

Seguimiento ambiental para instalaciones de acuicultura marina

J. C. Macías¹, J. Collado¹, C. Álamo¹, M. Escalona² y E. García²

¹ Subdirección de Servicios Pesqueros. Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero, S.A.

Avda. Reino Unido, edif. Adytec, 4.^a planta. E-41012 Sevilla, España. Correo electrónico: jcmacias@dap.es

² Empresa Pública de Gestión Ambiental, S.A. C/ Johan G. Gutenberg, s/n. Isla de la Cartuja. E-41092 Sevilla, España.

Recibido en octubre de 2005. Aceptado en noviembre de 2005.

RESUMEN

Aunque la acuicultura marina, en comparación con otros sectores productivos y otras actividades que se desarrollan en el litoral, origine un efecto menor sobre el medio ambiente, es obvio que puede producir algún impacto, y por ello, para asegurar el respeto a los valores medioambientales del entorno y cumplir correctamente los principios del desarrollo sostenible, lo importante es conocer cuáles pueden ser esos impactos, para tratar de corregirlos o, según los casos, minimizarlos. En el presente estudio se trata de establecer los indicadores ambientales para el seguimiento de la actividad, tanto en instalaciones en mar abierto como en instalaciones en tierra, contribuyendo a mejorar el diseño de programas de vigilancia ambiental para cada tipo de instalación.

Palabras clave: Impacto ambiental, indicadores medioambientales, programa de vigilancia ambiental, instalaciones en mar abierto, instalaciones en tierra.

ABSTRACT

Environmental monitoring of marine aquaculture facilities

Aquaculture, like any other productive activity which uses natural resources, can have an impact on the environment. Both the magnitude and dimension of this influence are related to the type of culture being carried out, and the geographic location of the farm. The present study focuses on the environmental impact associated with aquaculture activities (both inland and off-shore), and identifies the best indicators in the water column and the seabed, in order to further our knowledge of the environmental impact of this activity, thus helping to improve the design of aquaculture environmental monitoring.

Keywords: *Environmental impact, monitoring, environmental indicators, environmental vigilance program, offshore facilities, inland facilities.*

INTRODUCCIÓN

La Comisión Europea reconoce la importancia de la acuicultura en la reforma de la política pesquera común y la necesidad de desarrollar una estrategia para el desarrollo sostenible de este sector. Así, en septiembre de 2002 se publicó una Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo titulada La estrategia

de la UE para el desarrollo sostenible de la acuicultura europea, donde se puede encontrar, entre los retos más inmediatos, el de solucionar los problemas medioambientales (Comisión de las Comunidades Europeas, 2002).

Por otro lado, la situación actual y el futuro de la acuicultura en España se analizó en el *Libro Blanco de la Acuicultura en España* (MAPA, 2001), y según éste, las instalaciones de acuicultura en

España no están produciendo un gran impacto sobre el medio ambiente, a excepción de las bateas de moluscos (MAPA, 2002); sin embargo, es cierto que el impacto de las jaulas marinas está poco estudiado, si bien, en general, los desechos de las piscifactorías (restos de comida y heces) pueden provocar un enriquecimiento en nutrientes (Pearson, 1991). En el citado *Libro Blanco de la Acuicultura en España* se afirma que, entre los factores que determinarán el desarrollo futuro de la acuicultura en España, además del apoyo administrativo, estará la apuesta por la adecuada gestión ambiental.

La Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía apuesta también por el desarrollo de la actividad, y así se recoge en el Programa de acuicultura del Plan de modernización del sector pesquero andaluz, que establece las bases que permitirán impulsar decididamente durante los próximos años el desarrollo sostenible de esta actividad en determinadas áreas costeras andaluzas, aprovechar sus potencialidades acuícolas para generar riqueza y empleo y preservar y mejorar la calidad medioambiental de sus costas.

Y esto es así porque, aunque la acuicultura marina, en comparación con otros sectores productivos y otras actividades que utilizan el litoral, origine un efecto menor sobre el medio ambiente, es obvio que puede producir algún impacto, y por ello, para asegurar el respeto a los valores medioambientales del entorno donde se realiza, será necesario establecer esos posibles impactos para tratar de corregirlos y, según los casos, minimizarlos. Dado que sobre esta materia existe poca información, principalmente por la dificultad y el coste de su obtención, este estudio se plantea identificar los efectos ambientales producidos por las instalaciones de acuicultura, determinar los indicadores ambientales para el seguimiento de la actividad y mejorar el diseño de programas de vigilancia ambiental (PVA) adecuados a cada tipo de explotación. Así, los objetivos específicos de esta investigación fueron los siguientes.

- Evaluar la incidencia ambiental de la actividad acuícola estudiada sobre el medio ocupado.
- Identificar los indicadores de impacto ambiental relacionados con la actividad.
- Apoyar el diseño de los programas de vigilancia y control en instalaciones de acuicultura.

- Aportar criterios para la valoración de proyectos y elaboración de informes ambientales sobre nuevas explotaciones.

Desde el punto de vista normativo, la acuicultura marina en Andalucía es una actividad que, si bien es competencia exclusiva de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, según su Estatuto de Autonomía [desarrollada por la Ley 1/2002 de 4 de abril, de Ordenación, Fomento y Control de la Pesca Marítima, el Marisqueo y la Acuicultura Marina en Andalucía, dado que utiliza como soporte para su desarrollo, fundamentalmente, el dominio público marítimo-terrestre (DPMT)] depende también de la participación e informes de otras administraciones con competencias en el dominio ocupado, principalmente por parte de la administración con competencias en la titularidad del DPMT (la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente), y de la administración con competencias en materia de medio ambiente (la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía). Además, afectan a la actividad otra serie de normas sobre calidad de aguas, vertidos, residuos, control sanitario, etc.

En el ámbito internacional, el aspecto medioambiental de la acuicultura ha sido tratado por el Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution (GESAMP), patrocinado por la FAO, en un estudio titulado Reducción del impacto ambiental de la acuicultura marina (GESAMP, 1999), donde se define la contaminación marina como “la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o energías en el medioambiente marino (incluyendo estuarios), produciendo tanto efectos nocivos como daños sobre los recursos vivos, peligro para la salud humana, obstáculos para las actividades marinas, incluida la pesca, deficiencia en la calidad para el uso del agua de mar y reducción en el desarrollo de actividades”. En líneas generales, y según el GESAMP, los efectos ecológicos negativos que pueden producirse como consecuencia del desarrollo de la acuicultura marina son, entre otros, el enriquecimiento de nutrientes y eutrofización, la alteración de la vida salvaje, con interacciones entre poblaciones de cultivo escapadas con las especies salva-

jes, la introducción de especies alóctonas, la incorporación de agentes químicos a partir de las instalaciones, etc.

Es cierto que en el ámbito internacional aumenta la preocupación por desarrollar el gran potencial acuícola que ofrecen las costas en avenencia con el medio ambiente, y, así, diversos organismos regionales y nacionales, como la Scottish Environment Protection Agency (SEPA) en Escocia, o la Environmental Protection Agency (EPA) en Estados Unidos, están implicados en el desarrollo de modelos de predicción de impactos, medidas de control, mecanismos de ordenación y fomento, etc. Existen muchos puntos, entre los planteamientos de estas entidades, coincidentes en la necesidad de una mayor recolección de datos con la adecuada relación espacio-tiempo, la determinación de los distintos procesos biológicos, químicos y físicos, en los ámbitos local y regional, y la determinación de modelos de predicción. Como resultado de esta preocupación, se han puesto en marcha diversos proyectos conjuntos entre centros de investigación a escala internacional para abordar estos asuntos. Algunos de los más importantes son MERAMED, MEDVEG, BIOFAQs, AQCESS, ECASA y Working Group on Environmental Interactions of Mariculture (ICES).

Respecto a la caracterización de impactos, en términos generales la acuicultura puede originar alteraciones en el medio ambiente a través de procesos como el consumo de recursos, la transformación o producción y la generación del producto final; sin embargo, esta perturbación estará íntimamente relacionada con el tipo de acuicultura practicado (especies seleccionadas, fase de cultivo desarrollada, zona de implantación y volumen de producción). En la tabla I se muestran de forma esquemática y teórica los potenciales impactos ambientales que se pueden producir en cada una de las fases de desarrollo de un proyecto de acuicultura.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología aplicada para la realización de este estudio se podría dividir en cuatro áreas establecidas como sigue.

Trabajo de gabinete

En él se estudiaron los procesos productivos más importantes, describiendo las técnicas de actuación, las especies cultivadas y el entorno donde se concentra la mayor parte de la producción, en este caso las marismas y estuarios del litoral suratlántico (granjas marinas en tierra) y los fondos marinos del litoral surmediterráneo (jaulas flotantes).

El ámbito general del estudio se centró en el litoral de la Comunidad Autónoma de Andalucía, región situada al sur de Europa y que se caracteriza, principalmente, por la existencia de masas de agua con influencia atlántica y mediterránea. Pero la demarcación específica se limitó a seis instalaciones distribuidas a lo largo del litoral andaluz: una en la provincia de Huelva (marismas de Ayamonte), dos en la provincia de Cádiz (marismas del río San Pedro y zona interna de la bahía de Cádiz), una en la provincia de Málaga (costa de Benalmádena), una en la provincia de Granada (costa de Salobreña) y una en la provincia de Almería (costa de Aguadulce-Enix).

A lo largo de este litoral se asienta un sector del que cabe destacar, básicamente, que está compuesto por más de 70 empresas, principalmente dedicadas al engorde de dorada *Sparus aurata* L., 1758 y lubina *Dicentrarchus labrax* (L., 1758), tanto en tierra como en jaulas flotantes, y cuya producción ascendió en el año 2004 a 7 415,5 t. Cerca del 80 % de este volumen correspondía a las dos especies citadas; del total de la producción, el 56,7 % fue producido en instalaciones situadas en tierra, mientras que el 43,3 % restante lo fue en instalaciones ubicadas en mar abierto.

Una vez conocidas las zonas de cultivo y las principales características del sector, en esta fase previa también se identificaron los potenciales efectos o impactos sobre el medio (agua y sedimentos), además de los riesgos ambientales que la actividad puede sufrir, como es el caso de los vertidos en las proximidades del medio de cultivo.

A partir de aquí, se identificaron las variables de estudio en cada uno de los subsistemas a estudiar y que se muestran en la tabla II.

Con esta información se seleccionaron las instalaciones en las que se realizaría el estudio: tres instalaciones en tierra y otras tres en mar abierto; posteriormente, se planificaron las campañas de muestreo y seguimiento ambiental, que

Tabla I. Caracterización de impactos en instalaciones de cultivo en mar abierto y en tierra.

Jaulas flotantes en mar abierto	Estanques excavados en tierra
Fase de construcción de instalaciones principales y auxiliares	
<ul style="list-style-type: none"> - Transformación del terreno. - Generación de residuos sólidos y líquidos (vertidos). - Generación de ruidos. 	
Fondeo e instalación de las jaulas. <ul style="list-style-type: none"> - Posicionamiento, transporte, fondeo y anclaje de las boyas de señalización marítima del polígono de cultivo. - Ensamblaje de las estructuras y piezas de las jaulas en tierra. - Fondeo de anclajes (muertos, anclas, etc.). - Transporte de las jaulas flotantes y montaje del entramado de la instalación. 	Construcción y equipamiento de la granja marina e instalaciones auxiliares. <ul style="list-style-type: none"> - Construcción de estanques, canales y compuertas. - Construcción de instalaciones auxiliares, almacenes, etc. - Equipamiento de estanques de cultivo, canales e instalaciones auxiliares.
<ul style="list-style-type: none"> - Alteración de la calidad de aguas, fondos marinos y condiciones hidrodinámicas. - Incidencia paisajística. - Generación de residuos y (o) ruidos durante el transporte y la instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Transformación y (o) alteración del terreno. - Generación de vertidos, residuos y ruidos. - Cambios del paisaje o impacto visual.
Fase de actuación procedimental de la instalación	
<ul style="list-style-type: none"> - Generación de residuos orgánicos e inorgánicos. - Alteración de calidad de agua. - Enriquecimiento o eutrofización. - Proliferaciones de microalgas y (o) fitoplancton tóxico. - Alteración del sedimento (fondo marino): sustrato y hábitats. - Alteraciones de las condiciones hidrodinámicas u oceanográficas. - Introducción de patologías en las poblaciones autóctonas. - Fugas de peces cultivados. - Proliferación de poblaciones de avifauna. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alteración de la calidad del agua. - Alteración de la calidad del sedimento. - Alteraciones de las condiciones hidrodinámicas. - Enriquecimiento o eutrofización. - Generación de residuos orgánicos e inorgánicos. - Generación de vertidos líquidos. - Introducción de patologías en las poblaciones autóctonas. - Escapes de peces cultivados. - Proliferación de poblaciones de avifauna. - Incidencia paisajística.
Pesca, manipulación y comercialización de la producción	
<ul style="list-style-type: none"> - Generación de residuos orgánicos e inorgánicos. - Fugas de las especies producidas. 	

incluían la toma de muestras con una periodicidad mensual, trimestral o semestral, dependiendo del subsistema analizado.

Trabajo de campo

Consistió en una campaña de muestreos en las instalaciones seleccionadas, todas de engorde de peces marinos. Los trabajos se realizaron con los medios de las empresas productoras estudiadas y con el apoyo y la colaboración de sus téc-

nicos. Las muestras tomadas eran envasadas, etiquetadas y enviadas al Laboratorio de Vigilancia y Control de la Contaminación de Motril, de EGAMASA (Consejería de Medio Ambiente), encargado de su análisis.

Trabajo de laboratorio

Se analizaron las muestras obtenidas durante todos los meses de muestreo, de cada uno de los indicadores previstos y en las seis instalaciones

Tabla II. Variables indicadoras seleccionadas y criterios de valoración.

Subsistema	Indicadores	Objetivos y criterios	
Agua	Temperatura del agua (°C), O ₂ disuelto (mg/l), pH, salinidad (g/l), conductividad (ms/cm), amonio (mgNH ₄ /l), clorofila <i>a</i> (mg/m ³), carbono organico total (mg/l), fosfatos (mg P/l), fósforo total (mg P/l), nitratos (mg NO ₃ /l), nitritos (mg NO ₂ /l), nitrógeno total, sólidos en suspensión (mg/l).	Estudio de la calidad del agua y el sedimento mediante el seguimiento de las variables más representativas y su evolución temporal y espacial.	
Sedimento	Análisis fisicoquímico	Carbono organico total (g/kg), fósforo soluble (mg/kg), nitrógeno total soluble (mg/kg), potencial redox (mV).	
	Bentos	Índice de biodiversidad de Shanon, equitatividad, índice de Margalef, índice de riqueza específica.	Estudio de las comunidades bentónicas mediante el análisis de las modificaciones en la composición de la fauna bentónica.
	Granulometría	Caracterización sedimentaria	Estudio de la estructura sedimentaria de los fondos marinos mediante el seguimiento de granulometría y la distribución de los diferentes tipos de granos.
	Inspeccion visual	Identificación de biocenosis y ecosistemas	Evaluación de fondos mediante el control periódico e in situ de la situación del fondo marino situado bajo la planta.

seleccionadas. En total se establecieron 141 estaciones de muestreo y se realizaron 429 análisis de muestras. El número medio de estaciones de muestreo fue de 20 para las instalaciones de cultivo en tierra y de 29 para las instalaciones de cultivo en mar abierto.

Procesado de datos

Los resultados analíticos se procesaron y trataron mediante hojas de calculo y sistemas de información geográfica (SIG). El *software* empleado fue el ARC GIS 8.2, con la extensión Spatial Analyst, y mediante el sistema de interpolación Inverse Distance Wighted. Este modelo no es apropiado para la representación de variables como la granulometría porque representa gradientes, pero sí para concentraciones de determinadas sustancias o contaminantes.

Por último, a partir de los resultados obtenidos, se elaboró un conjunto de propuestas para el mejoramiento de los PVA.

RESULTADOS

Programas de vigilancia ambiental (PVA)

Pocas empresas están hoy sometidas a este tipo de seguimiento, pues solo se realiza en aquéllas que han recibido la autorización para ejercer la actividad en los últimos años, pero el grado de cumplimiento en ellas es elevado. Normalmente, y así lo dispone la normativa vigente, estos programas de vigilancia son establecidos por la propia empresa dentro de su informe o estudio de impacto ambiental, y es la administración competente la que los valora y aprueba o modifica, según los casos.

Instalaciones de acuicultura en tierra

La calidad del agua obtenida en los vertidos de las instalaciones de acuicultura en tierra está directamente relacionada con las condiciones fisicoquímicas del agua captada (defi-

ciente en muchos casos), y en la mayoría de las instalaciones, y para casi todas las variables estudiadas, se observa un gradiente negativo desde la entrada de agua hasta la salida (tabla III; figura 1).

Respecto a los sedimentos, las condiciones físico-químicas de éstos en la zona próxima a la captación (antes de ser tomada) y respecto a la zona de vertido, no sufren desviaciones significativas, y lo mismo ocurre respecto a la composición granulométrica (tabla III).

En relación con el bentos, el estudio de la comunidad macrofauna bentónica es mejor indicador de impacto que las propiedades químicas del sedimento según numerosos estudios (Carrol *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2004), y en el presente trabajo los datos revelaron la ausencia de diferencias en cuanto al número de familias entre las estaciones situadas en los caños de donde se capta el agua y las de los caños donde se vierte, y en el número de individuos se observa una alta variabilidad dependiendo de la loca-

Tabla III. Valores medios obtenidos para algunas variables indicadoras de la calidad de agua y sedimento en instalaciones de acuicultura, en tierra y en mar, del litoral andaluz.

Variables		Valores medios obtenidos	
		Instalaciones en tierra	Instalaciones en mar
Agua			
		Punto de salida	Polígono
Análisis físico	Temperatura (°C)	18,56	17,79
	O ₂ disuelto (mg/l)/% saturación	6,63	6,99
	Salinidad	34,9	38,4
	Conductividad (ms/cm)	52,467	57,548
	PH	7,8	8,0
Análisis químico	Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)	3,69	1,09
	Amonio (mgNH ₄ /l)	0,70	0,04
	Nitratos (mgNO ₃ /l)	0,70	0,08
	Nitritos (mgNO ₂ /l)	0,27	0,01
	Fósforo total (mgP/l)	0,35	0,05
	Carbono orgánico total (mg/l)	5,06	2,83
	Sólidos suspendidos (mg/l)	49,38	11,36
	Fosfatos (mgP/l)	0,10	0,02
	Nitrógeno total (Nt)	1,75	0,15
Sedimento			
		Punto de salida	Polígono
Análisis químico	Carbono orgánico total (g/kg)	80,39	94,18
	Fósforo soluble (g/kg)	36,05	20,35
	Nitrógeno total soluble (g/kg)	31,77	22,99
	Potencial redox (mV)	-144,67	-201,07
Composición granulométrica	% material grueso	27,00	9,62
	% material medio	47,80	24,85
	% material fino	25,20	65,42
Análisis del bentos	N.º medio de familias	30,90	52,40
	N.º medio de individuos	3 851	4 254
	Riqueza	3,73	6,19
	Equitatividad	0,68	0,71
	Diversidad	2,23	2,81

lización geográfica de la zona de marisma estudiada. La riqueza específica refleja una situación dinámica de este tipo de ecosistemas, y la diversidad presenta estabilidad en todas las instalaciones, con valores fluctuantes entre 1 604 y 2 795. Estos valores no son demasiado elevados en el contexto de sistemas marinos, pero las condiciones que se desarrollan en el interior de los caños de marea priman las producciones (alto número de individuos) frente a la diversidad.

Instalaciones de cultivo en mar abierto

La calidad del agua en el entorno de los polígonos de cultivo de las tres instalaciones muestreadas no presenta variaciones significativas que puedan estar influidas por la presencia de los cultivos (tabla III). En el sedimento se detecta una tendencia al incremento de las concentraciones en determinadas zonas, normalmente localizadas fuera del polígono de cultivo y en la dirección de la corriente predominante; sin

embargo, la magnitud de estos incrementos no implica una pérdida de calidad constante en el sedimento, sino que, estacionalmente, las concentraciones obtenidas van variando alrededor del polígono (tabla III). Hay que tener en cuenta que en áreas expuestas, donde la circulación del agua es elevada, se dan como resultado reducidos tiempos de residencia, que se traducen en una rápida dispersión de los contaminantes, impidiendo que éstos se detecten (Hall *et al.*, 1992; Holby y Hall, 1991); además, la actividad mineralizadora que se produce en el fondo evita que se produzcan grandes acumulaciones de la materia orgánica que cae desde la columna de agua (Holmer, 2004).

En el caso de la granulometría, en la evolución mostrada por la composición del sedimento analizado se puede observar que en las tres instalaciones predominan las fracciones finas, muy finas y las limo-arcillas, lo que podría indicar que se puede estar produciendo un efecto de acumulación de material particulado procedente del pienso no ingerido, así como de las

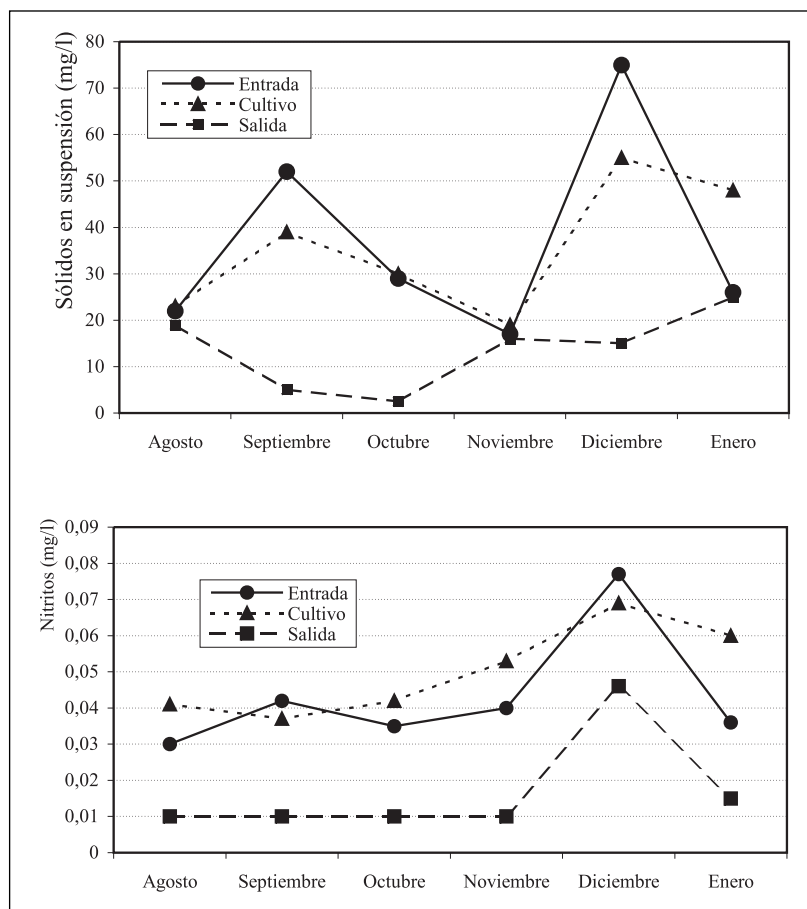


Figura 1. Evolución de la concentración de sólidos en suspensión y nitritos a lo largo de los meses de muestreo (agosto de 2003 - enero de 2004) en una de las instalaciones de cultivo en tierra.

excretas realizadas por los peces; sin embargo, esta misma distribución granulométrica del sedimento se da en los puntos de control más alejados del polígono de cultivo y, por tanto, más parece relacionada con la propia dinámica marina. Respecto a las condiciones del bentos, el número de familias encontrado se considera normal para zonas de arenas del litoral mediterráneo andaluz. En el número de individuos se observa variabilidad, pues la existencia de materia orgánica disponible para la fauna bentónica en determinadas zonas de deposición del alimento suministrado en las instalaciones puede determinar un aumento de las poblaciones de determinados invertebrados. La riqueza específica refleja la relativa homogeneidad de estos ecosistemas. Los valores de diversidad presentan las mismas variaciones detectadas mediante los índices anteriores.

La inspección visual de fondos realizada en las tres instalaciones situadas en mar abierto indica que en las tres domina una situación de comunidades de arenas fangosas en modo calmo (AFMC), y el resto de los fondos marinos supervisados se corresponden con comunidades de arenas bien calibradas (ABC) y comunidades de fondos detríticos enfangados (FDE). Estas tres comunidades se enmarcan dentro de una situación general de comunidades de fondos blandos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con el contenido de los informes y estudios analizados, parece claro que a la hora del diseño y planificación de un PVA para una instalación de acuicultura no existen criterios fijos, sino que el número y la distribución de las estaciones de muestreo, las variables a evaluar y la periodicidad y el alcance de los trabajos dependerá de la actividad desarrollada y del lugar donde se realice. Por ello, a partir de la información obtenida, una vez tratada y analizada, se realizó una propuesta de criterios ambientales para la valoración de los proyectos de acuicultura según la fase en la que se encuentren, contemplando, además, variables específicas de estudio para la vigilancia y el seguimiento ambiental en función del tipo de cultivo y del entorno donde se desarrolle.

Respecto a la representación cartográfica, el SIG es una herramienta muy útil para interpretar gráficamente los resultados obtenidos. Para ello es necesario plantear una malla de muestreo adecuada, situando los puntos estratégicamente y teniendo en cuenta la situación de las estructuras de cultivo. Los puntos de control deben ser contrastados o verificados como válidos. Las estaciones de muestreo de sedimentos deben ser, preferiblemente, fijas, mientras que las de agua pueden variar en función de la corriente dominante en el momento del muestreo.

Respecto a la metodología y al desarrollo de los trabajos, se pueden extraer dos conclusiones: por un lado, la falta de datos sobre la caracterización del medio natural y sobre los valores de referencia ha constituido un gran obstáculo a la hora de interpretar la información obtenida; por otro, el establecimiento de las estaciones de muestreo y, sobre todo, de los puntos de control, son fundamentales para el éxito de este tipo de trabajos, y en este sentido las estaciones deben ser fijas y en las direcciones y distancias óptimas para conocer el comportamiento del sistema.

Las conclusiones más relevantes son las siguientes.

1. A la hora de diseñar y establecer un PVA, deberían tenerse en cuenta, con carácter general, los factores siguientes.
 - (a) La localización de la instalación.
 - (b) La superficie ocupada/cultivada.
 - (c) Los sistemas de producción.
 - (d) La producción estimada.
 - (e) La presencia de hábitats de elevado interés medioambiental.
2. La vigilancia ambiental del sector debería ser realizada por las empresas, mediante la ejecución de sus PVA, y desde la Administración competente, a través de los análisis de los resultados obtenidos en dichos PVA y realizando muestreos aleatorios de control o estableciendo una red de estaciones de referencia.
3. En relación con los seguimientos realizados a las seis empresas, se podría afirmar que no se ha detectado un impacto ambiental claro y significativo causado por las instalaciones de acuicultura estudiadas.

- (a) Las instalaciones de acuicultura en tierra, en ocasiones, actúan como filtros biológicos para las masas de aguas estuáricas, mejorando, en algunos casos, la calidad del agua del vertido respecto a la del agua utilizada, que en este tipo de ambientes suele ser deficiente. La carga contaminante presente en el agua de vertido está relacionada directamente con la densidad de carga en la producción y la existencia o no de zonas de decantación, es decir: la estructura y las características de las instalaciones. Para el futuro seguimiento ambiental de instalaciones de acuicultura en tierra deben concentrarse los esfuerzos en el estudio de la calidad del agua en la zona de vertido, acompañado de un análisis de la granulometría y del bentos en distintos puntos situados en las proximidades de la zona de vertido y a diferentes distancias.
- (b) Si bien de los datos obtenidos en este trabajo no se puede concluir que existan impactos directamente relacionados con la actividad acuícola de las instalaciones de cultivo en mar abierto, es cierto que la acuicultura puede provocar graves impactos sobre el fondo marino si las condiciones o ubicaciones no son las idóneas y si el procedimiento del cultivo es inadecuado; por tanto, en este tipo de instalaciones es muy importante el trabajo previo de selección del emplazamiento y la valoración ambiental del mismo. El seguimiento ambiental debe concentrarse en la calidad del sedimento (granulometría y bentos) en un número suficiente de estaciones, y atendiendo a los indicadores que más información puedan aportar sobre la actividad realizada en el entorno.
4. A la hora de cuantificar los impactos de esta actividad sobre el medio natural es muy importante el buen conocimiento del entorno, su caracterización física y ecológica y, en general, de todo aquello que permita determinar el grado de alteración y (o) amortiguación de los efectos que se produzcan.
5. Se constata una carencia de normativa ambiental con un tratamiento más específico para la acuicultura, sobre todo en lo referido a la calidad del medio (agua y sedimentos), lo que obstaculiza enormemente la determinación objetiva de los impactos.
6. Como criterios de apoyo a la gestión ambiental de los proyectos de acuicultura se proponen los siguientes.
- (a) En la fase primera, o de planteamiento y presentación del proyecto, es importante considerar
- la situación geográfica de la instalación (en marismas y estuarios, mar abierto, bahías o ensenadas);
 - el análisis de la compatibilidad de usos en la zona;
 - la caracterización del medio natural o estado cero: caracterización fisicoquímica del medio (el agua y los sedimentos), composición granulométrica de los sedimentos y una breve descripción de las comunidades bentónicas presentes en el medio;
 - especies a cultivar, especialmente si son autóctonas o alóctonas;
 - sistema de cultivo que se va a emplear;
 - producción anual: actualmente se agrupa en los rangos 0-100, 100-500, 500-1 000 y más de 1 000 toneladas/año;
 - estudio o informe de impacto ambiental y PVA: los aspectos más importantes a este respecto son el número y localización de los puntos de muestreo, las variables de muestreo en agua y sedimentos, su periodicidad, los métodos de análisis y el procesado de las muestras, la selección de variables indicadoras, las medidas correctoras y otros.
- (b) Durante la segunda fase, o de ejecución del proyecto, debe realizarse un seguimiento del desarrollo de las obras, comprobando que se correspondan con las previstas en el proyecto, que no se produzcan impactos significativos que no estuviesen previstos inicialmente y que se aplican las medidas correctoras previstas.

- (c) Durante la tercera fase, o de producción y seguimiento de la actividad, que es la de funcionamiento normal de la empresa en la que se desarrolla la actividad productiva, deben tenerse en cuenta, al menos, los aspectos
- gestión de la alimentación;
 - gestión de patologías y (o) problemas sanitarios;
 - generación y gestión de residuos y (o) vertidos;
 - seguimiento de la actividad productiva: indicadores comunes (documentación exigible por la normativa y controles regulares) e indicadores específicos o ambientales. Las variables sobre las que deben establecerse los PVA en las instalaciones de acuicultura de engorde de peces son, en agua: oxígeno disuelto, sólidos en suspensión, amonio, nitrito, nitrato, carbono orgánico total, fosfatos y clorofila; en sedimentos: materia orgánica o carbono orgánico total (COT), potencial redox y nitrógeno total soluble; en el análisis del bentos: número de individuos y de familias, equitatividad, diversidad, composición granulométrica y, finalmente, en el caso de instalaciones en mar abierto, la inspección visual de fondos con videofilmación.
- (d) En la última fase del proyecto, o fase de desmantelamiento, en instalaciones en tierra debe observarse el estado en el que quedan las infraestructuras, estanques, canales, etc., y también posibles restos del cultivo (especies), de manera que la inactividad no suponga la colmatación o desecación de amplias zonas de marisma, ni la alteración de la fauna o flora de la zona; en instalaciones en el mar deben vigilarse las estructuras, anclajes o fondeos que puedan quedar en el medio natural sin función alguna y que obstaculicen la recuperación ambiental de la zona ocupada.

AGRADECIMIENTOS

A las empresas colaboradoras: Maresa, Cupimar, S.A, Esteros Leocadia, S.L., Hnos. Montes Montero, S.L., Azucarera del Gualdalfeo, S.A. y Piscifactoría de Aguadulce, S.A., por su disponibilidad y colaboración para la realización de muestreos y trabajo de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Carroll, M. L., S. Cochrane, R. Fieler, R. Velvin y P. White. 2003. Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture* 226: 165-180.
- Comisión de las Comunidades Europeas. 2002. *Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. Estrategia para el desarrollo sostenible de la acuicultura europea*. COM/02/511 del 19 de septiembre de 2002: 28 pp. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/es/com/2002/com2002_0511es01.pdf
- GESAMP. 1999. Reduction of environmental impact of coastal aquaculture. Reports and studies 47. (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). FAO. Roma: 40 pp.
- Hall, P. O. J., O. Lobby, S. Kolberg y M. O. Samuelson. 1992. Chemical fluxes and mass balance in a marine fish cage farm: IV. Nitrogen. *Marine Biology Progress Series* 89: 81-91.
- Holby, O. y P. O. J. Hall 1991. Chemical fluxes and mass balance in a marine fish cage farm: II. Phosphorus. *Marine Biology Progress Series* 70: 263-272.
- Holmer, M. 2004. Mariculture and eutrophication. En: *Drainage basin nutrient inputs and eutrophication approach*. P. Washman y K. Olli (eds.): 186-195. Universidad de Tromsø. Noruega.
- MAPA. 2001. *Libro Blanco de la Acuicultura en España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid: 521 pp.
- MAPA. 2002. *Estudio sobre identificación de riesgos ambientales para el cultivo del mejillón en Galicia*. Mundi-Prensa. Madrid: 134 pp.
- Pearson, G. 1991. Eutrophication resulting from salmonid fish culture in fresh and SALT waters: Scandinavian experiences. En: *Nutritional strategies and aquaculture waster. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste*. C. B. Cowey y C. Y. Cho (eds.): 163-185. Universidad de Guelph. Ontario, Canadá.
- Pereira, P. M. F., K. D., Black, D. S. Mclusk y T. D. Nickell. 2004. Recovery of sediments after cessation of marine fish farm production. *Aquaculture* 235: 314-330.