



Informe:

**ACCIÓN COMBINADA DE AGENTES
DESINFECTANTES EN LA PLANTA DE
REGENERACIÓN DE AGUA DE
BLANES**

Girona, noviembre de 2006

EQUIPO DE TRABAJO

Experimentación y redacción del documento

El personal que ha intervenido en la obtención de resultados, la realización de experimentos y la elaboración del presente informe ha sido el siguiente (por orden alfabético):

- Anna Costan, Departamento de Microbiología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona.
- Estel Dalmau, Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, SA.
- Joan Jofre, Departamento de Microbiología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona.
- Francisco Lucena, Departamento de Microbiología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona.
- Miguel Montemayor, Departamento de Microbiología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona.
- Rafael Mujeriego, Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Andrey Payán, Departamento de Microbiología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona.
- Lluís Sala, Consorcio de la Costa Brava.
- Montserrat Soler, Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, SA.

Revisores del documento

Las personas que han intervenido en la revisión y enmienda del presente informe han sido las siguientes (por orden alfabético):

- Carmelo Llorente y Lluís Leyda, Teqma, SL.
- Joan Sanz, Veolia Water

ANTECEDENTES

En verano de 2005 se llevó a cabo en la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro un estudio a fin de evaluar los efectos producidos por la acción combinada de diferentes agentes desinfectantes, en concreto la luz ultravioleta y el hipoclorito, sobre la calidad microbiológica del agua regenerada. Este trabajo, fruto de la colaboración entre la Universidad de Barcelona (UB), la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), el Consorcio de la Costa Brava (CCB) y la empresa explotadora de la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro –entonces SEARSA, y actualmente Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, SA– fue publicado en julio de 2006 en la web del CCB (Consorcio de la Costa Brava, 2006a).

Las conclusiones de este trabajo mostraron la ventaja que supone para la protección de la salud pública la combinación de estos dos agentes desinfectantes, teniendo en cuenta el distinto grado de acción que cada uno de ellos aporta frente a los diferentes grupos de microorganismos. Así, se observó que mientras el hipoclorito actuaba, principalmente, provocando una reducción en las concentraciones de bacterias, la luz ultravioleta, pese a trabajar en unas condiciones relativamente desfavorables como son las de la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro en los meses de verano, era más efectiva que el mismo hipoclorito a la hora de reducir las concentraciones de virus y la infectividad de un protozoo patógeno como el *Cryptosporidium* spp. El estudio finalizaba con la recomendación de ampliar esta clase de estudios sobre la acción combinada de agentes desinfectantes en plantas de regeneración de agua que dispusieran de equipos de luz ultravioleta en unas condiciones de trabajo más favorables, a fin de evaluar su capacidad para inactivar aquellos microorganismos que habían mostrado una mayor resistencia en el estudio realizado en Castell-Platja d'Aro.

Paralelamente, a inicios de 2006 se acordó poner en funcionamiento el proceso de desinfección con luz ultravioleta de la planta de regeneración de agua de Blanes. Esta planta, en servicio desde finales de 2002, ha estado produciendo desde entonces un agua regenerada que ha tenido como utilidad principal la recarga del acuífero del tramo bajo del río Tordera, y que ha sido desinfectada tan sólo mediante la adición de hipoclorito. La necesidad de la entrada en servicio de la desinfección con luz ultravioleta ha obligado a plantear cuál debía ser el régimen de funcionamiento de esta instalación, dadas las diferentes posibles configuraciones de este proceso de desinfección. Estas diferentes configuraciones están basadas en el número de módulos de luz ultravioleta que pueden ponerse en funcionamiento (entre 1 y 4) y en la variabilidad de la dosis de hipoclorito a aportar para afinar la calidad del agua. Hasta el momento, la eficacia del proceso de desinfección de la planta de regeneración de agua de Blanes ha sido evaluada mediante la inactivación logarítmica de las concentraciones de *Escherichia coli*, aunque, con periodicidad mensual y desde marzo de 2004, se ha recogido información sobre la inactivación de los colifagos somáticos y de las esporas de clostridios sulfitorreductores.

Así, a partir tanto de las necesidades concretas de explotación y mantenimiento de la planta de regeneración de agua de Blanes como de los resultados obtenidos en el estudio de la acción combinada de agentes desinfectantes en la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro realizado en verano de 2005, el CCB y el Departamento de Microbiología de la Facultad de Biología de la UB, en colaboración con la Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, SA, y con la Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la UPC, propusieron a la Agencia Catalana del Agua (ACA) la realización de un experimento destinado a determinar las dosis de luz ultravioleta y de hipoclorito más adecuadas para lograr una desinfección de amplio espectro en la planta de regeneración de agua de Blanes, a fin de minimizar tanto los costes de explotación como los del seguimiento a realizar a posteriori.

LA PLANTA DE REGENERACIÓN DE AGUA DE BLANES

Descripción de los elementos

La planta de regeneración de agua de Blanes se diseñó para un caudal de efluente secundario de hasta 700 m³/h y consta de los siguientes elementos:

- Depósito de cabecera. La tubería de salida del efluente secundario hacia el emisario submarino dispone de un interceptor que permite derivar hasta 700 m³/h hacia el depósito de cabecera de la planta de regeneración de agua. El volumen del depósito es de 1.500 m³, por lo que el tiempo de residencia del efluente secundario es de aproximadamente unos 130 minutos, a caudal de diseño.
- Coagulación y floculación. El efluente secundario es bombeado desde el depósito de cabecera hacia el tratamiento fisicoquímico, que inicia el proceso de regeneración y que consiste en una coagulación y una floculación. La adición de reactivos (policloruro de aluminio, PAX 18, como coagulante y polielectrolito aniónico como floculante) provoca una agregación de las partículas de materia en suspensión en forma de copos, que son retirados del sistema en los procesos subsiguientes del tratamiento de regeneración. La elevada calidad del efluente secundario a lo largo de todo el año (MES < 10 mg/l y turbiedad < 5 NTU) comporta que habitualmente no sea necesario añadir estos reactivos para lograr la calidad deseada en el agua regenerada (MES < 10 mg/l y turbiedad < 2 NTU en percentil 90 en el conjunto anual de datos) (Consortio de la Costa Brava, 2006b). No obstante, las instalaciones existentes están diseñadas para aportar unas dosis de hasta 240 mg/l de coagulante y de hasta 230 mg/l de floculante.
- Decantación lamelar. El efluente de los reactores de coagulación y floculación llega a los decantadores lamelares, donde se produce la sedimentación de los copos de mayor medida. Se dispone de dos unidades de decantación lamelar, con una superficie total de 110,2 m² (55,1 m²/unidad x 2 unidades). A caudal de diseño (700 m³/h), la velocidad ascensional es de 6,4 m/h.
- Filtración. A continuación, el efluente decantado es conducido hasta los filtros Hydroclear, que presentan una única matriz filtrante de arena de cuarzo de grano fino de 25 cm de grosor y que son de tipo de lecho pulsado. La superficie filtrante es de 82,4 m² (20,6 m²/celda x 4 celdas), lo cual da, a caudal de diseño, una velocidad de filtración teórica de 8,5 m/h. Estos filtros retienen las partículas más pequeñas que no han podido ser eliminadas en la decantación lamelar.
- Desinfección con luz ultravioleta. Los módulos de luz ultravioleta están ubicados en un canal cerrado situado tras la filtración, y son los principales elementos de desinfección de la planta de regeneración de agua. Existen cuatro módulos con ocho lámparas cada uno, que pueden entrar en servicio independientemente, si las necesidades de desinfección así lo requieren. A caudal de diseño y para una transmitancia a 254 nm del 70 %, la dosis máxima de luz ultravioleta que puede aportar esta instalación es de 189 mJ/cm².
- Cloración de afinamiento y depósito de salida. Finalmente, el agua regenerada entra en un depósito de almacenamiento, en cuya entrada se realiza la adición de hipoclorito sódico que complementa la acción desinfectante de los equipos de luz ultravioleta. La configuración interna de este depósito, en forma de laberinto, provoca que la circulación del agua por su interior sea asimilable a la que se produciría en un reactor de flujo en pistón. El volumen del depósito es de 2.500 m³, de forma que, a caudal de diseño, garantiza un tiempo de contacto del agua con el cloro de unos 210 minutos.

Resultados de funcionamiento (enero de 2003-abril de 2006)

Desde la entrada en servicio de la planta de regeneración de agua de Blanes, y por encargo de la ACA, se llevó a cabo un extenso y completo seguimiento de las características físicas, químicas y biológicas del agua regenerada producida, a fin de documentar cuál era la calidad lograda y obtener información útil para la mejora progresiva del proceso de regeneración de agua. Esta información ha sido recopilada y presentada de forma resumida en un informe publicado en mayo de 2006 (Consortio de la Costa Brava, 2006b).



Figuras 1-3. Imágenes del proceso de regeneración de agua de Blanes y del agua regenerada producida: a la izquierda, detalle de los filtros; en el centro, equipos de desinfección con luz ultravioleta; a la derecha, imagen del punto de vertido del agua regenerada en el cauce del río Tordera.

Las conclusiones de este informe fueron las siguientes:

- La planta de regeneración de agua de Blanes es capaz de producir un agua regenerada que durante la mayor parte del tiempo cumple con los objetivos de calidad marcados por la ACA para la recarga del acuífero del tramo bajo del río Tordera. Cuando el agua regenerada no cumple alguno de los criterios principales (por ejemplo, por concentraciones de nitrógeno total superiores a los 10 mg N/l establecidos) es vertida al mar a través del emisario submarino existente.
- En el trienio 2003-2005 se reutilizaron 8,59 hm³ (millones de metros cúbicos) para la recarga del acuífero del tramo bajo del río Tordera, de un total de 10,13 hm³ de agua regenerada producida (85 % de reutilización), respecto a un total de 11,83 hm³ depurados (86 % de regeneración). El volumen de agua reutilizado para la recarga del acuífero representa un 73 % del total de agua depurada.
- La desinfección, realizada tan sólo con hipoclorito, permite cumplir durante la mayor parte del tiempo con la exigencia de disponer de un agua con concentraciones indetectables de *Escherichia coli* en muestras de 100 ml. Simultáneamente, este mismo nivel de desinfección produce una inactivación media de entre 1 y 2 logaritmos de esporas de clostridios sulfitorreductores y de colifagos somáticos en muestras de 100 ml.
- No se han detectado huevos de nematodos parásitos en muestras de 50 l y tan sólo se ha detectado presencia de *Salmonella* en una de las muestras de 100 ml tomadas durante este periodo.
- No se ha detectado la presencia de ninguno de los serotipos analizados de *Legionella* en ninguna de las 26 muestras de 1 l analizadas de efluente secundario ni en ninguna de las 26 muestras de igual volumen analizadas de agua regenerada.
- No se han detectado pesticidas organoclorados ni organofosforados, ni hidrocarburos aromáticos policíclicos en el agua regenerada.

- La concentración de trihalometanos se ha situado por debajo del límite normativo de aguas potables (100 µg/l) en 18 de las 21 muestras analizadas.
- Del conjunto de disolventes halogenados analizados, se han detectado simultáneamente un máximo de 10, mientras que 15 de ellos nunca han sido detectados. Los niveles medidos son del orden de µg/l.
- Los costes directos de la producción y el seguimiento del agua regenerada se sitúan en torno a los 0,05 €/m³.

La puesta en servicio de los equipos de desinfección con luz ultravioleta de la planta de regeneración de agua de Blanes se produce en el contexto de una instalación que ya está en funcionamiento. El objetivo de esta actuación es el de conseguir una doble mejora de la calidad del agua, tanto desde el punto de vista microbiológico, por la mejora del proceso de desinfección, como desde el químico, por el menor riesgo que existirá de formación de trihalometanos, al reducirse la dosificación de hipoclorito.

Resultados de las pruebas de rendimiento de los equipos de luz ultravioleta

El 25 de octubre de 2005, la empresa suministradora de los equipos de luz ultravioleta, Teqma, SL, realizó unas pruebas de rendimiento a fin de determinar el grado de desinfección logrado por los equipos instalados en varias condiciones de operación del sistema (caudal, módulos en funcionamiento y niveles de potencia). Los resultados de estas pruebas sirvieron para el diseño experimental del presente estudio (tabla 1) (Teqma, SL, 2005).

Tabla 1. Resultados de las pruebas iniciales de rendimiento de los equipos de desinfección con luz ultravioleta de la planta de regeneración de agua de Blanes realizadas por Teqma, SL. Análisis realizados en los Laboratorios Altimir, Blanes.

Dosis UV mJ/cm ²	Rango de concentraciones ufc/100 ml			Rango de reducciones logarítmicas ulog		
	<i>Escherichia coli</i>	Esporas clostridios	Bacteriófagos somáticos	<i>Escherichia coli</i>	Esporas clostridios	Bacteriófagos somáticos
0	75.000	6.100	27.000	-	-	-
30-60	1-32	570-620	1-16	3,4-4,8	0,99-1,03	3,2-4,4
60-90	0-18	28-810	1-16	3,6-4,8	0,88-2,34	3,2-4,4
> 90	2-32	70-210	1-30	3,4-4,6	1,46-1,94	3,0-4,4

La tabla 1 muestra que unas dosis de luz ultravioleta relativamente bajas (entre 30 y 60 mJ/cm²) permiten ya lograr unas reducciones prácticamente totales de *Escherichia coli* y de colifagos somáticos. Esto permite presuponer que el equipo instalado podrá trabajar habitualmente de una forma holgada, dada la potencia instalada y la calidad del agua regenerada producida por la planta de regeneración de agua de Blanes. A la vez, estos datos apuntan hacia la posibilidad de que su funcionamiento a la máxima potencia pueda ser un dispendio innecesario de energía, puesto que los niveles de desinfección deseados se logran a unos niveles intermedios de funcionamiento de los equipos.

Por lo tanto, y tal y como se ha comentado en el apartado «Antecedentes», el conocimiento de estos resultados empíricos y la necesidad de entrada en servicio del proceso de desinfección con luz ultravioleta han llevado al planteamiento de la realización de este estudio, con la idea de encontrar un régimen de funcionamiento que maximice la eficacia de la desinfección y que minimice los consumos de energía y de reactivos.

OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es determinar experimentalmente las dosis de agentes desinfectantes que hay que aplicar en el agua producida por la planta de regeneración de Blanes a fin de lograr una desinfección de amplio espectro frente a bacterias, virus y protozoos, para minimizar, de esta forma, los costes de explotación del sistema de desinfección y del posterior seguimiento de su calidad.

Los objetivos concretos del estudio son:

- Ensayar diferentes combinaciones de agentes desinfectantes y medir sus efectos sobre los distintos grupos de bacterias, virus y protozoos patógenos (*Cryptosporidium* spp.) escogidos para el experimento en condiciones controladas.
- Determinar las condiciones de trabajo óptimas del proceso de desinfección de la planta de regeneración de agua de Blanes, a fin de asegurar el cumplimiento de los requerimientos de calidad microbiológica del agua destinada a la recarga del acuífero del tramo bajo del río Tordera.
- Aportar información adicional a la ya existente sobre la acción combinada de dos agentes desinfectantes como son la luz ultravioleta y el hipoclorito.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tratamiento de regeneración

Los ensayos de la acción combinada de la luz ultravioleta y del hipoclorito se llevaron a cabo entre el 8 y el 31 de mayo de 2006 en la planta de regeneración de agua de Blanes. Durante este periodo, el caudal que se trató fue constante, de 600 m³/h, excepto a las 10 h del día 10 de mayo, que bajó a 200 m³/h por avería momentánea del bombeo de entrada al tratamiento de regeneración. Las muestras de las 11.30 h de aquel mismo día ya fueron tomadas, otra vez, con un caudal de 600 m³/h.

El tratamiento aplicado al efluente secundario durante el estudio consistió en:

1. Decantación lamelar. Debido a la elevada calidad del efluente secundario, durante el periodo de los ensayos no se realizó ninguna adición de reactivos y éste entró directamente en los decantadores lamelares. El caudal se repartió entre las dos unidades, de forma que la velocidad ascensional media fue de 5,4 m/h.
2. Filtración. El efluente decantado se repartió entre las cuatro celdas disponibles, con una velocidad de filtración media durante este tiempo de 7,3 m/h.
3. Desinfección: Las condiciones de trabajo fueron variables, en función del diseño experimental propuesto, ya que el objeto de este estudio era la evaluación de las diferentes posibilidades de combinación de los agentes desinfectantes disponibles (luz ultravioleta e hipoclorito). El detalle de las condiciones ensayadas se describe más adelante.

Determinación de la calidad del agua regenerada

Calidad fisicoquímica

La tabla 2 muestra los diferentes parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras recogidas a lo largo del estudio, tanto de efluente secundario como de agua regenerada. Las determinaciones se realizaron inmediatamente tras la recogida de las muestras, a fin de asegurar la máxima representatividad de los resultados.

Tabla 2. Descripción y métodos de análisis de los parámetros fisicoquímicos determinados en las muestras de agua obtenidas en la planta de regeneración de agua de Blanes.

Parámetros fisicoquímicos	Métodos analíticos
MES (mg/l)	Standard Methods, 2540-D
Turbiedad (NTU)	Nefelometría
Transmitancia a 254 nm (%)	Espectrofotometría
Cloro residual total	Kit colorimétrico

Calidad microbiológica

Microorganismos utilizados en el estudio

La distinta naturaleza de los agentes biocidas conlleva que cada uno de ellos tenga una manera diferente de actuar, a nivel físico en el caso de la luz ultravioleta, y a nivel químico en el caso de la cloración. Este estudio ha utilizado diferentes tipos de microorganismos a fin de

valorar la eficacia de los tratamientos aplicados.

Los microorganismos analizados han sido los siguientes:

- Bacterias indicadoras
 - *Escherichia coli*
 - Esporas de clostridios sulfitorreductores
- Bacteriófagos
 - Colifagos somáticos
- Protozoos
 - *Cryptosporidium* (ooquistes totales, viables e infectivos)
- Enterovirus
 - Enterovirus infecciosos sobre la línea celular BGM

Técnicas de concentración y enumeración

Bacterias

- *Escherichia coli*. El medio de cultivo selectivo escogido para cultivar *E. coli* fue el Chromocult Agar (Merck, Darmstadt, Alemania). La técnica de detección fue la de filtración por membrana y la incubación en el medio selectivo a 37 °C durante 24 h. Para realizar la lectura sólo se tuvieron en cuenta las colonias de color azul oscuro, correspondientes, según el fabricante, a *E. coli*.
- Esporas de clostridios sulfitorreductores. La enumeración se hizo mediante la siembra en masa en el medio selectivo SPS.

Bacteriófagos

- Colifagos somáticos. Concentración por filtración según Méndez *et al.* (2004) y enumeración mediante ISO 10705-2 (Anónimo, 2000).

Protozoos

- *Cryptosporidium* spp.
 - Concentración de las muestras según el protocolo descrito en el Método 1623 (US EPA, 1999).
 - Detección de los ooquistes mediante citometría de fase sólida según Montemayor *et al.* (2005).
 - Estudios de viabilidad según la técnica de inclusión-exclusión de colorantes vitales descrita por Campbell *et al.* (1992).
 - Estudios de infectividad de ooquistes de *Cryptosporidium* sobre células competentes HCT-8 y detección por técnicas inmunológicas indirectas (Slifko *et al.*, 1997).

Enterovirus

- Para la cuantificación de enterovirus en las muestras de los efluentes secundarios
 - Descontaminación de las muestras mediante filtros tipo GP 0,22 µm (Mocé-Llivina, 2003).
 - Cuantificación de los enterovirus presentes en los concentrados sobre la línea celular

BGM. Método de titulación de la doble capa (Mocé-Llivina, 2004).

- Para la cuantificación de enterovirus en las muestras de los efluentes terciarios
 - Concentración de los enterovirus presentes en las muestras en filtros electropositivos Zeta Plus y elución de los enterovirus adsorbidos en el filtro siguiendo el protocolo descrito por US EPA (1996).
 - Aplicación del método de concentración secundaria de floculación orgánica (Katzenelson, 1976).
 - Descontaminación de los concentrados obtenidos en el proceso de concentración secundaria mediante filtros tipo GP 0,22 μm (Mocé-Llivina, 2003).
 - Cuantificación de los enterovirus presentes en los concentrados sobre la línea celular BGM. Método de titulación de la doble capa (Mocé-Llivina, 2004).

Nomenclatura

- EC: *Escherichia coli*, ufc/100 ml.
- CSR: esporas de clostridios sulfitorreductores, ufc/100 ml.
- SOM: colifagos somáticos, ufp/100 ml.
- CRYOT: ooquistes totales de *Cryptosporidium* spp./l.
- CRYOV: ooquistes viables de *Cryptosporidium* spp./l.
- CRYOI: ooquistes infecciosos de *Cryptosporidium* spp./l.
- ENT: enterovirus, ufp/l.
- FIL: efluente secundario filtrado.
- 1UV: agua filtrada desinfectada con un módulo de luz ultravioleta.
- 2UV: agua filtrada desinfectada con dos módulos de luz ultravioleta.
- 1CL: agua filtrada desinfectada con adición de 1 mg Cl_2/l .
- 2CL: agua filtrada desinfectada con adición de 2 mg Cl_2/l .
- 0,6CL: agua filtrada desinfectada con una dosis de hipoclorito en torno a los 3 mg Cl_2/l y que ha producido un cloro residual total constante de 0,6 mg Cl_2/l .
- UVCL: agua filtrada desinfectada con un tratamiento combinado de luz ultravioleta y de adición de hipoclorito.

Ejemplos:

- FILSOM: valores de colifagos somáticos, en ufp/100 ml, en el efluente secundario filtrado.
- 1UV2CLSOM: valores de colifagos somáticos, en ufp/100 ml, en el agua filtrada y desinfectada con un módulo de luz ultravioleta y una dosis de hipoclorito de 2 mg Cl_2/l .
- 0,6CLSOM: valores de colifagos somáticos, en ufp/100 ml, en el agua filtrada y desinfectada con una dosis de hipoclorito para lograr un cloro residual total constante de 0,6 mg Cl_2/l .

Toma de muestras

Las muestras fueron recogidas en botellas estériles y preservadas en frío hasta su análisis en el laboratorio de la UB. Los análisis de *Escherichia coli*, de esporas de clostridios sulfitorreductores y de colifagos somáticos se realizaron durante las 12 h posteriores a su recogida, según la metodología descrita anteriormente.

Las muestras de *Cryptosporidium* fueron concentradas *in situ* mediante la filtración en cápsulas Envirocheck (US EPA, 1999), a razón de 2 l/min. Para las muestras del agua

filtrada se analizaron volúmenes de 20 l, mientras que para las muestras de agua regenerada desinfectada, ya fuese con luz ultravioleta o con cloro, se analizaron volúmenes de 50 a 80 l, en función de su calidad.

Las muestras de enterovirus fueron concentradas in situ mediante la técnica de filtración en filtros electropositivos MK (Cuno, Meriden), a razón de 1,4 l/min. El volumen filtrado fue de 100 l para todas y cada una de las muestras, tanto las de agua filtrada como las de agua regenerada desinfectada, ya fuese mediante luz ultravioleta o con cloro.

Diseño experimental

Condicionantes del estudio

Dada la gran variedad de condiciones posibles, y teniendo en cuenta tanto los resultados de las pruebas de rendimiento como los de la explotación rutinaria realizada hasta el momento, el diseño experimental se elaboró a partir de la selección de aquellas condiciones que previsiblemente eran las más susceptibles de ser aplicadas en la explotación rutinaria posterior.

Combinaciones de desinfectantes ensayadas

Las combinaciones ensayadas de las que se ha tomado muestra son:

- Agua filtrada (condiciones previas a la desinfección).
- 1 módulo UV + adición de 1 mg Cl₂/l de hipoclorito.
- 1 módulo UV + adición de 2 mg Cl₂/l de hipoclorito.
- 2 módulos UV + adición de 1 mg Cl₂/l de hipoclorito.
- Adición de hipoclorito en dosis en torno a 3 mg Cl₂/l para lograr un cloro residual total de 0,6 mg Cl₂/l. Esta dosificación se ha autorregulado a través de una sonda de medida en continuo del cloro residual total y es la dosis empleada hasta el momento para la desinfección del agua regenerada.

A partir de los resultados presentados en la tabla 1, correspondientes a las pruebas de rendimiento del proceso de desinfección, se ha descartado realizar ensayos con tres y cuatro módulos de luz ultravioleta en funcionamiento, puesto que son condiciones de trabajo que actualmente resultan innecesarias.

El anexo I recoge el detalle de las condiciones de trabajo del tratamiento de regeneración de agua durante el periodo de experimentación, así como los parámetros de calidad de cada una de las muestras tomadas.

Microorganismos analizados

- *Escherichia coli*.
- Esporas de clostridios sulfitorreductores.
- Colifagos somáticos.
- Enterovirus.
- *Cryptosporidium* spp.: ooquistes totales, viables e infectivos.

Recogida de muestras y frecuencia de muestreo

La estructura del experimento fue la de ensayar, en cada una de las semanas, uno de los

tratamientos escogidos, hasta un total de cuatro semanas. El criterio operativo fue el de recoger un número suficiente de muestras en cada una de ellas como para permitir obtener unos resultados con significación estadística.

Las condiciones operativas concretas a ensayar se implantaron los jueves de la semana precedente y el proceso de muestreo se realizó durante tres días consecutivos de la semana en cuestión, concretamente, los lunes, martes y miércoles. La única excepción se produjo en la tercera semana, en la que el tercer muestreo se hizo en jueves, mientras que las nuevas condiciones se implantaron el mismo día, una vez recogida la muestra. Este procedimiento se escogió a fin de asegurar la estabilización del proceso, de forma que los resultados obtenidos fueran verdaderamente representativos de las condiciones escogidas. Asimismo, se fueron alternando los módulos de luz ultravioleta que se ponían en funcionamiento, de forma que las horas de funcionamiento de las lámparas quedaran repartidas y el rendimiento fuese el más semejante posible entre ellas.

En cada uno de los días de muestreo se recogió una muestra de agua filtrada, representativa de las condiciones de partida, y tres del agua regenerada obtenida a partir del tratamiento ensayado. Tal y como se puede observar en el anexo I, se generaron un total de 21 muestras para cada tipo de ensayo, excepto en el de la desinfección con hipoclorito, en que se generaron 18 muestras. Por la complejidad de los análisis de enterovirus y de *Cryptosporidium* se tomaron tan sólo un total de 12 muestras.

Logística

1.ª semana

Condiciones de trabajo: 1 módulo UV + 1 mg Cl₂/l (inicio de las condiciones: jueves de la semana anterior). Muestras a las 10.00 h, 11.30 h y 13.00 h.

Lunes, martes y miércoles

10.00 h – Recogida de muestras de agua filtrada (FIL), después de UV (a1UV) y agua final (UV + cloro, a1UV1CL).

11.30 h – Recogida de muestras después de UV (b1UV) y agua final (UV + cloro, b1UV1CL).

13.00 h – Recogida de muestras después de UV (c1UV) y agua final (UV + cloro, c1UV1CL).

2.ª semana

Condiciones de trabajo: 1 módulo UV + 2 mg Cl₂/l (inicio de las condiciones: jueves de la semana anterior). Muestras a las 10.00 h, 11.30 h y 13.00 h.

Lunes, martes y miércoles

10.00 h – Recogida de muestras de agua filtrada (FIL), después de UV (a1UV) y agua final (UV + cloro, a1UV2CL).

11.30 h – Recogida de muestras después de UV (b1UV) y agua final (UV + cloro, b1UV2CL).

13.00 h – Recogida de muestras después de UV (c1UV) y agua final (UV + cloro, c1UV2CL).

3.ª semana

Condiciones de trabajo: 2 módulos UV + 1 mg Cl₂/l (inicio de las condiciones: jueves de la semana anterior). Muestras a las 10.00 h, 11.30 h y 13.00 h.

Lunes, martes y jueves

10.00 h – Recogida de muestras de agua filtrada (FIL), después de UV (a2UV) y agua final (UV+cloro, a2UV1CL).

11.30 h – Recogida de muestras después de UV (b2UV) y agua final (UV + cloro, b2UV1CL).

13.00 h – Recogida de muestras después de UV (c2UV) y agua final (UV + cloro, c2UV1CL).

4.^a semana

Condiciones de trabajo: adición de 3 mg Cl₂/l para lograr 0,6 mg Cl₂/l residual total, controlado con sonda en continuo y con lazo de autocontrol (inicio de las condiciones: jueves de la semana anterior). Muestras a las 10.00 h, 11.30 h y 13.00 h.

Lunes, martes y miércoles

10.00 h – Recogida de muestras de agua filtrada (FIL) y agua final (clorada, a0,6CL).

11.30 h – Recogida de muestras de agua final (clorada, b0,6CL).

13.00 h – Recogida de muestras de agua final (clorada, c0,6CL).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis fisicoquímicos

La exigencia de calidad fisicoquímica en el agua producida por la planta de regeneración de Blanes es muy elevada y sus márgenes de tolerancia relativamente estrechos, puesto que es utilizada para la recarga del acuífero del tramo bajo del río Tordera.

Tabla 3. Resumen de la calidad fisicoquímica del agua regenerada en las diferentes etapas de la planta de regeneración de agua de Blanes durante el periodo de estudio. Los resultados corresponden a la media y a la desviación típica de cada parámetro y de cada tipo de agua.

Parámetros	Tipos de			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Periodo	8-10 mayo 2006 / 1 módulo UV + 1 mg Cl ₂ /l			
Número de muestras	3	9	9	-
MES, mg/l	2,5 ± 0,6	1,5 ± 0,9	2,8 ± 3,7	-
Turbiedad, NTU	2,0 ± 1,1	2,2 ± 1,9	1,8 ± 0,6	-
Transmitancia a 254 nm, %	71 ± 1	72 ± 2	68 ± 8	-
Dosis UV, mJ/cm ² (a)	-	49 ± 26	49 ± 26	-
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	-	-	0,2 ± 0,1	-
C-t, mg Cl ₂ -min/l	-	-	42 ± 18	-
Periodo	15-17 mayo 2006 / 1 módulo UV + 2 mg Cl ₂ /l			
Número de muestras	3	9	9	-
MES, mg/l	1,7 ± 0,3	2,6 ± 1,4	2,7 ± 1,5	-
Turbiedad, NTU	1,3 ± 0,4	1,4 ± 0,4	2,0 ± 1,7	-
Transmitancia a 254 nm, %	71 ± 1	71 ± 1	70 ± 3	-
Dosis UV, mJ/cm ²	-	39 ± 1	39 ± 1	-
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	-	-	0,4 ± 0,1	-
C-t, mg Cl ₂ -min/l	-	-	100 ± 25	-
Periodo	22-24 mayo 2006 / 2 módulos UV + 1 mg Cl ₂ /l			
Número de muestras	3	9	9	-
MES, mg/l	2,2 ± 0,7	1,4 ± 0,9	2,5 ± 1,8	-
Turbiedad, NTU	1,4 ± 0,1	2,0 ± 1,1	2,8 ± 1,2	-
Transmitancia a 254 nm, %	71 ± 1	70 ± 1	69 ± 3	-
Dosis UV, mJ/cm ²	-	78 ± 1	78 ± 1	-
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	-	-	0,3 ± 0,1	-
C-t, mg Cl ₂ -min/l	-	-	67 ± 13	-
Periodo	29-31 mayo 2006 / aprox. 3 mg Cl ₂ /l (0,6 mg Cl ₂ /l residual)			
Número de muestras	9	-	-	9
MES, mg/l	1,9 ± 0,5	-	-	2,2 ± 0,5
Turbiedad, NTU	2,0 ± 0,4	-	-	1,9 ± 0,7
Transmitancia a 254 nm, %	71 ± 3	-	-	72 ± 3
Dosis UV, mJ/cm ²	-	-	-	-
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	-	-	-	0,6 ± 0,2
C-t, mg Cl ₂ -min/l	-	-	-	153 ± 42

- (a) Las dosis de luz ultravioleta de esta semana presentan una mayor variabilidad por el menor caudal de agua regenerada producida en el momento de la recogida de una de las muestras.

Tal y como se puede comprobar en la tabla 3, esta calidad fue especialmente destacable y sostenida a lo largo de las cuatro semanas de duración del seguimiento, con unas medias de MES que oscilaron entre 1,4 y 2,8 mg/l. Al mismo tiempo, las medias de turbiedad oscilaron entre 1,3 y 2,8 NTU y las de transmitancia entre el 68 y el 72 %. Debe constatar, sin

embargo, que se suele detectar casi siempre una mayor variabilidad en los datos de las muestras recogidas en la salida del depósito de agua regenerada («UV + Cloro» en las tres primeras semanas y «Cloro» en la última) que en las muestras de los lugares donde no hay almacenamiento de agua («Agua filtrada» y «UV»). Una hipótesis que podría explicar estos ligeros incrementos sería la influencia de los sólidos que, pese a las limpiezas periódicas, van sedimentando en el fondo del depósito y pueden devolver al agua regenerada una cierta cantidad de MES o de turbiedad.

La tabla 4 presenta los datos recogidos en el mes de mayo de los demás parámetros fisicoquímicos definitorios de la calidad del agua producida, como son el pH, la conductividad eléctrica (CE) y las distintas especies químicas de nitrógeno y fósforo. Todos ellos destacan por presentar una gran estabilidad. El análisis comparativo de los valores de la mediana (percentil 50) y del percentil 90 muestra que tan sólo hay diferencias de 0,1 unidades de pH, de 0,07 dS/m de CE, de 2,8 mg N/l de nitrógeno total y de 0,4 mg P/l de fósforo total. Es importante destacar que el percentil 90 de la concentración de nitrógeno total es de 9,2 mg N/l, con un claro predominio del nitrato como especie química dominante (7,2 mg N/l), y que el de la concentración de fósforo total es de 2,4 mg P/l. Todos estos valores son muy bajos para un agua regenerada, según los estándares actuales de Cataluña.

Tabla 4. Resumen estadístico de distintos parámetros fisicoquímicos medidos en el agua producida por la planta de regeneración de agua de Blanes durante el mes de mayo de 2006.

Parámetro	pH	CE dS/m	NTK mg N/l	NH ₄ -N mg N/l	NO ₂ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	N total mg N/l	Fósforo total mg P/l
Número muestras	29	25	16	16	16	16	16	16
Mínimo	7,5	1,18	0,2	0,2	0,1	0,5	2,6	0,8
Media	7,6	1,32	1,2	0,6	0,2	4,9	6,4	1,9
Mediana	7,6	1,33	1,1	0,3	0,2	5,4	6,8	2,0
Percentil 90	7,7	1,40	2,0	1,3	0,3	7,2	9,2	2,4
Máximo	7,8	1,47	4,0	3,9	0,4	7,9	11,1	2,6

Análisis microbiológicos

A cada parámetro estudiado y a las aguas resultantes de los diferentes tratamientos aplicados se les ha asignado un acrónimo a fin de facilitar la comprensión de las tablas y las figuras. Para la mayor parte de microorganismos se dispone de un número significativo de muestras a partir de las cuales se pueden calcular parámetros estadísticos y extraer conclusiones de una cierta solidez (12 muestras para documentar la calidad del efluente secundario, más estable, y entre 9 y 18, para documentar las variaciones introducidas por los distintos agentes desinfectantes); por el contrario, para el análisis de los diferentes estadios de los ooquistes de *Cryptosporidium* spp. y de los enterovirus tan sólo se han podido procesar 4 muestras correspondientes al efluente secundario y 7 para valorar el efecto de los tratamientos de desinfección (tabla 5). Este hecho comporta que las valoraciones que se puedan hacer sobre la incidencia de los agentes desinfectantes sobre las concentraciones de ooquistes de *Cryptosporidium* spp. y de las concentraciones de enterovirus tengan una significación más limitada que la de los demás parámetros.

Las diferencias en las concentraciones de los distintos microorganismos estudiados han hecho necesario comentar por separado los resultados obtenidos en el caso de aquellos que se han encontrado en concentraciones más elevadas (*Escherichia coli*, esporas de clostridios sulfitorreductores y colifagos somáticos), y que por lo tanto permiten evaluar mejor el efecto de los agentes desinfectantes, de aquellos que presentan unas concentraciones más bajas (ooquistes de *Cryptosporidium* spp. y enterovirus).

Escherichia coli, esporas de clostridios sulfitorreductores y colifagos somáticos

Los resultados correspondientes a las concentraciones de *Escherichia coli*, de esporas de clostridios sulfitorreductores y de colifagos somáticos se han expresado en su valor logarítmico. La tabla 5 resume los resultados obtenidos a lo largo del experimento para cada tipo de agua, mientras que la tabla 6 presenta los parámetros de la estadística descriptiva para cada tipo de microorganismo, considerando la totalidad de los resultados obtenidos. Los resultados individuales de los análisis realizados se encuentran recogidos en el anexo II.

Tabla 5. Valores estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, desviación típica y media, en unidades logarítmicas) de los parámetros estudiados según el tipo de agua en el conjunto de muestras tomadas entre los días 8 y 31 de mayo de 2006 en la planta de regeneración de agua de Blanes.

Muestra	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
FILEC	12	3,78	4,46	4,18	0,19
FILCSR	12	3,00	3,60	3,30	0,20
FILSOM	11	4,02	4,61	4,26	0,17
1UVEC	18	< 1,00	3,90	< 1,40	1,03
1UVCSR	18	1,78	3,18	2,56	0,39
1UVSOM	18	0,00	3,53	< 0,89	0,75
2UVEC	9	< 1,00	1,60	< 1,10	0,65
2UVCSR	9	1,48	2,08	1,80	0,19
2UVSOM	9	0,45	1,17	0,85	0,27
1UV1CLEC	9	< 1,00	1,00	< 1,00	0,50
1UV1CLCSR	9	1,95	3,08	2,59	0,37
1UV1CLSOM	9	0,00	0,70	0,32	0,28
1UV2CLEC	9	< 1,00	< 1,00	< 1,00	0,00
1UV2CLCSR	9	1,60	2,90	2,43	0,45
1UV2CLSOM	9	-0,40	0,92	-0,18	0,43
2UV1CLEC	9	< 1,00	< 1,00	< 1,00	0,00
2UV1CLCSR	9	1,70	2,04	1,89	0,12
2UV1CLSOM	9	0,00	0,51	0,22	0,17
0,6CLEC	9	< 1,00	1,30	< 1,10	0,63
0,6CLCSR	9	2,60	3,38	2,95	0,22
0,6CLSOM	9	1,26	3,85	2,24	1,13

Las concentraciones microbianas correspondientes a las condiciones previas a la desinfección son algo inferiores a las habituales en una EDAR de lodos activados convencional, puesto que en este caso no se trata de un agua recogida directamente del decantador, sino sometida a un proceso de filtración adicional. Las medias geométricas obtenidas en este estudio se acercan a las 4 ulog en el caso de *Escherichia coli*, a las 3 ulog para las esporas de clostridios sulfitorreductoras y a las 4 ulog para los colifagos somáticos (figura 4a). Así como sucedía en el caso de los análisis fisicoquímicos, los bajos valores de las desviaciones típicas indican una notable estabilidad de las concentraciones de estos microorganismos durante el periodo de estudio.

La tabla 7, las figuras 4a-4f y la figura 5 presentan las reducciones logarítmicas logradas por los tratamientos ensayados frente a los diferentes microorganismos, mientras que el anexo III recoge los gráficos de probabilidad de estos mismos datos. Los resultados de los distintos parámetros medidos se ajustan adecuadamente a una distribución normal y, por lo tanto, las pendientes relativas muestran claramente el diferente comportamiento de los microorganismos frente a los tratamientos aplicados. Estas representaciones gráficas son una forma diferente de presentar los mismos resultados que se comentan a continuación.

Tabla 6. Estadísticas descriptivas (media, desviación típica, varianza, mínimo, máximo y percentiles 25, 50, 75, 90 y 95, en unidades logarítmicas) de los parámetros estudiados considerando todas las muestras de todos los tratamientos evaluados.

Parámetros	Tipos de microorganismo, ulog		
	<i>Escherichia coli</i>	Esporas de clostridios sulfitorreductores	Colifagos somáticos
Muestras válidas	63	63	63
Muestras perdidas	0	0	0
Media	0,52	2,39	0,75
Desviación típica	0,76	0,49	0,94
Varianza	0,58	0,24	0,88
Mínimo	0,00	1,48	- 0,40
Máximo	3,90	3,38	3,85
Percentil 25	0,00	1,95	0,11
Percentil 50	0,00	2,48	0,64
Percentil 75	1,00	2,85	1,06
Percentil 90	1,48	2,99	1,60
Percentil 95	1,57	3,13	3,59

Tabla 7. Inactivaciones medias, en ulog, de las concentraciones de *Escherichia coli*, de esporas de clostridios sulfitorreductores y de colifagos somáticos según los tratamientos evaluados en este estudio.

Tratamiento	Microorganismo	Inactivaciones medias, ulog
Desinfección con 1 módulo UV	EC	≥ 2,78
	CSR	0,74
	SOM	≥ 3,37
Desinfección con 2 módulos UV	EC	≥ 3,08
	CSR	1,49
	SOM	3,41
Combinación 1 módulo UV + 1 mg Cl ₂ /l de hipoclorito	EC	≥ 3,18
	CSR	0,71
	SOM	≥ 3,94
Combinación 1 módulo UV + 2 mg Cl ₂ /l de hipoclorito	EC	≥ 3,18
	CSR	0,86
	SOM	≥ 4,44
Combinación 2 módulos UV + 1 mg Cl ₂ /l de hipoclorito	EC	≥ 3,18
	CSR	1,41
	SOM	≥ 4,04
Desinfección con 3 mg Cl ₂ /l de hipoclorito (0,6 mg Cl ₂ /l de cloro residual total)	EC	≥ 3,08
	CSR	0,35
	SOM	2,02

Los tratamientos empleados inactivan casi totalmente las concentraciones de *Escherichia coli* presentes en el agua filtrada, con reducciones logarítmicas que se han situado en torno a las 3 ulog. La estabilidad de estas inactivaciones es fruto tanto de las concentraciones de entrada (de poco más de 4 ulog) como de las del agua regenerada, en las que la ausencia ha sido representada por el valor <10 ufc/100 ml (figura 4b). No se han aislado colonias de *Escherichia coli* en ninguna de las muestras de agua recogidas en el tratamiento consistente en un módulo de luz ultravioleta y la adición de 2 mg Cl₂/l, ni en el consistente en dos módulos de luz ultravioleta y la adición de 1 mg Cl₂/l. Estos resultados indican que el agua regenerada producida en estas condiciones puede ser empleada para cualquiera de los usos previstos tanto en las directrices de la Agencia Catalana del Agua como en la normativa que se prevé que entre en vigor próximamente en España sobre reutilización de aguas. Asimismo, todos los tratamientos ensayados en este estudio producen un agua regenerada con concentraciones de *Escherichia coli* inferiores a 200 ufc/100 ml, límite establecido en las propuestas de normativa para el riego sin restricciones, tanto si es agrícola como si se destina a jardinería o a campos de golf.

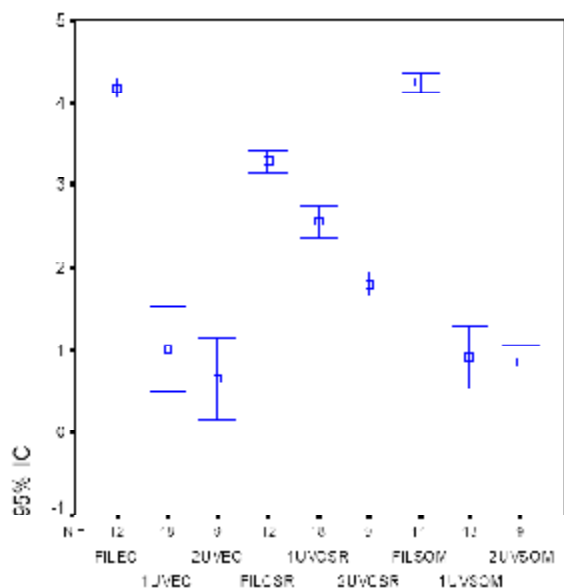


Figura 4a. Valores medios e intervalos de confianza del 95 % de las concentraciones de *Escherichia coli*, de esporas de clostridios sulfitorreductores y de colifagos somáticos (ufc y ufp por 100 ml, en unidades logarítmicas) analizados en los distintos tipos de agua (agua filtrada, y agua tratada con uno y con dos módulos de desinfección con luz ultravioleta).

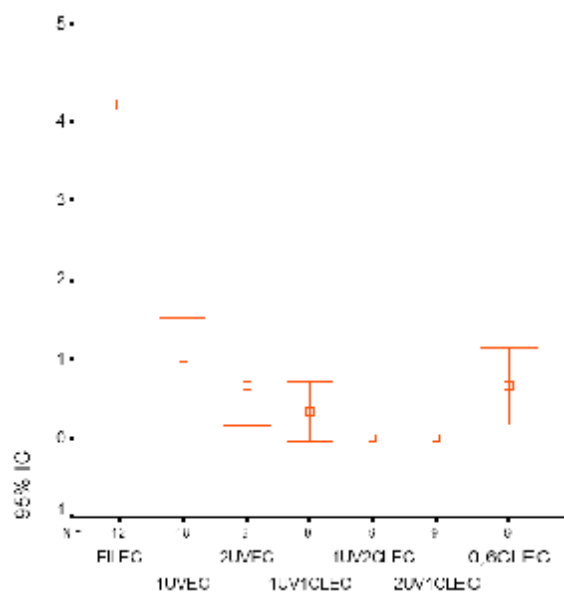


Figura 4b. Valores medios e intervalos de confianza del 95 % de las concentraciones de *Escherichia coli* (ufc por 100 ml, en unidades logarítmicas) analizada en los distintos tipos de agua (agua filtrada, agua desinfectada con luz ultravioleta, agua desinfectada con hipoclorito, y agua desinfectada según diferentes combinaciones).

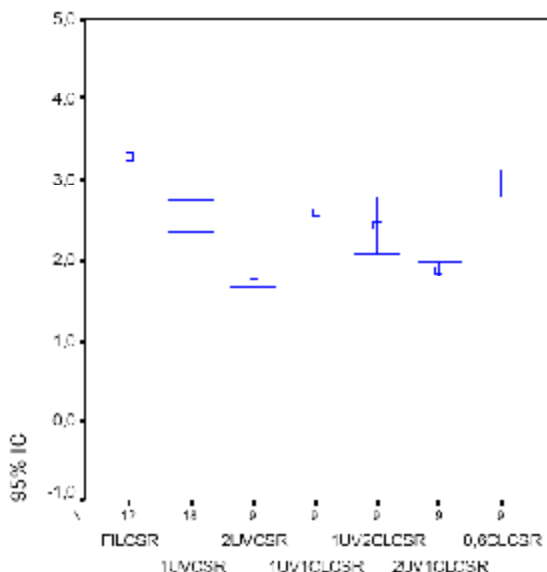


Figura 4c. Valores medios e intervalos de confianza del 95 % de las concentraciones de esporas de clostridios sulfitorreductores (ufc por 100 ml, en unidades logarítmicas) analizados en los distintos tipos de agua (agua filtrada, agua desinfectada con luz ultravioleta, agua desinfectada con hipoclorito y agua desinfectada según diferentes combinaciones).

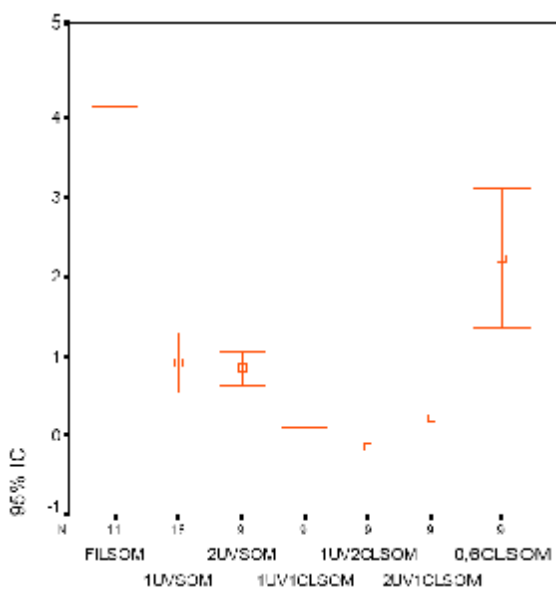


Figura 4d. Valores medios e intervalos de confianza del 95 % de las concentraciones de colifagos somáticos (ufc por 100 ml, en unidades logarítmicas) analizados en los distintos tipos de agua (agua filtrada, agua desinfectada con luz ultravioleta, agua desinfectada con hipoclorito, y agua desinfectada según diferentes combinaciones).

La figura 4c muestra que las esporas de clostridios sulfitorreductores, en cambio, presentan una elevada resistencia ante los diferentes tratamientos de desinfección. La mínima reducción ha sido la conseguida con la utilización del cloro en solitario (0,35 ulog), mientras que la máxima se ha producido cuando la desinfección se ha hecho con dos módulos de luz ultravioleta (entre 1,4 y 1,5 ulog), con independencia de la utilización posterior de hipoclorito. Los tratamientos con un único módulo de luz ultravioleta han logrado una reducción logarítmica que se ha situado en un término medio, entre 0,7 y 0,9 ulog.

La figura 4d muestra que los colifagos somáticos son los que manifiestan más claramente el efecto favorable de la combinación de desinfectantes. Mientras que la reducción mínima vuelve a ser la lograda con el cloro empleado en solitario (2,0 ulog), la utilización de la luz ultravioleta llega hasta una eliminación en torno a 3,4 ulog, con unas variaciones

prácticamente inapreciables cuando se utilizan uno o dos módulos. La combinación de los dos agentes desinfectantes produce una reducción mínima de 3,9 ulog (en el caso de un módulo de luz ultravioleta y de una aportación de 1 mg Cl₂/l) y una reducción máxima superior a 4,4 ulog (en el caso de un módulo de luz ultravioleta y de una aportación de 2 mg Cl₂/l). La utilización de dos módulos de luz ultravioleta y la adición de 1 mg Cl₂/l ha logrado una reducción superior a 4,0 ulog, que se sitúa entre las dos anteriores.

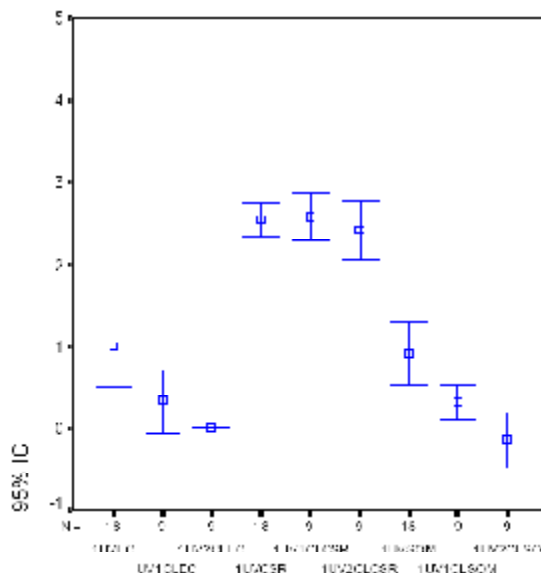


Figura 4e. Valores medios e intervalos de confianza del 95 % de las concentraciones de *Escherichia coli*, de esporas de clostridios sulfitorreductores y de colifagos somáticos (ufc y ufp por 100 ml, en unidades logarítmicas) analizados en los distintos tipos de aguas (agua tratada con un módulo de desinfección con luz ultravioleta, un módulo y la adición de 1 mg Cl₂/l de hipoclorito, y un módulo y la adición de 2 mg Cl₂/l de hipoclorito).

Desde el punto de vista estrictamente microbiológico, y considerando tanto las reducciones logarítmicas individuales para cada uno de los microorganismos como las inactivaciones globales, la combinación de agentes desinfectantes más adecuada es la formada por dos módulos de luz ultravioleta (dosis próxima a 80 mJ/cm²) y la adición de 1 mg Cl₂/l en forma de hipoclorito. Esta conclusión se fundamenta en la inactivación total conseguida para *Escherichia coli*, en la mayor reducción que provoca en las concentraciones de las esporas de clostridios sulfitorreductores respecto a los demás tratamientos, y en la elevada reducción conseguida en las concentraciones de colifagos somáticos.

La tabla 8 muestra que los agentes desinfectantes introducen modificaciones significativas en las abundancias relativas de los distintos microorganismos respecto a las proporciones típicas que presentan los efluentes secundarios antes del proceso de desinfección. Este efecto ya se constató en anteriores estudios de desinfección de aguas regeneradas (Consortio de la Costa Brava, 2006a). Mientras que la mayor abundancia en el efluente secundario filtrado corresponde a los colifagos somáticos, seguidos de la *Escherichia coli* y de las esporas de clostridios sulfitorreductores, estos últimos pasan a ser los más abundantes en todos los tratamientos valorados, por el hecho de ser los que mayor resistencia presentan a la desinfección. Los segundos en abundancia son los colifagos somáticos que, aunque se encuentren en concentraciones muy bajas, son detectados con mayor frecuencia que la *Escherichia coli*. Finalmente, la *Escherichia coli* está ausente en el 62 % de las muestras analizadas del conjunto de tratamientos de desinfección ensayados en este estudio.

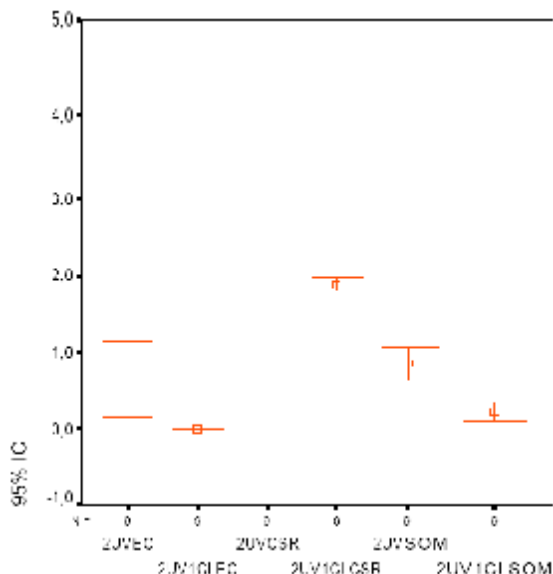


Figura 4f. Valores medios e intervalos de confianza del 95 % de las concentraciones de *Escherichia coli*, de esporas de clostridios sulfitorreductores y de colifagos somáticos (ufc y ufp por 100 ml, en unidades logarítmicas) analizados en los distintos tipos de agua (agua tratada con dos módulos de desinfección con luz ultravioleta, y con dos módulos de desinfección con luz ultravioleta y la adición de 1 mg Cl₂/l de hipoclorito).

COMPARACIÓN DE LAS REDUCCIONES LOGARÍTMICAS LOGRADAS EN *ESCHERICHIA COLI*, ESPORAS DE CLOSTRIDIOS Y COLIFAGOS SOMÁTICOS PRODUCIDAS POR LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS DE DESINFECCIÓN EVALUADOS

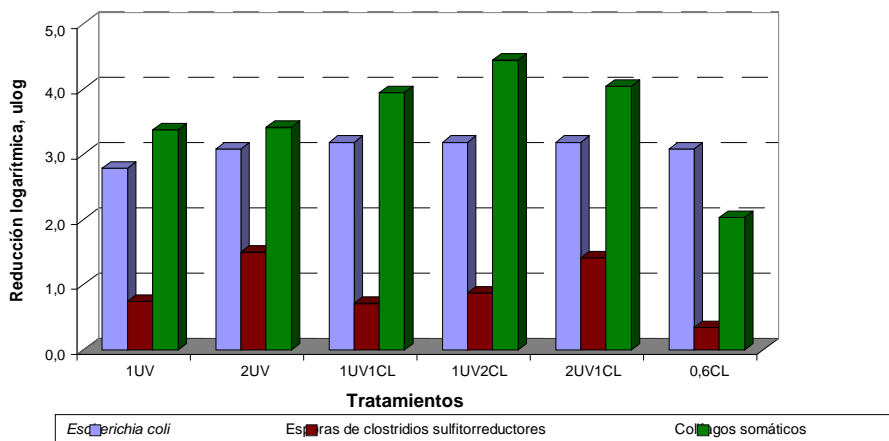


Figura 5. Reducciones logarítmicas logradas en *Escherichia coli*, esporas de clostridios sulfitorreductores y colifagos somáticos según los tratamientos de desinfección valorados en el estudio.

Tabla 8. Abundancias relativas de *Escherichia coli*, de las esporas de clostridios sulfitorreductores y de los colifagos somáticos tras los distintos procesos de desinfección ensayados en la planta de regeneración de agua de Blanes.

Tipo de tratamiento	Concentraciones relativas, de mayor a menor
Efluente secundario filtrado (antes de los tratamientos)	SOM > EC > CSR
Desinfección con 1 módulo UV	CSR > EC > SOM (a)
Desinfección con 2 módulos UV	CSR > SOM > EC (b)
Combinación de 1 módulo UV + 1 mg Cl ₂ /l de hipoclorito	CSR > SOM > EC (b)
Combinación de 1 módulo UV + 2 mg Cl ₂ /l de hipoclorito	CSR > SOM > EC (b)
Combinación de 2 módulos UV + 1 mg Cl ₂ /l de hipoclorito	CSR > SOM > EC (b)
Desinfección con 3 mg Cl ₂ /l (0,6 mg Cl ₂ /l de cloro residual total)	CSR > SOM > EC (b)

Notas:

- (a) La *Escherichia coli* se muestra más abundante en promedios que los colifagos somáticos debido a un único valor elevado y claramente diferente del resto de valores. Si se considerara que es un valor erróneo, las abundancias resultantes de ambos microorganismos serían parecidos a las del resto de tratamientos.
- (b) Las concentraciones de *Escherichia coli* por debajo de 10 ufc/100 ml en la mayoría de muestras hacen presuponer una eliminación total de este microorganismo, de ahí que se establezca que los colifagos somáticos son más abundantes, puesto que cuando aparecen lo hacen con unos recuentos más elevados.

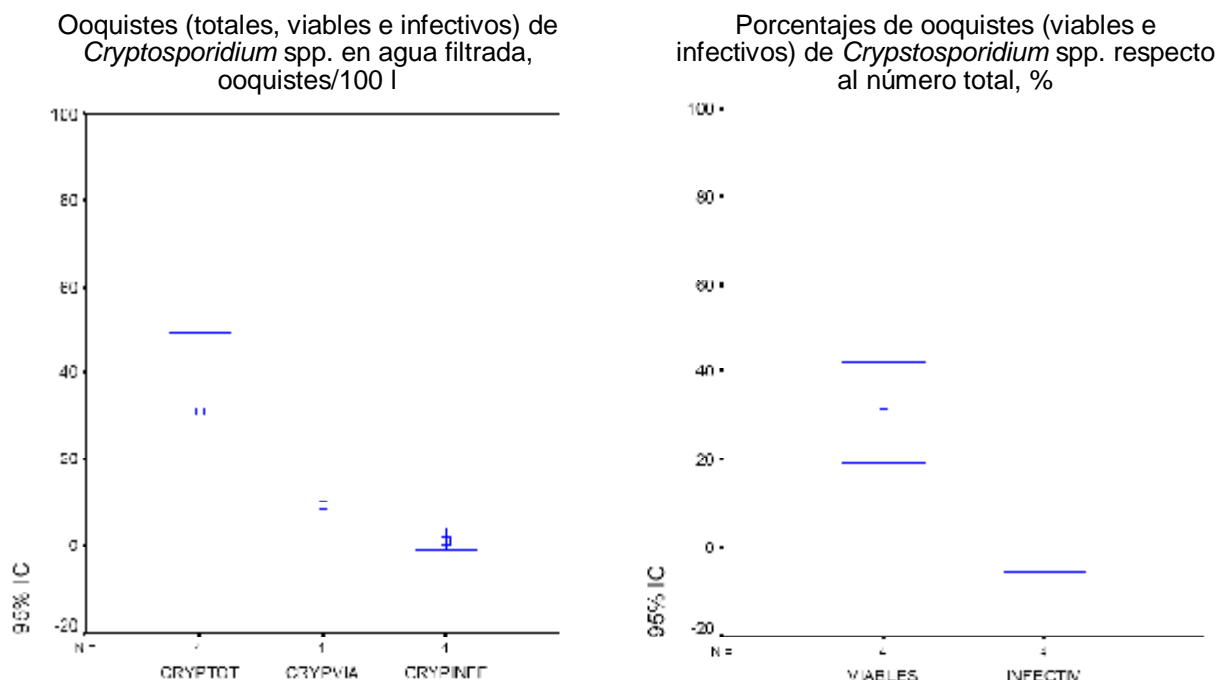
Cryptosporidium y enterovirus

Los resultados de los análisis de ooquistes de *Cryptosporidium* spp. y de enterovirus se presentan en las tablas 9a (conjunto de datos) y 9b (resumen). Estos resultados muestran una gran similitud con los datos generados por el mismo equipo de trabajo en el estudio «Efecte de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro en la qualitat ecològica, química i microbiològica del riu Ridaura» («Efecto de la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro en la calidad ecológica, química y microbiológica del río Ridaura») (Consortio de la Costa Brava, 2006c). Sin embargo, las concentraciones de partida en el presente estudio son inferiores a las del estudio mencionado, por el hecho de que se ha analizado un efluente secundario de una planta de aireación prolongada sometido a un proceso posterior de filtración, mientras que en el caso de Castell-Platja d'Aro los análisis correspondían a un efluente secundario de una planta de lodos activados convencional y no filtrado.

Tabla 9a. Resultados de los análisis de *Cryptosporidium* spp. y de enterovirus realizadas en los distintos tipos de agua y de tratamientos ensayados en el presente estudio.

Fecha de muestreo	Tipo de agua	<i>Cryptosporidium</i> spp., ooquistes/100 l					Enterovirus ufp/100 l
		Totales	Viabiles	Infectivos	Viabiles %	Infectivos %	
10/05/2006	Filtrada	30	10	2,5	3	8	2
	A1UV	50	20	<1	3	0	<1
	A1UV1C	20	10	<1	4	0	<1
15/05/2006	Filtrada	47	12	<1	2	0	3
	A1UV	<1	<1	<1	5	0	<1
	A1UV2C	8,8	<1	<1	0	0	<1
22/05/2006	Filtrada	27,4	6,8	<1	2	0	1
	A2UV	23,7	5,9	<1	5	0	<1
	A2UV1C	6	<1	<1	2	0	<1
29/05/2006	Filtrada	20	8	2,9	4	14	5
	A0,6CL	5	1,7	1,4	0	28	<1

Las concentraciones de ooquistes totales de *Cryptosporidium* spp. han oscilado entre 0 y 50 unidades en muestras de 100 l de agua, mientras que las de los ooquistes viables han oscilado entre 0 y 20 unidades en muestras de 100 l de agua. La evaluación de las formas infectivas ha dado valores todavía inferiores, que han oscilado entre 0 y 2,9 unidades en 100 l. Estos resultados muestran claramente que los ooquistes infectivos son un porcentaje pequeñísimo (entre el 0 y el 14 %) del total de ooquistes detectados, incluso en el agua filtrada, previa a los procesos de desinfección (tabla 9a).



Figuras 6a y 6b. Valores medios e intervalos de confianza del 95 % de las concentraciones de ooquistes (totales, viables e infectivos) de *Cryptosporidium* spp. (izquierda) y porcentajes de ooquistes viables e infectivos (derecha) en el agua filtrada de la planta de regeneración de agua de Blanes.

Tabla 9b. Resumen de los resultados obtenidos en los análisis de *Cryptosporidium* spp. y de enterovirus realizados en el presente estudio. Los datos correspondientes al agua filtrada y al tratamiento 1UV son las medias geométricas de los valores presentados en la tabla 9a.

Tipo de agua y/o tratamiento	Ooquistes		Ooquistes viables		Ooquistes infectivos		Enterovirus ufp/100 l
	en 100 l	%	en 100 l	%	en 100 l	%	
Agua filtrada (n = 4)	29,6	-	9,0	30	1,6	5	2,3
1UV (n = 2)	7,1	-	4,5	63	< 1	0	< 1
1UV1CL (n = 1)	20,0	-	10,0	50	< 1	0	< 1
1UV2CL (n = 1)	8,8	-	< 1	0	< 1	0	< 1
2UV (n = 1)	23,7	-	5,9	25	< 1	0	< 1
2UV1CL (n = 1)	6,0	-	< 1	0	< 1	0	< 1
0,6CL (n = 1)	5,0	-	1,7	34	1,4	28	< 1

Analizando el resumen de datos de los diferentes tratamientos (tabla 9b) y tomando el ejemplo del agua filtrada, debe observarse cómo la concentración media (geométrica) de ooquistes totales, que tiene un valor inicial de 29,6 ooquistes/100 l, se reduce hasta una concentración de ooquistes viables de 9,0 ooquistes/100 l, y hasta una concentración de ooquistes infectivos de 1,6 ooquistes/100 l (figuras 6a y 6b). Aunque los ooquistes viables han podido detectarse en muestras de 100 l de agua regenerada mediante los procesos de desinfección 1UV, 1UVCL, 2UV y 0,6CL, la presencia de ooquistes infectivos tan sólo se ha podido determinar en el agua del tratamiento 0,6CL (1,4 ooquistes/100 l). Tal y como se muestra en la figura 7, los datos generados en este estudio indican que los tratamientos con

luz ultravioleta, en solitario o en combinación con el cloro, han conseguido la inactivación total de los ooquistes infectivos.

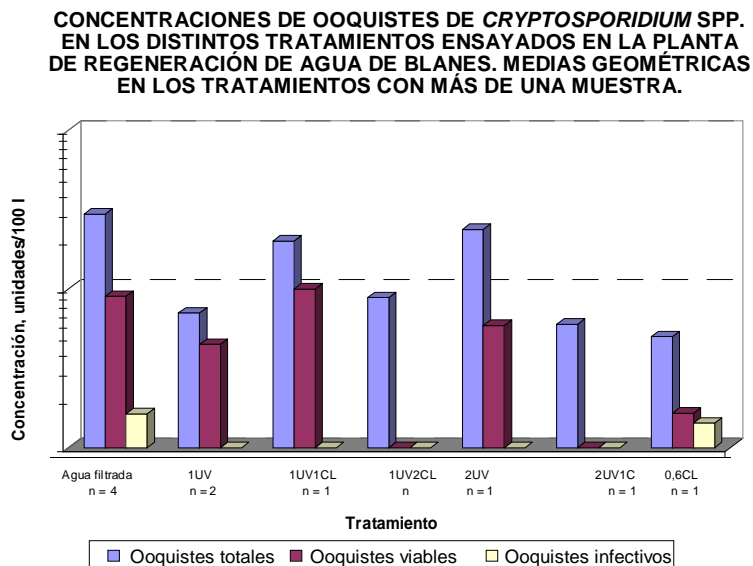


Figura 7. Concentración de las diferentes formas de ooquistes de *Cryptosporidium* spp. analizadas en el marco de este estudio.

Las esporas de clostridios sulfitorreductores han sido consideradas por algunos autores (Venczel *et al.*, 1997) como microorganismos modelo respecto a la eliminación de los ooquistes de *Cryptosporidium* spp. Las circunstancias específicas de este estudio (reducido número de muestras, bajos valores de ooquistes infectivos encontrados en el agua filtrada y en el agua clorada, y ausencia total en el resto de tratamientos) hacen imposible el establecimiento de una relación estadísticamente significativa entre ambos tipos de microorganismos. Sin embargo, de este estudio se deriva la observación empírica según la cual la protección más efectiva ante los ooquistes infectivos de *Cryptosporidium* spp. la ofrece la presencia de al menos un módulo de luz ultravioleta en funcionamiento en el proceso de desinfección. Desde esta perspectiva, y combinando este criterio con el de la utilización de las esporas de clostridios sulfitorreductores como microorganismos modelo, se propone que la explotación del tratamiento de desinfección de la planta de regeneración de Blanes tenga al menos un módulo de luz ultravioleta en funcionamiento y que la reducción de esporas de clostridios sulfitorreductores sea de al menos 1,0 ulog.

Los enterovirus se han detectado en concentraciones muy bajas (intervalo de 1 a 5 ufp/100 l, y media geométrica de 2,3 ufp/100 l) en todas las muestras de agua filtrada (cuatro muestras), pero no se han detectado en ninguna de las diferentes muestras de agua desinfectada, independientemente del tratamiento de desinfección aplicado (una muestra de cada una de ellas, excepto en el caso de utilización de un módulo de luz ultravioleta, del cual hay dos). Considerando las circunstancias ya mencionadas en el párrafo anterior, los datos existentes no permiten realizar cálculos minuciosos ni estadísticamente significativos de las inactivaciones producidas en las concentraciones de enterovirus. Sin embargo, los datos puntuales existentes permiten hacer una aproximación a esta cuestión, según la cual la inactivación de los 2,3 ufp de enterovirus en 100 l de muestra hasta el nivel de ausencia requeriría una reducción logarítmica de 0,36 ulog. Esta reducción es muy inferior a la que se ha demostrado en este estudio que puede lograrse para los microorganismos modelo propuestos (colifagos somáticos), de un mínimo de 2,0 ulog en el caso del tratamiento 0,6CL y de un máximo de 4,4 ulog en el caso del tratamiento 1UV2CL.

Estos datos muestran que la probabilidad de que la planta de regeneración de agua de Blanes pueda convertirse en alguna ocasión en un foco de emisión de contaminación por enterovirus es muy baja, incluso en el supuesto de que la desinfección se hiciese tan sólo con hipoclorito.

Comparación con el estudio de Castell-Platja d'Aro

La comparación de los resultados del presente estudio con los obtenidos un año antes en la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro permiten apreciar los diferentes rendimientos de desinfección obtenidos en ambas instalaciones. Esta comparación se ha realizado entre el tratamiento utilizado de forma habitual en la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro (combinación de luz ultravioleta y hipoclorito) y los dos tratamientos de desinfección con más probabilidad de ser escogidos para la explotación de la planta de regeneración de agua de Blanes, que son la combinación de un módulo de luz ultravioleta y la adición de 2 mg Cl₂/l, y la combinación de dos módulos de luz ultravioleta y la adición de 1 mg Cl₂/l.

Tabla 10. Comparación de las inactivaciones logarítmicas medias logradas para cada tipo de microorganismo en la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro entre los días 11-17 y 25-31 de julio de 2005 y en dos de los tratamientos ensayados en la planta de regeneración de agua de Blanes en el marco de este estudio, entre el 8 y el 31 de mayo de 2006.

Microorganismos	Inactivaciones según tratamiento, ulog		
	UV + Cloro (a) Castell-Platja d'Aro	1UV2CL (b) Blanes	2UV1CL (c) Blanes
Bacterias			
Coliformes fecales / <i>Escherichia coli</i>	5,06	> 3,18	> 3,18
Enterococos fecales	4,77	-	-
Esporas de clostridios sulfitorreductores	0,87	0,86	1,41
Virus			
Colifagos somáticos	2,88	> 4,44	> 4,04
Bacteriófagos F-RNA	0,82	-	-
Bacteriófagos RYC de <i>B. fragilis</i>	1,76	-	-
Bacteriófagos GA17 de <i>B. fragilis</i>	1,74	-	-
Enterovirus	- (d)	-	-
Protozoos			
Ooquistes totales <i>Cryptosporidium</i> spp.	0,38	-	-
Ooquistes viables <i>Cryptosporidium</i> spp.	0,41	-	-
Ooquistes infectivos <i>Cryptosporidium</i> spp.	1,76	-	-

(a) Dosis medias: UV = aprox. 25 mJ/cm²; cloro = 5 mg Cl₂/l; C·t = 117 mg Cl₂·min/l

(b) Dosis medias: UV = aprox. 39 mJ/cm²; cloro = 2 mg Cl₂/l; C·t = 100 mg Cl₂·min/l

(c) Dosis medias: UV = aprox. 78 mJ/cm²; cloro = 1 mg Cl₂/l; C·t = 67 mg Cl₂·min/l

(d) Aunque se dispone de datos de enterovirus en el estudio realizado los años 2004 y 2005 sobre el efecto de la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro sobre el río Ridaura, no se puede cuantificar con precisión la inactivación lograda por la incertidumbre (valores «menores que») tanto en el efluente secundario como en el agua regenerada (Consorcio de la Costa Brava, 2006c).

La tabla 10 muestra que la inactivación logarítmica de las concentraciones de coliformes fecales es más elevada en Castell-Platja d'Aro que en Blanes, sencillamente porque las concentraciones iniciales de este indicador son más elevadas en la primera instalación. El hecho de que las inactivaciones de los dos tratamientos correspondientes a Blanes den eliminaciones no cuantificables pero superiores a un determinado valor indica que el resultado logrado por el tratamiento es de ausencia del microorganismo en cuestión, en este caso, la *Escherichia coli*.

Las inactivaciones logradas en las concentraciones de esporas de clostridios sulfitorreductores son prácticamente idénticas (0,87 ulog en Castell-Platja d'Aro y 0,86 ulog en Blanes) en los dos tratamientos de desinfección más parecidos en cuanto a dosis de luz ultravioleta y al parámetro C·t. En cambio, el tratamiento con una doble dosis de luz

ultravioleta (dos módulos de luz ultravioleta y la adición de 1 mg Cl₂/l a la planta de regeneración de agua de Blanes) permite una inactivación de esporas de clostridios sulfitorreductores de casi el doble (1,41 ulog), pese a la disminución del valor del parámetro C-t.

El proceso de tratamiento de la planta de regeneración de agua de Blanes tiene una potencia de desinfección mayor que el de Castell-Platja d'Aro en relación con la inactivación de los colifagos somáticos, de forma que los niveles de inactivación de 2,88 ulog en Castell-Platja d'Aro pasan a ser de unos niveles mínimos de 4,04 y 4,44 ulog en Blanes. Así como se observa en el caso de *Escherichia coli*, estos niveles de inactivación no pueden ser cuantificados con exactitud, puesto que los resultados en el agua regenerada son «ausencias» de microorganismos. Esto hace que se desconozca si, en caso de haber concentraciones más elevadas en la entrada, éstas serían también eliminadas tras el tratamiento. En cualquier caso, tanto la desinfección aportada por la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro como la de la planta de regeneración de agua de Blanes son suficientes para inactivar unas concentraciones de enterovirus que, en el efluente secundario de Blanes, ya se encuentran en concentraciones dos órdenes de magnitud inferiores a las medidas en el efluente secundario de Castell-Platja d'Aro. Así, mientras que en Blanes las muestras para el análisis de enterovirus han sido de 100 l, en Castell-Platja d'Aro fueron tan sólo de 1 l (Consortio de la Costa Brava, 2006c).

Finalmente, la baja concentración de ooquistes infectivos de *Cryptosporidium* spp. en el afluente de la planta de regeneración de agua de Blanes ha impedido que se pudiera determinar con precisión cuál era la capacidad de inactivación de esta instalación sobre este tipo de microorganismo. Sin embargo, la experimentación realizada en el año 2005 en la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro permitió cuantificar esta inactivación en 1,76 ulog. Puesto que la capacidad de desinfección de la planta de regeneración de agua de Blanes es superior a la de Castell-Platja d'Aro en relación con los microorganismos de gran resistencia, como son las esporas de clostridios sulfitorreductores y los colifagos somáticos, hay que concluir que también ha de ofrecer una protección superior frente a los ooquistes infectivos de *Cryptosporidium* spp.

En resumen, un proceso de desinfección aplicado a un agua con valores de turbiedad en torno a 2 NTU y de transmitancia a 254 nm superiores al 70 %, y basado en una exposición a dosis de luz ultravioleta de entre 40 y 80 mJ/cm² conjuntamente con una dosificación de hipoclorito de entre 1 y 2 mg Cl₂/l, permite producir un agua regenerada con ausencia de *Escherichia coli*, de colifagos somáticos, de enterovirus y de ooquistes infectivos de *Cryptosporidium* spp., y consigue a la vez una inactivación de esporas de clostridios sulfitorreductores superior a 1,0 ulog. La acción combinada de la luz ultravioleta, especialmente efectiva para inactivar los virus y los protozoos patógenos, y del hipoclorito, especialmente efectivo para inactivar las bacterias no esporuladas, permite lograr un agua regenerada con una calidad adecuada para la reutilización en usos urbanos no potables y para el riego agrícola y de jardinería.

Los resultados de este estudio y del realizado en el año 2005 en la planta de regeneración de Castell-Platja d'Aro (Consortio de la Costa Brava, 2006a) han permitido establecer unos niveles de inactivación microbiana y vírica de gran utilidad práctica a la hora de implantar protocolos de explotación y mantenimiento de plantas de regeneración de agua a partir de efluentes secundarios de buena calidad fisicoquímica, como los de las EDAR de Blanes y de Castell-Platja d'Aro.

CONCLUSIONES

El estudio realizado sobre la capacidad desinfectante del uso combinado de la luz ultravioleta y del hipoclorito en la planta de regeneración de agua de Blanes permite extraer las siguientes conclusiones:

1. La calidad fisicoquímica del agua producida durante el periodo de estudio (del 8 al 31 de mayo de 2006) por la planta de regeneración de agua de Blanes ha sido la adecuada para la recarga superficial del acuífero del bajo Tordera.
2. Las dosis medias de luz ultravioleta aplicadas durante el experimento oscilaron entre los 40 mJ/cm² en aquellos tratamientos en los que intervenía un módulo de luz ultravioleta y los 80 mJ/cm² en aquellos en que intervenían dos módulos. Estos equipos trabajaron en solitario y en combinación con dosis de cloro de 1 y de 2 mg Cl₂/l, que supusieron valores medios del parámetro C·t de entre 40 y 70 mg Cl₂·min/l. Asimismo, se determinó la capacidad desinfectante de la utilización exclusiva de hipoclorito hasta lograr un cloro residual constante en torno a los 0,6 mg Cl₂/l, equivalente a una media del parámetro C·t de unos 150 mg Cl₂·min/l.
3. Todos los tratamientos de desinfección ensayados han logrado la ausencia, o valores próximos a la ausencia, de *Escherichia coli* en muestras de 100 ml de agua, con reducciones logarítmicas superiores a 3 ulog. No se han aislado colonias de este microorganismo en ninguna de las muestras de agua recogidas en el tratamiento consistente en un módulo de luz ultravioleta y la adición de 2 mg Cl₂/l, ni en el consistente en dos módulos de luz ultravioleta y la adición de 1 mg Cl₂/l, ni tampoco en el de la dosificación de hipoclorito para lograr un cloro residual total de 0,6 mg Cl₂/l. El agua regenerada producida en estas condiciones puede emplearse para cualquiera de los usos previstos tanto en las directrices catalanas como en la normativa de próxima entrada en vigor en España.
4. La inactivación de las esporas de clostridios sulfitorreductores ha sido mínima cuando se ha utilizado el cloro como único agente desinfectante (0,35 ulog), mientras que ha aumentado en proporción al número de módulos de luz ultravioleta en funcionamiento. Mientras que en los tratamientos con un único módulo de luz ultravioleta esta inactivación ha logrado entre 0,7 y 0,9 ulog, en los tratamientos con dos módulos de luz ultravioleta se han llegado a lograr reducciones de entre 1,4 y 1,5 ulog.
5. La inactivación de los colifagos somáticos sigue un comportamiento parecido al de las esporas de clostridios sulfitorreductores: la inactivación producida por la luz ultravioleta, en solitario o combinada con cloro ha sido superior (entre > 3,3 y > 4,4 ulog) a la obtenida cuando se ha utilizado el cloro como único agente desinfectante (2,0 ulog). En cambio, no se han observado diferencias significativas de inactivación entre los tratamientos en que se ha empleado luz ultravioleta en solitario, tanto si había un módulo en funcionamiento como si había dos (aproximadamente, 3,4 ulog). Las máximas eliminaciones se han producido en aquellos tratamientos que combinaban los dos agentes desinfectantes, produciéndose un efecto complementario de las inactivaciones aportadas por cada uno de ellos (entre > 3,9 y > 4,4 ulog).
6. Los tratamientos de desinfección cambian las abundancias relativas de los principales microorganismos en función de su resistencia a los distintos agentes desinfectantes. Mientras que los colifagos somáticos son los más abundantes en el agua filtrada, seguidos por la *Escherichia coli* y por las esporas de clostridios sulfitorreductores, todos los tratamientos ensayados producen una alteración similar de las abundancias relativas, de forma que las esporas de clostridios sulfitorreductores pasan a ser las más abundantes, seguidas de los colifagos somáticos y de la *Escherichia coli*.

7. Las concentraciones de ooquistes de *Cryptosporidium* spp. y, especialmente, de enterovirus han sido muy bajas ya en el agua filtrada, con valores de entre 0 y 50 ooquistes totales y de entre 1 y 5 ufp en muestras de 100 l de agua en ambos casos, respectivamente. La fracción de ooquistes infectivos de *Cryptosporidium* spp. ha sido como máximo un 14 % del número de ooquistes totales detectados en el agua filtrada.
8. No se han detectado ooquistes infectivos de *Cryptosporidium* spp. en ninguna de las muestras de agua obtenidas en los procesos de desinfección que tuvieran al menos un módulo de luz ultravioleta en funcionamiento. Tan sólo se han detectado ooquistes infectivos (1,4 ooquistes/100 l, un 28 % de los ooquistes totales) en el agua desinfectada exclusivamente con cloro.
9. Todos los tratamientos de desinfección ensayados han dado como resultado un agua con ausencia de enterovirus cultivables en muestras de 100 l de agua. Los valores generados en este estudio no permiten realizar una estimación ajustada de la inactivación de los enterovirus, de la cual sólo sabemos que es superior a 0,3 ulog. En cualquier caso, se puede considerar que la eliminación de enterovirus debe ser del mismo orden de magnitud que la de los colifagos somáticos.
10. La planta de regeneración de agua de Blanes muestra una capacidad de inactivación de microorganismos superior a la de la planta de regeneración de agua de Castell-Platja d'Aro, en razón de las reducciones superiores que consigue en aquellos microorganismos más resistentes, como las esporas de clostridios sulfitorreductores y los colifagos somáticos. Sin embargo, ambas plantas de regeneración eliminan de forma efectiva tanto los ooquistes infectivos de *Cryptosporidium* spp. como los enterovirus.
11. En resumen, evaluadas tanto las inactivaciones de microorganismos patógenos como indicadores, los tratamientos de desinfección que combinan la luz ultravioleta y la adición de hipoclorito presentan una eficacia superior a la de los tratamientos unitarios.

RECOMENDACIONES

Los resultados de este estudio permiten formular las siguientes recomendaciones:

1. Para un máximo rendimiento del proceso de desinfección es necesario producir un efluente secundario de la máxima calidad posible (p. ej., con valores de MES < 10 mg/l y de turbiedad < 5 NTU, siempre que las instalaciones y las condiciones de trabajo lo permitan). Una mejor calidad del efluente secundario implicará una mayor fiabilidad del proceso de regeneración posterior, debido a la mayor eficacia de eliminación de materia en suspensión y de inactivación bacteriana y vírica conseguida por este proceso. A igualdad de luz ultravioleta emitida o de dosis de hipoclorito aportada, los rendimientos de desinfección serán mayores en aquellas aguas que presenten una mejor calidad fisicoquímica.
2. A fin de asegurar una desinfección de amplio espectro y, por lo tanto, la máxima protección de la salud pública, se propone que la explotación del tratamiento de desinfección de la planta de regeneración de agua de Blanes incluya al menos un módulo de luz ultravioleta en funcionamiento y que la reducción de esporas de clostridios sulfitorreductores, empleadas como microorganismo modelo, sea de al menos 1,0 ulog. Este régimen de funcionamiento no sólo permite inactivaciones totales de microorganismos indicadores como la *Escherichia coli* o como los colifagos somáticos, sino que ofrece la máxima protección frente a los ooquistes infectivos de *Cryptosporidium* spp. y de los enterovirus.
3. Conviene continuar con la valoración sistemática de los parámetros de calidad

microbiológica empleados en este estudio, con el objetivo de confirmar los resultados preliminares obtenidos y reforzar los criterios de explotación propuestos. El seguimiento de la explotación de la planta de regeneración de agua de Blanes, de acuerdo con los criterios propuestos en este estudio, debe proporcionar una serie de datos de gran interés práctico para esta finalidad.

4. Asimismo, conviene avanzar en la interpretación de la utilidad de las esporas de clostridios sulfitorreductores y de los colifagos somáticos como indicadores de la eficacia de la desinfección, así como en la determinación de los niveles de agentes desinfectantes necesarios para lograr su eliminación y la del resto de microorganismos, tanto indicadores como patógenos, utilizados en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Anónimo. 2000. ISO 10705-2: «Water quality – Detection and enumeration of bacteriophages. Part 2: Enumeration of somatic Coliphages». Ginebra, Suiza: International Standardisation Organisation.

Campbell, A. T., Robertson, L. J. y Smith, H. V. 1992. «Viability of *Cryptosporidium parvum* oocysts: correlation of in vitro exystation with inclusion or exclusion of fluorogenic vital dyes». *Applied and Environmental Microbiology*. Volumen 58, págs. 3488-3493.

Consorcio de la Costa Brava, 2006a. Informe técnico: «Acció combinada d'agents desinfectants a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro». Disponible en la direcció
<http://www.ccbgi.org/docs/Informe_accio_combinada_desinfectants_Jul_2006.pdf>.

Consorcio de la Costa Brava, 2006b. Informe: «Resum del seguiment realitzat a la qualitat de l'aigua regenerada produïda en l'EDAR de Blanes (gener 2003 - abril 2006)». Disponible en la direcció
<http://www.ccbgi.org/docs/informe_resum_recarrega_blanes_gener_2003_abril_2006.pdf>.

Consorcio de la Costa Brava, 2006c. Informe técnico: «Efecte de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro en la qualitat ecològica, química i microbiològica del riu Ridaura» (en preparació).

Katzenelson, E., Fattal, B., y Hostovesky, T. 1976. «Organic flocculation: an efficient second step concentration method for the detection of viruses in tap water». *Applied and Environmental Microbiology*. Volumen 30, págs. 638-639.

Méndez, J., Audicana, A., Isern, A., Llana, J., Moreno, B., Taracón, M. L., Jofre, J. y Lucena, F. 2004. «Standardised evaluation of the performance of a simple membrane filtration-elution method to concentrate bacteriophages from drinking water». *Journal of Virological Methods*. Volumen 117, págs. 19-25.

Mocé-Llivina, L., Jofre, J. y Muniesa, M. 2003. «Comparison of polyvinylidene fluoride and polyether sulfone membranes in filtering viral suspensions». *Journal of Virological Methods*. Volumen 109, págs. 99-101.

Mocé-Llivina, L., Lucena, F. y Jofre, J. 2004. «Double-layer plaque assay for quantification of enteroviruses». *Applied and Environmental Microbiology*. Volumen 70, págs. 2801-2805.

Montemayor, M., Valero, F., Jofre, J. y Lucena, F. 2005. «Occurrence of *Cryptosporidium* spp. oocysts in raw and treated sewage and river water in north-eastern Spain». *Journal of Applied Microbiology*. Volumen 99(6), págs. 1455-62.

Slifko, T. R., Friedman, D., Rose, J. y Jabubowski, W. (1997). «An In Vitro Method for Detecting Infectious *Cryptosporidium* Oocysts with Cell Culture». *Applied and Environmental Microbiology*. Volumen 63(9), págs. 3669–3675.

US EPA 1996. *ICR Microbial Laboratory Manual*. Section VIII. Part 1 (VIII-4-VIII-12). US Environmental Protection Agency, Ohio 45268.

US EPA 1999. *Method 1623: Cryptosporidium and Giardia in water by filtration/IMS/FA*. EPA/821/R-99/006. Office of Water, US Environmental Protection Agency, Washington, DC: Government Printing Office.

Venczel, L. V., Arrowood, M., Hurd, M., y Sobsey, M. D. 1997. «Inactivation of *Cryptosporidium parvum* Oocysts and *Clostridium perfringens* Spores by a Mixed-Oxidant Disinfectant and by Free Chlorine». *Applied and Environmental Microbiology*. Volumen 63(4), págs. 598-1601.

Anexo I

Condiciones de trabajo durante la experimentación

Día: lunes 8/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos/lámparas en funcionamiento	1/8
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	110 – Módulos A-B
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	1,0
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	10.00	10.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	1,8	0,8	12,4	---
Turbiedad, NTU	3,1	0,9	3,1	---
T254, %	72	74	54	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	43,7	43,7 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	75	---

Segundo muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	11.30	11.30	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	3,2	2,0	---
Turbiedad, NTU	---	7,0	1,4	---
T254, %	---	74	74	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	43,7	43,7	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	50	---

Tercer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	13.00	13.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	1,4	2,4	---
Turbiedad, NTU	---	1,3	2,3	---
T254, %	---	75	73	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	43,7	43,7 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	50	---

- (a) Se considera que la variación de la transmitancia se produce por la adición final del hipoclorito, por lo que se mantiene la dosis de luz ultravioleta.

Día: martes 9/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos/lámparas en funcionamiento	1/8
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	110 – Módulos A-B
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	1,0
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	10.00	10.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	2,8	1,8	1,2	---
Turbiedad, NTU	1,0	1,6	1,7	---
T254, %	72	71	55	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,1	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	39,0	39,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	25	---

Segundo muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	11.30	11.30	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	0,4	0,7	---
Turbiedad, NTU	---	2,3	1,6	---
T254, %	---	70	69	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	37,0	37,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	50	---

Tercer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	13.00	13.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	2,0	2,2	---
Turbiedad, NTU	---	1,2	1,4	---
T254, %	---	72	72	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,1	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	40,9	40,9	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	25	---

- (a) Se considera que la variación de la transmitancia se produce por la adición final del hipoclorito, por lo que se mantiene la dosis de luz ultravioleta.

Día: miércoles 10/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos/lámparas en funcionamiento	1/8
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	110 – Módulos A-B
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	1,0
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	10.00	10.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	2,8	1,8	1,2	---
Turbiedad, NTU	1,9	1,0	1,8	---
T254, %	70	71	70	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,1	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	118,0	118,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	25	---

Puntualmente, en la recogida de las muestras de las 10 h, el caudal era de 200 m³/h y no de 600 m³/h.

Segundo muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	11.30	11.30	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	0,4	0,7	---
Turbiedad, NTU	---	2,4	1,3	---
T254, %	---	71	72	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	39,0	39,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	50	---

Tercer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	13.00	13.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	2,0	2,2	---
Turbiedad, NTU	---	1,9	2,0	---
T254, %	---	70	72	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,1	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	38,2	38,2 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	25	---

- (a) Se considera que la variación de la transmitancia se produce por la adición final del hipoclorito, por lo que se mantiene la dosis de luz ultravioleta.

Día: lunes 15/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos/lámparas en funcionamiento	1/8
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	141 – Módulos C-D
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	2,0
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	10.00	10.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	1,8	4,6	1,0	---
Turbiedad, NTU	1,7	1,5	1,6	---
T254, %	70	70	71	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,6	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	38,2	38,2 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	150	---

Segundo muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	11.30	11.30	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	2,2	2,8	---
Turbiedad, NTU	---	1,0	1,2	---
T254, %	---	71	72	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,5	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	39,0	39,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	125	---

Tercer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	13.00	13.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	1,6	2,0	---
Turbiedad, NTU	---	1,1	1,2	---
T254, %	---	72	72	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,4	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	40,9	40,9	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	100	---

(a) Se considera que la variación de la transmitancia se produce por la adición final del hipoclorito, por lo que se mantiene la dosis de luz ultravioleta.

Día: martes 16/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos/lámparas en funcionamiento	1/8
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	141 – Módulos C-D
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	2,0
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	10.00	10.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	2,0	3,8	3,0	---
Turbiedad, NTU	1,0	1,7	1,5	---
T254, %	71	71	72	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	39,0	39,0 (a)	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	75	---

Segundo muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	11.30	11.30	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	2,0	2,6	---
Turbiedad, NTU	---	2,3	1,1	---
T254, %	---	70	73	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	38,3	38,3 (a)	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	75	---

Tercer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	13.00	13.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	2,0	2,4	---
Turbiedad, NTU	---	1,3	2,1	---
T254, %	---	72	70	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	40,9	40,9 (a)	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	75	---

(a) Se considera que la variación de la transmitancia se produce por la adición final del hipoclorito, por lo que se mantiene la dosis de luz ultravioleta.

Día: miércoles 17/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos/lámparas en funcionamiento	1/8
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	141 – Módulos C-D
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	2,0
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	10.00	10.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	1,4	1,4	6,4	---
Turbiedad, NTU	1,4	1,4	6,5	---
T254, %	70	70	63	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,4	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	38,2	38,2 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	100	---

Segundo muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	11.30	11.30	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	0,8	2,0	---
Turbiedad, NTU	---	0,9	1,1	---
T254, %	---	70	71	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,4	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	38,2	38,2 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	100	---

Tercer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	13.00	13.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	4,6	1,8	---
Turbiedad, NTU	---	1,8	1,6	---
T254, %	---	71	68	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,4	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	39,0	39,0	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	100	---

(a) Se considera que la variación de la transmitancia se produce por la adición final del hipoclorito, por lo que se mantiene la dosis de luz ultravioleta.

Día: lunes 22/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos/lámparas en funcionamiento	2/16
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	382 – Módulos C-D + D-C
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	1,0
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	10.00	10.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	1,4	1,0	6,2	---
Turbiedad, NTU	1,5	1,5	4,2	---
T254, %	71	71	66	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	79,0	79,0 (a)	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	75	---

Segundo muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	11.30	11.30	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	0,4	1,6	---
Turbiedad, NTU	---	1,2	3,8	---
T254, %	---	70	66	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	76,4	76,4 (a)	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	75	---

Tercer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	13.00	13.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	1,2	1,2	---
Turbiedad, NTU	---	3,4	1,4	---
T254, %	---	71	73	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	79,0	79,0 (a)	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	75	---

(a) Se considera que la variación de la transmitancia se produce por la adición final del hipoclorito, por lo que se mantiene la dosis de luz ultravioleta.

Día: martes 23/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos/lámparas en funcionamiento	2/16
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	382 – Módulos C-D + D-C
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	1,0
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	10.00	10.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	2,6	1,0	1,4	---
Turbiedad, NTU	1,3	1,2	3,0	---
T254, %	70	70	62	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	76,4	76,4 (a)	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	75	---

Segundo muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	11.30	11.30	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	0,8	1,8	---
Turbiedad, NTU	---	0,9	2,1	---
T254, %	---	71	69	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	79,0	79,0 (a)	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	50	---

Tercer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	13.00	13.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	0,8	1,6	---
Turbiedad, NTU	---	1,5	1,3	---
T254, %	---	71	72	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	79,0	79,0 (a)	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	50	---

(a) Se considera que la variación de la transmitancia se produce por la adición final del hipoclorito, por lo que se mantiene la dosis de luz ultravioleta.

Día: jueves 25/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos/lámparas en funcionamiento	2/16
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	382 – Módulos C-D + D-C
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	1,0
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	10.00	10.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	2,6	3,4	5,0	---
Turbiedad, NTU	1,3	2,3	3,3	---
T254, %	71	70	69	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	76,4	76,4 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	75	---

Segundo muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	11.30	11.30	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	1,6	2,0	---
Turbiedad, NTU	---	4,3	1,8	---
T254, %	---	70	72	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	76,4	76,4 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	75	---

Tercer muestreo	Muestras			
	Agua filtrada	UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	---	13.00	13.00	---
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	---	2,4	1,8	---
Turbiedad, NTU	---	1,5	4,4	---
T254, %	---	71	71	---
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosis UV, mJ/cm ²	---	79,0	79,0	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	50	---

- (a) Se considera que la variación de la transmitancia se produce por la adición final del hipoclorito, por lo que se mantiene la dosis de luz ultravioleta.

Día: lunes 29/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos/lámparas en funcionamiento	0/0
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	-
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	3,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	-
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Agua filtrada	Muestras		
		UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	---	---	10.00
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	2,6	---	---	1,6
Turbiedad, NTU	1,4	---	---	1,3
T254, %	73	---	---	73
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,4
Dosis UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	---	---

Segundo muestreo	Agua filtrada	Muestras		
		UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	11.30	---	---	11.30
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	1,6	---	---	2,0
Turbiedad, NTU	1,4	---	---	1,4
T254, %	74	---	---	76
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,6
Dosis UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	---	---

Tercer muestreo	Agua filtrada	Muestras		
		UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	13.00	---	---	13.00
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	1,4	---	---	2,0
Turbiedad, NTU	1,9	---	---	1,2
T254, %	74	---	---	76
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,5
Dosis UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C-t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	---	---

Día: martes 30/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos / lámparas en funcionamiento	0/0
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	-
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	3,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	-
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Agua filtrada	Muestras		
		UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	---	---	10.00
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	2,2	---	---	2,6
Turbiedad, NTU	2,1	---	---	2,7
T254, %	72	---	---	71
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,4
Dosis UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	---	---

Segundo muestreo	Agua filtrada	Muestras		
		UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	11.30	---	---	11.30
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	2,0	---	---	3,2
Turbiedad, NTU	2,5	---	---	3,2
T254, %	71	---	---	72
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,6
Dosis UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	---	---

Tercer muestreo	Agua filtrada	Muestras		
		UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	13.00	---	---	13.00
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	1,8	---	---	2,0
Turbiedad, NTU	2,1	---	---	2,0
T254, %	71	---	---	71
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,6
Dosis UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	---	---	---	---

Día: miércoles 31/05/2006

<i>Condiciones de trabajo</i>	
Producción de agua regenerada, m ³ /h	600
Bombas de agua filtrada en funcionamiento, número	3
Número de módulos / lámparas en funcionamiento	0/0
Vida útil de las lámparas, horas acumuladas	-
Dosis de hipoclorito para desinfección, mg Cl ₂ /l	3,0
Dosis de hipoclorito para afinamiento, mg Cl ₂ /l	-
Volumen depósito de salida, m ³	2.500
Tiempo de contacto cloro, min	250

Primer muestreo	Agua filtrada	Muestras		
		UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	10.00	---	---	10.00
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	2,8	---	---	2,2
Turbiedad, NTU	2,3	---	---	1,8
T254, %	65	---	---	67
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,8
Dosis UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	---	---

Segundo muestreo	Agua filtrada	Muestras		
		UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	11.30	---	---	11.30
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	1,6	---	---	1,8
Turbiedad, NTU	2,1	---	---	2,1
T254, %	71	---	---	71
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,9
Dosis UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	---	---

Tercer muestreo	Agua filtrada	Muestras		
		UV	UV + Cloro	Cloro
Hora de muestreo	13.00	---	---	13.00
<i>Resultados fisicoquímicos</i>				
MES, mg/l	1,4	---	---	2,6
Turbiedad, NTU	2,4	---	---	1,2
T254, %	64	---	---	71
Cloro residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,7
Dosis UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ -min/l	---	---	---	---

Anexo II

Resultados de los análisis microbiológicos realizados en la planta de regeneración de agua de Blanes en el estudio de la acción combinada de agentes desinfectantes. Mayo de 2006. Ordenación cronológica de las muestras.

1.ª semana										
Condiciones de muestreo		Bacterias, ufc/100 ml		Colifagos somáticos ufp/100 ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/l
Fecha	Muestra	<i>E. coli</i>	Esporas de clostridios sulfitorreductores		Totales ooquistes/l	Viables ooquistes/l	Infectivos ooquistes/l	Viabilidad %	Infectividad %	
08/05/2006	Filtrada	25.000	1.050	41.000	nt	nt	nt	nt	nt	nt
08/05/2006	A1UV	< 10	400	< 0,4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
08/05/2006	A1UV1CL	< 10	200	1,6	nt	nt	nt	nt	nt	nt
08/05/2006	B1UV	< 10	700	10	nt	nt	nt	nt	nt	nt
08/05/2006	B1UV1CL	< 10	300	4,4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
08/05/2006	C1UV	< 10	400	9,6	nt	nt	nt	nt	nt	nt
08/05/2006	C1UV1CL	10	300	4,8	nt	nt	nt	nt	nt	nt
09/05/2006	Filtrada	6.000	1.000	19.200	nt	nt	nt	nt	nt	nt
09/05/2006	A1UV	< 10	100	< 1	nt	nt	nt	nt	nt	nt
09/05/2006	A1UV1CL	< 10	90	< 1	nt	nt	nt	nt	nt	nt
09/05/2006	B1UV	< 10	600	4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
09/05/2006	B1UV1CL	< 10	800	< 1	nt	nt	nt	nt	nt	nt
09/05/2006	C1UV	< 10	100	2	nt	nt	nt	nt	nt	nt
09/05/2006	C1UV1CL	10	200	5	nt	nt	nt	nt	nt	nt
10/05/2006	Filtrada	18.000	3.000	19.000	0,3	0,1	0,025	33,3	8,3	0,02
10/05/2006	A1UV	20	1.500	7	0,5	0,2	< 0,025	40,0	< 5	< 0,01
10/05/2006	A1UV1CL	< 10	700	1,6	0,2	0,1	< 0,025	50,0	< 12,5	< 0,01
10/05/2006	B1UV	20	800	8	nt	nt	nt	nt	nt	nt
10/05/2006	B1UV1CL	10	1.200	1,3	nt	nt	nt	nt	nt	nt
10/05/2006	C1UV	< 10	600	2,3	nt	nt	nt	nt	nt	nt
10/05/2006	C1UV1CL	< 10	900	2,2	nt	nt	nt	nt	nt	nt

2.ª semana										
Condiciones de muestreo		Bacterias, ufc/100 ml		Colifagos somáticos ufp/100 ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/l
Fecha	Muestra	<i>E. coli</i>	Esporas de clostridios sulfitorreductores		Totales ooquistes/l	Viables ooquistes/l	Infectivos ooquistes/l	Viabilidad %	Infectividad %	
15/05/2006	Filtrada	22.000	1.500	21.500	0,47	0,12	< 0,02	25,0	< 4,3	0,03
15/05/2006	A1UV	10	200	9,6	< 0,12	-	-	-	-	< 0,01
15/05/2006	A1UV2CL	< 10	120	0,4	0,088	0	< 0,015	0,0	< 5	< 0,01
15/05/2006	B1UV	30	100	5,2	nt	nt	nt	nt	nt	nt
15/05/2006	B1UV2CL	<10	200	0,8	nt	nt	nt	nt	nt	nt
15/05/2006	C1UV	20	300	10	nt	nt	nt	nt	nt	nt
15/05/2006	C1UV2CL	< 10	100	0,4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
16/05/2006	Filtrada	14.000	3.200	20.500	nt	nt	nt	nt	nt	nt
16/05/2006	A1UV	20	400	16,2	nt	nt	nt	nt	nt	nt
16/05/2006	A1UV2CL	< 10	800	0,4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
16/05/2006	B1UV	8.000	960	3.420	nt	nt	nt	nt	nt	nt
16/05/2006	B1UV2CL	< 10	550	< 0,4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
16/05/2006	C1UV	30	800	17,2	nt	nt	nt	nt	nt	nt
16/05/2006	C1UV2CL	< 10	700	8,4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
17/05/2006	Filtrada	12.000	4.000	14.000	nt	nt	nt	nt	nt	nt
17/05/2006	A1UV	30	700	9,6	nt	nt	nt	nt	nt	nt
17/05/2006	A1UV2CL	< 10	500	0,4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
17/05/2006	B1UV	150	300	16,4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
17/05/2006	B1UV2CL	<1 0	500	0,8	nt	nt	nt	nt	nt	nt
17/05/2006	C1UV	30	60	4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
17/05/2006	C1UV2CL	< 10	40	0,4	nt	nt	nt	nt	nt	nt

3.ª semana										
Condiciones de muestreo		Bacterias, ufc/100 ml		Colifagos somáticos ufp/100 ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/l
Fecha	Muestra	<i>E. coli</i>	Esporas de clostridios sulfitorreductores		Totales ooquistes/l	Viables ooquistes/l	Infectivos ooquistes/l	Viabilidad %	Infectividad %	
22/05/2006	Filtrada	20.000	1.000	24.500	0,274	0,068	< 0,016	25,0	< 5,84	0,01
22/05/2006	A2UV	10	50	14,8	0,237	0,059	< 0,014	25,0	< 5,91	< 0,01
22/05/2006	A2UV1CL	< 10	100	3,2	0,06	0	< 0,014	0,0	< 23,3	< 0,01
22/05/2006	B2UV	< 10	70	10,8	nt	nt	nt	nt	nt	nt
22/05/2006	B2UV1CL	< 10	110	1,6	nt	nt	nt	nt	nt	nt
22/05/2006	C2UV	< 10	100	14,8	nt	nt	nt	nt	nt	nt
22/05/2006	C2UV1CL	< 10	90	1,2	nt	nt	nt	nt	nt	nt
23/05/2006	Filtrada	13.000	2.000	11.000	nt	nt	nt	nt	nt	nt
23/05/2006	A2UV	10	90	5,2	nt	nt	nt	nt	nt	nt
23/05/2006	A2UV1CL	< 10	70	2	nt	nt	nt	nt	nt	nt
23/05/2006	B2UV	20	60	11,6	nt	nt	nt	nt	nt	nt
23/05/2006	B2UV1CL	< 10	80	1,6	nt	nt	nt	nt	nt	nt
23/05/2006	C2UV	< 10	120	2,8	nt	nt	nt	nt	nt	nt
23/05/2006	C2UV1CL	< 10	90	2,4	nt	nt	nt	nt	nt	nt
25/05/2006	Filtrada	29.000	2.000	22.500	nt	nt	nt	nt	nt	nt
25/05/2006	A2UV	40	30	7	nt	nt	nt	nt	nt	nt
25/05/2006	A2UV1CL	< 10	50	1	nt	nt	nt	nt	nt	nt
25/05/2006	B2UV	< 10	60	5	nt	nt	nt	nt	nt	nt
25/05/2006	B2UV1CL	< 10	50	2	nt	nt	nt	nt	nt	nt
25/05/2006	C2UV	10	40	3	nt	nt	nt	nt	nt	nt
25/05/2006	C2UV1CL	< 10	80	< 1	nt	nt	nt	nt	nt	nt

4.ª semana										
Condiciones de muestreo		Bacterias, ufc/100 ml		Colifagos somáticos ufp/100 ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/l
Fecha	Muestra	<i>E. coli</i>	Esporas de clostridios sulfitorreductores		Totales ooquistes/l	Viables ooquistes/l	Infectivos ooquistes/l	Viabilidad %	Infectividad %	
29/05/2006	Filtrada	19.000	3.000	12.500	0,2	0,08	0,0286	40,0	14,3	0,05
29/05/2006	A0,6CL	20	800	51	0,05	0,0165	0,0143	33,0	28,6	< 0,01
29/05/2006	B0,6CL	< 10	700	44,8	nt	nt	nt	nt	nt	nt
29/05/2006	C0,6CL	20	1.000	34,8	nt	nt	nt	nt	nt	nt
30/05/2006	Filtrada	12.000	2.500	10.500	nt	nt	nt	nt	nt	nt
30/05/2006	A0,6CL	< 10	700	23	nt	nt	nt	nt	nt	nt
30/05/2006	B0,6CL	< 10	400	18	nt	nt	nt	nt	nt	nt
30/05/2006	C0,6CL	< 10	600	24	nt	nt	nt	nt	nt	nt
31/05/2006	Filtrada	9.000	2.000	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt
31/05/2006	A0,6CL	10	1.400	4.050	nt	nt	nt	nt	nt	nt
31/05/2006	B0,6CL	10	1.200	5.800	nt	nt	nt	nt	nt	nt
31/05/2006	C0,6CL	20	2.400	7.100	nt	nt	nt	nt	nt	nt

Resultados de los análisis microbiológicos realizados en la planta de regeneración de agua de Blanes en el estudio de la acción combinada de agentes desinfectantes. Mayo de 2006. Ordenación de las muestras por tipos de agua.

Condiciones de muestreo		Bacterias, ufc/100 ml		Colifagos somáticos ufp/100 ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/l
Fecha	Muestra	<i>E. coli</i>	Esporas de clostridios sulfitorreductores		Totales ooquistes/l	Viables ooquistes/l	Infectivos ooquistes/l	Viabilidad %	Infectividad %	
08/05/2006	Filtrada	25.000	1.050	41.000						
09/05/2006	Filtrada	6.000	1.000	19.200						
10/05/2006	Filtrada	18.000	3.000	19.000	0,3	0,1	0,025	33,3	8,3	0
15/05/2006	Filtrada	22.000	1.500	21.500	0,47	0,12	< 0,02	25,0	< 4,3	0
16/05/2006	Filtrada	14.000	3.200	20.500						
17/05/2006	Filtrada	12.000	4.000	14.000						
22/05/2006	Filtrada	20.000	1.000	24.500	0,274	0,068	< 0,016	25,0	< 5,8	0
23/05/2006	Filtrada	13.000	2.000	11.000						
25/05/2006	Filtrada	29.000	2.000	22.500						
29/05/2006	Filtrada	19.000	3.000	12.500	0,2	0,08	0,0286	40,0	14,3	0
30/05/2006	Filtrada	12.000	2.500	10.500						
31/05/2006	Filtrada	9.000	2.000							
08/05/2006	A1UV	< 10	400	< 0,4						
09/05/2006	A1UV	< 10	100	< 1						
10/05/2006	A1UV	20	1.500	7	0,5	0,2	< 0,025	40,0	< 5,0	< 0,01
15/05/2006	A1UV	10	200	9,6	< 0,12	<0,12	< 0,02	0	0	< 0,01
16/05/2006	A1UV	20	400	16,2						
17/05/2006	A1UV	30	700	9,6						

Acción combinada de agentes desinfectantes en la planta de regeneración de agua de Blanes

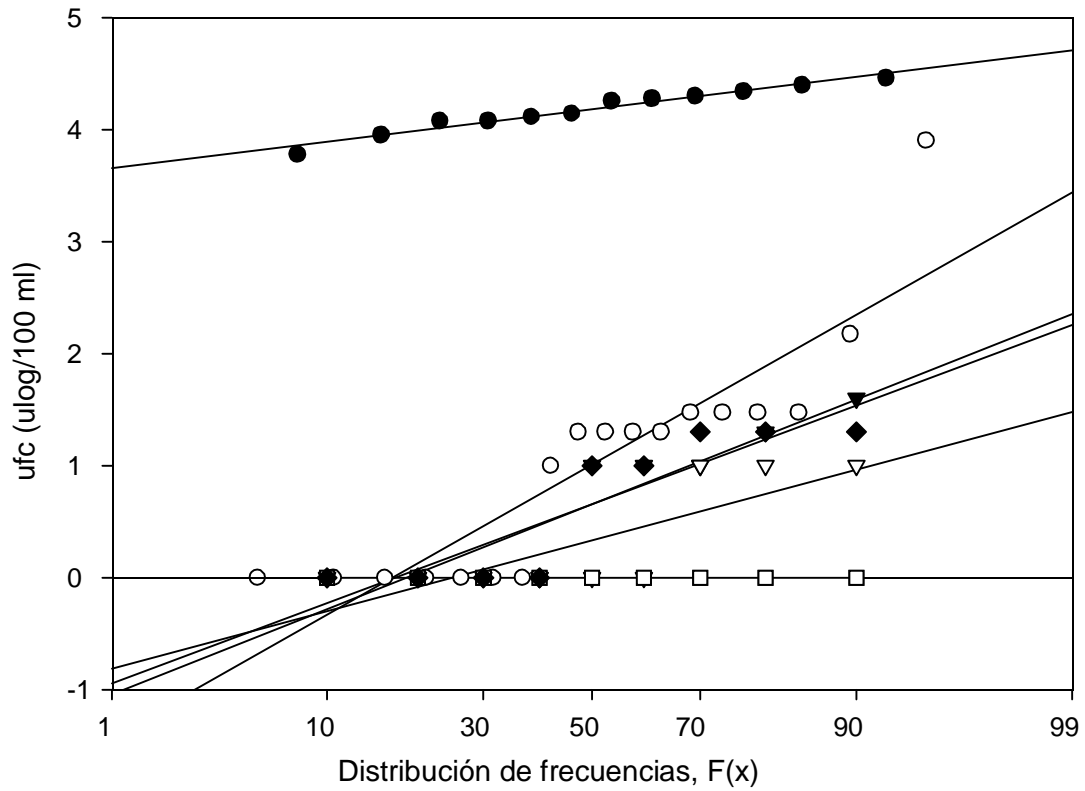
Condiciones de muestreo		Bacterias, ufc/100 ml		Colifagos somáticos ufp/100 ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/l
Fecha	Muestra	<i>E. coli</i>	Esporas de clostridios sulfitorreductores		Totales ooquistes/l	Viables ooquistes/l	Infectivos ooquistes/l	Viabilidad %	Infectividad %	
08/05/2006	B1UV	< 10	700	10						
09/05/2006	B1UV	< 10	600	4						
10/05/2006	B1UV	20	800	8						
15/05/2006	B1UV	30	100	5,2						
16/05/2006	B1UV	8.000	960	3420						
17/05/2006	B1UV	150	300	16,4						
08/05/2006	C1UV	< 10	400	9,6						
09/05/2006	C1UV	< 10	100	2						
10/05/2006	C1UV	< 10	600	2,3						
15/05/2006	C1UV	20	300	10						
16/05/2006	C1UV	30	800	17,2						
17/05/2006	C1UV	30	60	4						
22/05/2006	A2UV	10	50	14,8	0,237	0,059	< 0,014	25,0	< 5,9	< 0,01
23/05/2006	A2UV	10	90	5,2						
25/05/2006	A2UV	40	30	7						
22/05/2006	B2UV	< 10	70	10,8						
23/05/2006	B2UV	20	60	11,6						
25/05/2006	B2UV	< 10	60	5						
22/05/2006	C2UV	< 10	100	14,8						
23/05/2006	C2UV	< 10	120	2,8						
25/05/2006	C2UV	10	40	3						

Condiciones de muestreo		Bacterias, ufc/100 ml		Colifagos somáticos ufp/100 ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/l
Fecha	Muestra	<i>E. coli</i>	Esporas de clostridios sulfitorreductores		Totales ooquistes/l	Viables ooquistes/l	Infectivos ooquistes/l	Viabilidad %	Infectividad %	
08/05/2006	A1UV1CL	< 10	200	1,6						
09/05/2006	A1UV1CL	< 10	90	< 1						
10/05/2006	A1UV1CL	< 10	700	1,6	0,2	0,1	< 0,025	50,0	< 12,5	< 0,01
08/05/2006	B1UV1CL	< 10	300	4,4						
09/05/2006	B1UV1CL	< 10	800	< 1						
10/05/2006	B1UV1CL	10	1200	1,3						
08/05/2006	C1UV1CL	10	300	4,8						
09/05/2006	C1UV1CL	10	200	5						
10/05/2006	C1UV1CL	< 10	900	2,2						
15/05/2006	A1UV2CL	< 10	120	0,4	0,088	0	< 0,015	0	< 5	< 0,01
16/05/2006	A1UV2CL	< 10	800	0,4						
17/05/2006	A1UV2CL	< 10	500	0,4						
15/05/2006	B1UV2CL	< 10	200	0,8						
16/05/2006	B1UV2CL	< 10	550	< 0,4						
17/05/2006	B1UV2CL	< 10	500	0,8						
15/05/2006	C1UV2CL	< 10	100	0,4						
16/05/2006	C1UV2CL	< 10	700	8,4						
17/05/2006	C1UV2CL	< 10	40	0,4						

Condiciones de muestreo		Bacterias, ufc/100 ml		Colifagos somáticos ufp/100 ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/l
Fecha	Muestra	<i>E. coli</i>	Esporas de clostridios sulfitorreductores		Totales ooquistes /l	Viables ooquistes/l	Infectivos ooquistes/l	Viabilidad %	Infectividad %	
22/05/2006	A2UV1CL	< 10	100	3,2	0,06	0	< 0,014	0	< 23,3	< 0,01
23/05/2006	A2UV1CL	< 10	70	2						
25/05/2006	A2UV1CL	< 10	50	1						
22/05/2006	B2UV1CL	< 10	110	1,6						
23/05/2006	B2UV1CL	< 10	80	1,6						
25/05/2006	B2UV1CL	< 10	50	2						
22/05/2006	C2UV1CL	< 10	90	1,2						
23/05/2006	C2UV1CL	< 10	90	2,4						
25/05/2006	C2UV1CL	< 10	80	<1						
29/05/2006	A0,6CL	20	800	51	0,05	0,0165	0,0143	33,0	28,6	< 0,01
30/05/2006	A0,6CL	< 10	700	23						
31/05/2006	A0,6CL	10	1.400	4.050						
29/05/2006	B0,6CL	< 10	700	44,8						
30/05/2006	B0,6CL	< 10	400	18						
31/05/2006	B0,6CL	10	1.200	5.800						
29/05/2006	C0,6CL	20	1.000	34,8						
30/05/2006	C0,6CL	< 10	600	24						
31/05/2006	C0,6CL	20	2.400	7.100						

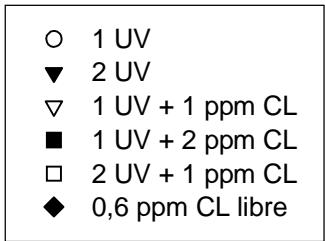
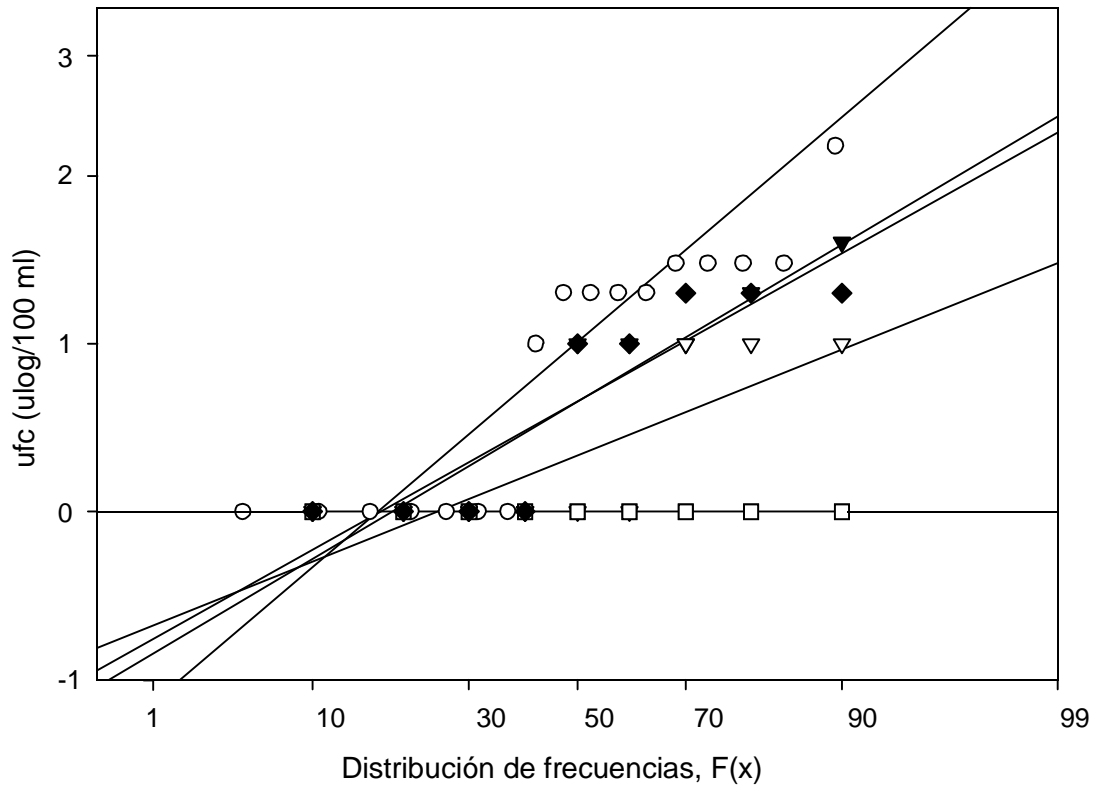
Anexo III

Escherichia coli

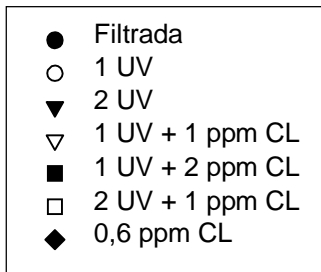
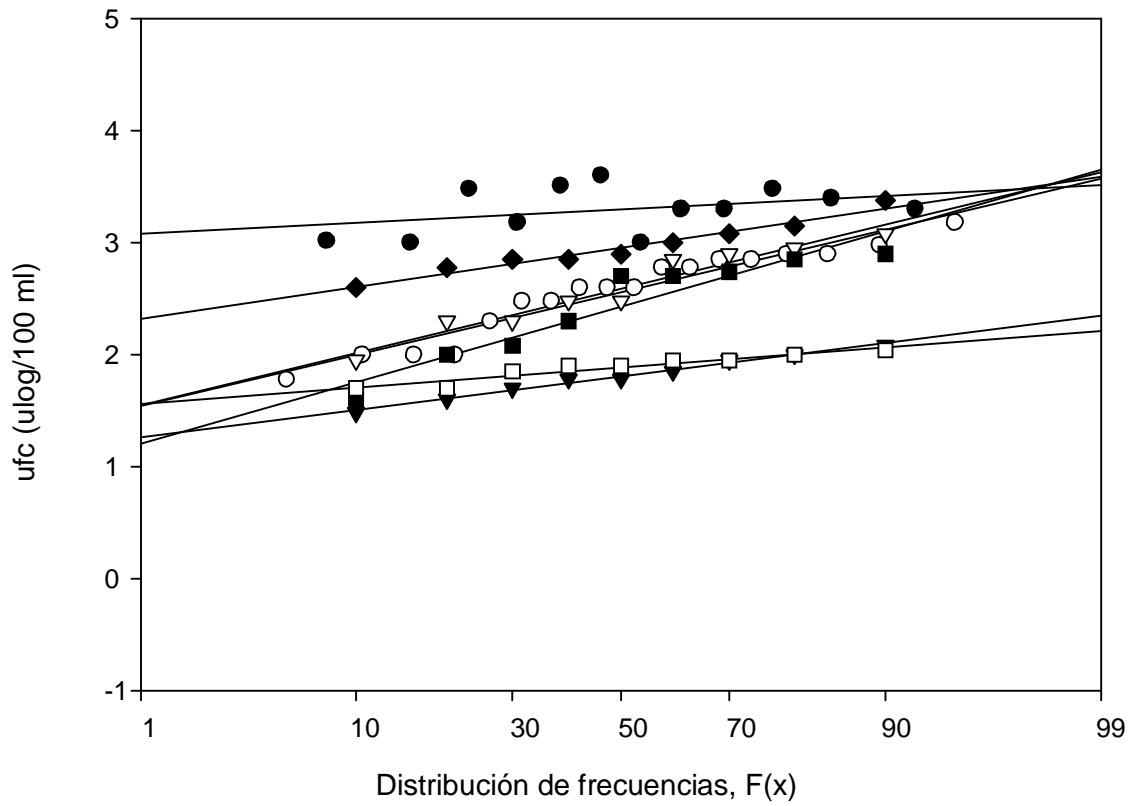


- Filtrada
- 1 UV
- ▼ 2 UV
- ▽ 1 UV + 1 ppm CL
- 1 UV + 2 ppm CL
- 2 UV + 1 ppm CL
- ◆ 0,6 ppm CL libre

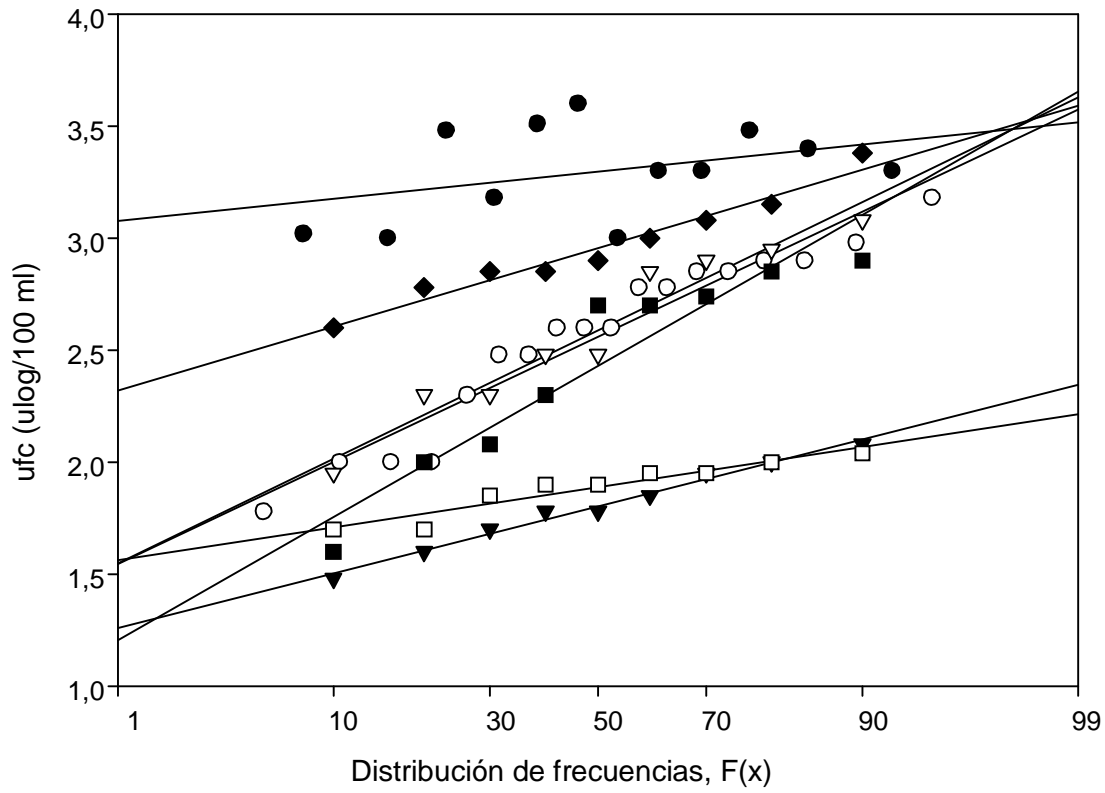
Escherichia coli



Esporas de clostridios sulfitorreductores

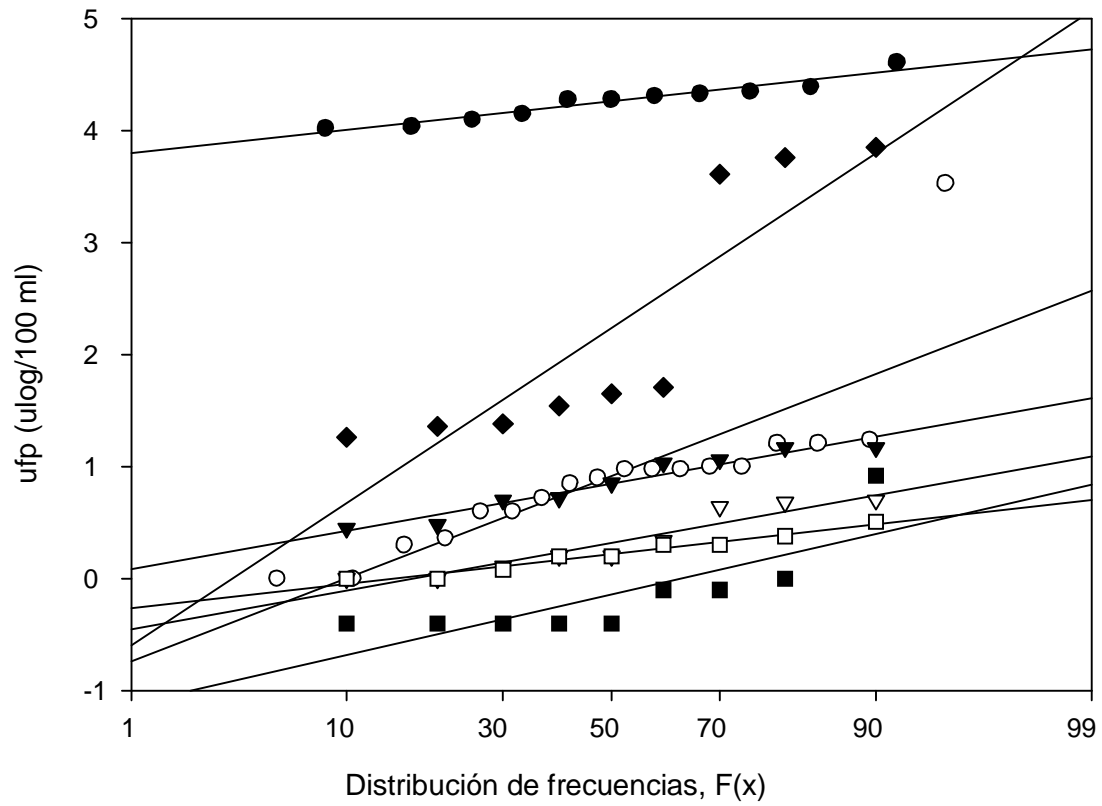


Esporas de clostridios sulfitorreductores



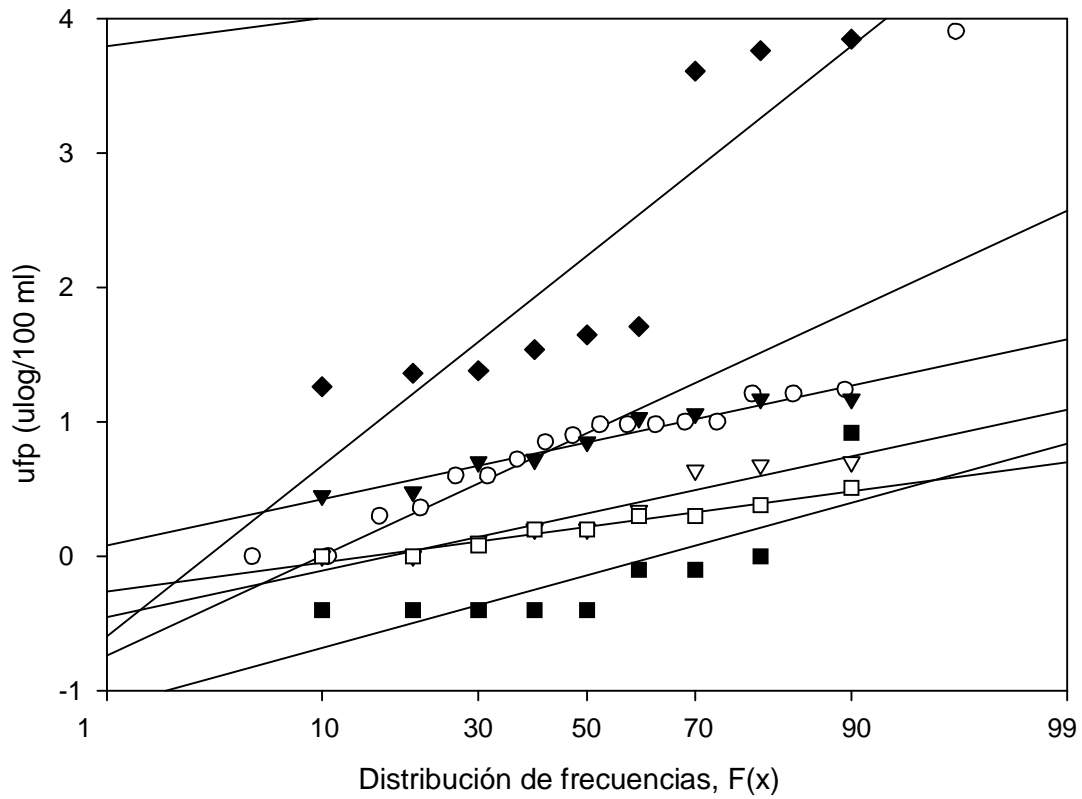
- Filtrada
- 1 UV
- ▼ 2 UV
- ▽ 1 UV + 1 ppm CL
- 1 UV + 2 ppm CL
- 2 UV + 1 ppm CL
- ◆ 0,6 ppm CL libre

Colifagos somáticos



- Filtrada
- 1 UV
- ▼ 2 UV
- ▽ 1 UV + 1 ppm CL
- 1 UV + 2 ppm CL
- 2 UV + 1 ppm CL
- ◆ 0,6 CL libre

Colifagos somáticos



- Filtrada
- 1 UV
- ▼ 2 UV
- ▽ 1 UV + 1 ppm CL
- 1 UV + 2 ppm CL
- 2 UV + 1 ppm CL
- ◆ 0,6 ppm CL libre