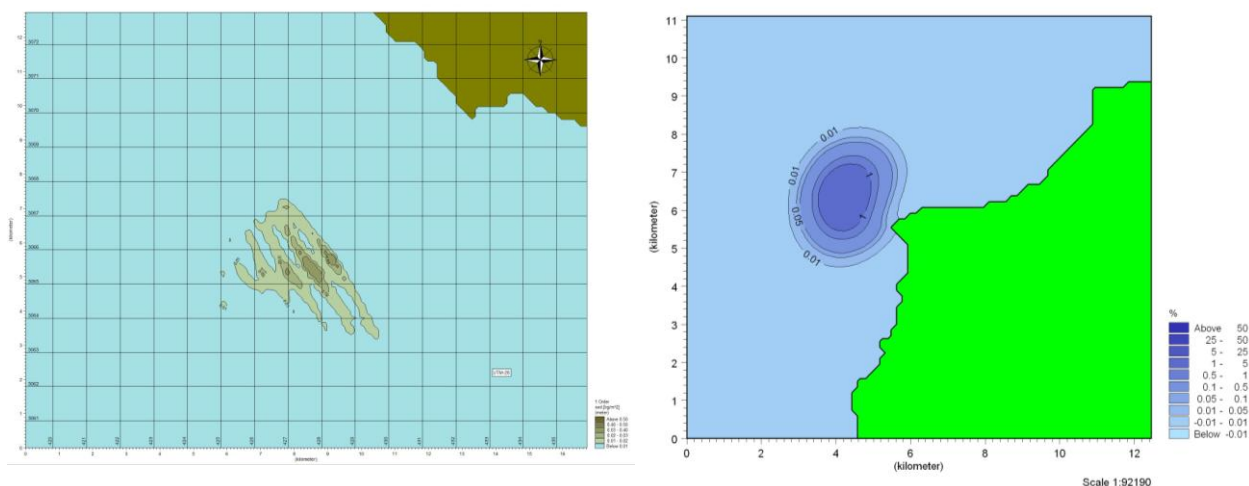


Figura 27, Ejemplo de estudio de dispersión de acuicultura

4.1.3.- Parámetros en Situaciones Especiales

La gran heterogeneidad de las zonas de ubicación de concesiones de cultivos marinos, tanto en régimen de corrientes, exposición, profundidad, tipo de sedimento e incluso sinergia con otras concesiones o usos del medio marino ya pre-existentes, hacen necesario plantear una serie de parámetros que según la bibliografía se han usado y se continúan usando en muchos casos para evaluar la calidad del medio, pero que se deben de restringir a situaciones especiales y no ser de obligado cumplimiento.

En este apartado se engloban todas aquellas concesiones que requieran, además de la monitorización de los parámetros generales estandarizados ya como indicadores de contaminación, definidos en el apartado 4.1, otros especiales, no incluido en el proyecto de *Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina*, por su especificidad ante situaciones no comunes.

En este apartado entrarían aquellas instalaciones ubicadas en bahías,

estuarios, reservas, LICs, etc, que se encuentran más o menos confinados y con poca renovación de sus aguas, así como todas aquellas situadas en las inmediaciones de playas de uso público, especialmente con alguna catalogación de bandera azul o ubicadas muy próximas a zonas con comunidades especialmente sensibles.

4.1.3.1.- Agua

La definición de contaminación del agua puede definirse como "La acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica".

-Turbidez: Por definición la turbidez es una mezcla que oscurece o disminuye la claridad natural o transparencia del agua. Es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. Tales partículas varían en tamaño desde 0,1 a 1.000 nm (nanómetros) de diámetro.

Todo esto reduce la cantidad de luz que penetra en el agua por lo que la actividad fotosintética sufre variaciones. Altos niveles pueden perjudicar a las plantas y los animales haciendo bajar la cantidad de luz disponible para el crecimiento de las algas y los pastos marinos. También pueden obstruir las agallas de los peces, crustáceos y otros animales, matándolos por asfixia.

-Oxígeno disuelto: En las aguas superficiales, en contacto con la atmósfera, la cantidad de oxígeno disuelto tiende a estar en equilibrio con el atmosférico. La cantidad de oxígeno disuelto superficial en el agua de mar oscila entre 90-108%, si bien esa cantidad máxima puede ser sobrepasada en ocasiones, llegando a un estado de sobresaturación

en zonas de muy baja temperatura o zonas en las que haya una intensa actividad fotosintética. Los factores que regulan la cantidad de oxígeno disuelto en el agua son: la temperatura y salinidad del agua, la actividad biológica y los procesos de mezcla debidos a los movimientos del agua de mar.

-Amonio y metano: Los procesos anaeróbicos y bajos potenciales redox debidos a elevadas cargas de desperdicios orgánicos pueden conducir a la producción de compuestos tóxicos como metano (CH₄) y amonio (NH₄), que si se producen en suficiente cantidad pueden ser liberados del sedimento (Gowen y Bradbury, 1987). Algunos estudios revelan que el amonio liberado desde los sedimentos bajo y en el perímetro de jaulas flotantes es mayor que el liberado lejos de éstas (Hargrave et al., 1993; Holmer y Kristensen, 1992).

El incremento de la concentración de amonio total en el agua intersticial del sedimento en las jaulas de exclusión se produce hasta niveles elevados y son considerados como tóxicos puesto que ensayos realizados con los anfípodos mediterráneos *Gammarus aequicauda* (Martinov, 1931) y *Microdeutopus grillotalpa* (A. Costa, 1853) han revelado efectos mortíferos a concentraciones superiores a 43 mg/l (César et al., 2000). Esta toxicidad asociada al amonio podría condicionar la fauna capaz de colonizar estos sedimentos.

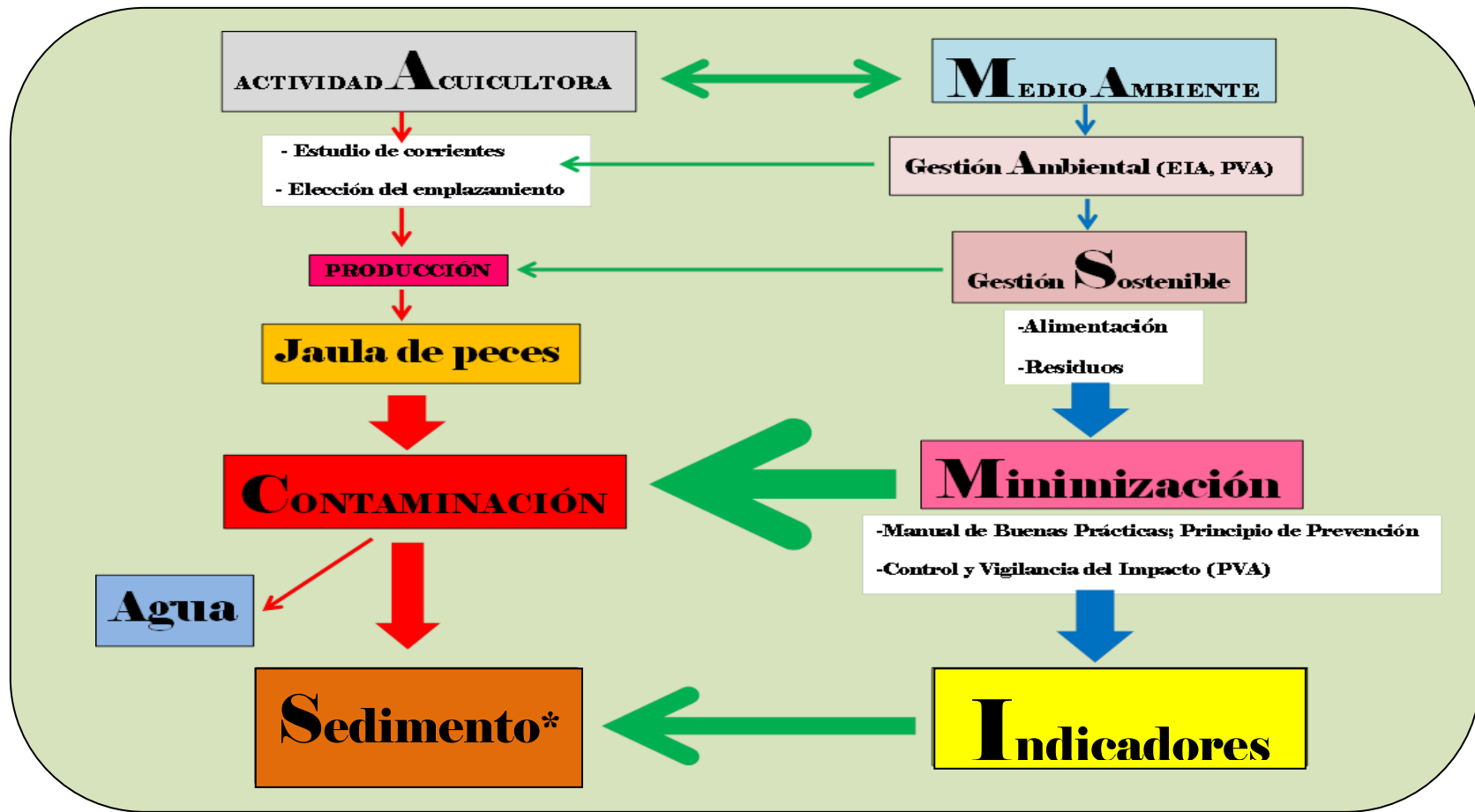


Figura 28, Esquema de procesos que tienen lugar en un sistema off-shore de cultivos marinos

5.- PROPUESTA PVA

5.1.- Diseño de muestreo

Pese a que el impacto de la acuicultura está demostrado que se da en un área de influencia que abarca, en la mayoría de los casos, el perímetro ocupado por la concesión, y en algunos otros, dependiendo de las características, fundamentalmente hidrodinámicas de la zona, algunos kilómetros más, la capacidad de diferenciar entre zonas afectadas y no afectadas, así como sus grados de impactos, es muy complicado y dependen tanto de las condiciones intrínsecas del emplazamiento como del juicio de los diferentes expertos.

Discernir pues entre parámetros de monitorización y sus umbrales de polución es ya una ardua tarea, por lo que consideramos que diferenciar además entre zonas de influencia no es lo más conveniente puesto que lo que se pretende con este proyecto es simplificar la interpretación de los resultados que nos ofrecen los indicadores elegidos, aunar entre metodologías y protocolos de trabajo, e identificar cuánto de "peligroso" está siendo el impacto ocasionado, con el único objetivo final de minimizarlo y controlarlo después.

Dicho lo cual, **en esta propuesta de Plan de Vigilancia Ambiental generado por los cultivos marinos en jaulas flotantes "off-shore" se asume como su propio título indica que existe un impacto en el área donde se está produciendo la actividad acuicultora y por tanto su control y evaluación estarán supeditados casi exclusivamente a este área, salvo que existan comunidades de importancia ecológica, especialmente vegetales, que se encuentren en las inmediaciones de la concesión o en un área catalogada como reserva, LICs, etc y que hayan sido seleccionadas como indicadores complementarios a los PVA pero de vital importancia para el entendimiento del impacto ocasionado por los cultivos.**

Puesto que todos los esfuerzos en establecer límites máximos permisibles de polución se van a centrar en el área de ubicación de la concesión es lógico pensar que **los valores de referencia para los diferentes parámetros de estudio serán en primer lugar los encontrados en el estado 0 de las instalaciones, conocido también como preoperacional.** Esto facilita también la valoración posterior de los resultados al no verse los valores tomados como umbrales influenciados por otras actividades que pueden crear sinergia con la acuicultura; coexistencia de emisarios submarinos en la zona, puertos deportivos o industriales, etc. y unificar así los parámetros que se estudian en el EIA con los de los PVA posteriores.

La segunda opción es la de tomar zonas Control en aquellos casos en los que las piscifactorías se encuentran ya en funcionamiento y cuyos Estudios de Impacto Ambiental (EIA) no están unificados con los Planes de Vigilancia Ambiental después realizados, por lo que se carecen de datos suficientes en el estado 0. Estas zonas Control deben ser al menos dos y asumir en la medida de lo posible que sus características físico-químicas, biológicas y oceanográficas son lo más parecidas a la zona Impacto, fundamentalmente en sustrato.

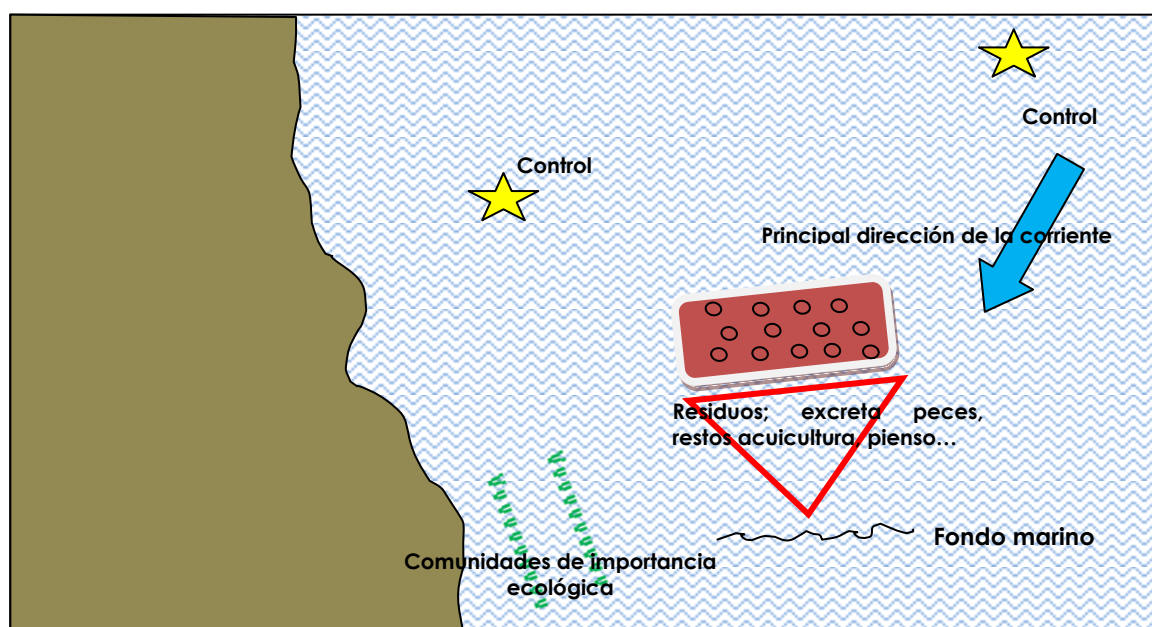


Figura 29. Esquema general de diseño de PVA

5.2.- Número de muestras

Dependerá del tamaño/producción de la concesión y las características propias de la zona donde se encuentra.

-Para concesiones con una producción de **<500 Tn** al año: **4 estaciones** de muestreo.

-Para concesiones con una producción **entre 500 Tn y 2000 Tn**: **6 estaciones** de muestreo.

-Para concesiones con una producción **>2000 Tn** al año: **8 estaciones** de muestreo.

5.3.- Localización de los puntos de muestreo

La localización de los puntos de muestreo, como ya se comentaría, va a concentrarse en el área de ocupación de la propia concesión y las comunidades vegetales de importancia ecológica que puedan encontrarse en las inmediaciones de la misma. En los casos en los que no existan datos del preoperacional o estos sean incompletos se tomarán como referencia las zonas Control.

Zona de Impacto: será la establecida por toda el área de ocupación de la concesión, con lo que su producción determinará el número de estaciones de muestreo a tomar (apartado 3.3). De forma general, la localización de las muestras debe ser uniforme, repartida por toda la concesión, separando las muestras al menos 50 metros entre sí, y estar orientadas en la dirección de la corriente predominante, que es el lugar de sedimentación de los vertidos orgánicos de la acuicultura.

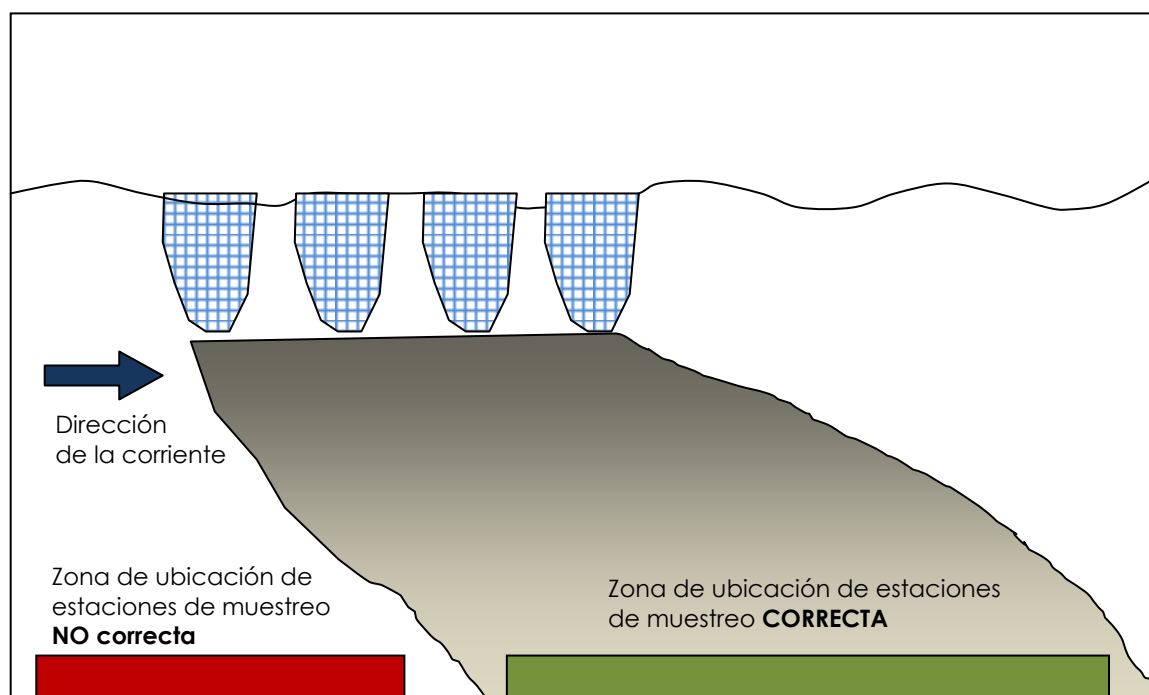


Figura 30. Vista lateral de una concesión tipo

Los valores obtenidos en las muestras recogidas en la zona Impacto serán después comparados con los dados para los mismos parámetros en el estado preoperacional y comprobar de esta manera la evolución positiva o negativa de los mismos. Esto permite no dejar lugar a dudas sobre la afección directa del cultivo, sin sinergia con otras actividades, pudiendo entonces pasar a valorar cuanto de “peligrosa” está siendo la afección de la actividad acuicultora y llegar a tiempo para minimizarla. Con esto se pretende pues simplificar la labor de valoración de los resultados obtenidos y la difícil interpretación de los mismos cuando intervienen muchos otros factores que conducen a una enorme variabilidad ambiental a la hora de realizar comparaciones entra zonas, como por ejemplo pasa con los Controles, cuyo papel muchas veces es dudoso.

De lo que se trata es de cuantificar, calificar (permisible o no permisible) y frenar el impacto ya asumido que sabemos que produce una actividad humana sobre el medio, no de conocer su magnitud espacial que dependerá de infinidad de factores batimétricos e hidrodinámicos.

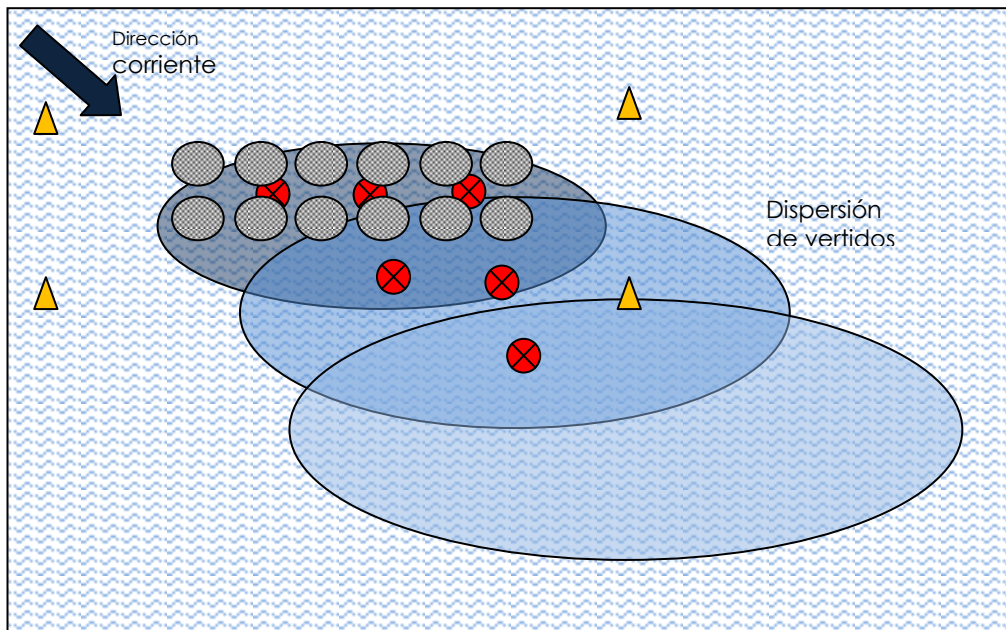


Figura 31. Ejemplo de ubicación de las estaciones de muestreo para una concesión de cultivos de 12 jaulas y una producción entre 500 y 2000 Tn

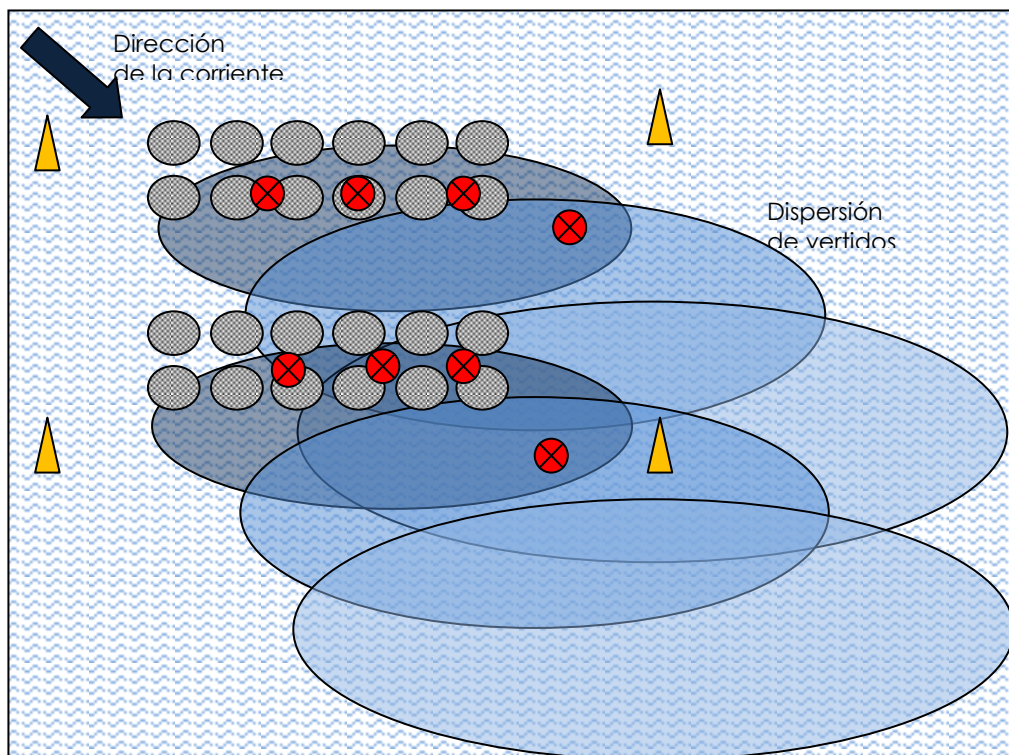


Figura 32. Ejemplo de ubicación de las estaciones de muestreo para una concesión de cultivos de 2 trenes de 12 jaulas (total 24) y una producción de más de 2000 Tn

Zonas Control: serán al menos dos controles, ubicados en una misma zona y alejados entre sí un mínimo de 1km. Deberán de reunir las principales características batimétricas, físico-químicas y de composición del sustrato constituyente de la zona Impacto, además de localizarse situados en contra del sentido de la corriente dominante en la zona.

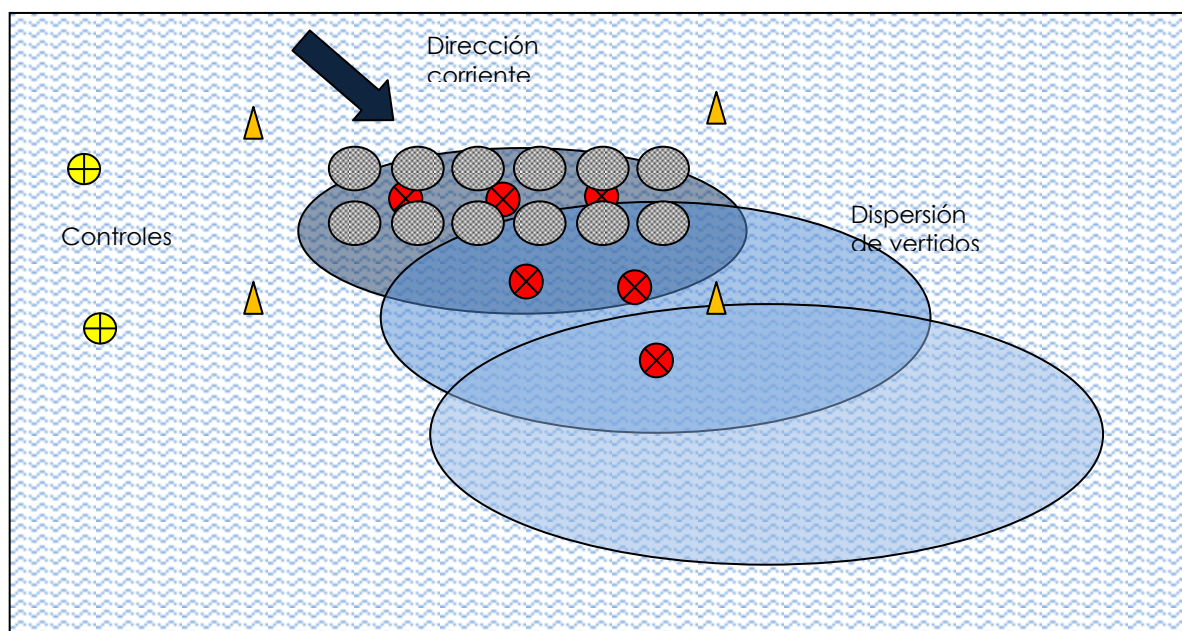


Figura 33. Ejemplo de ubicación de las estaciones de control

Localización de puntos de muestreo en función a la cercanía de Zonas de Especial Interés: Ante este hecho se deberán ubicar más puntos de muestreo en las zonas de especial conservación: määrl, fanerógamas marinas, etc. Hay que aclarar que la ubicación de la concesión de cultivos debe de ser ambientalmente compatible con estas zonas especiales, tal y como debía de haber sido señalado previamente por el Estudio de Impacto Ambiental. Los estudios hidrodinámicos, las simulaciones de dispersión de vertidos orgánicos y la ecocartografía de la zona deben de haber sido las bases para la correcta ubicación de las jaulas, dónde su afección a estas comunidades de especial interés sea nula.

En el caso de una concesión pre-existente, dónde no se hayan tenido en cuenta estas variables para la ubicación de la misma, o en aquellas dónde otras necesidades, a parte de la ambiental, hayan imperado, y se localicen zonas de especial conservación en el radio de afección de la concesión de cultivos, se deberán ubicar puntos de muestreo extras en estas zonas. El número de puntos extra dependerá de la cercanía de la zona especial en cuestión.

-< **0,5 kms: 4 puntos** de muestreo extras en la zona especial.

-Entre **0,5 kms y 1 km: 3 puntos** de muestreo más.

-Entre **1 km y 2 kms: 2 puntos** de muestreo más.

5.4.- Periodicidad

Puesto que estamos tratando de simplificar al máximo la interpretación de los resultados al tiempo que tratamos de que sean lo más fiables posibles, hay que asumir que cualquier sistema lleva intrínseca una variabilidad espacial y temporal que depende de múltiples factores, principalmente estacionales. Esto es pues, que las comunidades biológicas y las características físico-químicas de un ecosistema no se distribuyen de forma homogénea en el espacio ni cambian al unísono con el paso del tiempo.

Por lo tanto, para una mejor interpretación de los resultados, y poder así, aplicar una respuesta efectiva ante posibles situaciones que nos revelen cambios sustanciales en el entorno, se plantea una **periodicidad trimestral** para los **Parámetros** definidos como de **Obligado Cumplimiento**, haciendo coincidir la toma de muestras con las diferentes estaciones del año.

5.5.- Metodología

A continuación se describen de manera generalizada las principales metodologías a utilizar en los indicadores seleccionados para un Plan de Vigilancia Ambiental de los cultivos marinos.

5.5.1.- Parámetros de Obligado Cumplimiento

- **Potencial redox (E_h):** medición directa en el barco, nada más recolectar la muestra y con electrodos de platino, en los 10 primeros cm de las diferentes submuestras de sedimento tomadas bien con draga tipo Van-Veen o corers de PVC.
- **Sulfuros libres totales (S^{2-}):** Las submuestras (5mL de sedimento) se toman en los primeros 2 cm de sedimento con jeringuillas abiertas: jeringuillas de 20 ml (2 cm de diámetro) a las que se les ha quitado la parte apical de modo que adquieren aspecto de émbolo. Inmediatamente se tapan con una tira de parafina y la medición se recomienda que se haga antes de 72h con electrodo de ion selectivo (Ag^+ / S^{2-}). Si la medición no se va a realizar en el mismo barco las muestras deben conservarse en frío y oscuridad.
- **$\delta^{15}N$:** La metodología de recolección del sedimento es la misma que para sulfuro libre total, recolectando 5 cc de sedimento superficial, entre 0-1 cm.
- **Infauna:** las muestras se recogen con una draga manual de unos 20x20x10 cm o con cores de PVC y son tamizadas con una luz de malla de 0.5 mm tal y como recoge el *Standard Methods Comité* (1988). Luego se procede a su conservación en agua de mar al 4% para la posterior identificación de las especies si se pudiera o hasta el nivel de familias como mínimo.

5.5.2.- Parámetros Complementarios

- **Prospecciones visuales:** La inspección visual de los fondos nos permite evaluar *in situ* el estado de los mismos, determinar si hay restos de pienso, macrofauna, presencia de *Beggiatoa sp*, peces muertos, color, etc.

Este tipo de prospecciones se deben realizar por observación directa mediante inmersiones con escafandra autónoma, el uso de ROVs (*Remote Operated Vehicle*) o cámara remolcada, así como su conteo en tablillas de PVC, estandarizadas para ello donde se tomen datos principalmente de abundancia y frecuencia.

- **Fanerógamas marinas:** caracterización de la población mediante las metodologías propuestas por Short *et al.* en el *Seagrass Research Methods*.

En primer lugar se procederá a cartografiar la pradera con la ayuda de una cámara remolcada georreferenciada, para representar en un SIG el área que abarca la población, así como el tipo de distribución. Una vez delimitada la pradera, se realizarán una serie de transectos, que variarán en función del tamaño de la pradera, donde se tomarán datos descriptivos de la comunidad, como densidad de haces, cobertura y biometría foliar mediante cuadrados de muestreo de 25x25 cm.

Para valorar el estado de la comunidad y el posible efecto causado por los vertidos orgánicos procedentes de la instalación de cultivos se propone el uso del parámetro $\delta^{15}\text{N}$ medido en tejidos de macrófitos para identificar fuentes de nitrógeno, basado en el hecho de que diferentes fuentes de nitrógeno tienen distinta relación isotópica (Tabla 2) (Heaton, 1986), y en la habilidad conocida de los macrófitos de tomar, asimilar y almacenar los nutrientes en exceso del medio (Lyngby *et al.*, 1990). En condiciones naturales, la relación isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de los tejidos de algas y angiospermas marinas se aproxima a cero ya que el N disponible es de origen atmosférico. Los aportes de fertilizantes químicos (e.g. utilizados en agricultura) al medio marino costero no causan una desviación de estos valores pues también son de origen atmosférico. Por el contrario, los aportes orgánicos de origen animal (vertidos urbanos y acuícolas) se reflejan en un aumento de $\delta^{15}\text{N}$ en los tejidos de macroalgas, fanerógamas y

manglares (Wada *et al.*, 1987; Grice *et al.*, 1996; Udy y Dennison, 1997). Estos elevados valores no son tanto debidos a la relación isotópica de las fuentes (excrementos animales), sino más bien a los procesos de fraccionamiento isotópico que experimenta el N de dichas fuentes en el medio (Fry, 2006).

Efectivamente, la elevada relación isotópica del *pool* de N de vertidos urbanos se debe a la pérdida del isótopo ligero del sistema en los procesos de volatilización del amonio y subsiguiente nitrificación (Lahjta y Michener 1994; Cole *et al.* 2005). Estos procesos de fraccionamiento isotópico también explican el incremento de $\delta^{15}\text{N}$ entre 3 y 4 ‰ entre niveles tróficos (Hobson *et al.*, 1996), circunstancia que se ha aprovechado para determinar la posición trófica de los organismos que forman parte de una comunidad determinada.

- **Maërl:** El Maërl es la acumulación de algas rojas calcáreas no fijadas al sustrato que dan lugar al desarrollo de unas concreciones o nódulos calcáreos conocidos como rodolitos. Asociado al Maërl pueden encontrarse otros tipos de algas rojas filamentosas y foliares, así como algas pardas, crustáceos, cnidarios, peces, etc. Su gran biodiversidad, su lento crecimiento y su utilidad como registro paleobatimétrico hacen de estas comunidades unos ecosistemas únicos y de especial conservación.

El método estandarizado para el estudio del maërl es la determinación de la biomasa del mismo mediante el cálculo del peso seco de las porciones vivas y muertas de un volumen de muestra conocido.

- **Diatomeas:** inspección visual de la presencia/ausencia de mantos amarillentos de esta microalga en un área representativa de la concesión de al menos el 80%, filmando así en el centro y periferia de la misma y en un mínimo de dos transectos de 20m de longitud por zona.

- **Beggiatoa sp:** inspección visual acerca de la presencia/ausencia de mantos blanquecinos de *Beggiatoa sp.* en un área representativa de la concesión de al menos el 80%, filmando así en el centro y periferia de la misma y en un mínimo de dos transectos de 20m de longitud por zona.
- **Sistema de Gestión Integral (SGI):** se realizarán las inspecciones visuales oportunas que requieran la verificación de unas medidas básicas de gestión de los principales residuos ocasionados por la actividad en mar abierto; recogida y retirada de peces muertos y gestión de los principales residuos con empresas ambientales autorizadas, así como la verificación del plan de buenas prácticas de la empresa, principalmente en la alimentación. Todo ello se recogerán en unos estadillos estandarizados para dichos muestreos (futuros anexos).
- **Corrientes:** el estudio de corrientes se lleva a cabo con sistemas de modelización de las corrientes y la dispersión para mares profundos, estuarios y aguas costeras con un componente de flujo vertical significativo como por ejemplo el programa MIKE 3 (DHI) u otros.

5.5.3.- Parámetros en Situaciones Especiales

- **Agua**
 - **Turbidez / Oxígeno disuelto:** Para el estudio de estos parámetros se recomienda el uso de sondas multiparamétricas tipo CTD, que además de permitir el registro de los parámetros recomendados, pueden incluir otros parámetros extra como pueden ser la temperatura o la salinidad, en toda la columna de agua, en un momento puntual, o ser fondeadas a una determinada profundidad para el registro de datos en continuo.
 - **Amonio (NH₄):** Para la recolección de muestras se recomienda el uso de botellas hidrográficas tipo Niskin, tomando las muestras,

preferiblemente a dos profundidades, a 3 m y 15m. Para el análisis del amonio se requiere un volumen aproximado de 250 mL.

- **Metano:** Este parámetro es útil en zonas con muy poca renovación de agua, donde la liberación de estos gases pueda afectar notablemente a la producción. Este tipo de parámetro, debido a su volatilidad, se recomienda medirlo mediante sensores específicos.

5.6.- Valores de referencia

Los criterios de calidad propuestos en este primer borrador acerca de una propuesta metodológica para los PVA generados por los cultivos marinos, tendrán como objetivo principal diferenciar entre dos niveles: **Afección** o **No Afección**. Ahora bien, puesto que como ya comentamos se *asume que existe un impacto en el área donde se está produciendo la actividad acuicultora*, definir cuándo se considera que esta Afección sobrepasa unos límites indeseables es lo difícil.

Atendiendo a la importancia de cada uno de los indicadores elegidos y los parámetros de referencia del estado 0, o los datos recogidos en las zonas Control en su defecto, se asumirá como:

Afección: todos aquellos valores que sobrepasan en un rango los valores establecidos en el estado 0 del sistema, o en su defecto en las zonas Control.

No afección: valores que no sobrepasan los valores establecidos en el estado 0 del sistema, o en su defecto en las zonas Control.

Una vez aparezcan estados de Afección no deseables, es decir, cuando se superen los límites establecidos en cualquiera de los indicadores propuestos, será competencia de la administración actuar en consecuencia instando al productor a tomar las medidas oportunas para minimizar el impacto reduciendo o paralizando la actividad si fuera necesario.

5.6.1.- Rangos de afección en Parámetros de Obligado Cumplimiento

- **Potencial redox (E_h);** se considerará como:
 - Perturbación indeseable** la detección de potenciales negativos inferiores a -100 mV, en la superficie del sedimento en más de un 30% del total de las muestras analizadas
 - No Admisible:** <-100 mV en un 30% de las muestras analizadas
- **Sulfuro total libre (S^{2-}):** Para determinar el rango de afección de los valores de sulfuro total libre tomamos como referencia los límites propuestos por Hargrave et al. (2008), siendo inadmisibles
 - Valores de TFS entre 3000 μM – 6000 μM en el 30% de las muestras:
Perturbación indeseable
 - Valores de TFS > 6000 μM en cualquier muestra: **No admisible**
- **$\delta^{15}\text{N}$:** Para determinar el rango de afección de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en sedimento se han utilizado los datos obtenidos en el proyecto piloto del proyecto *Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina (2008-2010)*. En este sentido se considera:
 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 0,4 – 0,6 en el 30% de las muestras: **Perturbación indeseable**
 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$ > 0,6 en cualquier muestra: **No Admisible**
- **Infauna:** Los resultados del mencionado proyecto se plantean a nivel de familias en los grupos de poliquetos y anfípodos, en este sentido, los rangos se establecen de la siguiente forma:

- **Equitatividad de Pielou:** Los valores de equitatividad de Pielou no deben diferir en más de un 50% de los valores de referencia del preoperacional o de los controles y no ser inferiores a 0,30.
- **La Abundancia de familias** no debe diferir en más de un 50% de los valores de abundancia del preoperacional o de los controles.

-Equitatividad de Pielou < 0,30: **No admisible**

-Valores de equitatividad de Pielou y de abundancia difieren en más de 50% de los valores de referencia del preoperacional o controles: **No Admisible**

5.6.2.- Rangos de afección en Parámetros Complementarios

- **Inspecciones visuales y SGI:**

-Se considerará como **perturbación indeseable** los restos de pienso en más de un 25% de los puntos de muestreo

-Presencia de peces muertos en el fondo en más de una campaña de muestreo.

-Presencia de restos de plásticos, hierros, maderas, materia orgánica, material sanitario, de desinfección y limpieza, etc en el fondo de la instalación

-La no gestión de residuos peligrosos

- **Fanerógamas marinas:** Las praderas de fanerógamas marinas no deben tener afección directa de una concesión de cultivos marinos, ya que es uno de los condicionantes para su ubicación, si aun así, existiera una pradera cercana, se consideraría como **perturbación indeseable:**

-Si los valores de $\delta^{15}\text{N}$ medidos en los epífitos de las fanerógamas marinas difieren en más de un 25% de los de una zona control.

-Si los valores descriptivos de la pradera (densidad de haces, cobertura y biometría foliar) difieren en más de un 25% de los datos referentes al estudio preoperacional.

- **Bacterias:** se considerará como **perturbación indeseable** cualquier presencia de mantos de *Beggiatoa sp.* en el fondo que recubran más del 5% del área total de la concesión.
- **Maérl:** se considerará como **perturbación indeseable** la reducción en los valores de referencia de más del 10% en los datos de distribución vertical del maérl encontrado inicialmente, así como la pérdida de más del 5% en sus morfotipos.

5.6.3.- Rangos de afección en Parámetros de Situaciones Especiales

Los valores de referencia que se plantean en este apartado son estimativos y obtenidos de datos históricos y referencias bibliográficas, no siendo contrastados en los proyectos experimentales del proyecto de *Selección de indicadores, determinación de valores de referencia, diseño de programas y protocolos de métodos y medidas para estudios ambientales en acuicultura marina (2008-2010)*.

- **Turbidez:** 25% de los valores > 5 NTU en todas las estaciones: **Perturbación indeseable**
- **Oxígeno disuelto:** 25 % de los Valores < 70% saturación: **Perturbación indeseable**
- **Sólidos en Suspensión:** 25% de los Valores > 30mg/l: **Perturbación indeseable**

○ que difieran hasta un 30% de los valores del preoperacional o controles

- **NH₄**: Si los valores de amonio difieren hasta un 30% de los valores del preoperacional o controles: **Perturbación indeseable**
- **CH₄, y CO₂**: Presencia de estos gases: **No admisible**

En la siguiente tabla se resumen todos los parámetros propuestos en este PVA para los estudios realizados en cultivos marinos de acuicultura y sus parámetros de referencia estudiados, así como sus niveles de afección y las medidas correctoras planteadas.

Tabla 50. Resumen de los parámetros propuestos, rangos, calificación de impacto y medidas correctoras

Parámetros de estudio propuestos	Rangos/Limites de afección	Calificación del Impacto	Medidas Correctoras
Potencial redox (E_h)	< -100 mV, en más de un 30 % de las muestras	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
	<-100 mV en un 30 % de las muestras	NO ADMISIBLE	Reubicación o Parada de la actividad
Sulfuro total libre (TFS)	TFS entre 3000 µM – 6000 µM en el 30 % de las muestras	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
	TFS > 6000 µM en cualquier muestra	NO ADMISIBLE	Reubicación o Parada de la actividad
δ¹⁵N	0,4 – 0,6 en el 30 % de las muestras	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
	> 0,6 en cualquier muestra	NO ADMISIBLE	Reubicación o Parada de la actividad
Infauna	Equitatividad de Pieolu < 0,30	NO ADMISIBLE	Reubicación o Parada de la actividad
	Equitatividad de Pielou y abundancia difieren en más de 50 % de los valores de referencia del preoperacional o controles	NO ADMISIBLE	Reubicación o Parada de la actividad
Inspecciones visuales y SGI	Restos de pienso en más de un 25 % de los puntos de muestreo	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
	Presencia de peces muertos en el fondo en más de una campaña de muestreo	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
	Presencia de restos de plásticos, hierros, maderas, materia orgánica, material sanitario, de desinfección y limpieza, etc en el fondo de la instalación	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
	No gestión de residuos peligrosos	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
Fanerógamas marinas	Valores de δ ¹⁵ N en epífitos que difieren en más de un 25 % de la zona control	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
	Valores descriptivos de la pradera (densidad de haces, cobertura y biometría foliar) que difieren en más de un 25 % de los datos del preoperacional	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
Bacterias	Presencia de mantos de <i>Beggiatoa sp.</i> en el fondo que recubran más del 5 % del área total de la concesión	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
Maërl	Reducción en los valores de referencia de más del 10 % en los datos de distribución vertical del maërl encontrado inicialmente, o pérdida de más del 5 % en sus morfotipos	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
Agua	Turbidez: 25 % de los Valores > 5 NTU en todas las estaciones	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
	Oxígeno disuelto: 25 % de los Valores < 70 % saturación	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
	NH ₄₊ : valores que difieren hasta un 30 % de los valores del preoperacional o controles	PERTURBACIÓN INDESEABLE	Disminución de la producción
	CH ₄ : Presencia de estos gases	NO ADMISIBLE	Reubicación o Parada de la actividad

6.- BIBLIOGRAFÍA

- Beesley, P.L., Ross, G.J.B., Glasby, C.J. (Eds.). (2000). *Polychaetes and Allies. The Southern Synthesis. Fauna of Australia vol 4A: Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipunculida*. CSIRO Publishing. Melbourne xii 465pp.
- Bellan, G., Desrosiers, G., Willsie, A. (1988). Use of an annelid pollution index for monitoring a moderately polluted littoral zone. *Marine Pollution Bulletin* 19: 662-665.
- B.T. Hargrave, M. Holmer, C.P. Newcombe, 2008. Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biogeochemical indicators.
- Cromey, C.J., Nickell, T.D. and Black, K.D. (2002 a). DEPOMOD – modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture* 214: 211-239.
- Cromey, C.J., Nickell, T.D., Black, K.D., Provost, P.G. and Griffiths, C.R. (2002 b). Validation of fish farm waste resuspension model by use of a particulate tracer discharged from a point source in a coastal environment. *Estuaries*, 25(5): 916-929.
- Dean, W. E. Jr., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. *J. Sed. Petrol.* 44: 242–248.
- De Lange, H.J., Van Griethuysen, C., Koelmans, A.A., 2007. Sampling method, storage and pretreatment of sediment affect AVS concentrations with consequences for bioassay responses.
- D.J. Wildish, H.M. Akagi, Hamilton and B.T. Hargrave, 1999. A Recommended Method for Monitoring Sediments to Detect Organic Enrichment from Mariculture in the Bay of Fundy.
- Fallesen, G., Jorgensen, H.M. (1991). Distribution of *Nephtys hombergii* and *N. ciliata* (Polychaeta: Nephtyidae) in Arhus Bay, Denmark, with emphasis on the effect of severe oxygen deficiency. *Ophelia Supplement* 5: 1-723.

-Findlay, R.H. and Watling, L. (1997). Prediction of benthic impact for salmon netpens based on the balance of benthic oxygen supply and demand. *Marine Ecology Progress Series*, 155: 145-157.

-Frangipane, G., Pistolato, M., Molinaroli, E., Guerzoni, S., Tagliapietra, D. (2009). Comparison of loss on ignition and thermal analysis stepwise methods for determination of sedimentary organic matter. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 19: 24-33.

-J.A. De la Ossa – Carretero, Y. del Pilar Ruso, F. Giménez Casalduero, J.L. Sánchez Lizaso, 2009. Testing BOPA index in sewage affected soft-bottom communities in the north-western Mediterranean.

-Gowen, R.J. and Bradbury, N.B. (1987). The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 25: 563-575.

-Giangrande, A., Licciano, M., Musco, L. (2005). Polychaetes as environmental indicators revisited. *Marine Pollution Bulletin* 50: 1153-1162.

-Gray, J.S., Wu, R.S., Or, Y.Y. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series* 238: 249-279.

-Hall, P.O.J., Holby, O., Kollberg, S. and Samuelsson, M.O. (1992). Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Marine Ecology Progress Series*, 89: 81-91.

-Hargrave, B.T., Phillips, G.A., Doucette, L.I., White, M.J., Milligan, T.C., Wildish, D.J., Cranston, R.E. (1997). Assessing benthic impacts of organic enrichment from marine aquaculture. *Water, Air and Soil Pollution* 99: 641-650.

-Hargrave, B.T., Holmer, M., Newcombe, C.P. 2008. Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biogeochemical indicators. *Marine Pollution Bulletin*. 56(5): 810-824.

-Hargrave, B.T. (2010). *Empirical relationships describing benthic impacts of salmon aquaculture. Aquaculture Environment interactions* 1: 33-46.

-Holmer, M., Kristenen, E. (1992). *Impact of marine cage farming on metabolism and sulfate reduction of underlying sediments. Marine Ecology Progress Series* 80: 191-201.

-Hyland, J., Balthis, L., Karakassis, I., Magni, P., Petrov, A., Shine, J., Vesetrgaard, O., Warwick, R. (2005). *Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos. Marine Ecology Progress Series* 295: 91- 103.

-Kalantzi, I., Karakassis, I. (2006). *Benthic impacts of fish farming: meta-analysis of community and geochemical data. Marine Pollution Bulletin* 52: 484-493.

-Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E. (1998). *Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. Marine Ecology Progress Series* 162: 243-252.

-Lupatsch, I. and Kissil, G.W. (1998). *Predicting aquaculture waste from gilthead seabream (*Sparus aurata*) culture using a nutritional approach. Aquatic Living Resources*, 11(4): 265-268.

-Molina Domínguez, L. López Calero, C., Vergara, J.M., Robaina, L. (2001). *A comparative study of sediments under a marine cage farm at Gran Canaria Island (Spain). Preliminary results. Aquaculture* 192: 225-231.

-Pearson, T.H., Rosenberg, R. (1978). *Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanography and Marine Biology Annual Review* 16: 229-311.

-Pereira, P.M.F., Black, K.D., Mclusky, D.S., Nickell, T.D. (2004). *Recovery of sediments after cessation of of marine fish farm production. Aquaculture* 235: 315-330.

-*Polychaete/amphipod ratio revisited. J.C. Dauvin, T.Ruellet, 2007.*

-Videla, L.S., Rostagno, C.M., Toyos, M.A. (2008). *La materia orgánica particulada: comparación de métodos para su determinación y su valor como indicador de calidad de suelos del Chubut*. *Suelo* 26(2): 219-227.

-Wells, R.G.M., Dales, R.P., Warren, L.M. (1981). *Oxygen equilibrium characteristics of the erythrocyte (extracellular haemoglobin) from Owenia fusiformis Delle Chiaje (Polychaeta: Oweniidae)*. *Comparative Biochemistry and Physiology A70*: 11-113.

-Weston, D.P. (1990). *Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient*. *Marine Ecology Progress Series* 61: 233-244.

-Wildish, D.J., Akagiu, H.M., Hamilton, N., Hargrave, B.T. 1999. *A recommended method for monitoring sediments to detect organic enrichment from mariculture in the Bay of Fundy*. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2286: iii + 31p.