

El programa de vigilancia ambiental de piscifactorías en jaulas flotantes

E. Martí, C. M. Martí, R. Martínez, M. Paches y S. Falco

Grupo de Evaluación de Impacto Ambiental. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Ciudad Politécnica de la Innovación. Camino de Vera, s/n. E-46022 Valencia, España. Correo electrónico: esmarmal@upvnet.upv.es.

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

RESUMEN

Se ha analizado el programa de vigilancia ambiental (PVA) de cuatro piscifactorías marinas situadas en el Mediterráneo occidental con el fin de evaluar su grado de idoneidad para detectar posibles impactos en el medio marino. Se ha revisado un elevado número de variables y parámetros físicos, químicos y biológicos en aguas y sedimentos, así como su frecuencia de muestreo. Este trabajo concluye que la calidad del agua no puede ser considerada como un indicador consistente de los impactos, y que resulta mucho más representativo estudiar variables relacionadas con los sedimentos, en especial las relacionadas con el bentos marino. Finalmente, se hace una propuesta de muestreo para los PVA en piscifactorías marinas.

Palabras clave: Acuicultura, impacto medioambiental, sedimentos, bentos, eutrofización.

ABSTRACT

The Environmental Monitoring Programme in floating cages fish farms

The Environmental Monitoring Programme for four fish farms located in the western Mediterranean Sea was studied in order to assess their suitability for detecting possible environmental impact in the surrounding marine ecosystems. A significant number of physical, chemical, and biological parameters, both in water and sediments, were reviewed, as well as their monitoring frequency. These results lead to the conclusion that water quality should not be considered a strong indicator of caged fish farms impact; it is much more appropriate to use other parameters related to sediments, particularly those indicating the health of benthos ecosystems. An Environmental Monitoring Programme for cage fish farms is proposed.

Keywords: Aquaculture, environmental impact, sediments, benthos, eutrophication.

INTRODUCCIÓN

Según la Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos, en la acuicultura española, el sector de los peces marinos es el que ha experimentado un crecimiento más relevante: entre 1988 y 1999 su producción se ha multiplicado por 27 y su crecimiento medio en los últimos años ha sido del 12 % anual. En la Comunidad Valenciana, la

acuicultura marina se centra principalmente en el engorde de lubina *Dicentrarchus labrax* (L., 1758) y, sobre todo, dorada *Sparus aurata* L., 1758 en jaulas flotantes en la zona litoral. La producción de dorada entre los años 2000 y 2003 ha experimentado un incremento del 64 % y la de lubina del 26 %; y el número de granjas de engorde con producción superior a 30 t ha pasado de 7 a 15. Sin embargo, sigue existiendo un impor-

tante desconocimiento sobre los efectos o impactos locales derivados de esta actividad.

En general, los desechos de las piscifactorías (restos de comida y heces) pueden originar un enriquecimiento en nutrientes e incluso eutrofización de las aguas (Persson, 1991), mientras que en los sedimentos puede observarse un incremento de la demanda de oxígeno, episodios de anoxia, gases tóxicos, cambios en las comunidades, disminución de la diversidad del bentos (Wu *et al.*, 1994) y el desarrollo de especies resistentes a la contaminación (Holmer, 2004), entre otras consecuencias. No todos estos impactos tienen que producirse, pero la posibilidad de que alguno de ellos pueda llegar a desarrollarse, impone la necesidad establecer una metodología clara y eficaz para la detección de dichos impactos.

En este sentido, el programa de vigilancia ambiental (PVA) puede ayudar a paliar los efectos no deseados de la acuicultura. Para ello, el PVA deberá ser claro y exclusivo para cada caso, explicitando qué factores ambientales se deben controlar, qué variables se deben evaluar y con qué periodicidad. Sin embargo, la experiencia indica que muchos PVA no se encuentran suficientemente adaptados a las peculiaridades de cada instalación.

El objetivo de este trabajo es determinar la idoneidad de los PVA desarrollados en granjas marinas de la Comunidad Valenciana y proponer modificaciones en las variables registradas, así como en el emplazamiento y la periodicidad de los muestreos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Revisión del caso de la comunidad valenciana

Se han estudiado cuatro piscifactorías de engorde de dorada y lubina situadas todas ellas en la costa levantina en condiciones geográficas muy similares, con profundidades de entre 20 y 30 m, sobre el piso circalitoral, cuyos sedimentos son arenas fangosas. Se estima que la producción de estas explotaciones es del orden de 500 a 1 500 t/año.

En los PVA de las piscifactorías se ha analizado un conjunto de variables en diversos puntos,

uno de ellos situado siempre directamente debajo de las jaulas, y se han establecido una o dos demarcaciones de control, separadas entre 300 y 500 m de las jaulas en dirección Norte, Sur y (o) Este. Las características estudiadas fueron las siguientes.

- Variables y parámetros de la calidad del agua: pH, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto (OD) y turbidez medidos in situ con una sonda multiparamétrica Turo; transparencia (disco Secchi), sólidos suspendidos (SS), amonio, nitratos, nitritos, nitrógeno total (NT), fósforo soluble reactivo (PSR), fósforo total (PT), ácido ortosilícico, clorofila *a*, recuentos fitoplanctónicos y bacterias (coliformes fecales y totales, enterococos y salmonellas), con una frecuencia de muestreo mensual.
- Variables y parámetros de los sedimentos: materia orgánica, nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), potencial redox (Eh), demanda de oxígeno de los sedimentos (DOS) y presencia de *Beggiatoa* sp., con una frecuencia de muestreo mensual o semestral, según la instalación, y caracterización faunística del bentos y análisis granulométrico, con una frecuencia anual.

En la tabla I aparecen los métodos para la determinación de los distintos registros en el agua. Se utilizaron los métodos referidos en APHA (1998), excepto el especificado.

El cálculo del fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el agua se realiza una digestión previa según Valderrama (1981). Posteriormente se analiza y PSR según APHA (1998).

La conservación y el análisis de las muestras para los recuentos fitoplanctónicos se realiza según Sournia (1978). Para la separación y recuento de los distintos géneros y especies se utilizó bibliografía especializada.

En la tabla II aparecen los métodos para la determinación de los distintos registros en el sedimento.

Para el cálculo del fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en sedimentos se realiza una digestión previa según Arocena (1999). Posteriormente se analizaron el y el PSR según APHA (1998).

Tabla I. Métodos para la evaluación de las distintas variables en el agua.

VARIABLES	REFERENCIA
Sólidos suspendidos	2540.D
Amonio	4500-NH ₃ .G
Nitrito	4500-NO ₂ ⁻ .B
Nitrato	4500-NO ₃ ⁻ .F
PSR	4500-P.F
Ácido ortosilícico	4500-Si.F
Clorofila <i>a</i>	10200.H
Coliformes fecales	9222.D
Coliformes totales	9222.b
Enterococos	9230.C
Salmonellas	9260.B (APHA, 1989)

Tabla II. Métodos para la evaluación de las distintas variables en el sedimento.

VARIABLES	REFERENCIA
Materia orgánica	MAPA, 1994
Análisis granulométrico	Buchanan, 1984

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se observan diferencias significativas en las variables de calidad del agua entre los puntos situados en la instalación y los puntos de control. Esto concuerda, en parte, con los resultados obtenidos por Nordvang y Johansson (2002), que no detectaron efectos significativos de las jaulas marinas respecto al OD, el NT, la transparencia y los SS de las aguas. La mayor parte de nutrientes liberados provienen directamente de la excreción de los peces y de restos de comida y heces disueltas. En áreas expuestas, la circulación del agua es elevada, con el resultado de bajos tiempos de residencia. Esto se traduce en una rápida dispersión de los contaminantes, impidiendo que éstos se detecten (Hall *et al.*, 1992; Holby y Hall, 1991). En el caso del PSR, al

ser limitativo en el Mediterráneo, cualquier emisión de éste será consumida rápidamente por los organismos. Además, el periodo de tiempo durante el cual aumentaría la concentración de PSR es demasiado corto para permitir el crecimiento del fitoplancton (Karakassis *et al.*, 2001). En las figuras 1, 2 y 3 se pueden observar las escasas diferencias en las concentraciones de amonio, PSR y clorofila *a* entre los puntos de muestreo de una de las piscifactorías en la que los controles estaban a unos 500 m de las jaulas.

Por otro lado, tampoco se detectaron episodios de hipoxia/anoxia o elevadas concentraciones de bacterias. En las figuras 4 y 5 están representados los perfiles de oxígeno disuelto (OD) y temperatura en otra de las piscifactorías analizadas cuyo control está situado a 300 m de las jaulas en dirección Norte. En ellas se observa una adecuada concentración de OD para la temperatura del agua y escasas diferencias entre los puntos de muestreo.

Sin embargo, los registros fisicoquímicos obtenidos en los sedimentos han presentado mayores diferencias entre puntos de muestreo, sobre todo el PT, el potencial Redox y la DOS. En las figuras 6 y 7 y en la tabla III se presentan los resultados obtenidos para distintas variables fisicoquímicas evaluadas en los sedimentos de una de las piscifactorías analizadas cuyo punto de control estaba situado a 300 m de las jaulas en dirección Norte. Los resultados de materia orgánica y NT analizados no muestran una pauta clara; de hecho, no siempre se encuentran los mayores valores directamente debajo de las jaulas. Si bien la materia orgánica que cae desde la columna de agua se deposita en los sedimentos, la actividad mineralizadora evita que se produzcan grandes acumulaciones (Holmer, 2004) (figura 6). Además, la mayor parte del nitrógeno liberado en la mineralización de la materia orgánica pasa rápidamente a la columna de agua (Aguado y García,

Tabla III. Resultados de la demanda de oxígeno del sedimento y el potencial redox en dos muestreos consecutivos.

		DOS (mg O ₂ /m ² h)	Potencial redox (mV)
30-01-2004	Instalación	261,72	-436
	Control	18,39	-136
24-02-2004	Instalación	141,54	-215
	Control	44,56	26

2004), lo que explicaría las menores diferencias entre los sedimentos situados bajo la instalación y los del punto de control.

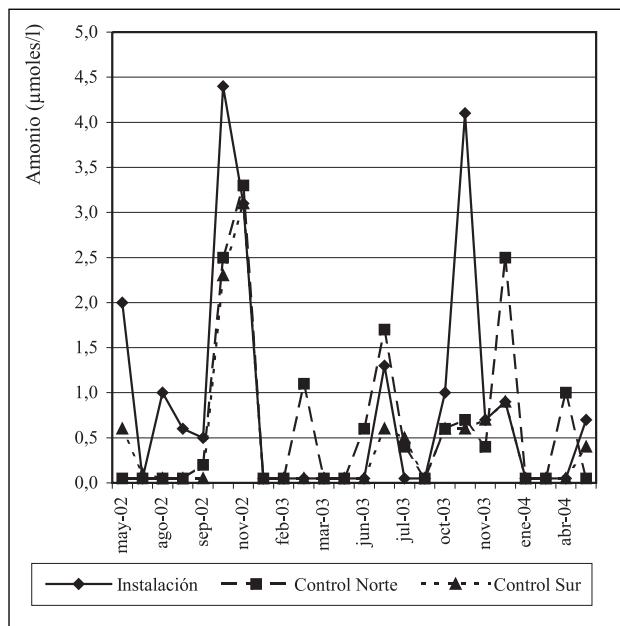


Figura 1. Ejemplos de los resultados obtenidos en las concentraciones de amonio en los muestreos realizados entre los años 2002-2004 en una piscifactoría del litoral valenciano.

Las diferencias observadas en las concentraciones de PT parecen lógicas si se tiene en cuenta que la mayor parte del fósforo liberado se encuentra en forma particulada, quedando retenido en los sedimentos (Aguado y García, 2004) (figura 7). A diferencia del NT, el incremento del PT bajo las jaulas ha sido mencionado en otras piscifactorías del Mediterráneo (Karakassis, Tsapakis y Hatziyanni, 1998; Karakassis, 2001). Asimismo, bajo las jaulas, se han detectado sedimentos más reductores que en el punto de control (potencial Redox más negativo) y valores de DOS más elevados (tabla III). Esto pone de manifiesto un mayor grado de mineralización en la instalación y explica las escasas diferencias encontradas en el porcentaje de materia orgánica entre ambos puntos de muestreo.

Aunque el número de muestreos de variables biológicas ha sido menor que el de variables en agua y sedimento, también se han detectado diferencias en la distribución de los organismos bentónicos, con presencia puntual bajo las jaulas

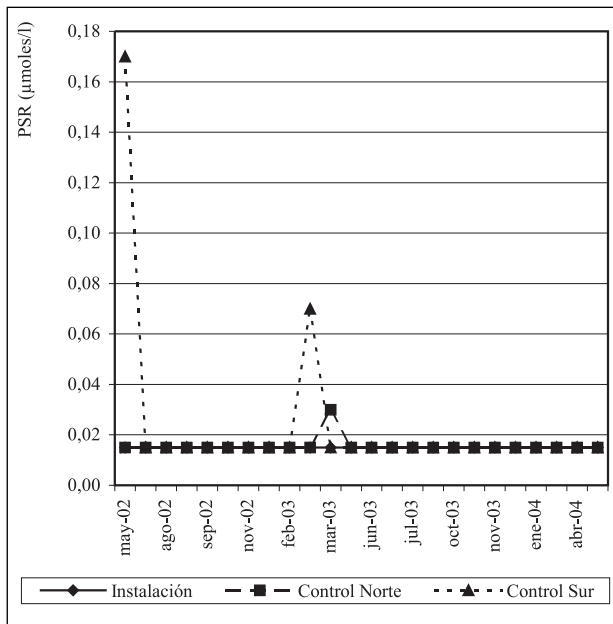


Figura 2. Ejemplos de los resultados obtenidos en las concentraciones de PSR en los muestreos realizados entre los años 2002-2004 en una piscifactoría del litoral valenciano.

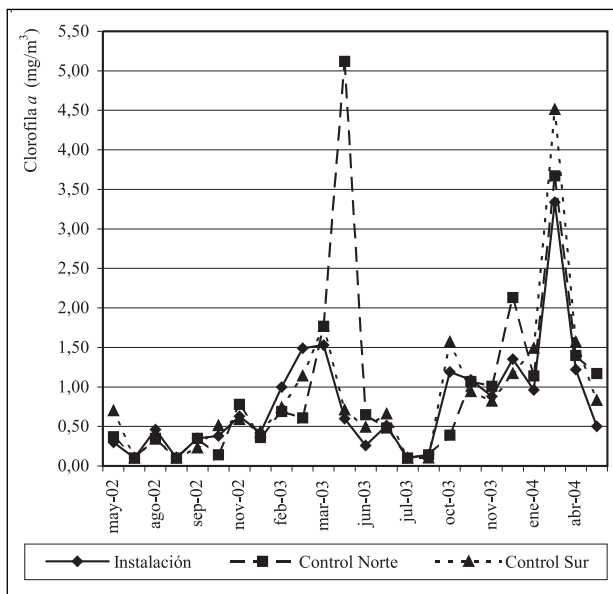


Figura 3. Ejemplo de los resultados obtenidos en las concentraciones de clorofila a en los muestreos realizados entre los años 2002-2004 en una piscifactoría del litoral valenciano.

de *Beggiatoa* sp. y del poliqueto *Capitella capitata* (Fabricius, 1780), especies características de zonas afectadas por contaminación orgánica. En un muestreo realizado en marzo de 2005 se detectó la presencia del poliqueto *C. capitata*

(239 indiv/m²) bajo las jaulas, aunque no apareció en el punto de control situado a 300 m al Este. Pearson y Rosenberg (1978) afirman que los residuos vertidos desde las piscifactorías afectan a la distribución de la fauna bentónica, con presencia de *Beggiatoa* en zonas muy contaminadas y especies oportunistas como el poliqueto *C. capitata* en zonas contaminadas. La comunidad de macrofauna bentónica, según numerosos estudios, es mejor indicador de impacto que las propiedades químicas del sedimento (Carrol *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2004).

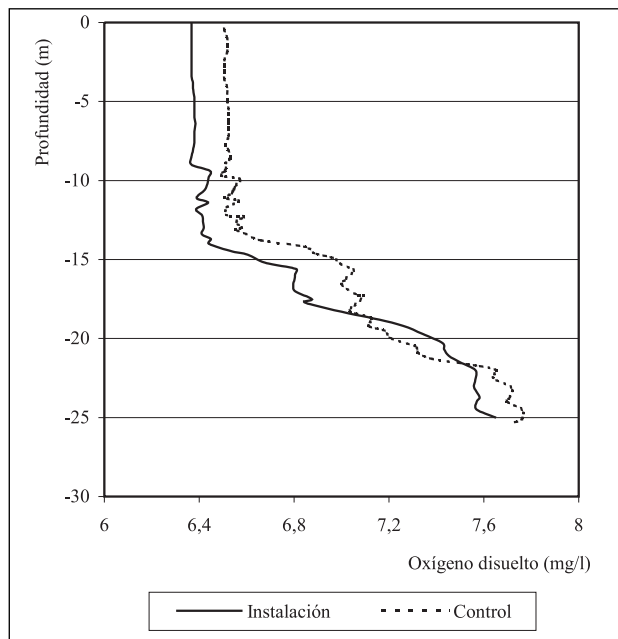


Figura 4. Perfil de oxígeno disuelto realizado en agosto de 2003.

CONCLUSIONES

Programa de vigilancia ambiental propuesto

Se concluye que algunos de los registros obtenidos y la periodicidad con que se captan son inadecuados para las características de este tipo de instalaciones en la Comunidad Valenciana. En general, un PVA debe seguir unas directrices mínimas.

- Se centrará en factores ambientales afectados de manera notable.
- Debe hacer uso de aquellas herramientas verdaderamente útiles para detectar impactos.

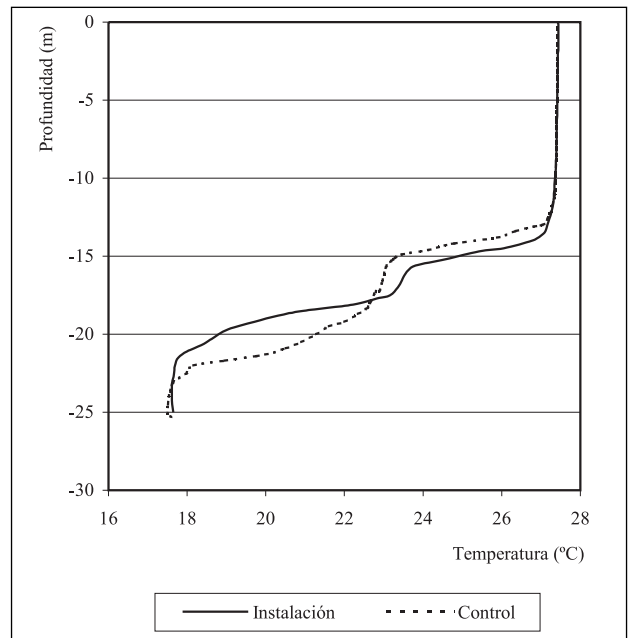


Figura 5. Perfil de temperatura realizado en agosto de 2003.

Esta información ha de extraerse, en primer término, del estudio de impacto ambiental o de cualquier estudio previo al comienzo de la actividad. De estos estudios, se extraerá una valiosa información sobre el estado inicial de la zona, que servirá como referente para los futuros muestreos, y sobre las corrientes predominantes en la zona.

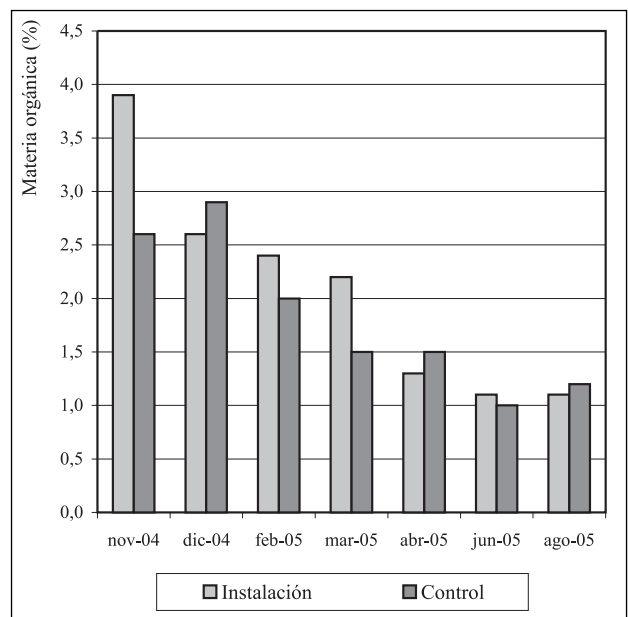


Figura 6. Concentraciones de materia orgánica en ambos puntos de muestreo.

Teniendo en cuenta todo lo dicho y algunas directrices establecidas por GESAMP (1996) se propone el siguiente protocolo de muestreo para el PVA de piscifactorías marinas en el Mediterráneo.

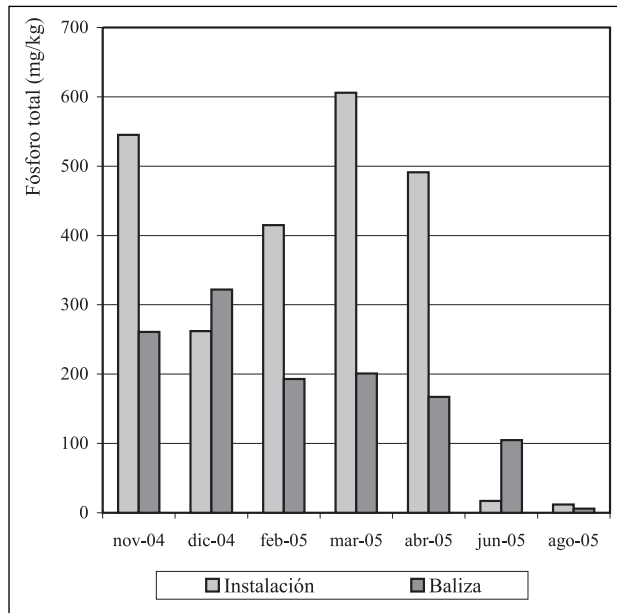


Figura 7. Concentraciones de PT en ambos puntos de muestreo.

Variables y parámetros fisicoquímicos en agua

A pesar de la escasa información que han aportado hasta el momento, se considera interesante seguir manteniendo el control de algunos registros en el agua, pues es una actividad que se realiza directamente sobre ella. Se propone realizar análisis mensuales de PT, pues el PSR es rápidamente absorbido por el sistema, y de clorofila *a*, que es una medida indirecta de la biomasa fitoplanctónica y puede ser un indicador sencillo de eutrofización.

Dada la gran variabilidad ambiental en la columna de agua, se propone que los muestreos sean mensuales.

Variables y parámetros fisicoquímicos en sedimentos

Teniendo en cuenta los registros obtenidos en sedimentos, se propone realizar análisis de PT y potencial Redox. Como ya se ha mencionado, la

medida del PT permite conocer indirectamente la acumulación de residuos orgánicos en los sedimentos, mientras que el potencial sirve como un sustituto de las medidas biológicas, que son mucho más costosas y onerosas respecto al tiempo.

El sedimento es un compartimiento del sistema con baja variabilidad temporal, por lo que se considera suficiente realizar muestreos trimestrales, preferiblemente en agosto, noviembre, febrero y mayo.

Variables y parámetros biológicos en sedimentos

Se considera importante llevar a cabo el estudio de la estructura de la comunidad de macrofauna bentónica. Sin embargo, la separación, determinación e inventario de los organismos bentónicos es tedioso y de coste elevado. Por ello, no puede generalizarse como una forma rápida de control, y se considera que ha de realizarse una vez al año (agosto o septiembre) junto con un análisis de textura del sedimento y la inspección visual para detectar la presencia de *Beggiatoa*.

Los puntos de muestreo se elegirán para cada instalación. En cualquier caso, uno se situará directamente debajo de las jaulas y otro a 200 m en la dirección de la corriente dominante, ya que algunos estudios han revelado que no se detecta enriquecimiento orgánico a distancias mayores de 100 m de la instalación (Weston, 1990; Henderson *et al.*, 1997). Asimismo, se situarán puntos de muestreo adicionales en hábitats singulares cercanos (por ej., praderas de fanerógamas).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, F. y B. García. 2004. Assessment of some chemical parameters in marine sediments exposed to offshore cage fish farming influence: a pilot study. *Aquaculture* 242: 283-296.
- APHA. 1989. *Standard methods for the examination of water and wastewater. 17th edition.* American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, EE UU: 1268 pp.
- APHA. 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition.* American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, EE UU: 1220 pp.

- Arocena, R. 1999. Sedimento. En: *Métodos en ecología de aguas continentales*. R. Arocena y D. Conde (eds.): 40-52. Universidad de la República. Montevideo.
- Buchanan, J. B. 1984. Sediment Analysis. En: *Methods for the Study of Marine Benthos*. N. A. Holme y A. D. McIntyre (eds.): 41-65. Blackwell Scientific Publications. Oxford, Reino Unido.
- Carrol, 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.
- GESAMP. 1996. Monitoring the ecological effects of coastal aquaculture wastes. *Reports and Studies GESAMP* 57: 38 pp. FAO. Roma.
- Hall, P. O. J., O. Holby, S. Kollberg y M. O. Samuelsson. 1992. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm: IV. Nitrogen. *Marine Biology Progress Series* 89: 81-91.
- Henderson, R. J., D. A. M. Forrest, K. D. Black y M. T. Park. 1997. The lipid composition of sealoch sediments underlying salmon cages. *Aquaculture* 158: 69-83.
- Holby, O. y P. O. J. Hall. 1991. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm: II. Phosphorus. *Marine Biology Progress Series* 70: 263-272.
- Holmer, M. 2004. Maricultures and eutrophication. En: *Drainage basin nutrient inputs and eutrophication: an integrated approach*. P. Wassmann y K. Olli (eds.): 186-195. Universidad de Tromso. Tromso, Noruega.
- Karakassis, I. 2001. Ecological effects of fish farming in the Mediterranean. Environmental impact assessment of Mediterranean aquaculture farms. *Cahiers Options Méditerranéennes* 55: 15-22.
- Karakassis, I., M. Tsapakis y E. Hatziyanni. 1998. Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 162: 243-252.
- Karakassis, I., M. Tsapakis, E. Hatziyanni y W. Plaiti. 2001. Diel variation of nutrients and chlorophyll in sea bream and sea bass cages in the Mediterranean. *Fresenius Environmental Bulletin* 10: 278-283.
- MAPA. 1994. *Métodos oficiales de Análisis*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid: 662 pp.
- Nordvarg, L. y T. Johansson. 2002. The effects of fish farm effluents on the water quality in the Aland archipelago, Baltic Sea. *Aquacultural Engineering* 25: 253-279.
- Pearson, T. H. y R. Rosenberg. 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., K. D. Black, D. S. McLusky y T. D. Nickell. 2004. Recovery of sediments after cessation of marine fish farm production. *Aquaculture* 235: 315-330.
- Persson, G. 1991. Eutrophication resulting from salmonid fish culture in fresh and salt waters: Scandinavian experiences. En: *Nutritional strategies and aquaculture waste. 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. Guelph (Ontario), Canadá.
- Sournia, A. 1978. *Phytoplankton Manual*. Unesco. París: 337 pp.
- Valderrama, J. C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry* 10: 109-122.
- Weston, D. P. 1990. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Marine Ecology Progress Series* 61: 233-244.
- Wu, R. S. S., K. S. Lam, D. W. Mackay, T. C. Lau y V. Yam. 1994. Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: A case studied in the sub-tropical environment. *Marine Environment Research* 38: 115-145.