



Informe:

ACCIÓ COMBINADA D'AGENTS DESINFECTANTS EN LA PLANTA DE REGENERACIÓ D'AIGUA DE BLANES

Girona, novembre de 2006

EQUIP DE TREBALL

Experimentació i redacció del document

El personal que ha intervingut en l'obtenció de resultats, la realització d'experiments i l'elaboració del present informe ha estat el següent (per ordre alfabètic):

- Anna Costan, Departament de Microbiologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona.
- Estel Dalmau, Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, SA.
- Joan Jofre, Departament de Microbiologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona
- Francisco Lucena, Departament de Microbiologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona.
- Miguel Montemayor, Departament de Microbiologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona.
- Rafael Mujeriego, Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental, ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Andrey Payán, Departament de Microbiologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona.
- Lluís Sala, Consorci de la Costa Brava.
- Montserrat Soler, Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, SA.

Revisors del document

Les persones que han intervingut en la revisió i esmena del present informe han estat les següents (per ordre alfabètic):

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

ANTECEDENTS

L'estiu de 2005 es va dur a terme a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro un estudi per tal d'avaluar els efectes produïts per l'acció combinada de diferents agents desinfectants, en concret la llum ultraviolada i l'hipoclorit, sobre la qualitat microbiològica de l'aigua regenerada. Aquest treball, que va ser fruit de la col·laboració entre la Universitat de Barcelona (UB), la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), el Consorci de la Costa Brava (CCB) i l'empresa explotadora de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro -aleshores SEARSA, actualment Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, SA- va ser publicat el juliol de 2006 en la web del CCB (Consorci de la Costa Brava, 2006a).

Les conclusions d'aquest treball van mostrar l'avantatge que suposa per a la protecció de la salut pública la combinació d'aquests dos agents desinfectants, atès el diferent grau d'acció que cadascun d'ells aporta davant dels diferents grups de microorganismes. Així, es va observar que mentre que l'hipoclorit actuava sobretot provocant una reducció en les concentracions de bacteris, la llum ultraviolada, malgrat treballar en unes condicions relativament desfavorables com són les de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro en els mesos d'estiu, era més efectiva que el propi hipoclorit a l'hora de reduir les concentracions de virus i la infectivitat d'un protozou patògen com *Cryptosporidium* spp. L'estudi acabava amb la recomanació d'ampliar aquesta mena d'estudis sobre l'acció combinada d'agents desinfectants en plantes de regeneració d'aigua que disposessin d'equips de llum ultraviolada en unes condicions de treball més favorables, a fi d'avaluar la seva capacitat per inactivar aquells microorganismes que havien mostrat una major resistència en l'estudi realitzat a Castell-Platja d'Aro.

Paral·lelament, a inicis de 2006 es va acordar posar en funcionament el procés de desinfecció amb llum ultraviolada de la planta de regeneració d'aigua de Blanes. Aquesta planta, en servei des de finals del 2002, ha estat produint des d'aleshores una aigua regenerada que ha tingut com a utilitat principal la recàrrega de l'aqüífer del tram baix del riu Tordera, i que ha estat desinfectada tan sols mitjançant l'addició d'hipoclorit. La necessitat de l'entrada en servei de la desinfecció amb llum ultraviolada ha obligat a plantejar quin havia de ser el règim de funcionament d'aquesta instal·lació, ateses les diferents possibles configuracions d'aquest procés de desinfecció. Aquestes diferents configuracions estan basades en el nombre de mòduls de llum ultraviolada que poden posar-se en funcionament (entre 1 i 4) i en la variabilitat de la dosi d'hipoclorit a aportar per a l'afinament de la qualitat de l'aigua. Fins el moment, l'eficàcia del procés de desinfecció de la planta de regeneració d'aigua de Blanes ha estat avaluada mitjançant la inactivació logarítmica de les concentracions d'*Escherichia coli*, tot i que, amb periodicitat mensual i des de març de 2004, s'ha recollit informació sobre la inactivació dels colifags somàtics i de les espores de clostridis sulfit reductors.

Així, arran tant de les necessitats concretes d'explotació i manteniment de la planta de regeneració d'aigua de Blanes com dels resultats obtinguts en l'estudi de l'acció combinada d'agents desinfectants en la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro realitzat l'estiu de 2005, el CCB i el Departament de Microbiologia de la Facultat de Biologia de la UB, en col·laboració amb l'Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava SA i amb la Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental de l'ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de la UPC, van proposar a l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) la realització d'un experiment destinat a determinar les dosis de llum ultraviolada i d'hipoclorit més adients per assolir una desinfecció d'ampli espectre en la planta de regeneració d'aigua de Blanes, tot minimitzant tant els costos d'explotació i els del seguiment a realitzar *a posteriori*.

LA PLANTA DE REGENERACIÓ D'AIGUA DE BLANES

Descripció dels elements

La planta de regeneració d'aigua de Blanes va ser dissenyada per a un cabal d'efluent secundari de fins a 700 m³/hora i consta dels següents elements:

- Dipòsit de capçalera: La tuberia de sortida de l'efluent secundari vers l'emissari submarí disposa d'un interceptor que permet derivar fins a 700 m³/h cap el dipòsit de capçalera de la planta de regeneració d'aigua. El volum del dipòsit és de 1.500 m³, per la qual cosa el temps de residència de l'efluent secundari és d'aproximadament uns 130 minuts, a cabal de disseny.
- Coagulació i floculació: L'efluent secundari és bombat des del dipòsit de capçalera cap al tractament físicoquímic, que inicia el procés de regeneració i que consisteix en una coagulació i una floculació. L'addició de reactius (policlorur d'alumini -PAX 18- com a coagulant i polielectròlit aniònic com a floculant) provoca una agregació de les partícules de matèria en suspensió en forma de flocs, que són retirats del sistema en els processos subsegüents del tractament de regeneració. L'elevada qualitat de l'efluent secundari al llarg de tot l'any (MES < 10 mg/l i terbolesa < 5 NTU) fa que habitualment no calgui afegir aquests reactius per a assolir la qualitat desitjada en l'aigua regenerada (MES < 10 mg/l i terbolesa < 2 NTU en percentil 90 en el conjunt anual de dades) (Consorti de la Costa Brava, 2006b). Tot i això, les instal·lacions existents estan dissenyades per a aportar unes dosis de fins a 240 mg/l de coagulant i de fins a 230 mg/l de floculant.
- Decantació lamelar: L'efluent dels reactors de coagulació i floculació arriba als decantadors lamelars, on es produeix la sedimentació dels flocs de mida més gran. Es disposa de dues unitats de decantació lamelar, amb una superfície total de 110,2 m² (55,1 m²/unitat x 2 unitats). A cabal de disseny (700 m³/h), la velocitat ascensional és de 6,4 m/h.
- Filtració: Tot seguit, l'efluent decantat és conduït fins als filtres Hydroclear, que presenten una única matriu filtrant de sorra de quars de gra fi de 25 centímetres de gruix i que són de tipus de llit pulsat. La superfície filtrant és de 82,4 m² (20,6 m²/cel·la x 4 cel·les), la qual cosa dóna, a cabal de disseny, una velocitat de filtració teòrica de 8,5 m/h. Aquests filtres retenen les partícules més petites que no han pogut ser eliminades en la decantació lamelar.
- Desinfecció amb llum ultraviolada: Els mòduls de llum ultraviolada estan ubicats en un canal tancat situat després de la filtració i són els principals elements de desinfecció de la planta de regeneració d'aigua. Existeixen quatre mòduls amb 8 làmpades cadascun, que poden entrar en servei independentment si les necessitats de desinfecció així ho requereixen. A cabal de disseny i per a una transmissibilitat a 254 nm del 70 %, la dosi màxima de llum ultraviolada que pot aportar aquesta instal·lació és de 189 mJ/cm².
- Cloració d'afinament i dipòsit de sortida: Finalment, l'aigua regenerada entra en un dipòsit d'emmagatzematge, a l'entrada del qual es realitza l'addició d'hipoclorit sòdic que complementa l'acció desinfectant dels equips de llum ultraviolada. La configuració interna d'aquest dipòsit, en forma de laberint, fa que la circulació de l'aigua pel seu interior sigui assimilable a la que es produiria en un reactor de flux en pistó. El volum del dipòsit és de 2.500 m³, de manera que, a cabal de disseny, garanteix un temps de contacte de l'aigua amb el clor d'uns 210 minuts.

Resultats de funcionament (gener 2003 – abril 2006)

Des de l'entrada en servei de la planta de regeneració d'aigua de Blanes, i per encàrrec de l'ACA, es va dur a terme un extens i complet seguiment de les característiques físiques, químiques i biològiques de l'aigua regenerada produïda, a fi de documentar quina era la qualitat assolida i obtenir informació útil per a la millora progressiva del procés de regeneració d'aigua. Aquesta informació ha estat recopilada i presentada de manera resumida en un informe publicat el maig de 2006 (Consorci de la Costa Brava, 2006b).



Figures 1 - 3. Imatges del procés de regeneració d'aigua de Blanes i de l'aigua regenerada produïda: a l'esquerra, detall dels filtres; en el centre, equips de desinfecció amb llum ultraviolada; i a la dreta, imatge del punt d'abocament de l'aigua regenerada a la llera del riu Tordera.

Les conclusions d'aquest l'informe van ser les següents:

- La planta de regeneració d'aigua de Blanes és capaç de produir una aigua regenerada que durant la major part del temps compleix amb els objectius de qualitat marcats per l'ACA per a la recàrrega de l'aqüífer del tram baix del riu Tordera. Quan l'aigua regenerada no compleix algun dels criteris principals (per exemple, per concentracions de nitrogen total superiors als 10 mg N/l establerts) és abocada a mar a través de l'emissari submarí existent.
- En el trienni 2003-2005 es van reutilitzar 8,59 hm³ (milions de metres cúbics) per a la recàrrega de l'aqüífer del tram baix del riu Tordera, d'un total de 10,13 hm³ d'aigua regenerada produïda (85% de reutilització), respecte un total de 11,83 hm³ depurats (86% de regeneració). El volum d'aigua reutilitzat per a la recàrrega de l'aqüífer representa un 73% del total d'aigua depurada.
- La desinfecció, realitzada tan sols amb hipoclorit, permet complir durant la major part del temps amb l'exigència de disposar d'una aigua amb concentracions indetectables d'*Escherichia coli* en mostres de 100 ml. Alhora, aquest mateix nivell de desinfecció produeix una inactivació mitjana d'entre 1 i 2 logaritmes d'espores de clostridis sulfit reductors i de colifags somàtics en mostres de 100 ml.
- No s'han detectat ous de nemàtodes paràsits en mostres de 50 litres i tan sols s'ha detectat presència de *Salmonella* en una de les mostres de 100 ml preses durant aquest període.
- No s'ha detectat presència de cap dels serotips analitzats de *Legionella* en cap de les 26 mostres d'1 litre analitzades d'efluent secundari ni en cap de les 26 mostres d'igual volum analitzades d'aigua regenerada.

- No s'han detectat pesticides organoclorats ni organofosforats, ni hidrocarburs aromàtics policíclics en l'aigua regenerada.
- La concentració de trihalometans ha estat per sota del límit normatiu d'aigües potables (100 µg/l) en 18 de les 21 mostres analitzades.
- Del conjunt de dissolvents halogenats analitzats, se n'han detectat simultàniament un màxim de 10, mentre que 15 d'ells mai han estat detectats. Els nivells mesurats són de l'ordre de µg/l.
- Els costos directes de la producció i el seguiment de l'aigua regenerada es situen a l'entorn dels 0,05 €/m³.

La posada en servei dels equips de desinfecció amb llum ultraviolada de la planta de regeneració d'aigua de Blanes es produeix en el context d'una instal·lació que ja està en funcionament. L'objectiu d'aquesta actuació és el d'aconseguir una doble millora de la qualitat de l'aigua, tant des del vessant microbiològic per la millora del procés de desinfecció, com des del vessant químic pel menor risc que hi haurà de formació de trihalometans, en reduir-se la dosificació d'hipoclorit.

Resultats de les proves de rendiment dels equips de llum ultraviolada

El 25 d'octubre de 2005, l'empresa subministradora dels equips de llum ultraviolada, Teqma SL, va realitzar unes proves de rendiment per tal de determinar el grau de desinfecció que assolien els equips instal·lats en diverses condicions d'operació del sistema (cabal, mòduls en funcionament i nivells de potència). Els resultats d'aquestes proves van servir per al disseny experimental del present estudi (Taula 1) (Teqma SL, 2005).

Taula 1. Resultats de les proves inicials de rendiment dels equips de desinfecció amb llum ultraviolada de la planta de regeneració d'aigua de Blanes realitzades per Teqma SL. Anàlisis realitzades als Laboratoris Altimir, Blanes.

Dosi UV mJ/cm ²	Rang de concentracions ufc/100 ml			Rang de reduccions logarítmiques ulog		
	<i>Escherichia coli</i>	Espores clostridis	Bacteriòfags somàtics	<i>Escherichia coli</i>	Espores clostridis	Bacteriòfags somàtics
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 Taula 1 mostra que unes dosis de llum ultraviolada relativament baixes (entre 30 i 60 mJ/cm²) permeten ja assolir unes reduccions pràcticament totals d'*Escherichia coli* i de colifags somàtics. Això permet presuposar que l'equip instal·lat podrà treballar habitualment d'una manera folgada, atesa la potència instal·lada i la qualitat de l'aigua regenerada produïda per la planta de regeneració d'aigua de Blanes. Alhora, aquestes dades apunten la possibilitat que el seu funcionament a la màxima potència pugui ser un dispendi innecessari d'energia, ja que els nivells de desinfecció desitjats s'assoleixen a uns nivells intermedis de funcionament dels equips.

Per tant, i tal com s'ha comentat en l'apartat d'Antecedents, el coneixement d'aquests resultats empírics i la necessitat d'entrada en servei del procés de desinfecció amb llum ultraviolada han portat a plantejar la realització d'aquest estudi, amb la idea de trobar un règim de funcionament que maximitzi l'eficàcia de la desinfecció i que minimitzi els consums d'energia i de reactius.

OBJECTIUS

L'objectiu general d'aquest l'estudi és determinar experimentalment les dosis d'agents desinfectants a aplicar a l'aigua produïda per la planta de regeneració de Blanes a fi d'assolir una desinfecció d'ampli espectre enfront de bacteris, virus i protozous, tot minimitzant els costos d'explotació del sistema de desinfecció i del posterior seguiment de la seva qualitat.

Els objectius concrets de l'estudi són:

- Assajar diferents combinacions d'agents desinfectants i mesurar els seus efectes sobre els diferents grups de bacteris, virus i protozous patògens (*Cryptosporidium* spp.) triats per a l'experiment en condicions controlades.
- Determinar les condicions de treball òptimes del procés de desinfecció de la planta de regeneració d'aigua de Blanes, a fi d'assegurar el compliment dels requeriments de qualitat microbiològica de l'aigua destinada a la recàrrega de l'aqüífer del tram baix del riu Tordera.
- Aportar informació addicional a la ja existent sobre l'acció combinada de dos agents desinfectants com són la llum ultraviolada i l'hipoclorit.

MATERIAL I MÈTODES

Tractament de regeneració

Els assajos de l'acció combinada de la llum ultraviolada i de l'hipoclorit es van dur a terme entre el 8 i el 31 de maig de 2006 en la planta de regeneració d'aigua de Blanes. Durant aquest període el cabal que es va tractar va ser constant, de 600 m³/h, excepte a les 10 h del dia 10 de maig, que va baixar a 200 m³/hora per avaria momentània del bombament d'entrada al tractament de regeneració. Les mostres de les 11:30 h d'aquell mateix dia ja foren preses altra vegada amb un cabal de 600 m³/h.

El tractament aplicat a l'efluent secundari durant l'estudi va consistir en:

1. Decantació lamelar: Atesa l'elevada qualitat de l'efluent secundari, durant el període dels assajos no es va fer cap addició de reactius i aquest va entrar directament als decantadors lamelars. El cabal es va repartir entre les dues unitats, de manera que la velocitat ascencional mitjana va ser de 5,4 m/h.
2. Filtració: L'efluent decantat es va repartir entre les quatre cel·les disponibles, amb una velocitat de filtració mitjana durant aquest temps de 7,3 m/h.
3. Desinfecció: Les condicions de treball van ser variables, en funció del disseny experimental proposat, tota vegada que l'objecte d'aquest estudi era l'avaluació de les diferents possibilitats de combinació dels agents desinfectants disponibles (llum ultraviolada i hipoclorit). El detall de les condicions assajades es descriu més endavant.

Determinació de la qualitat de l'aigua regenerada

Qualitat fisicoquímica

La Taula 2 mostra els diferents paràmetres fisicoquímics analitzats en les mostres recollides al llarg de l'estudi, tant d'efluent secundari com d'aigua regenerada. Les determinacions es van realitzar immediatament després de la recollida de les mostres, per tal d'assegurar la màxima representativitat dels resultats.

Taula 2. Descripció i mètodes d'anàlisi dels paràmetres fisicoquímics determinats en les mostres d'aigua obtingudes a la planta de regeneració d'aigua de Blanes.

Paràmetres fisicoquímics	Mètodes analítics
MES (mg/l)	Standard Methods, 2540-D
Terbolesa (NTU)	Nefelometria
Transmitància a 254 nm (%)	Espectrofotometria
Clor residual total	Kit colorimètric

Qualitat microbiològica

Microorganismes utilitzats en l'estudi

La diferent naturalesa dels agents biocides fa que cadascun d'ells tingui una manera diferent d'actuar, que és a nivell físic en el cas de la llum ultraviolada, i a nivell químic en el cas de la cloració. Aquest estudi ha utilitzat diferents tipus de microorganismes per tal de valorar l'eficàcia dels tractaments aplicats.

Els microorganismes analitzats han estat els següents:

- Bacteris indicadors
 - o *Escherichia coli*
 - o Espores de clostridis sulfit reductors
- Bacteriòfags
 - o Colifags somàtics
- Protozous
 - o *Cryptosporidium*, (ooquistes totals, viables i infectius)
- Enterovirus
 - o Enterovirus infecciosos sobre la línia cel·lular BGM

Tècniques de concentració i enumeració

Bacteris

- *Escherichia coli*: El medi de cultiu selectiu escollit per a cultivar *E. coli* va ser el Chromocult Agar (Merck, Darmstadt, Germany). La tècnica de detecció va ser la de filtració per membrana i la incubació en el medi selectiu a 37°C durant 24 hores. Per fer la lectura només es van tenir en compte les colònies de color blau fosc, corresponents, segons el fabricant, a *E. coli*.
- Espores de clostridis sulfit reductors: L'enumeració es va fer mitjançant la sembra en massa en el medi selectiu SPS.

Bacteriòfags

- Colifags somàtics: Concentració per filtració segons Méndez et al. 2004 i enumeració mitjançant ISO 10705-2 (Anònim, 2000).

Protozous

- *Cryptosporidium* spp.
 - Concentració de les mostres segons el protocol descrit en el Mètode 1623 (US EPA, 1999).
 - Detecció dels ooquistes mitjançant citometria de fase sòlida segons Montemayor et al. (2005).
 - Estudis de viabilitat segons la tècnica de inclusió-exclusió de colorants vitals descrita per Campbell et al. (1992).
 - Estudis de infectivitat d'ooquistes de *Cryptosporidium* sobre cèl·lules competents HCT-8 i detecció per tècniques immunològiques indirectes (Slifko et al., 1997).

Enterovirus

- Per a la quantificació d'enterovirus en les mostres dels efluent secundaris
 - Descontaminació de les mostres mitjançant filtres tipus GP 0,22 µm (Mocé-Llivina, 2003).
 - Quantificació dels enterovirus presents als concentrats sobre la línia cel.lular BGM. Mètode de titulació de la doble capa (Mocé-Llivina, 2004).
- Per a la quantificació d'enterovirus en les mostres dels efluent terciaris
 - Concentració dels enterovirus presents en les mostres en filtres electropositius Zeta Plus i elució dels enterovirus adsorbits al filtre seguint el protocol descrit per US EPA (1996).
 - Aplicació del mètode de concentració secundària de floculació orgànica (Katzenelson, 1976).
 - Descontaminació dels concentrats obtinguts en el procés de concentració secundària mitjançant filtres tipus GP 0,22 µm (Mocé-Llivina, 2003).
 - Quantificació dels enterovirus presents als concentrats sobre la línia cel.lular BGM. Mètode de titulació de la doble capa (Mocé-Llivina, 2004).

Nomenclatura

- EC: *Escherichia coli*, ufc/100ml
- CSR: espores de clostridis sulfit reductors, ufc/100ml
- SOM: colifags somàtics, ufp/100ml
- CRYOT: ooquistes totals de *Cryptosporidium* spp/litre
- CRYOV: ooquistes viables de *Cryptosporidium* spp/litre
- CRYOI: ooquistes infecciosos de *Cryptosporidium* spp/litre
- ENT: enterovirus, ufp/litre
- FIL: efluent secundari filtrat
- 1UV: aigua filtrada desinfectada amb un mòdul de llum ultraviolada
- 2UV: aigua filtrada desinfectada amb dos mòduls de llum ultraviolada
- 1CL: aigua filtrada desinfectada amb addició d'1 mg Cl₂/l
- 2CL: aigua filtrada desinfectada amb addició de 2 mg Cl₂/l
- 0,6CL: aigua filtrada desinfectada amb una dosi d'hipoclorit a l'entorn dels 3 mg Cl₂/l i que ha produït un clor residual total constant de 0,6 mg Cl₂/l
- UVCL: aigua filtrada desinfectada amb un tractament combinat de llum ultraviolada i d'addició d'hipoclorit

Exemples:

- FILSOM: Valors de colifags somàtics, en ufp/100ml, en l'efluent secundari filtrat.
- 1UV2CLSOM: Valors de colifags somàtics, en ufp/100ml, en l'aigua filtrada i desinfectada amb un mòdul de llum ultraviolada i una dosi d'hipoclorit de 2 mg Cl₂/l.
- 0,6CLSOM: Valors de colifags somàtics, en ufp/100ml, en l'aigua filtrada i desinfectada amb una dosi d'hipoclorit per a assolir un clor residual total constant de 0,6 mg Cl₂/l.

Presa de mostres

Les mostres van ser recollides en ampolles estèrils i preservades en fred fins a la seva anàlisi al laboratori de la UB. Les anàlisis d'*Escherichia coli*, d'espores de clostridis sulfit reductors i de colifags somàtics es van realitzar durant les 12 h posteriors a la seva recollida, segons la metodologia descrita anteriorment.

Les mostres de *Cryptosporidium* van ser concentrades *in situ* mitjançant la filtració en càpsules Envirocheck (US EPA,1999), a raó de 2 litres/minut. Per a les mostres de l'aigua filtrada es van analitzar volums de 20 litres, mentre que per a les mostres d'aigua regenerada desinfectada, ja fós amb llum ultraviolada o amb clor, es van analitzar volums de 50 a 80 litres, en funció de la seva qualitat.

Les mostres d'enterovirus van ser concentrades *in situ* mitjançant la tècnica de filtració en filtres electropositius MK (Cuno, Meriden), a raó de 1,4 litres/minut. El volum filtrat va ser de 100 litres per a totes i cadascuna de les mostres, tant les d'aigua filtrada com les d'aigua regenerada desinfectada, ja fos amb llum ultraviolada o amb clor.

Disseny experimental

Condicionants de l'estudi

Atesa la gran varietat de condicions possibles, i atesos tant els resultats de les proves de rendiment com els de l'explotació rutinària realitzada fins el moment, el disseny experimental es va elaborar triant aquelles condicions que previsiblement eren les més susceptibles de ser aplicades en l'explotació rutinària posterior.

Combinacions de desinfectants assajades

Les combinacions assajades i de les quals se n'ha pres mostra són:

- Aigua filtrada (condicions prèvies a la desinfecció).
- 1 mòdul UV + addició d'1 mg Cl_2/l d'hipoclorit.
- 1 mòdul UV + addició de 2 mg Cl_2/l d'hipoclorit.
- 2 mòduls UV + addició d'1 mg Cl_2/l d'hipoclorit.
- Addició d'hipoclorit en dosis a l'entorn de 3 mg Cl_2/l per a assolir un clor residual total de 0,6 mg Cl_2/l . Aquesta dosificació s'ha autoregulat a través d'una sonda de mesura en continu del clor residual total i és la dosi emprada fins el moment per a la desinfecció de l'aigua regenerada.

En base als resultats presentats en la Taula 1, corresponents a les proves de rendiment del procés de desinfecció, s'ha descartat fer assajos amb tres i quatre mòduls de llum ultraviolada en funcionament, ja que són condicions de treball que actualment resulten innecessàries.

L'Annex I recull el detall de les condicions de treball del tractament de regeneració d'aigua durant el període d'experimentació, així com els paràmetres de qualitat de cadascuna de les mostres preses.

Microorganismes analitzats

- *Escherichia coli*.
- Espores de clostridis sulfit reductors.
- Colifags somàtics.
- Enterovirus.
- *Cryptosporidium* spp.: ooquistes totals, viables i infectius.

Recollida de mostres i freqüència de mostreig

L'estructura de l'experiment fou la d'assajar, en cadascuna de les setmanes, un dels tractaments triats, fins a un total de quatre setmanes. El criteri operatiu va ser el de recollir un número suficient de mostres en cadascuna d'elles com per a poder obtenir uns resultats amb significació estadística.

Les condicions operatives concretes a assajar es van implantar els dijous de la setmana precedent i el procés de mostreig es va realitzar durant tres dies consecutius de la setmana en qüestió, en concret els dilluns, dimarts i dimecres. L'única excepció va produir-se en la tercera setmana, en què el tercer mostreig es va fer en dijous, mentre que les noves condicions es van implantar el mateix dia, un cop recollida la mostra. Aquest procediment va ser triat per tal d'assegurar l'estabilització del procés, de manera que els resultats obtinguts fossin veritablement representatius de les condicions escollides. Alhora, es van anar alternant els mòduls de llum ultraviolada que es posaven en funcionament, de manera que les hores de funcionament de les làmpades quedessin repartides i el rendiment fos el més semblant possible entre elles.

En cadascun dels dies de mostreig es va recollir una mostra d'aigua filtrada, representativa de les condicions de partida, i tres de l'aigua regenerada obtinguda a partir del tractament assajat. Tal com es pot observar en l'Annex I, es van generar un total de 21 mostres per a cada tipus d'assaig, excepte en el de la desinfecció amb hipoclorit, en què es van generar 18 mostres. Per la complexitat de les anàlisis d'enterovirus i de *Cryptosporidium* es van prendre tan sols un total de 12 mostres.

Logística

1^a setmana

Condicions de treball: 1 mòdul UV + 1 mg Cl₂/l (inici condicions: dijous de la setmana anterior). Mostres a les 10:00 h, 11:30 h i 13:00 h.

Dilluns, dimarts i dimecres

10:00 h – Recollida de mostres d'aigua filtrada (fil), després UV (a1UV) i aigua final (UV + clor, a1UV1CL).

11:30 h – Recollida de mostres després UV (b1UV) i aigua final (UV + clor, b1UV1CL).

13:00 h – Recollida de mostres després UV (c1UV) i aigua final (UV + clor, c1UV1CL)

2^a setmana

Condicions de treball: 1 mòdul UV + 2 mg Cl₂/l (inici condicions: dijous de la setmana anterior). Mostres a les 10:00 h, 11:30 h i 13:00 h.

Dilluns, dimarts i dimecres

10:00 h – Recollida de mostres d'aigua filtrada (fil), després UV (a1UV) i aigua final (UV + clor, a1UV2CL).

11:30 h – Recollida de mostres després UV (b1UV) i aigua final (UV + clor, b1UV2CL).

13:00 h – Recollida de mostres després UV (c1UV) i aigua final (UV + clor, c1UV2CL).

3^a setmana

Condicions de treball: 2 mòduls UV + 1 mg Cl₂/l (inici condicions: dijous de la setmana anterior). Mostres a les 10:00 h, 11:30 h i 13:00 h.

Dilluns, dimarts i dijous

10:00 h – Recollida de mostres d'aigua filtrada (fil), després UV (a2UV) i aigua final (UV+clor, a2UV1CL).

11:30 h – Recollida de mostres després UV (b2UV) i aigua final (UV + clor, b2UV1CL).

13:00 h – Recollida de mostres després UV (c2UV) i aigua final (UV + clor, c2UV1CL).

4^a setmana

Condicions de treball: Addició de 3 mg Cl₂/l per assolir 0,6 mg Cl₂/l residual total, controlat amb sonda en continu i amb llaç d'autocontrol (inici condicions: dijous de la setmana anterior). Mostres a les 10:00 h, 11:30 h i 13:00 h.

Dilluns, dimarts i dimecres

10:00 h – Recollida de mostres d'aigua filtrada (fil) i aigua final (clorada, a0,6CL).

11:30 h – Recollida de mostres d'aigua final (clorada, b0,6CL).

13:00 h – Recollida de mostres d'aigua final (clorada, c0,6CL).

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Anàlisis físicoquímiques

L'exigència de qualitat físicoquímica en l'aigua produïda per la planta de regeneració de Blanes és molt elevada i els seus marges de tolerància relativament estrets, tota vegada que és utilitzada per a la recàrrega de l'aquífer del tram baix del riu Tordera.

Taula 3. Resum de la qualitat físicoquímica de l'aigua regenerada en les diferents etapes de la planta de regeneració d'aigua de Blanes durant el període d'estudi. Els resultats corresponen a la mitjana i a la desviació típica de cada paràmetre i de cada tipus d'aigua.

Paràmetres	Tipus d'aigua			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Període	8-10 maig 2006 / 1 mòdul UV + 1 mg Cl ₂ /l			
Número de mostres	3	9	9	-
MES, mg/l	2,5 ± 0,6	1,5 ± 0,9	2,8 ± 3,7	-
Terbolesa, NTU	2,0 ± 1,1	2,2 ± 1,9	1,8 ± 0,6	-
Transmitància a 254 nm, %	71 ± 1	72 ± 2	68 ± 8	-
Dosi UV, mJ/cm ² (a)	-	49 ± 26	49 ± 26	-
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	-	-	0,2 ± 0,1	-
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	-	-	42 ± 18	-
Període	15-17 maig 2006 / 1 mòdul UV + 2 mg Cl ₂ /l			
Número de mostres	3	9	9	-
MES, mg/l	1,7 ± 0,3	2,6 ± 1,4	2,7 ± 1,5	-
Terbolesa, NTU	1,3 ± 0,4	1,4 ± 0,4	2,0 ± 1,7	-
Transmitància a 254 nm, %	71 ± 1	71 ± 1	70 ± 3	-
Dosi UV, mJ/cm ²	-	39 ± 1	39 ± 1	-
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	-	-	0,4 ± 0,1	-
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	-	-	100 ± 25	-
Període	22-24 maig 2006 / 2 mòduls UV + 1 mg Cl ₂ /l			
Número de mostres	3	9	9	-
MES, mg/l	2,2 ± 0,7	1,4 ± 0,9	2,5 ± 1,8	-
Terbolesa, NTU	1,4 ± 0,1	2,0 ± 1,1	2,8 ± 1,2	-
Transmitància a 254 nm, %	71 ± 1	70 ± 1	69 ± 3	-
Dosi UV, mJ/cm ²	-	78 ± 1	78 ± 1	-
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	-	-	0,3 ± 0,1	-
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	-	-	67 ± 13	-
Període	29-31 maig 2006 / aprox. 3 mg Cl ₂ /l (0,6 mg Cl ₂ /l residual)			
Número de mostres	9	-	-	9
MES, mg/l	1,9 ± 0,5	-	-	2,2 ± 0,5
Terbolesa, NTU	2,0 ± 0,4	-	-	1,9 ± 0,7
Transmitància a 254 nm, %	71 ± 3	-	-	72 ± 3
Dosi UV, mJ/cm ²	-	-	-	-
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	-	-	-	0,6 ± 0,2
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	-	-	-	153 ± 42

(a) Les dosis de llum ultraviolada d'aquesta setmana presenten una major variabilitat pel menor cabal d'aigua regenerada produïda en el moment de la recollida d'una de les mostres.

Tal com es pot comprovar en la Taula 3, aquesta qualitat va ser especialment destacable i sostinguda al llarg de les 4 setmanes de durada del seguiment, amb unes mitjanes de MES que van oscil·lar entre de 1,4 i 2,8 mg/l. Alhora, les mitjanes de torbesa van oscil·lar entre 1,3 i 2,8 NTU i les de transmissibilitat entre el 68 i el 72 %. Cal constatar, però, que es sol detectar gairebé sempre una més gran variabilitat en les dades de les mostres recollides a la sortida del dipòsit d'aigua regenerada ("UV+Clor" en les tres primeres setmanes i "Clor" en la darrera) que no pas en les mostres dels indrets on no hi ha emmagatzematge d'aigua ("Aigua filtrada" i "UV"). Una hipòtesi que podria explicar aquests lleugers increments seria la influència dels sòlids que, tot i les neteges periòdiques, van sedimentant en el fons del dipòsit i que poden retornar a l'aigua regenerada una certa quantitat de MES o de torbesa.

La Taula 4 presenta les dades recollides en el mes de maig dels altres paràmetres físicoquímics definitoris de la qualitat de l'aigua produïda, com són el pH, la conductivitat elèctrica (CE) i les diferents espècies químiques de nitrogen i fòsfor, i tots ells destaquen per presentar una gran estabilitat. L'anàlisi comparativa dels valors de la mediana (percentil 50) i del percentil 90 mostra que tan sols hi ha diferències de 0,1 unitats de pH, de 0,07 dS/m de CE, de 2,8 mg N/l de nitrogen total i de 0,4 mg P/l de fòsfor total. És important remarcar que el percentil 90 de la concentració de nitrogen total és de 9,2 mg N/l, amb una clara predominància del nitrat com a espècie química dominant (7,2 mg N/l), i que el de la concentració de fòsfor total és de 2,4 mg P/l. Aquests valors són tots ells molt baixos per a una aigua regenerada, segons els estàndards actuals de Catalunya.

Taula 4. Resum estadístic de diversos paràmetres físicoquímics mesurats en l'aigua produïda per la planta de regeneració d'aigua de Blanes durant el mes de maig de 2006.

Paràmetre	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	Fòsfor total mg P/l
Número mostres	29	25	16	16	16	16	16	16
Mínim	7,5	1,18	0,2	0,2	0,1	0,5	2,6	0,8
Mitjana	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
Màxim	7,8	1,47	4,0	3,9	0,4	7,9	11,1	2,6

Anàlisis microbiològiques

A cada paràmetre estudiat i a les aigües resultants dels diferents tractaments aplicats se'ls ha assignat un acrònim amb la finalitat de facilitar la comprensió de les taules i les figures. Per a la major part de microorganismes es disposa d'un número significatiu de mostres en base a les quals calcular paràmetres estadístics i treure'n conclusions d'una certa solidesa (12 mostres per a documentar la qualitat de l'efluent secundari, més estable, i entre 9 i 18, per a documentar les variacions introduïdes pels diferents agents desinfectants); per contra, per a l'anàlisi dels diferents estadis dels ooquistes de *Cryptosporidium* spp. i dels enterovirus tan sols s'han pogut processar 4 mostres corresponents a l'efluent secundari i 7 per a valorar l'efecte dels tractaments de desinfecció (Taula 5). Aquest fet comporta que les valoracions que es puguin fer sobre la incidència dels agents desinfectants sobre les concentracions d'ooquistes de *Cryptosporidium* spp. i de les concentracions d'enterovirus tinguin una significació més limitada que la dels altres paràmetres.

Les diferències en les concentracions dels diversos microorganismes estudiats han fet necessari comentar per separat els resultats obtinguts en el cas d'aquells que s'han trobat en concentracions més elevades (*Escherichia coli*, espores de clostridis sulfit reductors i colifags somàtics), i que per tant permeten avaluar millor l'efecte dels agents desinfectants, d'aquells que presenten unes concentracions més baixes (ooquistes de *Cryptosporidium* spp. i enterovirus).

Escherichia coli, espores de clostridis sulfit reductors i colifags somàtics

Els resultats corresponents a les concentracions d'*Escherichia coli*, d'espores de clostridis sulfit reductors i de colifags somàtics s'han expressat en el seu valor logarítmic. La Taula 5 resumeix els resultats obtinguts al llarg de l'experiment per a cada tipus d'aigua, mentre que la Taula 6 presenta els paràmetres de l'estadística descriptiva per a cada tipus de microorganisme, considerant la totalitat dels resultats obtinguts. Els resultats individuals de les anàlisis realitzades es troben recollits en l'Annex II.

Taula 5. Valors estadístics descriptius (mínim, màxim, desviació típica i mitjana, en unitats logarítmiques) dels paràmetres estudiats segons el tipus d'aigua en el conjunt de mostres preses entre els dies 8 i 31 de maig de 2006 a la planta de regeneració d'aigua de Blanes.

Mostra	N	Mínim	Màxim	Mitjana	Desviació 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

Les concentracions microbianes corresponents a les condicions prèvies a la desinfecció són una mica inferiors a les habituals en una EDAR de fangs activats convencional, ja que en aquest cas no es tracta d'una aigua agafada directament del decantador, sinó sotmesa a un procés de filtració addicional. Les mitjanes geomètriques obtingudes en aquest estudi s'apropen a les 4 ulog en el cas d'*Escherichia coli*, a les 3 ulog per a les espores de clostridis sulfit reductors i a les 4 ulog per als colifags somàtics (Figura 4a). Igual que succeïa en el cas de les anàlisis físicoquímiques, els baixos valors de les desviacions típiques indiquen una notable estabilitat de les concentracions d'aquests microorganismes durant el període d'estudi.

La Taula 7, les Figures 4a-4f i la Figura 5 presenten les reduccions logarítmiques assolides pels tractaments assajats davant dels diferents microorganismes, mentre que l'Annex III recull les gràfiques de probabilitat d'aquestes mateixes dades. Els resultats dels diferents paràmetres mesurats s'ajusten adequadament a una distribució normal i per tant els

pendents relatius mostren clarament el diferent comportament dels microorganismes davant dels tractaments aplicats. Aquestes representacions gràfiques són una manera diferent de presentar els mateixos resultats que es comenten a continuació.

Taula 6. Estadístics descriptius (mitjana, desviació típica, variància, mínim, màxim i percentils 25, 50, 75, 90 i 95, en unitats logarítmiques) dels paràmetres estudiats considerant totes les mostres de tots els tractaments avaluats.

Paràmetres	Tipus de microorganisme, ulog		
	<i>Escherichia coli</i>	Espores de clostridis sulfit reductors	Colifags somàtics
Mostres vàlides	63	63	63
Mostres perdudes	0	0	0
Mitjana	0,52	2,39	0,75
Desviació típica	0,76	0,49	0,94
Variàcia	0,58	0,24	0,88
Mínim	0,00	1,48	- 0,40
Màxim	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

Taula 7. Inactivacions mitjanes, en ulog, de les concentracions d'*Escherichia coli*, d'espores de clostridis sulfit reductors i de colifags somàtics segons els tractaments avaluats en aquest estudi.

Tractament	Microorganisme	Inactivacions mitjanes, ulog
Desinfecció amb 1 mòdul UV	EC	≥ 2,78
	CSR	0,74
	SOM	≥ 3,37
Desinfecció amb 2 mòduls UV	EC	≥ 3,08
	CSR	1,49
	SOM	3,41
Combinació 1 mòdul UV + 1 mg Cl ₂ /l d'hipoclorit	EC	≥ 3,18
	CSR	0,71
	SOM	≥ 3,94
Combinació 1 mòdul UV + 2 mg Cl ₂ /l d'hipoclorit	EC	≥ 3,18
	CSR	0,86
	SOM	≥ 4,44
Combinació 2 mòduls UV + 1 mg Cl ₂ /l d'hipoclorit	EC	≥ 3,18
	CSR	1,41
	SOM	≥ 4,04
Desinfecció amb 3 mg Cl ₂ /l d'hipoclorit (0,6 mg Cl ₂ /l de clor residual total)	EC	≥ 3,08
	CSR	0,35
	SOM	2,02

Els tractaments emprats inactiven quasi totalment les concentracions d'*Escherichia coli* presents en l'aigua filtrada, amb reduccions logarítmiques que s'han situat a l'entorn de les 3 ulog. L'estabilitat d'aquestes inactivacions és fruit tant de les concentracions d'entrada (de poc més de 4 ulog) com de les de l'aigua regenerada, en les que l'absència ha estat representada pel valor <10 ufc/100 ml (Figura 4b). No s'han aïllat colònies d'*Escherichia coli*

en cap de les mostres d'aigua recollides en el tractament consistent en un mòdul de llum ultraviolada i l'addició de 2 mg Cl_2/l , ni en el consistent en dos mòduls de llum ultraviolada i l'addició d'1 mg Cl_2/l . Aquests resultats indiquen que l'aigua regenerada produïda en aquestes condicions pot ser emprada per a qualsevol dels usos previstos tant en les directrius de l'Agència Catalana de l'Aigua com en la normativa que es preveu que entri en vigor properament a Espanya sobre reutilització d'aigües. Alhora, tots els tractaments assajats en aquest estudi produeixen una aigua regenerada amb concentracions d'*Escherichia coli* inferiors a 200 ufc/100ml, límit establert en les propostes de normativa per al reg sense restriccions, tant si és agrícola com de jardineria o de camps de golf.

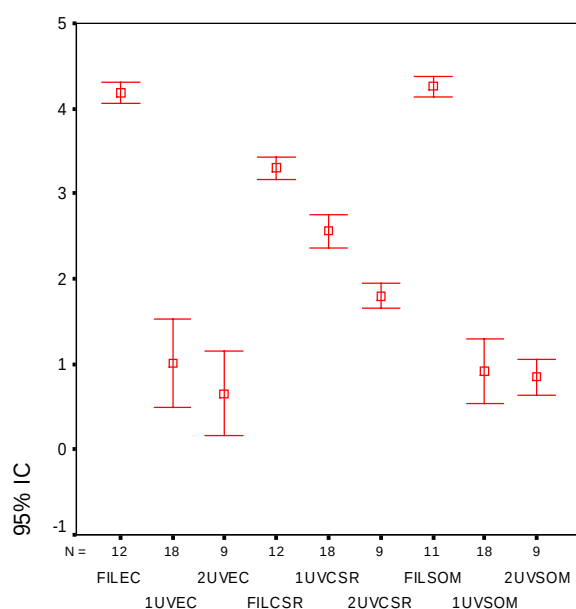


Figura 4a . Valors mitjans i intervals de confiança del 95% de les concentracions d'*Escherichia coli*, d'espores de clostridis sulfit reductors i de colifags somàtics (ufc i ufp per 100ml, en unitats logarítmiques) analitzats en els diferents tipus d'aigües (aigua filtrada, i aigua tractada amb un i amb dos mòduls de desinfecció amb llum ultraviolada).

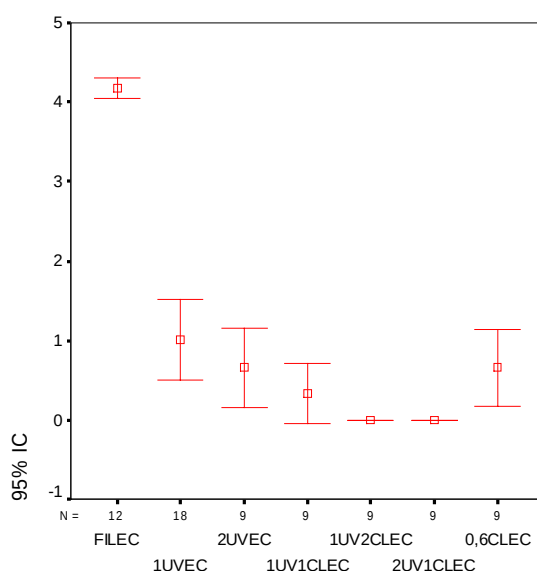


Figura 4b. Valors mitjans i intervals de confiança del 95% de les concentracions d'*Escherichia coli* (ufc per 100 ml, en unitats logarítmiques) analitzats en els diferents tipus d'aigües (aigua filtrada, aigua desinfectada amb llum ultraviolada, aigua desinfectada amb hipoclorit, i aigua desinfectada segons diferents combinacions).

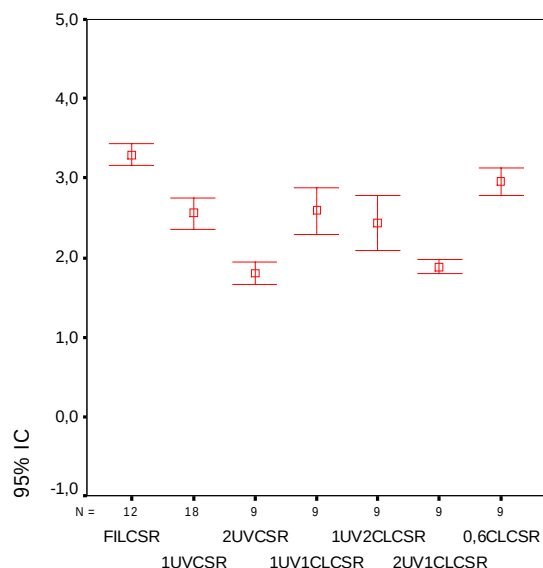


Figura 4c. Valors mitjans i intervals de confiança del 95% de les concentracions d'espores de clostridis sulfít reductors (ufc per 100 ml, en unitats logarítmiques) analitzats en els diferents tipus d'aigües (aigua filtrada, aigua desinfectada amb llum ultraviolada, aigua desinfectada amb hipoclorit i aigua desinfectada segons diferents combinacions).

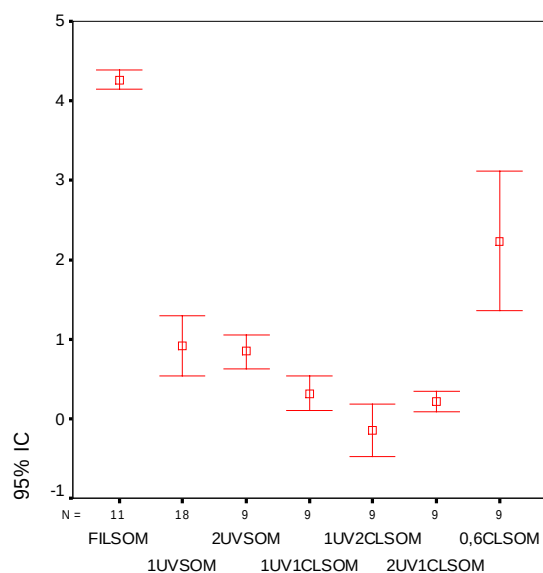


Figura 4d. Valors mitjans i intervals de confiança del 95% de les concentracions de colifags somàtics (ufc per 100 ml, en unitats logarítmiques) analitzats en els diferents tipus d'aigües (aigua filtrada, aigua desinfectada amb llum ultraviolada, aigua desinfectada amb hipoclorit, i aigua desinfectada segons diferents combinacions).

La Figura 4c mostra que les espores de clostridis sulfít reductors, en canvi, presenten una elevada resistència davant els diferents tractaments de desinfecció. La mínima reducció ha estat l'aconseguida amb la utilització del clor en solitari (0,35 ulog), mentre que la màxima s'ha produït quan la desinfecció s'ha fet amb dos mòduls de llum ultraviolada (entre 1,4 i 1,5 ulog), amb independència de la utilització posterior d'hipoclorit. Els tractaments amb un únic mòdul de llum ultraviolada han assolit una reducció logarítmica que s'ha situat en un terme mig, entre 0,7 i 0,9 ulog.

La Figura 4d mostra que els colifags somàtics són els que manifesten més clarament l'efecte favorable de la combinació de desinfectants. Mentre que la reducció mínima torna a ser l'assolida amb el clor emprat en solitari (2,0 ulog), la utilització de la llum ultraviolada arriba fins a una eliminació a l'entorn de 3,4 ulog, amb unes variacions pràcticament inapreciables quan s'utilitzen un o dos mòduls. La combinació dels dos agents desinfectants produeix una reducció mínima de 3,9 ulog (en el cas d'un mòdul de llum ultraviolada i d'una aportació d'1 mg Cl_2/l) i una reducció màxima superior a 4,4 ulog (en el cas d'un mòdul de llum ultraviolada i d'una aportació de 2 mg Cl_2/l). La utilització de dos mòduls de llum ultraviolada i l'addició d'1 mg Cl_2/l ha assolit una reducció superior a 4,0 ulog, que es situa entre les dues anteriors.

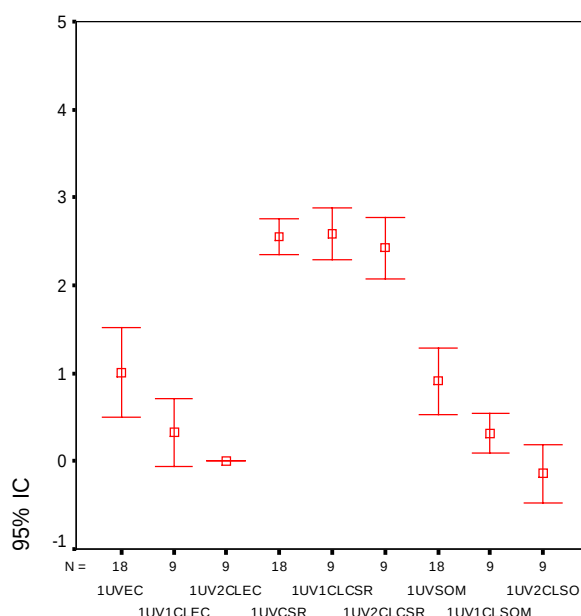


Figura 4e. Valors mitjans i intervals de confiança del 95% de les concentracions d'*Escherichia coli*, d'espores de clostridis sulfít reductors i de colifags somàtics (ufc i ufp per 100 ml, en unitats logarítmiques) analitzats en els diferents tipus d'aigües (aigua tractada amb un mòdul de desinfecció amb llum ultraviolada, un mòdul i l'addició d'1 mg Cl_2/l d'hipoclorit, i un mòdul i l'addició de 2 mg Cl_2/l d'hipoclorit).

Des del punt de vista estrictament microbiològic, i ateses tant les reduccions logarítmiques individuals per a cadascun dels microorganismes com les inactivacions globals, la combinació d'agents desinfectants més adient és la formada per 2 mòduls de llum ultraviolada (dosi propera a 80 mJ/cm^2) i l'addició de 1 mg Cl_2/l en forma d'hipoclorit. Aquesta conclusió es fonamenta en la inactivació total aconseguida per a *Escherichia coli*, en la major reducció que provoca en les concentracions de les espores de clostridis sulfít reductors respecte als altres tractaments, i en l'elevada reducció assolida en les concentracions de colifags somàtics.

La Taula 8 mostra que els agents desinfectants introdueixen modificacions significatives en les abundàncies relatives dels diferents microorganismes respecte a les proporcions típiques que presenten els efluent secundaris abans del procés de desinfecció. Aquest efecte ja va ser constatat en anteriors estudis de desinfecció d'aigües regenerades (Consorti de la Costa Brava, 2006a). Mentre que la major abundància en l'efluent secundari filtrat correspon als colifags somàtics, seguits d'*Escherichia coli* i de les espores de clostridis sulfít reductors, aquests darrers passen a ser els més abundants en tots els tractaments valorats, pel fet de ser els que major resistència presenten a la desinfecció. Els segons més abundants són els colifags somàtics que, tot i trobar-se en concentracions molt baixes, són detectats amb

major freqüència que *Escherichia coli*. Finalment, *Escherichia coli* és absent en el 62% de les mostres analitzades del conjunt de tractaments de desinfecció assajats en aquest estudi.

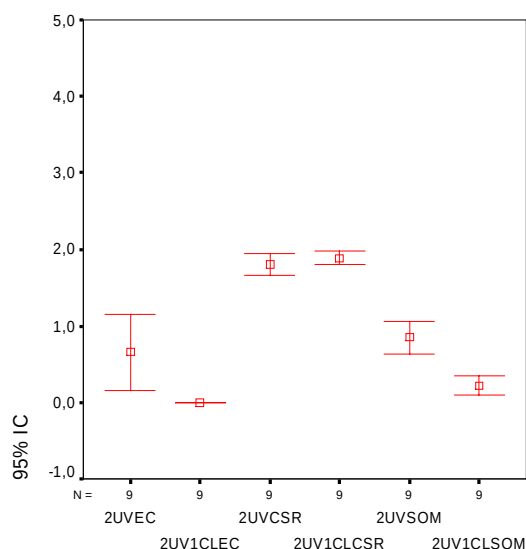


Figura 4f. Valors mitjans i intervals de confiança del 95% de les concentracions d'*Escherichia coli*, d'espores de clostridis sulfít reductors i de colifags somàtics (ufc i ufp per 100 ml, en unitats logarítmiques) analitzats en els diferents tipus d'aigües (aigua tractada amb dos mòduls de desinfecció amb llum ultraviolada, i amb dos mòduls de desinfecció amb llum ultraviolada i l'addició d'1 mg Cl₂/l d'hipoclorit).

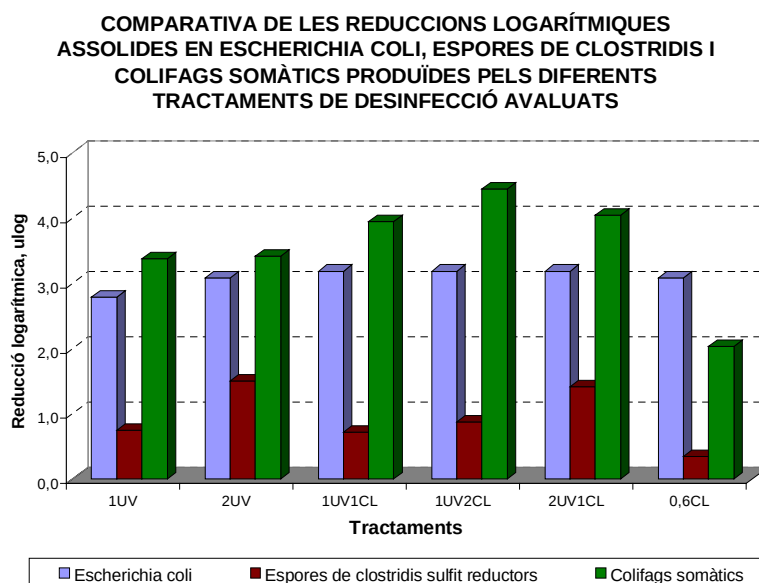


Figura 5. Reduccions logarítmiques assolides en *Escherichia coli*, espores de clostridis sulfít reductors i colifags somàtics segons els tractaments de desinfecció valorats en l'estudi.

Taula 8. Abundàncies relatives d'*Escherichia coli*, de les espores de clostridis sulfít reductors i dels colifags somàtics després dels diferents processos de desinfecció assajats en la planta de regeneració d'aigua de Blanes.

Tipus de tractament	Concentracions relatives, de major a menor
Efluent secundari filtrat (abans tractaments)	SOM > EC > CSR
Desinfecció amb 1 mòdul UV	CSR > EC > SOM (a)
Desinfecció amb 2 mòduls UV	CSR > SOM > EC (b)
Combinació de 1 mòdul UV + 1 mg Cl ₂ /l d'hipoclorit	CSR > SOM > EC (b)
Combinació de 1 mòdul UV + 2 mg Cl ₂ /l d'hipoclorit	CSR > SOM > EC (b)
Combinació de 2 mòduls UV + 1 mg Cl ₂ /l d'hipoclorit	CSR > SOM > EC (b)
Desinfecció amb 3 mg Cl ₂ /l (0,6 mg Cl ₂ /l de clor residual total)	CSR > SOM > EC (b)

Notes:

- (a) *Escherichia coli* esdevé més abundant en termes mitjans que els colifags somàtics a causa d'un únic valor elevat i clarament diferent de la resta de valors. Si es considerés que és un valor erroni, les abundàncies resultants d'ambdós microorganismes serien semblants a les de la resta de tractaments.
- (b) Les concentracions d'*Escherichia coli* per sota de 10 ufc/100 ml en la majoria de mostres fan presuposar una eliminació total d'aquest microorganisme, d'aquí que s'estableixi que els colifags somàtics siguin més abundants, ja que quan apareixen ho fan amb uns recomptes més elevats.

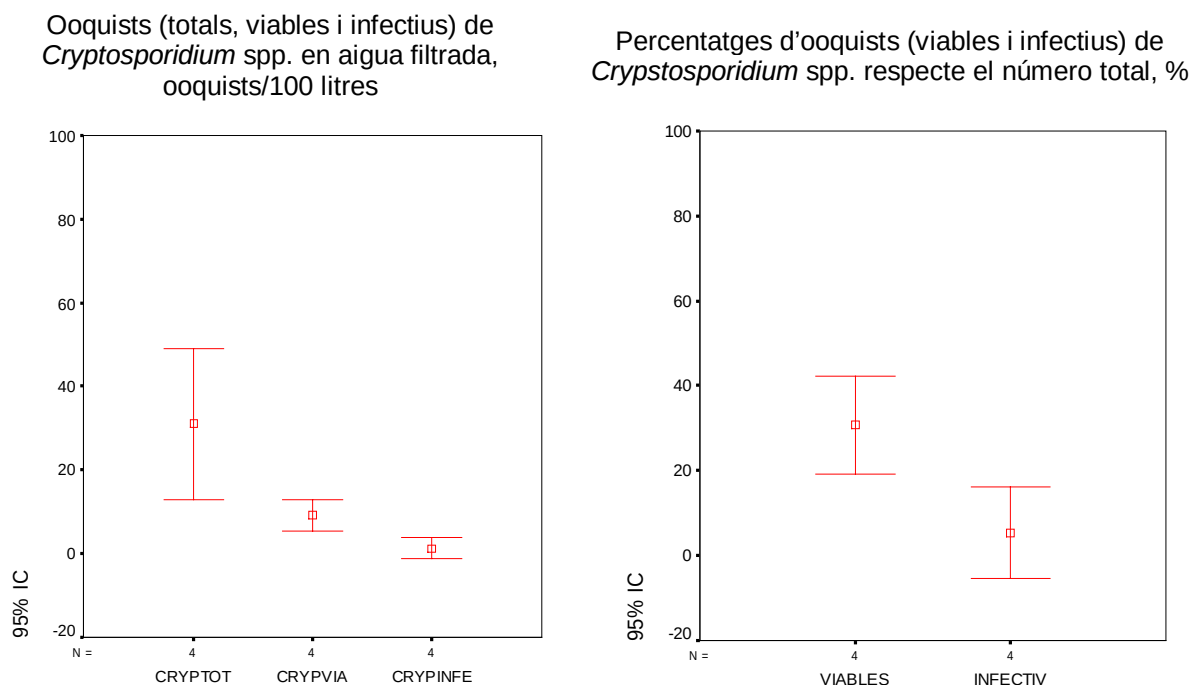
Cryptosporidium i enterovirus

Els resultats de les anàlisis d'ooquistes de *Cryptosporidium* spp. i d'enterovirus es presenten en les Taules 9a (conjunt de dades) i 9b (resum). Aquests resultats mostren una gran similitud amb les dades generades pel mateix equip de treball en l'estudi "Efecte de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro en la qualitat ecològica, química i microbiològica del riu Ridaura" (Consorci de la Costa Brava, 2006c). No obstant això, les concentracions de partida en el present estudi són inferiors a les de l'estudi esmentat, pel fet que s'ha analitzat un efluent secundari d'una planta d'aïreig prolongat sotmès a un procés posterior de filtració, mentre que en el cas de Castell-Platja d'Aro les anàlisis corresponien a un efluent secundari d'una planta de fangs activats convencional i no filtrat.

Taula 9a. Resultats de les anàlisis de *Cryptosporidium* spp. i d'enterovirus realitzades als diferents tipus d'aigües i de tractaments assajats en el present estudi.

Data de mostreig	Tipus d'aigua	<i>Cryptosporidium</i> spp., ooquistes/ 100 litres					Enterovirus ufp/100 litres
		Totals	Viables	Infectius	Viables %	Infectius %	
10/05/2006	Filtrada	30	10	2,5	33	8	2
	A1UV	50	20	<1	40	0	<1
	A1UV1CL	20	10	<1	50	0	<1
15/05/2006	Filtrada	47	12	<1	25	0	3
	A1UV	<1	<1	<1	0	0	<1
	A1UV2CL	8,8	<1	<1	0	0	<1
22/05/2006	Filtrada	27,4	6,8	<1	25	0	1
	A2UV	23,7	5,9	<1	25	0	<1
	A2UV1CL	6	<1	<1	0	0	<1
29/05/2006	Filtrada	20	8	2,9	40	14	5
	A0,6CL	5	1,7	1,4	33	28	<1

Les concentracions d'ooquistes totals de *Cryptosporidium* spp. han oscil·lat entre 0 i 50 unitats en mostres de 100 litres d'aigua, mentre que les dels ooquistes viables han oscil·lat entre 0 i 20 unitats en mostres de 100 litres d'aigua. L'avaluació de les formes infectives ha donat valors encara inferiors, que han oscil·lat entre 0 i 2,9 unitats en 100 litres. Aquests resultats mostren clarament que els ooquistes infectius són un percentatge petitíssim (entre el 0 i el 14 %) del total d'ooquistes detectats, fins i tot en l'aigua filtrada, prèvia als processos de desinfecció (Taula 9a).



Figures 6a i 6b. Valors mitjans i intervals de confiança del 95% de les concentracions d'ooquistes (totals, viables i infectius) de *Cryptosporidium* spp. (esquerra) i percentatges d'ooquistes viables i infectius (dreta) en l'aigua filtrada de la planta de regeneració d'aigua de Blanes.

Taula 9b. Resum dels resultats obtinguts en les anàlisis de *Cryptosporidium* spp. i d'enterovirus obtingudes en el present estudi. Les dades corresponents a l'aigua filtrada i al tractament 1UV són les mitjanes geomètriques dels valors presentats en la Taula 9a.

Tipus d'aigua i/o tractament	Ooquistes totals		Ooquistes viables		Ooquistes infectius		Enterovirus ufp/100 litres
	en 100 l	%	en 100 l	%	en 100 l	%	
Aigua 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

Analitzant el resum de dades dels diferents tractaments (Taula 9b) i prenent l'exemple de l'aigua filtrada, cal observar com la concentració mitjana (geomètrica) d'ooquistes totals, que té un valor inicial de 29,6 ooquistes/100 litres, es redueix fins a una concentració d'ooquistes viables de 9,0 ooquistes/100 litres, i fins a una concentració d'ooquistes infectius

d'1,6 ooquistes/100 litres (Figures 6a i 6b). Tot i que els ooquistes viables han pogut ser detectats en mostres de 100 litres d'aigua regenerada mitjançant els processos de desinfecció 1UV, 1UVCL, 2UV i 0,6CL, la presència d'ooquistes infectius tan sols s'ha pogut determinar en l'aigua del tractament 0,6CL (1,4 ooquistes/100 litres). Tal com es mostra en la Figura 7, les dades generades en aquest estudi indiquen que els tractaments amb llum ultraviolada, tota sola o en combinació amb el clor, han aconseguit la inactivació total dels ooquistes infectius.

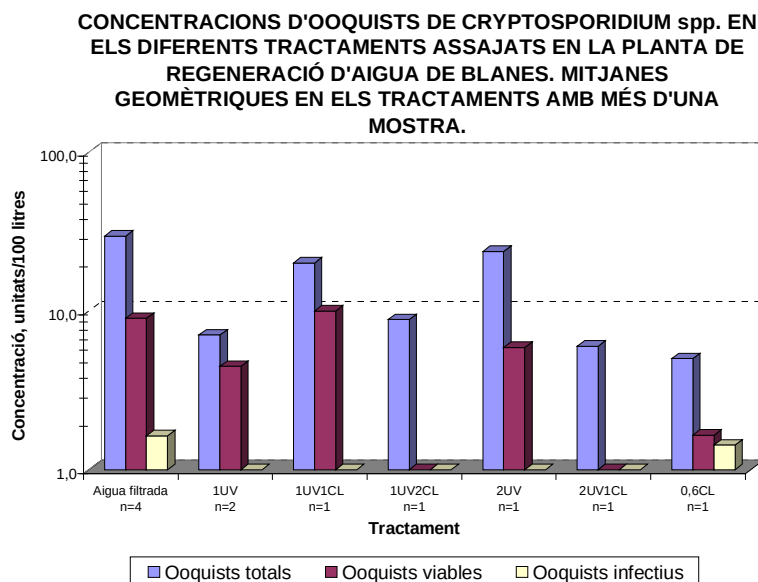


Figura 7. Concentració de les diferents formes d'ooquistes de *Cryptosporidium* spp. analitzades en el marc d'aquest estudi.

Les espores de clostridis sulfít reductors han estat considerades per alguns autors (Venczel et al., 1997) com a microorganismes model respecte a l'eliminació dels ooquistes de *Cryptosporidium* spp. Les circumstàncies específiques d'aquest estudi (reduït nombre de mostres, baixos valors d'ooquistes infectius trobats en l'aigua filtrada i en l'aigua clorada, i absència total en la resta de tractaments) fan impossible l'establiment d'una relació estadísticament significativa entre ambdós tipus de microorganismes. No obstant això, d'aquest estudi se'n deriva l'observació empírica segons la qual la protecció més efectiva davant dels ooquistes infectius de *Cryptosporidium* spp. l'ofereix la presència d'almenys un mòdul de llum ultraviolada en funcionament en el procés de desinfecció. Des d'aquesta perspectiva, i combinant aquest criteri amb el de la utilització de les espores de clostridis sulfít reductors com a microorganismes model, es proposa que l'explotació del tractament de desinfecció de la planta de regeneració de Blanes tingui almenys un mòdul de llum ultraviolada en funcionament i que la reducció d'espores de clostridis sulfít reductors sigui d'almenys 1,0 ulog.

Els enterovirus s'han detectat en concentracions molt baixes (interval d'1 a 5 ufp/100 litres, i mitjana geomètrica de 2,3 ufp/100 litres) en totes les mostres d'aigua filtrada (4 mostres), però no s'han detectat en cap de les diferents mostres d'aigua desinfectada, independentment del tractament de desinfecció aplicat (1 mostra de cadascuna d'elles, excepte en el cas d'utilització d'un mòdul de llum ultraviolada, del qual n'hi ha dues). Ateses les circumstàncies ja esmentades en el paràgraf anterior, les dades existents no permeten fer càlculs acurats ni estadísticament significatius de les inactivacions produïdes en les concentracions d'enterovirus. No obstant això, les dades puntuals existents permeten fer una aproximació a aquesta qüestió, segons la qual la inactivació dels 2,3 ufp d'enterovirus

en 100 litres de mostra fins al nivell d'absència requeriria una reducció logarítmica de 0,36 ulog. Aquesta reducció és molt inferior a la que s'ha demostrat en aquest estudi que es pot assolir per als microorganismes model proposats (colifags somàtics), que és d'un mínim de 2,0 ulog en el cas del tractament 0,6CL i d'un màxim de 4,4 ulog en el cas del tractament 1UV2CL.

Aquestes dades mostren que la probabilitat que la planta de regeneració d'aigua de Blanes pugui esdevenir alguna vegada un focus d'emissió de contaminació per enterovirus és molt baixa, fins i tot en el supòsit que la desinfecció es fés tan sols amb hipoclorit.

Comparació amb l'estudi de Castell-Platja d'Aro

La comparació dels resultats del present estudi amb els obtinguts un any abans en la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro permeten copsar els diferents rendiments de desinfecció obtinguts en ambdues instal·lacions. Aquesta comparació s'ha realitzat entre el tractament utilitzat de manera habitual en la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro (combinació de llum ultraviolada i hipoclorit) i els dos tractaments de desinfecció amb més probabilitat de ser escollits per a l'explotació de la planta de regeneració d'aigua de Blanes, que són la combinació d'un mòdul de llum ultraviolada i l'addició de 2 mg Cl₂/l, i la combinació de dos mòduls de llum ultraviolada i l'addició de 1 mg Cl₂/l.

Taula 10. Comparació de les inactivacions logarítmiques mitjanes assolides per a cada tipus de microorganisme en la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro entre els dies 11-17 i 25-31 de juliol de 2005 i en dos dels tractaments assajats en la planta de regeneració d'aigua de Blanes en el marc d'aquest estudi, entre el 8 i el 31 de maig de 2006.

Microorganismes	Inactivacions segons tractament, ulog		
	UV + Clor (a) Castell-Platja d'Aro	1UV2CL (b) Blanes	2UV1CL (c) Blanes
Bacteris			
Coliformes fecals / <i>Escherichia coli</i>	5,06	> 3,18	> 3,18
Enterococs fecals	4,77	-	-
Espores de clostridis sulfit-reductors	0,87	0,86	1,41
Virus			
Colifags somàtics	2,88	> 4,44	> 4,04
Bacteriòfags F-RNA	0,82	-	-
Bacteriòfags RYC de <i>B. fragilis</i>	1,76	-	-
Bacteriòfags GA17 de <i>B. fragilis</i>	1,74	-	-
Enterovirus	- (d)	-	-
Protozous			
Ooquists totals <i>Cryptosporidium</i> spp.	0,38	-	-
Ooquists viables <i>Cryptosporidium</i> spp.	0,41	-	-
Ooquists infectius <i>Cryptosporidium</i> spp.	1,76	-	-

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

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

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

(d) Tot i que es disposa de dades d'enterovirus en l'estudi realitzat els anys 2004 i 2005 sobre l'efecte de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro sobre el riu Ridaura, no es pot quantificar amb precisió la inactivació assolida per la incertesa (valors "menors que") tant en l'efluent secundari com en l'aigua regenerada (Consorci de la Costa Brava, 2006c).

La Taula 10 mostra que la inactivació logarítmica de les concentracions de coliformes fecals és més elevada a Castell-Platja d'Aro que a Blanes, senzillament perquè les concentracions inicials d'aquest indicador són més elevades en la primera instal·lació. El fet que les inactivacions dels dos tractaments corresponents a Blanes donguin eliminacions no quantificables però superiors a un determinat valor indica que el resultat assolit pel tractament és d'absència del microorganisme en qüestió, en aquest cas *Escherichia coli*.

Les inactivacions assolides en les concentracions d'espores de clostridis sulfit-reductors són pràcticament idèntiques (0,87 ulog a Castell-Platja d'Aro i 0,86 ulog a Blanes) en els dos tractaments de desinfecció més semblants en quant a dosi de llum ultraviolada i al paràmetre C.t. En canvi, el tractament amb una doble dosi de llum ultraviolada (dos mòduls de llum ultraviolada i l'addició d'1 mg Cl_2/l a la planta de regeneració d'aigua de Blanes) permet una inactivació d'espores de clostridis sulfit reductors de gairebé el doble (1,41 ulog), malgrat la disminució del valor del paràmetre C.t.

El procés de tractament de la planta de regeneració d'aigua de Blanes té una potència de desinfecció més gran que el de Castell-Platja d'Aro en relació a la inactivació dels colifags somàtics, de manera que els nivells d'inactivació de 2,88 ulog a Castell-Platja d'Aro passen a ser d'uns nivells mínims de 4,04 i 4,44 ulog a Blanes. Igual que s'observa en el cas d'*Escherichia coli*, aquests nivells d'inactivació no poden ser quantificats amb exactitud, ja que els resultats en l'aigua regenerada són "absències" de microorganismes. Això fa que es desconeixi si, en cas d'haver-hi concentracions més elevades en l'entrada, aquestes serien també eliminades després del tractament. En qualsevol cas, tant la desinfecció aportada per la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro com la de la planta de regeneració d'aigua de Blanes són suficients per inactivar unes concentracions d'enterovirus que, en l'efluent secundari de Blanes, ja es troben en concentracions dos ordres de magnitud inferiors a les mesurades en l'efluent secundari de Castell-Platja d'Aro. Així, mentre que a Blanes les mostres per a l'anàlisi d'enterovirus han estat de 100 litres, a Castell-Platja d'Aro van ser tan sols d'1 litre (Consorti de la Costa Brava, 2006c).

Finalment, la baixa concentració d'ooquistes infectius de *Cryptosporidium* spp. en l'afluent de la planta de regeneració d'aigua de Blanes ha impedit que es pogués determinar amb precisió quina era la capacitat d'inactivació d'aquesta instal·lació sobre aquest tipus de microorganisme. No obstant això, l'experimentació feta l'any 2005 en la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro va permetre quantificar aquesta inactivació en 1,76 ulog. Atès que la capacitat de desinfecció de la planta de regeneració d'aigua de Blanes és superior a la de Castell-Platja d'Aro en relació als microorganismes de gran resistència, com són les espores de clostridis sulfit reductors i els colifags somàtics, cal concloure que també ha d'oferir una protecció superior davant dels ooquistes infectius de *Cryptosporidium* spp.

En resum, un procés de desinfecció aplicat a una aigua amb valors de torbesa al voltant de 2 NTU i de transmissibilitat a 254 nm superiors al 70 %, i basat en una exposició a dosis de llum ultraviolada d'entre 40 i 80 mJ/cm^2 conjuntament amb una dosificació d'hipoclorit d'entre 1 i 2 mg Cl_2/l , permet produir una aigua regenerada amb absència d'*Escherichia coli*, de colifags somàtics, d'enterovirus i d'ooquistes infectius de *Cryptosporidium* spp., i aconsegueix alhora una inactivació d'espores de clostridis sulfit reductors superior a 1,0 ulog. L'acció combinada de la llum ultraviolada, especialment efectiva per a inactivar els virus i els protozois patògens, i de l'hipoclorit, especialment efectiu per a inactivar els bacteris no esporulats, permet assolir una aigua regenerada amb una qualitat adient per a la reutilització en usos urbans no potables i per al reg agrícola i de jardineria.

Els resultats d'aquest estudi i del realitzat l'any 2005 a la planta de regeneració de Castell-Platja d'Aro (Consorti de la Costa Brava, 2006a) han permès establir uns nivells d'inactivació microbiana i vírica de gran utilitat pràctica a l'hora d'implantar protocols

d'explotació i manteniment de plantes de regeneració d'aigua a partir d'efluents secundaris de bona qualitat físicoquímica, com els de les EDAR de Blanes i de Castell-Platja d'Aro.

CONCLUSIONS

L'estudi realitzat sobre la capacitat desinfectant de l'ús combinat de la llum ultraviolada i de l'hipoclorit en la planta de regeneració d'aigua de Blanes permet extreure les següents conclusions:

1. La qualitat físicoquímica de l'aigua produïda durant el període d'estudi (del 8 al 31 de maig de 2006) per la planta de regeneració d'aigua de Blanes ha estat l'adient per a la recàrrega superficial de l'aquífer de la baixa Tordera.
2. Les dosis mitjanes de llum ultraviolada aplicades durant l'experiment van oscil·lar entre els 40 mJ/cm² en aquells tractaments en els que intervenia un mòdul de llum ultraviolada i els 80 mJ/cm² en aquells en què intervenien dos mòduls. Aquests equips van treballar en solitari i en combinació amb dosis de clor d'1 i de 2 mg Cl₂/l, que van suposar valors mitjans del paràmetre C.t d'entre 40 i 70 mg Cl₂.min/l. Alhora, es va determinar la capacitat desinfectant de la utilització exclusiva d'hipoclorit fins a assolir un clor residual constant a l'entorn dels 0,6 mg Cl₂/l, equivalent a una mitjana del paràmetre C.t d'uns 150 mg Cl₂.min/l.
3. Tots els tractaments de desinfecció assajats han assolit l'absència, o valors propers a l'absència, d'*Escherichia coli* en mostres de 100 ml d'aigua, amb reduccions logarítmiques superiors a 3 ulog. No s'han aïllat colònies d'aquest microorganisme en cap de les mostres d'aigua recollides en el tractament consistent en un mòdul de llum ultraviolada i l'addició de 2 mg Cl₂/l, ni en el consistent en dos mòduls de llum ultraviolada i l'addició d'1 mg Cl₂/l, ni tampoc en el de la dosificació d'hipoclorit per a assolir un clor residual total de 0,6 mg Cl₂/l. L'aigua regenerada produïda en aquestes condicions pot ser emprada per a qualsevol dels usos previstos tant en les directrius catalanes com en la normativa de propera entrada en vigor a Espanya.
4. La inactivació de les espores de clostridis sulfit reductors ha estat mínima quan s'ha utilitzat el clor com a únic agent desinfectant (0,35 ulog), mentre que ha augmentat en proporció al número de mòduls de llum ultraviolada en funcionament. Mentre que en els tractaments amb un únic mòdul de llum ultraviolada aquesta inactivació ha assolit entre 0,7 i 0,9 ulog, en els tractaments amb dos mòduls de llum ultraviolada s'han arribat a assolir reduccions d'entre 1,4 i 1,5 ulog.
5. La inactivació dels colifags somàtics segueix un comportament semblant al de les espores de clostridis sulfit reductors: la inactivació produïda per la llum ultraviolada, en solitari o combinada amb clor, ha estat superior (entre >3,3 i >4,4 ulog) a l'obtinguda quan s'ha utilitzat el clor com a únic agent desinfectant (2,0 ulog). En canvi, no s'han observat diferències significatives d'inactivació entre els tractaments en què s'ha emprat llum ultraviolada en solitari, tant si hi havia un mòdul en funcionament com si n'hi havia dos (aproximadament, 3,4 ulog). Les màximes eliminacions s'han produït en aquells tractaments que combinaven els dos agents desinfectants, produint-se un efecte complementari de les inactivacions aportades per cadascun d'ells (entre >3,9 i >4,4 ulog).
6. Els tractaments de desinfecció canvien les abundàncies relatives dels principals microorganismes en funció de la seva resistència als diferents agents desinfectants. Mentre que els colifags somàtics són els més abundants en l'aigua filtrada, seguits per *Escherichia coli* i per les espores de clostridis sulfit reductors, tots els tractaments assajats produeixen una alteració similar de les abundàncies relatives, de manera que les espores de clostridis sulfit reductors passen a ser les més abundants, seguides dels colifags somàtics i d'*Escherichia coli*.

7. Les concentracions d'ooquistes de *Cryptosporidium* spp. i, especialment, d'enterovirus han estat molt baixes ja en l'aigua filtrada, amb valors d'entre 0 i 50 ooquistes totals i d'entre 1 i 5 ufp en mostres de 100 litres d'aigua en ambdós casos, respectivament. La fracció d'ooquistes infectius de *Cryptosporidium* spp. ha estat com a màxim un 14 % del nombre d'ooquistes totals detectats en l'aigua filtrada.
8. No s'han detectat ooquistes infectius de *Cryptosporidium* spp. en cap de les mostres d'aigua obtingudes dels processos de desinfecció que tinguessin almenys un mòdul de llum ultraviolada en funcionament. Tan sols s'han detectat ooquistes infectius (1,4 ooquistes/100 litres, un 28% dels ooquistes totals) en l'aigua desinfectada exclusivament amb clor.
9. Tots els tractaments de desinfecció assajats han donat com a resultat una aigua amb absència d'enterovirus cultivables en mostres de 100 litres d'aigua. Els valors generats en aquest estudi no permeten tenir una estimació acurada de la inactivació dels enterovirus, de la qual només sabem que és superior a 0,3 ulog. En qualsevol cas, es pot considerar que l'eliminació d'enterovirus ha de ser del mateix ordre de magnitud que la dels colifags somàtics.
10. La planta de regeneració d'aigua de Blanes mostra una capacitat d'inactivació de microorganismes superior a la de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro, en raó de les reduccions superiors que aconsegueix en aquells microorganismes més resistents, com les espores de clostridis sulfit reductors i els colifags somàtics. No obstant això, ambdues plantes de regeneració eliminen de manera efectiva tant els ooquistes infectius de *Cryptosporidium* spp. com els enterovirus.
11. En resum, avaluades tant les inactivacions de microorganismes patògens com indicadors, els tractaments de desinfecció que combinen la llum ultraviolada i l'addició d'hipoclorit presenten una eficàcia superior a la dels tractaments unitaris.

RECOMANACIONS

Els resultats d'aquest estudi permeten formular les següents recomanacions:

1. Per a un màxim rendiment del procés de desinfecció és necessari produir un efluent secundari de la màxima qualitat possible (p.e., amb valors de MES < 10 mg/l i de torbesa < 5 NTU, sempre que les instal·lacions i les condicions de treball ho permetin). Una millor qualitat de l'efluent secundari implicarà una més gran fiabilitat del procés de regeneració posterior, degut a la més gran eficàcia d'eliminació de matèria en suspensió i d'inactivació bacteriana i vírica aconseguida per aquest procés. A igualtat de llum ultraviolada emesa o de dosi d'hipoclorit aportada, els rendiments de desinfecció seran majors en aquelles aigües que presentin una millor qualitat físicoquímica.
2. Per assegurar una desinfecció d'ampli espectre i, per tant, la màxima protecció de la salut pública, es proposa que l'explotació del tractament de desinfecció de la planta de regeneració d'aigua de Blanes inclogui almenys un mòdul de llum ultraviolada en funcionament i que la reducció d'espores de clostridis de sulfit reductors, emprades com a microorganisme model, sigui d'almenys 1,0 ulog. Aquest règim de funcionament no sols assoleix inactivacions totals de microorganismes indicadors com *Escherichia coli* o com els colifags somàtics, sinó que ofereix la màxima protecció enfront dels ooquistes infectius de *Cryptosporidium* spp i dels enterovirus.
3. Convé continuar amb la valoració sistemàtica dels paràmetres de qualitat microbiològica emprats en aquest estudi, amb l'objectiu de confirmar els resultats preliminars obtinguts i

reforçar els criteris d'explotació proposats. El seguiment de l'explotació de la planta de regeneració d'aigua de Blanes, d'acord amb els criteris proposats en aquest estudi, ha de proporcionar una sèrie de dades de gran interès pràctic per a aquesta finalitat.

4. Alhora, convé avançar en la interpretació de la utilitat de les espores de clostridis sulfit reductors i dels colifags somàtics com a indicadors de l'eficàcia de la desinfecció, així com en la determinació dels nivells d'agents desinfectants necessaris per assolir la seva eliminació i la de la resta de microorganismes, tant indicadors com patògens, emprats en aquest estudi.

BIBLIOGRAFIA

- Anònim. 2000. ISO 10705-2: Water quality – Detection and enumeration of bacteriophages. Part 2: Enumeration of somatic Coliphages. Geneva, Switzerland: International Standardisation Organisation
- Campbell, A.T., Robertson, L.J. and 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* 58, 3488-3493.
- Consorci de la Costa Brava, 2006a. Informe Tècnic: Acció combinada d'agents desinfectants a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro. Disponible a l'adreça http://www.ccbgi.org/docs/Informe_accio_combinada_desinfectants_Jul_2006.pdf
- Consorci 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 a l'adreça http://www.ccbgi.org/docs/informe_resum_recarrega_blanes_gener_2003_abril_2006.pdf
- Consorci de la Costa Brava, 2006c. Informe Tècnic: 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., & Hostovesky, T. 1976. Organic flocculation: an efficient second step concentration method for the detection of viruses in tap water. *Appl. Environ. Microbiol.* 30: 638-639.
- Méndez J., Audicana A., Isern A., Llaneza J, Moreno B, Taracón M.L., Jofre J. & 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.* 117, 19-25.
- Mocé-Llivina L., Jofre J. & Muniesa M. 2003. Comparison of polyvinylidene fluoride and polyether sulfone membranes in filtering viral suspensions. *Jour. Virol. Meth.*, 109: 99-101.
- Mocé-Llivina, L., Lucena, F. & Jofre, J. 2004. Double-layer plaque assay for quantification of enteroviruses. *Appl. Environ. Microbiol.*, 70: 2801-2805.
- Montemayor, M., Valero, F., Jofre, J. & Lucena, F. 2005. Occurrence of *Cryptosporidium* spp. oocysts in raw and treated sewage and river water in north-eastern Spain. *Journal of Applied Microbiology.* 99(6):1455-62.
- Slifko, T. R., Friedman, D., Rose, J. & Jabubowski, W. (1997). An In Vitro Method for Detecting Infectious *Cryptosporidium* Oocysts with Cell Culture. *Applied and Environmental Microbiology* 63(9), 3669–3675
- US EPA 1996. ICR Microbial Laboratory Manual. Section VIII. Part 1 (VIII-4-VIII-12). U.S. 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, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC: Government Printing Office.

Venczel, L.V., Arrowood, M., Hurd, M., & 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* 63(4), 598–1601.

Annex I

Condicions de treball durant l'experimentació

Dia: Dilluns 8/05/2006

<i>Condicions de treball</i>	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	1 / 8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	110 – Mòduls A-B
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	1,0
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	10:00	10:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	1,8	0,8	12,4	---
Terbolesa, NTU	3,1	0,9	3,1	---
T254, %	72	74	54	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	43,7	43,7 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	75	---

Segon mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	11:30	11:30	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	3,2	2,0	---
Terbolesa, NTU	---	7,0	1,4	---
T254, %	---	74	74	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	43,7	43,7	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	50	---

Tercer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	13:00	13:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	1,4	2,4	---
Terbolesa, NTU	---	1,3	2,3	---
T254, %	---	75	73	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	43,7	43,7 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	50	---

(a) Es considera que la variació de la transmissió és produïda per l'addició final de l'hipoclorit, per la qual cosa es manté la dosi de llum ultraviolada.

Dia: Dimarts 9/05/2006

<i>Condicions de treball</i>	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	1 / 8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	110 – Mòduls A-B
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	1,0
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Aigua filtrada	Mostres		
		UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	10:00	10:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	2,8	1,8	1,2	---
Terbolesa, NTU	1,0	1,6	1,7	---
T254, %	72	71	55	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,1	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	39,0	39,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	25	---

Segon mostreig	Aigua filtrada	Mostres		
		UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	11:30	11:30	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	0,4	0,7	---
Terbolesa, NTU	---	2,3	1,6	---
T254, %	---	70	69	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	37,0	37,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	50	---

Tercer mostreig	Aigua filtrada	Mostres		
		UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	13:00	13:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	2,0	2,2	---
Terbolesa, NTU	---	1,2	1,4	---
T254, %	---	72	72	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,1	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	40,9	40,9	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	25	---

(a) Es considera que la variació de la transmitància és produïda per l'addició final de l'hipoclorit, per la qual cosa es manté la dosi de llum ultraviolada.

Dia: Dimecres 10/05/2006

Condicions de treball	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	1 / 8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	110 – Mòduls A-B
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	1,0
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	10:00	10:00	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	2,8	1,8	1,2	---
Terbolesa, NTU	1,9	1,0	1,8	---
T254, %	70	71	70	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,1	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	118,0	118,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	25	---

Puntualment, en la recollida de les mostres de les 10 h, el cabal era de 200 m³/h i no de 600 m³/h.

Segon mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	11:30	11:30	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	---	0,4	0,7	---
Terbolesa, NTU	---	2,4	1,3	---
T254, %	---	71	72	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	39,0	39,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	50	---

Tercer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	13:00	13:00	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	---	2,0	2,2	---
Terbolesa, NTU	---	1,9	2,0	---
T254, %	---	70	72	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,1	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	38,2	38,2 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	25	---

(a) Es considera que la variació de la transmissió és produïda per l'addició final de l'hipoclorit, per la qual cosa es manté la dosi de llum ultraviolada.

Dia: Dilluns 15/05/2006

Condicions de treball	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	1 / 8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	141 – Mòduls C-D
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	2,0
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	10:00	10:00	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	1,8	4,6	1,0	---
Terbolesa, NTU	1,7	1,5	1,6	---
T254, %	70	70	71	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,6	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	38,2	38,2 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	150	---

Segon mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	11:30	11:30	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	---	2,2	2,8	---
Terbolesa, NTU	---	1,0	1,2	---
T254, %	---	71	72	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,5	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	39,0	39,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	125	---

Tercer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	13:00	13:00	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	---	1,6	2,0	---
Terbolesa, NTU	---	1,1	1,2	---
T254, %	---	72	72	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,4	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	40,9	40,9	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	100	---

(a) Es considera que la variació de la transmitància és produïda per l'addició final de l'hipoclorit, per la qual cosa es manté la dosi de llum ultraviolada.

Dia: Dimarts 16/05/2006

Condicions de treball	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	1 / 8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	141 – Mòduls C-D
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	2,0
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	10:00	10:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	2,0	3,8	3,0	---
Terbolesa, NTU	1,0	1,7	1,5	---
T254, %	71	71	72	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	39,0	39,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	75	---

Segon mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	11:30	11:30	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	2,0	2,6	---
Terbolesa, NTU	---	2,3	1,1	---
T254, %	---	70	73	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	38,3	38,3 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	75	---

Tercer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	13:00	13:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	2,0	2,4	---
Terbolesa, NTU	---	1,3	2,1	---
T254, %	---	72	70	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	40,9	40,9 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	75	---

(a) Es considera que la variació de la transmitància és produïda per l'addició final de l'hipoclorit, per la qual cosa es manté la dosi de llum ultraviolada.

Dia: Dimecres 17/05/2006

Condicions de treball	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	1 / 8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	141 – Mòduls C-D
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	2,0
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	10:00	10:00	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	1,4	1,4	6,4	---
Terbolesa, NTU	1,4	1,4	6,5	---
T254, %	70	70	63	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,4	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	38,2	38,2 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	100	---

Segon mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	11:30	11:30	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	---	0,8	2,0	---
Terbolesa, NTU	---	0,9	1,1	---
T254, %	---	70	71	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,4	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	38,2	38,2 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	100	---

Tercer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	13:00	13:00	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	---	4,6	1,8	---
Terbolesa, NTU	---	1,8	1,6	---
T254, %	---	71	68	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,4	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	39,0	39,0	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	100	---

(a) Es considera que la variació de la transmitància és produïda per l'addició final de l'hipoclorit, per la qual cosa es manté la dosi de llum ultraviolada.

Dia: Dilluns 22/05/2006

Condicions de treball	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	2 / 16
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	382 – Mòduls C-D + D-C
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	1,0
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	10:00	10:00	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	1,4	1,0	6,2	---
Terbolesa, NTU	1,5	1,5	4,2	---
T254, %	71	71	66	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	79,0	79,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	75	---

Segon mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	11:30	11:30	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	---	0,4	1,6	---
Terbolesa, NTU	---	1,2	3,8	---
T254, %	---	70	66	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	76,4	76,4 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	75	---

Tercer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	13:00	13:00	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	---	1,2	1,2	---
Terbolesa, NTU	---	3,4	1,4	---
T254, %	---	71	73	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	79,0	79,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	75	---

(a) Es considera que la variació de la transmitància és produïda per l'addició final de l'hipoclorit, per la qual cosa es manté la dosi de llum ultraviolada.

Dia: Dimarts 23/05/2006

<i>Condicions de treball</i>	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	2 / 16
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	382 – Mòduls C-D + D-C
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	1,0
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Aigua filtrada	Mostres		
		UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	10:00	10:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	2,6	1,0	1,4	---
Terbolesa, NTU	1,3	1,2	3,0	---
T254, %	70	70	62	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	76,4	76,4 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	75	---

Segon mostreig	Aigua filtrada	Mostres		
		UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	11:30	11:30	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	0,8	1,8	---
Terbolesa, NTU	---	0,9	2,1	---
T254, %	---	71	69	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	79,0	79,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	50	---

Tercer mostreig	Aigua filtrada	Mostres		
		UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	13:00	13:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	0,8	1,6	---
Terbolesa, NTU	---	1,5	1,3	---
T254, %	---	71	72	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	79,0	79,0 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	50	---

(a) Es considera que la variació de la transmitància és produïda per l'addició final de l'hipoclorit, per la qual cosa es manté la dosi de llum ultraviolada.

Dia: Dijous 25/05/2006

Condicions de treball	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	2 / 16
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	382 – Mòduls C-D + D-C
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	0,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	1,0
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	10:00	10:00	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	2,6	3,4	5,0	---
Terbolesa, NTU	1,3	2,3	3,3	---
T254, %	71	70	69	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	76,4	76,4 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	75	---

Segon mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	11:30	11:30	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	---	1,6	2,0	---
Terbolesa, NTU	---	4,3	1,8	---
T254, %	---	70	72	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,3	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	76,4	76,4 (a)	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	75	---

Tercer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	13:00	13:00	---
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	---	2,4	1,8	---
Terbolesa, NTU	---	1,5	4,4	---
T254, %	---	71	71	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	0,2	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	79,0	79,0	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	50	---

(a) Es considera que la variació de la transmitància és produïda per l'addició final de l'hipoclorit, per la qual cosa es manté la dosi de llum ultraviolada.

Dia: Dilluns 29/05/2006

Condicions de treball	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	0 / 0
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	-
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	3,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	-
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	---	---	10:00
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	2,6	---	---	1,6
Terbolesa, NTU	1,4	---	---	1,3
T254, %	73	---	---	73
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,4
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	100

Segon mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	11:30	---	---	11:30
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	1,6	---	---	2,0
Terbolesa, NTU	1,4	---	---	1,4
T254, %	74	---	---	76
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,6
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	150

Tercer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	13:00	---	---	13:00
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	1,4	---	---	2,0
Terbolesa, NTU	1,9	---	---	1,2
T254, %	74	---	---	76
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,5
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	125

Dia: Dimarts 30/05/2006

Condicions de treball	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	0 / 0
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	-
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	3,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	-
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	---	---	10:00
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	2,2	---	---	2,6
Terbolesa, NTU	2,1	---	---	2,7
T254, %	72	---	---	71
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,4
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	100

Segon mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	11:30	---	---	11:30
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	2,0	---	---	3,2
Terbolesa, NTU	2,5	---	---	3,2
T254, %	71	---	---	72
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,6
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	150

Tercer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	13:00	---	---	13:00
Resultats fisicoquímics				
MES, mg/l	1,8	---	---	2,0
Terbolesa, NTU	2,1	---	---	2,0
T254, %	71	---	---	71
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,6
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	150

Dia: Dimecres 31/05/2006

<i>Condicions de treball</i>	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	600
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	3
Número de mòduls / làmpades en funcionament	0 / 0
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	-
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	3,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	-
Volum dipòsit de sortida, m ³	2.500
Temps de contacte clor, min	250

Primer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	10:00	---	---	10:00
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	2,8	---	---	2,2
Terbolesa, NTU	2,3	---	---	1,8
T254, %	65	---	---	67
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,8
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	200

Segon mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	11:30	---	---	11:30
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	1,6	---	---	1,8
Terbolesa, NTU	2,1	---	---	2,1
T254, %	71	---	---	71
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,9
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	225

Tercer mostreig	Mostres			
	Aigua filtrada	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	13:00	---	---	13:00
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	1,4	---	---	2,6
Terbolesa, NTU	2,4	---	---	1,2
T254, %	64	---	---	71
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	0,7
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	175

Annex II

Resultats de les anàlisis microbiològiques realitzades a la planta de regeneració d'aigua de Blanes en l'estudi de l'acció combinada d'agents desinfectants. Maig de 2006. Ordenació cronològica de les mostres.

1 ^a setmana										
Condicions de mostreig		Bacteris, ufc/100ml		Colifags somàtics ufp/100ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus pfu/l
Data	Mostra	<i>E. coli</i>	Espores de clostridis sulfit reductors		Totals ooquists/l	Viables ooquists/l	Infectius ooquists/l	Viabilitat %	Infectivitat %	
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

2ª setmana										
Condicions de mostreig		Bacteris, ufc/100ml		Colifags somàtics ufp/100ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus pfu/l
Data	Mostra	<i>E. coli</i>	Espores de clostridis sulfit reductors		Totals ooquists/l	Viables ooquists/l	Infectius ooquists/l	Viabilitat %	Infectivitat %	
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 setmana										
Condicions de mostreig		Bacteris, ufc/100ml		Colifags somàtics ufp/100ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus pfu/l
Data	Mostra	<i>E. coli</i>	Espores de clostridis sulfit reductors		Totals ooquists/l	Viables ooquists/l	Infectius ooquists/l	Viabilitat %	Infectivitat %	
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 setmana										
Condicions de mostreig		Bacteris, ufc/100ml		Colifags somàtics ufp/100ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus pfu/l
Data	Mostra	<i>E. coli</i>	Espores de clostridis sulfit reductors		Totals ooquists/l	Viables ooquists/l	Infectius ooquists/l	Viabilitat %	Infectivitat %	
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

Resultats de les anàlisis microbiològiques realitzades a la planta de regeneració d'aigua de Blanes en l'estudi de l'acció combinada d'agents desinfectants. Maig de 2006. Ordenació de les mostres per tipus d'aigües.

Condicions de mostreig		Bacteris, ufc/100ml		Colifags somàtics ufp/100ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/L
Data	Mostra	<i>E. coli</i>	Espores de clostridis sulfit reductors		Totals ooquists/l	Viables ooquists/l	Infectius ooquists/l	Viabilitat %	Infectivitat %	
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	0,02
15/05/2006	Filtrada	22.000	1.500	21.500	0,47	0,12	< 0,02	25,0	< 4,3	0,03
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	0,01
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	0,05
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						

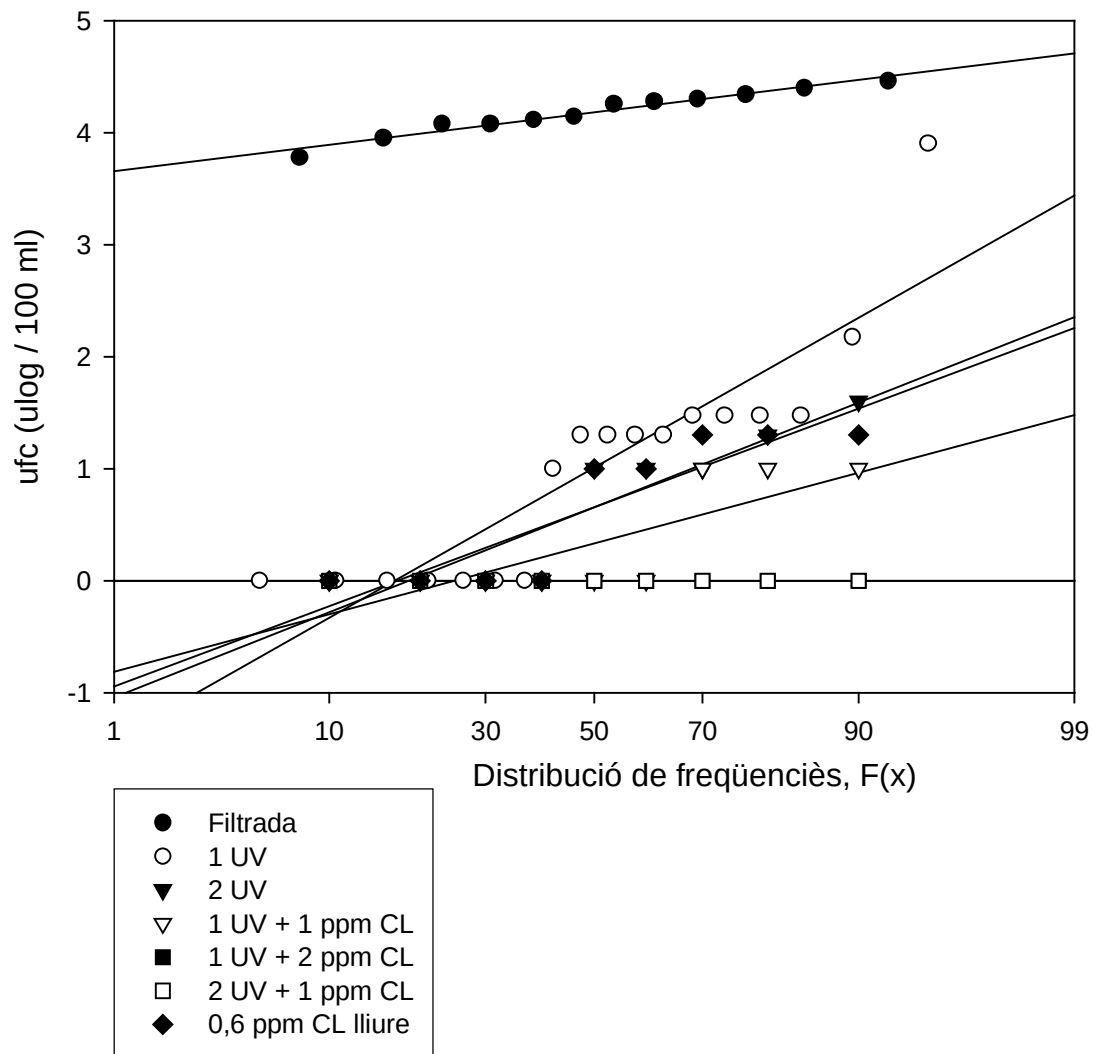
Condicions de mostreig		Bacteris, ufc/100ml		Colifags somàtics ufp/100ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/L
Data	Mostra	<i>E. coli</i>	Espores de clostridis sulfit reductors		Totals ooquists/l	Viables ooquists/l	Infectius ooquists/l	Viabilitat %	Infectivitat %	
08/05/2006	B1UV	< 10	700	10						
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						

Condicions de mostreig		Bacteris, ufc/100ml		Colifags somàtics ufp/100ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/L
Data	Mostra	<i>E. coli</i>	Espores de clostridis sulfit reductors		Totals ooquists/l	Viables ooquists/l	Infectius ooquists/l	Viabilitat %	Infectivitat %	
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	0,0	< 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						

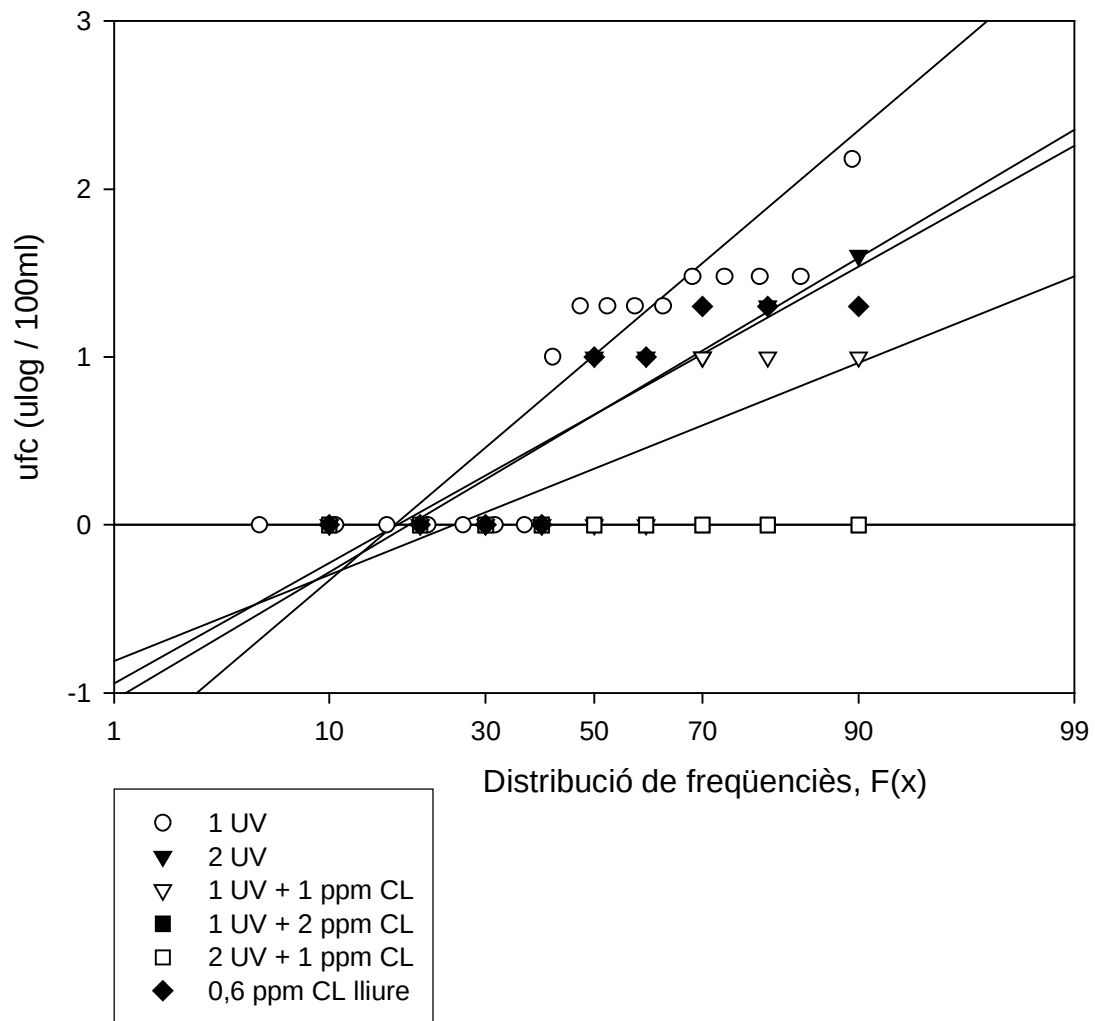
Condicions de mostreig		Bacteris, ufc/100ml		Colifags somàtics ufp/100ml	Cryptosporidium spp.					Enterovirus ufp/L
Data	Mostra	<i>E. coli</i>	Espores de clostridis sulfit reductors		Totals ooquists/l	Viables ooquists/l	Infectius ooquists/l	Viabilitat %	Infectivitat %	
22/05/2006	A2UV1CL	< 10	100	3,2	0,06	0	<0,014	0,0	<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						

Annex III

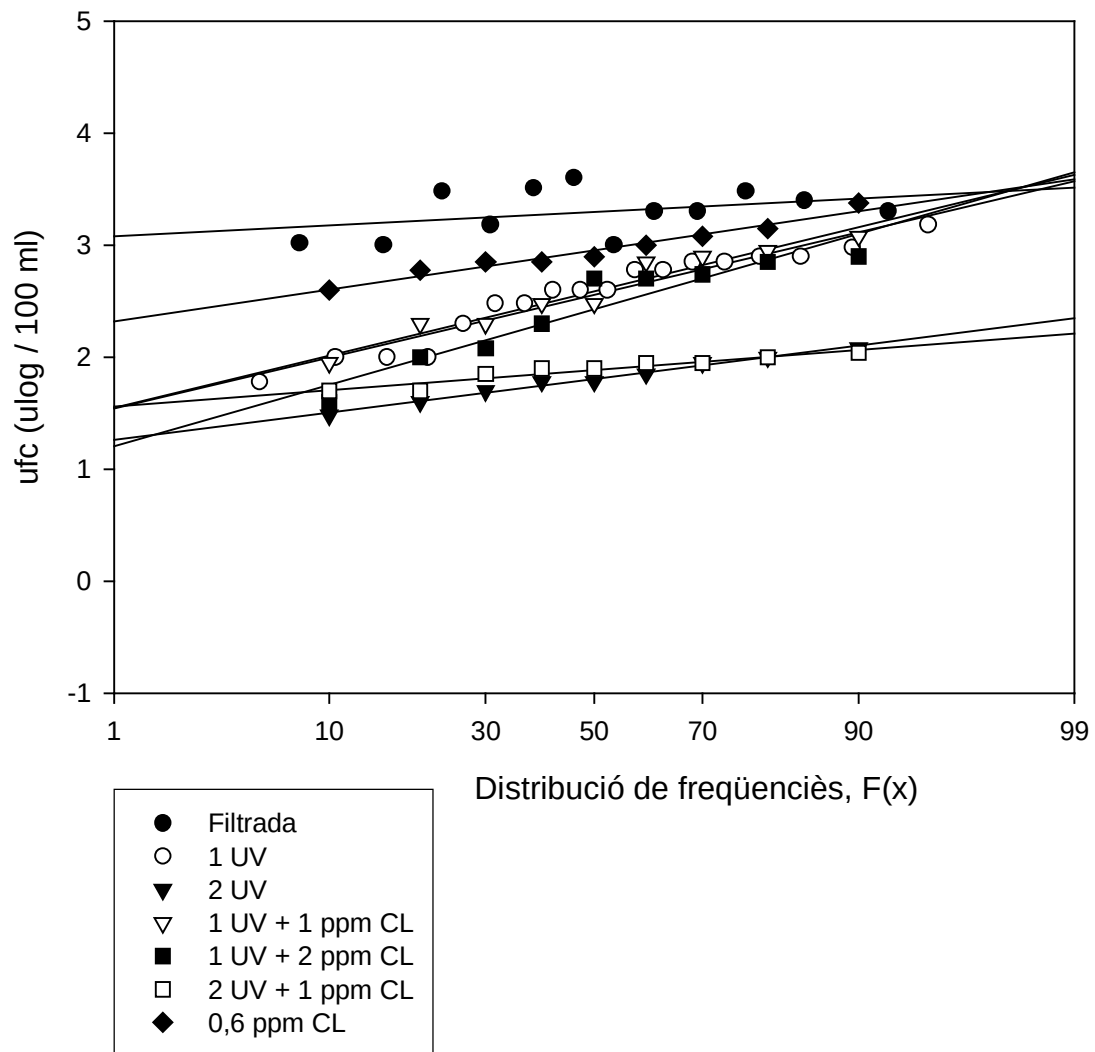
Escherichia coli



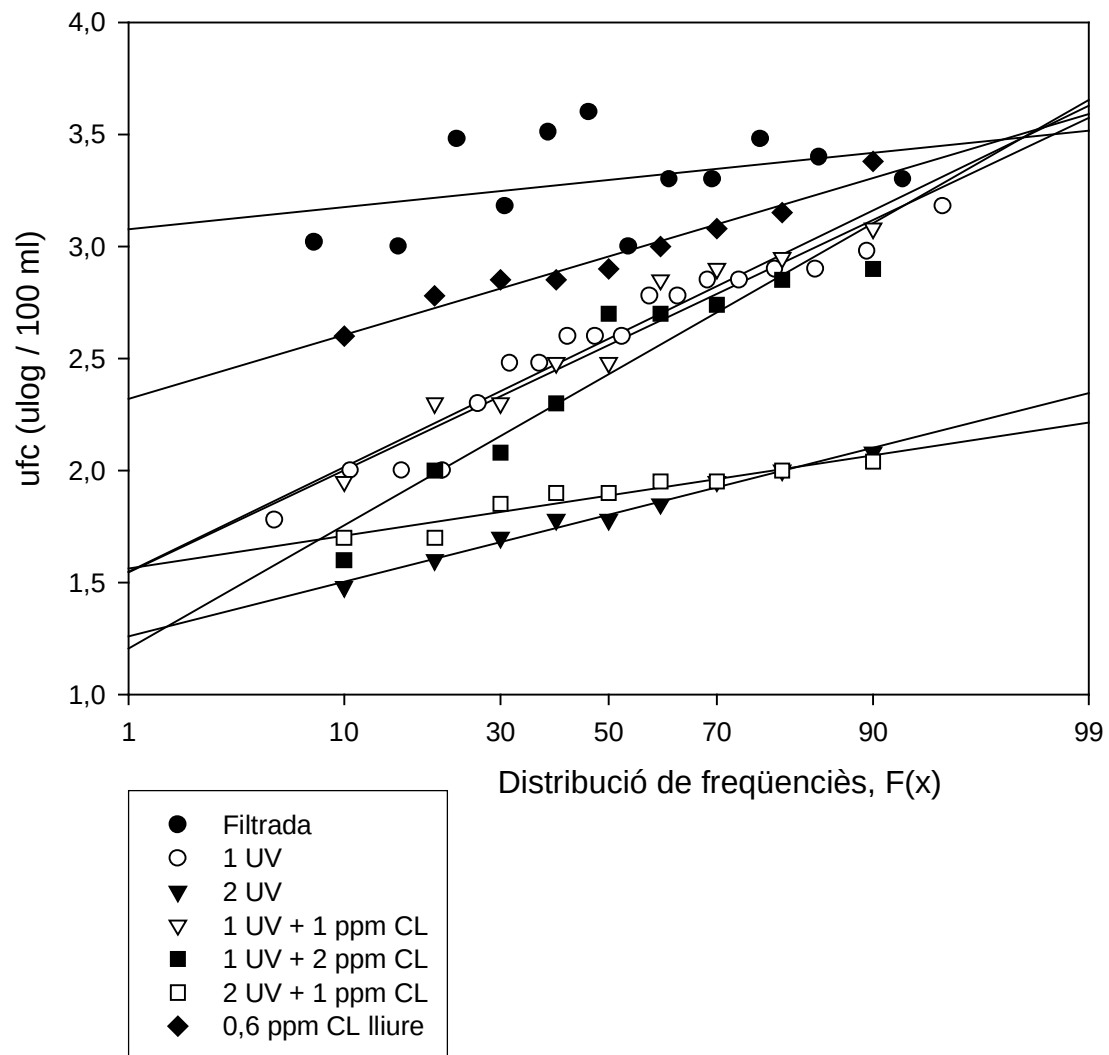
Escherichia coli



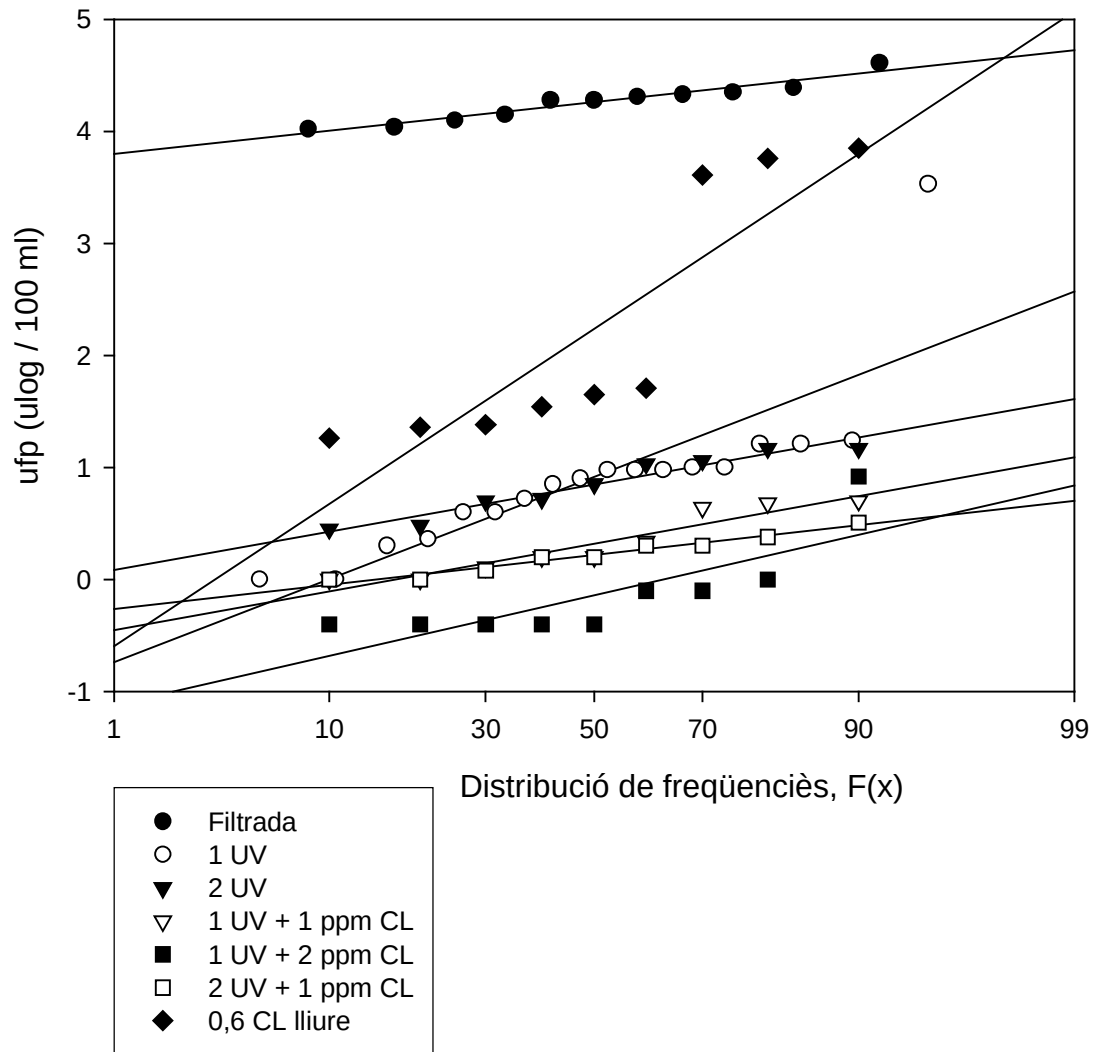
Espores de clostridis sulfito reductors



Espores de clostridis sulfito reductors



Colifags somàtics



Colifags somàtics

