

**JACUMAR**  
**JUNTA NACIONAL ASESORA DE CULTIVOS MARINOS**

**PLANES NACIONALES DE CULTIVOS MARINOS**

**INFORME FINAL**

**Título: Tecnología de la recirculación y desinfección en  
acuicultura marina**

## RESUMEN EJECUTIVO

### 1.- DATOS ADMINISTRATIVOS

**TITULO:**

**Tecnología de recirculación y desinfección en acuicultura marina**

**FECHAS DE REALIZACIÓN**

**2005-2008**

### **DATOS DEL COORDINADOR DEL PROYECTO**

Nombre y Apellidos: Alicia Estévez García

Organismo/ Centro: IRTA-San Carlos de la Rápita

Correo electrónico: alicia.estevez@irta.es

### **Comunidades Autónomas participantes**

1) C. A. de Andalucía (AND), Responsable: Ezequiel Revilla, CIFPA “El Toruño”
4) C. A. de Galicia (GAL), Responsable: Jose Luis Rodríguez (IGAFA)
5) C. A. de Cataluña (CAT), Responsable: Ricard Carbó, IRTA
7) C. A. de Murcia (MUR), Responsable: Benjamín García, IMIDA

### 2.- RESULTADOS TECNICOS DEL PLAN NACIONAL

#### 2.1. OBJETIVOS

#### 2.3.1. OBJETIVO GENERAL:

- I. Evaluar el funcionamiento de los sistemas de recirculación existentes en la actualidad en los distintos centros de I+D en acuicultura marina participantes y obtener datos técnicos de interés para el diseño y funcionamiento de circuitos cerrados para instalaciones experimentales pero también industriales. Para ello se analizarán:
  - Niveles de amonio, nitritos y nitratos en el agua de entrada y salida del filtro biológico con una periodicidad semanal
  - Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH
  - Microbiología del agua de cultivo en la entrada al filtro biológico, entrada a los tanques de cultivo, salida de los tanques de cultivo, antes de la unidad de tratamiento con ultravioleta. Para realizar estas medidas de microbiología se usará un protocolo conjunto. Las medidas se realizarán al menos 4 veces/año (de forma estacional) o siempre que se incluya alguna modificación en el sistema, a fin de

evaluar el efecto de dicha modificación sobre la aparición de bacterias.

### **2.3.2. OBJETIVOS PARCIALES:**

#### **1. CA de Andalucía**

Examinar y optimizar los sistemas de recirculación ya existentes

#### **2. CA de Cataluña**

Aunque la CA de Cataluña incluirá los objetivos generales, el hecho de que ya lleve 5 años funcionando con sistemas de recirculación hace que los objetivos sean distintos e ir un paso más adelante en el uso de estos sistemas. De ahí que planteemos los siguientes objetivos parciales que se refieren exclusivamente al empleo de ozono en los sistemas de recirculación:

1. Elegir el lugar adecuado dentro del sistema de circuito cerrado para la aplicación del ozono en el sistema. Dependerá de los distintos tipos de biofiltros empleados en las instalaciones. (Año1)
2. Elegir el tipo de sistema de eliminación del ozono residual y/o de los productos tóxicos generados. (Año 1)
3. Determinar la cantidad de ozono adecuada para la desinfección y/o disminución de la carga bacteriana presente en el agua según:
  - 3.1.1. El organismo que se cultive (presas vivas, larvas, juveniles y adultos de peces, larvas, juveniles y adultos de crustáceos, larvas, juveniles y adultos de moluscos).
  - 3.1.2. La carga de organismos vivos en el sistema (10, 20, 30 Kg)
  - 3.1.3. La carga bacteriana y de materia orgánica del agua de entrada (Año 2)
4. Estudiar la efectividad real de la aplicación de ozono sobre:
  - 4.1.1. La disminución de la carga bacteriana, especialmente de especies patógenas
  - 4.1.2. El comportamiento de los organismos en cultivo en cuanto a crecimiento, supervivencia y aparición de enfermedades
  - 4.1.3. La generación de residuos tóxicos (bromitos y cloruros) (Año 2)
5. Determinar los niveles de ozono que puedan considerarse tóxicos o que puedan generar productos tóxicos derivados del cloro y bromo. (Año 2)
6. Utilizar ozono para la eliminación de patógenos, algas tóxicas o especies exóticas en casos especiales: (Año 3)
  - 6.1.1. Salas de challenge/Patología,
  - 6.1.2. Aparición de blooms de algas tóxicas,
  - 6.1.3. Uso de especies foráneas para experimentación

#### **3. CA de Galicia**

1. Control de la evolución del sistema de recirculación en el engorde de peces planos.
  - 1.1.1. Medición de los parámetros físico-químicos
  - 1.1.2. Control microbiológico
  - 1.1.3. Muestreo de los peces de cultivo

2. Aplicación de ozono en sistemas de recirculación
  - 2.1.1. Identificación del lugar de aplicación del ozono en el sistema de recirculación
  - 2.1.2. Estudiar el efecto de la aplicación del ozono
3. Adaptación sistema de recirculación al control de los reproductores
  - 3.1.1. Control de los parámetros físico-químicos
  - 3.1.2. Control microbiológico

#### 4. CA de Murcia

1. Realizar tablas de los distintos parámetros que definen la calidad del agua con los valores considerados aceptables o no limitantes, subletales (afectan al crecimiento y la supervivencia), y letales para especies de interés en el Mediterráneo.
2. En relación al amoníaco disuelto realizar tablas del porcentaje de  $\text{NH}_3$  (que es el compuesto tóxico) en función de salinidad, temperatura y pH en una muestra determinada, y desarrollo de una aplicación informática para el cálculo y cambios de unidad.
3. Medir la eficacia de los dos tipos de circuito, a presión y por gravedad, en cuanto requerimiento de oxígeno, eliminación u oxidación de  $\text{NH}_3\text{-NH}_4$ , y variaciones de pH, y optimización de los mismos.
4. Necesidades de aporte de oxígeno a los dos sistemas, y mecanismos de difusión del oxígeno atmosférico al sistema y su situación en el circuito para mantener niveles lo más próximos al 100% de saturación.
5. Eficacia de sustratos de carbonato cálcico (p.e. conchas de moluscos) para regular el pH, y mantenerlo lo más próximo a 8.2 (característico de las aguas marinas en mar abierto).
6. Tasa de oxidación de amoníaco de distintos sustratos comerciales. Desarrollo de una técnica estándar para realizar análisis de valoración.
7. Desarrollar un sistema de registro y control retroalimentado por ordenador

#### 2.3. METODOLOGÍA

La determinación de los parámetros físico-químicos se llevará a cabo utilizando los métodos habituales en agua de mar. Esto es:

- Temperatura, con termómetros.
- pH, con pHmetro.
- Salinidad por conductimetría, con salinómetro portátil.
- Oxígeno disuelto por el método de Winkler y/o con oxímetro portátil.
- Amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos, por colorimetría, utilizando los métodos clásicos: azul de indofenol, reacción de Griess, reducción en columna de Cd/Cu, método de Parsons, y molibdato, respectivamente.
- Los sólidos en suspensión y materia orgánica particulada, por gravimetría previa filtración.

Los análisis microbiológicos se realizarán por siembra en placa en medio TSA (general) y TCBS (Vibrionáceas) tras dilución de la muestra y recuento del número de colonias resultante siguiendo el protocolo indicado en el proyecto.

La C.A. de Murcia hará un balance de la concentración de oxígeno en los distintos elementos de los circuitos cerrados y determinación de los puntos críticos (vease memoria extensa)..

También determinará la tasa de oxidación de amoníaco (TOA) de los distintos elementos del circuito (vease memoria extensa)

## 2.4. RESULTADOS

Objetivo 1 (General). Examinar y optimizar los sistemas de recirculación existentes

Todas las CCAA han realizado un seguimiento de los sistemas de recirculación existentes y/o de nueva instalación (en el caso de Galicia) en los centros. Dada la enorme variedad de sistemas que se emplean (con filtro biológico de bioring o de malla, con bombeo por presión o distribución por gravedad, por filtro de percolación, etc) hacer un resumen del funcionamiento de todos los sistemas resulta complicado. En unos casos los sistemas de recirculación se usaron durante todo el año (CAT, GAL y MUR) mientras que en el caso de AND los sistemas de recirculación se usaban de forma ocasional, lo que repercute en el seguimiento de los mismos. En el informe extenso y en los anexos se muestran los resultados obtenidos por cada participante y en cada uno de los sistemas empleados, con mucho más detalle, así como las medidas correctivas aplicadas cuando se detectaron funcionamientos anómalos.

Objetivo 2. Uso del Ozono

Solamente en los casos de CAT y GAL el ozono se empleó como un elemento más en los sistemas de recirculación. En el caso de CAT con vistas a la desinfección del agua y su uso con distintos organismos vivos y en el caso de GAL como un elemento más que contribuye a la reducción de componentes nitrogenados en el agua. CAT instaló un generador de ozono de pequeño tamaño en uno de los sistemas de recirculación en el año 2006 y realizó distinto tipo de experimentos con juveniles y adultos de peces (doradas y corvinas) y con presas vivas (rotífero) con vistas a evaluar el efecto del ozono sobre los sistemas y sobre los organismos, especialmente en cuanto a la calidad del agua producida (bajada considerable de los sólidos en suspensión y la turbidez del agua) y el estado sanitario de los animales. En el caso del rotífero los experimentos se diseñaron con vistas a una posible desinfección de la presa viva antes de suministrarla a las larvas. En el caso de GAL el sistema de recirculación instalado contaba ya con un ozonificador instalado antes del filtro biológico con vistas a incrementar la eliminación de compuestos nitrogenados, en el año 2006 y 2007 el sistema instalado se utilizó para realizar experimentos de preengorde y engorde de peces planos (rodaballo y lenguado) mientras que en el año 2007 y 2008 se utilizó para el mantenimiento de reproductores de lenguado para lo que se diseñaron tanques adaptados a la especie.

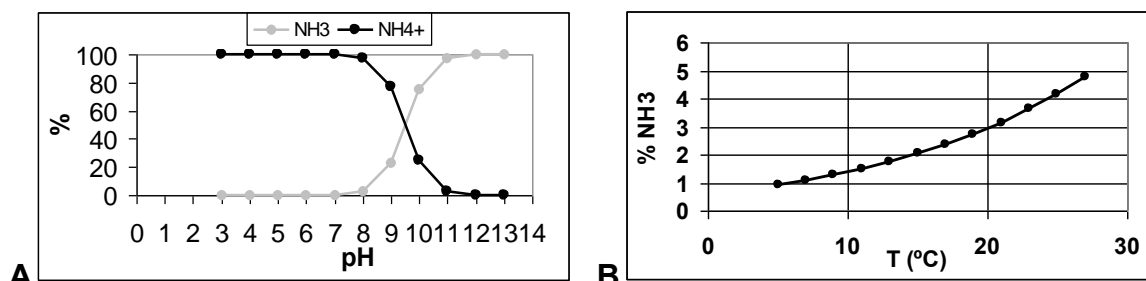
Objetivo 3. Estudio bibliográfico sobre niveles seguros, peligrosos y letales de derivados nitrogenados para peces

MUR hizo un estudio bibliográfico sobre los niveles considerados seguros para las distintas especies. Se muestran en la siguiente tabla.

Parámetro	Especie	Seguros	Peligrosos	Letales	Referencia
<b>N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> (mg/l)	<i>Dicentrarchus labrax</i>	2,2		22,2	Person-Le Ruyet et al., 1995
	<i>Sparus auratus</i>	1,2	8,2	13	Wasjbrot et al., 1991, 1993
	<i>Anguilla anguilla</i>	<6,2		55,9	Sadler, 1982
	<i>Diplodus sargus</i>		2,1	20	Brownell, 1980
	<i>Scophthalmus maximus</i>	3,3		33,5	Person-Le Ruyet et al., 1994, 1995
	<i>Solea solea</i>	2,3		40,1	Alderson, 1979
<b>N-NH<sub>3</sub></b> (mg/l)	<i>Dicentrarchus labrax</i>	0,097		0,97	Person-Le Ruyet et al., 1995
	<i>Sparus auratus</i>	0,064	0,47	0,74	Wasjbrot et al., 1991, 1993
	<i>Anguilla anguilla</i>	<0,12		1,08	Sadler, 1982
	<i>Diplodus sargus</i>		0,03	0,29	Brownell, 1980
	<i>Scophthalmus maximus</i>	0,15		1,5	Person-Le Ruyet et al., 1994, 1995
	<i>Solea solea</i>	0,045		0,77	Alderson, 1979
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b> (mg/l)	<i>Dicentrarchus labrax</i>	0,1	13	95	Scarano et al., 1984; Blanchet-Besson, 1986
	<i>Anguilla anguilla</i>			503	Saroglia et al., 1981
	<i>Diplodus sargus</i>		150	870	Brownell, 1980
	<i>Lithognathus mormyrus</i>		60	670	Brownell, 1980
	Larvas, general	<0,1			Tucker, 1998
	Adultos, general	<1,0			Tucker, 1998
	<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> (mg/l)	<i>Diplodus sargus</i>		270	3100
<i>Lithognathus mormyrus</i>			270	3020	Brownell, 1980
<i>Scophthalmus maximus</i>		342			Poxton & Allouse, 1982
Larvas, general		<20			Tucker, 1998
Adultos, general		<50			Tucker, 1998

Objetivo 4. Amonio no iónico con respecto al total en función de pH, temperatura y salinidad y elaboración de un programa informático para el cálculo y cambios de unidad

MUR realizó una serie de pruebas en las que se variaban las condiciones de temperatura, salinidad y pH del agua a fin de evaluar los parámetros que más afectan en el cambio del amoniaco de forma iónica a no iónica. Las tablas resultantes se presentaron en los informes de 2005 y 2007



Curvas de disociación del amoniaco en función del pH (A, T = 20 °C y Sal. = 37‰) y de la temperatura (B, pH = 8 y Sal. = 37‰).

**Salinidad = 30 ‰**

T (°C) / pH	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4
12	0,17	0,27	0,44	0,69	1,09	1,71	2,68	4,19
14	0,20	0,32	0,51	0,80	1,26	1,99	3,12	4,85
16	0,24	0,37	0,59	0,93	1,47	2,31	3,61	5,61
18	0,27	0,43	0,69	1,08	1,70	2,67	4,17	6,46
20	0,32	0,50	0,79	1,25	1,97	3,09	4,81	7,41
22	0,37	0,58	0,92	1,45	2,27	3,56	5,52	8,48
24	0,42	0,67	1,06	1,67	2,62	4,09	6,33	9,67
26	0,49	0,77	1,22	1,92	3,01	4,68	7,22	10,98
28	0,56	0,89	1,40	2,20	3,44	5,35	8,22	12,44
30	0,65	1,02	1,61	2,52	3,94	6,10	9,33	14,03

**Salinidad = 35 ‰**

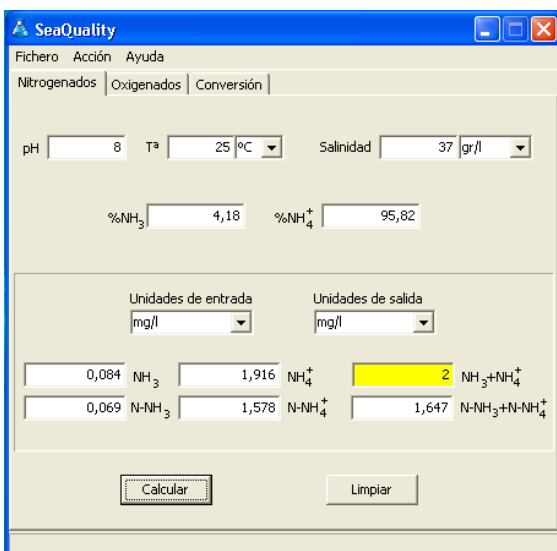
T (°C) / pH	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4
12	0,17	0,26	0,42	0,66	1,05	1,65	2,59	4,04
14	0,20	0,31	0,49	0,77	1,22	1,92	3,01	4,68
16	0,23	0,36	0,57	0,90	1,42	2,23	3,48	5,41
18	0,26	0,42	0,66	1,04	1,64	2,58	4,03	6,23
20	0,31	0,48	0,77	1,21	1,90	2,98	4,64	7,16
22	0,35	0,56	0,88	1,40	2,19	3,43	5,33	8,20
24	0,41	0,65	1,02	1,61	2,53	3,94	6,11	9,35
26	0,47	0,75	1,18	1,85	2,90	4,52	6,98	10,63
28	0,54	0,86	1,35	2,12	3,33	5,17	7,95	12,04
30	0,62	0,98	1,55	2,43	3,80	5,89	9,03	13,59

**Salinidad = 40 ‰**

T (°C) / pH	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4
12	0,16	0,25	0,40	0,64	1,01	1,59	2,49	3,89
14	0,19	0,30	0,47	0,74	1,17	1,85	2,90	4,51
16	0,22	0,35	0,55	0,87	1,36	2,15	3,36	5,22
18	0,25	0,40	0,64	1,00	1,58	2,49	3,88	6,02
20	0,29	0,47	0,74	1,16	1,83	2,87	4,48	6,91
22	0,34	0,54	0,85	1,34	2,11	3,31	5,15	7,92
24	0,39	0,62	0,98	1,55	2,44	3,81	5,90	9,04
26	0,45	0,72	1,13	1,78	2,80	4,36	6,74	10,28
28	0,52	0,83	1,30	2,05	3,21	4,99	7,69	11,66
30	0,60	0,95	1,49	2,35	3,67	5,69	8,73	13,17

Porcentaje de amoníaco no iónico (N-NH<sub>3</sub>) en disolución respecto del total de amoníaco disuelto (N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Con los resultados de estos estudios se procedió a elaborar una aplicación informática "SeaQuality" en entorno Windows que permite el cálculo y transformación de unidades. En la siguiente figura se muestra un ejemplo del cálculo del porcentaje de amonio ionizado (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y sin disociar (NH<sub>3</sub>) en función del pH, temperatura y salinidad, así como los valores de cada una de las especies después de introducir una concentración de amoníaco hipotética



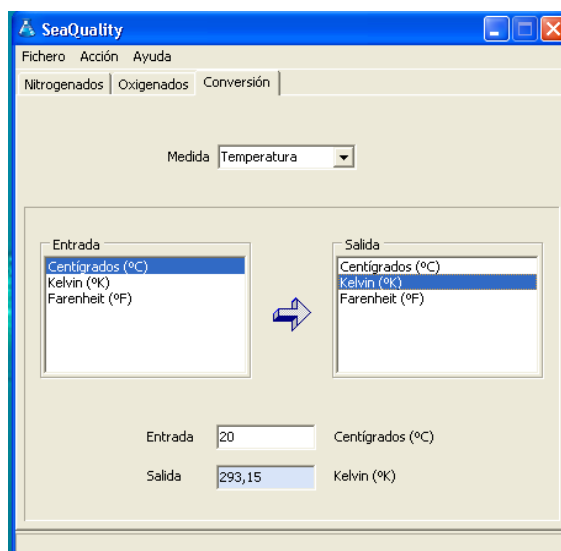
SeaQuality  
 Fichero Acción Ayuda  
 Nitrogenados | Oxigenados | Conversión

pH  T°  °C Salinidad  gr/l

%NH<sub>3</sub>  %NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Unidades de entrada:  Unidades de salida:

NH<sub>3</sub>  NH<sub>4</sub><sup>+</sup>  NH<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub><sup>+</sup>  
 N-NH<sub>3</sub>  N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>  N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>



SeaQuality  
 Fichero Acción Ayuda  
 Nitrogenados | Oxigenados | Conversión

Medida

Entrada: Centígrados (°C), Kelvin (°K), Farenheit (°F)  
 Salida: Centígrados (°C), Kelvin (°K), Farenheit (°F)

Entrada  Centígrados (°C)  
 Salida  Kelvin (°K)

Objetivo 5. Eficacia de los elementos de los circuitos cerrados (consumo de oxígeno, oxidación del amoníaco y eficacia de los materiales empleados en la filtración)

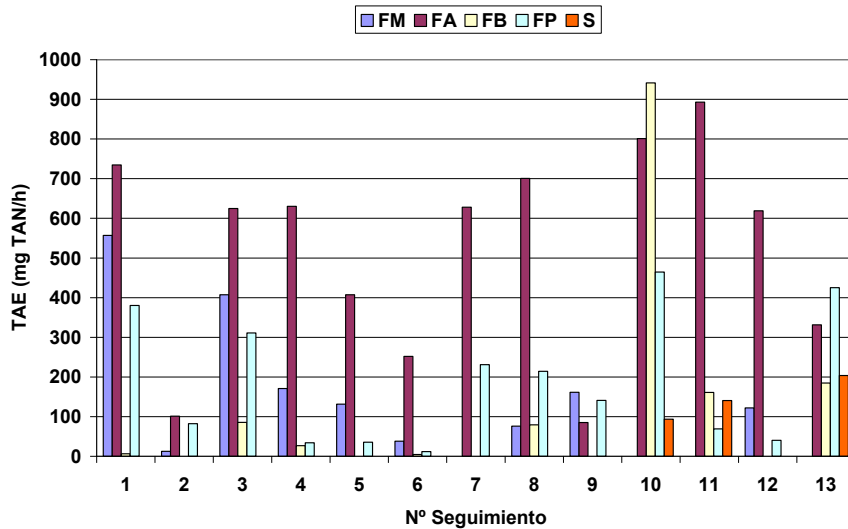
MUR realizó este estudio detallado del funcionamiento de cada uno de los elementos integrantes del sistema de recirculación (tanques de cultivo, tanque de expansión, skimmer, filtro de arena, filtro biológico y filtro de percolación) en los distintos sistemas con que cuenta la instalación (con distribución del agua bien por bombeo bien por gravedad). Los resultados son los siguientes:

Consumo de oxígeno (gO<sub>2</sub>/h) en los diferentes elementos de los circuitos. Valores positivos indican una entrada de oxígeno al circuito y negativos un consumo.

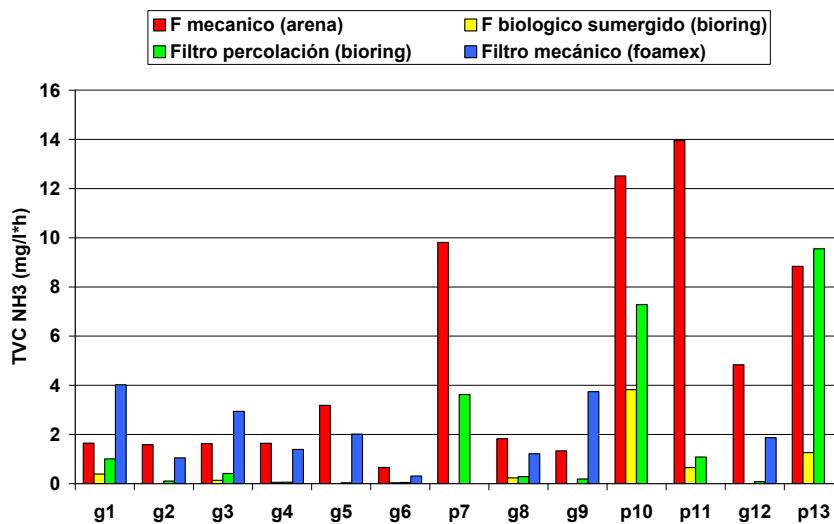
Fecha	TIPO	T	TE	S	FA	FB	FP
09/03/2006	G	-13.69	9.94	ND	-3.11	0.54	7.37
24/03/2006	G	-0.38	1.16	ND	-0.39	NA	-0.37
27/06/2006	G	-6.32	6.79	ND	-3.90	-0.06	3.70
11/07/2006	G	-5.65	-3.29	ND	-9.75	0.45	17.67
08/08/2006	G	-1.48	0.65	ND	-2.64	NA	3.39
02/11/2006	G	-2.73	2.91	ND	-2.01	-0.20	1.92
04/12/2006	P	-0.99	NA	ND	-4.51	3.17	2.32
12/12/2006	G	-4.66	0.88	ND	-7.60	-1.14	11.85
15/02/2007	G	-1.48	1.96	ND	3.11	NA	-3.18
27/03/2007	P	-2.68	NA	1.48	2.44	-5.28	5.51
19/06/2007	P	-7.27	NA	2.11	1.89	-4.18	9.56
26/07/2007	G	-1.32	-0.74	ND	-3.94	NA	6.66
08/11/2007	P	-3.36	NA	1.65	4.77	-2.29	0.88

T= Tanques; TE = Tanque de expansión; S = Skimmer; FA = Filtro de arena; FB = Filtro biológico; FP = Filtro de percolación





Tasa absoluta de eliminación de amoníaco (mgTAN/h) por parte de los elementos de filtración en los distintos seguimientos realizados.

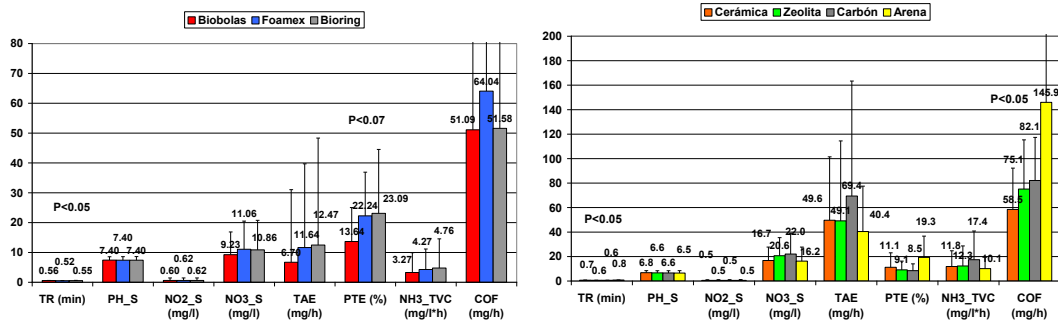


Comparación de la tasa volumétrica de conversión de TAN (TVC) por los distintos materiales de los filtros sometidos a ensayo

Que indican que por un lado hay un balance positivo de oxígeno (entrada de oxígeno al sistema) en los skimmer, filtros de percolación y tanques de expansión; los filtros de arena mostraron la mayor tasa absoluta de eliminación de amoníaco, seguidos por los prefiltros de esponja y de percolación mientras que en el caso de circuitos con distribución del agua por gravedad los materiales de filtración más eficaces a la hora de eliminar amoníaco son la arena silicea y la esponja tipo foamex, mientras que en los sistemas con distribución de agua por bombeo el amoníaco es transformado por los filtros de arena, biológico y de percolación siendo el material más eficaz la arena silíceas.

Objetivo 6.- Evaluación de la eficacia de distintos sustratos comerciales para la eliminación de amoníaco

Se llevó a cabo un barrido de distintos sustratos comerciales: bioring, biobolas, espuma foamex, cerámica, zeolita, carbón activo y arena silíceo. Los resultados en cuanto a tasa de eliminación de amoníaco (TAE) son los siguientes



Comparación del tiempo de retención (TR), pH, nitritos y nitratos a la salida de los filtros (PH\_S, NO2\_S y NO3\_S, respectivamente), tasa absoluta de eliminación de amoníaco (TAE), porcentaje de amoníaco eliminando (PTE), tasa volumétrica de conversión de amoníaco (TVC) y consumo de oxígeno de filtros con distintos materiales de filtración.

Que demuestra que tanto los bioring, espuma de foamex como el carbón activo son más eficaces en la eliminación del amoníaco en los sistemas que el resto de los materiales ensayados. Sin embargo la arena silíceo también es muy eficaz (elimina un 19% del amoníaco de entrada al filtro)

## 2.5. CONCLUSIONES/APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS DEL PLAN

Los resultados del plan demuestran que el uso de sistemas de recirculación de agua es factible en acuicultura marina, por su efectividad a la hora de eliminar los compuestos nitrogenados del agua (que en niveles elevados resultan tóxicos a los peces, véase tabla objetivo 3) y por su eficacia a la hora de reducir la flora bacteriana (si incorporan filtros UV) no deseada. La incorporación de ozono en los sistemas permite a su vez reducir el tamaño de los filtros biológicos (ya que el ozono contribuye a eliminar los compuestos nitrogenados) hasta llegar a eliminarlos además de contribuir a una mayor reducción de la flora bacteriana del agua y a obtener una calidad del agua, en cuanto a transparencia dado su efecto sobre los sólidos en suspensión y la turbidez del agua, muy buena.

El diseño de los sistemas de recirculación puede ser muy variado, desde sistemas tradicionales que usan red de pesca como elemento filtrante (AND) a sistemas muy sofisticados en los que todos los elementos del sistema de recirculación (filtros de arena, biológico, de cartucho, UV, bombas y sistemas de calentamiento/enfriamiento del agua) forman un conjunto modular y transportable (CAT) pasando por distintos sistemas de filtrado (con o sin filtro de arena, con o sin UV, etc) y distribución del agua (bombeo, gravedad, MUR). En cualquiera de las aplicaciones los sistemas de recirculación funcionan manteniendo una serie de variables (temperatura, salinidad y pH) del agua (véase resultados del objetivo 4) y utilizando una serie de sustratos como componentes de los filtros (véase

resultados de los objetivos 5 y 6) de una manera más o menos eficiente según el diseño y el material empleado.

Los sistemas de recirculación no sólo se están empleando ya en algunas empresas (Stolt Sea Farm cultivo de lenguado, Aquacría Arosa cultivo de rodaballo, Valenciana de Acuicultura cultivo de anguila) sino que se considera la tecnología con más futuro dentro del sector ya que evita problemas derivados del impacto ambiental de los vertidos y permite mejoras en el cultivo de especies sensibles a los cambios de temperatura y calidad del agua como el lenguado senegalés.

## 2.6. VALORACIÓN

En general todas las CCAA han colaborado activamente en la puesta a punto y realización del plan, los objetivos se han cumplido en su mayor parte y/o se completarán en un futuro próximo. También se espera que varios artículos científicos puedan generarse a partir de los resultados obtenidos

## 2.7. DIFUSIÓN

Cerezo, J., García-García, B. 2007. Eficacia en la eliminación de amoníaco por los distintos tipos de filtros de los sistemas de recirculación de agua marina en un centro de I+D. XI congreso Nacional de Acuicultura Vigo, España. 24-28 de septiembre 2007

Carbó, R. 2009. New generation of an intelligent, multifunctional recirculation system for aquaculture research in IRTA, Sant Carles de la Ràpita. World Aquaculture, Veracruz (México) 25-29 Mayo 2009

López, C., González, A., Quintans, J.M., Rodríguez, J.L. 2007. Datos preliminares del control de parámetros físico-químicos y bacteriológicos en circuito cerrado de peces planos. X Foro dos Recursos Mariños e da Acuicultura das Rías Galegas. O Grove (Pontevedra)

Rodríguez, J.L., Souto, B.F., Quintans, J.M. 2008. Comparison of the growth of turbot (*Psetta máxima*) in open and closed circuit systems. Aquaculture Europe 08, Estambul (Turquía)

J.L Rodríguez, B. F. Souto R. Figueiro, J.M. Quintans and C. Canosa 2008. Preongrowing of turbot (*Scophthalmus maximus*) in recirculation systems and in open circuit. Aquaculture Europe 08, Cracovia (Poland).

## 2.8. INCIDENCIAS DE DESARROLLO

Exceptuando el hecho de que el proyecto no pudo empezar hasta bien entrado el verano de 2005 con el consiguiente retraso de las actuaciones que debían llevarse a cabo en el primer año, y el hecho de que gran parte de los sistemas de recirculación con los que contaba la C.A. de Andalucía no se han utilizado, no ha habido ninguna otra incidencia en el desarrollo

## INFORME FINAL EXTENSO

### 1.- DATOS ADMINISTRATIVOS

**TITULO:**

**Tecnología de recirculación y desinfección en acuicultura marina**

### FECHAS DE REALIZACIÓN

Inicio: verano de 2005

Finalización: diciembre de 2008


### DATOS DEL COORDINADOR DEL PROYECTO

Nombre y Apellidos: Alicia Estévez García

Organismo/ Centro: IRTA-San Carlos de La Rápita

Departamento: Unidad de Cultivos Experimentales

Teléfono: 977-745427 ext 1808

Fax: 977-744138

Correo electrónico: alicia.estevez@irta.es

Dirección postal completa:

Ctra Poble Nou Km 5,5

San Carlos de la Rápita

43540 Tarragona

## **PARTICIPANTES por cada Comunidad Autónoma**

### **CENTROS DE INVESTIGACIÓN**

#### **ANDALUCIA**

INSTITUCION: Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, Junta de Andalucía (JA)

Tipo de centro: Organismo Público I + D + F

Nombre: Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA)

CIF: Q-4100689-A

Nombre Representante Legal: D<sup>a</sup>. Carmen Hermosín Gaviño.

#### **CATALUÑA**

INSTITUCION: Institut de Recerca i Tecnologia Agralimentaries

Tipo de Centro: I + D

Nombre: Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaries (IRTA)

CIF: Q-5855049-B

Nombre Representante Legal: Agustí Fonts Cabestany

#### **GALICIA**

INSTITUCIÓN: Instituto Gallego de Formación en acuicultura (IGAFA)

Tipo: I + D + F

Nombre: Consellería de Pesca e Asuntos Marítimos (Xunta de Galicia)

CIF: S /1511001/H

Nombre Representante Legal: Rosa Quintana Carballo

#### **MURCIA**

INSTITUCION: Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia.

Tipo: Centro Público de I+D

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

CIF: S-3000012-I

Nombre del representante legal: Adrian Martínez Cutillas.

DATOS DE LOS INVESTIGADORES (solo se indican los nombres de los coordinadores de cada C.A.)

### **ANDALUCIA**

Apellidos: Revilla Torres  
Nombre: Ezequiel  
Organismo: IFAPA, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, Junta de Andalucía (JA).  
Centro: CIFPA "El Toruño"  
Departamento: Ingeniería  
Equipo: Acuicultura  
Teléfono: 956-011307  
Fax.: 956-011324  
Correo electrónico: ezequiel.revilla@juntadeandalucia.es  
Dirección postal: Apartado de Correos, nº. 16, 11500 El Puerto de Santa María, Cádiz.

### **CATALUÑA**

Apellidos: Carbó Bacaicoa  
Nombre: Ricard  
Organismo: IRTA  
Centro: Acuicultura  
Departamento: Unidad de Cultivos Experimentales  
Equipo:  
Teléfono: 977 745427, 977 745467  
Fax.: 977 744138  
Correo electrónico: ricard.carbo@irta.es  
Dirección postal: Ctra. Poble Nou, km 6. San Carlos de la Rápita. 43540 Tarragona

### **GALICIA**

Apellidos: Rodríguez Villanueva  
Nombre: Jose Luis  
Organismo: Xunta de Galicia  
Centro: IGafa  
Departamento: Cultivos Marinos  
Equipo:  
Teléfono: 986 527101  
Fax.: 986 527161  
Correo electrónico: xose.luis.Rodríguez.villanueva@xunta.es  
Dirección postal: Nio do Corvo s/n, 36626 Illa de Arousa, Pontevedra

### **MURCIA**

Apellidos: García García  
Nombre: Benjamín  
Organismo: Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia.  
Centro: Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA).

Departamento: Acuicultura y Ganadería  
Equipo: Acuicultura  
Teléfono: 968 184518  
Fax.: 968 184518  
Correo electrónico: benjamín.garcia@carm.es  
Dirección postal: Apdo. 65. Puerto de San Pedro del Pinatar. 30740 San Pedro del Pinatar. Murcia.

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

### **2.1. OBJETIVOS INICIALES**

#### **2.1.1. OBJETIVO GENERAL:**

- I. Evaluar el funcionamiento de los sistemas de recirculación existentes en la actualidad en los distintos centros de I+D en acuicultura marina participantes y obtener datos técnicos de interés para el diseño y funcionamiento de circuitos cerrados para instalaciones experimentales pero también industriales. Para ello se analizarán:
  - Niveles de amonio, nitritos y nitratos en el agua de entrada y salida del filtro biológico con una periodicidad semanal
  - Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH
  - Microbiología del agua de cultivo en la entrada al filtro biológico, entrada a los tanques de cultivo, salida de los tanques de cultivo, antes de la unidad de tratamiento con ultravioleta. Para realizar estas medidas de microbiología se usará un protocolo conjunto. Las medidas se realizarán al menos 4 veces/año (de forma estacional) o siempre que se incluya alguna modificación en el sistema, a fin de evaluar el efecto de dicha modificación sobre la aparición de bacterias.

#### **2.1.2. OBJETIVOS PARCIALES:**

##### **2.1.2.1. CA de Andalucía**

Examinar y optimizar los sistemas de recirculación ya existentes

##### **2.1.2.2. CA de Cataluña**

Aunque la CA de Cataluña incluirá los objetivos generales, el hecho de que ya lleve 5 años funcionando con sistemas de recirculación hace que los objetivos sean distintos e ir un paso más adelante en el uso de estos sistemas. De ahí que planteemos los siguientes objetivos parciales que se refieren exclusivamente al empleo de ozono en los sistemas de recirculación:

1. Elegir el lugar adecuado dentro del sistema de circuito cerrado para la aplicación del ozono en el sistema. Dependerá de los distintos tipos de biofiltros empleados en las instalaciones. (Año1)
2. Elegir el tipo de sistema de eliminación del ozono residual y/o de los productos tóxicos generados. (Año 1)

3. Determinar la cantidad de ozono adecuada para la desinfección y/o disminución de la carga bacteriana presente en el agua según:
  - 3.1.1. El organismo que se cultive (presas vivas, larvas, juveniles y adultos de peces, larvas, juveniles y adultos de crustáceos, larvas, juveniles y adultos de moluscos).
  - 3.1.2. La carga de organismos vivos en el sistema (10, 20, 30 Kg)
  - 3.1.3. La carga bacteriana y de materia orgánica del agua de entrada (Año 2)
4. Estudiar la efectividad real de la aplicación de ozono sobre:
  - 4.1.1. La disminución de la carga bacteriana, especialmente de especies patógenas
  - 4.1.2. El comportamiento de los organismos en cultivo en cuanto a crecimiento, supervivencia y aparición de enfermedades
  - 4.1.3. La generación de residuos tóxicos (bromitos y cloruros) (Año 2)
5. Determinar los niveles de ozono que puedan considerarse tóxicos o que puedan generar productos tóxicos derivados del cloro y bromo. (Año 2)
6. Utilizar ozono para la eliminación de patógenos, algas tóxicas o especies exóticas en casos especiales: (Año 3)
  - 6.1.1. Salas de challenge/Patología,
  - 6.1.2. Aparición de blooms de algas tóxicas,
  - 6.1.3. Uso de especies foráneas para experimentación

#### **2.1.2.3.CA de Galicia**

1. Control de la evolución del sistema de recirculación en el engorde de peces planos.
  - 1.1.1. Medición de los parámetros físico-químicos
  - 1.1.2. Control microbiológico
  - 1.1.3. Muestreo de los peces de cultivo
2. Aplicación de ozono en sistemas de recirculación
  - 2.1.1. Identificación del lugar de aplicación del ozono en el sistema de recirculación
  - 2.1.2. Estudiar el efecto de la aplicación del ozono
3. Adaptación sistema de recirculación al control de los reproductores
  - 3.1.1. Control de los parámetros físico-químicos
  - 3.1.2. Control microbiológico

#### **2.1.2.4 CA de Murcia**

1. Realizar tablas de los distintos parámetros que definen la calidad del agua con los valores considerados aceptables o no limitantes, subletales (afectan al crecimiento y la supervivencia), y letales para especies de interés en el Mediterráneo.
2. En relación al amoníaco disuelto realizar tablas del porcentaje de NH<sub>3</sub> (que es el compuesto tóxico) en función de salinidad, temperatura y ph en una muestra determinada, y desarrollo de una aplicación informática para el cálculo y cambios de unidad.
3. Medir la eficacia de los dos tipos de circuito, a presión y por gravedad, en cuanto requerimiento de oxígeno, eliminación u oxidación de NH<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub>, y variaciones de pH, y optimización de los mismos.



4. Necesidades de aporte de oxígeno a los dos sistemas, y mecanismos de difusión del oxígeno atmosférico al sistema y su situación en el circuito para mantener niveles lo más próximos al 100% de saturación.
5. Eficacia de sustratos de carbonato cálcico (p.e. conchas de moluscos) para regular el pH, y mantenerlo lo más próximo a 8.2 (característico de las aguas marinas en mar abierto).
6. Tasa de oxidación de amoníaco de distintos sustratos comerciales. Desarrollo de una técnica estándar para realizar análisis de valoración.
7. Desarrollar un sistema de registro y control retroalimentado por ordenador

## 2.2. OBJETIVOS REALIZADOS

Todas las CC.AA han cumplido los objetivos propuestos con mayor o menor éxito

## 2.3. METODOLOGÍA

La determinación de los parámetros fisico-químicos se llevará a cabo utilizando los métodos habituales en agua de mar. Esto es:

- Temperatura, con termómetros.
- pH, con pHmetro.
- Salinidad por conductimetría, con salinómetro portátil.
- Oxígeno disuelto por el método de Winkler y/o con oxímetro portátil.
- Amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos, por colorimetría, utilizando los métodos clásicos: azul de indofenol, reacción de Griess, reducción en columna de Cd/Cu, método de Parsons, y molibdato, respectivamente.
- Los sólidos en suspensión y materia orgánica particulada, por gravimetría previa filtración.

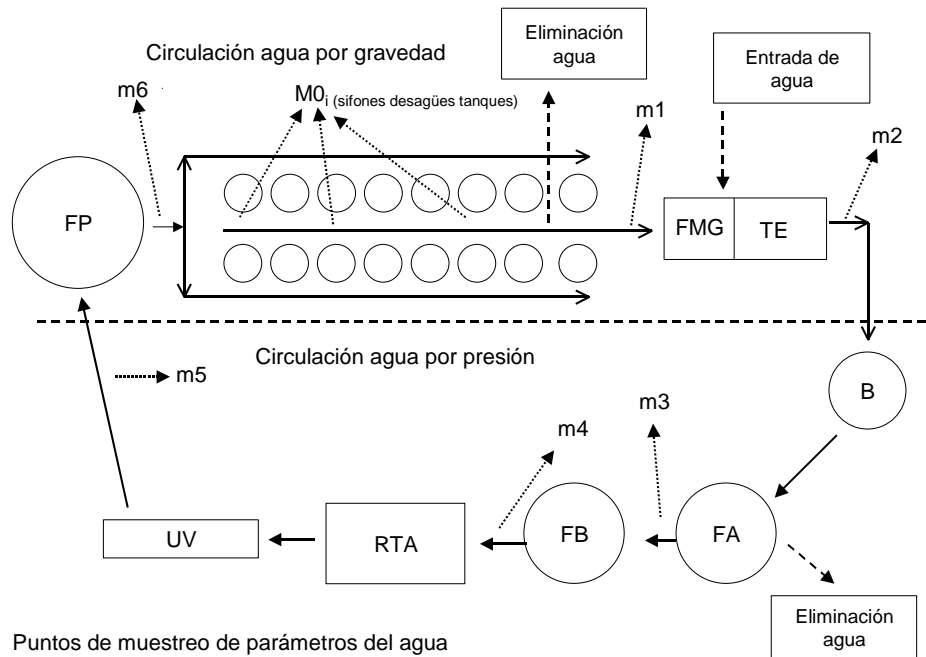
Los análisis microbiológicos se realizarán por siembra en placa en medio TSA (general) y TCBS (Vibrionáceas) tras dilución de la muestra y recuento del número de colonias resultante siguiendo el protocolo indicado en el proyecto.

La C.A. de Murcia hará un balance de la concentración de oxígeno en los distintos elementos de los circuitos cerrados y determinación de los puntos críticos. Para ello:

Se medirá a intervalos de 30 minutos y durante 6 horas la concentración de oxígeno en ciertos puntos de al menos dos circuitos cerrados, uno de cada tipo (Tipo P –presión- y G –gravedad-) y a distintas temperaturas del agua. A partir de las medidas se calculará los siguientes índices:

1. **BOdtc**: Balance de oxígeno entre el tanque de expansión y los desagües de los tanques de cultivo. Ya que en el sifón de desagüe de cada tanque hay una entrada de oxígeno desde la atmósfera, se medirá la concentración del agua de salida de cada uno de los tanques (antes del sifón) y la concentración en el tanque de expansión ( $m1-m0i$ ).
2. **BOte**: Balance de oxígeno en el tanque de expansión, como la diferencia entre la concentración de oxígeno a salida y entrada del mismo ( $m1-m2$ ).

3. **BOfa**: Balance de oxígeno del filtro de arena, como la diferencia de concentración entre el agua en el tanque de expansión y a la salida del filtro ( $m_2-m_3$ ).
4. **BOfb**: Balance de oxígeno del filtro biológico, como la diferencia de concentración del agua de entrada y salida del filtro ( $m_3-m_4$ ).
5. **COfp**: Balance de oxígeno del filtro de percolación, como la diferencia de concentración del agua de entrada y salida del tanque ( $m_5-m_6$ ).



También determinará la tasa de oxidación de amoníaco (TOA) de los distintos elementos del circuito:

1. **TOAcc**: Tasa de oxidación de amoníaco del circuito cerrado como la diferencia entre la concentración en el tanque de expansión y el agua a la entrada de los tanques de cultivo ( $m_1-m_6$ ).
2. **TOAfm**: Tasa de oxidación de amoníaco del circuito cerrado como la diferencia entre la concentración a la entrada del filtro mecánico grosero del tanque de expansión y a la salida de éste ( $m_1-m_2$ ).
3. **TOAfa**: Tasa de oxidación de amoníaco de los filtros de arena, como la diferencia de concentración de amoníaco del agua antes de entrar en el filtro y después de pasar por él ( $m_2-m_3$ ).
4. **TOAfbp**: Tasa de oxidación de amoníaco de los filtros biológicos de presión, como la diferencia de concentración de amoníaco del agua antes de entrar en el filtro y después de pasar por él ( $m_3-m_4$ ).
5. **TOAfbg**: Tasa de oxidación de amoníaco de los filtros de biológicos de percolación, como la diferencia de concentración de amoníaco del agua antes de entrar en el filtro y después de pasar por él ( $m_5-m_6$ ).
- 6.

También hará un estudio de la tasa de oxidación de amoníaco (TOA) de distintos sustratos comerciales. Se utilizarán unos pequeños filtro compacto de acuario de

forma cilíndrica que dentro del mismo cuerpo llevan la bomba de agua un filtro mecánico y un volumen para depositar el sustrato filtrante (5 litros). A un tanque de 450 litros se conectarán 9 filtros de acuario cada tres con un sustrato distinto. Mediante adición del cloruro amoníaco en el tanque se mantendrá una concentración de entre 1 y 2 mg  $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+\text{-N/l}$ , transcurrido unos 20-30 días, cuando los filtros se establezcan, se determinará la TOA tomando muestras cada hora durante un periodo de 6, del agua del tanque y del de salida de cada uno de los filtros. Se evaluarán entre 6 y 9 sustratos.

Y desarrollará un sistema de registro y control retroalimentado por ordenador. Se desarrollará una aplicación en C++ para el registro de los valores obtenidos por sensores específicos de determinados parámetros y de control retroalimentado para manipular los valores obtenidos con el fin de mantenerlos dentro de unos márgenes óptimos de operación.

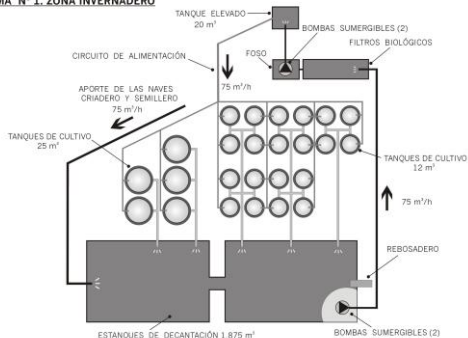
## 2.4. RESULTADOS

### **OBJETIVO 1. Examinar y optimizar los sistemas de recirculación ya existentes**

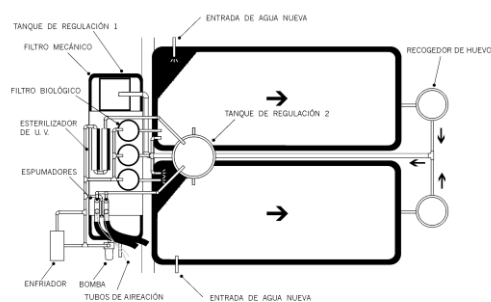
#### **ANDALUCIA**

De los 7 sistemas de recirculación con que cuenta el IFAPA "El Toruño" solo se han usado de forma continua y durante todo el proyecto los sistemas 1, 4 y 5, los otros sistemas o no se han empleado o se han usado esporádicamente.

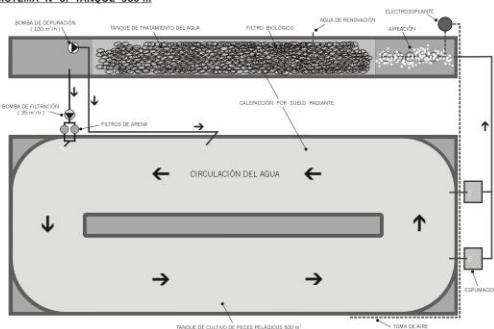
**SISTEMA N.º 1. ZONA INVERNADERO**



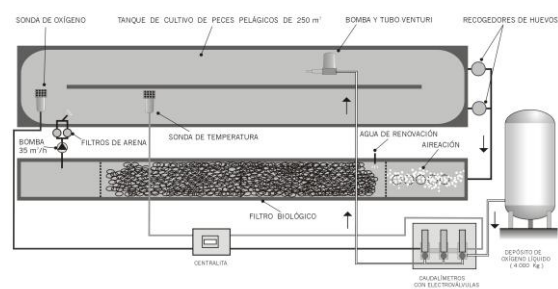
**SISTEMA N.º 2. TANQUES REPRODUCTORES LENGUADO**



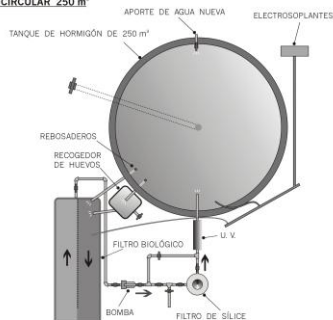
**SISTEMA N.º 3. TANQUE 500 m³**



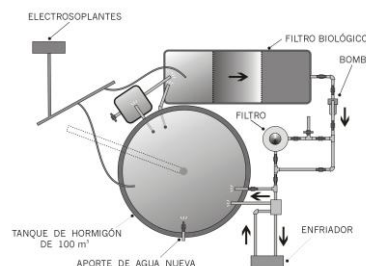
**SISTEMA N.º 4. TANQUE RECTANGULAR 250 m³**



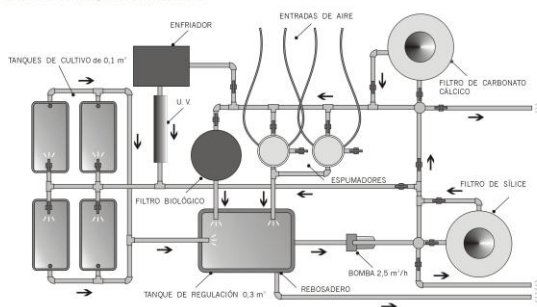
SISTEMA Nº 5. TANQUE CIRCULAR 250 m<sup>3</sup>



SISTEMA Nº 6. TANQUE CIRCULAR 100 m<sup>3</sup>



SISTEMA Nº 7. TANQUES CEFALÓPODOS



En todos los casos se llevaron a cabo labores de análisis de los parámetros ambientales habituales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH) y medidas de nitrito y amonio, así como de forma ocasional estudio de la carga bacteriana presente en el agua de cultivo. En todos los casos la eficiencia de los sistemas a la hora de eliminar los compuestos nitrogenados fue alta (entre el 60 y el 100% del amonio y entre el 75 y el 100% de los nitritos). En los anexos se presentan los resultados de dichos análisis en los 3 años del proyecto.

## GALICIA

La C.A. de Galicia instaló el sistema de recirculación en el año 2005 y a partir del año 2006 llevó a cabo experimentos de uso de dicho sistema tanto para el engorde de peces planos como para el mantenimiento de reproductores (2007 y 2008). Los parámetros ambientales habituales, así como el seguimiento microbiológico del agua de los años 2006, 2007 y 2008 son los siguientes

Parámetros 2006	LENGUADO		RODABALLO	
	Recirculación	Abierto	Recirculación	Abierto
Temperatura	19,5 °C	13,5-20,5 °C	19,5 °C	13,5-20,5 °C
Oxígeno	7,5 ppm	6-7,5 ppm	7 ppm	7-6 ppm
Salinidad	35%	35%	35%	35%
pH	7,8	8,0	7,8	8,0
Nitritos	0,1-0,3 ppm		0,1-0,3 ppm	
Amonio	0,3 ppm		0,3 ppm	
CO <sub>2</sub>	0,8 ppm		0,8 ppm	

Parámetros 2007	LENGUADO		RODABALLO	
	Recirculación	Abierto	Recirculación	Abierto
Temperatura	18±1°C	12-15	19±1°C	12-18
Oxígeno	7-7.5	6-7.5	7-7.5	6-7
Salinidad	35	35	35	35
pH	7.5-7.8	8.0	7.5-7.8	8.0
Nitritos	0.1-0.3 ppm		0.1-0.3ppm	
Amonio	0.3 ppm		0.3ppm	
CO <sub>2</sub>	0.8 ppm		0.8ppm	

PARAMETROS 2008	RODABALLO	LENGUADO SENEGALÉS	LENGUADO COMUN	ABADEJO
Salinidad	34-37 <sup>0</sup> / <sub>00</sub>	34-37 <sup>0</sup> / <sub>00</sub>	34-37 <sup>0</sup> / <sub>00</sub>	34-37 <sup>0</sup> / <sub>00</sub>
Oxígeno	7-9 mg/l	7-9 mg/l	7-9 mg/l	7-9 mg/l
Temperatura	13 <sup>0</sup> C	14-17 <sup>0</sup> C	12-15 <sup>0</sup> C	12-13 <sup>0</sup> C
pH	7,8	7,9	7,9	7,9
Amonio total	0,40 mg/l	0,20 mg/l	0,20 mg/l	0,30 mg/l
Amoniaco	0	0	0	0
Nitritos	0,55 mg/l	0,20 mg/l	0,30 mg/l	0,30 mg/l
Nitratos	40 mg/l	15 mg/l	20 mg/l	40 mg/l
CO <sub>2</sub>	< 2,5 mg/l	< 2,5 mg/l	< 2,5 mg/l	< 2,5 mg/l

En todos los casos se demuestra que a lo largo de un periodo de uso continuado de 3 años, los sistemas funcionan muy bien a la hora de mantener los parámetros físico-químicos constantes.

En cuanto a la carga bacteriana se observa una reducción considerable entre los recuentos hechos antes y después del filtro UV (50%) y del skimmer (70%) y especialmente en el agua de entrada a los tanques (1 orden de magnitud)

FECHAS	S.T ( Salida tanque )		E.UV ( Entrada ultravioleta )		E.F ( Entrada filtro biológico, salida ultravioleta )		E.T ( Entrada tanque )		S.K ( Salida Skimmer )	
	M.A	TCBS	M.A	TCBS	M.A	TCBS	M.A	TCBS	M.A	TCBS
04/2006	5,4x10 <sup>4</sup>	1,32x10 <sup>4</sup>	1,62x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>3</sup>	5,1x10 <sup>2</sup>	no crecim.	3,8x10 <sup>3</sup>	1,9x10 <sup>2</sup>	–	–
05/2006	5x10 <sup>4</sup>	8,5x10 <sup>2</sup>	9,5x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup>	1,39x10 <sup>3</sup>	no crecim.	8,2x10 <sup>2</sup>	6x10 <sup>1</sup>	–	–
06/2006	2,21x10 <sup>4</sup>	6,9x10 <sup>3</sup>	1,26x10 <sup>4</sup>	1,7x10 <sup>3</sup>	1,11x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>1</sup>	7,3x10 <sup>2</sup>	9x10 <sup>1</sup>	–	–
07/2006	9,3x10 <sup>3</sup>	1,6x10 <sup>3</sup>	2,4x10 <sup>3</sup>	3,5x10 <sup>2</sup>	no crecim.	no crecim.	4,9x10 <sup>2</sup>	no crecim.	2x10 <sup>1</sup>	no crecim.
08/2006	3,8x10 <sup>4</sup>	2,7x10 <sup>2</sup>	1,01x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>	3,4x10 <sup>2</sup>	no crecim.	5,1x10 <sup>2</sup>	no crecim.	8x10 <sup>1</sup>	no crecim.
09/2006	1x10 <sup>5</sup>	8x10 <sup>2</sup>	3,9x10 <sup>3</sup>	6x10 <sup>1</sup>	6x10 <sup>2</sup>	no crecim.	1,18x10 <sup>3</sup>	no crecim.	5x10 <sup>1</sup>	no crecim.
10/2006	1,5x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>2</sup>	2,09x10 <sup>3</sup>	1,1x10 <sup>2</sup>	3x10 <sup>4</sup>	4,4x10 <sup>3</sup>	2,3x10 <sup>4</sup>	–	3x10 <sup>4</sup>	3,6x10 <sup>3</sup>
12/2006	3,8x10 <sup>4</sup>	2,3x10 <sup>4</sup>	1,04x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>3</sup>	4x10 <sup>4</sup>	7x10 <sup>3</sup>	1,69x10 <sup>4</sup>	9x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>3</sup>
01/2007	–	6,6x10 <sup>3</sup>	9x10 <sup>4</sup>	6x10 <sup>3</sup>	6,1x10 <sup>4</sup>	–	3,69x10 <sup>4</sup>	2x10 <sup>3</sup>	2,9x10 <sup>4</sup>	8,5x10 <sup>3</sup>
02/2007	2x10 <sup>4</sup>	5,8x10 <sup>3</sup>	6x10 <sup>4</sup>	3,5x10 <sup>3</sup>	1,4x10 <sup>4</sup>	1,33x10 <sup>3</sup>	8,5x10 <sup>4</sup>	2,3x10 <sup>3</sup>	3,3x10 <sup>4</sup>	9,9x10 <sup>2</sup>

04/2007	1,19x10 <sup>5</sup>	6x10 <sup>3</sup>	1,4x10 <sup>4</sup>	4x10 <sup>2</sup>	1,3x10 <sup>4</sup>	7x10 <sup>3</sup>	9,5x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>1</sup>	1x10 <sup>1</sup>
06/2007	7,6x10 <sup>5</sup>	2,5x10 <sup>3</sup>	4,4x10 <sup>3</sup>	no crecim.	3x10 <sup>2</sup>	6x10 <sup>2</sup>	—	1,01x10 <sup>3</sup>	no crecim.	no crecim.
07/2007	3x10 <sup>4</sup>	8x10 <sup>2</sup>	5,9x10 <sup>3</sup>	no crecim.	8,2x10 <sup>3</sup>	7x10 <sup>1</sup>	3x10 <sup>3</sup>	4x10 <sup>1</sup>	2,9x10 <sup>3</sup>	6x10 <sup>1</sup>
08/2007	9,1x10 <sup>4</sup>	7,4x10 <sup>3</sup>	9x10 <sup>3</sup>	no crecim.	9,4x10 <sup>2</sup>	no crecim.	3,1x10 <sup>2</sup>	no crecim.	No crecim.	no crecim.
09/2007	1,7x10 <sup>4</sup>	1,2x10 <sup>3</sup>	6,1x10 <sup>2</sup>	no crecim.	1,7x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>1</sup>	4,3x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>1</sup>	1,19x10 <sup>3</sup>	3x10 <sup>1</sup>
10/2007	1,9x10 <sup>5</sup>	1,5x10 <sup>3</sup>	7,6x10 <sup>3</sup>	no crecim.	6x10 <sup>1</sup>	1x10 <sup>1</sup>	7,8x10 <sup>2</sup>	9x10 <sup>1</sup>	9,9x10 <sup>2</sup>	1,1x10 <sup>2</sup>

Los resultados de microbiología del 2008 son similares a los de 2006 y 2007, no encontrándose diferencias en cuanto a la reducción de carga bacteriana mediante el uso de ultravioleta y/o ozono.

## MURCIA

En el caso del IMIDA (Murcia) existen 8 sistemas distintos de recirculación, en función de que la distribución del agua se haga por bombeo (P) o por gravedad (G) y en función de que exista o no filtro biológico, skimmer o filtro de percolación, las características de los distintos sistemas se muestran en la siguiente tabla:

Circuito cerrado	Tipo <sup>1</sup>	Nº tanques, tipo Volumen (l)	Filtro arena	Filtro biológico	Filtro percolación	Skimmer	U.V.	RTA <sup>2</sup>	Volumen circuito (m <sup>3</sup> )
LH1-CC1	P	15, circulares 482 l	1 290 l	1 290 l		1	1 65 W	AC/RE/BC	9,4
LH1-CC2	P	15, circulares 482 l	1 290 l	1 290 l		1	1 65 W	AC/RE/BC	9,4
LH1-CC3	G	15, acuarios 85-200 l	1 290 l		1 300 l		1 37 W	AC/BC	2,5
LH2-CC1	G	12, circulares 849 l	2 750 l	1 750 l	1 900 l	1	2 37 W	BC/RE	13,2
LH2-CC2	G	16, circulares 216 l	1 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	4,5
LH2-CC3	G	5, circulares 1994 l	2 750 l	1 750 l	1 900 l	1	1 65 W	BC	12,9
LH2-CC4	G	16, troncocónicos 263 l	2 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	5,4
LH2-CC5	G	15, troncocónicos 93 l	1 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	2,3

<sup>1</sup>Tipo de circuito: P = El agua llega a los tanques de cultivo por la presión de la bomba impulsora; G = El agua llega por gravedad desde el tanque de percolación.

<sup>2</sup>RTA = Regulación de la temperatura: AC = Aire acondicionado; RE = Resistencia eléctrica (3500 W); BC = Bomba de calor

A lo largo de los tres años de duración del proyecto se ha llevado a cabo el seguimiento de los parámetros de calidad del agua en los circuitos cerrados, tanto en el agua de entrada a los tanques como en el tanque de expansión o reservorio que recoge el agua de salida. Se han registrado diariamente la temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, pH y potencial redox mediante una sonda multiparámetro (Modelo YSI 556 MPS). Semanalmente se registraron amoníaco, nitritos y nitratos mediante un colorímetro portátil (AQUAfast IV, ORION AQ4000), así como la turbidez del agua (NTU) con un turbidímetro-nefelómetro (AQUAfast



IV, ORION AQ4500). Paralelamente, se registraron en cada uno de los circuitos otros parámetros que pudieran afectar a la calidad del agua, incluyendo carga de cultivo, caudales de agua y renovación de agua exterior.

Globalmente, los niveles de oxígeno en el tanque de expansión oscilaron entre el 56 y 105 % de saturación, con valores medios que superaron en todos los circuitos el 84 %. En el agua de entrada a los tanques el valor medio fue del 88,7 %, con valores mínimos y máximos respectivos del 59 y 105 % de saturación. Estos valores mínimos coincidieron con las cargas de cultivo más elevadas. Teniendo en cuenta que estas instalaciones no presentan inyección de oxígeno, los mecanismos que han permitido aumentar el nivel de oxígeno disuelto han sido los siguientes: a) la mezcla de agua-aire originada por la entrada de agua de renovación; b) la mezcla en el tanque de expansión debida al agua procedente de la bomba de calor; c) el skimmer; d) el intercambio producido por los filtros de percolación; e) los air-lift dispuestos en cada uno de los tanques de cultivo. En cualquier caso, los niveles de oxígeno tanto en el tanque de expansión como en el agua de entrada a los tanques se correlacionaron de forma negativa particularmente con la carga, y en menor grado con la temperatura (Tabla VII), sugiriendo en nuestras condiciones experimentales que cargas de cultivo superiores a 10-15 Kg/m<sup>3</sup> necesitarían inyección de oxígeno especialmente a temperaturas elevadas.

<b>Parámetro</b>	<b>Media</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
T_A (°C)	20,87	10,80	29,63
T_B (°C)	20,96	10,90	29,64
O2_A (% Sat.)	87,64	56,00	104,90
O2_B (% Sat.)	88,67	59,50	104,80
SAL_A (‰)	37,92	33,61	40,52
SAL_B (‰)	37,94	33,62	40,48
N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )_A (mg/l)	0,26	0,00	5,26
N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )_B (mg/l)	0,23	0,00	4,86
N-NO <sub>2</sub> _A (mg/l)	0,12	0,00	2,12
N-NO <sub>2</sub> _B (mg/l)	0,11	0,00	2,22
N-NO <sub>3</sub> _A (mg/l)	2,41	0,00	16,95
N-NO <sub>3</sub> _B (mg/l)	2,48	0,00	20,53
PH_A	7,52	6,02	8,37
PH_B	7,51	6,02	8,38
ORP_A (mv)	240,77	142,00	421,00
ORP_B (mv)	245,59	162,00	427,00
NTU_A	0,40	0,00	3,67
NTU_B	0,36	0,00	2,79
CARGA (Kg/m <sup>3</sup> )	4,52	0,00	14,75
CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	9,33	1,73	21,48
RENOVACIÓN (%/día)	8,61	2,27	101,06

Valores medios, mínimos y máximos de los parámetros de calidad del agua en las instalaciones experimentales del IMIDA.

Se alcanzaron picos máximos puntuales de amoníaco total disuelto de 5,26 mg/l (N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), de nitritos correspondientes a 2,22 mg/l (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) y de nitratos hasta 20,53 mg/l (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Los picos máximos de amoníaco y nitritos se

registraron respectivamente dentro de los quince y treinta días posteriores a la puesta en marcha del circuito e introducción de los animales. No obstante, los valores medios registrados para todos estos parámetros se situaron muy por debajo de los límites de seguridad en todos los circuitos, sin superar en ninguno de los casos los 0,32, 0,22 y 3,34 mg/l para amoníaco, nitritos y nitratos, respectivamente (ver Tablas V y VI). El potencial redox se correlacionó de forma positiva y significativa con el nivel de nitritos en el agua y la carga de cultivo con los niveles de nitratos. Los valores de amoníaco disuelto no mostraron una correlación significativa con ninguno de los factores registrados, sugiriendo un funcionamiento apropiado de los elementos de filtración (Tabla VIII).

En referencia a la turbidez del agua los valores máximos observados fueron de 3,67 NTU en el tanque de expansión y de 2,79 NTU en el agua de entrada a los tanques, mostrando en general un buen funcionamiento de los filtros mecánicos. El porcentaje medio de renovación de agua en los circuitos osciló entre el 6,5 y 11 % diario, los caudales medios de agua entre 3,8 y 16,05 m<sup>3</sup>/h, y las cargas medias de cultivo entre 3,1 y 6,2 Kg/m<sup>3</sup>, con valores máximos de hasta 14,75 kg/m<sup>3</sup>.

Circuito Parámetro	LH1CC1			LH1CC2			LH2CC1			LH2CC2			LH2CC3			LH2CC4			LH2CC5		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
T <sub>A</sub> (°C)	22,76	16,19	26,50	20,15	13,24	26,57	20,02	10,80	29,32	19,01	13,47	25,10	20,45	13,01	29,63	23,95	14,30	26,22	20,76	20,39	21,00
T <sub>B</sub> (°C)	22,75	16,55	26,07	20,33	13,76	26,53	20,22	10,90	29,38	18,75	13,44	23,05	20,55	13,27	29,64	24,06	14,35	26,28	20,92	20,65	21,20
O <sub>2</sub> _A (% Sat.)	85,53	56,00	100,00	91,50	78,40	100,30	86,59	65,40	104,90	91,85	73,70	102,90	84,76	63,90	100,00	88,89	76,60	100,00	96,25	96,20	96,30
O <sub>2</sub> _B (% Sat.)	87,96	76,50	102,70	91,88	81,10	100,00	86,24	59,50	101,50	93,98	81,60	104,80	88,45	62,50	99,30	88,79	74,10	100,00	95,10	92,40	97,80
SAL_A (‰)	37,70	36,04	38,68	37,50	35,88	39,01	38,25	35,58	40,00	37,62	34,26	40,00	37,57	33,61	39,29	38,07	33,98	40,52	38,33	38,00	39,06
SAL_B (‰)	37,70	36,01	38,68	37,49	35,90	39,00	38,30	35,78	40,00	37,58	34,26	39,00	37,58	33,62	39,31	38,09	33,98	40,48	38,21	38,00	38,69
N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )_A (mg/l)	0,13	0,00	1,32	0,32	0,00	5,24	0,34	0,00	5,22	0,23	0,00	0,64	0,13	0,00	3,27	0,29	0,00	5,26	0,13	0,00	0,41
N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )_B (mg/l)	0,07	0,00	1,23	0,27	0,00	4,62	0,32	0,00	3,97	0,20	0,00	0,44	0,12	0,00	2,55	0,26	0,00	4,86	0,14	0,00	0,41
N-NO <sub>2</sub> _A (mg/l)	0,19	0,00	2,04	0,10	0,00	0,69	0,08	0,00	1,52	0,22	0,00	2,12	0,14	0,00	1,52	0,08	0,00	1,24	0,03	0,00	0,06
N-NO <sub>2</sub> _B (mg/l)	0,18	0,00	1,75	0,08	0,00	0,71	0,08	0,00	1,52	0,22	0,00	2,22	0,13	0,00	1,60	0,07	0,00	1,39	0,03	0,00	0,06
N-NO <sub>3</sub> _A (mg/l)	0,97	0,07	1,81	0,78	0,00	1,74	1,96	0,00	16,94	2,96	0,26	8,91	3,28	0,00	16,95	3,09	0,00	14,02	0,98	0,00	2,47
N-NO <sub>3</sub> _B (mg/l)	0,96	0,00	3,84	0,82	0,06	2,20	2,04	0,00	20,53	3,10	0,11	12,04	3,34	0,00	16,95	3,17	0,00	14,72	0,85	0,00	2,24
PH_A	7,55	6,56	8,24	7,73	6,89	8,28	7,40	6,13	8,15	7,71	6,90	8,32	7,41	6,02	8,16	7,57	6,66	8,37	7,84	7,62	7,96
PH_B	7,61	6,95	8,18	7,79	7,09	8,31	7,37	6,28	8,19	7,73	7,02	8,38	7,37	6,02	8,17	7,57	6,67	8,37	7,82	7,61	7,96
ORP_A (mv)	204,08	164,10	263,60	227,92	189,90	385,00	250,96	188,00	409,00	259,98	188,20	405,00	237,26	142,00	409,00	242,56	178,60	421,00	350,33	309,00	378,00
ORP_B (mv)	211,13	187,40	252,60	226,68	193,30	394,10	251,88	188,00	409,00	265,94	188,50	408,00	248,32	162,00	401,00	245,61	188,90	427,00	345,50	305,00	386,00
NTU_A	0,79	0,15	3,67	0,39	0,00	1,62	0,35	0,01	2,44	0,50	0,00	2,26	0,26	0,00	1,41	0,31	0,00	1,02	nd	nd	nd
NTU_B	0,85	0,17	2,79	0,44	0,00	1,93	0,25	0,00	1,63	0,39	0,00	1,70	0,21	0,00	1,86	0,26	0,01	1,51	nd	nd	nd
CARGA (Kg/m <sup>3</sup> )	5,20	0,00	8,22	3,22	0,24	6,02	6,16	0,30	10,46	3,12	0,00	6,87	3,82	0,67	14,75	3,87	0,00	10,05	nd	nd	nd
CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	7,20	4,29	14,74	14,33	7,04	21,12	16,05	4,02	21,48	5,74	1,73	9,29	8,30	5,40	16,80	6,34	3,97	11,13	3,77	3,61	3,89
RENOVACIÓN (%/día)	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	7,44	2,27	55,92	8,22	4,66	8,30	9,98	8,40	101,06	10,99	8,31	20,67	9,80	9,80	9,80

Recopilación de los valores medios, mínimos y máximos de los parámetros de calidad del agua en los distintos circuitos de las instalaciones experimentales del IMIDA.

CCP	O <sub>2</sub> (%)		O <sub>2</sub> (%)	
	A	P<	B	P<
Temperatura	-0,34	0,01	-0,47	0,001
Salinidad	-0,23	0,05	-0,24	0,05
Carga	-0,39	0,001	-0,38	0,001
Caudal	0,09	ns	0,08	ns
Renovación	0,00	ns	0,07	ns

Coefficientes de correlación parcial entre el nivel de oxígeno (A: tanque de expansión; B = entrada de agua a los tanques) y las variables independientes temperatura, salinidad, carga, caudal y renovación de agua exterior



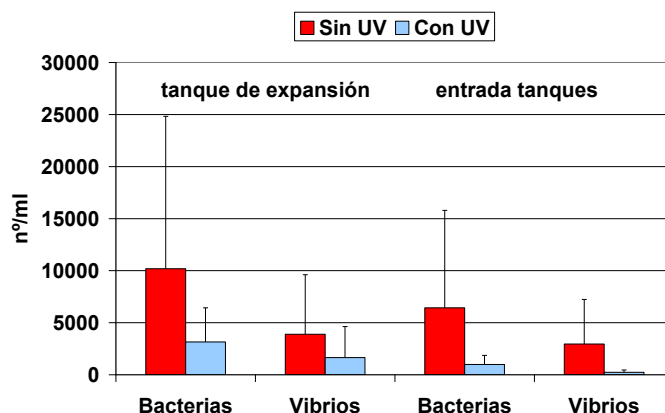
CCP	N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )				N-NO <sub>2</sub>				N-NO <sub>3</sub>			
	A	P<	B	P<	A	P<	B	P<	A	P<	B	P<
Temperatura	0,00	ns	0,05	ns	0,00	ns	0,00	ns	0,01	ns	-0,03	ns
Oxígeno	-0,04	ns	0,07	ns	0,00	ns	0,00	ns	-0,15	ns	-0,14	ns
pH	0,07	ns	0,02	ns	0,13	ns	0,14	ns	-0,14	ns	-0,14	ns
ORP	0,06	ns	0,02	ns	<b>0,25</b>	<b>0,01</b>	<b>0,26</b>	<b>0,01</b>	0,11	ns	0,14	ns
CARGA Amoniaco	-0,09	ns	-0,15	ns	0,12	ns	0,11	ns	<b>0,22</b>	<b>0,05</b>	<b>0,20</b>	<b>0,05</b>
					0,05	ns	0,06	ns	-0,05	ns	-0,02	ns

Coefficientes de correlación parcial entre los diferentes productos nitrogenados (A: tanque de expansión; B = entrada de agua a los tanques) y las variables temperatura, oxígeno, pH, potencial redox (ORP) y carga

Se ha llevado a cabo un seguimiento del grado de contaminación bacteriana en el agua de los circuitos siguiendo el protocolo recomendado por el IRTA. La siembra de las placas se hizo por duplicado en una campana de flujo laminar vertical (Steril, Modelo Gemini) para evitar la contaminación externa, y la incubación en una estufa de cultivo (Binder. Mod. KB115) a 25<sup>o</sup> C durante 48 horas.

Fecha	Circuito	Especie	Carga kg/m <sup>3</sup>	UV*	T (°C)	Días	BA** n°/ml	BB** n°/ml	VA*** n°/ml	VB*** n°/ml
23/08/2006	LH2CC3	<i>D. puntazzo</i>	3,6	1	27,3	248	600	200	500	0
23/08/2006	LH2CC4	<i>D. puntazzo</i>	3,1	0	25,1	53	4600	400	2700	2900
28/09/2006	LH2CC3	<i>D. puntazzo</i>	4,3	1	24,3	283	450	50	0	0
24/10/2006	LH2CC2	<i>Varias</i>	0,7	0	23,1	13	8000	7000	7000	4500
24/10/2006	LH2CC4	<i>D. puntazzo</i>	5,7	1	24,6	22	8100	7700	2300	100
14/11/2006	LH1CC2	<i>D. puntazzo</i>	3,4	0	20,3	14	1800	200	600	0
14/11/2006	LH2CC1	<i>Ostrea sp.</i>	0,3	0	20,4	7	0	0	200	0
16/01/2007	LH1CC2	<i>D. puntazzo</i>	0,2	0	20,7	77	845	415	1000	310
16/01/2007	LH2CC1	<i>Sparus aurata</i>	7,1	0	15,4	70	2040	240	2870	710
21/02/2007	LH2CC2	<i>O. vulgaris</i>	4,6	0	18,5	133	45250	17300	29850	13600
21/02/2007	LH2CC3	<i>D. puntazzo, O.</i>	6,7	0	18,4	429	7940	3130	3455	2735
08/05/2007	LH1CC1	<i>S. aurata</i>	6,3	0	24,9	75	21100	6250	10200	1750
08/05/2007	LH2CC1	<i>S. aurata</i>	6,2	1	23,4	182	2400	470	510	340
24/07/2007	LH2CC4	<i>S.aurata, D.labr</i>	9,6	1	25,0	114	6350	875	1750	535
24/07/2007	LH2CC1	<i>S.aurata</i>	5,4	1	26,0	257	970	585	850	400

Recuento de bacterias totales y vibrios en el tanque de expansión (A) y en el agua de entrada a los tanques (B) en los circuitos de recirculación de agua marina del IMIDA. \*UV, Lámpara ultravioleta: 0 = Desconectada; 1 = Conectada, \*\*BA y VA: Bacterias y vibrios en tanque de expansión, \*\*\*BB y VB: Bacterias y vibrios en el agua de entrada a los tanques



Valores medios y desviación estándar del n° de bacterias y de vibrios por ml en el tanque de expansión y en el agua de entrada a los tanque en circuitos con presencia o ausencia de lámpara UV.

Entre los factores que mejor se correlacionaron con el grado de contaminación bacteriana se encuentran la carga de cultivo, con un efecto positivo, y la presencia o ausencia de lámpara UV (Tabla X), cuya instalación redujo en un 59 % el nº de bacterias totales y en un 66 % el de vibrios en el agua procedente del tanque de expansión. Ni la temperatura del agua ni el nº de días de funcionamiento del circuito se correlacionaron con el nº de bacterias o de vibrios en el agua. No obstante, ninguna de las correlaciones observadas fue significativa, seguramente debido a la elevada variabilidad de los resultados obtenidos en los recuentos

CCP Variable	Tanque expansión		Entrada tanques	
	Bacterias	Vibrios	Bacterias	Vibrios
<b>CARGA</b>	0,34	0,17	0,22	0,10
<b>UV</b>	-0,35	-0,18	-0,30	-0,30
<b>T</b>	0,09	0,00	0,00	-0,03
<b>Nº DIAS</b>	-0,01	-0,09	0,00	0,12

Coefficientes de correlación parcial entre el nº de bacterias y vibrios por ml en función de la carga de cultivo, temperatura (T), presencia o ausencia de lámpara UV (0 = No; 1 = Sí) y el nº de días de funcionamiento del circuito

## **OBJETIVO 2.- Uso del ozono**

El uso del ozono como un elemento más de los sistemas de recirculación solamente lo han contemplado las CCAA de Galicia y Cataluña. La primera como un elemento más del sistema instalado (cuya función principalmente es la de ayudar al biofiltro en la eliminación de sustancias nitrogenadas) y la segunda como un elemento a añadir a fin de conseguir por un lado un mayor grado de desinfección del agua y por otro con el fin de ayudar al biofiltro en la eliminación de sustancias nitrogenadas llegando si es posible a sustituirlo totalmente.

## **CATALUÑA**

En el año 2006 se adquirió, instaló y se empezó a utilizar un equipo de las siguientes características:

- 2 Fraccionadores de espumas “Hegoland 250”
- 1 ozonizador Sander 1- 2 g O3/h (según el uso de aire o oxígeno como gas fuente)
- 1 Controlador Dosatronic
- 1 sonda O3 (ppm) lectura en continuo mod. OZ7
- 1 Controlador Bürkhert
- 1 Sonda RedOx Bürkhert
- 1 sistema de alarma de detección de O3 GMA81



Módulo de recirculación de agua, detalle del fraccionador de proteína (skimmer) en el que se inyecta el ozono y detalle del generador de ozono

El IRTA dispone desde hace 6 años de 24 sistemas de recirculación, todos idénticos, y se decidió dedicar dos de ellos al proyecto de *Tecnología de recirculación y desinfección en acuicultura marina*. En uno de ellos se instalaron los componentes necesarios para dotarlo de un sistema de generación, dosificación, mezcla y destrucción de ozono, al otro se le incorporaron los mismos componentes excepto del generador de ozono (como prueba en blanco). A continuación de cada módulo de tratamiento de agua se dispusieron 3 tanques de 1500 litros cada uno para disponer triplicados. En el año 2006 el equipo quedó completamente instalado y comenzó a utilizarse. Dados los problemas encontrados a la hora de obtener una lectura del ozono generado e inyectado en el agua, dado que una vez inyectado reacciona de forma inmediata con las sales del agua de mar y las partículas en suspensión, se contactó con un investigador del acuario de Monterrey donde cuentan con un sistema similar y solucionó en parte el problema indicándonos lo siguiente:

#### 1. Métodos de muestrear los niveles de ozono en el sistema

- a. El espectrofotómetro HACH de Monterrey con reactivos "Accuvac" para ozono no daba lecturas visibles de ozono en agua del mar.
- b. Esto es debido a la degradación casi instantánea del ozono con los componentes (sales) del agua de mar.
- c. Ellos probaron los reactivos de  $\text{Cl}^-$  y después aplicaron un factor indicado por HACH para saber indirectamente la parte de ozono en el agua.
- d. Hay que tener en cuenta de posibles añadidos de hipocloritos al sistema que a veces ocurren por varios motivos.
- e. Parece que hay una relación lineal entre los hipobromitos detectados y la cantidad de ozono inyectada en el agua.
- f. Lo más estable en el agua parece ser el hipobromito.
- g. Es más, comparaciones con los resultados del equipo Hach de cloruro libre (no cloruro total) de las muestras daban casi los mismos resultados que el método de las titulaciones de hipobromito.

#### 2. Métodos de inyectar ozono en el sistema

- a. Roger Phillips duda de la precisión de su técnica para calcular la cantidad de ozono disuelto en su sistema mediante un flujo constante por el controlador "API" y después comparando esto con el caudal de agua pasando por la cámara de contacto (skimmer). Él reconoce que este sistema puede dar resultados variables. El problema de fondo es como calcular la transferencia en masa de ozono en forma de gas al medio acuático.

Debido a las dificultades de medir la concentración de ozono se decidió tomar como medida el potencial redox, que no nos da una medida de la cantidad real de ozono generada o inyectada en el agua sino de la capacidad de oxidación del ozono, resultando en una serie de compuestos oxidados, algunos de los cuales (hipobromitos) pueden ser tóxicos para los peces. De ahí que uno de los principales problemas a solucionar es conocer los niveles adecuados para cada especie y/o tamaño de organismo que se mantenga en cultivo.

Paralelamente llevamos a cabo medidas de ozono en un colorímetro Hach Dr 870, usando el método 8311 (AccuVac) ver manual de Hach), tal y como refleja en su artículo Roger Phillips y hemos llegado a la misma conclusión que el:

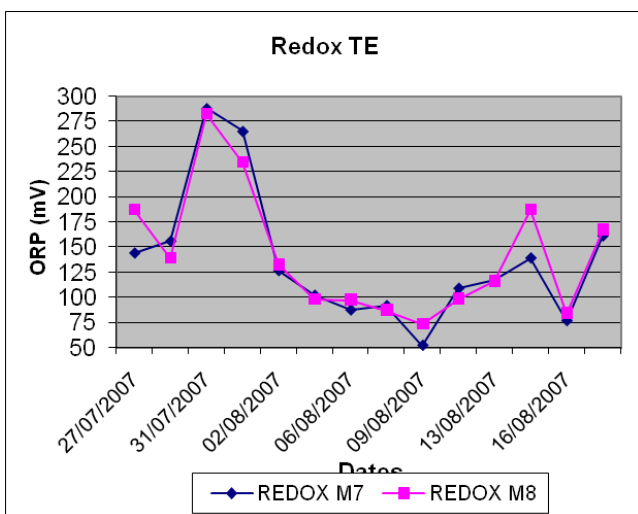
Para probar el método cogimos una muestra de agua de mar y durante 60 seg. Estuvimos inyectando ozono con nuestro generador, inmediatamente procedimos a hacer lectura con el Hach y vimos que los valores o bien eran de 0 ppm o bien eran valores muy bajos 0.05 ppm lo cual no nos daba mucha confianza. Repetimos el ensayo pero esta vez con agua destilada y en esta ocasión tuvimos lecturas de 0,2 ppm, lo cual nos estaba indicando claramente que el ozono en agua destilada había llegado a sobresaturar la muestra porque parte de este ozono gas no pudo reaccionar con ningún elemento del agua así como por la desaparición del color índigo de la muestra. A diferencia del caso del agua de mar que entre materia orgánica y sales disueltas el ozono reaccionaba de inmediato y no produjo ningún cambio del color índigo del reactivo "Accuvac".

La conclusión es que si lo que queremos es buscar un método que sea fácilmente aplicable por las empresas de acuicultura, lo más sencillo podría ser:

1. Trabajar con sondas RedOx, y ver los rangos en los que puede ser beneficioso o perjudicial el uso de este tratamiento en agua de mar en sistemas de recirculación.
2. Trabajar con espectrofotómetros portátiles (tipo Hach) usando ensayos para cloruro libre comparándolos con las tablas de hipobromitos para calcular los niveles de ozono en el sistema.
3. O aun más útil, usando los dos sistemas.

En el año 2007, una vez decidido trabajar con potencial redox, se hicieron una serie de experimentos de tolerancia al ozono por parte de doradas de 150 g, corvinas de 17 g y rotíferos. Usando en todos los casos cantidades crecientes de ozono en días consecutivos y comparando los resultados (en cuanto a potencial redox del agua, variables físico-químicas –nitritos, amonio, etc- tolerancia de los peces y reducción de la carga bacteriana del agua) con un modulo de recirculación mantenido con las mismas características de agua y de densidad de peces pero sin añadir ozono. Los resultados en cuanto a las características del agua y de los peces no fueron significativamente diferentes entre ambos sistemas, aunque sí se notó un claro efecto del ozono en términos de limpieza/pureza del agua, como se aprecia en la fotografía siguiente. Dado que no se observaron diferencias significativas entre los valores de potencial redox de los tanques con y sin ozono, empezamos a sospechar que la sonda que utilizábamos no nos daba los valores adecuados. Tras una consulta a otros investigadores (Stephen Battaglione, Universidad de Tasmania, Australia) que trabajan con

sistemas similares acerca de los problemas que estábamos encontrando, nos sugirieron utilizar sondas de potencial redox de ánodo de oro que dan una medida inmediata del potencial redox, a diferencia de las sondas habituales de ánodo de platino que además de tener un rango operativo limitado, tienen un tiempo de respuesta muy lento. En el caso de los peces (doradas y corvinas mantenidas entre 6 y 8 Kg/m<sup>3</sup>) la simple alimentación y emisión de heces provocaba un alto contenido en partículas en suspensión que a su vez provocaban una extinción muy rápida del ozono presente en el tanque, por lo que no podíamos detectarlo con la sonda redox normal.



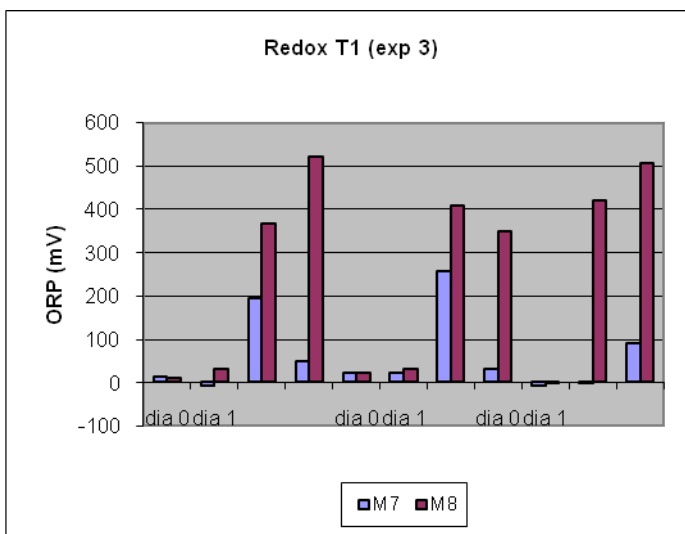
Data	REDOX M7	REDOX M8
27/07/2007	144,1	187,3
30/07/2007	156	139
31/07/2007	288,1	282,4
01/08/2007	265,3	234,2
02/08/2007	126,6	132,5
03/08/2007	102	98
06/08/2007	87,4	97,3
07/08/2007	91,7	87,3
09/08/2007	52,1	73,5
10/08/2007	109	98,5
13/08/2007	117	116
14/08/2007	139,2	187,1
16/08/2007	76,7	84
17/08/2007	161,2	167

Potencial redox medido en los tanques de doradas con (M8) y sin (M7) suministro de ozono



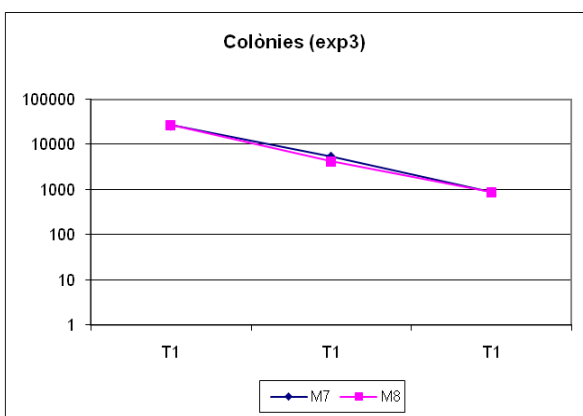
Aspecto (turbidez) que presentaban los tanques de doradas (6-8 Kg/m<sup>3</sup>) con (izquierda) y sin (derecha) suministro de ozono

En el caso del experimento llevado a cabo con rotífero, se dispusieron 3 pequeños tanques de malla flotando en uno de los tanques a los que se inyectaba ozono, con una concentración de 500 rotíferos/mL. Se suministró ozono en días alternos y se evaluó el potencial redox en los tanques



	fecha	M7	M8
dia 0	19/10/2007	12,7	11,1
dia 1	23/10/2007	-7,8	30,6
	24/10/2007	194,5	366,5
	25/10/2007	50,3	523,4
dia 0	29/10/2007	20,8	23
dia 1	30/10/2007	22,8	29,9
	31/10/2007	257,2	407,9
dia 0	06/11/2007	32	348,6
dia 1	07/11/2007	-8,1	-2,6
	08/11/2007	1,7	421
	09/11/2007	92	506,8

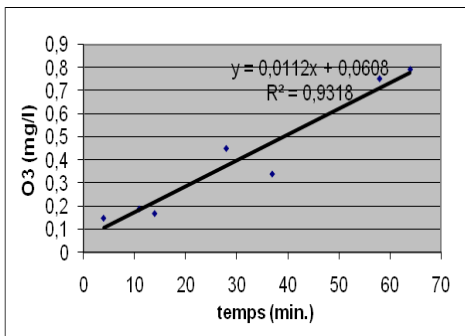
En este caso las medidas de potencial redox en los tanques con (M8) ozono fue mucho mayor y en torno a los 600 Mvol que en los tanques sin ozono (M7) dado que los rotíferos (mantenidos en tanques de malla de solo 8 litros de capacidad) no producían tantas partículas en suspensión como ocurría con los peces y el ozono permanecía más tiempo en los tanques. En este caso, aunque se observó una reducción en el número de colonias bacterianas, la diferencia entre los dos tipos de tanques con (M8) y sin (M7) ozono no fué significativa, tal como muestra la figura siguiente:



	M7	M8
dia 0	330	330
dia 1	5850	4735
	1390	1390
dia 0	1985	1985
dia 1	5450	7437,5
	13400	13400
dia 0	26850	26850
dia 1	5450	4312,5
	900	900

Por otro lado se hizo un experimento distinto con rotífero, a fin de evaluar la posibilidad de desinfectar el rotífero, una vez cosechado de los tanques de producción, mediante inmersión en un agua cargada con unos niveles altos de ozono. Así, se procedió a inyectar ozono durante 1 hora a un tanque de 10 litros de capacidad, hasta conseguir una concentración de ozono (medida mediante el colorímetro Hach) de 0.8 mg/L.



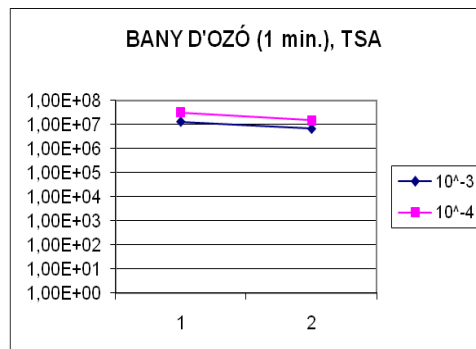
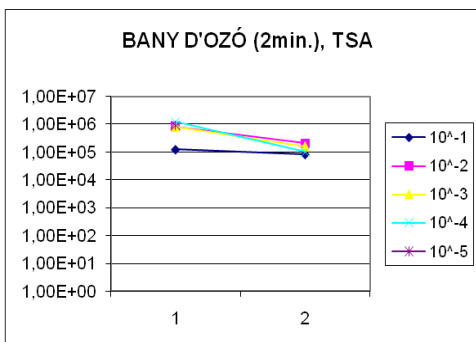


	tiempo	t acum.	O <sub>3</sub> (mg/l)
No O <sub>3</sub>	4	4	0,15
O <sub>3</sub> màx.	7	11	0,19
O <sub>3</sub> màx.	3	14	0,17
O <sub>3</sub> màx.	14	28	0,45
O <sub>3</sub> màx.	9	37	0,34
O <sub>3</sub> màx.	21	58	0,75
O <sub>3</sub> màx.	6	64	0,79

Una vez conseguida esta concentración se introdujo en el agua una malla con rotífero (alrededor de 1000 ind/mL) que se mantuvo sumergida durante 0.5, 1 y 2 min, evaluándose posteriormente el crecimiento bacteriano. Con este experimento se observó que, aunque una inmersión de 2min producía una elevada reducción de la carga bacteriana presente en el rotífero, también provocaba una cierta mortalidad de los individuos (evaluada mediante el movimiento del rotífero y de los cilios de la corona). Los resultados se muestran a continuación:

Tiempo	2 min	1 min	0,5 min
Antes	1297	1147	1178
Después	767	1172	1108

Concentración de rotífero antes y después de la inmersión durante 0,5 a 2 min en agua cargada con ozono



Número de colonias totales leídas en medio TSA tras 1 y 2 min de inmersión en agua cargada con ozono

En el año 2008, dados los problemas encontrados con el generador instalado en el año 2006, de baja capacidad de producción, errores en la lectura de ozono generado y problemas con la sonda de potencial redox, se procedió a la adquisición e instalación de un nuevo generador de ozono, más grande, más potente y con un mejor control de los niveles de ozono generados en el tiempo. Las condiciones de dicho generador se muestran en el informe anual que figura en el anexo. Con este nuevo generador se han diseñado nuevos experimentos a realizar durante al año 2009 principalmente encaminados a, por un lado lograr efectos en la desinfección del rotífero en cultivo, lograr la eliminación del alga

tóxica *Karlodinium* sp frecuente en el delta del Ebro y que genera una toxina ictiotóxica y por otro conseguir reducir y/o eliminar el uso del filtro biológico



Además se ha instalado un generador de ozono para la sala de challenge (infección forzada) a fin de evitar una posible salida de los agentes infecciosos ensayados al medio natural. El generador de ozono se dimensionó de acuerdo al volumen de cultivo instalado y al máximo de agua vertida. Los planos de instalación y dimensionamiento del generador de ozono se muestran en el anexo correspondiente al año 2008.

## GALICIA

Se instaló un generador de ozono antes de los skimmers, igual que en el caso de Cataluña, con un registrador en continuo del potencial redox aplicado al sistema. No se hicieron ensayos de desinfección.

### ***OBJETIVO 3. Estudio del funcionamiento de los distintos componentes de los sistemas de recirculación, optimización y mejora (C.A. Murcia)***

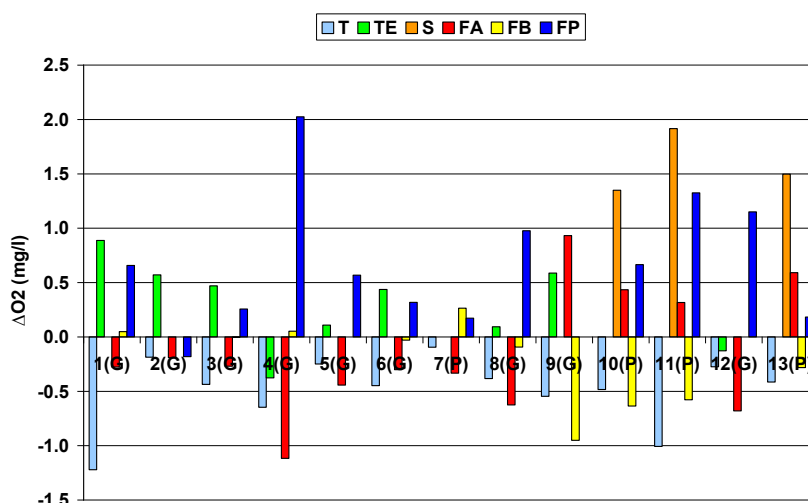
La C.A de Murcia llevó a cabo un estudio detallado de los distintos componentes de los sistemas de recirculación, la efectividad de dichos componentes a la hora de eliminar los compuestos nitrogenados y el consumo de oxígeno de los mismos para optimizar su efectividad. Además se realizó un estudio detallado de la efectividad como elementos filtrantes de toda una serie de productos comerciales.

#### 3.1. Balance de la concentración de oxígeno en los elementos del sistema (informe 2007)

A nivel de los tanques de cultivo, los filtros de arena y los filtros biológicos se dan balances negativos de oxígeno, con valores medios respectivos considerando todos los circuitos de -0,49 mgO<sub>2</sub>/l, -0,21 mgO<sub>2</sub>/l y -0,14 mgO<sub>2</sub>/l. Tal y como se puede observar en la figura, los balances negativos más acusados se dan a nivel de los tanques de cultivo (-1,2 mgO<sub>2</sub>/l). También en los filtros de arena se alcanzaron balances negativos de hasta -1,1 mgO<sub>2</sub>/l, si bien, en algunos seguimientos se registraron valores positivos, lo que podría atribuirse a la disolución de burbujas de aire procedentes del tanque de expansión, que a su vez recoge el agua procedente del skimmer y las bombas de calor. Los balances positivos de oxígeno se dan por orden de importancia en los skimmer (1,59 mgO<sub>2</sub>/l), los filtros de percolación (0,58 mg/l) y en los tanques de expansión (0,29 mgO<sub>2</sub>/l). En referencia al consumo de oxígeno, se observaron valores máximos



de hasta 13,69 gO<sub>2</sub>/h en los tanques del circuito LH2CC1, de 9,75 gO<sub>2</sub>/h en los filtros de arena del circuito LH2CC3 y de 5,28 gO<sub>2</sub>/h en el filtro biológico sumergido del circuito LH1CC1. La entrada de oxígeno en el tanque de expansión fue bastante variable dependiendo entre otros factores de la mezcla de agua-aire provocada por la entrada de agua de la bomba de calor o el skimmer. El skimmer aportó entre 1,48 y 2,11 gO<sub>2</sub>/h y los filtros de percolación hasta 17,67 gO<sub>2</sub>/h (ver tabla).



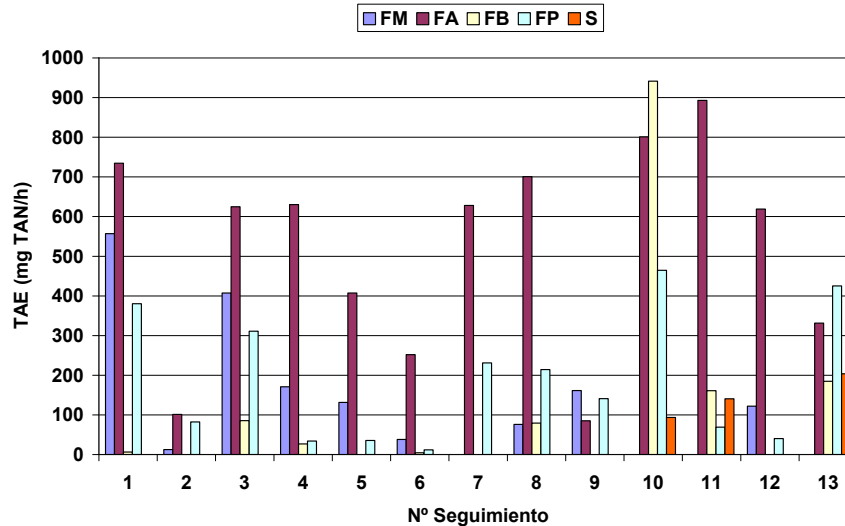
Balance de la concentración de oxígeno en los distintos elementos de los circuitos (T= Tanques; TE = Tanque de expansión; S = Skimmer; FA = Filtro de arena; FB = Filtro biológico; FP = Filtro de percolación) y en cada uno de los seguimientos realizados. Entre paréntesis se especifica el tipo de circuito. (P = El agua llega a los tanques de cultivo por la presión de la bomba impulsora; G = El agua llega por gravedad desde el tanque de percolación).

Fecha	TIPO	T	TE	S	FA	FB	FP
09/03/2006	G	-13.69	9.94	ND	-3.11	0.54	7.37
24/03/2006	G	-0.38	1.16	ND	-0.39	NA	-0.37
27/06/2006	G	-6.32	6.79	ND	-3.90	-0.06	3.70
11/07/2006	G	-5.65	-3.29	ND	-9.75	0.45	17.67
08/08/2006	G	-1.48	0.65	ND	-2.64	NA	3.39
02/11/2006	G	-2.73	2.91	ND	-2.01	-0.20	1.92
04/12/2006	P	-0.99	NA	ND	-4.51	3.17	2.32
12/12/2006	G	-4.66	0.88	ND	-7.60	-1.14	11.85
15/02/2007	G	-1.48	1.96	ND	3.11	NA	-3.18
27/03/2007	P	-2.68	NA	1.48	2.44	-5.28	5.51
19/06/2007	P	-7.27	NA	2.11	1.89	-4.18	9.56
26/07/2007	G	-1.32	-0.74	ND	-3.94	NA	6.66
08/11/2007	P	-3.36	NA	1.65	4.77	-2.29	0.88

Consumo de oxígeno (gO<sub>2</sub>/h) en los diferentes elementos de los circuitos. Valores positivos indican una entrada de oxígeno al circuito y negativos un consumo. T= Tanques; TE = Tanque de expansión; S = Skimmer; FA = Filtro de arena; FB = Filtro biológico; FP = Filtro de percolación

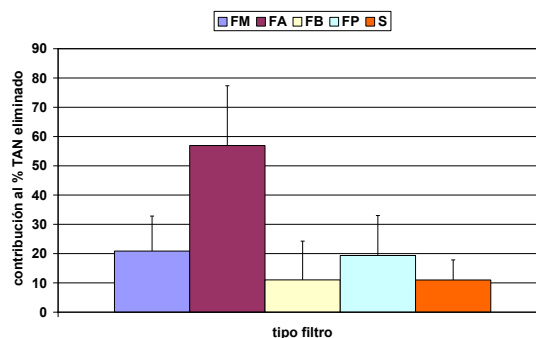
**3.2.** Tasa de oxidación de amoníaco en los elementos de los circuitos. En la mayoría de los seguimientos realizados los filtros de arena mostraron la mayor tasa absoluta de eliminación de amoníaco (TAE) con valores de hasta 900 mgTAN/h. Sólo en uno de los seguimientos realizados el filtro biológico sumergido presentó valores similares, no obstante, de forma general han sido los filtros que menos contribuyeron a la eliminación de amoníaco. A los filtros de arena le

siguieron por orden de importancia los filtros mecánicos de esponja y de percolación, con tasas de eliminación máximas de hasta 575 y 480 mgTAN/h, respectivamente. Los skimmer mostraron tasas comprendidas entre 90 y 200 mgTAN/h (ver Figura 6.)



Tasa absoluta de eliminación de amoníaco (mgTAN/h) por parte de los elementos de filtración en los distintos seguimientos realizados

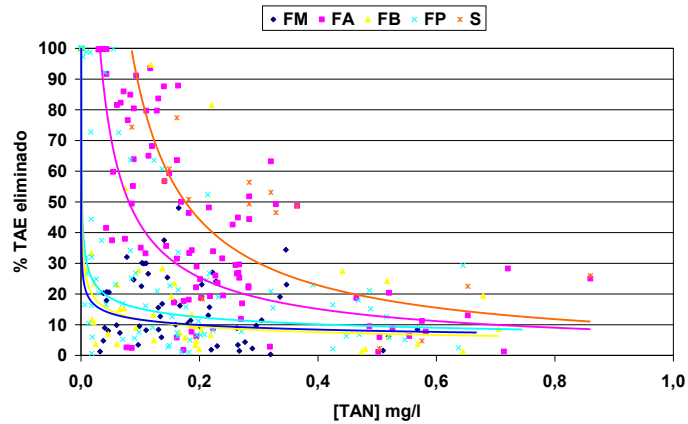
Cuando los valores se expresan en porcentaje respecto del total de amoníaco eliminado se comprobó que los filtros de arena fueron los responsables de entre el 50 y 60 % del TAN eliminado, los filtros mecánicos de esponja y los de percolación mostraron valores similares en torno al 20 % cada uno, y los biológicos sumergidos y los skimmer de aproximadamente el 10 % cada uno



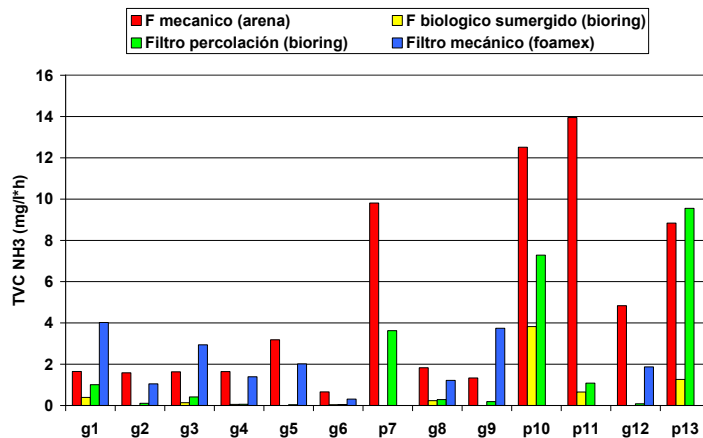
Contribución al amoníaco eliminado por parte de los diferentes elementos de filtración. Se representan los valores medios del porcentaje de amoníaco eliminado respecto del total, considerando todos los seguimientos

**3.3.** Efecto de la concentración de amoníaco a la entrada de los filtros. La concentración de amoníaco a la entrada de los filtros podría afectar al rendimiento de éstos, por lo que se representa el porcentaje de amoníaco eliminado (PTE) respecto de la concentración de amoníaco a la entrada de los filtros. Tal y como se observa los filtros de arena y los skimmer son más eficaces a elevadas concentraciones de amoníaco, de forma que para una concentración de TAN de 0,3 mg/l los primeros transforman aproximadamente el 20 % del amoníaco que entra, y los segundos hasta el 30 %. Los filtros restantes (mecánicos de esponja,

biológicos sumergidos y de percolación) eliminan en torno al 10 % a una concentración de 0,3 mgTAN/l.



**3.4.** Eficacia de los materiales empleados para la filtración. En la siguiente figura se muestra la tasa volumétrica de conversión de amoníaco (TVC en mgTAN/l\*h) de cada uno de los filtros con su material filtrante correspondiente y en cada uno de los seguimientos realizados. Este valor expresa los mg de TAN que son transformados cada hora por cada litro de material filtrante. En los circuitos tipo G, los materiales de filtración más eficaces son la arena silíceica y la esponja tipo foamex, con TVC máximas de entre 4 y 5 mgTAN/l\*h, seguidos por el biorring de los filtros de percolación (hasta 1 mgTAN/l\*h) y el de los filtros biológicos sumergidos (hasta 0,3 mgTAN/l\*h). En el caso de los filtros tipo P no hay filtro mecánico de esponja y el amoníaco es transformado por los filtros de arena, biológico sumergido y de percolación. Al igual que en los circuitos tipo G el material más eficaz sigue siendo la arena silíceica, con valores que alcanzan hasta 14 mgTAN/l\*h.



**3.5.** Variación del pH en los distintos elementos de los circuitos cerrados. En general no se observan variaciones importantes de pH, si bien el paso del agua a través de los filtros de arena y biológicos produce una disminución media del pH, considerando todos los seguimientos, de 0,02 y 0,01 unidades respectivamente, pudiéndose atribuir al proceso de oxidación de amoníaco por parte de la flora bacteriana. Además, en algunos seguimientos se observaron descensos puntuales superiores a media décima de pH en los tanques de cultivo, en este

caso atribuible a la propia actividad respiratoria de los animales. Por el contrario, en los tanques de expansión y filtros de percolación se observaron considerando todos los seguimientos aumentos medios del pH de 0,03 y 0,01, respectivamente.

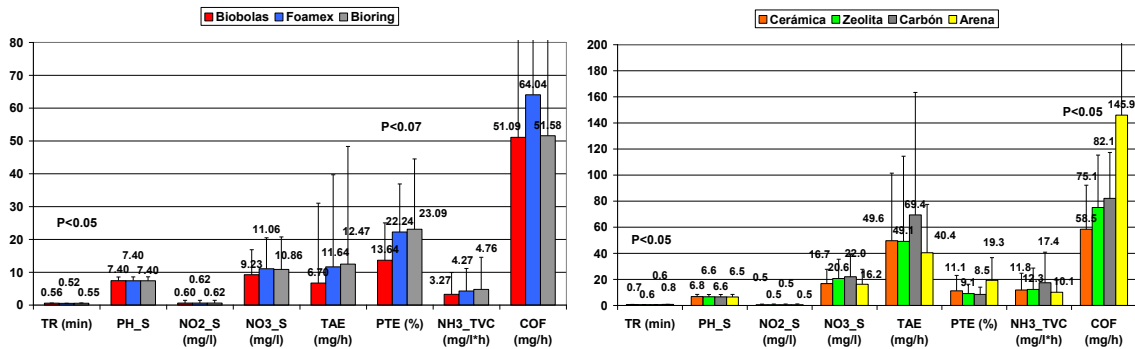
**3.6.** Tasa de oxidación de amoníaco de distintos sustratos comerciales. Se llevó a cabo un barrido de distintos sustratos comerciales: bioring, biobolas, espuma foamex, cerámicas, zeolitas, carbón activo y arena silíceas. Se empleó el mismo dispositivo experimental que en el apartado anterior (actividad 6B; ver Fig. 12). Se comprobó la eficacia de los materiales de filtración por triplicado (tres filtros para cada material) midiendo tanto en el tanque principal (agua de entrada a los filtros) como a la salida de cada filtro la temperatura, el pH, salinidad, oxígeno y potencial redox de forma diaria, y semanalmente el amoníaco, nitritos y nitratos.



Detalles del tanque de 700 l y los filtros empleados para la determinación de la eficacia de distintos sustratos comerciales

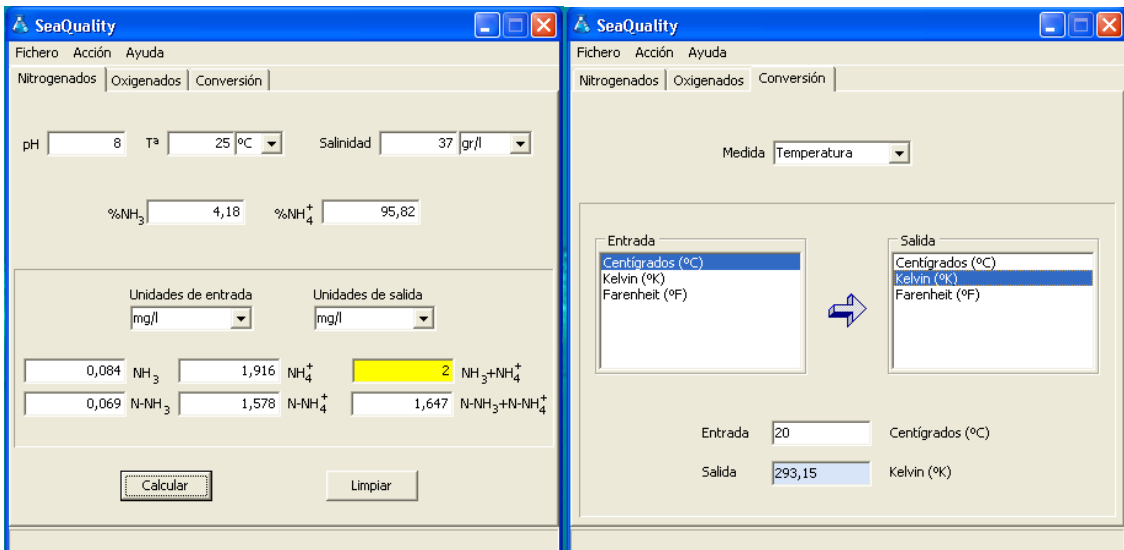
En un primer ensayo se comparó la eficacia de las biobolas, el bioring y la espuma foamex. No existieron diferencias significativas en el TR, pH, nitritos o nitratos a la salida de los filtros. No obstante, el bioring y la espuma foamex se mostraron más eficaces en la eliminación de amoníaco que las biobolas para los tres índices calculados (TAE, PTE y TVC). No obstante, el consumo de oxígeno para la espuma tipo foamex fue superior respecto de los otros dos materiales.

En un segundo ensayo se comparó la eficacia de las zeolitas, la cerámica, el carbón activo y la arena silíceas. El carbón activo mostró la mayor TAE (69,4 mgTAN/h) en comparación con los restantes materiales, que mostraron valores similares en torno a 40-50 mgTAN/h. No obstante, la arena silíceas es capaz de eliminar hasta el 19 % del amoníaco de entrada al filtro, con valores en torno al 10 % para los otros materiales. El hecho de que el tiempo de retención a través de los filtros de arena fuera superior (menor caudal) influyó de forma directa en una menor TAE y TVC de este material. El consumo de oxígeno por parte de los filtros de arena fue significativamente superior al resto de los filtros.



#### OBJETIVO 4.- Elaboración de una aplicación informática para el cálculo y cambios de unidad (SeaQuality).

Se ha elaborado la aplicación informática “SeaQuality” en entorno Windows para el cálculo y transformación de unidades. En las figuras a continuación se muestra un ejemplo del cálculo del porcentaje de amoníaco ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ) y sin disociar ( $\text{NH}_3$ ) en función del pH, temperatura y salinidad, así como los valores de cada una de las especies después de introducir una concentración de amoníaco hipotética y se presenta un convertor de unidades.



#### OBJETIVO 5 Ensayo de la eficiencia de la recirculación con peces

Ensayos llevados a cabo en Galicia, Murcia y Cataluña Tanto en Galicia (ensayos de engorde de rodaballo y lenguado con cargas de 20-25  $\text{Kg/m}^2$ ), como en Cataluña (ensayos con dorada y corvina a 6-8  $\text{Kg/m}^3$  aunque los sistemas de recirculación del IRTA se usan de forma continuada desde el año 2001 con todo tipo de organismos marinos) y Murcia (ensayos con sargo -3 a 7  $\text{Kg/m}^3$ -, pulpo -5  $\text{Kg/m}^3$ -, dorada -5 a 10  $\text{Kg/m}^3$ - y ostra -1,7  $\text{Kg/m}^3$ ) se han llevado a cabo ensayos específicos para evaluar la efectividad de los sistemas de recirculación tanto en cuanto a estudios de crecimiento y supervivencia de los individuos en cultivo como desde el punto de vista de eliminación de compuestos nitrogenados y reducción de la carga bacteriana. En todos los casos los

resultados han sido muy positivos y se ha demostrado la eficacia de estos sistemas que permiten mejores resultados de crecimiento que los convencionales al poder mantener constantes las condiciones físico-químicas y sanitarias del agua de cultivo.

## 2.5. CONCLUSIONES

Los resultados del plan demuestran que el uso de sistemas de recirculación de agua es factible en acuicultura marina, por su efectividad a la hora de eliminar los compuestos nitrogenados del agua (que en niveles elevados resultan tóxicos a los peces, véase tabla objetivo 3) y por su eficacia a la hora de reducir la flora bacteriana (si incorporan filtros UV) no deseada. La incorporación de ozono en los sistemas permite a su vez reducir el tamaño de los filtros biológicos (ya que el ozono contribuye a eliminar los compuestos nitrogenados) hasta llegar a eliminarlos además de contribuir a una mayor reducción de la flora bacteriana del agua y a obtener una calidad del agua, en cuanto a transparencia dado su efecto sobre los sólidos en suspensión y la turbidez del agua, muy buena.

El diseño de los sistemas de recirculación puede ser muy variado, desde sistemas tradicionales que usan red de pesca como elemento filtrante (AND) a sistemas muy sofisticados en los que todos los elementos del sistema de recirculación (filtros de arena, biológico, de cartucho, UV, bombas y sistemas de calentamiento/enfriamiento del agua) forman un conjunto modular y transportable (CAT) pasando por distintos sistemas de filtrado (con o sin filtro de arena, con o sin UV, etc) y distribución del agua (bombeo, gravedad, MUR). En cualquiera de las aplicaciones los sistemas de recirculación funcionan manteniendo una serie de variables (temperatura, salinidad y pH) del agua (véase resultados del objetivo 4) y utilizando una serie de sustratos como componentes de los filtros (véase resultados de los objetivos 5 y 6) de una manera más o menos eficiente según el diseño y el material empleado.

Los sistemas de recirculación no sólo se están empleando ya en algunas empresas (Stolt Sea Farm cultivo de lenguado, Aquacría Arosa cultivo de rodaballo, Valenciana de Acuicultura cultivo de anguila) sino que se considera la tecnología con más futuro dentro del sector ya que evita problemas derivados del impacto ambiental de los vertidos y permite mejoras en el cultivo de especies sensibles a los cambios de temperatura y calidad del agua como el lenguado senegalés

## 2.6. VALORACIÓN

Muy positiva, todas las CCAA han participado y llevado a cabo las tareas y actividades comprometidas en el proyecto inicial.

## 2.7. DIFUSIÓN

Cerezo, J., García-García, B. 2007. Eficacia en la eliminación de amoníaco por los distintos tipos de filtros de los sistemas de recirculación de agua marina en un centro de I+D. XI congreso Nacional de Acuicultura Vigo, España. 24-28 de septiembre 2007

Carbó, R. 2009. New generation of an intelligent, multifunctional recirculation system for aquaculture research in IRTA, Sant Carles de la Rápita. World Aquaculture, Veracruz (México) 25-29 Mayo 2009

Carmen López, A. González, J. M. Quintáns y J.L. Rodríguez, 2007. Datos Preliminares del control de parámetros físico- químicos y bacteriológicos en circuito cerrado de peces planos. X Foro dos Recursos Mariños e da Acuicultura das Rías Galegas

J.L Rodríguez, B. F. Souto and J.M. Quintans, 2007. Comparison of the growth of turbot (*Psetta maxima*) in open and closed circuit systems. Aquaculture Europe07, Istanbul

J.L Rodríguez, B. F. Souto R. Figueiro, J.M. Quintans and C. Canosa 2008. Preongrowing of turbot ( *Scophthalmus maximus* ) in recirculation systems and in open circuit . Aquaculture Europe 08, Cracovia (Poland).



## ANDALUCIA (INFORMES 2006, 2007, 2008)

### Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2.006

**Proyecto coordinado:** Tecnologías de recirculación y desinfección en acuicultura marina.

**Subproyecto:** Caracterización y optimización de los sistemas de recirculación en acuicultura.

**Comunidad Autónoma:** Andalucía.

**Organismo:** IFAPA Centro El Toruño.

**Investigador principal:** Ezequiel Revilla Torres

#### 1.- Situación Financiera.

Los Gastos para el año 2.006 han sido los siguientes:

- Analista de laboratorio
- Fungible: material eléctrico, PVC y material de laboratorio
- Dietas
- Locomoción

#### 2.- Descripción de las actividades realizadas.

Se ha llevado a cabo el seguimiento a lo largo del año del funcionamiento de seis filtros biológicos que corresponden a los diferentes proyectos de cultivos de peces: cultivo de lenguados, cultivo de corvinas, cultivo de meros, y cultivo de hurtas y pargos.

Estos sistemas no comerciales, (salvo uno de ellos, el correspondiente a lenguados) consisten en tanques con relleno de redes monofilamento como soporte de la flora bacteriana y aporte de aireación por electrosoplantes.

Se ha determinado con periodicidad semanal, los siguientes parámetros: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH en las salidas de los sistemas (flujo de agua tras pasar por el filtro biológico) y las concentraciones de nitritos y amonio, tanto a la salida como en la entrada de los sistemas.

Asimismo, en los dos sistemas que disponen de esterilización por ultravioleta, se han realizado, tanto a la entrada como a la salida de los mismos, el recuento total de bacterias (medio general) y recuento de vibrios, por siembra en placa.

#### RESULTADOS:

En el tanque de 100 m<sup>3</sup> circular, (cultivo de mero y voraz), los rendimientos en el paso de amonio a nitrito y de eliminación de éste, han sido superiores al 90% de eficiencia, siendo en el caso de la nitrificación, (amonio a nitrito), generalmente del 100 %. Las concentraciones de entrada han variado a lo largo del periodo estudiado, especialmente en el caso del amonio, si bien la eficiencia total del sistema, salvo excepciones, es muy alta ya que con concentraciones de entre 200 – 500 ppb de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la entrada del sistema, se alcanzan concentraciones en la salida, (en la mayoría de los casos), inferiores a las 10 ppb de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. En cuanto a los resultados microbiológicos, el rendimiento del sistema (radiación ultravioleta) es del 100 %, es decir, ausencia de colonias en la salida. Las concentraciones a

la entrada han oscilado entre  $10^3$  y  $10^5$  UFC/mL en el caso de bacterias totales y  $10^3$  y  $10^4$  en el caso de vibrios.

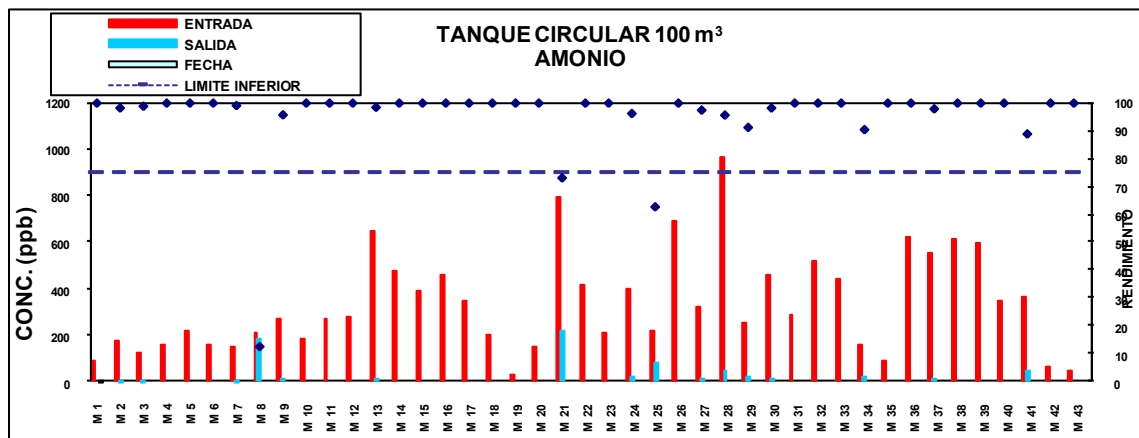
En el sistema llamado INVERNADERO, que suministra el agua a los diferentes tanques que se encuentran en esta zona (25 tanques y  $500 \text{ m}^3$ ) y con capacidad de  $100 \text{ m}^3$ , (el sistema de mayor tamaño y volumen del que disponemos en el Centro), los rendimientos tanto en el paso de amonio a nitrito como de éste a nitrato, han rondado el 100 % de eficiencia. Las concentraciones de entrada de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_2^-$  han sufrido grandes variaciones a lo largo del año, oscilando entre 150-500 ppb y 80-200 ppb respectivamente. Las concentraciones de nitrito, salvo excepciones puntuales, han sido a la salida del sistema próximas a 0 ppb

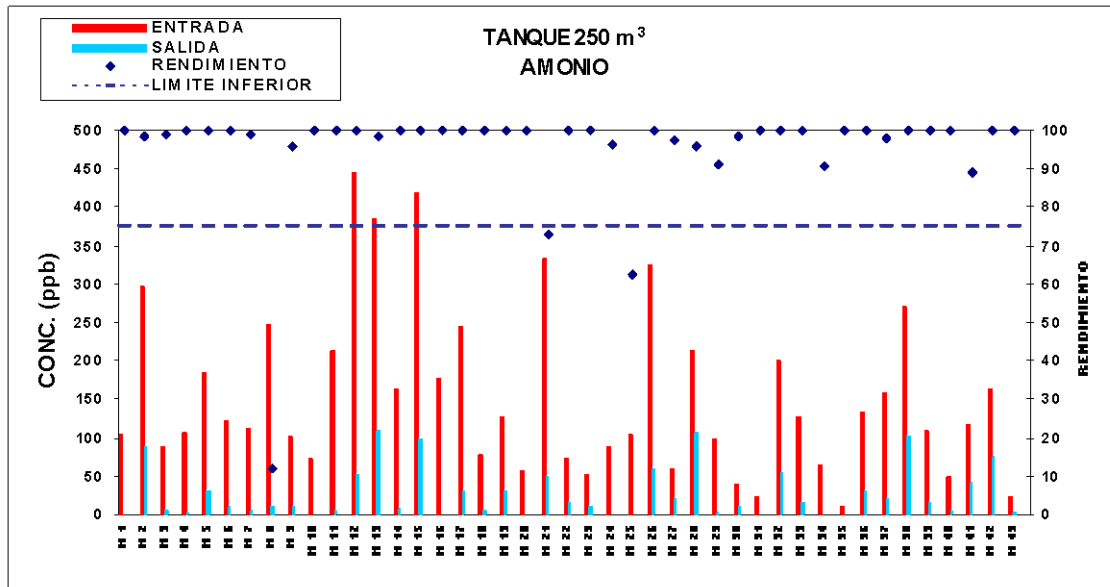
En el tanque de  $250 \text{ m}^3$ , (hurtas y pargos) la eficiencia a lo largo del año en la eliminación del amonio (100 – 300 ppb) han sido en general superiores al 80 %, no así en la eliminación de nitritos, con rendimientos claramente inferiores. No obstante, las concentraciones de éstos rara vez superan las 120 ppb en la entrada y entre 20 y 80 ppb (salvo excepciones) a la salida del sistema.

En el tanque de  $250 \text{ m}^3$  circular (corvinas), los rendimientos del sistema en la eliminación de amonio, han sido en general superiores al 60 %, con fluctuaciones a lo largo del año. Asimismo ha ocurrido con la eliminación de nitritos, si bien con rendimientos inferiores.

Finalmente, el sistema del tanque de reproductores de lenguados (comercial) está en fase de optimización en cuanto a mejorar su rendimiento, modificándose los caudales de entrada. En el sistema de esterilización (ultravioleta), el rendimiento en cuanto a vibrios, es del 100 % y actualmente también con relación a las bacterias totales, ( $10^3$  UFC/mL en la entrada)

El sistema del tanque de  $500 \text{ m}^3$ , no estuvo operativo durante todo el año, con cargas biológicas muy bajas y niveles de amonio y nitritos, también muy bajos.





### 3.- Informes y/o publicaciones generados.

### 4.- Situación del proyecto.

Actualmente tenemos en funcionamiento seis circuitos de recirculación de agua (Sistemas: 1, 2, 3, 4, 5 y 6), en los cuales se están tomando datos físico-químicos del agua de los circuitos y se ha comprobado que la eficiencia de los equipos que componen estos circuitos es satisfactoria, no alcanzándose nunca en los parámetros a controlar niveles preocupantes para el cultivo de los peces.

## Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2.007

**Proyecto coordinado:** Tecnologías de recirculación y desinfección en acuicultura marina.

**Subproyecto:** Caracterización y optimización de los sistemas de recirculación en acuicultura.

**Comunidad autónoma:** Andalucía.

**Organismo:** IFAPA Centro El Toruño.

**Investigador principal:** Ezequiel Revilla Torres

### 1.- Situación Financiera.

**Los Gastos para el año 2.007 han sido los siguientes:**

- Fungible: material eléctrico, PVC y material de laboratorio
- Dietas
- Locomoción
- Analista de laboratorio

## 2.- Descripción de las actividades realizadas.

Se ha llevado a cabo el seguimiento a lo largo del año del funcionamiento de cinco filtros biológicos que corresponden a los diferentes proyectos de cultivos de peces: mantenimiento de peces, cultivo de corvinas, cultivo de meros, y cultivo de hurtas y pargos.

Estos sistemas no comerciales, consisten en tanques con relleno de redes monofilamento como soporte de la flora bacteriana y aporte de aireación por electrosoplantes.

Se ha determinado con periodicidad semanal/quincenal los siguientes parámetros: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH en las salidas de los sistemas (flujo de agua tras pasar por el filtro biológico) y las concentraciones de nitritos y amonio, tanto a la salida como en la entrada de los sistemas.

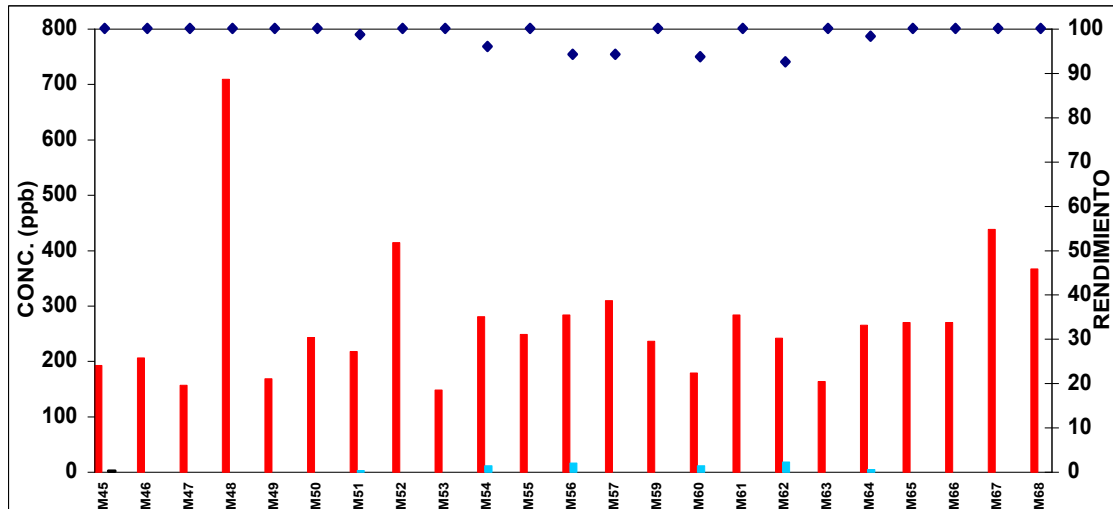
Asimismo, en el sistema que dispone de esterilización por ultravioleta, se han realizado, tanto a la entrada como a la salida del mismo, el recuento total de bacterias (medio general) y recuento de vibrios, por siembra en placa.

### Filtro biológico Nº 1 INVERNADERO

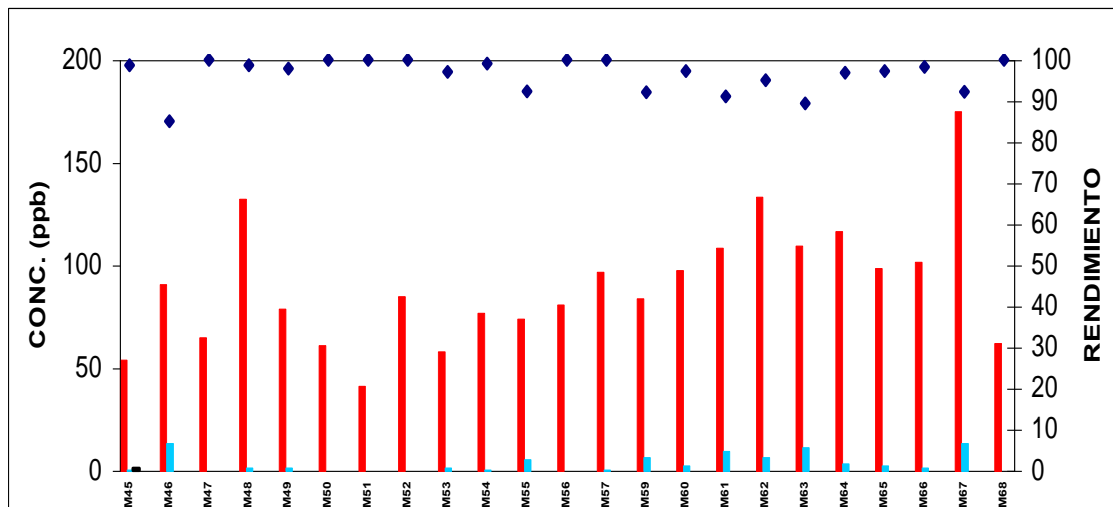
Este sistema es el de mayor capacidad de los existentes en el Centro y suministra un caudal de 75 m<sup>3</sup>/h a los 25 tanques circulares con capacidad total de 535 m<sup>3</sup> que se encuentran en la zona denominada Invernadero, y en los que se mantienen corvinas, besugos, doradas, lubinas, lenguados, hurtas y meros.

El rendimiento del sistema, con relación a la eliminación de amonio, es en casi todos los casos analizados a lo largo del año, del 100%, partiendo de concentraciones entre 200 y 600 ppb a la entrada del filtro biológico. Las concentraciones a la salida son prácticamente nulas.

La eficiencia en la oxidación de nitritos, es asimismo, muy próxima al 100 % en los muestreos realizados y casi siempre superior al 90%. Las concentraciones de partida están comprendidas, en general, entre 50 y 150 ppb y las concentraciones de salida son inferiores a las 10 ppb.



Concentraciones de AMONIO a la entrada (rojo) y salida (azul) del sistema. Los puntos corresponden al rendimiento



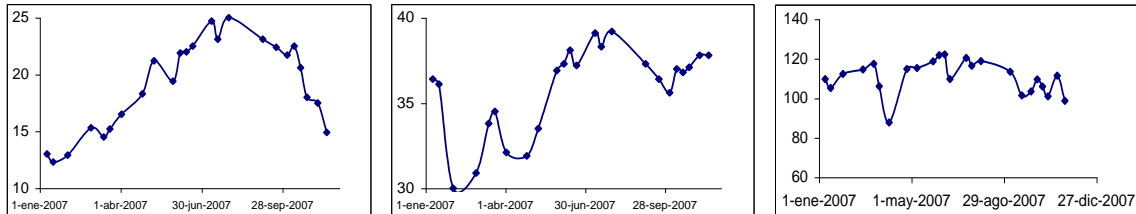
Concentraciones de NITRITO a la entrada (rojo) y salida (azul) del sistema. Los puntos corresponden al rendimiento

La temperatura del agua a lo largo del año ha seguido su evolución natural, encontrándose comprendida entre los 12 y 25 ° C en los meses invernales y estivales, respectivamente.

La salinidad ha seguido asimismo la evolución anual natural, habiéndose detectado valores de 30 y 32 ‰ en los dos períodos de fuertes lluvias (febrero y abril), debido a que el sistema toma el agua de una balsa de decantación al aire libre. Los máximos en verano correspondieron a valores entre 38 – 39 ‰.

El pH se ha mantenido prácticamente constante, variando entre 8,0 y 8,1 unidades con un valor medio de 8,0 ± 0.06.

El índice de saturación del Oxígeno disuelto en el agua, en la salida del sistema, ha estado con valores superiores al 100 %, salvo una excepción (90%), con máximos del 120 % y con un valor promedio de  $110 \pm 8,6 \%$



Variación estacional de la temperatura, salinidad e índice de saturación de Oxígeno en agua a lo largo del periodo analizado.

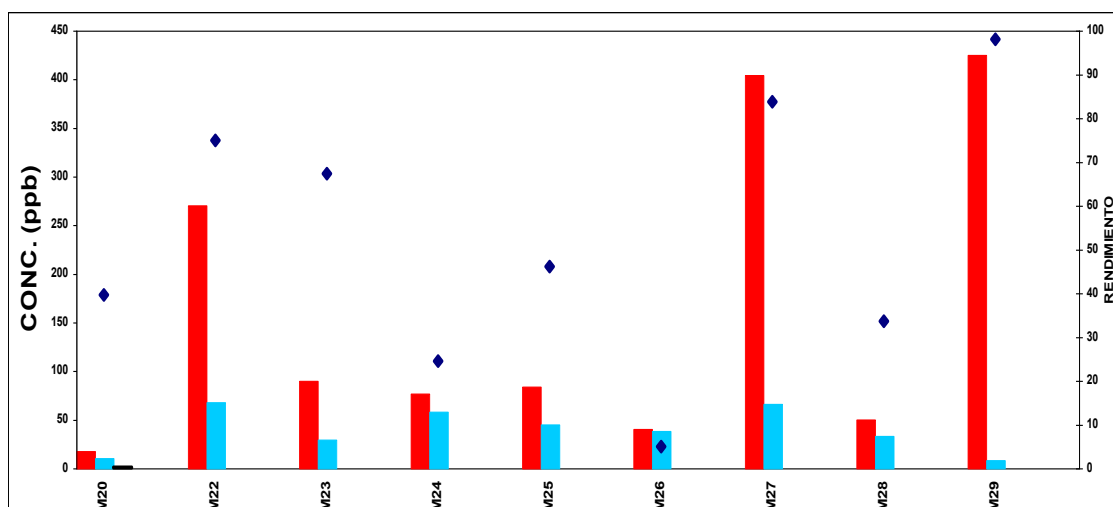
### Filtro biológico N° 3 Tanque de 500 m<sup>3</sup>

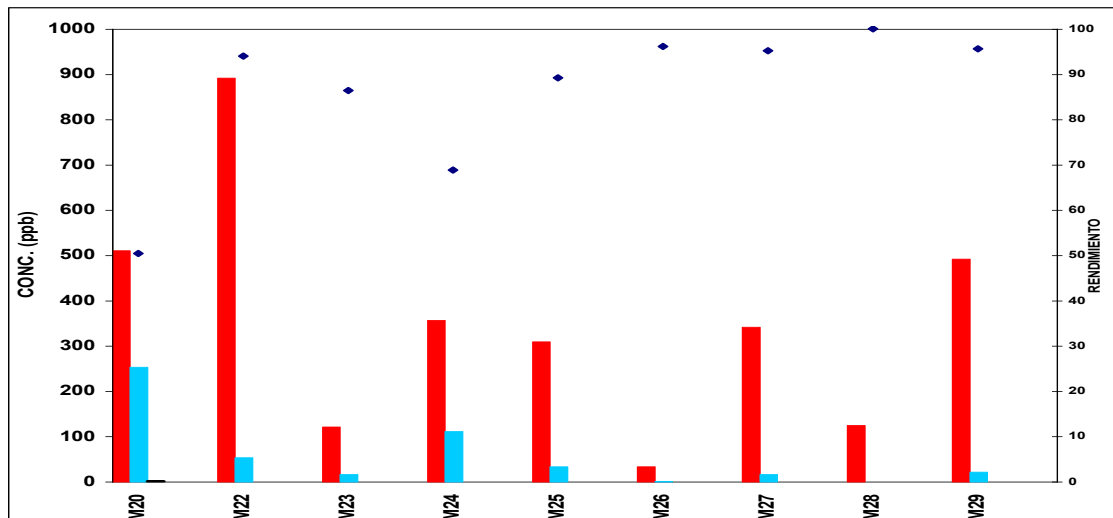
Este tanque se ha estado utilizando por poco tiempo a lo largo del año: mes de febrero, cuando se ha necesitado la limpieza del tanque de 250 m<sup>3</sup> y desde finales de mayo hasta final de julio, como reservorio general de peces.

Los rendimientos en la eliminación de amonio han sido superiores al 90 % de eficacia en la mayor parte de las ocasiones. En el mes de febrero y en un muestreo de junio, el rendimiento fue menor que el esperado. En general, las concentraciones de entrada han variado entre 100 y 500 ppb y las de salida, inferiores a las 50 ppb.

Con relación a la eficacia en la eliminación de nitritos se observa que el rendimiento es mayor (75 – 98 %), cuando las concentraciones de éstos es más elevada (300 - 400 ppb), mientras que cuando las concentraciones son mucho menores (40 – 80 ppb), el rendimiento es muy inferior, incluso menor del 40 %. Las concentraciones de salida han sido inferiores a las 60 ppb.

Concentraciones de AMONIO a la entrada (rojo) y a la salida (azul) del sistema. Los puntos corresponden al rendimiento





Concentraciones de NITRITO a la entrada (rojo) y salida (azul) del sistema. Los puntos corresponden al rendimiento

La temperatura en el periodo estudiado osciló entre los 11 y 27 °C, la salinidad entre 34 y 39 ‰ y el pH entre 7,8 y 8,1 con un valor promedio de 7,9.

El índice de saturación de oxígeno disuelto en el agua estuvo comprendido entre 105 y 129 % con un valor promedio de 115%.

#### Filtro biológico N°4 Tanque de 250 m<sup>3</sup>

Este tanque es utilizado para el mantenimiento de los reproductores de hurta y pargo. Durante el mes de febrero fue desalojado para labores de limpieza y mantenimiento de los circuitos, reanudándose en el mes de marzo. Debido a la inactividad, durante finales de marzo y abril, el rendimiento del sistema no fue el apropiado, si bien por necesidades de funcionamiento, hubo que utilizarse el tanque. No obstante, las concentraciones de amonio, (500 – 800 ppb), no representan concentraciones tóxicas para los peces.

A excepción de las fechas antes señaladas, el rendimiento del sistema en la eliminación de amonio, es superior en general al 75 %, si bien a finales del año, éste bajó a valores del 30%. Las concentraciones de salida varían, aunque se mantienen en general, inferiores a las 50 ppb.

Con relación a la eficiencia en la eliminación de nitritos, y a excepción del periodo indicado, las concentraciones son inferiores, en general, a las 100 ppb a la entrada y de 50 ppb a la salida. No obstante, el rendimiento del sistema en esta etapa, es claramente insatisfactorio, estando actualmente en fase de optimización del mismo, si bien al utilizarse este tanque para el mantenimiento de reproductores, las concentraciones de nitritos son aceptables.

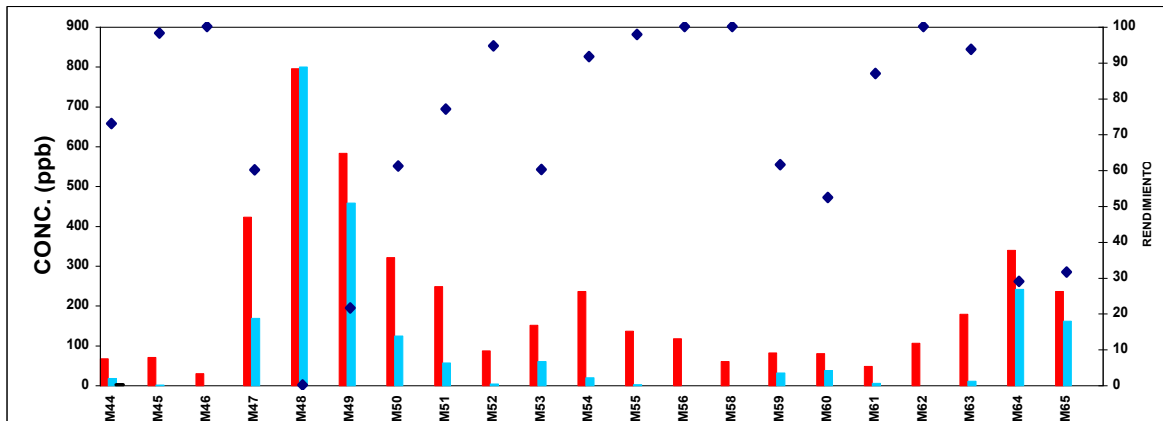
La temperatura del agua ha oscilado entre los 12 ° C en el mes de enero y los 26 - 27° C en los meses estivales, siguiendo la evolución natural a lo largo del año.

La salinidad se vio afectada en los meses de lluvia, con descensos hasta los 32 – 33 ‰ y máximos de 39 – 40 ‰ en el verano. El valor promedio fue de 36,5 ‰ ± 2.

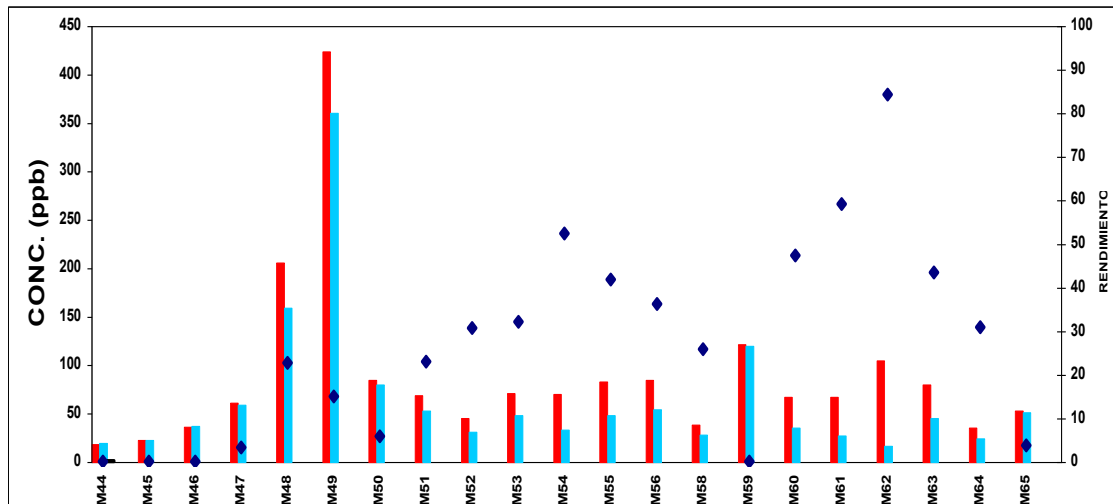


El pH estuvo comprendido entre 7,7 y 8,0 unidades con un valor medio de  $7,8 \pm 0,1$ .

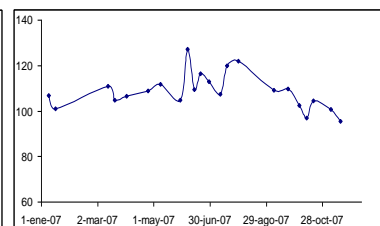
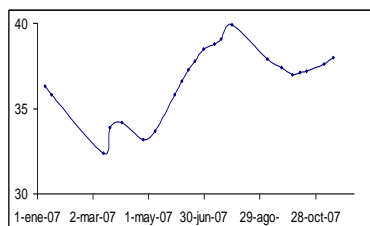
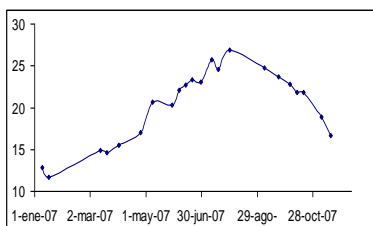
El índice de saturación de oxígeno en agua, se mantuvo por encima del 100 % prácticamente durante todo el periodo, con máximos del 120%. El valor promedio fue de  $109 \% \pm 8$



Concentraciones de AMONIO a la entrada (rojo) y salida (azul) del sistema. Los puntos corresponden al rendimiento



Concentraciones de NITRITO a la entrada (rojo) y salida (azul) del sistema. Los puntos corresponden al rendimiento



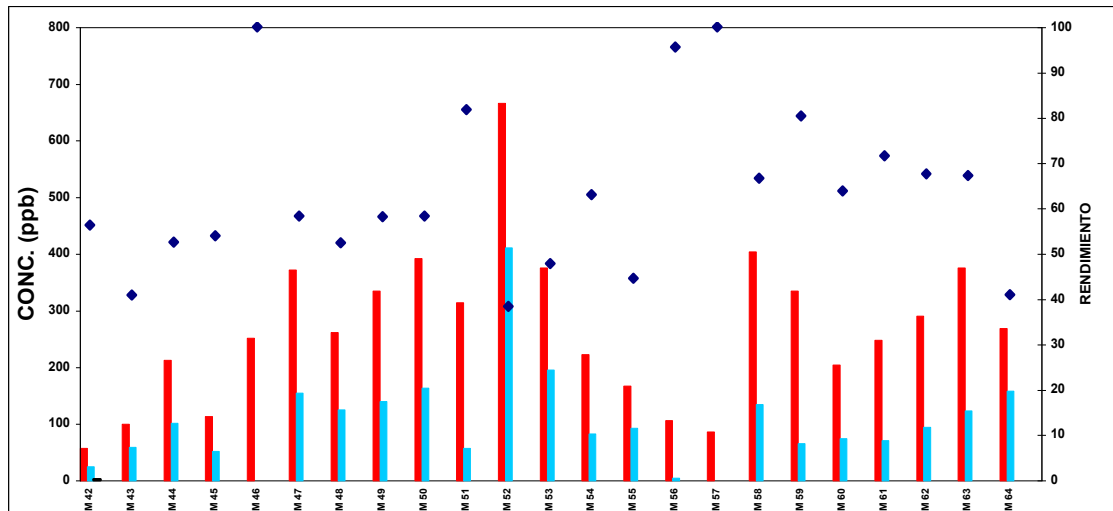
Variación estacional de la temperatura, salinidad e Índice de saturación de Oxígeno en agua a lo largo del periodo analizado

### Filtro biológico N° 5 Tanque circular de 250 m<sup>3</sup>

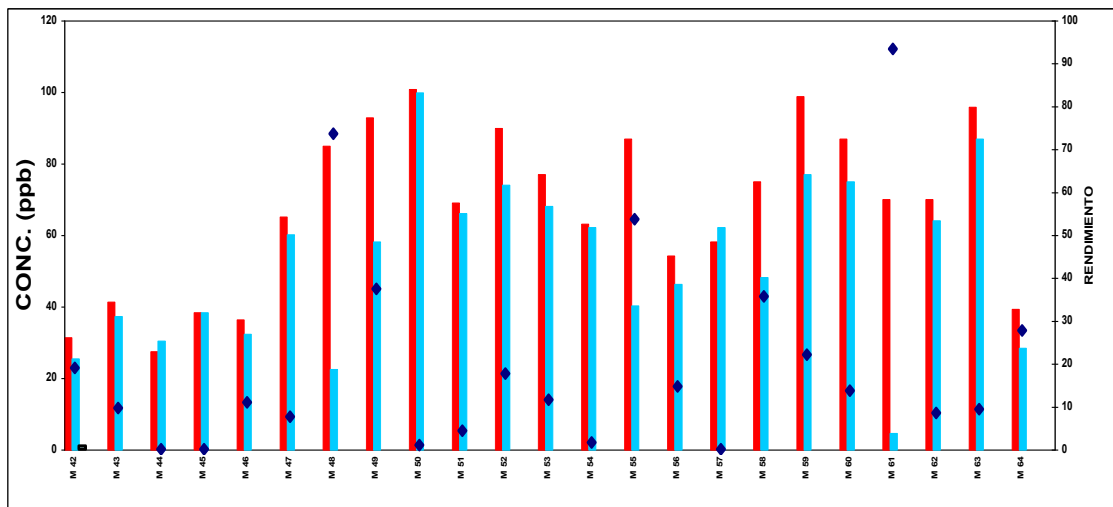
Este tanque se utiliza para el mantenimiento de los reproductores de corvina del Centro. Debido a su baja carga biológica, las concentraciones de nitrito son muy bajas en el tanque (rara vez superan las 100 ppb) y nada tóxicas para los ejemplares adultos.

Los rendimientos en la eliminación de amonio, oscilan, en general, entre el 50 y el 75% y las concentraciones de salida, rara vez superan las 150 ppb (excepción en un muestreo de junio: 400 ppb). Las concentraciones a la entrada están comprendidas entre 150 – 400 ppb ( 650 ppb en el muestreo citado).

La eficacia en la oxidación de nitrito es muy baja, en general, inferiores al 30 %. El sistema está en fase de optimización.



Concentraciones de AMONIO a la entrada (rojo) y salida (azul) del sistema. Los puntos corresponden al rendimiento



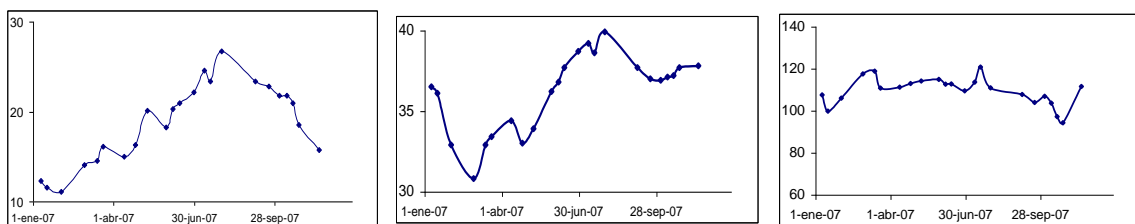
Concentraciones de NITRITO a la entrada (rojo) y salida (azul) del sistema. Los puntos corresponden al rendimiento

La temperatura del agua ha oscilado entre los 11 °C en los meses de invierno y los 25 - 27°C en los meses estivales, siguiendo la evolución anual natural

La salinidad se vio afectada por las lluvias de febrero y abril, con descensos de 31 y 33 ‰, con máximos en verano (39 – 40 ‰). El valor promedio fue de 36,2 ‰ ± 2,4.

El valor del pH se mantuvo entre 7,8 y 8,0 unidades con un valor medio de 7,9 ± 0,1.

El índice de saturación del oxígeno disuelto en agua se mantuvo por encima del 100 %, a excepción del mes de octubre (95 %), con máximos del 120 % y un valor



promedio de 109 % ± 6.

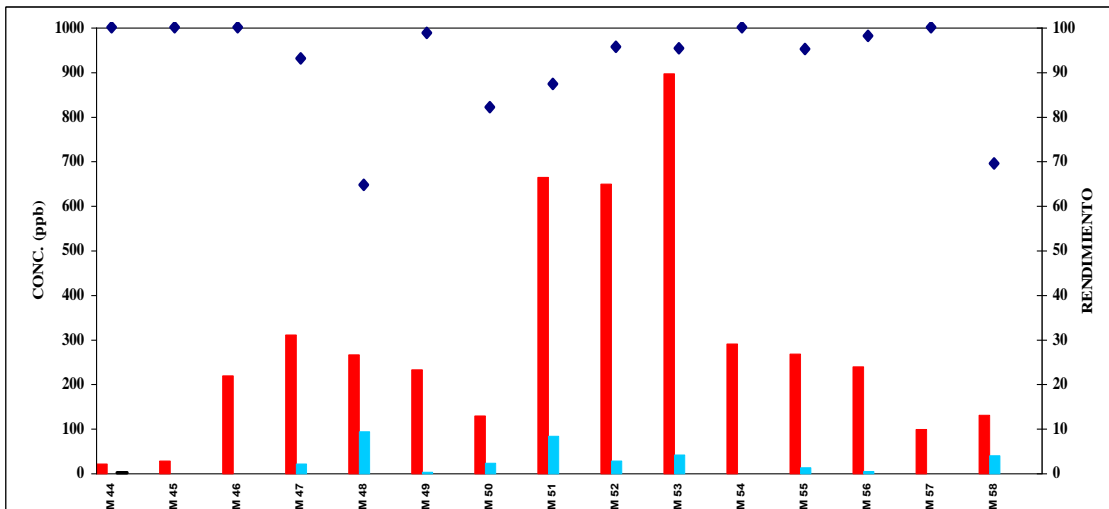
*Variación estacional de la temperatura, salinidad e índice de saturación de Oxígeno en agua a lo largo del periodo analizado.*

### **Filtro biológico N° 6 Tanque circular de 100 m<sup>3</sup>**

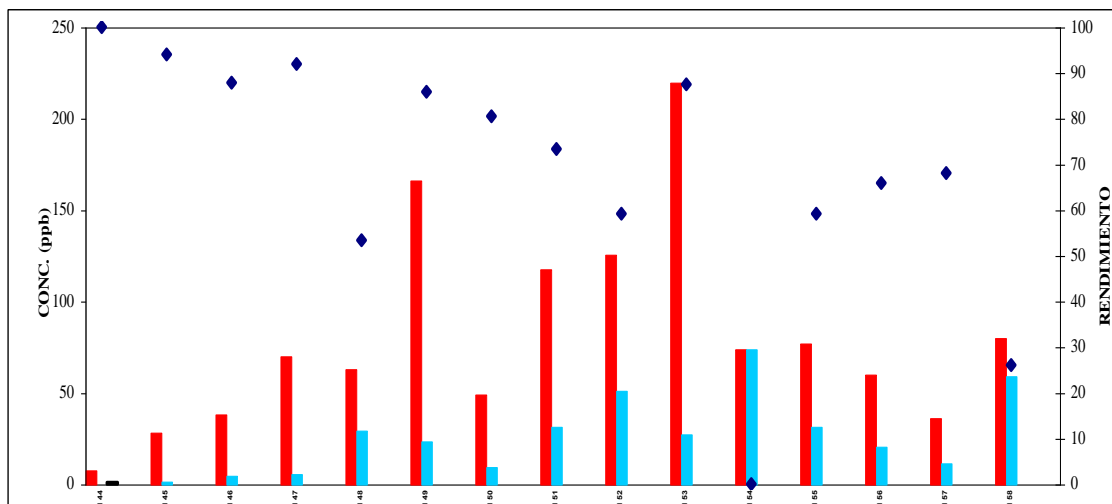
Este tanque se ha dedicado al mantenimiento de los reproductores de besugos del Centro, habiendo sido utilizado desde febrero hasta mediados de julio, cuando los ejemplares fueron trasladados a diferentes tanques que se encuentran en la zona denominada Invernadero.

Los rendimientos del sistema, en cuanto a la eficiencia en la eliminación de amonio, son muy altos, ya que en general, salvo alguna excepción (70%), son superiores al 90%, siendo capaz de reducir las concentraciones de amonio de 200-600 ppb en la entrada del circuito a valores inferiores a las 90 ppb a la salida de éste en todos los casos.

Con relación a la eliminación de nitritos, el sistema ofrece unos rendimientos superiores al 60% y en general, cercanos al 80% de eficiencia, con concentraciones de salida inferiores a las 40 ppb, salvo datos puntuales.



Concentraciones de AMONIO a la entrada (rojo) y salida (azul) del sistema. Los puntos corresponden al rendimiento

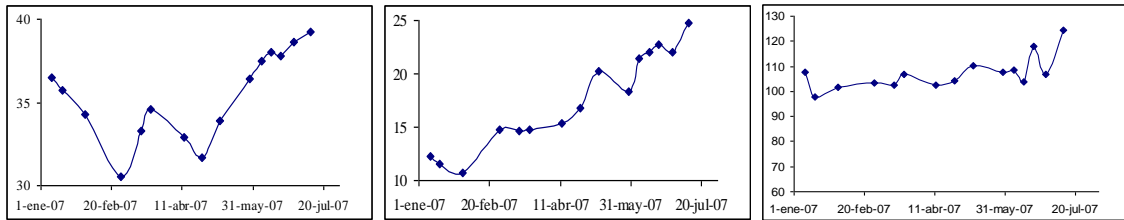


Concentraciones de NITRITO a la entrada (rojo) y salida (azul) del sistema. Los puntos corresponden al rendimiento

Las temperaturas del agua estuvieron comprendidas entre los 11 y 25° C durante el periodo de funcionamiento del sistema.

La salinidad se vio afectada por las lluvias de febrero y abril (30 y 32 ‰) y los máximos correspondieron a julio (39 ‰)

El pH se mantuvo entre los 7,7 y 7,9 unidades y el índice de saturación de oxígeno en el agua, por encima del 100 % con un valor promedio de 107%



*Variación estacional de la temperatura, salinidad e índice de saturación de Oxígeno en agua a lo largo del periodo analizado.*

Durante los meses de enero a junio, se realizaron análisis microbiológicos antes y después del sistema de esterilización por UV. Se determinaron bacterias aeróbicas totales (agar marino) y vibrios (medio TCBS). La eficiencia ha sido del 100 % en todos los casos. Las ufc/mL han oscilado entre  $3 \cdot 10^3$  y  $7 \cdot 10^4$  (aerobias) y  $6 \cdot 10^2$  y  $6 \cdot 10^3$  (TCBS).

### **Sistema Nº 1: Zona del invernadero:**

Situación inicial:

Especies: Lenguado, Bocinegro, Hurta, Mero y Dorada  
 Nº de tanques de cultivo: 25  
 Volumen de Tanques: 565 m<sup>3</sup>  
 Carga de tanques: 2 - 10 kg/m<sup>3</sup>  
 Caudal de recirculación: 75 m<sup>3</sup>/h  
 Potencia bombas: 11.000 w  
 Volumen filtro biológico: 100 m<sup>3</sup>  
 Material filtrante: Redes monofilamento  
 Eliminación de sólidos: Balsa decantación de 1.875 m<sup>2</sup>  
 Esterilizador: No  
 Corrector de pH: No  
 Tratamiento térmico: No  
 Oxigenación: Electrosoplantes

Actuaciones:

Dado que los resultados obtenidos son bastante satisfactorios, se ha incrementado el caudal de recirculación desde 75m<sup>3</sup>/h hasta 100m<sup>3</sup>/h, esto sin incrementar la potencia instalada ya que se han sustituido las dos bombas existente por una de mayor caudal pero de potencia igual a la suma de las dos anteriores. Los 25m<sup>3</sup>/h incrementados no se utilizan en esta zona y pasan a formar parte del agua de cultivo del centro.

Debido a la aparición, en los meses estivales, del ectoparásitos *Caligus* sp, copepodo que ataca sobre todo a lubinas y sargos, se han instalado a principios de este año, esterilizadores ultravioletas para evitar la propagación de estos parásitos ya que debido a las características de este sistema de filtración biológica el agua tratada llega a distintos puntos del centro.

### **Sistema Nº 2: Tanques reproductores de lenguado.**

Situación inicial:

Especies: Lenguado

Nº de tanques de cultivo: 2  
Volumen de Tanques: 30 m<sup>3</sup>  
Carga de tanques: 2 kg/m<sup>3</sup>  
Caudal de recirculación: m<sup>3</sup>/h  
Potencia bombas: 2.200w  
Volumen filtro biológico: 50 m<sup>3</sup>  
Material filtrante: Redes monofilamento  
Eliminación de sólidos: Tamiz con mirahuano, espumadores  
Esterilizador: Ultravioleta  
Corrector de pH: No  
Tratamiento térmico: Enfriador  
Oxigenación: Electrosoplantes

Actuaciones:

Los datos de este sistema no han sido tratados debido a la disparidad de los mismos a causa de los continuos paros a que han sido sometido este circuito, durante todo el año

**Sistema Nº 3: Tanque de 500 m<sup>3</sup>**

Situación inicial:

Especies: Mero  
Nº de tanques de cultivo: 1  
Volumen de Tanques: 500 m<sup>3</sup>  
Carga de tanques: 0,40 kg/m<sup>3</sup>  
Caudal de recirculación: 135 m<sup>3</sup>/h  
Potencia bombas: 6.250 w  
Volumen filtro biológico: 50 m<sup>3</sup>  
Material filtrante: Redes monofilamento  
Eliminación de sólidos: Filtros de arena, espumadores  
Esterilizador: No  
Corrector de pH: No  
Tratamiento térmico: Calefacción suelo radiante  
Oxigenación: Electrosoplantes y oxígeno líquido

Actuaciones:

Debido a las características de este sistema de cultivo, como son las grandes dimensiones del tanque (500m<sup>3</sup>) que dificultan mucho la limpieza del mismo, la poca carga del mismo (0,40kg/m<sup>3</sup>), y a la potencia instalada 6.250 w, se recomendó el traslado de los meros a otro tanque de menores dimensiones, realizándose el traslado en julio del 2.007 por lo que en esa fecha se paró el sistema y se ha venido ejecutando la limpieza y puesta a punto del mismo. Se tiene previsto volver a ponerlo en funcionamiento para estabulación de atunes, especie para el que fue diseñado este sistema.

**Sistema Nº 4: Tanque rectangular de 250 m<sup>3</sup>**

Situación inicial:

Especies: Hurta y Bocinegro  
Nº de tanques de cultivo: 1  
Volumen de Tanques: 250 m<sup>3</sup>  
Carga de tanques: 1,60 kg/m<sup>3</sup>  
Caudal de recirculación: 35 m<sup>3</sup>/h  
Potencia bombas: 2.200 w  
Volumen filtro biológico: 50 m<sup>3</sup>  
Material filtrante: Redes monofilamento  
Eliminación de sólidos: Filtros de arena  
Esterilizador: No  
Corrector de pH: No  
Tratamiento térmico: No  
Oxigenación: Electrosoplantes y oxígeno líquido

**Actuaciones:**

En este sistema se realizó a principio del año pasado una limpieza general del tanque con el traspaso de los peces a otros tanques, lo que provocó una caída en la efectividad del filtro biológico. El filtro se vino recuperando a lo largo del año pero sin llegar a una efectividad del 100%. Esto es debido a que el material filtrante esta constituido por un lecho de redes monofilamento que se va colmatando de materiales sólidos ya que también actúa como filtrante físico y por tanto hay que realizar a la mayor brevedad posible una limpieza de las redes o la sustitución de las mismas.

**Sistema Nº 5: Tanque circular de 250 m<sup>3</sup>**

**Situación inicial:**

Especies: Corvina.  
Nº de tanques de cultivo: 1  
Volumen de Tanques: 250 m<sup>3</sup>  
Carga de tanques: 1,60 kg/m<sup>3</sup>  
Caudal de recirculación: 35 m<sup>3</sup>/h  
Potencia bombas: 2.200 w  
Volumen filtro biológico: 7,50 m<sup>3</sup>  
Material filtrante: Redes monofilamento  
Eliminación de sólidos: Filtros de arena  
Esterilizador: Ultravioleta  
Corrector de pH: No  
Tratamiento térmico: No  
Oxigenación: Electrosoplantes

**Actuaciones:**

En este sistema de filtración ha ocurrido exactamente igual que en el sistema Nº4 y por lo tanto hay que actuar en los mismos términos.

**Sistema Nº 6: Tanque circular 100 m<sup>3</sup>**



**Situación inicial:**

Especies: Besugo  
Nº de tanques de cultivo: 1  
Volumen de Tanques: 100 m<sup>3</sup>  
Carga de tanques: 1 kg/m<sup>3</sup>  
Caudal de recirculación: 35 m<sup>3</sup>/h  
Potencia bombas: 2.200 w  
Volumen filtro biológico: 3 m<sup>3</sup>  
Material filtrante: Redes monofilamento  
Eliminación de sólidos: Filtros de arena  
Esterilizador: No  
Corrector de pH: No  
Tratamiento térmico: Enfriador  
Oxigenación: Electrosoplantes

**Actuaciones:**

Este sistema se sometió a mediados de julio a una limpieza general del sistema trasladándose los besugos hasta los tanques de la zona del invernadero (sistema N<sup>o</sup>1) desde el cual no han vuelto y por tanto el sistema se encuentra sin actividad desde dicho mes.

**Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2.008**

**Proyecto coordinado:** Tecnologías de recirculación y desinfección en acuicultura marina.

**Subproyecto:** Caracterización y optimización de los sistemas de recirculación en acuicultura.

**Comunidad autónoma:** Andalucía.

**Organismo:** IFAPA Centro El Toruño.

**Investigador principal:** Ezequiel Revilla Torres

**1.- Situación Financiera.**

**Los Gastos para el año 2.007 han sido los siguientes:**

- Fungible: material eléctrico, PVC y material de laboratorio
- Dietas
- Locomoción
- Equipamientos: Bombas y esterilizadores
- Analista de laboratorio

**2.- Descripción de las actividades realizadas.**

Se ha llevado a cabo el seguimiento a lo largo del año del funcionamiento de cinco filtros biológicos (sistemas 1, 2, 3, 4 y 5), que corresponden a los diferentes

proyectos de cultivos de peces: mantenimiento de peces, cultivo de corvinas, cultivo de meros, y cultivo de hurtas y pargos.

Estos sistemas no comerciales, consisten en tanques con relleno de redes monofilamento como soporte de la flora bacteriana y aporte de aireación por electrosoplantes.

Se ha determinado con periodicidad semanal/quincenal los siguientes parámetros: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH en las salidas de los sistemas (flujo de agua tras pasar por el filtro biológico) y las concentraciones de nitritos y amonio, tanto a la salida como en la entrada de los sistemas.

Asimismo, en el sistema que dispone de esterilización por ultravioleta, se han realizado, tanto a la entrada como a la salida del mismo, el recuento total de bacterias (medio general) y recuento de vibrios, por siembra en placa.

Estos sistemas se han mantenido dentro de los mismos parámetros de años anteriores y por tanto hemos centrado nuestros esfuerzos en el sistema nº 6, que lo hemos vuelto a poner en funcionamiento con reproductores de lubina y el sistema nº 7, sistema comercial que hemos utilizado para distintos cultivos.

### Filtro biológico Nº 1 INVERNADERO

#### MONTAJE Y ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE UN FILTRO BIOLÓGICO EN UN TANQUE OCEÁNICO DE 100 m<sup>3</sup>

Con el fin de mejorar la capacidad depuradora del filtro biológico preexistente, basado en la redes sumergidas, así como de sus condiciones de manejo, tales como limpieza y desinfección, se implementó un nuevo filtro biológico basado en bacterias a partir de un sistema de airlift en un tanque de PRFV de 3 m<sup>3</sup> (Ver diseño en Fig. 1 y 2)

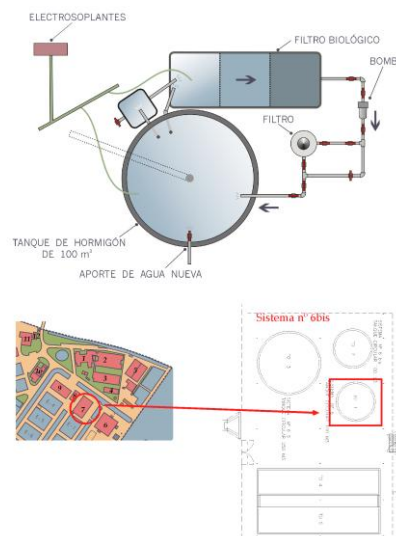


Figura 1: Situación y diseño del filtro biológico

Dicho tanque se dividió en tres secciones. En dos de ellas se colocaron tres contenedores cilíndricos, también de PRFV, de 6 mm de grosor de pared, 0,9 m de diámetro y 0,5 m de altura, con un fondo de malla intercambiable y tapadera para evitar la proliferación de algas macrofitas. El sistema consta de 4 ventanas cuadradas de 100 cm<sup>2</sup> equidistantes y cubiertas cada una con un marco de malla intercambiable y que llevan adosado cuatro estructuras (que le sirven de patas) huecas, en forma de prisma con una sección interna de 150 mm x 135 mm y cerrada por abajo. Cada una mide 0,8 m de altura, sobresale 0,3 m por debajo del fondo de malla del cilindro y contiene un tubo cilíndrico de PVC, vertical, de 75 mm de diámetro, con un codo recto superior que encaja en un orificio practicado en su pared exterior por encima de la superficie del agua y que sirven como sistema airlift para favorecer el continuo movimiento de las biobolas y de esta forma el acúmulo excesivo de materia orgánica.



Figura 2: Estructura del filtro

Cada unidad cilíndrica se rellenaron de bactobolas hasta 2/3 de su volumen total (Fig. 3). El diseño de las láminas asegura una distribución muy uniforme del agua en cada situación y altura. El gran área de superficie de 300 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> permite una alta concentración de biomasa bacteriana activa. En las cuatro patas de los depósitos se introdujo aire mediante un macarrón de silicona con el fin de airear el filtro y obligar a recircular el agua y favorecer el movimiento de las biobolas para que no se acumulase suciedad que pudiera perjudicar la fijación bacteriana.



Figura 3: Material introducido en los contenedores

Para favorecer la maduración del filtro se añadieron 4 ppm de  $\text{NH}_4^+$  (en forma de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) y 2 ppm de  $\text{NO}_2^-$  (en forma de  $\text{NaNO}_2$ ). De forma sistemática se realizaron muestreos de aproximadamente 100 mL de agua en tres puntos aleatorios tanto en el tanque oceánico como en el filtro biológico. Dichas muestras fueron filtradas para eliminar sólidos en suspensión e inmediatamente analizadas usando los kits de análisis específicos (Para  $\text{NO}_2^-$ : Test de Nitritos Método colorimétrico Aquaquant® (0'005 – 0'1 mg/L  $\text{NO}_2^-$ ) . N° ref. 1,14408,0001 MERCK; Para  $\text{NH}_4^+$ : Test de Amonio Método colorimétrico Aquaquant® (0'025 – 0'4 mg/L  $\text{NH}_4^+$ ) . N° ref. 1,14428,0001 MERCK). Se tomó como valor válido la media de las tres determinaciones, comprobando con muestras de valor conocido la fiabilidad del método. A los 25 días, una vez comprobado que los valores eran los aceptables, se introdujeron en el tanque oceánico 40 ejemplares reproductores de la especie *Dicentrarchus labrax*, con un peso medio de 2000 g. Los animales se alimentan 3 veces en semana con aproximadamente el 5% de su peso corporal utilizando pescado congelado fundamentalmente. Durante los siguientes dos meses se siguió midiendo los parámetros principales del filtro biológico obteniéndose valores aceptables en todas las medidas (Tabla I).

FECHA	TANQUE OCEÁNICO		FILTRO BIOLÓGICO	
	$\text{NO}_2$ ppm	$\text{NH}_4$ ppm	$\text{NO}_2$ ppm	$\text{NH}_4$ ppm
16/06/08	0'3 – 0'5			
17/06/08	0'3 – 0'4	0'025 – 0'05		
18/06/08	0'1 – 0'15	> 0'025	0'15 – 0'20	> 0'025
23/06/08	0'025 – 0'05	> 0'025	0'05 – 0'075	> 0'025
30/07/08	0'025 – 0'05	> 0'025	0 – 0'25	> 0'025
22/08/08	0 – 0'025	> 0'025	0 – 0'25	> 0'025
25/09/08	0 – 0'025	> 0'025	0 – 0'25	> 0'025
19/10/08	0 – 0'025	> 0'025	0 – 0'25	> 0'025

Cabe destacar que este filtro está diseñado con el fin de establecer un sistema económico adecuado para recirculación y que permita un manejo fácil. La implementación de un sistema u/v así como la facilidad de limpieza respecto al

sistema anterior ha favorecido mejorar el nivel sanitario de los animales y su bienestar. Aunque este sistema se puede mejorar mediante un tanque isoterma o incluso una loneta que eviten el crecimiento de microalgas, el sistema realmente supone un método económico y viable para cultivo de reproductores y que satisface un requerimiento básico de la producción animal como es su bienestar.

Filtro biológico N°7

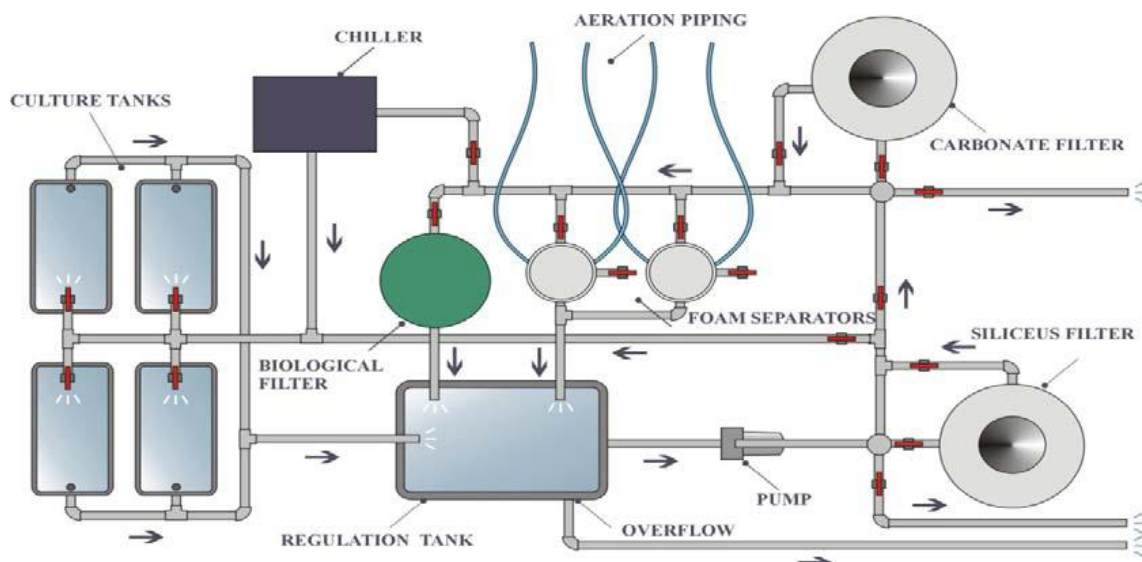
## EXPERIENCIA CON MUGILIDOS

Se trata de una experiencia de crecimiento en la que se comparan tres tipos de dietas en función de su contenido en proteínas de origen vegetal.

### *Instalaciones*

El experimento se realizó en 16 tanques rectangulares de 125 L, divididos en un total seis condiciones experimentales. Tuvimos dos variables a medir, por un lado la salinidad y por otro el tipo de dieta:

- Salinidad: Trabajamos con dos niveles distintos de salinidad. Ocho tanques en sistema de recirculación (RAS) como el que se muestra en la figura con una salinidad de 12 ‰ y otros ocho con un sistema de renovación abierta a 35 ‰ (FAS)
- Dieta: Dentro de cada grupo de salinidad utilizamos tres tipos de dietas en función de su contenido proteico de origen animal. M, A y V.



**Figura 1.- Esquema del sistema de recirculación utilizado.**

El funcionamiento del RAS se basaba en una filtración por pasos y en la dilución en el tanque de regulación con el agua tratada. El agua del tanque de regulación primero sufría filtración física en el filtro de arena, luego espumadores, filtración biológica y por último se hacía pasar por la lámpara UV. No todo el efluente de los



tanques sufría todo el proceso, pues una vez llegaba al filtro de arena parte del mismo volvía a los tanques únicamente habiendo sufrido dilución en el tanque de regulación y filtración física. Además existía una renovación diaria debido a la limpieza, con un promedio semanal del 60% de agua nueva. Para la renovación diaria del sistema RAS se prepararon dos tanques donde se mezclaba agua dulce con el agua salada de entrada al centro en la proporción 1/3, obteniéndose una salinidad del 12‰. Los tanques usados para preparar el agua del 12‰ tenían un volumen de 350L y de 900L. El agua de mezcla usada era previamente decolorada, mediante aireación durante al menos 12 horas con el fin de minimizar costes derivados del uso de productos anticloro.

Los tanques con salinidad 35‰ se mantuvieron en circuito abierto (sistema FAS) por ser ésta la salinidad media del agua de entrada al Centro “El Toruño”. El afluente, antes de ser utilizado, sufría filtración mecánica, química y biológica, aumentando la calidad del agua. La limpieza de los tanques de esta condición experimental también se realizaba de forma diaria.

### Condiciones zootécnicas

Se utilizaron alevines de mugilidos *Chelon labrosus* con un peso medio de 15 gr y 10,4 cm de longitud total.

Se utilizaron unos 30 individuos por tanque, obteniendo una densidad de cultivo inicial aproximada de 2,5 g/L.

Se daba una ración diaria de aproximadamente el 3% del peso animal para cada uno de los diferentes grupos experimentales.

Periódicamente se realizó un seguimiento de distintos parámetros fisicoquímicos. De los que resumo el rango de trabajo en la siguiente tabla.

Sistema		T <sup>a</sup>	S‰	O <sub>2</sub> (mg/l)	Amonio(ppm)	Nitritos(ppm)	Nitratos(ppm)
RAS	Med.	18,81± 2,0	11± 0,8	7,79± 0,68	0,085+ 0,029	0,030+ 0,011	< 25
	Max.	21,6	12,3	9,42	0,118	0,046	<50
	Min.	14,7	10	6,34	0,083	0,024	<10
FAS	Med.	19,2± 1,9	33,2 ± 2,9	7,06± 0,5	0,056+ 0,016	0,058+ 0,017	0
	Max.	22,3	40,3	8,40	0,079	0,073	0
	Min.	15,2	26,9	6,02	0,047	0,043	0

Se mantuvieron los ejemplares durante 120 días realizando muestreos biométricos mensuales tras los cuales se realizó un muestreo final en el que además de los parámetros habituales de talla y peso, tomamos muestras para determinar diversas variables en distintos tejidos: riñón, musculo, branquia, hígado.

Los resultados todavía están en fase de análisis con lo que se pueden ofrecer datos de los mismos. Aunque a priori, sin realizar las comparativas correspondientes, ni análisis de los datos, parece que la salinidad no es un factor que influya en el crecimiento de esta especie en esta etapa de su ciclo de vida. Sin embargo, parece que el tipo de dieta influye claramente, sin tener claro todavía su importancia relativa, ni si este factor influye de la misma forma en otras edades de su ciclo de vida.

### EXPERIENCIA CON CORVINAS

## 1. Instalaciones

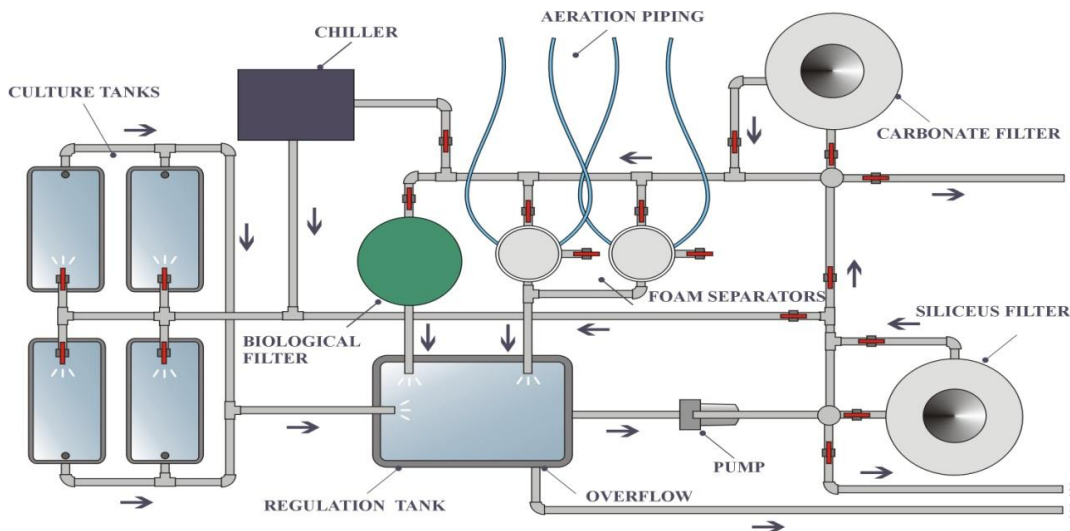
El experimento se realizó en 8 tanques rectangulares de 125 L (Figura 1), divididos en dos condiciones experimentales: i) 4 tanques a una salinidad del 12‰, y ii) 4 tanques a una salinidad del 39‰. Los tanques se numeraron tal y como se indican en la Tabla 1.



Salinidad 12‰	TC1	TC2
	TC3	TC4
Salinidad 39‰	TA1	TA2
	TA3	TA4

**Figura 1** Tanques experimentales.

**Tabla 1.** Numeración tanques experimentales.



**Figura 2.** Esquema de la instalación RAS con agua de 12‰ de salinidad.

El agua con la salinidad del 12‰ se mantuvo en circuito cerrado con recirculación (sistema RAS). El circuito utilizado consta de filtro biológico, de arena, de carbonatos, dos espumadores, luz ultravioleta (UV) y un enfriador (Figura 2).

El funcionamiento del RAS se basaba en una filtración por pasos y en la dilución en el tanque de regulación con el agua tratada. El agua del tanque de regulación (Figura 3) primero sufría filtración física en el filtro de arena, luego filtración química en el filtro de carbonatos y espumadores, filtración biológica y por último se hacía pasar por la lámpara UV y el enfriador. No todo el efluente de los



tanques sufría todo el proceso, pues una vez llegaba al filtro de arena parte del mismo volvía a los tanques únicamente habiendo sufrido dilución en el tanque de regulación y filtración física.



**Figura 3.** Tanque de regulación.

Además existía una renovación diaria debido a la limpieza, con un promedio semanal del 60% de agua nueva. Para la renovación diaria del sistema RAS se prepararon dos tanques donde se mezclaba agua dulce con el agua salada de entrada al centro en la proporción 1/3, obteniéndose una salinidad del 12‰. Los tanques usados para preparar el agua del 12‰ tenían un volumen de 350L y de 900L. El agua de mezcla usada era previamente decolorada, mediante aireación durante al menos 12 horas con el fin de minimizar costes derivados del uso de productos anticloro.

Los tanques con salinidad 39‰ se mantuvieron en circuito abierto (sistema FAS) por ser ésta la salinidad media del agua de entrada al Centro IFAPA *El Toruño*. El afluente, antes de ser utilizado, sufría filtración mecánica, química y biológica, aumentando la calidad del agua. La limpieza de los tanques de esta condición experimental también se realizaba de forma diaria.

Para la limpieza de los tanques disponíamos de material independiente para cada una de las condiciones experimentales. Contábamos con un cubo de 8L, una jarra de 5L, red, estropajo y dos sifones de limpieza claramente identificados para cada salinidad. La limpieza consistía en el sifonado todos los días a primera hora de la mañana, limpieza mediante estropajo de las paredes de los tanques y limpieza de los comederos antes de empezar con las tomas del día.

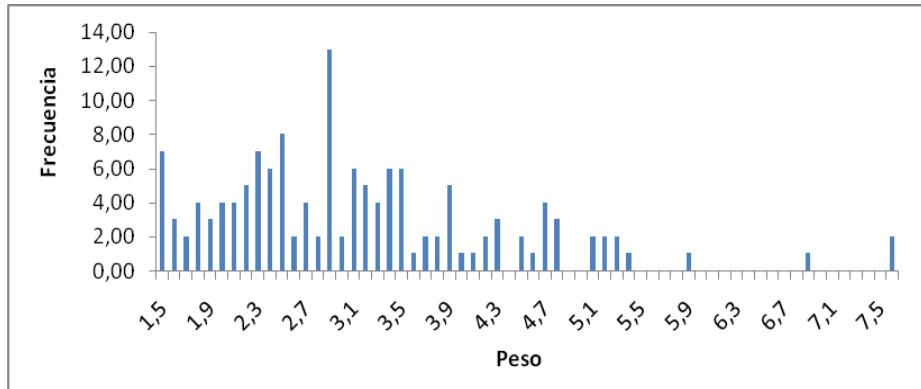
## **2. Selección de alevines**

A la edad de 94 DDE se muestrearon del tanque madre 141 individuos, con un peso medio de  $3,16 \pm 0,01$  g y una longitud media de  $6,16 \pm 0,01$  cm. La finalidad de este muestreo fue seleccionar los animales que utilizamos en el experimento y conseguir una distribución de pesos similares en todos los tanques experimentales.

El rango de peso elegido se decidió en base a los siguientes criterios:

- Densidad inicial de cultivo de 1 g/L.

- Número estimado de peces necesarios: en función del número de tanques y del peso encontrado en el muestreo (Gráfica 1).
- Utilización de aquellos peces con un mayor peso posible: una vez determinado el número estimado de peces y la distribución por peso del tanque madre



**Gráfica 1.** Distribución en peso de los ejemplares del tanque madre.

Para la realización del muestreo se traspasaban grupos de peces del tanque madre a una pecera de 50L para facilitar su manejo. Todos los peces del acuario eran pesados y se escogían aquellos comprendidos en un rango de peso de 3 a 5g. Únicamente se midieron aquellos peces que entraban dentro del rango, y que por tanto utilizaríamos en el experimento. El número de peces de cada tanque se determinó usando el peso máximo de biomasa necesario para alcanzar una densidad inicial de cultivo de 1 g/L.

Los peces descartados, durante el tiempo que duró la selección, se mantuvieron en un tanque de 900L y se devolvieron al tanque madre una vez concluido el proceso. No se apreció mortalidad alguna en los ejemplares transferidos directamente a agua del 12‰ de salinidad. El 19/07/08, con 94DDE, dio comienzo el experimento con una distribución de talla tal y como se describe en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Distribución de tallas de los ejemplares en las condiciones experimentales (media  $\pm$  ESM). Diferentes superíndices indican diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

ACLIMATACIÓN (94 DDE)	Densidad media (g/l)	Peso medio (g)	Longitud media (cm)
Salinidad 12‰ (TC1, TC2, TC3, TC4)	1,00 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	4,32 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>	6,94 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>
Salinidad 39‰ (TA1, TA2, TA3, TA4)	1,00 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	4,31 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>	6,93 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>

### 3. Prueba de tolerancia salina

Antes de la selección de los peces que conformarían el lote experimento, se realizó (fecha 14/07/08) una prueba de tolerancia en ejemplares de *A. regius* de 69DDE a un cambio directo desde agua de mar (39‰ de salinidad) a agua del 12‰ de salinidad. Para ello se tomaron 30 peces del tanque madre (aclimatados

a una salinidad del 39‰) y se traspasaron a un acuario de 50L con agua a 12‰. Durante las 4 horas que estuvieron expuestos a dicha salinidad solo murieron 2 animales, posiblemente debido al estrés de transferencia. El resto de los animales mostraron un comportamiento normal durante todo el periodo de prueba y no presentaron mortalidad alguna cuando se realizó el cambio inverso de salinidad. Según estos resultados, determinamos que era necesario un cambio gradual de salinidad al inicio del experimento.

#### 4.- Análisis de calidad del agua

##### Parámetros físico-químicos:

- Oxígeno disuelto (mg/L y % saturación): medidas diarias a primera hora de la mañana con el oxímetro Sonda YSI 500. Todas las medidas se hicieron siempre in situ y antes de la limpieza de los tanques. El oxímetro YSI 500 proporciona valores de contenido en oxígeno disuelto en función de la salinidad, por lo que al cambiar de condición experimental era necesario modificar el valor de salinidad del aparato antes de medir. Valores de referencia mínimos usados fueron 5mg/L y 70% de saturación. Con el objeto de mantenernos por encima de los valores mínimos se limpiaban diariamente los tanques, los cuales presentaban una aireación adecuada y un caudal proporcionado a la densidad de cultivo.

- Salinidad (‰): medidas diarias a primera hora de la mañana, en los tanques de cultivo y en los de mezcla, a través de la Sonda WTW pH/Cond 340 i.

- Temperatura (°C): medición diaria a primera hora de la mañana con la Sonda YSI 500, que mide simultáneamente valores de oxígeno disuelto y temperatura. Además se utilizaron termómetros de mercurio instalados en todos los tanques que median temperatura máxima y mínima. Para evitar diferencias de temperatura entre las dos condiciones experimentales, se instaló un enfriador en circuito RAS y la temperatura se igualó a la del circuito FAS.

- pH: Dos determinaciones semanales mediante el pHmetro pH/oxi 340i, provisto de un electrodo de vidrio y calibrado a partir de soluciones tampón a pH=7 y pH=9. Los valores usados de referencia a la hora de evaluar el pH del cultivo, son de 7,5 a 8,5 pH del agua de mar.

- Amonio (mg/L): una medida semanal, a primera hora de la mañana antes de la limpieza, con el kit comercial Aquaquant MERCK. La medida del kit se basa en la reacción colorimétrica del amonio con 2,2'-isopropil-5,5'-metilindofenol azul (Reacción Berthelot). El valor máximo de referencia usado fue de 2mg/L.

- Nitritos (mg/L): una medida semanal, de la misma muestra de la que se determina el amonio, con el kit comercial Aquaquant MERCK. La medida del kit se basa en la reacción colorimétrica del nitrito con ácido sulfanílico y N-1-naftiletildiamina dihidroclorada (Reacción de Griess).

- Nitratos (mg/L): una medida semanal usando el Espectrofotómetro U-2001. Para la determinación del valor de nitratos, bastaba con llenar una cubeta de cuarzo

directamente con el agua de la muestra (la misma de la que se determinaron los valores de amonio y nitrito) y utilizar el protocolo programado en el aparato. El valor máximo de referencia usado fue de 100mg/L.

Los valores de amonio, nitrito y nitrato se medían también a la salida del filtro biológico para comprobar el correcto funcionamiento del mismo.

**Tabla 3.** Parámetros físico-químicos (media  $\pm$  ESM) durante el experimento. Diferentes superíndices indican diferencias significativas (p-valor  $>$  0,05).

Parámetro	Sistema RAS (S: 12‰)	Sistema FAS (S: 39‰)	p-valor
Salinidad (‰)	12,43 $\pm$ 0,10	39,7 $\pm$ 0,05	--
Temperatura (°C)	22,42 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>	22,40 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	0,31
Oxígeno (%)	90,22 $\pm$ 0,44 <sup>a</sup>	89,26 $\pm$ 0,40 <sup>b</sup>	0,00
Oxígeno (mg/L)	7,58 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	6,45 $\pm$ 0,09 <sup>b</sup>	0,01
pH	7,87 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	7,82 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	0,06
Nitritos (mg/L)	1,69 $\pm$ 0,97 <sup>a</sup>	0,05 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,08
Nitratos (mg/L)	36,41 $\pm$ 3,5 <sup>a</sup>	4,13 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>	0,01
Amonio (mg/L)	0,03 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,02 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,30

#### Parámetros microbiológicos:

- Bacterias totales (UFC/ml): para cuantificarlas se utilizó un medio de cultivo genérico, agar marino. La composición del agar marino en g/l es: ácido bórico 0,022; amonio nitrato 0,0016; calcio cloruro 1,8; estroncio cloruro 0,034; extracto de levadura 1; hierro citrato 0,1; magnesio cloruro 8,8; peptano 5,0; potasio bromuro 0,08; potasio cloruro 0,55; sodio cloruro 19,4; sodio fluoruro 0,0024; sodio hidrógeno carbonato 0,16; di-sodio hidrógeno fosfato 0,008; sodio silicato 0,004; sodio sulfato 3,24 y agar 3,24. Tiene pH de 7,6 y su almacenamiento tiene que ser entre 2 y 8°C. El procedimiento seguido fue la siembra de 50 $\mu$ L de muestra que una vez extendida se introduce en una estufa a 25°C. A las 24 horas se cuentan el número de colonias que han crecido. Los valores normales estimados de bacterias totales en UFC/ml son entre 10<sup>2</sup> y 10<sup>3</sup>, para aguas de cultivo del Centro “El Toruño”.

- Vibrios (UFC/ml): para cuantificarlas se utilizó un medio de cultivo selectivo e inhibidor para la mayoría de las bacterias, solo permite el desarrollo de *Vibrio spp*, denominado TCBs. Esta inhibición se basa en las altas concentraciones de tiosulfato y citrato, la presencia de las sales biliares y un pH fuertemente alcalino. La composición del TCBs en g/L es: extracto de levadura 5,0; peptona de carne 5,0; tripteína 5,0; citrato de sodio 10,0; tiosulfato de sodio 10,0; bilis de buey 8,0; sacarosa 20,0; cloruro de sodio 10,0; citrato férrico 1,0; azul de bromotimol 0,04; azul de timol 0,04 y agar 14,0. El pH final es de 8,6 y su almacenamiento tiene

que ser entre 2 y 8°C. El procedimiento seguido fue el mismo que el descrito para bacterias totales. Los valores normales de *Vibrio spp* en UFC/ml son 1/3 de los encontrados en bacterias totales.

- Bacterias totales y Vibrios se midieron al inicio y final del experimento (Tabla 4). En función de los resultados obtenidos en anteriores experimentos y el comportamiento y mortalidad observados no se hizo necesario realizar ningún tipo de medida intermedia.

**Tabla 4.** Parámetros microbiológicos del sistema RAS y FAS.

Condición	Bacterias totales		Vibrios	
	Inicio exp. (UFC/ml)	Final exp. (UFC/ml)	Inicio exp. (UFC/ml)	Final exp. (UFC/ml)
Sist. FAS (S: 39‰)	$3,6 \cdot 10^2$	$1,76 \cdot 10^3$	0	$10^2$
Sist. RAS (S: 12‰)	$2,6 \cdot 10^2$	$4,05 \cdot 10^3$	80	$8,3 \cdot 10^2$

## GALICIA (INFORMES 2006, 2007 y 2008)

### Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2006

**Proyecto coordinado:** Tecnología de la recirculación y desinfección en Acuicultura marina.

**Subproyecto:**

**Comunidad Autónoma:** Galicia.

**Organismo:** Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGaFA).

**Investigador principal:** José Luís Rodríguez Villanueva.

#### 1.- Situación Financiera.

Durante el año 2006 hemos ejecutado prácticamente en su totalidad los presupuestos correspondientes a los años 2005 y 2006.

#### 2.- Descripción de las actividades realizadas.

Durante los primeros meses del año 2006 se finalizó el montaje del sistema de los elementos que constituyen nuestro sistema de recirculación, para poder iniciar las experiencias programadas en el proyecto. Una muestra de las instalaciones del circuito cerrado son las siguientes imágenes:



**Foto 1:** Visión general de las instalaciones del circuito cerrado.





**Foto 2:** Tanque de compensación.



**Foto 3:** Filtración mecánica mediante filtro de arena.



**Foto 4:** Filtro biológico con el lecho agua bacteriano tipo *Kadnes*.



**Foto 5:** Sistema de esterilización del con ultravioleta.





**Foto 6:** Espumadores ("skimmer").



**Foto 7:** Tanque bicarbonato para regulación del pH.



**Foto 8:** Sistema de regulación de oxígeno.



**Foto 9:** Sistema de control.

Una vez finalizado el montaje de todo el equipamiento se realizaron las pruebas para comprobar su correcto funcionamiento y se detectó un problema que consistió en un incremento de la temperatura del agua por encima de los valores establecidos debido a la elevada temperatura del ambiente. Para corregir este problema se instaló una bomba de calor que, al pasar el agua a través de ella, mantuviera la temperatura del agua en torno a los 19°C.



Foto 10: Bomba de calor.

Una vez controlados y estabilizados todos los parámetros del circuito se iniciaron las actividades previstas en el proyecto.

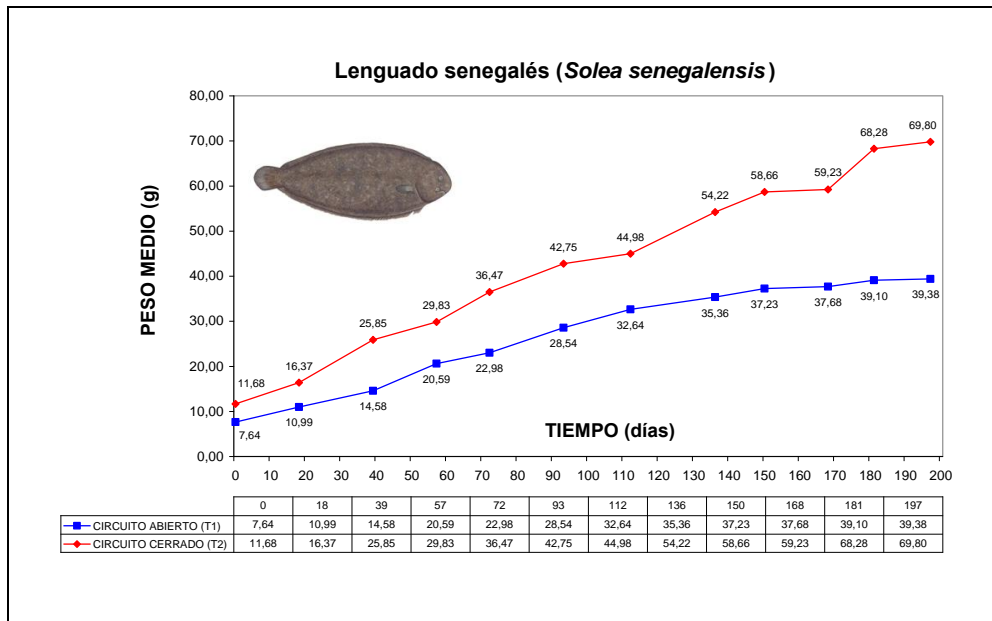
### Control de la evolución del sistema de recirculación en el engorde de peces planos.

El sistema de recirculación del Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGaFA) se está aplicando al engorde de peces planos: rodaballo (*Psetta maxima*) y lenguado senegalés (*Solea senegalensis*).

En relación con el lenguado senegalés, en esta primera fase se comparó el crecimiento durante la etapa de preengorde de ejemplares mantenidos en sistema de recirculación con temperatura controlada a 19 °C y de ejemplares cultivados en sistema de circuito abierto.

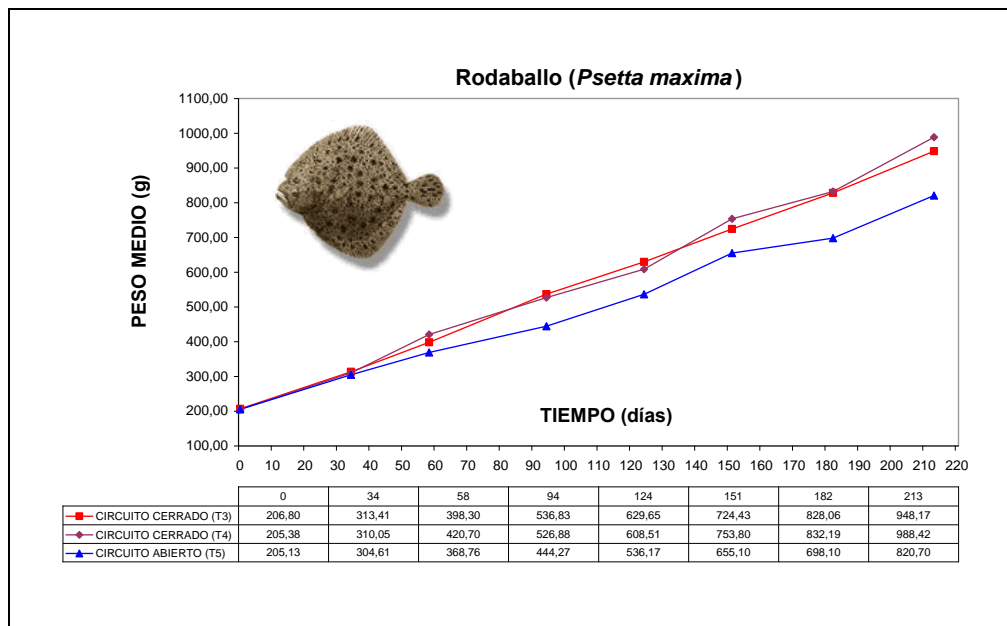
Se partió de 194 ejemplares, con un peso medio de 11,68 g en el tanque de recirculación y 7,64 g en el tanque de circuito abierto. Al final de esa experiencia, los peces del sistema de recirculación alcanzaron un peso medio de 69,80 g y los que se mantenían en circuito abierto 39,38 g (**Gráfica 1**).

Esta experiencia se continuará en el año 2007 con la fase de engorde de los individuos hasta la talla comercial.



**Gráfica 1:** Comparación de la evolución del crecimiento del lenguado senegalés en circuito abierto y circuito cerrado.

Con el rodaballo se realizó un ensayo similar pero relativo a la fase de engorde, de 300 g a 1 Kg. La experiencia se llevó a cabo en tres tanques; dos de ellos en sistema de recirculación y uno en circuito abierto. Se partió de 82 ejemplares en cada tanque, con un peso medio de 206,80 g y 205,38 g los de circuito cerrado y 205,13 g el de circuito abierto. Al final de la experiencia, que duró seis meses, los peces alcanzaron un peso medio de 948,17 g y 988,42 g en los tanques de circuito cerrado y de 820,70 g en el de circuito abierto. (**Gráfica 2**)



**Gráfica 2:** Comparación de la evolución del crecimiento del rodaballo en circuito abierto y circuito cerrado.

Durante el año 2007 se llevarán a cabo las experiencias de engorde del rodaballo desde 1 kg hasta su talla más comercial, que es de 2 kg. También se realizarán ensayos para conocer el crecimiento del rodaballo durante la fase de preengorde en los dos sistemas.

En ambas experiencias (lenguado senegalés y rodaballo) se observa un crecimiento superior en los tanques en los que los peces se cultivan en sistemas de circuito cerrado.

Durante las experiencias realizadas se llevaron los siguientes controles:

### 1.1 Medición de los parámetros físico-químicos

Para comprobar el funcionamiento del sistema de recirculación se realizó la medición de una serie de parámetros físico-químicos que son los que afectan directamente a los cultivos; unos se registraron diariamente y otros semanalmente.

Los parámetros que se registraron fueron:

- Diariamente: temperatura, oxígeno, salinidad y pH.
- Semanalmente: nitritos, amonio y CO<sub>2</sub>.

Los registros de estos datos se realizan manualmente pero, además, las mediciones de los datos de pH, temperatura y oxígeno de los tanques de circuito cerrado se automatizaron, lo que permite conocer los valores de estos parámetros en continuo durante las 24 horas del día.

Los valores de estos parámetros oscilaron dentro de los siguientes valores:

PARÁMETROS	LENGUADO CIRCUITO CERRADO	LENGUADO CIRCUITO ABIERTO	RODABALLO CIRCUITO CERRADO	RODABALLO CIRCUITO ABIERTO
Temperatura	19,5 °C	13,5-20,5 °C	19,5 °C	13,5-20,5 °C
Oxígeno	7,5 ppm	6-7,5 ppm	7 ppm	7-6 ppm
Salinidad	35%	35%	35%	35%
pH	7,8	8,0	7,8	8,0
Nitritos	0,1-0,3 ppm		0,1-0,3 ppm	
Amonio	0,3 ppm		0,3 ppm	
CO <sub>2</sub>	0,8 ppm		0,8 ppm	

## 1.2 Control microbiológico

El seguimiento del control microbiológico se realizó quincenalmente, tomando muestras en cinco puntos distintos del circuito: salida de tanques, antes del ultravioleta, después del ultravioleta (antes del filtro biológico), salida *skimmer* y entrada de los tanques de cultivo. A continuación, se realizan las diluciones correspondientes ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ) para su posterior siembra en placas de Marine Agar y TCBS. Estas placas se incuban durante 48 horas, tras las cuales se realiza el recuento de las colonias. Inicialmente se realizaba el aislamiento de las colonias, pero como el tipo de colonia que crecía en las placas se repetía continuamente, se dejó de realizar esta operación y solo cuando aparece en las placas de siembra alguna colonia extraña se procede a su aislamiento. El resumen de los resultados de recuento las colonias de bacterias es el siguiente:

Siembra en Marine Agar					
	Salida tanque	Entrada ultravioleta	Salida ultravioleta (antes filtro biológico)	Salida <i>skimmer</i>	Entrada tanques
$10^{-1}$	Incontable	Incontable	<100	Incontable	<100
$10^{-2}$	>100	<100	<50	<30	<50
$10^{-3}$	<30	<10	No hay crecimiento	No hay crecimiento	No hay crecimiento
$10^{-4}$	No hay crecimiento	No hay crecimiento	No hay crecimiento	No hay crecimiento	No hay crecimiento

Siembras en TCBS					
	Salida tanque	Entrada ultravioleta	Salida ultravioleta (antes filtro biológico)	Salida <i>skimmer</i>	Entrada tanques
$10^{-1}$	<100	<100	<20	<20	<20
$10^{-2}$	<20	<10	<10	<10	<5
$10^{-3}$	<10	No hay crecimiento	No hay crecimiento	No hay crecimiento	No hay crecimiento
$10^{-4}$	No hay crecimiento	No hay crecimiento	No hay crecimiento	No hay crecimiento	No hay crecimiento



### 1.3 Muestreo de los peces de cultivo

Para comprobar la evolución del cultivo se realizaron muestreos de talla y peso, en el rodaballo mensualmente y en el lenguado quincenalmente. Con los datos de los muestreos se calculó: la talla media, el peso medio, la biomasa, la carga, el índice de conversión, la tasa de crecimiento diaria, el factor de condición y la eficiencia de crecimiento de cada tanque, para así poder comparar la evolución entre los tanques de circuito abierto y cerrado.

### Aplicación ozono en sistemas de recirculación

Este año también se inició el desarrollo del segundo objetivo, para ello se analizaron varias propuestas de aplicación del ozono en nuestro sistema de circuito cerrado y se llegó a la conclusión que la mayor efectividad de desinfección la íbamos a conseguir introduciendo el ozono en los *skimmers*. A continuación, se realizó el montaje del sistema de ozonización y se empezó a controlar la efectividad del ozono en el sistema incrementando a cinco los puntos de muestreo microbiológicos.

Los datos de medición del potencial redox también se automatizaron para tener un registro en continuo de estos valores.



Foto 11: Equipo para la producción y control del ozono.

### 3.- Informes y/o publicaciones generados.

Con los resultados obtenidos se prevé enviar comunicaciones al próximo Congreso Nacional de Acuicultura que se celebrará en Vigo durante los días 24-28 de septiembre de 2007.

#### 4.- Situación del proyecto.

Los objetivos que se establecieron para los años 2005 y 2006 se han desarrollado de acuerdo a los plazos previstos en el proyecto.

Durante el año 2007 se continuará con las pruebas de engorde que se vienen realizando y se desarrollará el tercer objetivo del proyecto: adaptación del sistema de recirculación al control de los reproductores.

Este objetivo se base en aplicar el sistema de recirculación a los tanques de cultivo en los que se mantienen los diferentes *stocks* de reproductores: lenguado común (*Solea solea*), lenguado senegalés (*Solea senegalensis*), rodaballo (*Psetta maxima*) y abadejo (*Pollachius pollachius*) y comprobar la eficacia de estos sistemas en el control y mantenimiento de la calidad del medio, factor que tiene una gran importancia en la reproducción de las diferentes especies de cultivo.

#### Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2007

**Proyecto coordinado:** Tecnología de la recirculación y desinfección en Acuicultura marina.

**Subproyecto:**

**Comunidad Autónoma:** Galicia.

**Organismo:** Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGaFA).

**Investigador principal:** José Luís Rodríguez Villanueva.

#### 1.- Situación Financiera.

Durante el año 2007 se ejecutó prácticamente en su totalidad el presupuesto correspondiente al año 2007.

#### 2.- Descripción de las actividades realizadas.

##### CONTROL DE LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN EL ENGORDE DE PECES PLANOS.

En el año 2007 se continuó con las experiencias iniciadas en el año 2006 para el cultivo de peces planos en circuito cerrado (Foto 1)





Foto 1: Visión general de las instalaciones del circuito cerrado.

En relación con el rodaballo (*Scophthalmus maximus*) se continuó el ciclo de engorde desde los 900 g, peso en que había finalizado la experiencia en el año 2006, hasta que los ejemplares alcanzaron el peso de 1400 g.

La experiencia se llevó a cabo en tres tanques; dos de ellos en sistema de recirculación y uno en circuito abierto (Foto 2). Se partió, de 30 ejemplares en cada tanque, con un peso medio de 944 g y 974 g los de circuito cerrado y 901g el de circuito abierto. Al final de la experiencia, que duró tres meses, los peces alcanzaron un peso medio de 1290 g y 1300 g en los tanques de circuito cerrado y de 1464 g en el de circuito abierto.



Foto 2: Tanques en los que se realizó la experiencia.

Durante este periodo se observó que los peces en circuito abierto tuvieron un crecimiento ligeramente superior a los peces cultivados en circuito cerrado, esto posiblemente se deba a que con temperaturas superiores a 18°C el crecimiento del rodaballo a partir de 1kg se ralentiza y la temperatura del agua en el circuito cerrado fue de  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  durante todo el periodo que duró la experiencia.

Para comprobar si existían diferencias significativas en las características organolépticas, entre los peces cultivados en circuito abierto y cerrado, se enviaron dos ejemplares de cada uno de los tanques a analizar al Centro Técnico Nacional de Conservación de Productos de la Pesca (CECOPESCA) ubicado en Vigo. La conclusión de los resultados del análisis por parte del laboratorio fue la siguiente: "Según el Ensayo de Ordenación realizado y tras la aplicación de la prueba de Friedman, se puede afirmar con un intervalo del 98%, que no existen diferencias significativas entre los atributos evaluados de las muestras sometidas al ensayo". Los atributos que se valoraron fueron los siguientes: aspecto, color de la carne, olor, textura y sabor.

Una vez finalizada el estudio de la fase de engorde del rodaballo, se inició una nueva experiencia para conocer la eficacia del sistema de recirculación durante la fase de preengorde. Se partió de tres lotes (A, B y C) de 236 ejemplares el lote A y 254 el lote B y C. El lote A tenía un peso medio inicial 14,10 g, el lote B de 12,45 g y el lote C de 12,32 g. Los individuos se mantuvieron durante toda la experiencia en tanques cuadrados de fondo plano de 1.5x1.5x0.8m, el lote A y B en circuito cerrado y el lote C en circuito abierto. La alimentación consistió en pienso de rodaballo flotante fabricado por la empresa Skretting, que se suministro diariamente en cuatro tomas y en régimen diurno, mediante comederos automáticos (Foto 3 y 4).

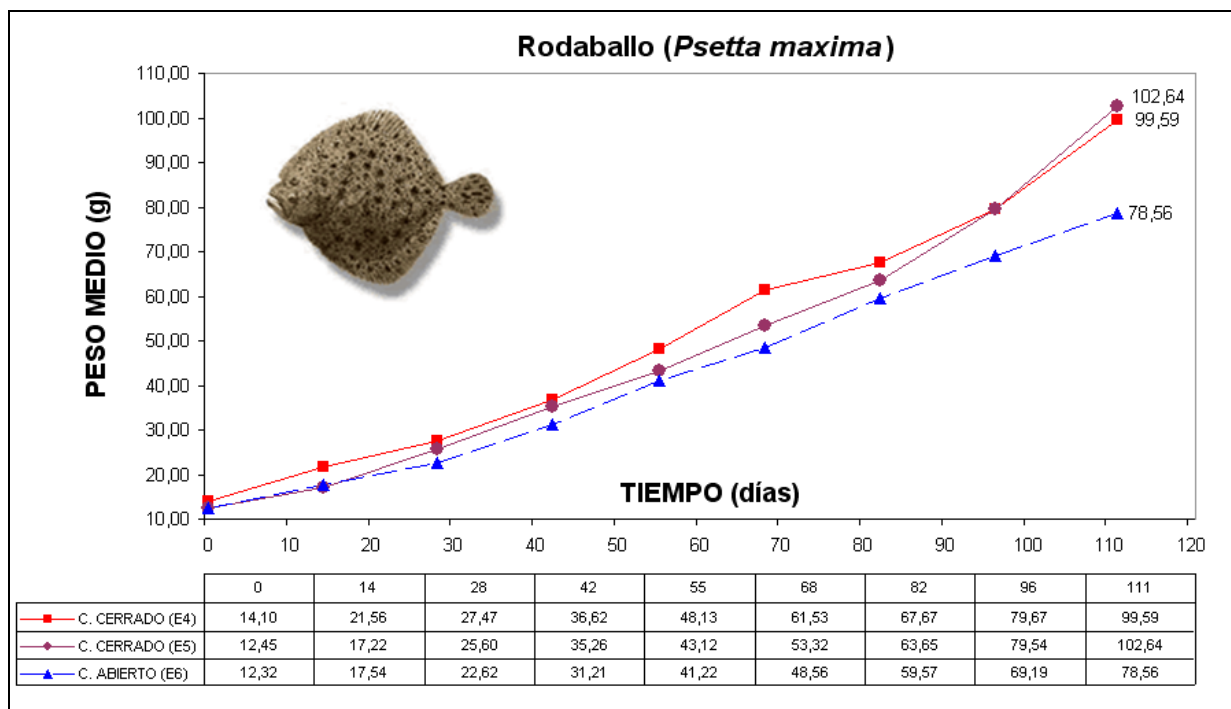


Foto 3 Tanques en los que se realizó la experiencia.



Foto 4: Tanque de cultivo en circuito cerrado.

Al final de la experiencia, que duró 111 días, los peces de los lotes que se mantuvieron en circuito cerrado (Ay B) alcanzaron un peso de 99,59 g y 102,64 g respectivamente, mientras que los peces del lote C que se mantuvo en circuito abierto alcanzaron un peso final de 78,56 g. (Grafica 1) Los valores de los índices de crecimiento también fueron mejores en el lote que se cultivo en circuito cerrado. Esta diferencia se debe fundamentalmente a que en los tanques del circuito cerrado la temperatura se mantuvo en  $19 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , mientras que el tanque de circuito abierto la temperatura osciló entre 12 y  $18^{\circ}\text{C}$ .



Gráfica 1. Evolución crecimiento de los tres lotes de juveniles de rodaballo



En relación al lenguado, durante los primeros meses del año 2007 se diseñaron tanques específicos para el cultivo de esta especie. Los tanques tienen forma elíptica, con dos tabiques en la parte central del tanque y con un desagüe en el centro, el objetivo de este diseño es favorecer la circulación del agua en el tanque y la distribución del alimento para conseguir unas mejores condiciones de cultivo del lenguado (Foto 4),



Foto 4: Tanques de cultivo de lenguado común.

Una vez finalizado el montaje de los tanques y para comprobar la eficacia de los mismos se inició una experiencia, que continua actualmente, de preengorde del lenguado común (*Solea solea*). La experiencia se realizó en tres tanques, dos de ellos en sistema de recirculación (1 y 2) y uno en circuito abierto (3). Se partió de 850 ejemplares en cada tanque, con un peso medio de 4,79 g el tanque 1 y 4,82 g el tanque 2 y 4,63 g los de circuito abierto. En enero de 2008 y cuando han transcurrido 64 días desde que se inició la experiencia, los peces de los tanques de circuito cerrado tienen un peso de 10,3 g y 11,17 g respectivamente y los individuos del tanque en circuito abierto un peso medio de 5,83 g. La mortalidad en los tanques de circuito cerrado hasta ese momento fue del 3,1% en el tanque 1, 4,4% en el tanque 2 y 11% en el tanque de circuito abierto. Como se puede observar, los peces que se mantienen en circuito cerrado tienen un crecimiento y una supervivencia muy superior a los lenguados que se cultivan en circuito abierto.

Durante las experiencias realizadas se llevaron los siguientes controles:

#### 1.4 Medición de los parámetros físico-químicos

Para comprobar el funcionamiento del sistema de recirculación se realizó la medición de una serie de parámetros físico-químicos que son los que afectan directamente a los cultivos; unos se registraron diariamente y otros semanalmente.

Los parámetros que se registraron fueron:

- Diariamente: temperatura, oxígeno, salinidad y pH.

- Semanalmente: nitritos, amonio y CO<sub>2</sub>.

Los registros de estos datos se realizan manualmente pero, además, las mediciones de los datos de pH, temperatura y oxígeno de los tanques de circuito cerrado se automatizaron, lo que permite conocer los valores de estos parámetros en continuo durante las 24 horas del día.

Los valores de estos parámetros oscilaron dentro de los siguientes valores:

PARAMETROS	LENGUADO EN CIRCUITO CERRADO	LENGUADO EN CIRCUITO ABIERTO	RODABALLO EN CIRCUITO CERRADO	RODABALLO EN CIRCUITO ABIERTO
Temperatura	18±1 °C	12-15	19±1°C	12-18
Oxígeno	7-7.5	6-7.5	7-7.5	6-7
Salinidad	35	35	35	35
pH	7.5-7.8	8.0	7.5-7.8	8.0
Nitritos	0.1-0.3 ppm		0.1-0.3ppm	
Amonio	0.3 ppm		0.3ppm	
CO <sub>2</sub>	0.8 ppm		0.8ppm	

### 1.5 Control microbiológico

El seguimiento del control microbiológico se realizó quincenalmente, tomando muestras en cinco puntos distintos del circuito: salida de tanques, antes del ultravioleta, después del ultravioleta (antes del filtro biológico), salida *skimmer* y entrada de los tanques de cultivo. A continuación, se realizan las diluciones correspondientes ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ) para su posterior siembra en placas de Marine Agar y TCBS. Estas placas se incuban durante 48 horas, tras las cuales se realiza el recuento de las colonias. Inicialmente se realizaba el aislamiento de las colonias, pero como el tipo de colonia que crecía en las placas se repetía continuamente, se dejó de realizar esta operación y solo cuando aparece en las placas de siembra alguna colonia extraña se procede a su aislamiento.

El resumen de los resultados de recuento de las colonias de bacterias es el siguiente:

FECHAS	S.T ( Salida tanque )		E.V ( Entrada ultravioleta)		E.F ( Entrada filtro biológico , salida ultrav.)		E.T ( Entrada tanque )		S.K ( Salida Skimmer )	
	M.A	TCBS	M.A	TCBS	M.A	TCBS	M.A	TCBS	M.A	TCBS
04/2006	5,4x10 <sup>4</sup>	1,32x10 <sup>4</sup>	1,62x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>3</sup>	5,1x10 <sup>2</sup>	no crecim.	3,8x10 <sup>3</sup>	1,9x10 <sup>2</sup>	-	-
05/2006	5x10 <sup>4</sup>	8,5x10 <sup>2</sup>	9,5x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>2</sup>	1,39x10 <sup>3</sup>	no crecim.	8,2x10 <sup>2</sup>	6x10 <sup>1</sup>	-	-
06/2006	2,21x10 <sup>4</sup>	6,9x10 <sup>3</sup>	1,26x10 <sup>4</sup>	1,7x10 <sup>3</sup>	1,11x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>1</sup>	7,3x10 <sup>2</sup>	9x10 <sup>1</sup>	-	-
07/2006	9,3x10 <sup>3</sup>	1,6x10 <sup>3</sup>	2,4x10 <sup>3</sup>	3,5x10 <sup>2</sup>	no crecim.	no crecim.	4,9x10 <sup>2</sup>	no crecim.	2x10 <sup>1</sup>	no crecim.
08/2006	3,8x10 <sup>4</sup>	2,7x10 <sup>2</sup>	1,01x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup>	3,4x10 <sup>2</sup>	no crecim.	5,1x10 <sup>2</sup>	no crecim.	8x10 <sup>1</sup>	no crecim.
09/2006	1x10 <sup>5</sup>	8x10 <sup>2</sup>	3,9x10 <sup>3</sup>	6x10 <sup>1</sup>	6x10 <sup>2</sup>	no crecim.	1,18x10 <sup>3</sup>	no crecim.	5x10 <sup>1</sup>	no crecim.
10/2006	1,5x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>2</sup>	2,09x10 <sup>3</sup>	1,1x10 <sup>2</sup>	3x10 <sup>4</sup>	4,4x10 <sup>3</sup>	2,3x10 <sup>4</sup>	-	3x10 <sup>4</sup>	3,6x10 <sup>3</sup>
12/2006	3,8x10 <sup>4</sup>	2,3x10 <sup>4</sup>	1,04x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>3</sup>	4x10 <sup>4</sup>	7x10 <sup>3</sup>	1,69x10 <sup>4</sup>	9x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>3</sup>
01/2007	-	6,6x10 <sup>3</sup>	9x10 <sup>4</sup>	6x10 <sup>3</sup>	6,1x10 <sup>4</sup>	-	3,69x10 <sup>4</sup>	2x10 <sup>3</sup>	2,9x10 <sup>4</sup>	8,5x10 <sup>3</sup>
02/2007	2x10 <sup>4</sup>	5,8x10 <sup>3</sup>	6x10 <sup>4</sup>	3,5x10 <sup>3</sup>	1,4x10 <sup>4</sup>	1,33x10 <sup>3</sup>	8,5x10 <sup>4</sup>	2,3x10 <sup>3</sup>	3,3x10 <sup>4</sup>	9,9x10 <sup>2</sup>
04/2007	1,19x10 <sup>5</sup>	6x10 <sup>3</sup>	1,4x10 <sup>4</sup>	4x10 <sup>2</sup>	1,3x10 <sup>4</sup>	7x10 <sup>3</sup>	9,5x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>1</sup>	1x10 <sup>1</sup>
06/2007	7,6x10 <sup>5</sup>	2,5x10 <sup>3</sup>	4,4x10 <sup>3</sup>	no crecim.	3x10 <sup>2</sup>	6x10 <sup>2</sup>	-	1,01x10 <sup>3</sup>	no crecim.	no crecim.
07/2007	3x10 <sup>4</sup>	8x10 <sup>2</sup>	5,9x10 <sup>3</sup>	no crecim.	8,2x10 <sup>3</sup>	7x10 <sup>1</sup>	3x10 <sup>3</sup>	4x10 <sup>1</sup>	2,9x10 <sup>3</sup>	6x10 <sup>1</sup>
08/2007	9,1x10 <sup>4</sup>	7,4x10 <sup>3</sup>	9x10 <sup>3</sup>	no crecim.	9,4x10 <sup>2</sup>	no crecim.	3,1x10 <sup>2</sup>	no crecim.	no crecim.	no crecim.
09/2007	1,7x10 <sup>4</sup>	1,2x10 <sup>3</sup>	6,1x10 <sup>2</sup>	no crecim.	1,7x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>1</sup>	4,3x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>1</sup>	1,19x10 <sup>3</sup>	3x10 <sup>1</sup>
10/2007	1,9x10 <sup>5</sup>	1,5x10 <sup>3</sup>	7,6x10 <sup>3</sup>	no crecim.	6x10 <sup>1</sup>	1x10 <sup>1</sup>	7,8x10 <sup>2</sup>	9x10 <sup>1</sup>	9,9x10 <sup>2</sup>	1,1x10 <sup>2</sup>

## 1.6 Muestreo de los peces de cultivo

Para comprobar la evolución del cultivo de rodaballo y lenguado común se realizaron muestreos quincenales de talla y peso. Con los datos de los muestreos se calculó: la talla media, el peso medio, la biomasa, la carga, el índice de conversión, la tasa de crecimiento diaria, el factor de condición y la eficiencia de crecimiento de cada tanque, para así poder comparar la evolución entre los tanques de circuito abierto y cerrado.

## ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN AL CONTROL DE LOS REPRODUCTORES

Uno de los objetivos del subproyecto de la Comunidad Autónoma de Galicia, era la aplicación de la experiencia adquirida, con los sistemas de recirculación en el engorde de peces planos, en el diseño de sistemas de recirculación para el mantenimiento y control de los tanques de reproductores. (Fotos 5 a 8)

Para ello, se diseñaron y se realizó el montaje de dos modelos diferentes: uno en el que la esterilización del agua se basa en sistemas de ultravioleta y otro en que esa esterilización se realiza mediante la aplicación de ozono.

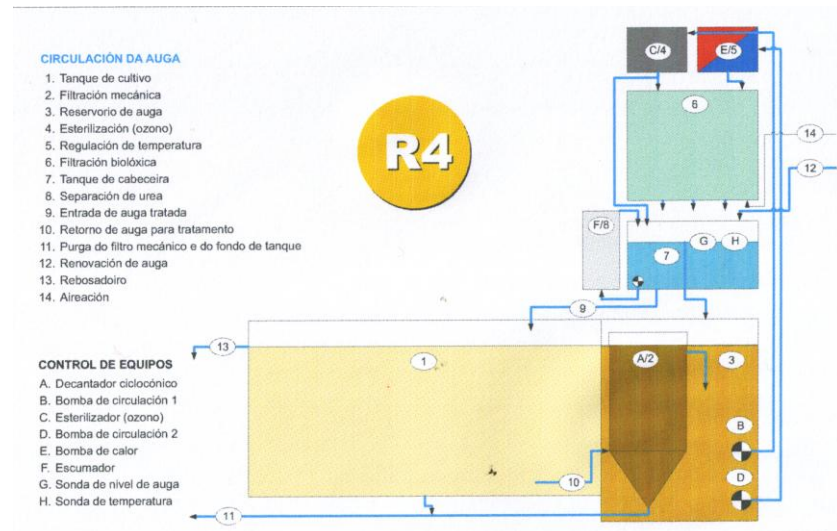
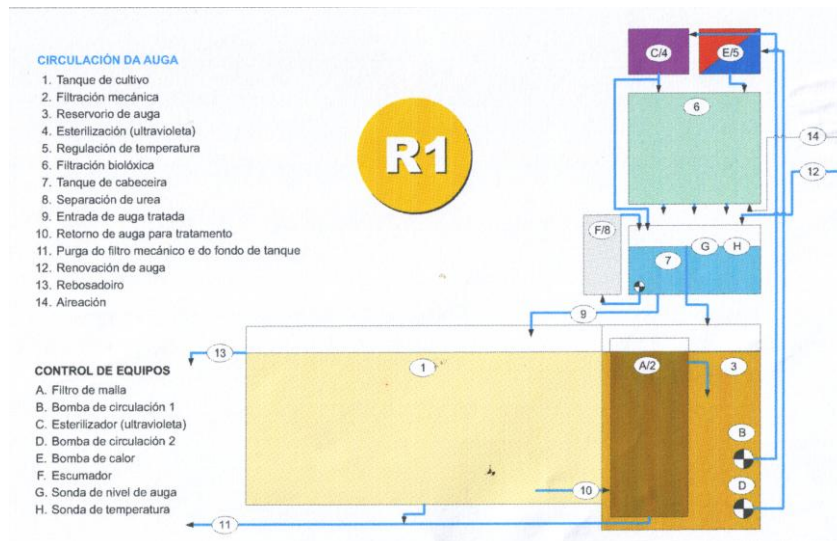






Foto 5: Tanque de reproductores.



Foto 6: Equipamiento del sistema de circuito cerrado de un tanque de reproductores.



Foto 7: Cuadro de control y alarmas de los tanques de reproductores.

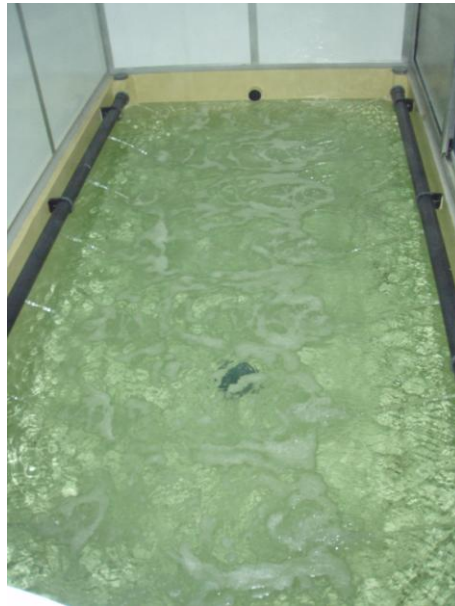


Foto 8: Circulación agua en el tanque de reproductores.

El montaje de todas las instalaciones se finalizó en Diciembre de 2007 y a lo largo de 2008 se va a realizar el control del funcionamiento de estos sistemas y la influencia sobre la maduración y calidad de la puesta de cuatro stocks de reproductores de peces marinos: abadejo, lenguado senegalés, lenguado común y rodaballo.

### **3.- Informes y/o publicaciones generados.**

J.L Rodríguez, B. F. Souto and J.M. Quintans, 2007. Comparison of the growth of turbot (*Psetta maxima*) in open and closed circuit systems. Aquaculture Europe07, Istanbul.

Carmen López, A. González, J. M. Quintán y J.L. Rodríguez, 2007. Datos Preliminares del control de parámetros físico- químicos y bacteriológicos en circuito cerrado de peces planos. X Foro dos Recursos Mariños e da Acuicultura das Rías Galegas

### **4.- Situación del proyecto.**

Los objetivos que se establecieron se han desarrollado de acuerdo a los plazos previstos en el proyecto.

Durante los primeros meses del año 2008 se continuará tomando datos de las experiencias iniciadas a finales del año 2007 y se elaborará el informe final del proyecto.

## Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2008

**Proyecto coordinado:** Tecnología de la recirculación y desinfección en Acuicultura marina.

**Subproyecto:**

**Comunidad Autónoma:** Galicia.

**Organismo:** Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGaFA).

**Investigador principal:** José Luís Rodríguez Villanueva.

### 2.- Descripción de las actividades realizadas.

En el año 2008, continuando con el desarrollo de uno de los objetivos del proyecto se llevo a cabo la estabulación de los reproductores y se realizó el control de los diferentes sistemas de recirculación instalados en los tanques y que ya se describieron en la memoria del año 2007.

En estos momentos, el IGaFA dispone de cuatro stocks de reproductores: rodaballo (*Scophthalmus maximus*), lenguado senegalés (*Solea senegalensis*), lenguado común (*Solea solea*) y abadejo (*Pollachius pollachius*) estabulados en tanques rectangulares de hormigón y cada uno de ellos dispone de un sistema propio de recirculación.

Para el control del sistema y del acondicionamiento de los reproductores se llevo a cabo la medición de una serie parámetros físico-químicos, unos se registraron diariamente y otros semanalmente.

Los parámetros que se registraron fueron:

- Diariamente: temperatura, salinidad, oxígeno y pH
- Semanalmente: nitritos, amonio, nitratos y CO<sub>2</sub>

Los registros de estos datos se realizan manualmente pero, además, las mediciones de los datos de temperatura y oxígeno de cada uno de los tanques de reproductores se automatizaron, lo que permite conocer los valores de estos parámetros en continuo durante las 24 horas del día.

Los valores de los parámetros para cada uno de los tanques de reproductores oscilaron dentro de los siguientes valores

PARAMETROS	RODABALLO	LENGUADO SENEGALÉS	LENGUADO COMUN	ABADEJO
Salinidad	34-37 <sup>0</sup> / <sub>100</sub>	34-37 <sup>0</sup> / <sub>100</sub>	34-37 <sup>0</sup> / <sub>100</sub>	34-37 <sup>0</sup> / <sub>100</sub>
Oxígeno	7-9 mg/l	7-9 mg/l	7-9 mg/l	7-9 mg/l
Temperatura	13 <sup>0</sup> C	14-17 <sup>0</sup> C	12-15 <sup>0</sup> C	12-13 <sup>0</sup> C
pH	7,8	7,9	7,9	7,9
Amonio total	0,40 mg/l	0,20 mg/l	0,20 mg/l	0,30 mg/l
Amoníaco	0	0	0	0
Nitritos	0,55 mg/l	0,20 mg/l	0,30 mg/l	0,30 mg/l
Nitratos	40 mg/l	15 mg/l	20 mg/l	40 mg/l
CO <sub>2</sub>	< 2,5 mg/l	< 2,5 mg/l	< 2,5 mg/l	< 2,5 mg/l

El seguimiento del control microbiológico se realizó quincenalmente, tomando muestras en diferentes puntos del circuito dependiendo del sistema de esterilización. En los tanques que el agua se esteriliza con ultravioleta (rodaballo y lenguado senegalés): a la salida tanques, en la salida del ultravioleta, después filtro biológico y antes de regresar el agua a los tanques. En los tanques con esterilización mediante ozono (lenguado común y abadejo): en la salida de los tanques, salida del skimmer (punto donde se inyecta el ozono) y a la salida del filtro biológico antes de volver a los tanques de cultivo.

A continuación, se realizan las diluciones correspondientes ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ) para su posterior siembra en placas de Marine Agar y TCBS. Estas placas se incuban durante 48 horas, tras las cuales se realiza el recuento de las colonias. Inicialmente se realizaba el aislamiento de las colonias, pero como el tipo de colonia que crecía en las placas se repetía continuamente, se dejó de realizar esta operación y solo cuando aparece en las placas de siembra alguna colonia extraña se procede a su aislamiento.

El resumen de los resultados de recuento de las colonias de bacterias en cada uno de los tanques de reproductores es el siguiente:

RODABALLO	ET/SF		ST		SV/EF	
	MA	TCBS	MA	TCBS	MA	TCBS
ABRIL 08	$3 \times 10^1$	$1 \times 10^1$	$1,6 \times 10^2$	$1 \times 10^1$	$1,7 \times 10^1$	No crec
MAYO 08	$2,4 \times 10^1$	$1 \times 10^1$	$1,1 \times 10^3$	$0,9 \times 10^1$	$1,3 \times 10^2$	No crec
JUNIO 08	$6,1 \times 10^2$	No crec	$2,3 \times 10^3$	No crec	$3,1 \times 10^1$	No crec
JULIO 08	$7,6 \times 10^2$	No crec	$6 \times 10^2$	No crec	$4 \times 10^1$	No crec
AGOSTO 08	$3,9 \times 10^1$	$0,6 \times 10^1$	$8 \times 10^2$	$1 \times 10^1$	$8 \times 10^1$	No crec
SEPTIEMBRE 08	$2,5 \times 10^1$	No crec	$7,6 \times 10^2$	$1 \times 10^1$	$4,7 \times 10^2$	No crec
OCTUBRE 08	$6,6 \times 10^1$	No crec	$2,8 \times 10^3$	No crec	$5,1 \times 10^1$	No crec
NOVIEMBRE 08	$3,5 \times 10^2$	No crec	$5,1 \times 10^2$	No crec	$1,2 \times 10^2$	No crec
DICIEMBRE 08	$1,1 \times 10^2$	No crec	$1,6 \times 10^3$	No crec	$1,3 \times 10^2$	No crec
ENERO 09	$1,2 \times 10^2$	No crec	$9 \times 10^2$	No crec	$9 \times 10^2$	No crec
FEBRERO09	$0,7 \times 10^1$	No crec	$9 \times 10^2$	No crec	$9 \times 10^2$	No crec

LENGUADO SENEGALES	ET/SF		ST		SV/EF	
	MA	TCBS	MA	TCBS	MA	TCBS
ABRIL 08	$9,2 \times 10^2$	$0,9 \times 10^1$	$9,3 \times 10^2$	$2,6 \times 10^1$	$2,5 \times 10^1$	$0,2 \times 10^1$
MAYO 08	$4,8 \times 10^2$	No crec	$3 \times 10^3$	No crec	$3,1 \times 10^1$	$1 \times 10^1$
JUNIO 08	$6,1 \times 10^2$	No crec	$4 \times 10^2$	$1,8 \times 10^1$	$3,5 \times 10^1$	No crec
JULIO 08	$2,7 \times 10^2$	No crec	$1 \times 10^3$	$2,3 \times 10^1$	No crec	No crec
AGOSTO 08	$3,1 \times 10^1$	No crec	$2,3 \times 10^2$	No crec	No crec	No crec
SEPTIEMBRE 08	$3 \times 10^1$	No crec	$1,1 \times 10^2$	No crec	No crec	No crec
OCTUBRE 08	$1,6 \times 10^1$	No crec	$2,6 \times 10^1$	No crec	$1,1 \times 10^1$	No crec
NOVIEMBRE 08	$2 \times 10^1$	No crec	$1,2 \times 10^1$	No crec	No crec	No crec
DICIEMBRE 08	$1,8 \times 10^1$	No crec	$1,2 \times 10^2$	$1,1 \times 10^1$	$1,8 \times 10^1$	No crec
ENERO 09	$0,9 \times 10^1$	No crec	$0,6 \times 10^1$	No crec	No crec	No crec
FEBRERO09	$0,7 \times 10^1$	No crec	$0,3 \times 10^1$	No crec	No crec	No crec

ET/ SF	Entrada a tanques y salida de filtro biológico
ST	Salida de tanques
SV/ EF	Salida Ultravioleta y Entrada de filtro biológico
MA	Marine agar

TCBS Medio específico vibrios

LENGUADO COMUN	ET/SF		ST		SK	
	MA	TCBS	MA	TCBS	MA	TCBS
ABRIL 08	$9,8 \times 10^2$	$3,1 \times 10^1$	$1,8 \times 10^3$	$0,8 \times 10^1$	$9,6 \times 10^2$	$4 \times 10^1$
MAYO 08	$9,1 \times 10^1$	$1,3 \times 10^1$	$1,1 \times 10^3$	$0,6 \times 10^1$	$8,1 \times 10^2$	$0,7 \times 10^1$
JUNIO 08	$9,5 \times 10^1$	$2,1 \times 10^1$	$2,5 \times 10^3$	$1 \times 10^1$	$5,4 \times 10^2$	No crec
JULIO 08	$3 \times 10^2$	No crec	$1,9 \times 10^2$	No crec	$6,6 \times 10^1$	No crec
AGOSTO 08	$4,1 \times 10^1$	No crec	$2,3 \times 10^2$	No crec	$4 \times 10^1$	No crec
SEPTIEMBRE 08	$2 \times 10^1$	No crec	$6 \times 10^1$	$1,2 \times 10^1$	$1,1 \times 10^1$	No crec
OCTUBRE 08	$3,4 \times 10^1$	No crec	$4,2 \times 10^2$	No crec	$2 \times 10^1$	No crec
NOVIEMBRE 08	$2,6 \times 10^1$	No crec	$5,1 \times 10^1$	No crec	$3,3 \times 10^1$	No crec
DICIEMBRE 08	$1,3 \times 10^1$	No crec	$2,9 \times 10^1$	No crec	$0,9 \times 10^1$	No crec
ENERO 09	No crec	No crec	$1,2 \times 10^1$	No crec	$1,6 \times 10^1$	No crec
FEBRERO09	$0,6 \times 10^1$	No crec	$1,1 \times 10^1$	No crec	No crec	No crec

ABADEJO	ET/SF		ST		SK	
	MA	TCBS	MA	TCBS	MA	TCBS
ABRIL 08	$1,6 \times 10^1$	No crec	$3 \times 10^1$	No crec	$8,1 \times 10^1$	No crec
MAYO 08	$2,5 \times 10^1$	No crec	$6,1 \times 10^1$	No crec	$4,2 \times 10^1$	No crec
JUNIO 08	$7,8 \times 10^1$	No crec	$2,3 \times 10^2$	No crec	$5 \times 10^1$	No crec
JULIO 08	$1,3 \times 10^2$	No crec	$3 \times 10^2$	No crec	$0,9 \times 10^1$	No crec
AGOSTO 08	$3,2 \times 10^2$	No crec	$8,4 \times 10^2$	$0,6 \times 10^1$	$2,8 \times 10^2$	No crec
SEPTIEMBRE 08	$6,6 \times 10^1$	No crec	$9 \times 10^1$	$1 \times 10^1$	$3,7 \times 10^1$	No crec
OCTUBRE 08	$4,1 \times 10^1$	$0,4 \times 10^1$	$1,1 \times 10^2$	$1,1 \times 10^1$	$2,1 \times 10^1$	$0,1 \times 10^1$
NOVIEMBRE 08	$1,1 \times 10^2$	$1,3 \times 10^1$	$1,6 \times 10^2$	$2,1 \times 10^1$	$0,8 \times 10^2$	$1 \times 10^1$
DICIEMBRE 08	$0,6 \times 10^2$	No crec	$1 \times 10^2$	No crec	$0,3 \times 10^2$	No crec
ENERO 09	$1,3 \times 10^2$	$0,5 \times 10^1$	$3,8 \times 10^2$	No crec	$8,3 \times 10^1$	$0,4 \times 10^1$
FEBRERO09	$1,8 \times 10^2$	No crec	$1,8 \times 10^2$	No crec	$0,9 \times 10^1$	No crec

ET/ SF	Entrada a tanques y salida de filtro biológico
ST	Salida de tanques
SK	Salida skimmer
MA	Marine agar
TCBS	Medio específico vibrios

Los resultados obtenidos a lo largo de 2008, tanto de los parámetros físico-químicos como microbiológicos, demuestran que los sistemas de recirculación instalados funcionan con mucha eficiencia y no se observan diferencias entre los dos sistemas de esterilización testados: radiaciones ultravioleta y ozono.

**Informes y/o publicaciones generados en 2008**

J.L Rodríguez, B. F. Souto R. Figueiro, J.M. Quintans and C. Canosa 2008. Preongrowing of turbot ( *Scophthalmus maximus* ) in recirculation systems and in open circuit . Aquaculture Europe 08, Cracovia (Poland).



## MURCIA (INFORMES 2005, 2006, 2007)

### Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2005

**Proyecto coordinado:** Tecnología de recirculación y desinfección en Acuicultura marina.

**Subproyecto:** Optimización de sistemas de recirculación de agua en centros de I+D de acuicultura marina.

**Comunidad Autónoma:** Murcia

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

**Investigador principal:** Benjamín García García

#### 1.- Situación Financiera.

El IMIDA gestionó con anterioridad un crédito de los fondos disponiendo los investigadores del 100% desde primeros de año. El presupuesto se ejecutó al 100%.

#### 2.- Descripción de las actividades realizadas.

-Durante el año 2005 se ha completado la instalación y puesta a punto de todos los componentes de los circuitos cerrados, entre los que se incluyen tres bombas de calor con intercambiador de titanio (Air-Energy Modelo 400-Ti) para regular la temperatura del agua. En total las instalaciones experimentales del IMIDA cuentan con 7 circuitos cerrados cuyos elementos se describen en la Tabla I.

**Tabla I.** Componentes de los circuitos cerrados de las instalaciones de acuicultura marina del IMIDA en San Pedro del Pinatar (Murcia).

Circuito cerrado	Tipo <sup>1</sup>	Nº tanques, tipo Volumen (l)	Filtro arena	Filtro biológico	Filtro percolación	Skimmer	U.V.	RTA <sup>2</sup>	Volumen circuito (m <sup>3</sup> )
LH1-CC1	P	15, circulares 482 l	1 290 l	1 290 l		1	1 65 W	AC/RE	9,4
LH1-CC2	P	15, circulares 482 l	1 290 l	1 290 l		1	1 65 W	AC/RE	9,4
LH2-CC1	G	12, circulares 849 l	2 750 l	1 750 l	1 900 l	1	2 37 W	BC/RE	13,2
LH2-CC2	G	16, circulares 216 l	1 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	4,5
LH2-CC3	G	5, circulares 1994 l	2 750 l	1 750 l	1 900 l	1	1 65 W	BC	12,9
LH2-CC4	G	16, troncocónicos 263 l	2 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	5,4
LH2-CC5	G	15, troncocónicos 93 l	1 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	2,3

<sup>1</sup>Tipo de circuito: P = El agua llega a los tanques de cultivo por la presión de la bomba impulsora; G = El agua llega por gravedad desde el tanque de percolación.

<sup>2</sup>RTA = Regulación de la temperatura: AC = Aire acondicionado; RE = Resistencia eléctrica (3500 W); BC = Bomba de calor

## - Actividad 1. Revisión bibliográfica.

Se han recopilado parámetros de calidad del agua referentes a diversas especies de interés en acuicultura y que se resumen en la Tabla II.

**Tabla II.** Parámetros de calidad del agua para especies de interés en acuicultura marina.

Parámetro	Especie	Seguros	Peligrosos	Letales	Referencia
<b>N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> (mg/l)	<i>Dicentrarchus labrax</i>	2,2		22,2	Person-Le Ruyet et al., 1995
	<i>Sparus auratus</i>	1,2	8,2	13	Wasibrot et al., 1991, 1993
	<i>Anguilla anguilla</i>	<6,2		55,9	Sadler, 1982
	<i>Diplodus sargus</i>		2,1	20	Brownell, 1980
	<i>Scophthalmus maximus</i>	3,3		33,5	Person-Le Ruyet et al., 1994, 1995
	<i>Solea solea</i>	2,3		40,1	Alderson, 1979
<b>N-NH<sub>3</sub></b> (mg/l)	<i>Dicentrarchus labrax</i>	0,097		0,97	Person-Le Ruyet et al., 1995
	<i>Sparus auratus</i>	0,064	0,47	0,74	Wasibrot et al., 1991, 1993
	<i>Anguilla anguilla</i>	<0,12		1,08	Sadler, 1982
	<i>Diplodus sargus</i>		0,03	0,29	Brownell, 1980
	<i>Scophthalmus maximus</i>	0,15		1,5	Person-Le Ruyet et al., 1994, 1995
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b> (mg/l)	<i>Solea solea</i>	0,045		0,77	Alderson, 1979
	<i>Dicentrarchus labrax</i>	0,1	13	95	Scarano et al., 1984; Blanchet-Besson, 1986
	<i>Anguilla anguilla</i>			503	Saroglia et al., 1981
	<i>Diplodus sargus</i>		150	870	Brownell, 1980
	<i>Lithognathus mormyrus</i>		60	670	Brownell, 1980
	Larvas, general	<0,1			Tucker, 1998
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> (mg/l)	Adultos, general	<1,0			Tucker, 1998
	<i>Diplodus sargus</i>		270	3100	Brownell, 1980
	<i>Lithognathus mormyrus</i>		270	3020	Brownell, 1980
	<i>Scophthalmus maximus</i>	342			Poxton & Allouse, 1982
	Larvas, general	<20			Tucker, 1998
	Adultos, general	<50			Tucker, 1998

## -Actividad 2.

Se han elaborado tablas referentes al porcentaje de amoníaco no iónico (N-NH<sub>3</sub>) respecto del amoníaco total (N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) presente en el agua en función del pH, temperatura y salinidad (ver Tabla III). Además se ha iniciado la elaboración de una aplicación informática en entorno Windows que permite calcular la concentración de N-NH<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> o N-NH<sub>3</sub> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> según la medida analítica realizada, así como la transformación de las diferentes unidades que se utilizan comúnmente en la publicaciones (mg/l, μmoles/l, μg-at/l). Se incluye también la transformación de las unidades de oxígeno disuelto en mg/l o % de saturación.

**Tabla III.** Porcentaje de amoníaco no iónico (N-NH<sub>3</sub>) en disolución respecto del total de amoníaco disuelto (N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

**Salinidad = 30 ‰**

T (°C) / pH	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4
12	0,17	0,27	0,44	0,69	1,09	1,71	2,68	4,19
14	0,20	0,32	0,51	0,80	1,26	1,99	3,12	4,85
16	0,24	0,37	0,59	0,93	1,47	2,31	3,61	5,61
18	0,27	0,43	0,69	1,08	1,70	2,67	4,17	6,46
20	0,32	0,50	0,79	1,25	1,97	3,09	4,81	7,41
22	0,37	0,58	0,92	1,45	2,27	3,56	5,52	8,48
24	0,42	0,67	1,06	1,67	2,62	4,09	6,33	9,67
26	0,49	0,77	1,22	1,92	3,01	4,68	7,22	10,98
28	0,56	0,89	1,40	2,20	3,44	5,35	8,22	12,44
30	0,65	1,02	1,61	2,52	3,94	6,10	9,33	14,03

**Salinidad = 35 ‰**

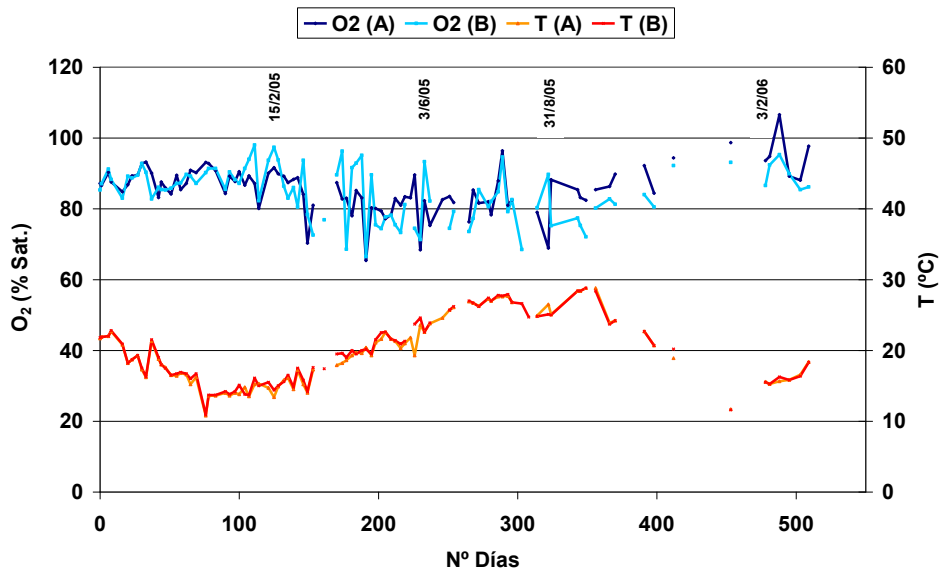
T (°C) / pH	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4
12	0,17	0,26	0,42	0,66	1,05	1,65	2,59	4,04
14	0,20	0,31	0,49	0,77	1,22	1,92	3,01	4,68
16	0,23	0,36	0,57	0,90	1,42	2,23	3,48	5,41
18	0,26	0,42	0,66	1,04	1,64	2,58	4,03	6,23
20	0,31	0,48	0,77	1,21	1,90	2,98	4,64	7,16
22	0,35	0,56	0,88	1,40	2,19	3,43	5,33	8,20
24	0,41	0,65	1,02	1,61	2,53	3,94	6,11	9,35
26	0,47	0,75	1,18	1,85	2,90	4,52	6,98	10,63
28	0,54	0,86	1,35	2,12	3,33	5,17	7,95	12,04
30	0,62	0,98	1,55	2,43	3,80	5,89	9,03	13,59

**Salinidad = 40 ‰**

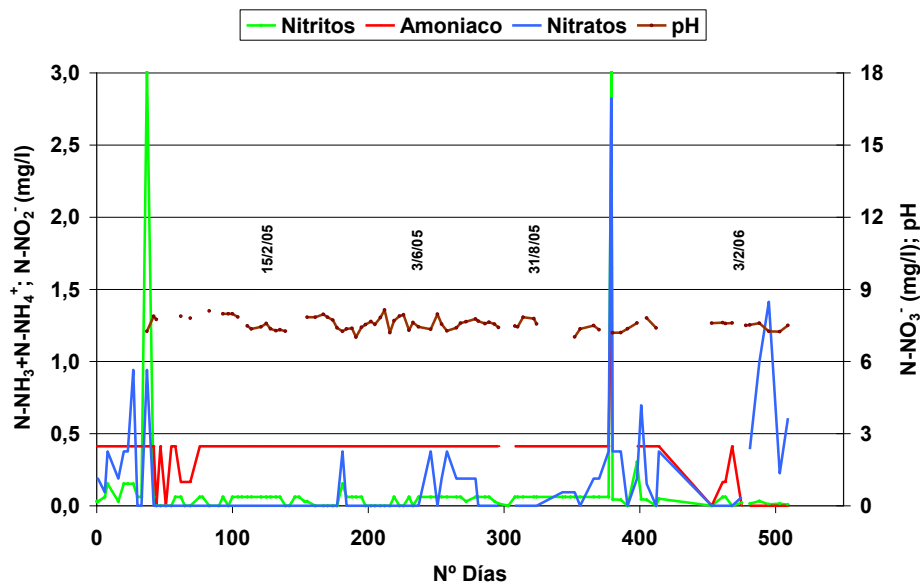
T (°C) / pH	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4
12	0,16	0,25	0,40	0,64	1,01	1,59	2,49	3,89
14	0,19	0,30	0,47	0,74	1,17	1,85	2,90	4,51
16	0,22	0,35	0,55	0,87	1,36	2,15	3,36	5,22
18	0,25	0,40	0,64	1,00	1,58	2,49	3,88	6,02
20	0,29	0,47	0,74	1,16	1,83	2,87	4,48	6,91
22	0,34	0,54	0,85	1,34	2,11	3,31	5,15	7,92
24	0,39	0,62	0,98	1,55	2,44	3,81	5,90	9,04
26	0,45	0,72	1,13	1,78	2,80	4,36	6,74	10,28
28	0,52	0,83	1,30	2,05	3,21	4,99	7,69	11,66
30	0,60	0,95	1,49	2,35	3,67	5,69	8,73	13,17

- Actividad 3.

Se ha realizado el seguimiento de los parámetros de calidad del agua en los circuitos cerrados. Se han registrado oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, pH, amoníaco, nitritos y nitratos, tanto en el agua de entrada a los tanques como en el tanque de expansión o reservorio que recoge el agua de salida. En la gráficas 1 y 2 se representa la evolución de los parámetros correspondientes al circuito LH2CC1 para cargas de cultivo que oscilaron entre 3,9 y 10,3 Kg/m<sup>3</sup> de sargo picudo (*Diplodus puntazzo*) alimentados a saciedad. Los valores de oxígeno en el tanque de expansión oscilaron entre el 65 y 105 % de saturación, la temperatura entre 10,8 y 28,8 °C, la salinidad entre el 36 y 40 ‰ y el pH entre 7,0 y 8,1.



**Gráfica 1.** Registro de los valores de oxígeno y temperatura en el tanque de expansión (A) y la entrada de agua a los tanques (B) en el circuito LH2CC1 (*D. puntazzo*; Nov04-Mar06).



**Gráfica 2.** Registro de los valores de amoníaco total (N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitritos (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y pH en el tanque de expansión en el circuito LH2CC1 (*D. puntazzo*; Nov04-Mar06).

En cuanto a los productos nitrogenados se alcanzaron valores máximos de amoníaco total disuelto (N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) de 1,6 mg/l, de nitritos (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) 3,0 mg/l y de nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 16,9 mg/l (valores registrados con kits colorimétricos cualitativos).

Recientemente se ha adquirido un colorímetro portátil (ORION, Aquafast IV) para la determinación de amoníaco, nitritos y nitratos, que permite obtener medidas más precisas que los kits colorimétricos cualitativos para acuarios. El colorímetro permite la determinación para los rangos de 0-7 mg/l (N-NH<sub>3</sub>+N-

$\text{NH}_4^+$ ), 0-0,8 mg/l ( $\text{N-NO}_2^-$ ) y 0-60 mg/l ( $\text{NO}_3^-$ ) y se han realizado rectas de calibración con patrones de concentración conocida y con agua marina sintética obteniendo resultados fiables (Tabla IV).

**Tabla IV.** Valores esperados y observados de productos nitrogenados obtenidos para las rectas de calibración del colorímetro Aquafast IV.

$\text{N-NH}_3+\text{N-NH}_4^+$	valor esperado	valor observado
patrón nº1	0,014	0,035
patrón nº2	0,028	0,042
patrón nº3	0,137	0,121
patrón nº4	0,275	0,280
patrón nº5	1,398	1,418
patrón nº6	4,187	4,132

$\text{N-NO}_2^-$	valor esperado	valor observado
patrón nº1	0,05	0,057
patrón nº2	0,1	0,109
patrón nº3	0,2	0,188
patrón nº4	0,5	0,551
patrón nº5	1	fuera de rango

$\text{NO}_3^-$	valor esperado	valor observado
patrón nº1	5	3,731
patrón nº2	10	11,91
patrón nº3	25	29,42
patrón nº4	40	40,32
patrón nº5	60	fuera de rango

Finalmente se ha adquirido una sonda multiparámetrica (Modelo YSI 556 MPS) para registro y almacenamiento de series de datos (temperatura, oxígeno, salinidad, pH y potencial redox).

### 3.- Informes y/o publicaciones generados.

No se han elaborado aún por no disponer de datos suficientes.

### 4.- Situación del proyecto.

Aunque el proyecto se inició a mitad de año prácticamente se han cumplido los objetivos planteados, completándolos en el segundo año realizando un mayor esfuerzo.

## Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2006

**Proyecto coordinado:** Tecnología de recirculación y desinfección en Acuicultura marina.

**Subproyecto:** Optimización de sistemas de recirculación de agua en centros de I+D de acuicultura marina.

**Comunidad Autónoma:** Murcia

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

**Investigador principal:** Benjamín García García

### RESUMEN:

Durante el segundo año del proyecto se ha completado la instalación y puesta a punto de nuevos elementos para los circuitos de recirculación. Se incluyen dos bombas de calor y un nuevo circuito de 15 acuarios para medidas de respirometría y metabolismo energético. Se ha elaborado una aplicación informática para el cálculo y transformación de unidades utilizadas comúnmente en acuicultura y se ha proseguido con el seguimiento de los parámetros de calidad del agua. Entre ellos, además de los registrados en el primer año se incluyen la turbidez del agua, medida en unidades de turbidez nefelométrica (NTU), y el análisis microbiológico del agua, cuya técnica se ha puesto a punto. En total se han realizado once recuentos de bacterias totales y vibrios, tanto en el agua de entrada a los tanques como en el tanque de expansión. Finalmente, se ha comprobado la eficacia de los elementos de los circuitos cerrados en cuanto a mecanismos de difusión de oxígeno, eliminación de productos nitrogenados y regulación del pH se refiere. Se ha evaluado en nueve seguimientos de 6 a 10 horas de duración tomando muestras de agua cada media hora en distintos puntos del circuito. Los datos se registraron a temperaturas comprendidas entre 15 y 29 °C y a cargas de entre 1,7 y 7,4 Kg/m<sup>3</sup>. Tanto los filtros sumergidos de arena como los aéreos de percolación eliminaron la mayor cantidad de amoníaco de los circuitos, mientras que los biológicos sumergidos fueron poco eficaces.

#### 1.- Situación Financiera.

El IMIDA gestionó con anterioridad un crédito de los fondos disponiendo los investigadores del 100% desde primeros de año. El presupuesto se ejecutó al 100%.

#### 2.- Descripción de las actividades realizadas.

##### Instalaciones experimentales del IMIDA

Se ha completado la instalación y puesta a punto de todos los componentes de los circuitos cerrados. En total el IMIDA cuenta actualmente con 8 circuitos cerrados cuyos elementos se describen en la Tabla I.



## Aplicación informática para el cálculo y cambios de unidad (Actividad 2).

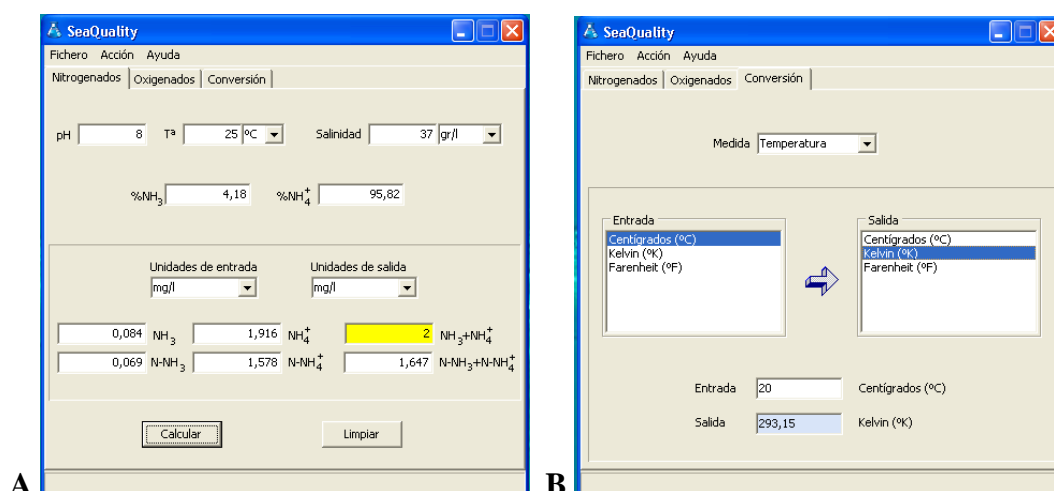
Se ha iniciado la elaboración de la aplicación informática “SeaQuality” en entorno Windows para el cálculo y transformación de unidades. En la Figura 1A se muestra un ejemplo del cálculo del porcentaje de amoníaco ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ) y sin disociar ( $\text{NH}_3$ ) en función del pH, temperatura y salinidad, así como los valores de cada una de las especies después de introducir una concentración de amoníaco hipotética. En la Figura 1B se presenta un conversor de unidades.

**Tabla I.** Componentes de los circuitos cerrados de las instalaciones de acuicultura marina del IMIDA en San Pedro del Pinatar (Murcia).

Circuito cerrado	Tipo <sup>1</sup>	Nº tanques, tipo Volumen (l)	Filtro arena	Filtro biológico	Filtro percolación	Skimmer	U.V.	RTA <sup>2</sup>	Volumen circuito (m <sup>3</sup> )
LH1-CC1	P	15, circulares 482 l	1 290 l	1 290 l		1	1 65 W	AC/RE/BC	9,4
LH1-CC2	P	15, circulares 482 l	1 290 l	1 290 l		1	1 65 W	AC/RE/BC	9,4
LH1-CC3	G	15, acuarios 85-200 l	1 290 l		1 300 l		1 37 W	AC/BC	2,5
LH2-CC1	G	12, circulares 849 l	2 750 l	1 750 l	1 900 l	1	2 37 W	BC/RE	13,2
LH2-CC2	G	16, circulares 216 l	1 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	4,5
LH2-CC3	G	5, circulares 1994 l	2 750 l	1 750 l	1 900 l	1	1 65 W	BC	12,9
LH2-CC4	G	16, troncocónicos 263 l	2 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	5,4
LH2-CC5	G	15, troncocónicos 93 l	1 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	2,3

<sup>1</sup>Tipo de circuito: P = El agua llega a los tanques de cultivo por la presión de la bomba impulsora; G = El agua llega por gravedad desde el tanque de percolación.

<sup>2</sup>RTA = Regulación de la temperatura: AC = Aire acondicionado; RE = Resistencia eléctrica (3500 W); BC = Bomba de calor



**Figura 1(A-B).** Ejemplos de funcionamiento de la aplicación informática “Sea Quality” para el cálculo y conversión de unidades empleadas en acuicultura.

## Seguimiento de los parámetros de calidad del agua (Actividad 3).

Se ha proseguido con el seguimiento de los parámetros de calidad del agua en los circuitos cerrados, tanto en el agua de entrada a los tanques como en el tanque de expansión o reservorio que recoge el agua de salida. En las Tablas I y

Il se muestran los valores medios y los rangos de los parámetros registrados, y en las Figuras 2 y 3 su evolución en varios circuitos.

Globalmente, los niveles de oxígeno en el tanque de expansión oscilaron entre el 65 y 100 % de saturación, con valores medios que superaron el 80 % en todos los casos. Se alcanzaron picos máximos de amoníaco total disuelto de 3,11 mg/l ( $\text{N-NH}_3+\text{N-NH}_4^+$ ), de nitritos correspondiente a 2,22 mg/l ( $\text{N-NO}_2^-$ ) y de nitratos hasta 20,53 mg/l ( $\text{N-NO}_3^-$ ). Los picos máximos de amoníaco y nitritos se registraron respectivamente dentro de los quince y treinta días posteriores a la puesta en marcha del circuito e introducción de los animales (Figs. 2 y 3). Los valores medios registrados para ambos parámetros se encuentran por debajo de los límites de seguridad de 1 mg/l. En referencia a la turbidez del agua los valores máximos observados fueron de 1,8 NTU en el tanque de expansión y de 1,1 NTU en el agua de entrada a los tanques, mostrando en general un buen funcionamiento de los filtros mecánicos.

**Tabla I.** Valores medios y rangos de temperatura, oxígeno, salinidad y pH en los circuitos de recirculación de agua marina del IMIDA.

Circuito	Muestra*	T (°C)		O <sub>2</sub> (%)		Sal. (‰)		pH	
		$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango
LH1-CC1	A	18,1	16,2-20,0	99,5	99,0-100	36,2	36,0-36,3	7,90	7,7-8,1
14/11/2006	B	18,3	16,6-20,1	100,5	99,0-102	36,2	36,0-36,3	8,00	7,8-8,2
LH1-CC2	A	20,7	17,9-25,0	94,9	87,0-100	37,3	35,9-38,4	7,97	7,7-8,2
31/05/2006	B	20,8	18,8-24,8	94,4	86,5-100	37,3	35,9-38,5	7,98	7,6-8,2
LH2-CC1	A	20,1	10,8-29,3	85,6	65,4-100	38,4	35,6-40,0	7,51	6,8-8,1
13/10/2004	B	20,2	10,9-29,4	84,3	59,5-99,9	38,4	35,5-40,0	7,47	6,9-8,2
LH2-CC2	A	19,5	13,5-25,1	91,4	73,7-99,2	37,6	34,3-40,0	7,82	7,3-8,3
12/05/2005	B	19,0	13,4-23,1	92,5	81,6-99,8	37,6	34,3-40,0	7,81	7,1-8,4
LH2-CC3	A	20,8	13,0-29,6	84,2	65,9-100	37,4	33,6-39,3	7,39	6,9-8,2
09/01/2006	B	21,0	13,3-29,6	84,1	55,8-99,3	37,4	33,6-39,3	7,36	6,8-8,2
LH2-CC4	A	23,8	14,3-26,2	90,5	79,2-100	37,8	34,0-39,3	7,63	7,2-8,4
24/06/2005	B	23,8	14,4-25,7	87,6	61,9-100	37,8	34,0-39,4	7,62	7,2-8,4
LH2-CC5	A	21,1	18,3-23,6	95,3	92,4-98,3	38,4	38,0-39,1	7,71	7,3-8,0
29/11/2005	B	21,1	18,4-23,5	94,8	92,4-97,8	38,4	38,0-39,0	7,68	7,3-8,0

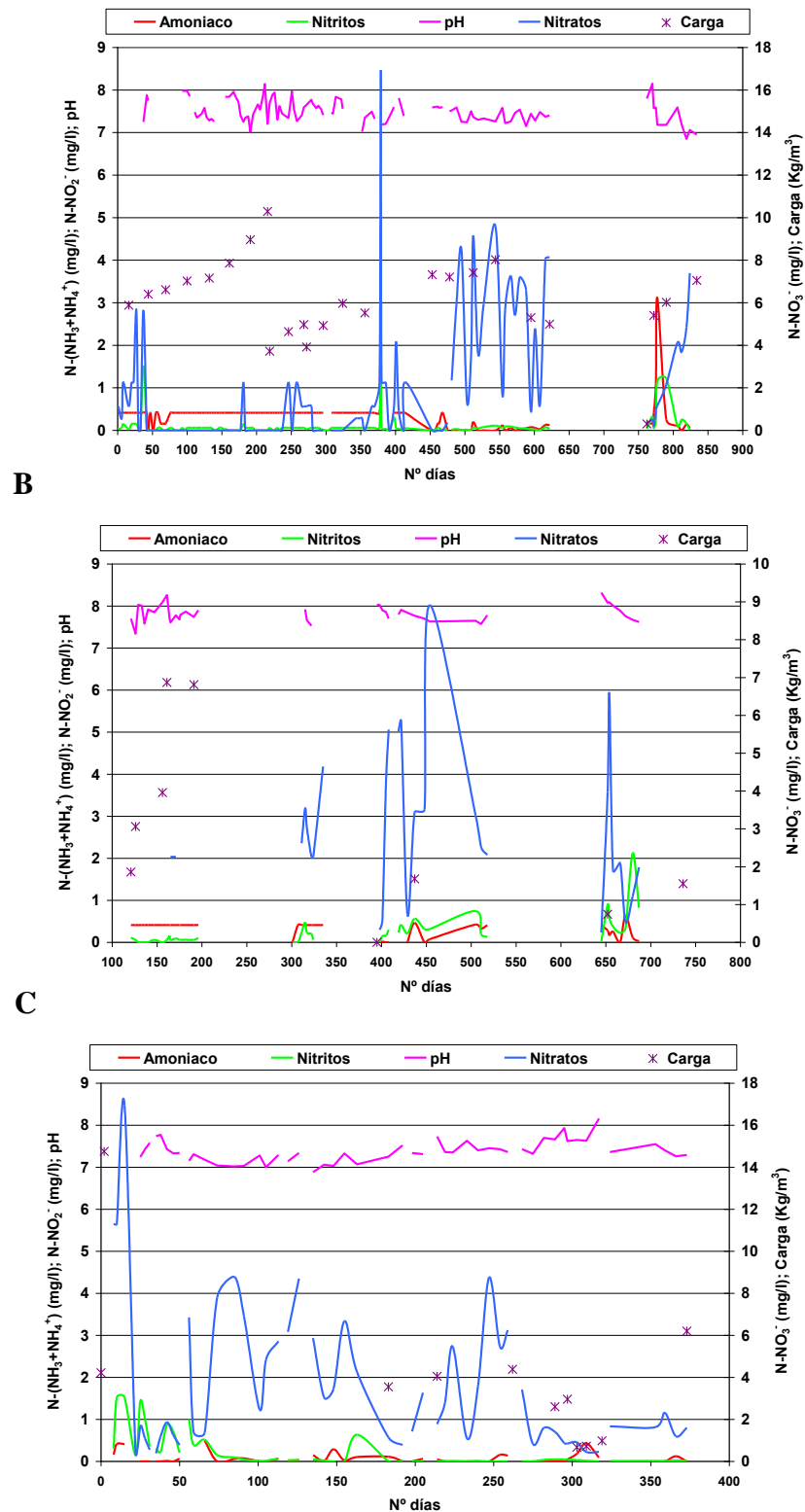
\*A = Tanque de expansión; B = Agua de entrada a los tanques

**Tabla II.** Valores medios y rangos de amoníaco, nitritos, nitratos y potencial redox en los circuitos de recirculación de agua marina del IMIDA

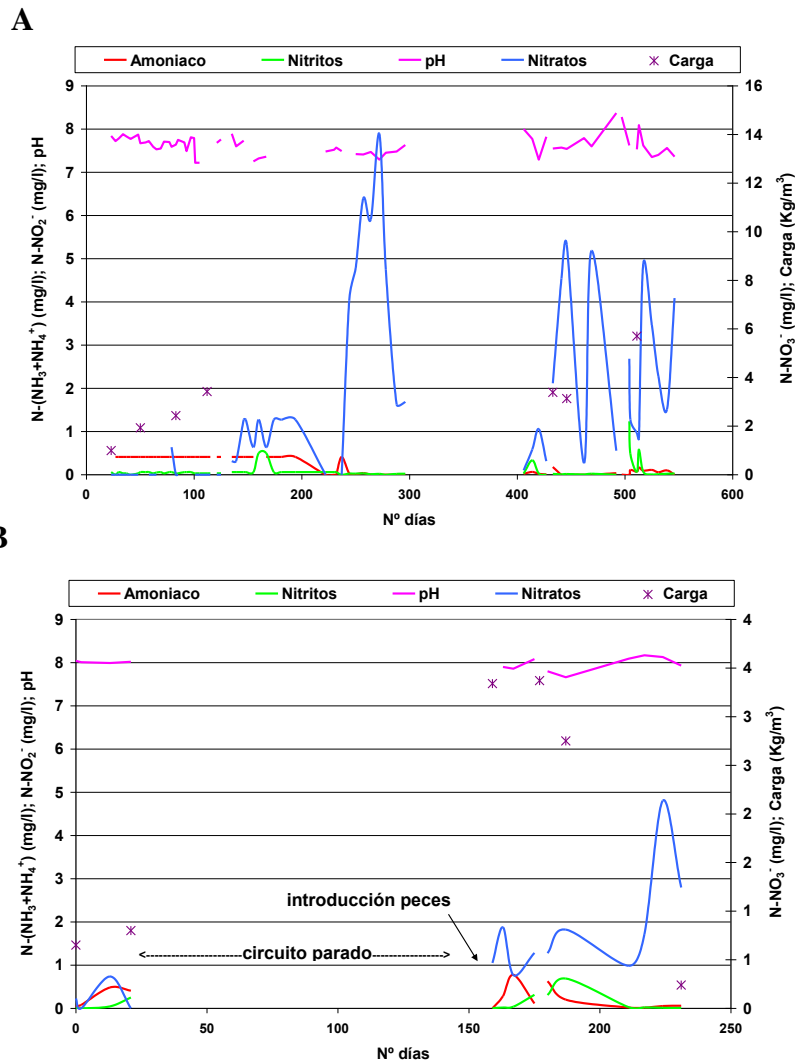
Circuito	Muestra*	N-NH <sub>3</sub> +N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)		N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)		Redox (mv)	
		$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango
LH1-CC1	A	0,09	n.d.	0,02	n.d.	0,10	n.d.	215	182-248
14/11/2006	B	0,00	n.d.	0,03	n.d.	0,32	n.d.	218	187-249
LH1-CC2	A	0,23	0-0,77	0,12	0-0,69	0,61	0-2,13	243	176-339
31/05/2006	B	0,16	0-0,46	0,10	0-0,71	0,59	0-1,38	240	187-338
LH2-CC1	A	0,35	0-3,11	0,09	0-1,52	1,62	0-16,94	288	199-427
13/10/2004	B	0,34	0-2,89	0,09	0-1,52	1,70	0-20,53	288	202-425
LH2-CC2	A	0,29	0-0,63	0,25	0-2,12	3,12	0,26-8,91	315	199-482
12/05/2005	B	0,26	0-0,44	0,25	0-2,22	3,37	0,17-12,04	330	200-472
LH2-CC3	A	0,07	0-0,49	0,22	0-1,52	3,53	0-16,95	287	193-424
09/01/2006	B	0,07	0-0,41	0,22	0-1,60	3,84	0-16,95	287	195-440
LH2-CC4	A	0,24	0-0,41	0,09	0-1,24	2,69	0-14,02	291	179-421
24/06/2005	B	0,25	0-0,64	0,09	0-1,39	3,00	0-14,7	299	198-427
LH2-CC5	A	0,31	0-0,41	0,04	0-0,23	0,36	0-2,47	350	309-378
29/11/2005	B	0,31	0-0,41	0,04	0-0,23	0,32	0-2,47	345	305-386

\*A = Tanque de expansión; B = Agua de entrada a los tanques

A



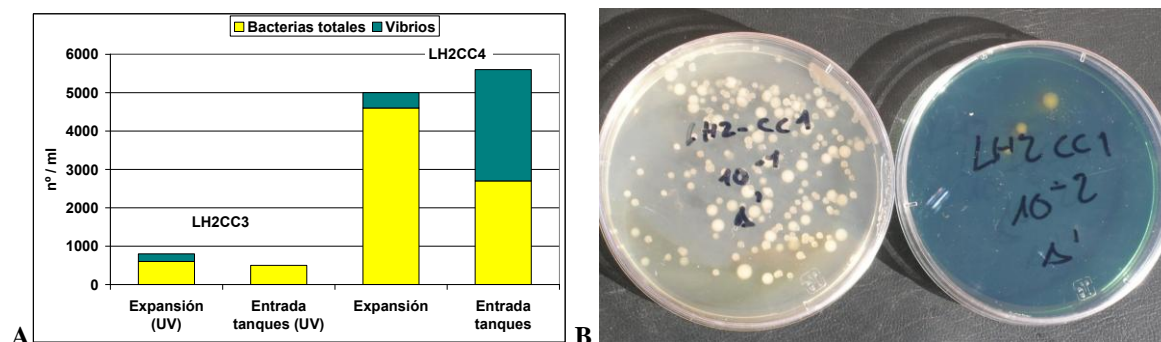
**Figura 2(A-C).** Registro de los valores de amoníaco, nitritos, nitratos, pH y carga de cultivo en los circuitos de recirculación de agua marina del IMIDA. A: LH2CC1 (*Diplodus puntazzo* y *Sparus auratus*, Nov04-Ene07); B: LH2CC2 (*Octopus vulgaris*, Ene05-Ene07); C: LH2CC3 (*Diplodus puntazzo*, *Dicentrarchus labrax* y *Octopus vulgaris*, Ene06-Ene07).



**Figura 3(A-B).** Registro de los valores de amoníaco, nitritos, nitratos, pH y biomasa en los circuitos de recirculación de agua marina del IMIDA. A: LH2CC4 (*Diplodus puntazzo*, Jun05-Dic06); B: LH1CC2 (*Diplodus puntazzo*, Jun06-Ene07).

### Análisis microbiológico del agua (Actividad 3).

Se ha llevado a cabo un seguimiento del grado de contaminación bacteriana en el agua de los circuitos siguiendo el protocolo recomendado por el IRTA. En la tabla III se presenta un resumen de los recuentos efectuados. La siembra de las placas se hizo por duplicado en una campana de flujo laminar vertical para evitar la contaminación externa. En el agua de entrada a los tanques los valores máximos observados fueron de 29850 bacterias totales/ml y 13600 vibrios/ml, y para el tanque de expansión de 45250 bacterias totales/ml y 17300 vibrios/ml. De forma general se observa una disminución de la población bacteriana total y de vibrios en circuitos con instalación de lámpara UV (Fig. 2A).



**Figura 2(A-B).** Recuento de bacterias totales y vibrios en dos circuitos mantenidos a temperatura y cargas de cultivo similares pero con presencia o ausencia de luz UV (A). Siembra de muestras de agua en placas con medios de cultivo TSA (izquierda) y TCBS (derecha) para recuento de bacterias totales y vibrios, respectivamente (B).

**Tabla III.** Recuento de bacterias totales y vibrios en el tanque de expansión (A) y en el agua de entrada a los tanques (B) en los circuitos de recirculación de agua marina del IMIDA.

Fecha	Circuito	Especie	Carga kg/m <sup>3</sup>	UV*	T (°C)	Bacterias A n°/ml	Bacterias B n°/ml	Vibrios A n°/ml	Vibrios B n°/ml
23/08/2006	LH2CC3	<i>D. puntazzo</i>	4,00	1	27,3	600	500	200	0
23/08/2006	LH2CC4	<i>D. puntazzo</i>	3,13	0	25,1	4600	2700	400	2900
28/09/2006	LH2CC3	<i>D. puntazzo</i>	4,3	1	24,3	450	0	50	0
24/10/2006	LH2CC2	<i>O. vulgaris, D. labrax</i>	0,74	0	23,1	10000	20000	10700	13000
24/10/2006	LH2CC4	<i>D. puntazzo</i>	5,70	1	24,6	8100	2300	100	7700
14/11/2006	LH1CC2	<i>D. puntazzo</i>	3,40	0	20,3	1800	600	200	0
14/11/2006	LH2CC1	<i>Ostrea sp.</i>	0,30	0	20,4	0	200	0	0
16/01/2007	LH1CC2	<i>D. puntazzo</i>	0,24	0	20,7	845	1000	415	310
16/01/2007	LH2CC1	<i>S. auratus</i>	7,05	0	15,4	2040	2870	240	710
21/02/2007	LH2CC2	<i>O. vulgaris</i>	4,64	0	18,5	45250	29850	17300	13600
21/02/2007	LH2CC3	<i>D. puntazzo, O. vulgaris</i>	6,69	0	18,4	7140	3455	3530	2735

\*UV = Lámpara ultravioleta: 0 = Desconectada; 1 = Conectada.

### Eficacia de los elementos de los circuitos cerrados

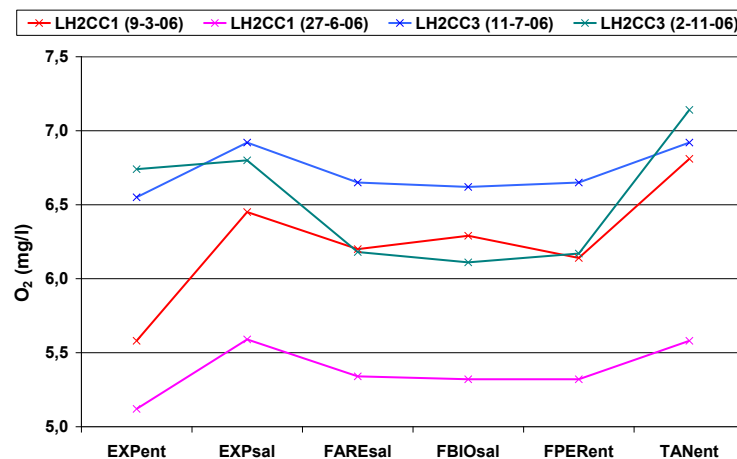
En la Tabla IV se presenta una recopilación de los seguimientos realizados para comprobar la eficacia de los elementos de los circuitos. Se llevaron a cabo tomando muestras de agua cada media hora en distintos puntos del circuito durante periodos de 6 a 10 horas de duración con cargas de cultivo comprendidas entre 1,7 y 7,4 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla IV.** Condiciones experimentales de los seguimientos realizados para comprobar la eficacia de los elementos de los circuitos cerrados.

Fecha	Circuito	Especie	Duración horas	Peso g	Carga Kg/m <sup>3</sup>	Temperatura °C
09/03/2006	LH2CC1	<i>D. puntazzo</i>	6	189-846	7,4	19,1
24/03/2006	LH2CC2	<i>O. vulgaris</i>	6	354-648	1,7	19,1
27/06/2006	LH2CC1	<i>D. puntazzo</i>	6	354-947	5,0	28,6
11/07/2006	LH2CC3	<i>D. puntazzo</i>	6	150-400	3,6	28,4
08/08/2006	LH2CC4	<i>D. puntazzo</i>	6	40-45	3,4	25,4
02/11/2006	LH2CC3	<i>D. puntazzo, O. vulgaris</i>	10	392, 800	3,0	20,3
04/12/2006	LH1CC2	<i>D. puntazzo</i>	6	350-450	2,8	20,2
12/12/2006	LH2CC1	<i>S. auratus</i>	10	30-200	6,0	15,0
15/02/2007	LH2CC2	<i>O. vulgaris</i>	6	967-1588	4,6	19,1

### Balance de la concentración de oxígeno en los elementos de los circuitos (Actividad 4).

Tal y como se muestra en la Figura 3 se produce un balance positivo de oxígeno tanto en el tanque de expansión como en el filtro de percolación. En el primer caso se debe a la mezcla provocada por la entrada de agua de las bombas de calor, skimmer y agua de renovación. Por otra parte, existe un balance negativo en el filtro de arena y biológico sumergidos, así como al pasar por los tanques de cultivo. En la Tabla III se muestra el balance de oxígeno y el rendimiento de cada uno de los elementos de un circuito en uno de los seguimientos realizados.



**Figura 3.** Concentración media de oxígeno obtenida tras seguimientos de 6 a 10 horas de duración en distintos puntos del circuito (EXP = Tanque Expansión, FARE = Filtro arena, FBIO = Filtro biológico sumergido, FPER = Filtro de percolación, TAN = Tanques, ent = entrada, sal = salida).

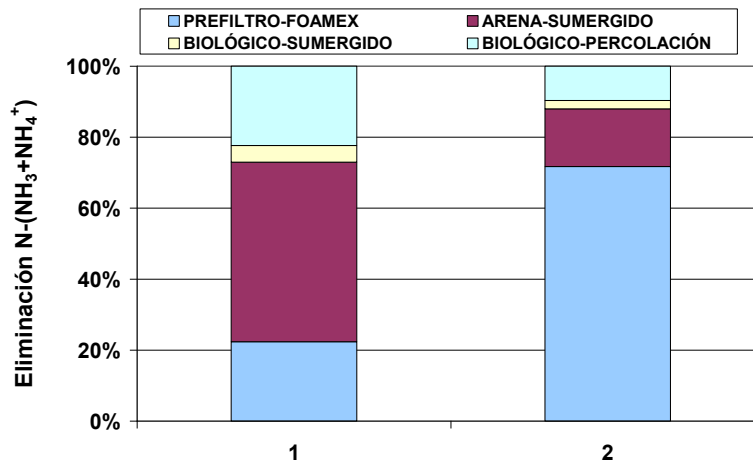
**Tabla III.** Balance de oxígeno y rendimiento medio de cada uno de los elementos del circuito LH2CC3 obtenido tras un seguimiento de 10 horas.

ELEMENTOS DEL CIRCUITO	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	O <sub>2</sub> ent (mg/l)	O <sub>2</sub> sal (mg/h)	O <sub>2</sub> sal-O <sub>2</sub> ent (mg/l)	Rendimiento (gO <sub>2</sub> /h)
PREFILTRO-FOAMEX	7,7	6,55	6,92	0,370	<b>2,864</b>
ARENA-SUMERGIDO	7,7	6,92	6,65	-0,270	<b>-2,090</b>
BIOLÓGICO-SUMERGIDO	6,7	6,65	6,62	-0,030	<b>-0,200</b>
BIOLÓGICO-PERCOLACIÓN	6,7	6,65	6,92	0,270	<b>1,801</b>
TANQUES DE CULTIVO	6,7	6,92	6,55	-0,370	<b>-2,479</b>

### Tasa de oxidación de amoníaco en los elementos de los circuitos (Actividad 5).

Los filtros sumergidos de arena eliminan la mayor cantidad de amoníaco de los circuitos, seguidos de los filtros de percolación y del prefiltro de foamex. De forma general, en todos los seguimientos efectuados los filtros biológicos sumergidos son los elementos que menor cantidad de amoníaco eliminan. Cuando los resultados se expresan por unidad de volumen de material filtrante el foamex es el más eficaz (Fig. 4). En la Tabla IV se puede observar el balance de nitrógeno amoniacal total en los distintos elementos de filtración del circuito LH2CC1 y el rendimiento de los distintos materiales filtrantes.





**Figura 4.** Contribución al amoníaco eliminado por parte de los elementos de filtración en el circuito LH2CC1. Valores expresados como porcentaje respecto del total eliminado, en términos absolutos (1) y por unidad de material filtrante (2).

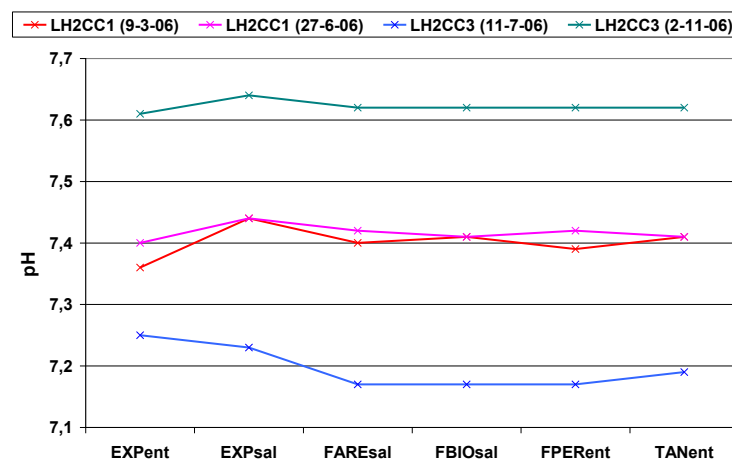
**Tabla IV.** Balance de nitrógeno amoniacal total (TAN) en los distintos elementos de filtración del circuito LH2CC1 y rendimiento del material filtrante.

ELEMENTOS DEL CIRCUITO	Vol. (l)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	TAN <sub>ent</sub> (mg/l)	TAN <sub>sal</sub> (mg/l)	TAN <sub>sal</sub> -TAN <sub>ent</sub> (mg/l)	R* (mg/h/l)
PREFILTRO-FOAMEX	150	18,3	0,124	0,105	-0,019	-2,317
ARENA-SUMERGIDO	1500	18,3	0,105	0,062	-0,043	-0,524
BIOLÓGICO-SUMERGIDO	750	14,5	0,062	0,058	-0,004	-0,077
BIOLÓGICO-PERCOLACIÓN	880	14,5	0,064	0,045	-0,019	-0,312

\*R = Rendimiento del material filtrante expresado como mg de TAN eliminados por hora y litro de material filtrante.

### Variación del pH en los elementos de los circuitos (Actividad 6).

De forma general se produce una elevación del pH no superior a 0,1 unidades en el tanque de expansión y una disminución que oscila entre 0,02 y 0,06 en los filtros de arena. No se observan variaciones importantes en los restantes elementos del circuito (ver Figura 5).



**Figura 5.** Valor medio de pH obtenido tras seguimientos de 6 a 10 horas de duración en distintos puntos del circuito (EXP = Tanque Expansión, FARE = Filtro arena, FBIO =

Filtro biológico sumergido, FPER = Filtro de percolación, TAN = Tanques, ent = entrada, sal = salida).

### **3.- Informes y/o publicaciones generados.**

Se están redactando dos comunicaciones para el XI Congreso Nacional de Acuicultura.

### **4.- Situación del proyecto.**

Se ha ejecutado el 70 % de los objetivos planteados.

## **. Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2007**

**Proyecto coordinado:** Tecnología de recirculación y desinfección en Acuicultura marina.

**Subproyecto:** Optimización de sistemas de recirculación de agua en centros de I+D de acuicultura marina.

**Comunidad Autónoma:** Murcia

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

**Investigador principal:** Benjamín García García

## **DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS**

### **Descripción de las instalaciones experimentales del IMIDA.**

Los resultados expuestos en el presente informe proceden de las instalaciones experimentales de la Estación de Acuicultura Marina del IMIDA. Por esta razón, es importante hacer una descripción de los sistemas de recirculación de agua que han servido para llevar a cabo la ejecución del proyecto. En total el IMIDA cuenta con 8 circuitos en recirculación, con un volumen útil que oscila entre 2,3 y 13,2 m<sup>3</sup>, y cuyos elementos se describen en la Tabla I. Durante el primer año del proyecto se llevó a cabo la instalación y puesta a punto de estos elementos, incluyendo bombas de calor con intercambiador de titanio (Air-Energy Modelo 400-Ti), resistencias eléctricas (3500 W), lámparas UV, skimmers y distintos tipos de filtros según los circuitos. Actualmente el régimen de temperatura de cada circuito puede regularse para que sea independiente, en mayor o menor medida, de las condiciones del medio natural. En dos de los circuitos el agua llega a los tanques por la presión de la bomba impulsora (circuitos tipo P) y en los restantes llega por gravedad desde un filtro de percolación (circuitos tipo G).

### **Actividad 1. Revisión bibliográfica.**

El primer paso fue hacer una recopilación de aquellos valores que pueden considerarse seguros, peligrosos y letales para los productos nitrogenados en distintas especies (ver Tabla II), con el fin de establecer un criterio en cuanto a calidad del agua. Para ejemplares adultos se consideran niveles seguros de

amoniaco total ( $N-NH_3+N-NH_4^+$ ), amoniaco no ionizado ( $N-NH_3$ ), nitritos ( $N-NO_2^-$ ) y nitratos ( $N-NO_3^-$ ) de 1, 0,1, 1 y 50 mg/l, respectivamente, todos ellos expresados en peso de nitrógeno. No obstante, la toxicidad del nitrógeno amoniacal total dependerá de su grado de disociación en la forma más tóxica o no ionizada, la cual es función principalmente del pH, y en menor grado de la temperatura y la salinidad.

**Tabla I.** Componentes de los circuitos cerrados de las instalaciones de acuicultura marina del IMIDA en San Pedro del Pinatar (Murcia).

Circuito cerrado	Tipo <sup>1</sup>	Nº tanques, tipo Volumen (l)	Filtro arena	Filtro biológico	Filtro percolación	Skimmer	U.V.	RTA <sup>2</sup>	Volumen circuito (m <sup>3</sup> )
LH1-CC1	P	15, circulares 482 l	1 290 l	1 290 l		1	1 65 W	AC/RE/BC	9,4
LH1-CC2	P	15, circulares 482 l	1 290 l	1 290 l		1	1 65 W	AC/RE/BC	9,4
LH1-CC3	G	15, acuarios 85-200 l	1 290 l		1 300 l		1 37 W	AC/BC	2,5
LH2-CC1	G	12, circulares 849 l	2 750 l	1 750 l	1 900 l	1	2 37 W	BC/RE	13,2
LH2-CC2	G	16, circulares 216 l	1 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	4,5
LH2-CC3	G	5, circulares 1994 l	2 750 l	1 750 l	1 900 l	1	1 65 W	BC	12,9
LH2-CC4	G	16, troncocónicos 263 l	2 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	5,4
LH2-CC5	G	15, troncocónicos 93 l	1 290 l		1 700 l		1 37 W	BC/RE	2,3

<sup>1</sup>Tipo de circuito: P = El agua llega a los tanques de cultivo por la presión de la bomba impulsora; G = El agua llega por gravedad desde el tanque de percolación.

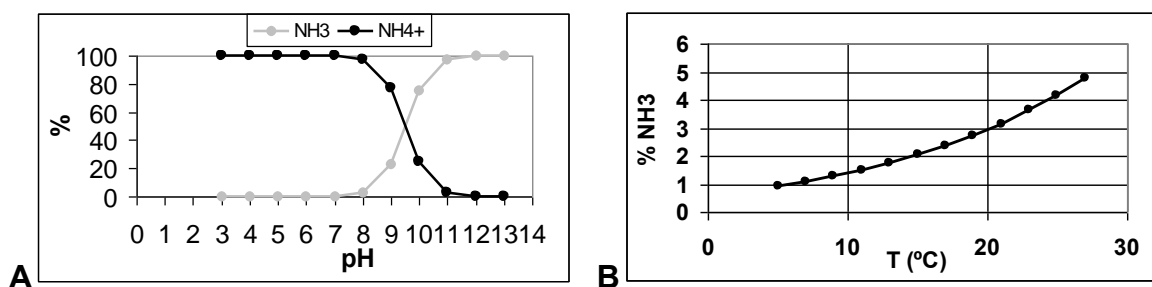
<sup>2</sup>RTA = Regulación de la temperatura: AC = Aire acondicionado; RE = Resistencia eléctrica (3500 W); BC = Bomba de calor

**Tabla II.** Parámetros de calidad del agua para especies de interés en acuicultura marina.

Parámetro	Especie	Seguros	Peligrosos	Letales	Referencia
$N-NH_3+N-NH_4^+$ (mg/l)	<i>Dicentrarchus labrax</i>	2,2		22,2	Person-Le Ruyet et al., 1995
	<i>Sparus auratus</i>	1,2	8,2	13	Wasjbrot et al., 1991, 1993
	<i>Anguilla anguilla</i>	<6,2		55,9	Sadler, 1982
	<i>Diplodus sargus</i>		2,1	20	Brownell, 1980
	<i>Scophthalmus maximus</i>	3,3		33,5	Person-Le Ruyet et al., 1994, 1995
	<i>Solea solea</i>	2,3		40,1	Alderson, 1979
$N-NH_3$ (mg/l)	<i>Dicentrarchus labrax</i>	0,097		0,97	Person-Le Ruyet et al., 1995
	<i>Sparus auratus</i>	0,064	0,47	0,74	Wasjbrot et al., 1991, 1993
	<i>Anguilla anguilla</i>	<0,12		1,08	Sadler, 1982
	<i>Diplodus sargus</i>		0,03	0,29	Brownell, 1980
	<i>Scophthalmus maximus</i>	0,15		1,5	Person-Le Ruyet et al., 1994, 1995
	<i>Solea solea</i>	0,045		0,77	Alderson, 1979
$N-NO_2^-$ (mg/l)	<i>Dicentrarchus labrax</i>	0,1	13	95	Scarano et al., 1984; Blanchet-Besson, 1986
	<i>Anguilla anguilla</i>			503	Saroglia et al., 1981
	<i>Diplodus sargus</i>		150	870	Brownell, 1980
	<i>Lithognathus mormyrus</i>		60	670	Brownell, 1980
	Larvas, general	<0,1			Tucker, 1998
	Adultos, general	<1,0			Tucker, 1998
$N-NO_3^-$ (mg/l)	<i>Diplodus sargus</i>		270	3100	Brownell, 1980
	<i>Lithognathus mormyrus</i>		270	3020	Brownell, 1980
	<i>Scophthalmus maximus</i>	342			Poxton & Allouse, 1982
	Larvas, general	<20			Tucker, 1998
	Adultos, general	<50			Tucker, 1998

## Actividad 2. Tablas referentes al porcentaje de amoníaco no iónico (N-NH<sub>3</sub>) respecto del total (N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en función del pH, temperatura, y salinidad.

Tal y como se muestra en la figura 1(A-B) el pH y la temperatura desplazan el equilibrio hacia la formación de amoníaco en forma gaseosa o no iónica. Por el contrario, el aumento de la salinidad lo dificulta (ver Tabla III). A partir de pH 8 el porcentaje de amoníaco gas aumenta bruscamente, de forma que un valor de 1 mg/l de N-(NH<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) podría no suponer valores tóxicos de N-NH<sub>3</sub> a un valor de pH 7 (0,0047 mg/l a 26°C y 35 ‰) y alcanzar valores tóxicos de 0,11 mg/l a pH 8,4 en las mismas condiciones de temperatura y salinidad.



**Figura 1(A-B).** Curvas de disociación del amoníaco en función del pH (A, T = 20 °C y Sal. = 37‰) y de la temperatura (B, pH = 8 y Sal. = 37‰).

## Actividad 3A. Seguimiento de los parámetros de calidad del agua.

En primera instancia se comprobó la fiabilidad de los colorímetros adquiridos, los cuales permiten la determinación para los rangos de 0-7 mg/l (N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), 0-0,8 mg/l (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) y 0-60 mg/l (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Con este fin se realizaron rectas de calibración con patrones de concentración conocida y con agua marina sintética obteniendo resultados fiables (Tabla IV).

A lo largo de los tres años de duración del proyecto se ha llevado a cabo el seguimiento de los parámetros de calidad del agua en los circuitos cerrados, tanto en el agua de entrada a los tanques como en el tanque de expansión o reservorio que recoge el agua de salida. Se han registrado diariamente la temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, pH y potencial redox mediante una sonda multiparámetro (Modelo YSI 556 MPS). Semanalmente se registraron amoníaco, nitritos y nitratos mediante un colorímetro portátil (AQUAfast IV, ORION AQ4000), así como la turbidez del agua (NTU) con un turbidímetro-nefelómetro (AQUAfast IV, ORION AQ4500). Paralelamente, se registraron en cada uno de los circuitos otros parámetros que pudieran afectar a la calidad del agua, incluyendo carga de cultivo, caudales de agua y renovación de agua exterior.

**Tabla III.** Porcentaje de amoníaco no iónico ( $N-NH_3$ ) en disolución respecto del total de amoníaco disuelto ( $N-NH_3+N-NH_4^+$ ) en función de la salinidad, la temperatura y el pH.

**Salinidad = 30 ‰**

T (°C) / pH	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4
12	0,17	0,27	0,44	0,69	1,09	1,71	2,68	4,19
14	0,20	0,32	0,51	0,80	1,26	1,99	3,12	4,85
16	0,24	0,37	0,59	0,93	1,47	2,31	3,61	5,61
18	0,27	0,43	0,69	1,08	1,70	2,67	4,17	6,46
20	0,32	0,50	0,79	1,25	1,97	3,09	4,81	7,41
22	0,37	0,58	0,92	1,45	2,27	3,56	5,52	8,48
24	0,42	0,67	1,06	1,67	2,62	4,09	6,33	9,67
26	0,49	0,77	1,22	1,92	3,01	4,68	7,22	10,98
28	0,56	0,89	1,40	2,20	3,44	5,35	8,22	12,44
30	0,65	1,02	1,61	2,52	3,94	6,10	9,33	14,03

**Salinidad = 35 ‰**

T (°C) / pH	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4
12	0,17	0,26	0,42	0,66	1,05	1,65	2,59	4,04
14	0,20	0,31	0,49	0,77	1,22	1,92	3,01	4,68
16	0,23	0,36	0,57	0,90	1,42	2,23	3,48	5,41
18	0,26	0,42	0,66	1,04	1,64	2,58	4,03	6,23
20	0,31	0,48	0,77	1,21	1,90	2,98	4,64	7,16
22	0,35	0,56	0,88	1,40	2,19	3,43	5,33	8,20
24	0,41	0,65	1,02	1,61	2,53	3,94	6,11	9,35
26	0,47	0,75	1,18	1,85	2,90	4,52	6,98	10,63
28	0,54	0,86	1,35	2,12	3,33	5,17	7,95	12,04
30	0,62	0,98	1,55	2,43	3,80	5,89	9,03	13,59

**Salinidad = 40 ‰**

T (°C) / pH	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4
12	0,16	0,25	0,40	0,64	1,01	1,59	2,49	3,89
14	0,19	0,30	0,47	0,74	1,17	1,85	2,90	4,51
16	0,22	0,35	0,55	0,87	1,36	2,15	3,36	5,22
18	0,25	0,40	0,64	1,00	1,58	2,49	3,88	6,02
20	0,29	0,47	0,74	1,16	1,83	2,87	4,48	6,91
22	0,34	0,54	0,85	1,34	2,11	3,31	5,15	7,92
24	0,39	0,62	0,98	1,55	2,44	3,81	5,90	9,04
26	0,45	0,72	1,13	1,78	2,80	4,36	6,74	10,28
28	0,52	0,83	1,30	2,05	3,21	4,99	7,69	11,66
30	0,60	0,95	1,49	2,35	3,67	5,69	8,73	13,17

**Tabla IV.** Valores esperados y observados de productos nitrogenados obtenidos para las rectas de calibración del colorímetro Aquafast IV.

$N-NH_3+N-NH_4^+$	valor esperado	valor observado
patrón nº1	0,014	0,035
patrón nº2	0,028	0,042
patrón nº3	0,137	0,121
patrón nº4	0,275	0,280
patrón nº5	1,398	1,418
patrón nº6	4,187	4,132

$N-NO_2^-$	valor esperado	valor observado
patrón nº1	0,05	0,057
patrón nº2	0,1	0,109
patrón nº3	0,2	0,188
patrón nº4	0,5	0,551
patrón nº5	1	fuera de rango

$NO_3^-$	valor esperado	valor observado
patrón nº1	5	3,731
patrón nº2	10	11,91
patrón nº3	25	29,42
patrón nº4	40	40,32
patrón nº5	60	fuera de rango

En la Tabla V se recopilan los parámetros de calidad del agua registrados en las instalaciones del IMIDA, considerando todos los circuitos. Los valores detallados por circuitos se presentan en la Tabla VI, y la evolución de los parámetros en uno de los circuitos en la figura 2.

Globalmente, los niveles de oxígeno en el tanque de expansión oscilaron entre el 56 y 105 % de saturación, con valores medios que superaron en todos los circuitos el 84 %. En el agua de entrada a los tanques el valor medio fue del 88,7 %, con valores mínimos y máximos respectivos del 59 y 105 % de saturación. Estos valores mínimos coincidieron con las cargas de cultivo más elevadas. Teniendo en cuenta que estas instalaciones no presentan inyección de oxígeno, los mecanismos que han permitido aumentar el nivel de oxígeno disuelto han sido los siguientes: a) la mezcla de agua-aire originada por la entrada de agua de renovación; b) la mezcla en el tanque de expansión debida al agua procedente de la bomba de calor; c) el skimmer; d) el intercambio producido por los filtros de percolación; e) los air-lift dispuestos en cada uno de los tanques de cultivo. En cualquier caso, los niveles de oxígeno tanto en el tanque de expansión como en el agua de entrada a los tanques se correlacionaron de forma negativa particularmente con la carga, y en menor grado con la temperatura (Tabla VII), sugiriendo en nuestras condiciones experimentales que cargas de cultivo superiores a 10-15 Kg/m<sup>3</sup> necesitarían inyección de oxígeno especialmente a temperaturas elevadas.



**Tabla V.** Valores medios, mínimos y máximos de los parámetros de calidad del agua en las instalaciones experimentales del IMIDA.

Parámetro	Media	Min	Max
T_A (°C)	20,87	10,80	29,63
T_B (°C)	20,96	10,90	29,64
O2_A (% Sat.)	87,64	56,00	104,90
O2_B (% Sat.)	88,67	59,50	104,80
SAL_A (‰)	37,92	33,61	40,52
SAL_B (‰)	37,94	33,62	40,48
N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )_A (mg/l)	0,26	0,00	5,26
N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )_B (mg/l)	0,23	0,00	4,86
N-NO <sub>2</sub> _A (mg/l)	0,12	0,00	2,12
N-NO <sub>2</sub> _B (mg/l)	0,11	0,00	2,22
N-NO <sub>3</sub> _A (mg/l)	2,41	0,00	16,95
N-NO <sub>3</sub> _B (mg/l)	2,48	0,00	20,53
PH_A	7,52	6,02	8,37
PH_B	7,51	6,02	8,38
ORP_A (mv)	240,77	142,00	421,00
ORP_B (mv)	245,59	162,00	427,00
NTU_A	0,40	0,00	3,67
NTU_B	0,36	0,00	2,79
CARGA (Kg/m <sup>3</sup> )	4,52	0,00	14,75
CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	9,33	1,73	21,48
RENOVACIÓN (%/día)	8,61	2,27	101,06

A = Tanque de expansión; B = Agua de entrada a los tanques

Se alcanzaron picos máximos puntuales de amoníaco total disuelto de 5,26 mg/l (N-NH<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), de nitritos correspondientes a 2,22 mg/l (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) y de nitratos hasta 20,53 mg/l (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Los picos máximos de amoníaco y nitritos se registraron respectivamente dentro de los quince y treinta días posteriores a la puesta en marcha del circuito e introducción de los animales. No obstante, los valores medios registrados para todos estos parámetros se situaron muy por debajo de los límites de seguridad en todos los circuitos, sin superar en ninguno de los casos los 0,32, 0,22 y 3,34 mg/l para amoníaco, nitritos y nitratos, respectivamente (ver Tablas V y VI). El potencial redox se correlacionó de forma positiva y significativa con el nivel de nitritos en el agua y la carga de cultivo con los niveles de nitratos. Los valores de amoníaco disuelto no mostraron una correlación significativa con ninguno de los factores registrados, sugiriendo un funcionamiento apropiado de los elementos de filtración (Tabla VIII).

En referencia a la turbidez del agua los valores máximos observados fueron de 3,67 NTU en el tanque de expansión y de 2,79 NTU en el agua de entrada a los tanques, mostrando en general un buen funcionamiento de los filtros mecánicos. El porcentaje medio de renovación de agua en los circuitos osciló entre el 6,5 y 11 % diario, los caudales medios de agua entre 3,8 y 16,05 m<sup>3</sup>/h, y las cargas medias de cultivo entre 3,1 y 6,2 Kg/m<sup>3</sup>, con valores máximos de hasta 14,75 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla VI.** Recopilación de los valores medios, mínimos y máximos de los parámetros de calidad del agua en los distintos circuitos de las instalaciones experimentales del IMIDA.

Circuito Parámetro	LH1CC1			LH1CC2			LH2CC1			LH2CC2			LH2CC3			LH2CC4			LH2CC5		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
T_A (°C)	22,76	16,19	26,50	20,15	13,24	26,57	20,02	10,80	29,32	19,01	13,47	25,10	20,45	13,01	29,63	23,95	14,30	26,22	20,76	20,39	21,00
T_B (°C)	22,75	16,55	26,07	20,33	13,76	26,53	20,22	10,90	29,38	18,75	13,44	23,05	20,55	13,27	29,64	24,06	14,35	26,28	20,92	20,65	21,20
O2_A (% Sat.)	85,53	56,00	100,00	91,50	78,40	100,30	86,59	65,40	104,90	91,85	73,70	102,90	84,76	63,90	100,00	88,89	76,60	100,00	96,25	96,20	96,30
O2_B (% Sat.)	87,96	76,50	102,70	91,88	81,10	100,00	86,24	59,50	101,50	93,98	81,60	104,80	88,45	62,50	99,30	88,79	74,10	100,00	95,10	92,40	97,80
SAL_A (‰)	37,70	36,04	38,68	37,50	35,88	39,01	38,25	35,58	40,00	37,62	34,26	40,00	37,57	33,61	39,29	38,07	33,98	40,52	38,33	38,00	39,06
SAL_B (‰)	37,70	36,01	38,68	37,49	35,90	39,00	38,30	35,78	40,00	37,64	34,26	39,00	37,58	33,62	39,31	38,09	33,98	40,48	38,21	38,00	38,69
N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )_A (mg/l)	0,13	0,00	1,32	0,32	0,00	5,24	0,34	0,00	5,22	0,23	0,00	0,64	0,13	0,00	3,27	0,29	0,00	5,26	0,13	0,00	0,41
N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )_B (mg/l)	0,07	0,00	1,23	0,27	0,00	4,62	0,32	0,00	3,97	0,20	0,00	0,44	0,12	0,00	2,55	0,26	0,00	4,86	0,14	0,00	0,41
N-NO <sub>2</sub> _A (mg/l)	0,19	0,00	2,04	0,10	0,00	0,69	0,08	0,00	1,52	0,22	0,00	2,12	0,14	0,00	1,52	0,08	0,00	1,24	0,03	0,00	0,06
N-NO <sub>2</sub> _B (mg/l)	0,18	0,00	1,75	0,08	0,00	0,71	0,08	0,00	1,52	0,22	0,00	2,22	0,13	0,00	1,60	0,07	0,00	1,39	0,03	0,00	0,06
N-NO <sub>3</sub> _A (mg/l)	0,97	0,07	1,81	0,78	0,00	1,74	1,96	0,00	16,94	2,96	0,26	8,91	3,28	0,00	16,95	3,09	0,00	14,02	0,98	0,00	2,47
N-NO <sub>3</sub> _B (mg/l)	0,96	0,00	3,84	0,82	0,06	2,20	2,04	0,00	20,53	3,10	0,11	12,04	3,34	0,00	16,95	3,17	0,00	14,72	0,85	0,00	2,24
PH_A	7,55	6,56	8,24	7,73	6,89	8,28	7,40	6,13	8,15	7,71	6,90	8,32	7,41	6,02	8,16	7,57	6,66	8,37	7,84	7,62	7,96
PH_B	7,61	6,95	8,18	7,79	7,09	8,31	7,37	6,28	8,19	7,73	7,02	8,38	7,37	6,02	8,17	7,57	6,67	8,37	7,82	7,61	7,96
ORP_A (mv)	204,08	164,10	263,60	227,92	189,90	385,00	250,96	188,00	409,00	259,98	188,20	405,00	237,26	142,00	409,00	242,56	178,60	421,00	350,33	309,00	378,00
ORP_B (mv)	211,13	187,40	252,60	226,68	193,30	394,10	251,88	188,00	409,00	265,94	188,50	408,00	248,32	162,00	401,00	245,61	188,90	427,00	345,50	305,00	386,00
NTU_A	0,79	0,15	3,67	0,39	0,00	1,62	0,35	0,01	2,44	0,50	0,00	2,26	0,26	0,00	1,41	0,31	0,00	1,02	nd	nd	nd
NTU_B	0,85	0,17	2,79	0,44	0,00	1,93	0,25	0,00	1,63	0,39	0,00	1,70	0,21	0,00	1,86	0,26	0,01	1,51	nd	nd	nd
CARGA (Kg/m <sup>3</sup> )	5,20	0,00	8,22	3,22	0,24	6,02	6,16	0,30	10,46	3,12	0,00	6,87	3,82	0,67	14,75	3,87	0,00	10,05	nd	nd	nd
CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	7,20	4,29	14,74	14,33	7,04	21,12	16,05	4,02	21,48	5,74	1,73	9,29	8,30	5,40	16,80	6,34	3,97	11,13	3,77	3,61	3,89
RENOVACIÓN (%/día)	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	7,44	2,27	55,92	8,22	4,66	8,30	9,98	8,40	101,06	10,99	8,31	20,67	9,80	9,80	9,80

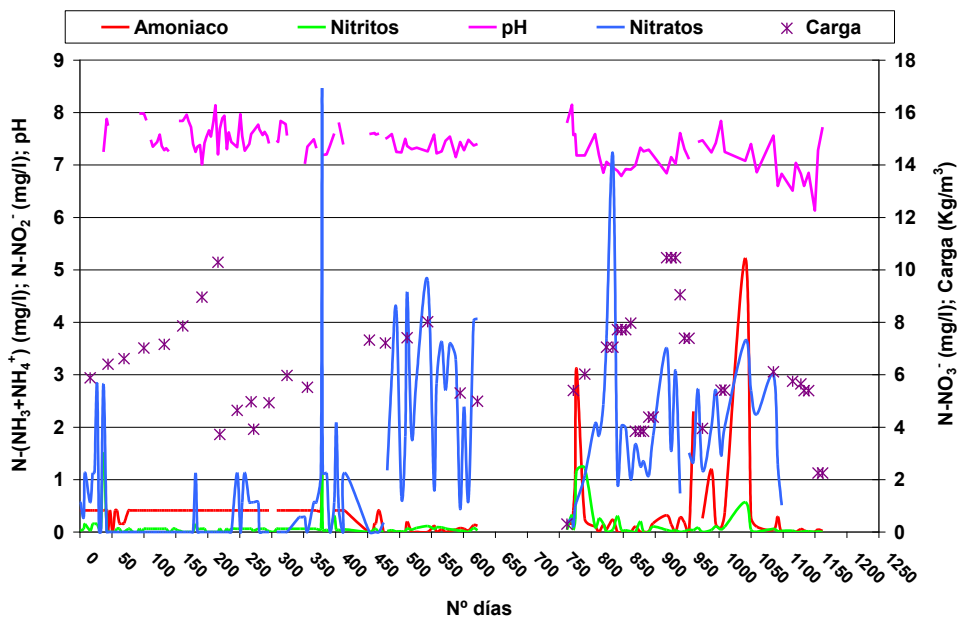
nd = no determinado

**Tabla VII.** Coeficientes de correlación parcial entre el nivel de oxígeno (A: tanque de expansión; B = entrada de agua a los tanques) y las variables independientes temperatura, salinidad, carga, caudal y renovación de agua exterior.

CCP	O2 (%)		O2 (%)	
	A	P<	B	P<
Temperatura	-0,34	0,01	-0,47	0,001
Salinidad	-0,23	0,05	-0,24	0,05
Carga	-0,39	0,001	-0,38	0,001
Caudal	0,09	ns	0,08	ns
Renovación	0,00	ns	0,07	ns

**Tabla VIII.** Coeficientes de correlación parcial entre los diferentes productos nitrogenados (A: tanque de expansión; B = entrada de agua a los tanques) y las variables temperatura, oxígeno, pH, potencial redox (ORP) y carga.

CCP	N-(NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )				N-NO <sub>2</sub>				N-NO <sub>3</sub>			
	A	P<	B	P<	A	P<	B	P<	A	P<	B	P<
Temperatura	0,00	ns	0,05	ns	0,00	ns	0,00	ns	0,01	ns	-0,03	ns
Oxígeno	-0,04	ns	0,07	ns	0,00	ns	0,00	ns	-0,15	ns	-0,14	ns
pH	0,07	ns	0,02	ns	0,13	ns	0,14	ns	-0,14	ns	-0,14	ns
ORP	0,06	ns	0,02	ns	<b>0,25</b>	<b>0,01</b>	<b>0,26</b>	<b>0,01</b>	0,11	ns	0,14	ns
CARGA	-0,09	ns	-0,15	ns	0,12	ns	0,11	ns	<b>0,22</b>	<b>0,05</b>	<b>0,20</b>	<b>0,05</b>
Amoniaco					0,05	ns	0,06	ns	-0,05	ns	-0,02	ns

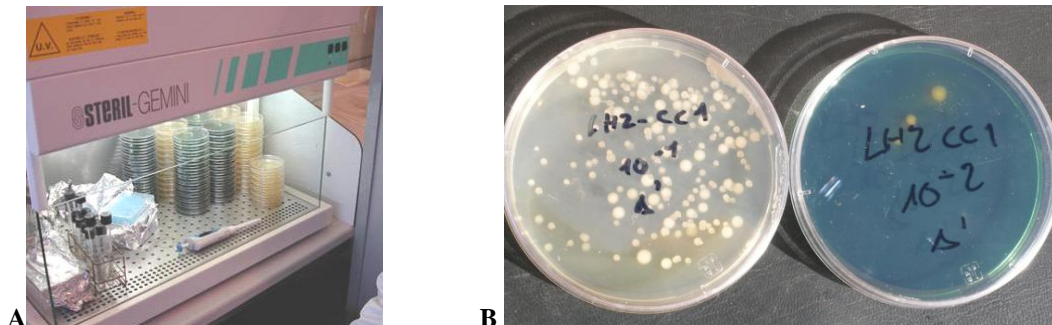


**Figura 2.** Registro de los valores de amoníaco, nitritos, nitratos, pH y carga de cultivo en el circuito LH2CC1 de las instalaciones experimentales del IMIDA. (*Diplodus puntazzo* y *Sparus aurata*, Nov04-Ene08).

### Actividad 3B. Análisis microbiológico del agua.

Se ha llevado a cabo un seguimiento del grado de contaminación bacteriana en el agua de los circuitos siguiendo el protocolo recomendado por el IRTA. La siembra

de las placas se hizo por duplicado en una campana de flujo laminar vertical (Steril, Modelo Gemini) para evitar la contaminación externa, y la incubación en una estufa de cultivo (Binder. Mod. KB115) a 25° C durante 48 horas.



**Figura 3(A-B).** Campana de flujo laminar empleada para la siembra en placas (A). Siembra de muestras de agua en placas con medios de cultivo TSA (izquierda) y TCBS (derecha) para recuento de bacterias totales y vibrios, respectivamente (B).

Se han llevado a cabo un total de 15 recuentos, observando en el agua de entrada a los tanques valores máximos de 17300 bacterias totales/ml y 13600 vibrios/ml, y para el tanque de expansión de 45250 bacterias totales/ml y 29850 vibrios/ml (Tabla IX). De forma general, se observó una disminución de la población bacteriana total y de vibrios en circuitos con instalación de lámpara UV (Fig. 4).

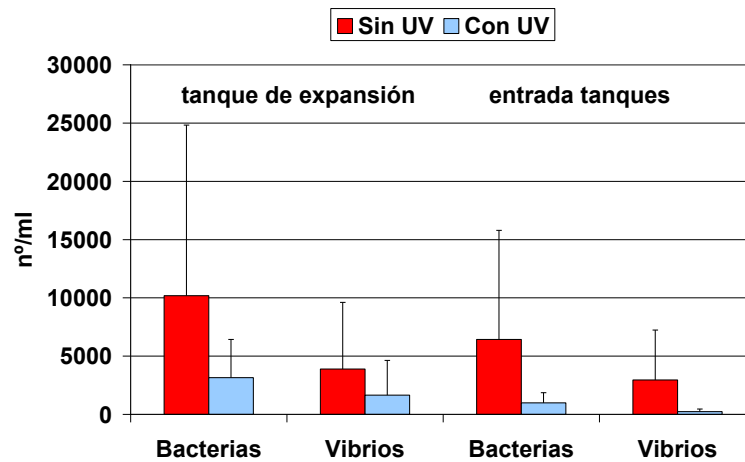
**Tabla IX.** Recuento de bacterias totales y vibrios en el tanque de expansión (A) y en el agua de entrada a los tanques (B) en los circuitos de recirculación de agua marina del IMIDA.

Fecha	Circuito	Especie	Carga kg/m <sup>3</sup>	UV*	T (°C)	Días	BA** nº/ml	BB** nº/ml	VA*** nº/ml	VB*** nº/ml
23/08/2006	LH2CC3	<i>D. puntazzo</i>	3,6	1	27,3	248	600	200	500	0
23/08/2006	LH2CC4	<i>D. puntazzo</i>	3,1	0	25,1	53	4600	400	2700	2900
28/09/2006	LH2CC3	<i>D. puntazzo</i>	4,3	1	24,3	283	450	50	0	0
24/10/2006	LH2CC2	Varias	0,7	0	23,1	13	8000	7000	7000	4500
24/10/2006	LH2CC4	<i>D. puntazzo</i>	5,7	1	24,6	22	8100	7700	2300	100
14/11/2006	LH1CC2	<i>D. puntazzo</i>	3,4	0	20,3	14	1800	200	600	0
14/11/2006	LH2CC1	<i>Ostrea sp.</i>	0,3	0	20,4	7	0	0	200	0
16/01/2007	LH1CC2	<i>D. puntazzo</i>	0,2	0	20,7	77	845	415	1000	310
16/01/2007	LH2CC1	<i>Sparus aurata</i>	7,1	0	15,4	70	2040	240	2870	710
21/02/2007	LH2CC2	<i>O. vulgaris</i>	4,6	0	18,5	133	45250	17300	29850	13600
21/02/2007	LH2CC3	<i>D. puntazzo, O.</i>	6,7	0	18,4	429	7940	3130	3455	2735
08/05/2007	LH1CC1	<i>S. aurata</i>	6,3	0	24,9	75	21100	6250	10200	1750
08/05/2007	LH2CC1	<i>S. aurata</i>	6,2	1	23,4	182	2400	470	510	340
24/07/2007	LH2CC4	<i>S. aurata, D. labr</i>	9,6	1	25,0	114	6350	875	1750	535
24/07/2007	LH2CC1	<i>S. aurata</i>	5,4	1	26,0	257	970	585	850	400

\*UV, Lámpara ultravioleta: 0 = Desconectada; 1 = Conectada.

\*\*BA y VA: Bacterias y vibrios en tanque de expansión

\*\*\*BB y VB: Bacterias y vibrios en el agua de entrada a los tanques



**Fig 4.** Valores medios y desviación estándar del nº de bacterias y de vibrios por ml en el tanque de expansión y en el agua de entrada a los tanque en circuitos con presencia o ausencia de lámpara UV.

Entre los factores que mejor se correlacionaron con el grado de contaminación bacteriana se encuentran la carga de cultivo, con un efecto positivo, y la presencia o ausencia de lámpara UV (Tabla X), cuya instalación redujo en un 59 % el nº de bacterias totales y en un 66 % el de vibrios en el agua procedente del tanque de expansión. Ni la temperatura del agua ni el nº de días de funcionamiento del circuito se correlacionaron con el nº de bacterias o de vibrios en el agua. No obstante, ninguna de las correlaciones observadas fue significativa, seguramente debido a la elevada variabilidad de los resultados obtenidos en los recuentos.

**Tabla X.** Coeficientes de correlación parcial entre el nº de bacterias y vibrios por ml en función de la carga de cultivo, temperatura (T), presencia o ausencia de lámpara UV (0 = No; 1 = Sí) y el nº de días de funcionamiento del circuito.

CCP Variable	Tanque expansión		Entrada tanques	
	Bacterias	Vibrios	Bacterias	Vibrios
<b>CARGA</b>	0,34	0,17	0,22	0,10
<b>UV</b>	-0,35	-0,18	-0,30	-0,30
<b>T</b>	0,09	0,00	0,00	-0,03
<b>Nº DIAS</b>	-0,01	-0,09	0,00	0,12

## EFICACIA DE LOS ELEMENTOS DE LOS CIRCUITOS CERRADOS:

En la Tabla XI se presenta una recopilación de los seguimientos realizados para comprobar la eficacia de los elementos de los circuitos. Se llevaron a cabo tomando muestras de agua cada media hora en distintos puntos del circuito durante periodos de 6 a 10 horas de duración, con cargas de cultivo comprendidas entre 1,7 y 9,2 kg/m<sup>3</sup>, y a temperaturas entre 15 y 28,6°C. El alimento fue suministrado en dos tomas, a las 9 y 13 horas de la mañana.

**Tabla XI.** Condiciones experimentales de los seguimientos realizados para comprobar la eficacia de los elementos de los circuitos cerrados

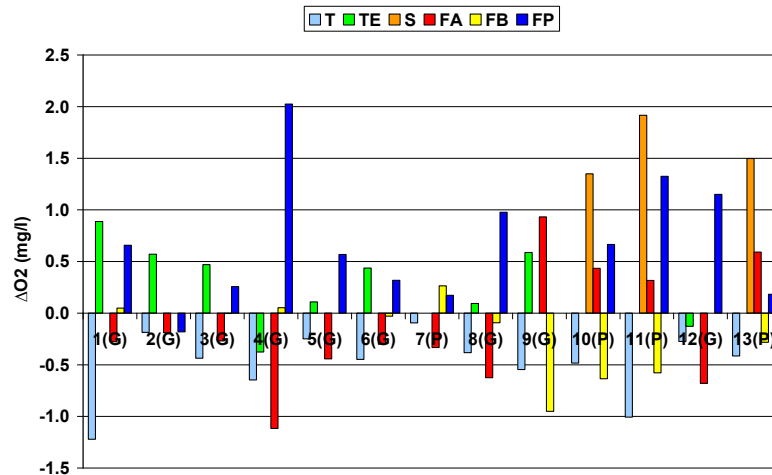
Nº	Fecha	Circuito	Especie	Duración horas	Peso g	Carga Kg/m <sup>3</sup>	Temperatura °C
1	09/03/2006	LH2CC1	<i>D. puntazzo</i>	6	189-846	7.4	19.1
2	24/03/2006	LH2CC2	<i>O. vulgaris</i>	6	354-648	1.7	19.1
3	27/06/2006	LH2CC1	<i>D. puntazzo</i>	6	354-947	5.0	28.6
4	11/07/2006	LH2CC3	<i>D. puntazzo</i>	6	150-400	3.6	28.4
5	08/08/2006	LH2CC4	<i>D. puntazzo</i>	6	40-45	3.4	25.4
6	02/11/2006	LH2CC3	<i>D. puntazzo, O. vulgaris</i>	10	392, 800	3.0	20.3
7	04/12/2006	LH1CC2	<i>D. puntazzo</i>	6	350-450	2.8	20.2
8	12/12/2006	LH2CC1	<i>S. auratus</i>	10	30-200	6.0	15.0
9	15/02/2007	LH2CC2	<i>O. vulgaris</i>	6	967-1588	4.6	19.1
10	27/03/2007	LH1CC1	<i>S. auratus</i>	6	200-300	5.9	24.3
11	19/06/2007	LH1CC1	<i>S. aurata</i>	6	434	9.0	25.3
12	26/07/2007	LH2CC4	<i>S. aurata, D. labrax</i>	6	435	9.2	24.8
13	08/11/2007	LH1CC2	<i>D. puntazzo, Maja sp.</i>	6	360, 1200	6.1	19.8

#### Actividad 4. Balance de la concentración de oxígeno en los distintos elementos de los circuitos cerrados.

A nivel de los tanques de cultivo, los filtros de arena y los filtros biológicos se dan balances negativos de oxígeno, con valores medios respectivos considerando todos los circuitos de  $-0,49 \text{ mgO}_2/\text{l}$ ,  $-0,21 \text{ mgO}_2/\text{l}$  y  $-0,14 \text{ mgO}_2/\text{l}$ . Tal y como se puede observar en la Figura 5, los balances negativos más acusados se dan a nivel de los tanques de cultivo ( $-1,2 \text{ mgO}_2/\text{l}$ ). También en los filtros de arena se alcanzaron balances negativos de hasta  $-1,1 \text{ mgO}_2/\text{l}$ , si bien, en algunos seguimientos se registraron valores positivos, lo que podría atribuirse a la disolución de burbujas de aire procedentes del tanque de expansión, que a su vez recoge el agua procedente del skimmer y las bombas de calor. Los balances positivos de oxígeno se dan por orden de importancia en los skimmer ( $1,59 \text{ mgO}_2/\text{l}$ ), los filtros de percolación ( $0,58 \text{ mg/l}$ ) y en los tanques de expansión ( $0,29 \text{ mgO}_2/\text{l}$ ).

En referencia al consumo de oxígeno, se observaron valores máximos de hasta  $13,69 \text{ gO}_2/\text{h}$  en los tanques del circuito LH2CC1, de  $9,75 \text{ gO}_2/\text{h}$  en los filtros de arena del circuito LH2CC3 y de  $5,28 \text{ gO}_2/\text{h}$  en el filtro biológico sumergido del circuito LH1CC1. La entrada de oxígeno en el tanque de expansión fue bastante variable dependiendo entre otros factores de la mezcla de agua-aire provocada por la entrada de agua de la bomba de calor o el skimmer. El skimmer aportó entre  $1,48$  y  $2,11 \text{ gO}_2/\text{h}$  y los filtros de percolación hasta  $17,67 \text{ gO}_2/\text{h}$  (ver Tabla XII).





**Fig. 5.** Balance de la concentración de oxígeno en los distintos elementos de los circuitos (T= Tanques; TE = Tanque de expansión; S = Skimmer; FA = Filtro de arena; FB = Filtro biológico; FP = Filtro de percolación) y en cada uno de los seguimientos realizados. Entre paréntesis se especifica el tipo de circuito. (P = El agua llega a los tanques de cultivo por la presión de la bomba impulsora; G = El agua llega por gravedad desde el tanque de percolación).

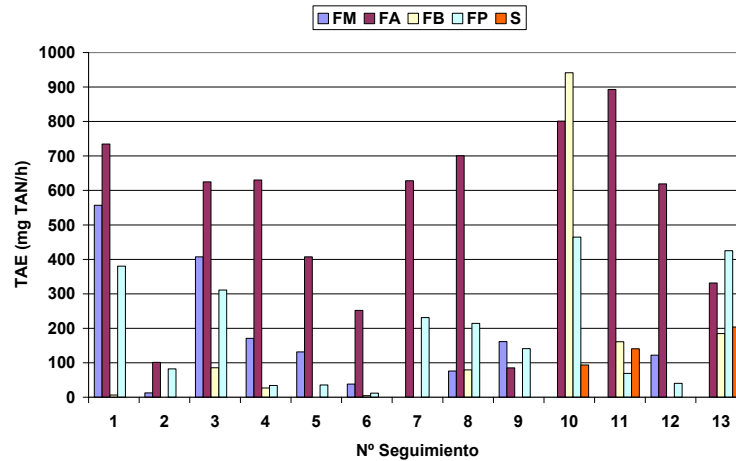
**Tabla XII.** Consumo de oxígeno (gO<sub>2</sub>/h) en los diferentes elementos de los circuitos. Valores positivos indican una entrada de oxígeno al circuito y negativos un consumo.

Fecha	TIPO	T	TE	S	FA	FB	FP
09/03/2006	G	-13.69	9.94	ND	-3.11	0.54	7.37
24/03/2006	G	-0.38	1.16	ND	-0.39	NA	-0.37
27/06/2006	G	-6.32	6.79	ND	-3.90	-0.06	3.70
11/07/2006	G	-5.65	-3.29	ND	-9.75	0.45	17.67
08/08/2006	G	-1.48	0.65	ND	-2.64	NA	3.39
02/11/2006	G	-2.73	2.91	ND	-2.01	-0.20	1.92
04/12/2006	P	-0.99	NA	ND	-4.51	3.17	2.32
12/12/2006	G	-4.66	0.88	ND	-7.60	-1.14	11.85
15/02/2007	G	-1.48	1.96	ND	3.11	NA	-3.18
27/03/2007	P	-2.68	NA	1.48	2.44	-5.28	5.51
19/06/2007	P	-7.27	NA	2.11	1.89	-4.18	9.56
26/07/2007	G	-1.32	-0.74	ND	-3.94	NA	6.66
08/11/2007	P	-3.36	NA	1.65	4.77	-2.29	0.88

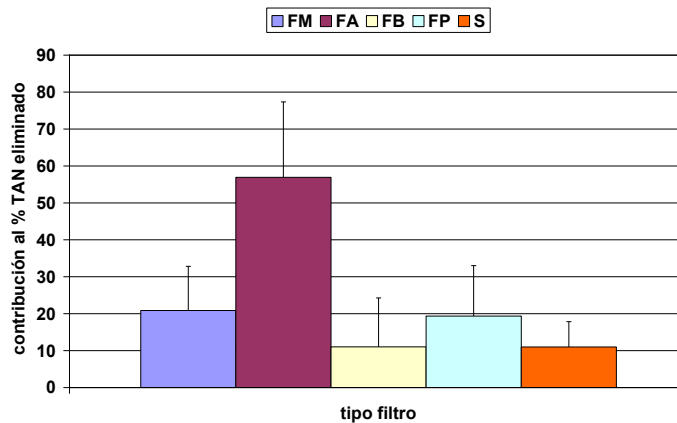
T= Tanques; TE = Tanque de expansión; S = Skimmer; FA = Filtro de arena; FB = Filtro biológico; FP = Filtro de percolación

### Actividad 5. Tasa de oxidación de amoníaco por los distintos elementos de los circuitos cerrados.

En la mayoría de los seguimientos realizados los filtros de arena mostraron la mayor tasa absoluta de eliminación de amoníaco (TAE) con valores de hasta 900 mgTAN/h. Sólo en uno de los seguimientos realizados el filtro biológico sumergido presentó valores similares, no obstante, de forma general han sido los filtros que menos contribuyeron a la eliminación de amoníaco. A los filtros de arena le siguieron por orden de importancia los filtros mecánicos de esponja y de percolación, con tasas de eliminación máximas de hasta 575 y 480 mgTAN/h, respectivamente. Los skimmer mostraron tasas comprendidas entre 90 y 200 mgTAN/h (ver Figura 6.)



**Figura 6.** Tasa absoluta de eliminación de amoníaco (mgTAN/h) por parte de los elementos de filtración en los distintos seguimientos realizados.

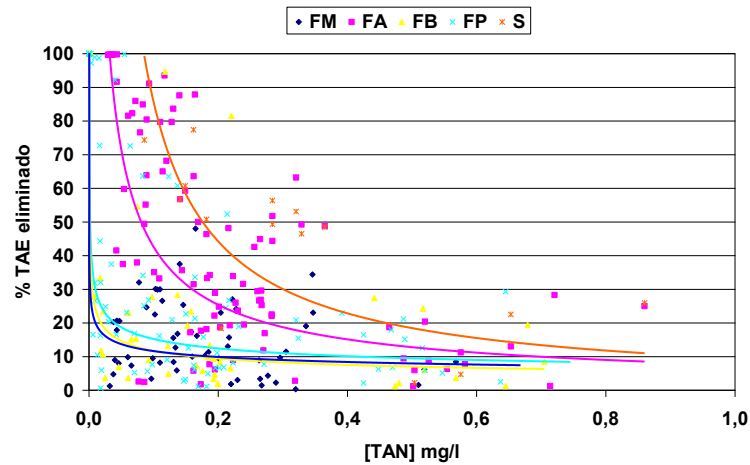


**Figura 7.** Contribución al amoníaco eliminado por parte de los diferentes elementos de filtración. Se representan los valores medios del porcentaje de amoníaco eliminado respecto del total, considerando todos los seguimientos.

Cuando los valores se expresan en porcentaje respecto del total de amoníaco eliminado se comprobó que los filtros de arena fueron los responsables de entre el 50 y 60 % del TAN eliminado, los filtros mecánicos de esponja y los de percolación mostraron valores similares en torno al 20 % cada uno, y los biológicos sumergidos y los skimmer de aproximadamente el 10 % cada uno (Figura 7).

### Efecto de la concentración de amoníaco a la entrada de los filtros.

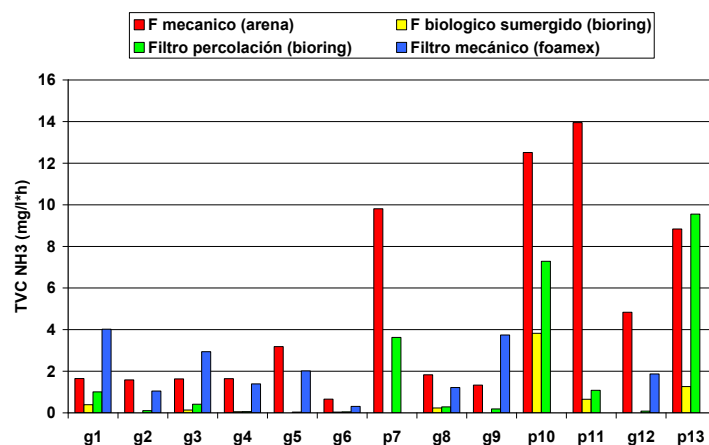
La concentración de amoníaco a la entrada de los filtros podría afectar al rendimiento de éstos, por lo que se representa en la Figura 8 el porcentaje de amoníaco eliminado (PTE) respecto de la concentración de amoníaco a la entrada de los filtros. Tal y como se observa los filtros de arena y los skimmer son más eficaces a elevadas concentraciones de amoníaco, de forma que para una concentración de TAN de 0,3 mg/l los primeros transforman aproximadamente el 20 % del amoníaco que entra, y los segundos hasta el 30 %. Los filtros restantes (mecánicos de esponja, biológicos sumergidos y de percolación) eliminan en torno al 10 % a una concentración de 0,3 mgTAN/l.



**Figura 8.** Relación entre el porcentaje de amoníaco eliminado (PTE) en función de la concentración de TAN a la entrada de los distintos tipos de filtros (FM = Filtro mecánico de esponja; FA = Filtro de arena sumergido; FB = Filtro biológico sumergido; FP = Filtro de percolación; S = Skimmer).

### Eficacia de los materiales empleados para la filtración.

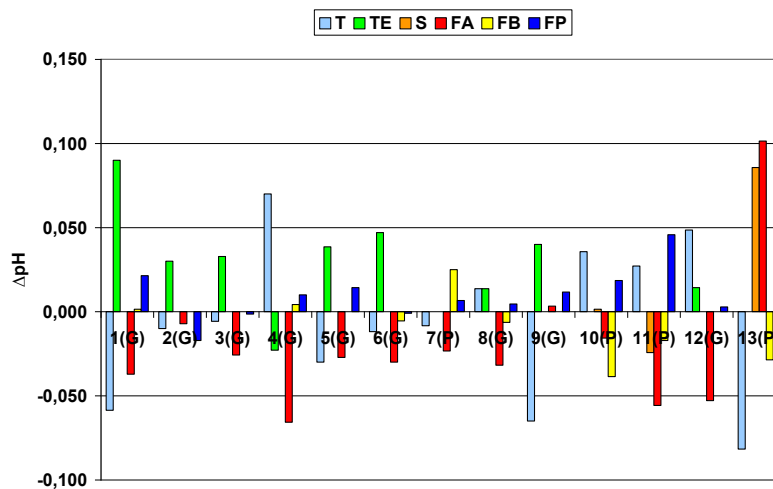
En la Figura 9 se expresa la tasa volumétrica de conversión de amoníaco (TVC en mgTAN/l\*h) de cada uno de los filtros con su material filtrante correspondiente y en cada uno de los seguimientos realizados. Este valor expresa los mg de TAN que son transformados cada hora por cada litro de material filtrante. En los circuitos tipo G, los materiales de filtración más eficaces son la arena silíceica y la esponja tipo foamex, con TVC máximas de entre 4 y 5 mgTAN/l\*h, seguidos por el bioring de los filtros de percolación (hasta 1 mgTAN/l\*h) y el de los filtros biológicos sumergidos (hasta 0,3 mgTAN/l\*h). En el caso de los filtros tipo P no hay filtro mecánico de esponja y el amoníaco es transformado por los filtros de arena, biológico sumergido y de percolación. Al igual que en los circuitos tipo G el material más eficaz sigue siendo la arena silíceica, con valores que alcanzan hasta 14 mgTAN/l\*h.



**Figura 9.** Comparación de la tasa volumétrica de conversión de TAN (TVC) por los distintos materiales de los filtros sometidos a ensayo.

## Actividad 6A. Variación del pH en los distintos elementos de los circuitos cerrados.

En general no se observan variaciones importantes de pH, si bien el paso del agua a través de los filtros de arena y biológicos produce una disminución media del pH, considerando todos los seguimientos, de 0,02 y 0,01 unidades respectivamente, pudiéndose atribuir al proceso de oxidación de amoníaco por parte de la flora bacteriana. Además, en algunos seguimientos se observaron descensos puntuales superiores a media décima de pH en los tanques de cultivo, en este caso atribuible a la propia actividad respiratoria de los animales. Por el contrario, en los tanques de expansión y filtros de percolación se observaron considerando todos los seguimientos aumentos medios del pH de 0,03 y 0,01, respectivamente.

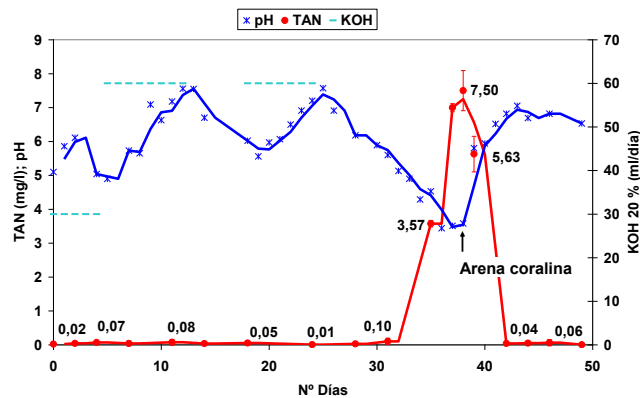


**Figura 10.** Variación del pH del agua después de pasar por los distintos elementos de los circuitos (T= Tanques; TE = Tanque de expansión; S = Skimmer; FA = Filtro de arena; FB = Filtro biológico; FP = Filtro de percolación) y en cada uno de los seguimientos realizados. Entre paréntesis se especifica el tipo de circuito. (P = El agua llega a los tanques de cultivo por la presión de la bomba impulsora; G = El agua llega por gravedad desde el tanque de percolación).

## Actividad 6B. Efecto de la filtración con sustratos calcáreos sobre el pH.

Se comprobó la eficacia de la arena coralina como sustrato calcáreo para regular el pH. Con este fin se dispuso un tanque de 700 l donde se inyectaba mediante una bomba peristáltica una disolución de cloruro amónico 0,2 M a razón de 400 ml/día. El agua del tanque pasaba a través de filtros EHEIM (Modelo 2215) para acuarios con distintas cargas filtrantes, incluyendo cerámicas, zeolitas, carbón y arena silíceo. El pH se mantuvo en una primera fase entre 6 y 7 añadiendo potasa al 20 %, manteniéndose la concentración de amoníaco en el tanque por debajo de 0,1 mg/l. Después de 25 días se detuvo el suministro de potasa al tanque, provocando un descenso del pH hasta valores inferiores a 4 en los días posteriores. De forma paralela el amoníaco se disparó hasta alcanzar valores de 7,5 mg/l e indicando la incapacidad de los filtros para eliminar el amoníaco en estas condiciones. A partir de este momento se conectó un filtro similar a los anteriores con una carga de 4 litros de arena coralina. Tal y como se observa en la Figura 11 se registró un incremento a corto plazo del pH de 2 unidades en un

día y de 3,5 unidades en 5 días. Los niveles de amoníaco en el tanque regresaron a los niveles originales en un plazo de 4-5 días.



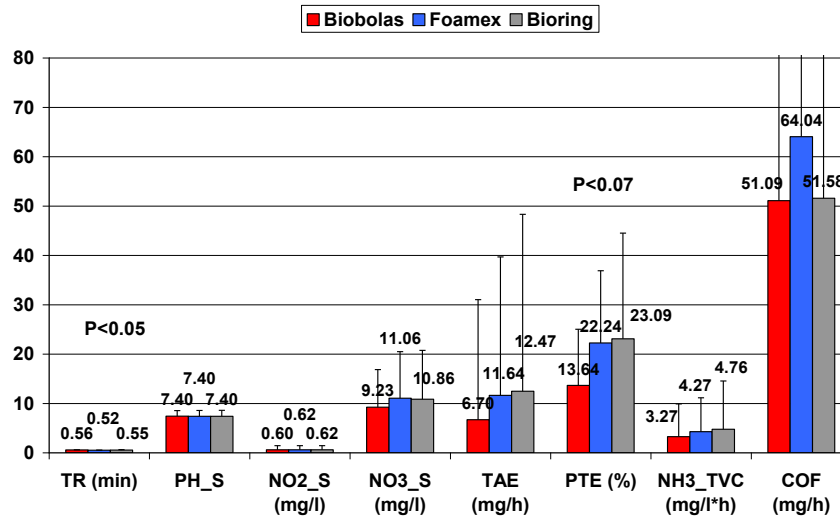
**Figura 11.** Variación del amoníaco disuelto (TAN:  $\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4^+$ ) y del pH en un tanque de 700 l antes y después de instalar un filtro de arena coralina.

### Actividad 7. Tasa de oxidación de amoníaco de distintos sustratos comerciales.

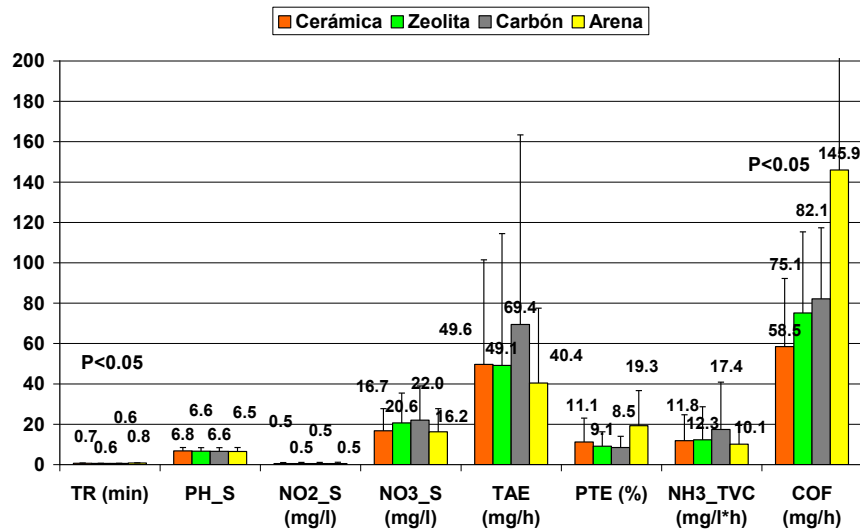
Se llevó a cabo un barrido de distintos sustratos comerciales: biorring, biobolas, espuma foamex, cerámicas, zeolitas, carbón activo y arena silíceo. Se empleó el mismo dispositivo experimental que en el apartado anterior (actividad 6B; ver Fig. 12). Se comprobó la eficacia de los material de filtración por triplicado (tres filtros para cada material) midiendo tanto en el tanque principal (agua de entrada a los filtros) como a la salida de cada filtro la temperatura, el pH, salinidad, oxígeno y potencial redox de forma diaria, y semanalmente el amoníaco, nitritos y nitratos.



**Figura 12.** Detalles del tanque de 700 l y los filtros empleados para la determinación de la eficacia de distintos sustratos comerciales.



**Figura 13.** Comparación del tiempo de retención (TR), pH, nitritos y nitratos a la salida de los filtros (PH\_S, NO<sub>2</sub>\_S y NO<sub>3</sub>\_S, respectivamente), tasa absoluta de eliminación de amoníaco (TAE), porcentaje de amoníaco eliminando (PTE), tasa volumétrica de conversión de amoníaco (TVC) y consumo de oxígeno de filtros con distintos materiales de filtración.



**Figura 14.** Comparación del tiempo de retención (TR), pH, nitritos y nitratos a la salida de los filtros (PH\_S, NO<sub>2</sub>\_S y NO<sub>3</sub>\_S, respectivamente), tasa absoluta de eliminación de amoníaco (TAE), porcentaje de amoníaco eliminando (PTE), tasa volumétrica de conversión de amoníaco (TVC) y consumo de oxígeno de filtros con distintos materiales de filtración.

En un primer ensayo se comparó la eficacia de las biobolas, el bioring y la espuma foamex (Figura 13). No existieron diferencias significativas en el TR, pH, nitritos o nitratos a la salida de los filtros. No obstante, el bioring y la espuma foamex se mostraron más eficaces en la eliminación de amoníaco que las biobolas para los tres índices calculados (TAE, PTE y TVC). No obstante, el consumo de oxígeno para la espuma tipo foamex fue superior respecto de los otros dos materiales.

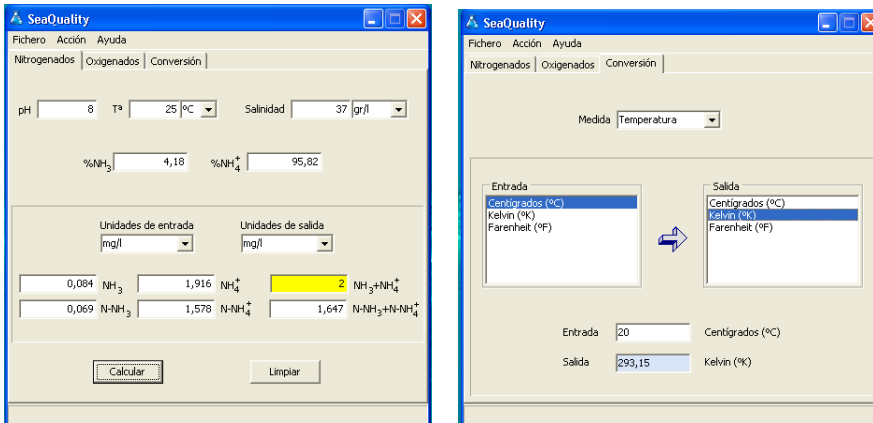
En un segundo ensayo se comparó la eficacia de las zeolitas, la cerámica, el carbón activo y la arena silíceas (Figura 14). El carbón activo mostró la mayor TAE



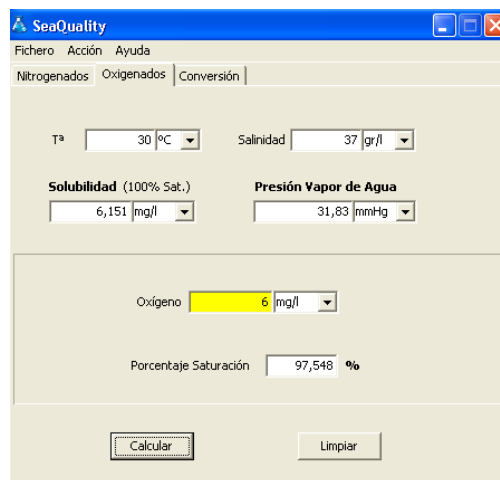
(69,4 mgTAN/h) en comparación con los restantes materiales, que mostraron valores similares en torno a 40-50 mgTAN/h. No obstante, la arena silíceo es capaz de eliminar hasta el 19 % del amoníaco de entrada al filtro, con valores en torno al 10 % para los otros materiales. El hecho de que el tiempo de retención a través de los filtros de arena fuera superior (menor caudal) influyó de forma directa en una menor TAE y TVC de este material. El consumo de oxígeno por parte de los filtros de arena fue significativamente superior al resto de los filtros.

**Actividad 8. Aplicación informática para el cálculo y cambios de unidad.**

Se ha elaborado la aplicación informática “SeaQuality” en entorno Windows para el cálculo y transformación de unidades. En la Figura 15A se muestra un ejemplo del cálculo del porcentaje de amoníaco ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ) y sin disociar ( $\text{NH}_3$ ) en función del pH, temperatura y salinidad, así como los valores de cada una de las especies después de introducir una concentración de amoníaco hipotética. En la Figura 15B se presenta un conversor de unidades. En la Figura 16 se muestra un ejemplo de funcionamiento para el cálculo de la solubilidad de oxígeno en el agua y del porcentaje de saturación de oxígeno.



**Figura 15(A-B).** Ejemplos de funcionamiento de la aplicación informática “Sea Quality” para el cálculo y conversión de unidades empleadas en acuicultura.



**Figura 16.** Ejemplo del cálculo de la solubilidad del oxígeno en el agua y porcentaje de saturación en función la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en el agua.

## CATALUÑA (INFORMES 2006, 2007, 2008)

### Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2006

**Proyecto coordinado: Tecnología de recirculación y desinfección en acuicultura marina**

**Subproyecto: 2. Recirculación y ozonización en el CA-IRTA**

**Comunidad Autónoma: Cataluña**

**Organismo: IRTA**

**Investigador principal: Ricard Carbó**

#### **Descripción de las actividades realizadas.**

En el año 2006 se ha procedido a la adquisición, instalación y manejo de los componentes y equipos necesarios para llevar a cabo las experiencias.

Equipos adquiridos (entre otros) han sido:

- 2 Fraccionadores de espumas "Hegoland 250"
- 1 ozonizador Sander 1- 2 g O<sub>3</sub>/h (según el uso de aire o oxígeno como gas fuente)
- 1 Controlador Dosatronic
- 1 sonda O<sub>3</sub> (ppm) lectura en continuo mod. OZ7
- 1 Controlador Bürkhert
- 1 Sonda RedOx Bürkhert
- 1 sistema de alarma de detección de O<sub>3</sub> GMA81

El IRTA dispone desde hace 6 años de 24 sistemas de recirculación, todos idénticos, y se decidió dedicar dos de ellos al proyecto de *Tecnología de recirculación y desinfección en acuicultura marina*. En uno de ellos se instalaron los componentes necesarios para dotarlo de un sistema de generación, dosificación, mezcla y destrucción de ozono, al otro se le incorporaron los mismos componentes excepto del generador de ozono (como prueba en blanco). A continuación de cada módulo de tratamiento de agua se dispusieron 3 tanques de 1500 litros cada uno para disponer triplicados.

Toda la instalación ha sido llevada a cabo por el personal IRTA y la empresa KILUEA cuyo gerente el Sr. Michael Hites es también investigador participante de este proyecto.

Durante los últimos meses del 2.006 todos los sistemas han quedado totalmente instalados, hemos estado también llevando a cabo pruebas de su funcionamiento.

#### **Situación del proyecto.**

En este momento y tras las pruebas preliminares nos encontramos en una pequeña encrucijada donde deberemos tomar una determinación. Nuestra intención era poder tener una lectura en continuo de ozono con una sonda

específica para tal uso, el hecho es que el ozono reacciona instantáneamente y para poder llegar realmente a tener una lectura de ozono residual, deberíamos dosificar una cantidad lo suficientemente elevada como para poder oxidar todos componentes susceptibles de ser oxidados en el agua permitiendo así una sobresaturación de ozono gas, convirtiendo el agua de mar en un líquido bastante tóxico para los organismos acuáticos que quisiéramos cultivar.

Llegado a este punto, en que nos va ser difícil conocer la concentración de ozono en ppm en el agua, debido a su altísima reactividad, estamos valorando el hecho de adquirir una sonda que pueda leer la concentración de ozono GAS que estamos inyectando en nuestro Fraccionador de espuma y ayudándonos de un caudalímetro o rotámetro específico para ozono poder conocer con exactitud la cantidad de ozono inyectado a nuestro sistema.

Hemos encontrado un artículo de una experiencia en el Acuario de Monterrey, donde llevaron a cabo una experiencia cuyos paralelismos en la metodología nos animó a ponernos en contacto con el Investigador responsable y nos aclaró varios puntos interesantes, *“Foam fractionation versus ozone Contacting: Impacts on water Quality in a Natural Seawater System. Roger Phillips; Eric Kingsley; Sarah Mansergh; Robin Weber. Monterey Bay Aquarium, 886 Cannery Row, Monterey CA, 93940, USA.”*

#### **Métodos de muestrear los niveles de ozono en el sistema**

- El espectrofotómetro HACH de Monterrey con reactivos “acuvacc” para ozono no daba lecturas visibles de ozono en agua del mar.
- Esto es debido a la degradación casi instantánea del ozono con los componentes (sales) del agua de mar.
- Ellos probaron los reactivos de Cl<sup>-</sup> y después aplicaron un factor indicado por HACH para saber indirectamente la parte de ozono en el agua.
- Hay que tener en cuenta de posibles añadidos de hipocloritos al sistema que a veces ocurren por varios motivos.
- Parece que hay una relación lineal entre los hipobromitos detectados y la cantidad de ozono inyectada en el agua.
- Lo más estable en el agua parece ser el hipobromito.
- Es más, comparaciones con los resultados del equipo Hach de cloruro libre (no cloruro total) de las muestras daban casi los mismos resultados que el método de las titulaciones de hypobromito.

#### **Métodos de inyectar ozono en el sistema**

- Roger Phillips duda de la precisión de su técnica para calcular la cantidad de ozono disuelto en su sistema mediante un flujo constante por el controlador “API” y después comparando esto con el caudal de agua pasando por la cámara de contacto (skimmer). Él reconoce que este sistema puede dar resultados variables. El problema de fondo es como calcular la transferencia en masa de ozono en forma de gas al medio acuático.

Llegado a este punto hemos decidido trabajar con la sonda de RedOx la cual nos da idea, no del ozono disuelto, sino de la capacidad oxidante de esta agua inducida por la dosificación de Ozono, reaccionando con otros iones como el bromuro y cloruro para formar oxidantes que son tóxicos para peces y moluscos. Los más importantes de los cuales son:

Disinfectant Byproducts	
<b>Aldehydes</b>	<b>Aldo- and Ketoacids</b>
Formaldehyde	Pyruvic acid
Acetaldehyde	<b>Brominated Byproducts*</b>
Glyoxal	Bromate ion
Methyl Glyoxal	Bromoform
<b>Acids</b>	Brominated acetic acids
Oxalic acid	Bromopicrin
Succinic acid	Brominated acetonitriles
Formic acid	<b>Others</b>
Acetic acid	Hydrogen peroxide

\*Brominated byproducts are produced only in waters containing bromide ion  
Source: Singer, 1992.

Hemos llevado a cabo determinaciones de concentración de ozono disuelto en el agua de mar, con un espectrofotómetro portátil de la casa Hach Dr 870, método 8311 (AccuVac) ver manual de Hach), tal y como refleja en su artículo Roger Phillips y hemos llegado a la misma conclusión que el:

Para probar el método cogimos una muestra de agua de mar y durante 60 seg. Estuvimos inyectando ozono con nuestro generador, inmediatamente procedimos a hacer lectura con el Hach y vimos que los valores o bien eran de 0 ppm o bien eran valores muy bajos 0.05 ppm lo cual no nos daba mucha confianza. Repetimos el ensayo pero esta vez con agua destilada y en esta ocasión tuvimos lecturas de 0,2 ppm, lo cual nos estaba indicando claramente que el ozono en agua destilada había llegado a sobresaturar la muestra porque parte de este ozono gas no pudo reaccionar con ningún elemento del agua así como por la desaparición del color índigo de la muestra. A diferencia del caso del agua de mar que entre materia orgánica y sales disueltas el ozono reaccionaba de inmediato y no produjo ningún cambio del color índigo del reactivo "acuvacc".

La conclusión es que si lo que queremos es buscar un método que sea fácilmente aplicable por las empresas de acuicultura, lo más sencillo podría ser:

- Trabajar con sondas RedOx, y ver los rangos en los que puede ser beneficioso o perjudicial el uso de este tratamiento en agua de mar en sistemas de recirculación.
- Trabajar con espectrofotómetros portátiles (tipo Hach) usando ensayos para cloruro libre comparándolos con las tablas de hipobromitos para calcular los niveles de ozono en el sistema.
- O aun más útil, usando los dos sistemas.



Módulo de tratamiento de agua



Sala de Experiencias



Detalle Fraccionador proteínas Controladores, Generador de ozono, sistema de alarma, sondas.

### **Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2007**

Proyecto coordinado: Tecnología de recirculación y desinfección en acuicultura marina

Subproyecto: 2. Recirculación y ozonización en el CA-IRTA

Comunidad Autónoma: Cataluña

Organismo: IRTA

Investigador principal: Ricard Carbó

En el año 2007 se ha puesto en marcha todo el sistema de ozonización usando las sondas de ozono, potencial redox y generador de ozono en los dos módulos ya habilitados (con y sin ozonificación). Los pasos han sido los siguientes:

- Primero, se han puesto en marcha todos los equipos para verificar su correcto funcionamiento. Se han medido amonios, nitritos, ozono disuelto, potencial redox, etc. con el objetivo de estudiar la correlación entre los distintos niveles de ozono y el efecto en el biofiltro.
- Una vez controlado el funcionamiento del sistema, se han introducido los animales, haciendo controles más exhaustivos.
- Por último, se han llevado a cabo los experimentos.

El objetivo que perseguimos es valorar el efecto de distintas dosis de ozono sobre los peces (alimentación, crecimiento, estrés, etc.) y sobre la flora bacteriana presente en los tanques de cultivo (crecimiento en placas de bacterias totales).

#### **Pruebas realizadas**

Los experimentos se han hecho con tres especies distintas y en tres estados de desarrollo diferentes. Para eso, se utilizaron los dos módulos; uno de control y el otro con inyección de ozono. Las condiciones han sido las mismas; igual caudal, concentración de ozono y la misma temperatura (22°C).

En la primera prueba se utilizaron doradas (*Sparus aurata*) de 150 g de peso, con una densidad de 4 kg/m<sup>3</sup> de agua. La siguiente prueba se realizó con alevines de corvina (*Argyrosomus Regius*) de 16,64 g de peso medio y una densidad de 5,77 kg/m<sup>3</sup>. Por último, se trabajó con rotífero (*Brachionus plicatilis*), con un inóculo inicial de 500 individuos/ml en un volumen de 8 litros.

Cada semana se aumentaba la dosis de ozono para ver qué niveles producen algún tipo de efecto sobre los peces y así poder saber los rangos entre los que se podrá trabajar posteriormente.

Los parámetros que se han controlado han sido: amonios, nitritos, nitratos, cloro y bromo libre, turbidez y sólidos en suspensión con el espectrofotómetro *Hach Colorimeter*; pH, temperatura, oxígeno, salinidad y potencial redox (ORP) con la sonda YSI multiparamétrica; y, por último, número de colonias totales en placas con Agar marino.

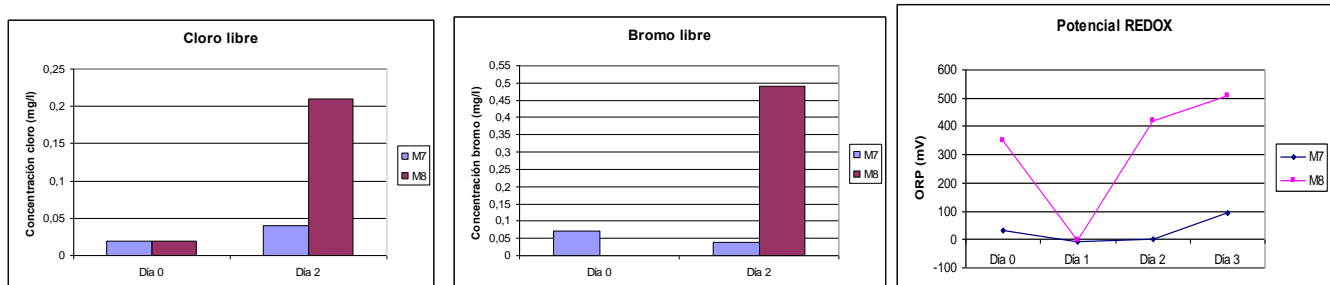
## Resultados y conclusiones

No se han encontrado diferencias significativas entre el primer y segundo experimento (doradas y alevines de corvina).

No se han observado diferencias claras en los parámetros de turbidez, sólidos en suspensión y número de colonias totales en los tres experimentos, aunque la tendencia ha sido decreciente. Por lo tanto, se cree que el ozono mantiene estos parámetros en un rango idóneo para el cultivo.

Aunque no se observan diferencias significativas con la turbidez en los tres experimentos, sí se observa una clara diferencia en el color del agua de cultivo. El módulo con ozonización mantiene el color normal de agua de mar, en cambio, el módulo sin ozonización se vuelve con el tiempo de color marrón oscuro.

Por último, se han encontrado diferencias significativas en el experimento realizado con rotífero. En el módulo con ozonización obtenemos, por un lado, que la concentración de cloro y bromo libre es creciente en el tiempo, y, por tanto, podemos decir que es acumulativo en un circuito cerrado con ozonización. Por otro lado, el potencial redox asciende en la medida que se va aumentando la dosis de ozono, debido a que la materia orgánica es oxidada.



Día 0 = sin inyección de ozono , Día "X" = con inyección de ozono, M7 = módulo sin ozono, M8 = Módulo con ozono



## Sugerencias para futuras pruebas

En el próximo experimento se utilizará un nuevo modelo de generador de ozono que permita la lectura digitalizada con registros históricos de la dosificación de ozono instantánea sobre el sistema. De esta manera, el control de la dosis de ozono aplicada es más exacto y, en caso de surgir algún problema, se puede actuar con seguridad y con rapidez.

Para evidenciar diferencias significativas de turbidez, TDS y número de colonias, sería interesante realizar el próximo experimento con las mismas especies pero con densidades más elevadas próximas a las utilizadas en las piscifactorías (20-30 kg/m<sup>3</sup>).

Las sondas de ozono y las medidas de potencial redox que muestran un valor en continuo no han funcionado muy bien. En su lugar, se ha utilizado una sonda YSI multiparamétrica que muestra el potencial redox en mV. Por eso, se ha pensado utilizar para futuras pruebas una sonda de oro y así obtener valores más exactos.



Módulo de tratamiento de agua, con ozonización (izquierda), y sin ozonización (derecha)



Módulo de tratamiento de agua con fraccionador de espuma

## Seguimiento Planes Nacionales de Cultivos Marinos-JACUMAR, año 2008

**Proyecto coordinado: Tecnología de recirculación y desinfección en acuicultura marina**

**Subproyecto: 2. Recirculación y ozonización en el CA-IRTA**

**Comunidad Autónoma: Cataluña**

**Organismo: IRTA**

**Investigador principal: Ricard Carbó**

### **Descripción de las actividades realizadas.**

En el año 2008 se ha procedido a la adquisición, instalación y manejo de 2 equipos de generación de ozono para dos usos diferentes:

- Un sistema generador de ozono (5g/h) para llevar a cabo los experimentos con ozono a escala piloto.
- Un sistema de tratamiento de agua con ozono (90 g/h) para desinfectar el agua residual de la sala Patología ubicada en nuestras instalaciones en IRTA.

**a) Sistema generador de ozono (5g/h) para llevar a cabo los experimentos con ozono a escala piloto.**

Equipos adquiridos (entre otros) han sido:

- Ozonfilt OZVA1000E, sistema de generación de ozono (5g/h)



- 1 Compresor completo LXF06 230V/ 50Hz
- Set de filtro de aire para compr. Altas Copco LXF1 sonda O3 (ppm) lectura en continuo mod. OZ7
- 1 DXCAW051MAPSES - controlador para piscinas Dulcomarin II



- 2 DXMAMW0SEN01 - Módulo dulcometer CAN
- 3 Sonda de redox RHEP-Au -SE

**Ubicación:** El IRTA dispone de 24 sistemas de recirculación, dos de ellos se están utilizando en el proyecto de *Tecnología de recirculación y desinfección en acuicultura marina*. En uno de ellos se han instalado los componentes descritos, para poder llevar a cabo los experimentos que se explicaran a continuación. Este nuevo sistema de generación de ozono para la desinfección del agua de cultivo, bien sea de mar o dulce y con todos los componentes de control y automatización de los que se le ha dotado, permiten llevar a cabo experimentos muy interesantes y muy variados, ya que el potencial de este equipo, permite trabajar en un rango muy amplio de producción de ozono, con un control exhaustivo, que garantiza el mantenimiento de las condiciones requeridas en cada experimento.

El otro sistema de recirculación, utilizado como control, es idéntico al primero, pero, sin generación de ozono.

Se han utilizado dos tanques de 1500 litros. Toda la instalación ha sido llevada a cabo por el personal IRTA y la empresa PROMINENT.

Durante el 2.008 todos los sistemas han quedado totalmente instalados, hemos estado también llevando a cabo pruebas de su funcionamiento.



Equipamiento añadido al Módulo IRTA



Detalle sala con Módulos IRTA

**b) Sistema de tratamiento de agua con ozono (90 g/h) para desinfectar el agua residual de la sala Patología ubicada en nuestras instalaciones en IRTA.**

El sistema de desinfección diseñado para agua procedente de la sala de patología donde se realizan diferentes pruebas con agentes patógenos de la fauna acuática.



Vistas del interior de la sala d patología



Detalle de uno de los tanques

Los datos de diseño son:

1. El agua a tratar: **Agua de mar**
2. Caudal a tratar: **13 m<sup>3</sup>/h**
3. Aporte diario aproximado de 500 gr de pienso, la mayor parte del cual es ingerido por las especies con las que realizan las pruebas.
4. Temperatura del agua: **14 – 26 °C**
5. pH del agua: **7,5 - 8**

Anteriormente para la eliminación de los patógenos se realizaba una filtración del agua de mar con un filtro de 50 µm y una posterior desinfección con dosis elevadas de hipoclorito sódico. Esta agua se encuentra en una balsa de 2 m<sup>3</sup>.

La solución planteada para el sistema de desinfección del agua procedente de la sala de patología, es a partir del ozono.



Modulo de tratamiento con ozono

A partir de una bomba autoaspirante, captamos el agua de la balsa de 2 m<sup>3</sup> de agua salada,



Arqueta de 2 m<sup>3</sup> donde viene toda el agua de la sala de patología

esta pasa a través de un filtro de arena, después entra en la cámara de contacto donde a partir de un sistema de medición redox, en la recirculación de esta, se dosifica el ozono. Con una válvula de bola con actuador eléctrico a la salida de la



cámara de contacto y con la medición redox, se garantizará el CxT, con el tiempo de permanencia y la dosis de ozono.

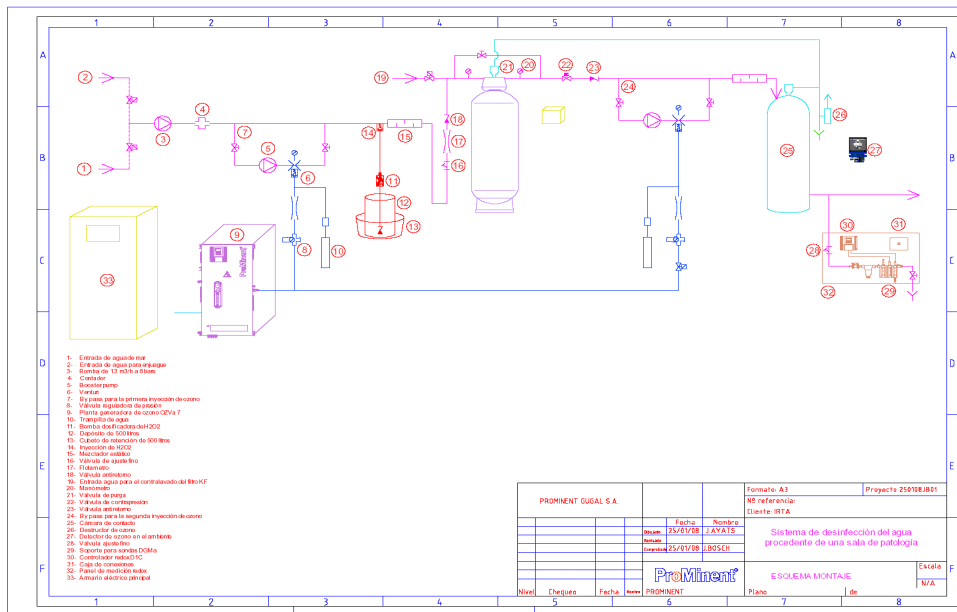
Por otro lado, a partir de un juego de válvulas de bola con actuador eléctrico se puede realizar la limpieza y enjuague con agua dulce.



Vista del interior del módulo de tratamiento con ozono

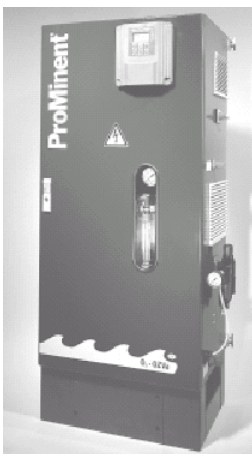


Vista del interior del módulo de tratamiento con ozono



Esquema de la planta de tratamiento con ozono para el agua residual de la sala de patología

Equipos adquiridos (entre otros) han sido:



**1 OZVa7000E** - Sistema generación de ozono Ozonfilt modelo OZVa  
7 - capacidad: 90gr/h (gas de proceso: oxígeno)  
conexión eléctrica: 230V, 50/60hz cabina azul

**1 Mezclador estático helicoidal de PVC DN50**  
**1 Eliminador ozono gas 1,5 m3/h a. inox.**

1 Detector de ozono GMA 36

1 DXCAW051MAPSES - controlador para piscinas Dulcomarin II



1 Sonda de redox RHEP-Au -SE

1 Compacto para el sistema de desinfección del agua procedente de la sala de patología:

### Situación del proyecto.

Se han planteado tres experimentos cuyos resultados serán de gran utilidad:

- 1) Ensayo de desinfección de rotífero con diferentes concentraciones de ozono y tiempo de contacto (C + T) de ozono.** Para hacer este ensayo, hacemos que la máquina de ozono mantenga los niveles de mV que deseamos en el tanque,. Con una de las 3 sondas que tiene el sistema podemos hacer una lectura en continuo de cómo evoluciona el potencial. Ponemos 3 cubiletes dentro del tanque y añadimos los rotíferos, lo repetiremos con diferentes C+T . Se han llevado a cabo análisis
- 2) Encontrar la Concentración + Tiempo (C + T) de potencial redox necesario para eliminar el Karlodinium y desactivar la toxina que desprende.** Para hacer este ensayo, haremos que la máquina de ozono mantenga los niveles de mV que deseamos en el tanque, y tomaremos una alícuota con el nivel de mV conocido. Con una de las 3 sondas que tiene el sistema podremos hacer una lectura en continuo de cómo evoluciona el potencial dentro del vaso de precipitados donde pondremos la alícuota. Neutralizaremos con bisulfito Este bisulfito simulará el carbón activo de una instalación más grande. Una vez neutralizado añadiremos el rotífero para ver si la toxina ha sido oxidada-eliminada. Repetiremos este ensayo con diferentes concentraciones y diferentes tiempos.
- 3) Dosis de O3 con las que debemos trabajar, para que podamos prescindir del biofiltro de un circuito cerrado.** Con este experimento trataremos de oxidar todo el amonio y el nitrito en nitrato, ver cuál es el (C + T) mínimo imprescindible para poder olvidarnos de trabajar con biofiltración .. Para hacer este experimento añadiremos una cantidad conocida de amoníaco en el sistema (p.ej 1 ppm N-NH3). El punto de partida del sistema será un potencial Redox conocido y habitual del agua de mar. Aplicaremos diferentes C + T de inyección de O3 y veremos la evolución de las curvas de Nitrógeno (NH3, NO2, NO3, pH, T ° C) y veremos si en un tiempo razonable de 12/24 h todo el nitrógeno a pasado a la forma NO3. Para ello será necesario hacer un seguimiento analítico de los parámetros, antes, durante y después de las 12/24 horas. Repetiremos el ensayo hasta encontrar la C + T mínimo necesario. También veremos cómo se acumula el Br<sup>-</sup>