



Informe Tècnic:

ACCIÓ COMBINADA D'AGENTS DESINFECTANTS A LA PLANTA DE REGENERACIÓ D'AIGUA DE CASTELL- PLATJA D'ARO

Girona, juliol 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):

- Sònia Costa, SEARSA (fins setembre 2005)
- Anna Costan, Departament de Microbiologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona
- 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
- Jordi Muñoz, SEARSA (a partir de l'1 d'abril del 2006, Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, SA)
- Andrey Payán, Departament de Microbiologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona
- Sílvia Quintana, SEARSA (a partir de l'1 d'abril del 2006, Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, SA)
- Jordi Sala, consultor ambiental
- Lluís Sala, Consorci de la Costa Brava

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, Teqma SL
- Joan Sanz, Veolia Water

INTRODUCCIÓ

La reutilització de l'aigua depurada

Els efluent de les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) constitueixen uns recursos hídrics no convencionals que després de ser convenientment tractats poden ser utilitzats per a diversos usos. La reutilització d'aquests efluent s'ha de considerar com un component intrínsec del cicle integral de l'aigua i de la gestió dels recursos hídrics (Mujeriego, 1998). Aquesta reutilització es fa especialment necessària en les zones geogràfiques amb pluviometria escassa com són el llevant i sud espanyols. Cal fer esment, però, que l'abocament d'efluent en rius i la seva dilució i aprofitament posteriors aigües avall suposa també un mecanisme de reutilització indirecta que s'ha practicat des de temps remots. Aquesta reutilització indirecta no és possible en les zones costaneres on les masses d'aigua dolça són escasses, de manera que els efluent generalment finalitzen en el mar.

En canvi, la reutilització directa o planificada té un origen més recent i suposa l'aprofitament directe dels efluent sense que hi hagi un abocament previ a les masses d'aigua superficial (Mujeriego, 1998). La reutilització planificada pot tenir a mig i llarg termini un paper fonamental en la gestió dels recursos hídrics. Una reutilització del 30% de les aigües residuals, quantitat que s'ha aconseguit en algunes zones àrides del sud de Califòrnia (Mujeriego, 1995), suposaria una aportació significativa de recursos hídrics al nostre país. A Catalunya, per exemple, això suposaria poder cobrir amb aigua regenerada entre un 15 i un 25 % del dèficit previst per a la dècada 2010-2020 (Vergés, 1994). D'aquestes dades queda clar l'important paper que pot tenir l'aigua regenerada com nou recurs a Catalunya i per extensió a tota Espanya.

ANTECEDENTS

La regeneració de l'aigua

El procés de condicionament dels efluent per retornar-los a un nivell de qualitat adient per a una reutilització posterior es coneix com a regeneració. Aquests tractaments són molt variats i inclouen processos unitaris que poden ser combinats entre si, com ara la coagulació, la floculació, la decantació, la filtració, la desinfecció amb llum ultraviolada, la cloració, l'ozonització i l'ús d'aiguamolls construïts, entre d'altres. La configuració final del/s tractament/s a aplicar dependrà del nivell de qualitat que es vulgui assolir en l'aigua regenerada. El cas extrem seria aquell pel qual es produís una combinació de tractaments que permetés d'obtenir una aigua per a la distribució directa en la xarxa d'aigua potable, com és el cas del projecte de reutilització existent a Windhoek, Namíbia (Odendaal, 1998), des de fa vàries dècades. Els nivells de qualitat de l'aigua regenerada s'estableixen a través de la mesura de paràmetres de tipus fisicoquímic i de les determinacions dels microorganismes d'interès sanitari, ja siguin patògens o indicadors.

Paràmetres indicadors de la qualitat microbiològica

La qualitat microbiològica d'una aigua se sol avaluar a partir de la determinació de les concentracions dels microorganismes indicadors de contaminació fecal, encara que de vegades també es determinen directament les concentracions de microorganismes patògens. Les característiques i propietats dels principals microorganismes indicadors són les següents:

Coliformes: Són bacteris anaerobis facultatius gramnegatius, no formadors d'espores, oxidasa negatius, amb forma de coccobacils, i que fermenten la lactosa (a través de l'enzim

β -galactosidasa) amb formació d'àcid i de gas en un període de 24 a 48 h i a una temperatura de $36 \pm 2^\circ\text{C}$. Són indicadors no específics de contaminació fecal.

Coliformes termotolerants: Són coliformes que produeixen àcid i gas a partir de la fermentació de la lactosa a $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ en un període de $24 \pm 2\text{h}$. Són també coneguts com a coliformes fecals, a causa de el seu paper com a indicadors de contaminació fecal.

Escherichia coli (*E. coli*): És una espècie de bacteri coliforme termotolerant que produeix indol a partir del triptòfan, i que actualment se'l defineix també com a coliforme capaç de produir β -glucuronidasa. És molt apropiat per indicar la contaminació fecal d'animals de sang calenta.

Estreptococs fecals: Són cocs grampositius, catalasa negatius, que creixen en mitjans selectius (brou de dextrosa-azida, agar d'enterococs o agar esculina) en presència de bilis i a 45°C . Pertanyen als gèneres *Enterococcus* i *Streptococcus*, i posseeixen l'antigen del grup D de Lancefield.

Enterococs: Gairebé tots els estreptococs fecals que creixen a pH 9,6, entre 10 i 45°C i en un medi amb 6,5% de NaCl són membres del gènere *Enterococcus*. També satisfan els criteris de resistència a 60°C durant 30 minuts i de capacitat de reduir el blau de metilè al 0,1%. Els enterococs són un subconjunt dels estreptococs. Alternativament, els enterococs es poden identificar directament com a microorganismes capaços de créixer aeròbicament a $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$ i d'hidrolitzar el metilumbeliferil- β -4-D-glucoside (MUD), detectant-se l'activitat β -glucosidasa per fluorescència blava a 366 nm en presència de l'acetat de tal·li, d'àcid nalidíxic i de clorur de 2,3,5, trifeniltetrazolium (TTC), que es redueix produint formazan en el mitjà especificat (Anònim, 1998).

Clostridis sulfit-reductors (CSR): Són bacils grampositius, formadors d'espores, immòbils, anaerobis estrictes que redueixen el sulfit a sulfur d'hidrogen. *Clostridium perfringens* pertany al grup dels CSR, però també fermenta la lactosa, la sucrosa i l'inòsitol amb producció de gas, redueix el nitrat, hidrolitza la gelatina i produeix la lecitinasa i l'àcid fosfatasa. Bonde (1963) va suggerir que no tots els CSR són bons indicadors de contaminació fecal, tot i que d'entre aquests el *Clostridium perfringens* seria el més apropiat.

Bifidobacteris: Són bacils anaerobis estrictes, no formadors d'espores, immòbils, grampositius, altament pleomòrfics i que poden exhibir formes de ramificació dels bulbs (bífids), de coccidis, coryneformes, i amb formes d'Y i de V. Són tots catalasa negatius i fermenten la lactosa, excepte les tres espècies que habiten en insectes: *B. asteroides*, *B. indicum* i *B. coryneforme*. És un dels grups més nombrosos de bacteris presents en la femta d'animals de sang calenta.

Bacteriòfags (fags): Són virus que infecten bacteris. Aquells que infecten determinats bacteris que habiten al tub digestiu de l'home i dels animals poden servir per determinar la qualitat de l'aigua. En certes situacions són emprats com a microorganismes model dels virus entèrics humans. Són d'interès per a aquesta finalitat els colifags somàtics, els colifags F-específics RNA, (colifags F-RNA) i els fags que infecten *Bacteroides fragilis*.

Colifags: Els colifags somàtics infecten *E. coli* a través de la paret cel·lular i inclouen els fags esfèrics de la família *Microviridae* i diversos fags amb cua inclosos en tres famílies diferents. Estan presents als excrements de l'home i de tots els animals de sang calenta. Els colifags F-RNA infecten *E. coli* a través dels pèls sexuals (factor F) i són fags sense cua, englobats en quatre serogrupos. També es troben als excrements de l'home i de tots els animals de sang calenta. Els serogrupos II i III predominen a l'home i els I i IV als animals.

Bacteriòfags de *Bacteroides* ssp. Aquests fags infecten un dels bacteris més abundants de la femta com és *Bacteroides*. Els més abundants pertanyen a la família *Siphoviridae* amb cua flexible. Algunes soques hoste, per exemple *Bacteroides fragilis* RYC2056, detecten fags a les femtes de l'home i altres animals, mentre que d'altres detecten només fags a les femtes humanes, per exemple *Bacteroides fragilis* HSP40 o *Bacteroides thetaiotaomicron* GA17.

Avaluació de la qualitat microbiològica de l'aigua regenerada

Pel seu origen fecal, els efluent secundaris presenten encara una elevada càrrega microbiana, d'entre la qual destaca la presència de microorganismes patògens –bacteris, virus i paràsits (protozous i helmints)-. El tractament de regeneració que s'aplica als efluent secundaris té com a objectiu principal reduir aquesta càrrega microbiana fins a uns nivells que facin que la seva reutilització sigui segura des del punt de vista sanitari i ambiental.

La qualitat microbiològica de l'aigua regenerada s'avalua mitjançant paràmetres microbiològics similars als que s'utilitzen per al control de l'aigua d'abastament, és a dir, els denominats indicadors de contaminació fecal. Els indicadors de contaminació fecal actualment utilitzats (coliformes totals, coliformes fecals, *Escherichia coli*, estreptococs fecals, enterococs i clostridis reductors de sulfit) són tots bacterians i de provada eficàcia en la prevenció d'infeccions bacterianes, com per exemple la febre tifoide, la salmonel·losi, o el còlera, entre d'altres. Es disposa d'una gran abundància de dades sobre la presència d'indicadors bacterians en les aigües regenerades produïdes pels diferents tractaments, així com sobre l'eficàcia d'aquests en l'eliminació dels indicadors bacterians.

No obstant, els indicadors bacterians de contaminació fecal presenten moltes limitacions com a indicadors de virus i de paràsits, ateses les notables diferències en la seva resistència als diferents tractaments, de manera que el grau d'inactivació que s'assoleix varia en funció del grup de microorganismes considerat. Caldria generar més informació sobre l'eliminació de virus i de paràsits per part dels diferents tipus de tractaments de regeneració d'aigua per poder avaluar amb precisió el risc sanitari de la reutilització. És possible que aquest risc no sigui gaire elevat, però sens dubte en el futur els consumidors exigiran que se'n precisi la seva magnitud. Així, seria desitjable utilitzar microorganismes indicadors capaços de predir la possible presència de virus i protozous en l'aigua regenerada, o bé el seu comportament quan es veuen sotmesos als processos de regeneració. Existeixen diferents propostes sobre quins poden ser aquests possibles microorganismes indicadors. Pel que fa als potencials indicadors de protozous patògens, s'ha proposat la utilització dels clostridis reductors de sulfit com a indicadors del grau de reducció dels ooquistes de *Cryptosporidium* (Payment & Franco, 1993), mentre que com a indicadors vírics s'ha proposat la utilització de bacteriòfags, és a dir, de virus que infecten a bacteris (IAWPRC, 1991).

D'entre els bacteriòfags, se n'han proposat tres grups que infecten a bacteris que tenen el tub digestiu d'animals de sang calenta com a hàbitat natural. Aquests són els colifags somàtics, els bacteriòfags F-RNA específics i els bacteriòfags que infecten *Bacteroides fragilis*. Diversos treballs publicats en l'última dècada demostren que els bacteriòfags poden ser indicadors útils de contaminació fecal (Havelaar, 1993; Jofre et al., 1995; Lewis, 1995; Sobsey et al., 1995; Gantzer & Schwartzbrood, 1998; Jofre & Lucena, 2006). Fins i tot hi ha algun informe que indica que els bacteriòfags són millors indicadors de risc de malaltia que els bacteris en usuaris d'aigües potables d'origen superficial, (Lee et al. 1997). No obstant això, no hi ha consens sobre la superioritat dels bacteriòfags sobre els bacteris com a criteri de qualitat microbiològica de l'aigua (Crook, 1996). És per això que es requereixen estudis comparatius, en els quals s'analitzi el comportament d'ambdós tipus d'indicadors i d'alguns patògens, com el que es proposa en aquest estudi.

Tecnologies de desinfecció per a la regeneració de les aigües

Cloració.- L'acció bactericida del clor és causada principalment per la reacció sobre els aminoàcids proteics, produint la inactivació del sistema enzimàtic i de les proteïnes de la membrana cel·lular. Els efectes bactericides dels agents desinfectants depenen del pH, del temps de contacte i de la temperatura de l'aigua. De tots els desinfectants emprats, el clor i els seus derivats són segurament els més universalment utilitzats. Els compostos de clor emprats amb major freqüència a les plantes de depuració d'aigües són el clor gas (Cl_2), l'hipoclorit de sodi (NaOCl), l'hipoclorit de calci ($\text{Ca(OCl}_2\text{)}$) i el diòxid de clor (ClO_2).

El diòxid de clor és considerat com una de les millors alternatives a la cloració convencional. És un oxidant efectiu que s'empra en aigües amb fenols i que elimina els problemes d'olors i disminueix la formació de trihalometans respecte a altres formes de cloració. Alhora, té l'inconvenient que oxida un gran nombre de compostos i d'ions, com ara el ferro, el manganès i els nitrits. No reacciona amb l'amoni ni amb el brom. A causa de la seva inestabilitat s'ha de produir *in situ*, però no genera subproductes en quantitat apreciable. És considerat un bon biocida, que afecta també a les algues.

Els hipoclorits de sodi i de calci se solen emprar a les plantes petites, especialment en les prefabricades, en les quals la simplicitat i la seguretat són criteris prioritaris al cost. Els efluent de la majoria de les plantes de depuració d'aigües contenen quantitats significatives de nitrogen, generalment en forma amoniacal, que reacciona ràpidament amb l'àcid hipoclorós per formar tres tipus de cloramines: monocloramina (NH_2Cl), dicloramina (NHCl_2) i triclorur de nitrogen (NCl_3). Aquestes reaccions són altament dependents de la temperatura, del pH, del temps de contacte i de la proporció inicial entre el clor i l'amoni. Les dues espècies predominants en la majoria dels casos són la monocloramina i la dicloramina. El clor present en aquests compostos rep el nom de clor residual combinat. Les cloramines també tenen capacitat de desinfecció, tot i que la seva velocitat de reacció és més lenta que la del clor en absència d'amoni. L'avantatge més destacat de les cloramines és la seva menor reactivitat amb la matèria orgànica, la qual cosa redueix considerablement la generació de subproductes de la desinfecció. Aquesta característica fa que nombrosos sistemes de desinfecció, especialment d'aigües de consum humà, optin per la cloraminació com a forma de desinfecció capaç de respectar les limitacions cada vegada més estrictes sobre el contingut de subproductes de la desinfecció en aigües de consum públic. El fet que el clor lliure sigui un fort agent oxidant dificulta el manteniment d'una concentració de clor residual durant la desinfecció de les aigües residuals. No obstant això, la presència de notables concentracions d'amoni en els efluent depurats permet la generació de cloramines, que són molt més estables (atesa la seva menor reactivitat) i permeten mantenir una concentració de clor combinat residual durant més temps del que ho faria el clor lliure residual.

El procés habitual de desinfecció consisteix en la injecció d'una solució de clor a l'inici d'un laberint de cloració. La dosificació de clor depèn sobretot de la qualitat de l'aigua depurada i del temps de contacte disponible, essent les dosis habituals d'entre 5 i 10 mg Cl_2/l . Els laberints estan dissenyats normalment per permetre un temps de contacte mínim de 15 minuts, tot i que l'obtenció de nivells de qualitat superiors pot requerir un temps de contacte de fins a 120 minuts.

La presència de partícules en suspensió és un altre dels problemes que es presenten a l'hora de clorar les aigües residuals depurades. Manglik et al. (1987) afirmen que, per a una dosi de clor determinada, la desinfecció presenta una bona correlació amb la distribució de la mida de partícules en l'aigua residual, motiu pel qual als Estats Units les aigües a regenerar acostumen a ser filtrades abans de la desinfecció. Pel que fa a la resistència dels organismes a la cloració, els quists de protozous són més resistents al clor que els virus i que els bacteris, mentre que la major part dels ous d'helminths no es veuen afectats en

absolut per la cloració (Northington, 1970). Alguns autors desaconsellen la cloració de les aigües depurades, per la possibilitat que es generin subproductes indesitjats.

Llum ultraviolada (UV).- La llum ultraviolada actua sobre els àcids nucleics dels microorganismes exposats, la qual cosa n'altera la viabilitat. La llum ultraviolada és el component de l'espectre electromagnètic que es troba entre els rajos X i la llum visible, amb unes longituds d'ona situades entre els 100 nm i els 400 nm. Les longituds d'ona amb un major efecte germicida són les corresponents a les regions UVC i UVB -entre els 200 i 315 nm-, sent la més efectiva per a la inactivació dels microorganismes la de 254 nm, pel fet de ser la més propera al punt de màxima absorció de la molècula d'ADN, situat en els 265 nm.

L'eficiència de la desinfecció amb llum ultraviolada depèn fonamentalment dels següents factors:

1. La dosi de llum aplicada a l'aigua.
2. Les característiques fisicoquímiques i microbiològiques de l'aigua a desinfectar.
3. La configuració del reactor en el qual es troben ubicades les làmpades.
4. L'estat de manteniment de l'equip, i en especial del grau de neteja de les beines de quars que envolten les làmpades emissores de llum ultraviolada.

La dosi o quantitat d'energia aportada en forma de llum ultraviolada és directament proporcional a la intensitat mitjana dins del reactor i al temps d'exposició (Tchobanoglous & Burton, 1991), i a nivell teòric s'expressa com:

$$D = I \cdot t$$

On:

D = dosi de llum ultraviolada, mJ/cm^2

I = Intensitat de l'energia, mW/cm^2

t = temps d'exposició de la mostra a la llum ultraviolada, segons

S'han desenvolupat diversos sistemes per a calcular la dosi òptima de llum ultraviolada a aplicar a una aigua. Un dels sistemes es basa en la corba dosi-resposta, obtinguda a partir d'assajos que permeten determinar la inactivació microbiana en funció de la dosi aplicada. Encara que la dosi teòrica es pot obtenir a partir d'aquesta corba dosi-resposta, en la pràctica es treballa habitualment amb taules facilitades pels fabricants dels sistemes de desinfecció. Aquestes taules permeten calcular la dosi de la llum ultraviolada rebuda per una mostra a partir de la interpolació lineal entre la transmissió de l'aigua mesurada a 254 nm i el cabal tractat pel sistema. Malgrat disposar de diferents metodologies per calcular la dosi de llum ultraviolada aplicada a una aigua, cal tenir present que el resultat serà sempre una estimació, atesa la incertesa que generen factors com l'esmentat grau d'embrutiment de les beines, les variacions que pugui experimentar el valor instantani de la transmissió o la vida útil restant de les làmpades. Així, encara que en la pràctica habitual es treballa amb les taules proporcionades pels fabricants, resulta difícil fer comparacions de dosis entre diferents equips, ja que en la formulació de les dosis teòriques també hi intervenen factors com l'absorció de llum de 254 nm que puguin efectuar les beines de quars, o els factors de seguretat amb què hagin estat dissenyats els equips. Per aquest motiu, la tendència actual és la de referir les dosis a valors verificables de manera objectiva a través de validacions i de bioassajos, defugint alhora les consideracions estrictament físiques, que són de difícil predicció. En l'actualitat, els càlculs de dosis es refereixen als valors obtinguts a partir de bioassajos i s'expressen com a Dosi de Reducció Equivalent (RED), de manera que un equip o un sistema de desinfecció amb llum ultraviolada que ofereixi una RED de $15 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ permet una reducció de 3 unitats lògarítmiques d'un microorganisme que tingui una dosi letal 10 (DL10) de $5 \text{ mJ}/\text{cm}^2$.

De manera simplificada, la dosi de llum ultraviolada necessària per a la inactivació dels microorganismes patògens depèn de la qualitat de l'aigua i del grau de inactivació que es desitgi. Diversos investigadors (USEPA, 1992; USEPA, 1996; White, 1992) han observat que la supervivència dels microorganismes patògens enfront de la llum ultraviolada respon a una relació cinètica de primer ordre, proporcional a la dosi i al temps d'exposició. Qualsevol element que dificulti la reacció de la llum ultraviolada amb els microorganismes disminuirà l'eficàcia de la desinfecció. Diversos investigadors (Yip & Konasewich, 1972; Scheible & Bassell, 1981) han observat que el pH de l'aigua no té cap efecte sobre la capacitat de desinfecció de la llum ultraviolada.

La transmitància de l'aigua és un factor determinant en l'eficàcia de la llum ultraviolada com a agent desinfectant. La quantitat de llum disponible per a la inactivació dels microorganismes és major quan més elevada és la transmitància de l'aigua en la regió de l'ultraviolat (254 nm). Valors baixos de transmitància indiquen la presència en l'aigua de compostos tant inorgànics (ferro) com orgànics (àcids húmics, compostos aromàtics), que absorbeixen la llum ultraviolada, de manera que la quantitat disponible per a la inactivació dels microorganismes és menor. Tant la concentració com la distribució de les partícules de matèria en suspensió afecten al rendiment de la desinfecció amb llum ultraviolada, ja que generen zones d'ombra en les quals els microorganismes poden escapar a l'efecte desinfectant d'aquella i alhora esdevenen punts d'adsorció per als microorganismes presents en l'aigua residual. Així, la presència de partícules fa disminuir la inactivació microbiana pels efectes de bloqueig, dispersió i absorció que provoquen en la llum ultraviolada, així com per la major concentració de microorganismes que comporta. La llum ultraviolada actua amb graus variables d'eficàcia contra bacteris i virus i, en el cas de làmpades de pressió mitjana, contra protozous patògens com *Giardia* i *Cryptosporidium*.

Normativa

En aquest moment (juliol de 2006) Espanya no disposa encara d'una normativa específica sobre la reutilització d'aigües, encara que poden esmentar-se les iniciatives d'algunes comunitats autònomes, com és el cas d'Andalusia, Balears i Catalunya. Malgrat tot, des de fa anys existeix un esborrany preparat pel Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX, 1999) que està pendent de ser publicat en la seva forma legal definitiva i que contempla unes directrius relatives a les concentracions de coliformes fecals i d'ous de helmint. Aquests últims, que sens dubte tenen un enorme interès en països en fase de desenvolupament, poden no tenir-lo en països desenvolupats, on la molt baixa incidència de malalties parasitàries fa que hi hagi una molt baixa presència d'ous d'helmint en l'aigua regenerada (Campos, 1998). L'aplicació de processos de depuració secundària cada vegada més intensos i fiables està contribuint també a que la presència d'ous d'helmint en els efluent depurats sigui pràcticament indetectable en volums de mostra de fins a 50 litres (dades inèdites del Consorci de la Costa Brava). Una comissió d'experts establerta per l'Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento (AEAS) ha fet unes propostes i recomanacions per a una legislació sobre reutilització d'aigües, en la qual es contemplen aquests paràmetres i on es recomana aprofundir en els estudis sobre la utilització d'indicadors vírics, com per exemple els bacteriòfags.

EL CONSORCI DE LA COSTA BRAVA I EL SANEJAMENT A LA VALL D'ARO

Introducció

El Consorci de la Costa Brava (CCB) és un organisme supramunicipal que aplega els 27 municipis del litoral gironí i la Diputació de Girona i que, des de 1971, s'ocupa de la gestió del cicle de l'aigua en aquest territori, amb especial èmfasi en el sanejament i en el tractament de les aigües residuals.

L'any 1983 va entrar en servei l'EDAR de Castell-Platja d'Aro (Figura 1), que dona servei a aquest municipi i també als de Sant Feliu de Guíxols i de Santa Cristina d'Aro i que, des d'aleshores i fins l'1 d'abril de 2006, ha estat explotada i mantinguda per l'empresa SEARSA. A partir d'aquesta data, pren el relleu en l'explotació i manteniment l'Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava, SA, una empresa mixta formada pel CCB com a ens públic i per un ens privat format per l'Agrupació d'Interès Econòmic de les empreses Sorea, Aqualia i SEARSA.

L'EDAR de Castell-Platja d'Aro és una instal·lació de fangs activats convencional que tracta entre uns 8.000 m³/dia a l'hivern i uns 28.000 m³/dia a l'estiu (entre 5 i 6 hm³/any, la segona més important en l'àmbit del CCB en termes de volum tractat) i que consta d'un pretractament, tres decantadors primaris, tres reactors biològics i tres decantadors secundaris en la línia d'aigües, i de dos espessidors, tres digestors aerobis i dues centrífugues en la línia de fangs. Mentre que els rendiments anuals d'eliminació de demanda bioquímica d'oxigen (DBO) i de matèria en suspensió (MES) són elevats, a l'entorn del 97%, aquesta instal·lació no està preparada per eliminar el nitrogen de l'aigua residual, ni tampoc per a la desinfecció de la totalitat de l'aigua tractada, que és abocada en part al mar a través d'un emissari submarí i en part a la llera del riu Ridaura a Castell d'Aro, on es troba ubicada l'EDAR. Tot i que l'EDAR no disposa d'elements de mesura del cabal que és abocat al mar a través de l'emissari submarí, es pot estimar que per aquesta via s'evacuen uns 6.000 - 8.000 m³/dia, la qual cosa vol dir que a l'hivern la major part del cabal és abocat al mar i que la sortida al Ridaura és relativament petita, mentre que a l'estiu la major part de l'aigua, aproximadament uns dos terços del total, és abocada a la llera del Ridaura.



Figura 1. Vista general de l'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) de Castell-Platja d'Aro

El tractament terciari o de regeneració

L'any 1989 es va iniciar el procés de regeneració d'aigües a l'EDAR de Castell-Platja d'Aro. Inicialment, aquest tractament incloïa tan sols una desinfecció amb hipoclorit de l'efluent secundari, fins que l'any 1998 es va construir la planta de regeneració actual, amb un tractament més complet, la qual cosa va servir per millorar la qualitat de l'aigua regenerada també des del punt de vista físic i químic. Actualment aquesta instal·lació subministra aigua regenerada per al reg agrícola, de camps de golf i de zones verdes de la Vall d'Aro.

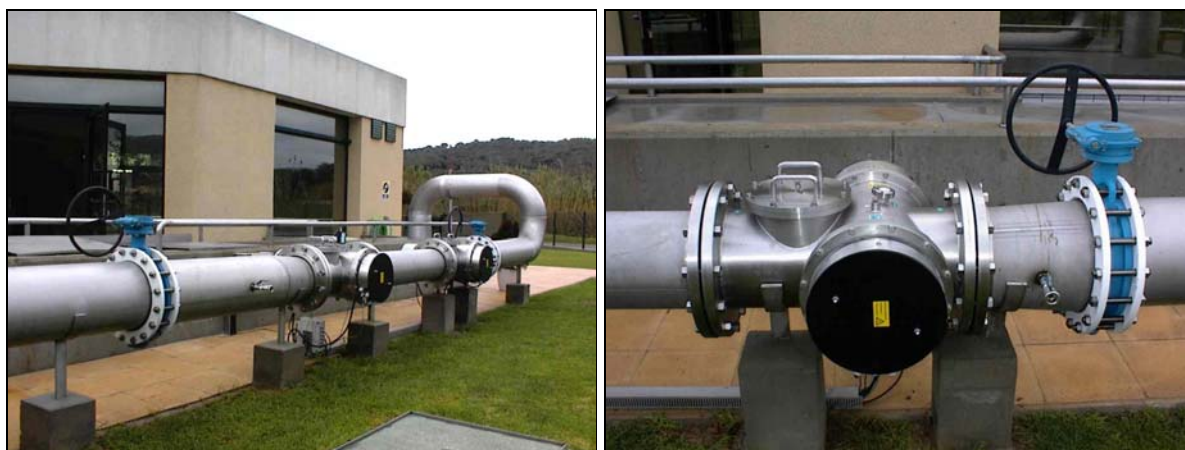
La planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro està dissenyada per a un cabal teòric de 625 m³/hora (15.000 m³/dia) i té com a objectiu la millora de la qualitat fisicoquímica de l'aigua a través de paràmetres com la matèria en suspensió i la terbolesa, i la reducció o eliminació dels microorganismes patògens encara presents en l'efluent secundari. Aquest tractament, però, no modifica les concentracions de nutrients (nitrogen i fòsfor) presents en l'efluent secundari, que continuen essent pràcticament idèntiques en l'aigua regenerada.

Les etapes del tractament de regeneració de l'aigua de Castell-Platja d'Aro són les següents:

- *Coagulació*: la coagulació és una etapa opcional que només es realitza a l'estiu quan el valor de la matèria en suspensió en l'efluent secundari es troba per sobre de 20 mg/l, i que consisteix en una addició de policlorur d'alumini en una cambra de contacte de 57 m³ de capacitat i proveïda d'un agitador.
- *Filtració*: la filtració es realitza mitjançant filtres de sorra de llit pulsat marca HydroClear, pels quals es fa passar l'efluent secundari, amb o sense coagulant (depenent de l'època de l'any), a fi de reduir-ne la terbolesa i la matèria en suspensió, i d'augmentar-ne la transmitància a 254 nm (Figures 2 i 3). Es disposa de 4 cel·les de filtració que presenten una única matriu filtrant de sorra de quars de gra fi, i que tenen 25 centímetres de gruix. El cabal de disseny és de 625 m³/hora i la superfície filtrant és de 80 m² (20 m² x 4 llits), la qual cosa dóna una velocitat de filtració teòrica de 7,81 m/h.
- *Desinfecció amb llum ultraviolada*: l'aigua filtrada passa a una cambra de bombament que compta amb quatre bombes marca Hidrostal model D04Q-501 i que donen un cabal unitari de 121 m³/h. Cada bomba impulsa l'aigua per una canonada de descàrrega de 150 mm de diàmetre fins a un col·lector que comunica amb la canonada de desinfecció de 300 mm de diàmetre. Un cop l'aigua arriba en aquest punt es troba amb els equips de desinfecció amb llum ultraviolada (Figures 4 i 5), que són dos equips Berson In Line 5000 situats en sèrie i de manera perpendicular al flux de l'aigua a desinfectar. Cada equip disposa de 4 làmpades de pressió mitjana model B3535 (4 làmpades x 2 equips = 8 làmpades totals en funcionament) i d'un sistema de neteja automàtica "ultra wipe" amb dosificació química d'àcid per prevenir i netejar les precipitacions sobre els protectors de quars de les làmpades (beines). Tot i així, per mantenir-los nets i lliures d'incrustacions es combina aquesta neteja periòdica automàtica amb una neteja química manual amb un agent desincrustant una vegada a la setmana. La dosi aportada per aquests equips ha estat calculada en funció dels següents paràmetres: llum emesa, cabal, transmitància a 254 nm, nivell de potència i hores de funcionament acumulades.



Figures 2 i 3: Filtració de l'efluent secundari a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro. Esquerra: funcionament normal del filtre. Dreta: Filtre en fase de contrarrentat.



Figures 4 i 5. Vista general i de detall dels equips de desinfecció amb llum UV instal·lats a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro.

- **Postcloració:** La postcloració és la darrera fase del tractament i es produeix després de la desinfecció amb llum ultraviolada. Té com a finalitat complementar-ne l'efecte desinfectant, per tal d'assolir una major qualitat microbiològica i una major regularitat en els resultats. Aquest tractament consisteix en aportar hipoclorit sòdic al 15% a partir de dues bombes dosificadores marca ProMinent, model Vario, amb un cabal màxim de 30 l/h (Figura 6), fins arribar a una dosi de 5 mg Cl_2/l . El seguiment de la dosificació es realitza a través de controls periòdics del cabal aportat per les bombes, així com de les concentracions de clor residual lliure i total en l'aigua regenerada. La Figura 7 mostra la qualitat habitualment assolida en l'aigua produïda per la planta de regeneració de Castell-Platja d'Aro.

L'any 2005 es van regenerar uns 944.000 m³, dels quals 610.000 m³ van ser subministrats per a usos de reg, mentre que els 334.000 m³ restants van ser abocats al riu Ridaura. Aquest volum se suma als 1.600.000 m³ que s'estima que poden haver estat abocats com a efluent secundari, una vegada descomptats els 2.200.000 m³ que poden haver arribat a mar

a través de l'emissari submarí (6.000 m³/dia durant els 365 dies de l'any). Cal tenir present que si en un any hidrològicament normal aquestes xifres ja haurien de ser preses com a orientatives, encara ho han de ser més pel 2005. Les severes inundacions del mes d'octubre van deixar fora de servei el cabalímetre d'entrada a la planta durant uns deu dies, i la situació en la qual van quedar les instal·lacions en aquell moment fa difícil saber quin tipus d'aigua va acabar sortint al riu i amb quina qualitat.



Figures 6 i 7. Vista general de la sala de dosificació de reactius i de l'aigua regenerada produïda a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro.

Evolució del tractament de regeneració i motius per a l'experimentació

Després dels estudis preliminars realitzats entre agost de 1996 i març de 1997 amb una planta pilot de desinfecció de llum ultraviolada cedida per Trojan Technologies España SL (Mujeriego et al., 1998), l'any 1998 es va instal·lar el primer equip de llum ultraviolada en la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro de la marca Delta-UV. Aquest equip estava format per 114 làmpades de baixa pressió en canal obert i sense neteja automàtica de les beines, i estava dissenyat per a un cabal teòric de 625 m³/hora. L'elevada despesa de reposició de les làmpades, juntament amb el ràpid embrutiment de les beines i la impossibilitat de fer-hi sovint una neteja manual per restituir-ne la capacitat d'emissió, van ser els factors determinants que l'any 2000 en van recomanar la substitució per un equip més modern i que pogués oferir una més gran garantia de desinfecció. L'equip instal·lat aleshores i encara en servei avui en dia està format per 8 làmpades de pressió mitjana en canal tancat, distribuïdes en dos mòduls de 4 làmpades cadascuna, i amb espai reservat per a 8 làmpades més en cas de necessitat d'ampliació immediata. Aquest equip es va dimensionar per assolir una reducció de 4 unitats logarítmiques de coliformes fecals per a un cabal de 300 m³/hora. Els resultats de les proves efectuades l'hivern de l'any 2000, en condicions de treball favorables per a l'equip, feien pensar en que aquesta reducció teòrica podria ser assolida fins i tot en l'època de condicions menys favorables.

No obstant això, la realitat ha mostrat una notable diferència en la reducció de les concentracions de coliformes fecals entre els mesos d'hivern, en els que les transmitàncies són més elevades (a l'entorn del 65%) i les concentracions de coliformes fecals són baixes (entre 10⁴ i 10⁵ ufc/100 ml), i els mesos d'estiu, en els quals la transmitància baixa fins a situar-se a l'entorn del 50% i la concentració de coliformes fecals puja fins als 10⁶ - 10⁷ ufc/100 ml. Això indica que per a l'assoliment de la desinfecció requerida, tant en reducció logarítmica com en regularitat, cal seguir emprant l'hipoclorit com a agent desinfectant complementari. Atesos tant aquest rendiment estival inferior a l'esperat com la despesa que representa la substitució periòdica de les làmpades (la seva vida útil és d'entre 1 i 2 anys,

fins arribar a unes 8.000 hores de funcionament), es va plantejar la possibilitat de deixar l'equip de desinfecció amb llum UV fora de servei i d'utilitzar tan sols l'hipoclorit per a la desinfecció de l'aigua regenerada, com a forma de contenir els costos d'explotació.

Aquest plantejament podria ser vàlid si la desinfecció amb llum ultraviolada tan sols servís per reduir les concentracions de coliformes fecals o d'*Escherichia coli*. És conegut que els ooquistes d'alguns protozous com *Cryptosporidium* o *Giardia*, considerats patògens emergents i que han provocat algunes importants epidèmies lligades a la distribució d'aigua potable com la de Milwaukee el 1993 (Wisconsin Department of Natural Resources, 2003), són molt resistents al clor i en canvi molt sensibles a la llum ultraviolada. Per tant, és possible que el rendiment dels equips de desinfecció amb llum ultraviolada de la planta de regeneració de Castell-Platja d'Aro no hagi de ser avaluat tan sols per la reducció logarítmica de coliformes que assoleixen, sinó pel control que exerceixen sobre altres tipus de microorganismes patògens, com *Cryptosporidium* i *Giardia*, un objectiu que difícilment s'assoliria si es fes servir l'hipoclorit com a únic desinfectant.

Per a investigar aquestes qüestions, i en base als convenis de col·laboració actualment existents, el CCB, la UPC i la UB han treballat conjuntament amb SEARSA per tal de definir un protocol experimental que permetés d'esbrinar les qüestions abans esmentades, i al mateix temps aportar noves dades i experiències sobre les estratègies més adients per a la correcta desinfecció de les aigües regenerades, de cara a una més gran protecció de la salut pública i del medi ambient.

OBJECTIUS

L'objectiu general d'aquest estudi és el d'avaluar l'efecte que produeixen dos agents desinfectants com la llum UV i l'hipoclorit, sols i en combinació, sobre els diferents tipus de microorganismes (bacteris, virus i protozous) presents en un efluent secundari real. Aquesta avaluació s'ha dut a terme a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro al llarg de dues setmanes del mes de juliol de 2005, a fi de comprovar aquests efectes quan la instal·lació treballa sota condicions més adverses, a causa de la temporada turística estival.

Entre els objectius específics d'aquest estudi podem destacar:

- Caracteritzar la qualitat fisicoquímica i microbiològica de l'efluent secundari, abans d'iniciar el tractament de regeneració.
- Determinar els paràmetres operatius del tractament de regeneració, en especial de l'equip de llum UV i de la bomba dosificadora d'hipoclorit, i calcular les dosis aportades de cadascun dels agents desinfectants.
- Avaluar l'efecte dels desinfectants esmentats, sols i en combinació, sobre tres grups de bacteris (coliformes fecals, enterococs fecals i espores de clostridis sulfit-reductors, ordenats segons resistència creixent), quatre grups de bacteriòfags (colifags somàtics, fags F-RNA i fags RYC i GA17 de *Bacteroides fragilis*), i un protozou patògen com és *Cryptosporidium* spp.
- Establir criteris pràctics per a una millor explotació i manteniment dels sistemes de desinfecció de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro, tant des del punt de vista de la seguretat sanitària com de l'optimització dels costos.
- Aportar la informació bàsica necessària per a una posterior realització d'estudis més aprofundits sobre possibles combinacions d'agents desinfectants, com a part essencial del procés de regeneració d'aigua.

MATERIAL I MÈTODES

Tractament de regeneració

El tractament de regeneració utilitzat durant l'estudi va consistir en una filtració, seguida de l'aplicació dels agents desinfectants (llum ultraviolada i clor), sols o en combinació. El temps de contacte entre el clor i l'aigua regenerada s'ha estimat mitjançant el temps de residència mitjà de l'aigua en el dipòsit de sortida. 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 de pistó.

En base a la llum emesa i a la transmitància de l'aigua a 254 nm (entre el 43 i el 60% en la major part de mostres d'aigua filtrada), les dosis de llum ultraviolada aportades durant l'experiment van oscil·lar entre els 24 i els 36 mJ/cm², excepte en una de les mostres en què la dosi va ser de 12 mJ/cm², producte d'un valor anormalment baix de transmitància (26%). Aquestes dosis van ser calculades per Teqma SL, empresa representant a Espanya del fabricant dels equips, Berson UV-Techniek, a partir de les dades de qualitat de l'aigua i de les especificacions tècniques de la pròpia instal·lació.

Les dosis de clor emprades durant l'estudi van ser dues:

- a) Dosi d'afinament, de 5 mg Cl₂/l, que s'afegien després del pas per l'equip de desinfecció amb llum ultraviolada.
- b) Dosi de desinfecció, de 10 mg Cl₂/l, que s'afegien en el mateix punt, però amb l'equip de desinfecció amb llum ultraviolada totalment apagat.

Les concentracions de clor residual total mesurades han permès estimar uns valors del paràmetre C·t que oscil·len entre els 81 i els 135 mg Cl₂·min/l en la cloració d'afinament (dosi de 5 mg Cl₂/l), i entre els 162 i 270 mg Cl₂·min/l en la cloració de desinfecció (dosi de 10 mg Cl₂/l).

Les condicions bàsiques dels experiments, sempre buscant la màxima estabilitat del tractament de regeneració, van ser:

- El cabal affluent al tractament de regeneració es va mantenir estable en 250 m³/hora.
- Les mostres per avaluar l'eficiència de la llum ultraviolada es van prendre sempre amb dues de les bombes d'aigua filtrada en funcionament, a fi que el cabal instantani fos com més estable possible.
- Les beines de quars de les làmpades de llum ultraviolada es van netejar manualment amb una substància desincrustant la tarda prèvia a cada dia de mostreig.
- Les mostres per a l'avaluació de l'eficàcia de la llum ultraviolada es van prendre amb totes 8 làmpades en funcionament.

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

Determinació de la qualitat de l'aigua regenerada

Qualitat fisicoquímica

La Taula 1 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 assegurar la màxima representativitat dels resultats.

Taula 1. Descripció i mètodes d'anàlisi dels paràmetres fisicoquímics determinats en les diferents mostres d'aigua obtingudes a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro.

Paràmetres fisicoquímics	Mètodes analítics
MES (mg/l) Terbolesa (NTU) Transmitància a 254 nm (%) Clor Total	Standard Methods, 2540-D Nefelometria Espectrofotometria 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 un ampli ventall de microorganismes, per tal de valorar l'eficàcia dels diferents desinfectants davant de cadascun d'ells i en cadascun dels tractaments aplicats.

Aquests microorganismes han estat els següents:

- Bacteris indicadors
 - o Coliformes fecals
 - o Enterococs fecals
 - o Espores de clostridis sulfit-reductors
- Bacteriòfags indicadors
 - o Colifags somàtics
 - o Fags F-RNA
 - o Fags de *Bacteroides fragilis* RYC2056
 - o Fags de *Bacteroides fragilis* GA17
- Protozous
 - o *Cryptosporidium*, (ooquistes totals, viables i infectius)

Tècniques de concentració i enumeració

Bacteris

- Coliformes fecals: Enumeració mitjançant la filtració per membrana i sembra en el medi selectiu mFC agar.
- Enterococs fecals: Enumeració mitjançant la filtració per membrana i sembra en el medi selectiu mEnterococcus agar.
- Espores de clostridis sulfit-reductors: enumeració 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).

- Fags F-RNA: Concentració per filtració segons Méndez et al. 2004 i enumeració mitjançant ISO 10705-1 (Anònim, 1995).
- Fags de *Bacteroides fragilis* RYC: Concentració per filtració segons Méndez et al. 2004 i enumeració mitjançant ISO 10705-4 (Anònim, 2001).
- Bacteriòfags de *Bacteroides tethaiaomicron* GA17 (nova soca en estudi al DM, Payán et al. 2005): Concentració per filtració segons Méndez et al. 2004 i enumeració mitjançant ISO 10705-4 (Anònim, 2001).

Protozous

- *Cryptosporidium*: El protocol seguit és el següent:
 - Concentració de les mostres segons el protocol descrit en el Mètode 1623 (USEPA, 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).

Nomenclatura

La nomenclatura utilitzada en aquest estudi ha estat la següent:

- CF: coliformes fecals, ufc/100 ml.
- EF: enterococs fecals, ufc/100 ml.
- CSR: espores de clostridis reductors de sulfit, ufc/100 ml.
- SOM: colifags somàtics, ufp/100 ml.
- FRNA: bacteriòfags F-RNA específics, ufp/100 ml.
- RYC: fags que infecten a la soca RYC2056 de *Bacteroides fragilis*, ufp/100 ml.
- GA17: fags que infecten a la soca GA17 de *Bacteroides fragilis*, ufp/100 ml.
- CRYOT: ooquistes totals de *Cryptosporidium* spp/litre
- CRYOV: ooquistes viables de *Cryptosporidium* spp/litre
- CRYOI: ooquistes infecciosos de *Cryptosporidium* spp/litre
- SEC: efluent secundari
- CLO: efluent amb tractament de cloració
- UV: efluent amb tractament de llum ultraviolada
- CUV: efluent amb tractament combinat de cloració i llum ultraviolada

Exemples:

- SECFRNA: Valors de bacteriòfags F-RNA específics, ufp/100 ml en l'efluent secundari
- CLOFRNA: Valors de bacteriòfags F-RNA específics, ufp/100 ml en l'aigua clorada

Presa de mostres

Les mostres analitzades han estat les següents:

- Efluent secundari (efl 2ari).
- Aigua regenerada desinfectada només amb llum UV (UV).
- Aigua regenerada desinfectada només amb clor (Clor); dosi teòrica de 10 mg Cl₂/l.

- Aigua regenerada desinfectada amb llum UV i clor (UV+Clor); dosi teòrica de 5 mg Cl₂/l.

Les mostres van ser recollides en ampolles estèrils i preservades en fred fins a la seva anàlisi al laboratori de la UB. Les anàlisis de bacteries i bacteriòfags es van realitzar durant les 12 h posteriors a la recollida, segons la metodologia descrita anteriorment. Les mostres de *Cryptosporidium* van ser concentrades *in situ*, mitjançant filtració en càpsules Envirocheck (USEPA, 1999), a raó de 2 litres per minut. El volum de les mostres d'aigua filtrada ha estat de 20 litres, i els volums de les mostres d'aigua regenerada desinfectada, ja fos amb llum ultraviolada o amb clor, ha estat de 50 a 80 litres, en funció de la seva qualitat.

Calendari de recollida de mostres

Setmana 1

3 dies (dll, dma, dj) i 3 preses de mostres al dia

Dilluns dia 11 de juliol de 2005

Mostres a recollir: 1 Efl 2ari, 2 UV, 2 UV+Clor i 1 Clor

- 9:00 h: 1 mostra efl 2ari, 1 mostra UV, 1 mostra UV+Clor (5 mg Cl₂/l)
- 11:00 h: 1 mostra UV, 1 mostra UV+Clor (5 mg Cl₂/l)
- Aturada UV i dosi de clor augmentada a 10 mg Cl₂/l
- 13:00 h: 1 mostra Clor

Dimarts dia 12 de juliol de 2005

Mostres a recollir: 1 Efl 2ari, 1 UV, 1 UV+Clor i 2 Clor

- 9:00 h: 1 mostra efl 2ari, 1 mostra UV, 1 mostra UV+Clor (5 mg Cl₂/l)
- Aturada UV i dosi de clor augmentada a 10 mg Cl₂/l
- 11:00 h: 1 mostra Clor
- 13:00 h: 1 mostra Clor

Dijous dia 14 de juliol de 2005

Mostres a recollir: 1 Efl 2ari, 1 UV, 1 UV+Clor i 1 Clor

- 9:00 h: 1 mostra efl 2ari, 1 mostra UV, 1 mostra UV+Clor (5 mg Cl₂/l)
- Aturada UV i dosi de clor augmentada a 10 mg Cl₂/l
- 12:30 h: 1 mostra Clor

Setmana 2

3 dies (dll, dme, dj) i 3 preses de mostres al dia

Dilluns dia 25 de juliol de 2005

Mostres a recollir: 1 Efl 2ari, 1 UV, 1 UV+Clor i 2 Clor

- 9:00 h: 1 mostra efl 2ari, 1 mostra UV, 1 mostra UV+Clor (5 mg Cl₂/l)
- Aturada UV i dosi de clor augmentada a 10 mg Cl₂/l
- 11:00 h: 1 mostra Clor
- 13:00 h: 1 mostra Clor

Dimecres dia 27 de juliol de 2005

Mostres a recollir: 1 Efl 2ari, 2 UV, 2 UV+Clor i 1 Clor

- 9:00 h: 1 mostra efl 2ari, 1 mostra UV, 1 mostra UV+Clor (5 mg Cl₂/l)
- 11:00 h: 1 mostra UV, 1 mostra UV+Clor (5 mg Cl₂/l)

- Aturada UV i dosi de clor augmentada a 10 mg Cl₂/l
- 13:00 h: 1 mostra Clor

Dijous dia 28 de juliol de 2005

Mostres a recollir: 1 Efl 2ari, 2 UV, 2 UV+Clor i 1 Clor

- 9:00 h: 1 mostra efl 2ari, 1 mostra UV, 1 mostra UV+Clor (5 mg Cl₂/l)
- 11:00 h: 1 mostra UV, 1 mostra UV+Clor (5 mg Cl₂/l)
- Aturada UV i dosi de clor augmentada a 10 mg Cl₂/l
- 13:00 h: 1 mostra Clor

Resum de les mostres preses:

- Mostres d'efluent secundari: 6
- Mostres de desinfecció amb llum UV: 9
- Mostres de desinfecció amb clor: 8
- Mostres de desinfecció combinada llum UV i clor: 9

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Anàlisis físicoquímiques

La qualitat de l'efluent secundari produït per l'EDAR de Castell-Platja d'Aro durant les dues setmanes de recollida de mostres (de l'11 al 17 i del 25 al 31 de juliol de 2005) va estar dins dels límits legals, amb valors de MES apreciablement inferiors als 35 mg/l que marca la normativa sobre tractament d'aigües residuals. L'evolució de la qualitat físicoquímica tant de l'efluent secundari com de l'aigua regenerada produïda durant l'experiment es presenta de manera resumida a la Taula 2. Els valors de la MES i de la terbolesa inclosos en aquesta taula mostren que la qualitat durant la primera setmana va ser lleugerament millor que durant la segona. Els valors de pH i de conductivitat elèctrica són els enregistrats habitualment en aquesta instal·lació.

Taula 2. Resum de la qualitat físicoquímica de l'aigua en les diferents etapes del procés de regeneració de Castell-Platja d'Aro durant el període d'estudi. Els resultats corresponent a la mitjana i a la desviació típica de cada paràmetre i de cada tipus d'aigua.

Paràmetres	Tipus d'aigua			
	Efluent 2ari	UV	UV+Clor	Clor
Període	11-17 juliol 2005			
Número de mostres	3	4	4	4
pH	7,7 ± 0,0	7,8 ± 0,1	7,9 ± 0,1	7,9 ± 0,0
Conductivitat elèctrica, µS/cm	1333 ± 56	1292 ± 14	1309 ± 42	1342 ± 53
Terbolesa, NTU	3,3 ± 0,4	2,4 ± 0,5	2,6 ± 0,8	2,9 ± 2,2
Transmitància a 254 nm, %	48 ± 1	51 ± 2	48 ± 2	47 ± 6
MES, mg/l	7,5 ± 1,0	5,0 ± 0,7	5,0 ± 2,4	5,6 ± 5,2
Dosi UV, mJ/cm ²	--	27,3 ± 1,4	24,4 ± 1,3	--
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	--	--	3,0 ± 0,0	--
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	--	--	135 ± 0	--
	Efluent 2ari	UV	UV+Clor	Clor
Període	25-31 juliol 2005			
Número de mostres	3	5	5	4
pH	7,6 ± 0,0	--	--	7,6 ± 0,1
Conductivitat elèctrica, µS/cm	1442 ± 18	--	--	1540 ± 0
Terbolesa, NTU	4,2 ± 1,7	1,8 ± 1,3	2,5 ± 1,7	2,8 ± 2,0
Transmitància a 254 nm, %	44 ± 9	53 ± 6	46 ± 12	36 ± 23
MES, mg/l	10,1 ± 2,8	4,1 ± 2,6	6,5 ± 7,2	4,0 ± 2,4
Dosi UV, mJ/cm ²	--	29,9 ± 6,0	24,7 ± 8,0	--
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	--	--	1,9 ± 0,4	4,8 ± 1,4
C·t, mg Cl ₂ ·min/l	--	--	67 ± 18	216 ± 63

En general, els valors es van mantenir relativament constants per a cada tipus d'aigua, excepte per a les mostres d'aigua regenerada desinfectada només amb clor de la primera setmana d'experimentació i les de la combinació de llum ultraviolada i clor de la segona setmana, que van presentar uns marges de variació més grans –unes desviacions típiques més elevades– que en la resta de tractaments. Tant en un cas com en l'altre, aquestes majors desviacions típiques són producte d'una única mostra que és marcadament diferent de la resta de mostres per a aquell tractament en qüestió. Atès que aquestes variacions apareixen de forma relativament sobtada dins de la sèrie de resultats recollits (veure Annex I), es formula la hipòtesi que aquests valors extrems puguin ser causats per alguna mena d'interferència en el mostreig, més que no pas per una alteració puntual del funcionament del tractament de regeneració.

Anàlisis microbiològiques

Tots els resultats del present informe s'han expressat en el seu valor logarítmic. S'ha assignat un acrònim a cada paràmetre estudiat, amb la finalitat de facilitar-ne la comprensió. Un procés similar s'ha adoptat amb els diferents tipus d'aigües resultants dels tractaments aplicats.

Taula 3. 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 11-17 i 25-31 de juliol de 2005 a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro.

Mostra	N	Mínim	Màxim	Mitjana	Desviació típica
SECCF	6	5,15	5,90	5,69	0,27
SECEF	6	4,78	5,04	4,92	0,09
SECCSR	6	3,30	4,08	3,75	0,29
SECSOM	6	5,11	5,36	5,24	0,08
SECFRNA	6	2,60	4,32	3,84	0,62
SECRYC	6	1,70	3,16	2,53	0,56
SECGA17	6	2,98	3,65	3,23	0,31
SECCRYOT	2	2,00	2,04	2,02	0,02
SECCRYOV	2	1,59	1,70	1,64	0,07
SECCRYOI	2	1,22	1,23	1,22	0,005
CLOCF	9	0,00	1,85	0,69	0,66
CLOEF	9	0,00	2,60	0,54	1,08
CLOCSR	8	2,52	3,59	3,00	0,34
CLOSOM	9	2,30	4,17	3,67	0,59
CLOFRNA	9	2,90	4,01	3,51	0,36
CLORYC	9	0,90	2,88	2,07	0,71
CLOGA17	9	1,32	3,20	2,31	0,66
CLOCRYOT	3	1,47	2,40	1,89	0,46
CLOCRYOV	3	1,12	1,98	1,49	0,44
CLOCRYOI	3	0,54	1,36	0,93	0,41
UVCF	9	3,00	5,46	3,89	0,75
UVEF	9	2,60	4,54	3,34	0,59
UVCSR	9	2,90	3,54	3,23	0,19
UVSOM	9	2,40	4,60	3,03	0,63
UVFRNA	9	2,32	3,56	2,90	0,37
UVRYC	9	0,00	1,56	0,67	0,57
UVGA17	8	0,95	2,65	1,68	0,52
UVCRYOT	3	0,80	1,77	1,25	0,48
UVCRYOV	3	0,43	1,34	0,86	0,45
UVCRYOI	3	0,00	0,00	0,00	0,00
CUVCF	9	0,00	1,60	0,63	0,75
CUVEF	9	0,00	1,45	0,16	0,48
CUVCSR	9	2,35	3,38	2,88	0,37
CUVSOM	9	1,78	3,46	2,37	0,52
CUVFRNA	9	2,43	4,56	3,02	0,63
CUVRYC	9	0,00	1,48	0,77	0,63
CUVGA17	9	0,30	2,43	1,50	0,60
CUVCRYOT	3	1,39	1,83	1,64	0,23
CUVCRYOV	3	0,95	1,42	1,23	0,25
CUVCRYOI	3	- 0,16	0,00	- 0,10	0,08

La Taula 3 presenta, de manera resumida, els resultats obtinguts al llarg de l'estudi per a cada tipus d'aigua. Els resultats individuals de les anàlisis realitzades es troben recollits a

l'Annex II. La major part de microorganismes disposa d'un número generós de mostres en base a les quals es poden calcular paràmetres estadístics i se'n poden treure conclusions d'una certa solidesa (6 mostres per documentar la qualitat de l'efluent secundari, més estable, i entre 8 i 9, per documentar les variacions introduïdes pels diferents agents desinfectants). En canvi, tan sols s'ha disposat de 2 mostres corresponents a l'efluent secundari per a l'anàlisi dels diferents estadis dels ooquistes de *Cryptosporidium* spp. i de 3 mostres per valorar l'efecte dels tractaments de desinfecció. Aquest fet comporta que les valoracions que es puguin fer sobre la incidència dels agents desinfectants sobre els ooquistes de *Cryptosporidium* spp. hagin de ser preses amb una certa prudència, a l'espera de futurs estudis que amplïin i millorin les informacions que aquí es presenten.

Els nivells de qualitat de l'efluent secundari trobats són els habituals en una EDAR de fangs activats convencional. Les mitjanes geomètriques obtingudes en aquest estudi s'apropen a les 6 ulog/100 ml en el cas dels coliformes fecals, a les 5 ulog/100 ml per als enterococs fecals, i a les 4 ulog/100 ml per a les espores de clostridis reductors de sulfat, mentre que per als diferents virus se situen lleugerament per sobre de 5 ulog/100 ml en el cas dels colífags somàtics, entre 3 i 4 ulog/100 ml per als bacteriòfags F-RNA i GA17, i al voltant de les 2,5 ulog/100 ml per als bacteriòfags RYC. Els baixos valors de les desviacions típiques (entre 0,008 i 0,62 unitats logarítmiques) indiquen una notable estabilitat de les concentracions d'aquests microorganismes mesurades durant el període d'estudi.

Taula 4. Concentracions mitjanes dels diferents microorganismes en l'efluent secundari de l'EDAR de Castell-Platja d'Aro mesurades durant la campanya intensiva de primavera de 2005 i durant la realització d'aquest estudi.

Microorganismes	Mitjanes geomètriques		
	Campanya de fons (a)	Aquest estudi	Diferència (c)
Bacteris			
Coliformes fecals, ulog/100 ml	5,30	5,69	+ 0,39
Enterococs fecals, ulog/100 ml (b)	4,50	4,92	+ 0,42
Clostridis sulfat-reductors, ulog/100 ml	3,72	3,75	+ 0,03
Virus			
Bacteriòfags somàtics, ulog/100 ml	4,61	5,24	+ 0,63
Bacteriòfags F-RNA, ulog/100 ml	3,95	3,84	- 0,11
Bacteriòfags RYC de <i>B. fragilis</i> , ulog/100 ml	1,59	2,53	+ 0,94
Bacteriòfags GA17 de <i>B. fragilis</i> , ulog/100 ml	2,39	3,23	+ 0,84
Protozous			
<i>Cryptosporidium</i> spp., ulog ooquistes viables/litre	1,27	1,64	+ 0,37

- (a) Resultats de la campanya intensiva de seguiment de la primavera de 2005 descrita en l'informe "Efecte de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro en la qualitat microbiològica, química i ecològica del riu Ridaura" (Consorti de la Costa Brava, en preparació), excepte els corresponents als enterococs fecals.
- (b) La mitjana dels enterococs fecals és la de la campanya de fons del mateix estudi (Consorti de la Costa Brava, en preparació)
- (c) Un signe positiu indica major concentració en aquest estudi en comparació respecte a l'altre resultat.

És interessant observar una reducció dels valors dels ooquistes de *Cryptosporidium* en funció de la categoria que s'analitza: mentre que si es compten els ooquistes totals, la concentració mitjana és de 2,02 ooquistes/litre, la d'ooquistes viables baixa fins a 1,64 ooquistes/litre i la d'ooquistes infectius baixa fins a 1,22 ooquistes/litre (Taula 3). Aquestes dades, especialment les de bacteris i virus, mostren una gran similitud amb les 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 microbiològica, química i ecològica del riu Ridaura" (Consorti de la Costa Brava, en preparació), tal com es pot observar en la Taula 4.

La Taula 5 i les Figures 8, 9a, 9b i 9c mostren com les inactivacions logarítmiques assolides varien notablement en funció dels diferents tractaments i dels microorganismes considerats. Els resultats d'aquest estudi indiquen que la desinfecció amb clor, amb o sense tractament de llum ultraviolada previ, elimina preferentment els bacteris no esporulants com els coliformes fecals i els enterococs fecals, que són inactivats amb una mitjana d'entre 4,3 i 5,1 unitats logarítmiques. En canvi, la utilització del clor com a únic desinfectant, amb valors de C·t del doble dels mesurats quan el clor és emprat en combinació amb la llum ultraviolada, té un efecte pràcticament nul sobre les concentracions dels ooquistes de *Cryptosporidium* spp., ja siguin els totals, els viables o els infectius (inactivacions mitjanes d'entre 0,13 i 0,29 unitats logarítmiques), així com sobre els bacteriòfags F-RNA i RYC (mitjanes de 0,34 i 0,46 unitats logarítmiques, respectivament).

Taula 5. Inactivacions logarítmiques mitjanes per a cada tipus de microorganisme segons els tractaments valorats en l'estudi dut a terme a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro entre els dies 11-17 i 25-31 de juliol de 2005.

Microorganismes	Inactivacions logarítmiques segons tractament		
	Clor	UV	UV+Clor
Bacteris			
Coliformes fecals, ulog ufc/100 ml	5,00	1,80	5,06
Enterococs fecals, ulog ufc/100 ml	4,39	1,59	4,77
Clostridis sulfit-reductors, ulog ufc/100 ml	0,74	0,53	0,87
Virus			
Bacteriòfags somàtics, ulog ufp/100 ml	1,58	2,21	2,88
Bacteriòfags F-RNA, ulog ufp/100 ml	0,34	0,95	0,82
Bacteriòfags RYC de <i>B. fragilis</i> , ulog ufp/100 ml	0,46	1,86	1,76
Bacteriòfags GA17 de <i>B. fragilis</i> , ulog ufp/100 ml	0,92	1,55	1,74
Protozous			
<i>Cryptosporidium</i> spp., ulog ooquistes totals/litre	0,13	0,76	0,38
<i>Cryptosporidium</i> spp., ulog ooquistes viables/litre	0,15	0,78	0,41
<i>Cryptosporidium</i> spp., ulog ooquistes infectius/litre	0,29	2,53	1,76

L'equip de desinfecció amb llum ultraviolada de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro presenta una eficiència limitada a causa de les restriccions imposades per la baixa transmissió de l'aigua filtrada, que a l'estiu sol situar-se entre el 50 i el 55 %. Malgrat les limitacions en el rendiment potencial de l'equip, aquest estudi ja ha permès observar unes tendències de comportament marcadament diferents de les que ofereix la desinfecció amb clor. Així, tot i que les inactivacions de bacteris han estat molt inferiors a les assolides amb el clor (mitjanes de 1,80 unitats logarítmiques per als coliformes fecals i de 1,59 per als enterococs fecals), s'ha observat un notable efecte sobre la infectivitat dels ooquistes de *Cryptosporidium* spp., que s'ha vist reduïda en una mitjana de 2,53 unitats logarítmiques. Alhora, el rendiment de l'equip de desinfecció amb llum UV ha estat superior a la cloració en quant a la reducció de les concentracions de tots els bacteriòfags estudiats, així com de la resta de formes mesurades d'ooquistes de *Cryptosporidium* spp., és a dir, els ooquistes totals i els ooquistes viables.

INACTIVACIONS LOGARÍTMQUES MITJANES ASSOLIDES EN FUNCIÓ DEL TIPUS DE MICROORGANISME I DEL TRACTAMENT DE DESINFECCIÓ APLICAT

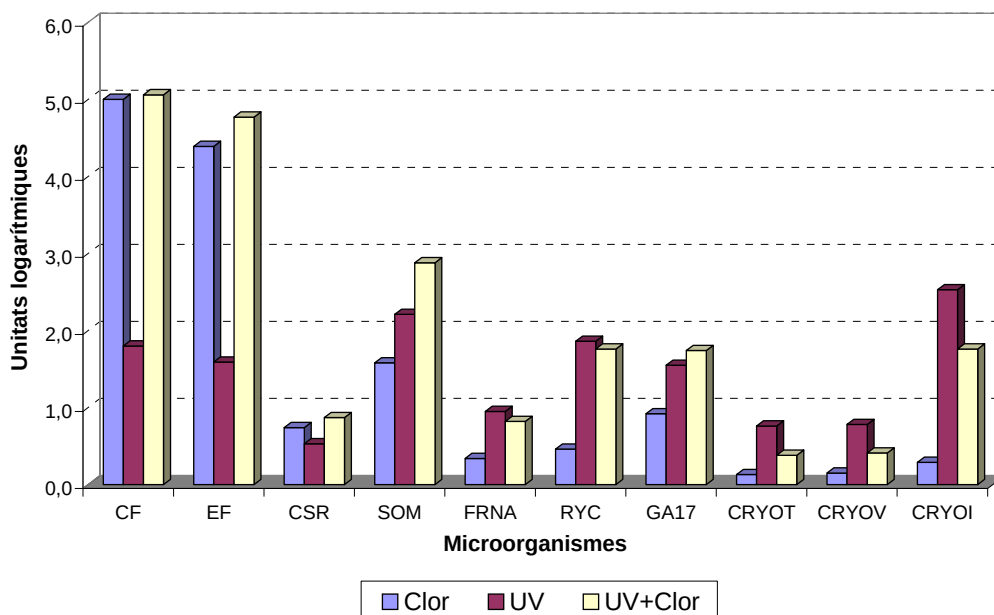
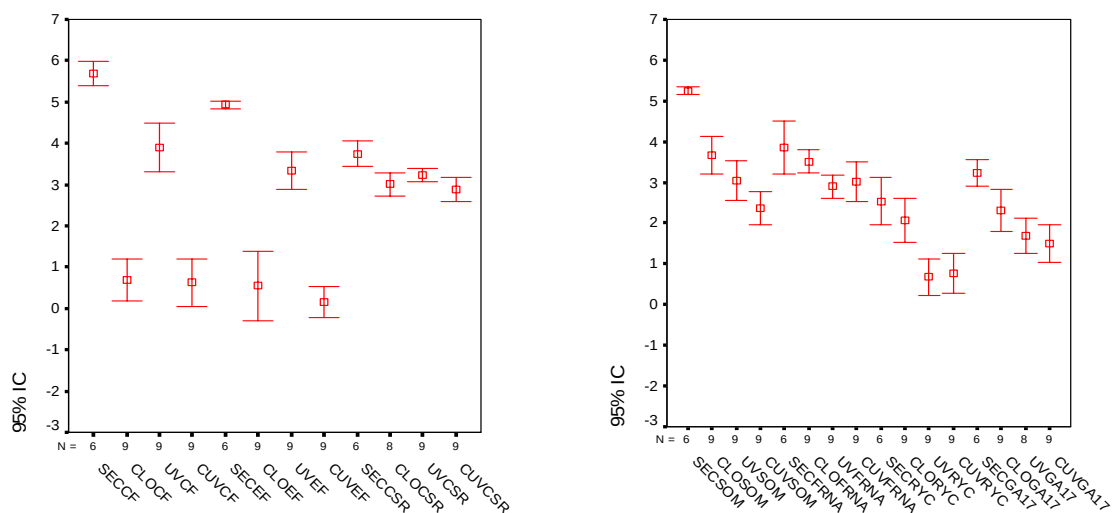


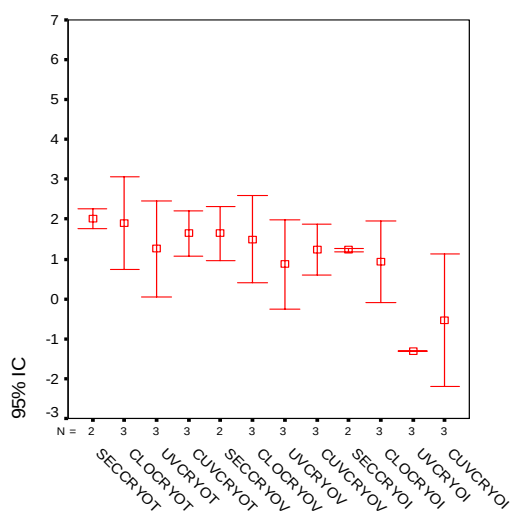
Figura 8. Inactivacions logarítmiques mitjanes per a cada tipus de microorganisme segons els tractaments valorats en l'estudi dut a terme a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro. Abreviacions: CF: coliformes fecals, ufc/100ml; EF: enterococs fecals, ufc/100ml; CSR: espores de clostridis sulfít-reductors, ufc/100ml; SOM: colífags somàtics, ufp/100ml; FRNA: bacteriòfags FRNA específics, ufp/100ml; RYC: fags que infecten a la soca RYC de *Bacteroides fragilis*, ufp/100ml; GA17: fags que infecten a la soca GA17 de *Bacteroides fragilis*, ufp/100ml; CRYOT: ooquistes totals de *Cryptosporidium* spp/litre; CRYOV: ooquistes viables de *Cryptosporidium* spp/litre; CRYOI: ooquistes infecciosos de *Cryptosporidium* spp/litre.

La desinfecció mitjançant la utilització combinada de llum ultraviolada i de clor segueix un patró similar al del clor emprat en solitari. Les màximes inactivacions logarítmiques segueixen sent les de bacteris com els coliformes fecals i els enterococs fecals, amb unes mitjanes de 5,06 i 4,77 unitats logarítmiques, respectivament. Alhora, la utilització combinada de llum ultraviolada i de clor reforça les reduccions del conjunt de bacteriòfags analitzats respecte l'efecte del clor en solitari. L'efecte additiu de la combinació dels dos desinfectants sembla fer-se aparent en el cas dels bacteriòfags somàtics (inactivació mitjana total de 2,88 unitats logarítmiques) i, en menor mesura, en el cas dels bacteriòfags GA17 i de les espores de clostridis sulfít-reductors (inactivacions mitjanes totals de 1,74 i de 0,87 unitats logarítmiques, respectivament). Aquesta combinació, en canvi, no sembla afegir potència desinfectant a la ja assolida per l'equip de llum ultraviolada en solitari en el cas dels fags F-RNA i dels fags RYC.

La inactivació de les diverses formes d'ooquistes de *Cryptosporidium* spp. assolida amb la combinació de desinfectants és superior a la que s'observa quan s'utilitza el clor tot sol a una dosi de 10 mg Cl_2/l i amb un temps de contacte de 45 minuts, i semblant, tot i que lleugerament inferior, a la mesurada amb la llum ultraviolada actuant en solitari. La Figura 9c mostra els intervals de confiança del 95% de les concentracions dels diferents estadis dels ooquistes en funció dels diferents tractaments. Aquestes dades indiquen que tan sols es troben diferències significatives entre els ooquistes infecciosos quan són sotmesos a l'acció de la llum ultraviolada, ja sigui sola o en combinació amb hipoclorit. Això indica, per una banda, que el tractament de cloració no és eficaç en la reducció de la infectivitat dels ooquistes, i per



Figures 9a i 9b. Valors mitjans i intervals de confiança del 95% per a les concentracions de bacteris (esquerra) i de virus (dreta) analitzats en els diferents tipus d'aigües (efluent secundari, aigua desinfectada amb clor, aigua desinfectada amb llum ultraviolada i aigua desinfectada amb la combinació d'ambdós agents) a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro.



Figures 9c. Valors mitjans i intervals de confiança del 95% per a les concentracions d'ooquistes totals, viables i infectius de *Cryptosporidium* analitzats en els diferents tipus d'aigües (efluent secundari, aigua desinfectada amb clor, aigua desinfectada amb llum ultraviolada, i aigua desinfectada amb la combinació d'ambdós agents) a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro.

- 25 -

Taula 6 es presenten, de manera qualitativa, aquests canvis en les composicions microbiològiques de l'aigua produïda a la planta de regeneració de Castell-Platja d'Aro.

Taula 6. Variacions en les abundàncies dels 5 microorganismes amb majors concentracions després dels diferents tractaments realitzats a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro.

Tipus de tractament	Ordre d'abundància dels 5 microorganismes amb majors concentracions
Secundari	CF > SOM > EF > F-RNA > CSR
Desinfecció amb clor	SOM > F-RNA > CSR > GA17 > RYC
Desinfecció amb llum UV	CF > EF > CSR > SOM > F-RNA
Combinació clor i llum UV	F-RNA > CSR > SOM > CRYOT > GA17

Abreviacions: CF: coliformes fecals; EF: enterococs fecals; CSR: espores de clostridis sulfit-reductors; SOM: colifags somàtics; FRNA: bacteriòfags FRNA específics; RYC: fags que infecten a la soca RYC de *Bacteroides fragilis*; GA17: fags que infecten a la soca GA17 de *Bacteroides fragilis*; CRYOT: ooquistes totals de *Cryptosporidium* spp; CRYOV: ooquistes viables de *Cryptosporidium* spp; CRYOI: ooquistes infecciosos de *Cryptosporidium* spp.

De manera resumida, es podria dir que la desinfecció amb clor a la planta de regeneració d'aigua de Castell d'Aro produeix una aigua regenerada en la qual els microorganismes més abundants són els bacteriòfags i els bacteris esporulants, mentre que la desinfecció amb llum ultraviolada produeix una aigua en la qual predominen els bacteris enfront dels bacteriòfags. La combinació dels dos agents biocides no genera un patró tan definit, sinó que esdevenen més abundants aquells microorganismes que presenten una major resistència a la desinfecció, com serien els fags F-RNA i els clostridis sulfit-reductors.

L'Annex III recull les gràfiques de probabilitat de les diferents combinacions dels paràmetres estudiats, com per exemple segons el tipus d'aigua o un determinat paràmetre de qualitat. Els paràmetres mesurats s'ajusten a una distribució normal i per tant els pendents relatius indiquen el seu comportament i la capacitat d'inactivació dels diferents tractaments aplicats. Així, per exemple, les gràfiques mostren com els coliformes fecals i els enterococs fecals són més sensibles als tractaments amb clor que els bacteriòfags en general. Aquestes representacions gràfiques són una manera diferent de presentar els resultats comentats fins ara.

En el futur es preveu continuar amb aquesta mena d'assajos en plantes de regeneració d'aigua que disposin d'equips de llum ultraviolada, però que treballin en unes condicions més favorables des del punt de vista de la transmissió de l'aigua. Aquestes noves condicions permetran mesurar fins on poden millorar els rendiments d'eliminació d'aquells microorganismes menys afectats per l'equip de llum ultraviolada de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro, com poden ser els tres tipus de bacteris estudiats (coliformes fecals, enterococs fecals i clostridis sulfit-reductors) i els bacteriòfags F-RNA.

Valoració del tractament de regeneració de Castell-Platja d'Aro

Des del punt de vista qualitatiu, la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro és capaç de produir de manera sostinguda una aigua regenerada amb unes concentracions de coliformes fecals per sota de les 200 ufc/100 ml, que és el límit recomanat –a data d'avui, encara no normatiu- en l'aigua regenerada que ha de ser emprada per als usos de reg sense restriccions. No obstant això, aquesta qualitat tan sols pot ser assolida en la situació actual si s'utilitza clor per a la desinfecció, ja sigui en solitari o en combinació amb la llum UV. La combinació d'aquests dos elements desinfectants produeix, però, una major reducció d'altres microorganismes que el clor pràcticament no ataca (bacteriòfags, *Cryptosporidium* spp.), de manera que és una opció de tractament que ofereix una millor protecció de la salut

pública i del medi ambient. Per altra banda, l'ampliació i millora del tractament biològic de l'EDAR de Castell-Platja d'Aro, prevista en l'horitzó 2009-2014, farà que la planta de regeneració d'aigua, inclòs l'equip de desinfecció amb llum ultraviolada, treballin de manera més efectiva, la qual cosa redundarà alhora en una major capacitat de desinfecció dels equips instal·lats.

CONCLUSIONS

L'estudi realitzat sobre els efectes de l'ús combinat d'agents desinfectants a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro permet proposar les següents conclusions:

1. L'efluent secundari de l'EDAR de Castell-Platja d'Aro presenta una composició microbiològica típica d'una planta de fangs activats convencional, amb unes concentracions de microorganismes de contaminació fecal a l'entorn de 6 ulog/100 ml de coliformes fecals, de 5 ulog/100 ml d'enterococs fecals i de 4 ulog/100 ml d'espores de clostridis reductors de sulfit. Les concentracions pels diferents virus se situen lleugerament per sobre de 5 ulog/100 ml per als colífags somàtics, entre 3 i 4 ulog/100 ml per als bacteriòfags F-RNA i GA17, i al voltant de 2,5 ulog/100 ml per als bacteriòfags RYC. Les concentracions d'ooquistes de *Cryptosporidium* spp. varien en funció de l'estat fisiològic que s'analitzi, i oscil·len entre 1,22 ooquistes infectius per litre i 2,02 ooquistes totals per litre, amb un valor intermedi de 1,64 ooquistes viables per litre.
2. Les dosis de llum ultraviolada aplicades durant l'experiment van oscil·lar entre 24 i 36 mJ/cm², excepte en una de les mostres en la que la dosi va ser de 12 mJ/cm², producte d'un valor anormalment baix de transmissió (26%). Els valors del paràmetre C·t de la desinfecció amb clor van variar entre 81 i 135 mg Cl₂·min/l de la cloració d'afinament (després de la llum ultraviolada, dosi de 5 mg Cl₂/l) i entre 162 i 270 mg Cl₂·min/l de la cloració de desinfecció (dosi de 10 mg Cl₂/l).
3. Els graus d'inactivació dels microorganismes emprats en l'estudi han mostrat diferències importants. Mentre que la cloració resulta ser molt eficaç per a la inactivació de les concentracions de coliformes fecals i d'enterococs fecals, aquest agent desinfectant es mostra menys eficaç a l'hora d'inactivar les concentracions de virus i pràcticament nul a l'hora de disminuir la infectivitat dels ooquistes de *Cryptosporidium* spp.
4. La desinfecció amb clor, amb o sense tractament de llum ultraviolada previ, elimina preferentment els bacteris no esporulants, com els coliformes fecals i els enterococs fecals, que són inactivats amb una mitjana d'entre 4,3 i 5,1 unitats logarítmiques. En canvi, la utilització del clor com a únic desinfectant, amb valors de C·t del doble dels mesurats quan el clor és emprat en combinació amb la llum ultraviolada, té un efecte pràcticament nul sobre les concentracions dels ooquistes de *Cryptosporidium* spp., ja siguin els totals, els viables o els infectius (inactivacions mitjanes d'entre 0,13 i 0,29 unitats logarítmiques), així com sobre els bacteriòfags F-RNA i RYC (mitjanes de 0,34 i 0,46 unitats logarítmiques, respectivament).
5. La planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro ha posat de manifest que la llum ultraviolada és molt eficient en l'eliminació de la capacitat infectiva dels ooquistes de *Cryptosporidium* spp. i que mostra una eficàcia superior a la del clor a l'hora de reduir les concentracions de bacteriòfags. No obstant això, la instal·lació actual resulta poc eficaç a l'hora de reduir les concentracions de coliformes fecals i d'enterococs fecals en comparació amb l'efecte del clor.
6. Tot i que les inactivacions de bacteris aconseguides per la desinfecció amb llum ultraviolada han estat molt inferiors a les assolides amb el clor (mitjanes d'1,80 unitats logarítmiques per als coliformes fecals i d'1,59 per als enterococs fecals), la llum ultraviolada aconsegueix un notable efecte sobre la infectivitat dels ooquistes de *Cryptosporidium* spp., que s'ha vist reduïda en una mitjana de 2,53 unitats logarítmiques. Alhora, el rendiment de l'equip de desinfecció amb llum ultraviolada ha estat superior a la cloració en quant a la reducció de les concentracions de tots els bacteriòfags estudiats. Les inactivacions produïdes per la llum ultraviolada han oscil·lat entre les 0,95 unitats logarítmiques per als bacteriòfags F-RNA i les 2,21 unitats logarítmiques per als colífags

somàtics, mentre que les inactivacions produïdes pel clor han oscil·lat entre les 0,34 i 1,58 unitats logarítmiques per als mateixos bacteriòfags. En la resta de formes mesurades d'ooquistes de *Cryptosporidium* spp., és a dir, els ooquistes totals i els ooquistes viables la inactivació de la llum ultraviolada també ha estat superior a la del clor (0,76 i 0,78 unitats logarítmiques, respectivament, assolides per la llum ultraviolada, enfront de les 0,13 i 0,15 unitats logarítmiques assolides pel clor).

7. La incidència de cadascun dels agents desinfectants sobre els diferents grups de microorganismes en canvia les abundàncies relatives registrades en l'efluent secundari. La combinació dels dos agents biocides en l'aigua regenerada fa que esdevinguin més abundants aquells microorganismes que presenten una major resistència a la desinfecció, com serien els fags F-RNA i els clostridis sulfít-reductors, que podrien ser potencials candidats per a l'avaluació de l'eficiència dels processos de desinfecció de les aigües regenerades.
8. L'efecte additiu de la combinació dels dos desinfectants es fa aparent en el cas dels bacteriòfags somàtics (inactivació mitjana total de 2,88 unitats logarítmiques) i, en menor mesura, en el cas dels bacteriòfags GA17 i de les espores de clostridis sulfít-reductors (inactivacions mitjanes totals de 1,74 i de 0,87 unitats logarítmiques, respectivament). Aquesta combinació, en canvi, no sembla afegir potència desinfectant a la ja assolida per l'equip de llum ultraviolada en solitari en el cas dels fags F-RNA i dels fags RYC.
9. La incidència de cadascun dels agents desinfectants sobre els diferents grups de microorganismes en canvia les abundàncies relatives naturals. La combinació dels dos agents biocides fa que esdevinguin més abundants aquells microorganismes que presenten una major resistència a la desinfecció, com serien els fags F-RNA i els clostridis sulfít-reductors, que podrien ser potencials candidats a ser emprats per a l'avaluació de l'eficiència dels processos de desinfecció de les aigües regenerades.
10. La planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro és capaç de produir de manera sostinguda una aigua regenerada amb unes concentracions de coliformes fecals per sota de 200 ufc/100 ml, que és el límit adoptat actualment per als usos de reg sense restriccions. Aquesta qualitat tan sols pot ser assolida en la situació actual si s'utilitza clor per la desinfecció, ja sigui en solitari o en combinació amb la llum ultraviolada. Aquesta planta ha optat per aquesta darrera opció, com a tractament que ofereix una més gran garantia sanitària.
11. Convindria continuar amb aquesta mena d'estudis en plantes de regeneració que disposin d'equips de llum ultraviolada que treballin en unes condicions més favorables, a fi d'avaluar la seva capacitat per inactivar bacteris (coliformes fecals, enterococs fecals i clostridis sulfít-reductors) i bacteriòfags F-RNA.

AGRAÏMENTS

Agrair a Carmelo Llorente i Lluís Leyda, de Teqma SL, la seva col·laboració al llarg de l'estudi en el càlcul de les dosis de llum ultraviolada aportades amb l'equip de desinfecció de la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro.

Agrair també a Anna Serra i Picamal la feina realitzada en la revisió i correcció del català.

BIBLIOGRAFIA

Anònim, 1995. *ISO 10705-1: Water quality – Detection and enumeration of bacteriophages. Part 1: Enumeration of F-specific RNA-bacteriophages*. Geneva, Switzerland: International Standardisation Organisation.

Anònim, 1998. - *ISO 7899-1: Water quality - Detection and enumeration of intestinal enterococci. Part 1: Miniaturized method (Most Probable Number) for surface and waste water*. Geneva, Switzerland: International Standardisation Organisation.

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

Anònim, 2001. *ISO 10705-4: Water quality – Detection and enumeration of bacteriophages. Part 4: Enumeration Infecting Bacteroides fragilis*. Geneva, Switzerland: International Standardisation Organisation.

Bonde, G.J. 1963. *Bacterial indicators of water pollution. A study of quantitative estimation*. 2a ed. Teknisk Forlag, Copenhagen.

Buften, A.W. 1959. A note on the enumeration of thermophilic t-reducing bacteria. *Journal of Applied Bacteriology*, 22: 278-280.

Campbell, A.T., Robertson, L.J. & 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.

Campos Pinilla, C. 1998. *Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de agua residual regenerada en suelos*. Tesis doctoral, Universitat de Barcelona, Barcelona.

CEDEX 1999. *Propuesta de calidades mínimas exigidas para la reutilización directa de efluentes depurados según los distintos usos posibles, así como de aspectos relativos a la metodología, frecuencia de muestreo y criterios de cumplimiento de los análisis establecidos, para incluir en una normativa de carácter estatal*. Ministerio de Fomento.

Crook, J. 1998. Water reclamation and reuse criteria. Pàg: 627-703. A: Asano, T. (ed.) *Wastewater Reclamation and Reuse. Water Quality Management Library*, 10. Technomic Publishing Company, Lancaster.

Gantzer, C. & Schwartzbrod, L. 1998. Detection of infectious enterovirus, enterovirus genomes, somatic coliphages and *Bacteroides fragilis* phages in treated wastewater. *Applied and Environmental Microbiology*, 64: 4307-4312.

Havelaar, A.H.; Furuse, K. & Hogeboom, E.H. 1986. Bacteriophages and indicator bacteria in human and animal faeces. *Journal of Applied Bacteriology*, 60. Pàg. 255-262.

IAWPRC Study Group on Health Related Water Microbiology. 1991. Bacteriophages as model viruses in water quality control. *Water Research*, 25: 529-545.

Jofre, J., Ollé, E., Ribas, F., Vidal A. & Lucena, F. 1995. Potential usefulness of bacteriophages that infect *Bacteroides fragilis* as model organisms for monitoring virus removal in drinking water treatment plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 61: 3227-3231.

Jofre, J. & Lucena, F. 2006. Los bacteriófagos, un instrumento útil en la gestión de la calidad microbiológica del agua regenerada. *Tecnología del Agua*, 272: 56-68.

Lee, J.V., Dawson, S.R., Ward, S., Surman S.B. & Neal, K.R. 1997. Bacteriophages are a better indicator of illness rates than bacteria amongst users of a white water course fed by a lowland river. *Water Science and Technology*, 35: 165-170.

Lewis, G.D. 1995. F-specific bacteriophages as an indicator of human viruses in natural waters and sewage effluents in northern New-Zealand. *Water Science and Technology*, 31: 231-234.

Lucena, F. & Jofre, J. 1996. Los bacteriófagos como microorganismos modelo en los procesos de tratamiento de aguas. Pàg: 37-47. A: *Ponencias del Seminario de Microbiología de las Aguas de Abastecimiento (Tomo II)*. Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, Madrid.

Manglik, P.K., Johnston, J.R., Asano, T. & Tchobanoglous, G. 1987. Effect of particles on chlorine disinfection of wastewater. *Water Reuse Symposium IV "Implementing Water Reuse"*. AWWA, Denver.

Méndez, J., Audicana, A., Isern, A., Llana, 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.

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: 1455-1462.

Mujeriego, R. 1995. Reutilización de Agua. Pàg. 393-410. A: Berga, L. (ed.) *El agua en Catalunya*. ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

Mujeriego, R., Salavedra, M. & Sala, J. 1998. *Informe Tècnic: Estudi de la desinfecció d'un efluent secundari mitjançant una planta pilot de llum ultraviolada*. Consorci de la Costa Brava, Girona. 68 pàg.

Mujeriego, R. 1998. Evolución y perspectivas de la reutilización de aguas en España. Pàg. 1-13. A: *Jornadas Técnicas: La gestión del Agua Regenerada*. Consorci de la Costa Brava, Girona.

Northington, C.W., Chang, S.L. & McCabe, L.J. 1970. Health aspects of wastewater reuse. A: *Water quality improvement by physical and chemical processes* III. Symp. JAWWA, Washington, D.C.

Odendaal, P.E. 1998. Wastewater reuse in South Africa. Pàg. 1163-1192. A: Asano, T. (ed.) *Wastewater Reclamation and Reuse. Water Quality Management Library*, 10. Technomic Publishing Company, Lancaster.

Payan, A., Ebdon, J., Taylor, H., Gantzer, C., Ottoson, J., Papageorgiou, G.T., Blanch, A.T., Lucena, F., Jofre, J. & Muniesa, M. 2005. Method for Isolation of *Bacteroides* Bacteriophage Host Strains Suitable for Tracking Sources of Fecal Pollution in Water. *Applied and Environmental Microbiology*, 71: 5659-5662.

Payment, P. & Franco, E. 1993. *Clostridium perfringens* and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts. *Applied and Environmental Microbiology*, 59: 2418-2424.

Scheible, O.K. & Bassell, C.D. 1981. *Ultraviolet Disinfection Of A Secondary Wastewater Treatment Plant Effluent*. EPA-600/2-81-152, PB81-242125, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati.

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: 3669-3675.

Sobsey, M.D., Hall, R.M. & Hazard, R.L. 1995. Comparative reductions of HAV, enteroviruses and coliphages MS2 in miniature soil columns. *Water Science and Technology*, 31: 203-209.

Tchobanoglous, G. & Burton, L. 1991. Wastewater characteristics. Pàg. 47-119. A: *Wastewater Engineering*. Metcalf & Eddy, Inc. 2nd ed. Irwin/McGraw Hill, US.

USEPA. 1992. *Guidelines for water reuse*. US EPA/625/R-92/004. Technology Transfer. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

USEPA. 1996. *Ultraviolet Light Disinfection Technology in Drinking Water Application - An Overview*. EPA 811-R-96-002, Office of Ground Water and Drinking Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C..

USEPA. 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 D.C.

Vergés, R. 1994. L'aigua regenerada com a nou recurs hidràulic. Pàg. 89-94. A: Mujeriego, R. & Sala, L. (eds.) *Biosólidos y Aguas Depuradas como Recursos*. Universitat Politècnica de Catalunya i Consorci de la Costa Brava, Girona.

White, G.C. 1992. *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Wisconsin Department of Natural Resources. 2003. *Cryptosporidium: A Risk to Our Drinking Water*. Pàgina web disponible a <http://www.dnr.state.wi.us/org/water/dwg/Crypto.htm>

Yip, R.W. & Konasewich D.E. 1972. Ultraviolet Sterilization Of Water - Its Potential And Limitations. *Water and Pollution Control (Canada)*, 14:14-18.

Annex I

Condicions de treball durant l'experimentació

Dia: 11/07/05

<i>Condicions de treball</i>	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	250
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	2
Número de làmpades en funcionament	8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	25.825
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	10,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	5,0
Volum laberint de cloració, m ³	188
Temps de contacte clor, min	45

Primer mostreig	Mostres			
	Efluent 2ari	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	09:00	09:00	09:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	8,6	5,8	2,4	---
Terbolesa, NTU	3,6	2,2	1,9	---
T254, %	47	50	49	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	3,0	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	26,5	25,5	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	135	---

Segon mostreig	Mostres			
	Efluent 2ari	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	11:00	11:00	13:00
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	4,4	7,0	3,2
Terbolesa, NTU	---	2,1	3,6	1,4
T254, %	---	50	45	53
Clor residual total, mg Cl ₂ /l (a)	---	---	---	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	26,9	22,6	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	---

(a) No es disposa de les dades de clor residual total d'aquestes mostres.

Dia: 12/07/05

<i>Condicions de treball</i>	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	250
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	2
Número de làmpades en funcionament	8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	25.849
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	10,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	5,0
Volum laberint de cloració, m ³	188
Temps de contacte clor, min	45

Primer mostreig	Efluent 2ari	Mostres		
		UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	09:00	09:00	09:00	11:00
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	7,4	4,4	3,4	13,3
Terbolesa, NTU	3,4	2,0	2,1	6,1
T254, %	49	53	48	39
Clor residual total, mg Cl ₂ /l (a)	---	---	3,0	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	29,3	25,1	---
C-t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	135	---

(a) No es disposa de les dades de clor residual total de la mostra d'aigua clorada.

Segon mostreig	Efluent 2ari	Mostres		
		UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	---	---	13:00
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	---	---	4,0
Terbolesa, NTU	---	---	---	2,3
T254, %	---	---	---	49
Clor residual total, mg Cl ₂ /l (a)	---	---	---	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C-t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	---

(a) No es disposa de les dades de clor residual total d'aquestes mostres.

Dia: 14/07/05

<i>Condicions de treball</i>	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	250
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	2
Número de làmpades en funcionament	8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	25.897
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	10,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	5,0
Volum laberint de cloració, m ³	188
Temps de contacte clor, min	45

Primer mostreig	Mostres			
	Efluent 2ari	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	09:00	09:00	09:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	6,6	5,0	7,0	---
Terbolesa, NTU	2,9	3,1	2,7	---
T254, %	48	50	48	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l (a)	---	---	---	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	26,4	24,5	---
C-t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	---

(a) No es disposa de les dades de clor residual total d'aquestes mostres.

Segon mostreig	Mostres			
	Efluent 2ari	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	---	---	12:30
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	---	---	2,0
Terbolesa, NTU	---	---	---	1,7
T254, %	---	---	---	48
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C-t cloració per a desinfecció, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	---
C-t cloració per a afinament, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	---

Dia: 25/07/05

<i>Condicions de treball</i>	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	250
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	2
Número de làmpades en funcionament	8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	26.113
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	10,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	5,0
Volum laberint de cloració, m ³	188
Temps de contacte clor, min	45

Primer mostreig	Mostres			
	Efluent 2ari	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	09:00	09:00	09:00	11:00
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	12,8	7,4	5,6	4,6
Terbolesa, NTU	5,9	4,0	3,9	4,1
T254, %	35	43	26	4*
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	1,8	3,6
Dosi UV, mJ/cm ²	---	20,9	11,9	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	81	162

Segon mostreig	Mostres			
	Efluent 2ari	UV	UV+Clor	Clor
Hora de mostreig	---	---	---	13:00
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	---	---	6,2
Terbolesa, NTU	---	---	---	4,9
T254, %	---	---	---	38
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	---	6,0
Dosi UV, mJ/cm ²	---	---	---	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	---	270

(*) Es va mesurar i comprovar una T254 = 3,6 %. Es desconeix què va poder causar aquesta baixada tan important i intensa d'aquest paràmetre.

Dia: 27/07/05

<i>Condicions de treball</i>	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	250
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	2
Número de làmpades en funcionament	8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	26.161
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	10,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	5,0
Volum laberint de cloració, m ³	188
Temps de contacte clor, min	45

Primer mostreig	Efluent 2ari	Mostres		Clor
		UV	UV+Clor	
Hora de mostreig	09:00	09:00	09:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	10,2	6,4	19,2	---
Terbolesa, NTU	4,1	2,0	4,7	---
T254, %	44	51	45	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	2,4	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	27,7	22,2	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	108	---

Segon mostreig	Efluent 2ari	Mostres		Clor
		UV	UV+Clor	
Hora de mostreig	---	11:00	11:00	13:00
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	2,8	3,0	4,4
Terbolesa, NTU	---	1,4	1,6	1,4
T254, %	---	54	51	50
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	3,0	3,6
Dosi UV, mJ/cm ²	---	30,6	27,5	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	135	162

Dia: 28/07/05

<i>Condicions de treball</i>	
Producció d'aigua regenerada, m ³ /h	250
Bombes d'aigua filtrada en funcionament, número	2
Número de làmpades en funcionament	8
Vida útil de les làmpades, hores acumulades	26.185
Dosi d'hipoclorit per a desinfecció, mg Cl ₂ /l	10,0
Dosi d'hipoclorit per a afinament, mg Cl ₂ /l	5,0
Volum laberint de cloració, m ³	188
Temps de contacte clor, min	45

Primer mostreig	Efluent 2ari	Mostres		Clor
		UV	UV+Clor	
Hora de mostreig	09:00	09:00	09:00	---
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	7,2	1,6	2,0	---
Terbolesa, NTU	2,5	0,8	0,9	---
T254, %	52	60	56	---
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	2,4	---
Dosi UV, mJ/cm ²	---	36,4	32,2	---
C·t, mg Cl ₂ .min/l	---	---	108	---

Segon mostreig	Efluent 2ari	Mostres		Clor
		UV	UV+Clor	
Hora de mostreig	---	11:00	11:00	13:00
<i>Resultats fisicoquímics</i>				
MES, mg/l	---	2,4	2,8	0,6
Terbolesa, NTU	---	0,9	1,3	0,7
T254, %	---	57	53	53
Clor residual total, mg Cl ₂ /l	---	---	2,4	6,0
Dosi UV, mJ/cm ²	---	33,7	29,4	---
C·t cloració per a desinfecció, mg Cl ₂ .min/l	---	---	108	270

Annex II

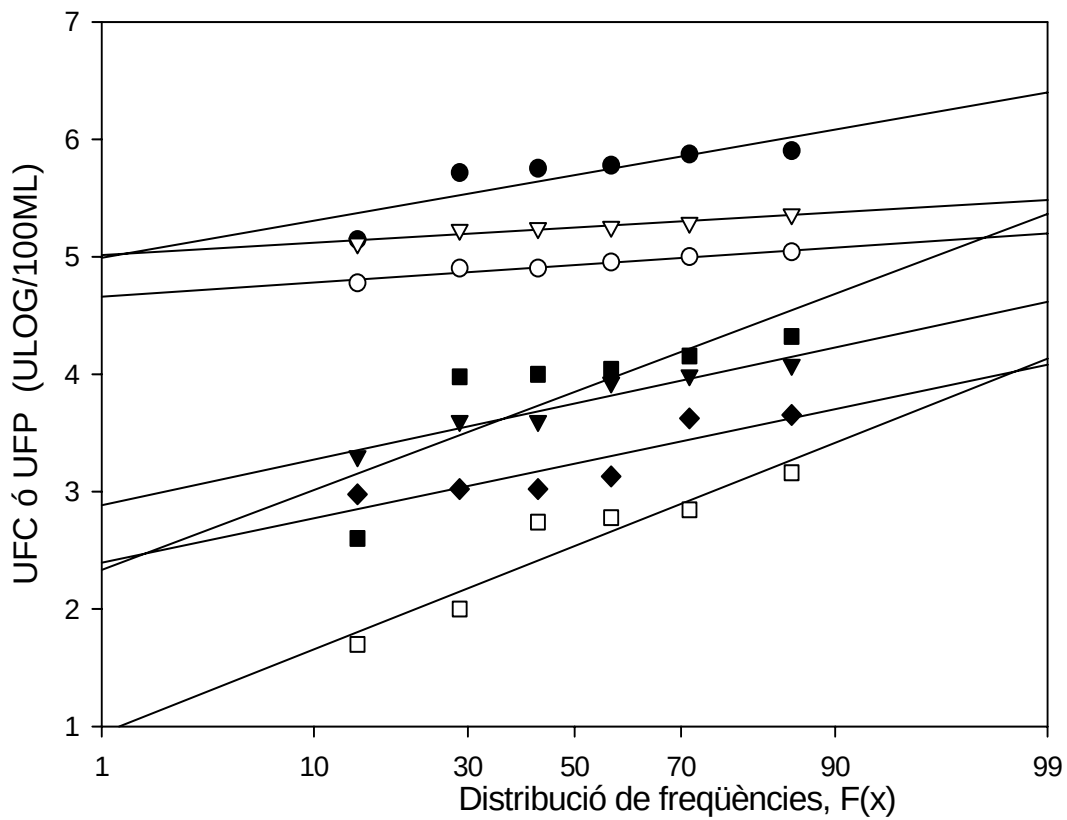
Resultats de les anàlisis microbiològiques realitzades a la planta de regeneració d'aigua de Castell-Platja d'Aro en l'estudi de l'acció combinada d'agents desinfectants. Juliol de 2005.

Condicions del mostreig			Concentracions de bacteris i bacteriòfags ufc o ufp/100 ml							Cryptosporidium ooquists / litre				
Dia	Mostra	Hora	CF	EF	CSR	SOM	FRNA	RYC	GA-17	Totals	Viables	Infectius	Viables %	Infectius %
11/07/2005	Secundari	09:00	600.000	90.000	2.000	180.000	21.000	700	1.350	109,72	49,73	16,64	45,33	15,17
	UV1	09:00	1.500	1.000	800	650	850	6	25	6,33	2,69	<0,11	42,58	<1,74
	Clor+UV1	09:00	30	<4	600	150	500	17	25	51,48	21,81	<0,05	42,37	<0,091
	UV2	11:00	2.400	1.000	2.000	1.700	410	13	62	15,82	6,72	<0,12	42,48	<0,76
	Clor+UV2	11:00	20	28	1.000	600	1.550	30	34	24,29	8,94	0,69	36,83	2,84
	Clor	13:00	<4	<4	900	13.450	4.900	200	500	29,69	13,06	3,43	44,00	11,55
12/07/2005	Secundari	09:00	140.000	80.000	4.000	230.000	14.300	550	1.050					
	UV	09:00	1.000	400	2.000	600	1.060	4	14					
	Clor+UV	09:00	<4	<4	250	80	610	<1	2					
	Clor1	11:00	<4	<4	900	200	2.750	32	44					
	Clor2	13:00	4	<4	600	7.650	10.330	450	550					
14/07/2005	Secundari	09:00	750.000	60.000	4.000	175.000	9.500	50	1.050					
	UV	09:00	3.000	1.900	1.200	550	2.198	1	nt					
	Clor+UV	09:00	<4	<4	1.600	130	2.050	<1	75					
	Clor1	11:00	4	<4	1.000	7.250	4.000	150	108					
	Clor2	13:00	4	<4	700	8.300	5.350	150	113					

Condicions del mostreig			Concentracions de bacteris i bacteriòfags ufc o ufp/100 ml							Cryptosporidium ooquists / litre				
Dia	Mostra	Hora	CF	EF	CSR	SOM	FRNA	RYC	GA-17	Totals	Viables	Infectius	Viables %	Infectius %
25/07/2005	Secundari	09:00	800.000	80.000	12.000	170.000	11.000	600	4.200	100,00	39,00	16,93	39,00	16,83
	UV	09:00	285.000	35.000	2.100	40.000	3.600	36	450	58,58	21,67	<0,22	37,00	<0,38
	Clor+UV	09:00	<10	<10	2.200	2.850	36.000	12	268	67,64	26,55	0,74	39,25	1,09
	Clor1	11:00	15	400	3.900	14.850	5.500	700	1.600	65,30	24,49	8,00	37,50	12,25
	Clor2	13:00	25	200	2.600	10.350	3.750	750	1.400	250,00	95,00	22,85	38,00	9,14
27/07/2005	Secundari	09:00	520.000	100.000	8.500	195.000	10.000	1.450	4.500					
	UV1	09:00	18.500	11.000	3.450	1150	700	15	60					
	Clor+UV1	09:00	<10	<10	500	160	650	16	17					
	UV2	11:00	6.500	1.000	2.700	950	600	7	78					
	Clor+UV2	11:00	<10	<10	2.400	560	750	26	99					
	Clor	13:00	<10	<10	-	1.600	800	8	21					
28/07/2005	Secundari	09:00	565.000	110.000	9.800	130.000	400	100	950					
	UV	09:00	21.000	2.000	1.300	550	500	1	80					
	Clor+UV1	09:00	20	<10	600	160	400	4	14					
	UV	11:00	15.000	2.000	1.250	250	210	1	9					
	Clor+UV2	11:00	40	<10	225	60	270	<1	40					
	Clor	13:00	70	<10	330	3.650	880	17	100					

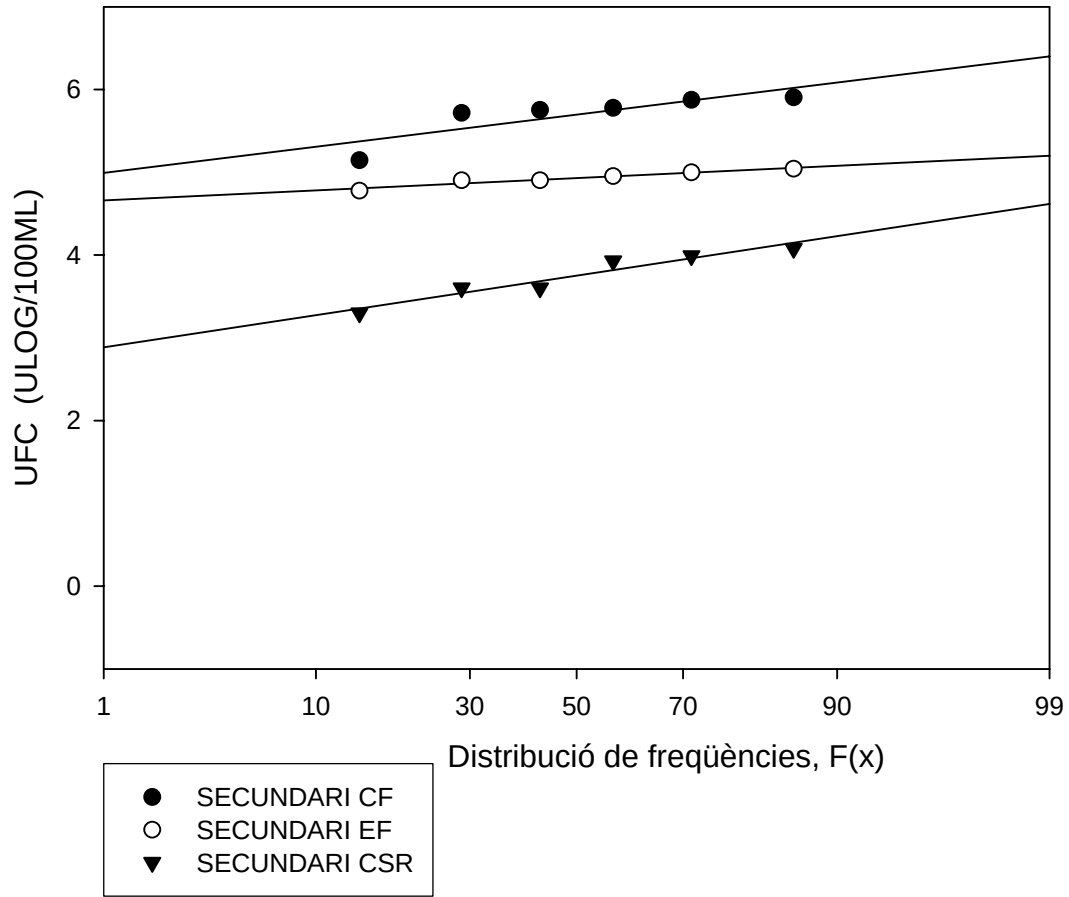
Annex III

EFLUENT SECUNDARI - TOTS ELS PARÀMETRES

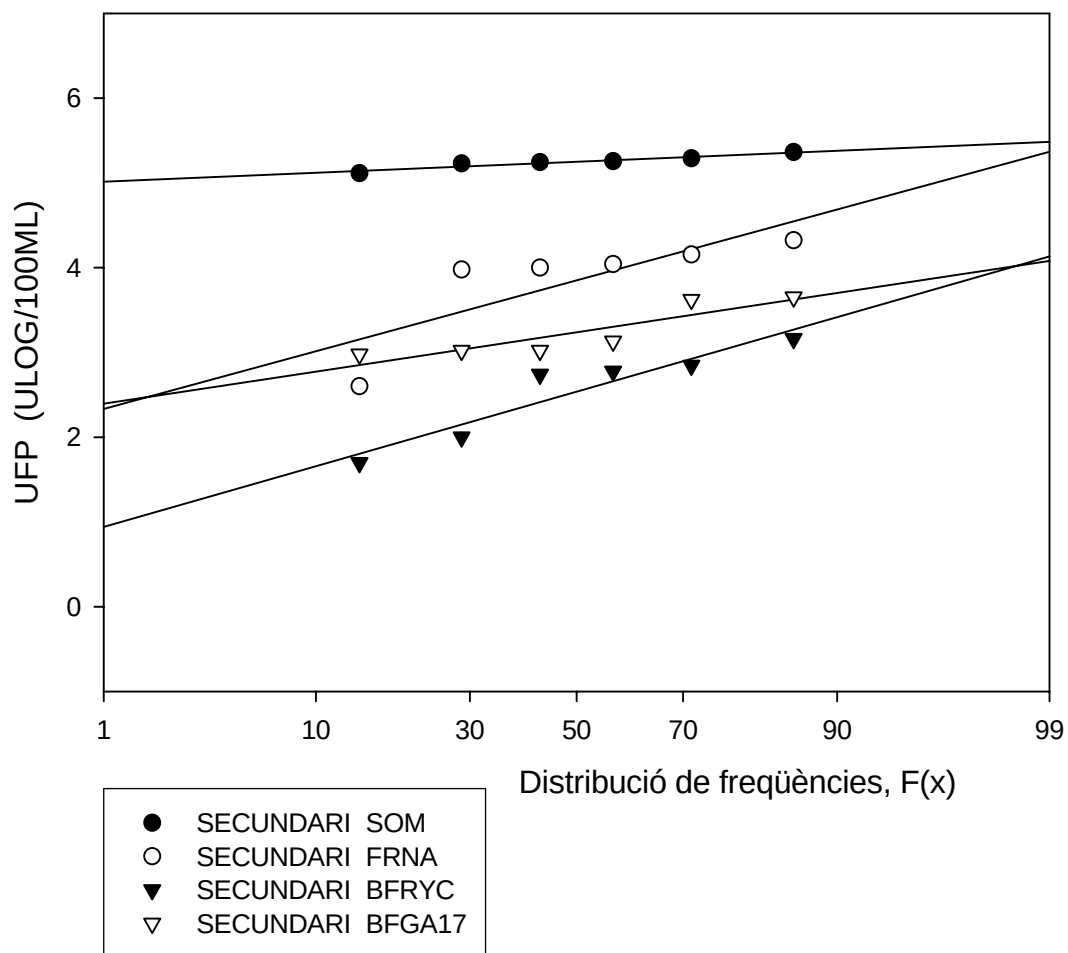


- COLIFORMS FECALS
- ENTEROCOCS
- ▼ ESPORES DE CLOST.SUL.RED.
- ▽ COLIFAGS SOMATICS
- FAGS FRNA ESPECIFICS
- FAGS BACT. FRAGILIS RYC
- ◆ FAGS BACT. FRAGILIS GA17

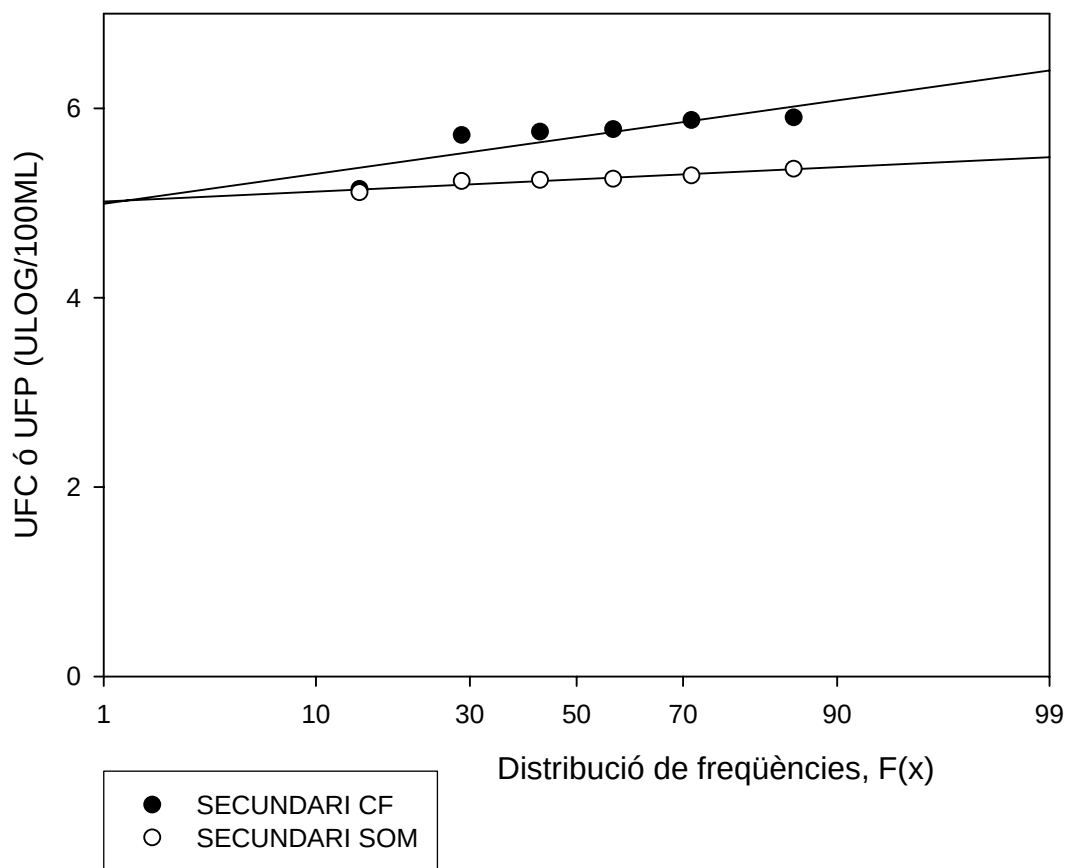
EFLUENT SECUNDARI - BACTERIS



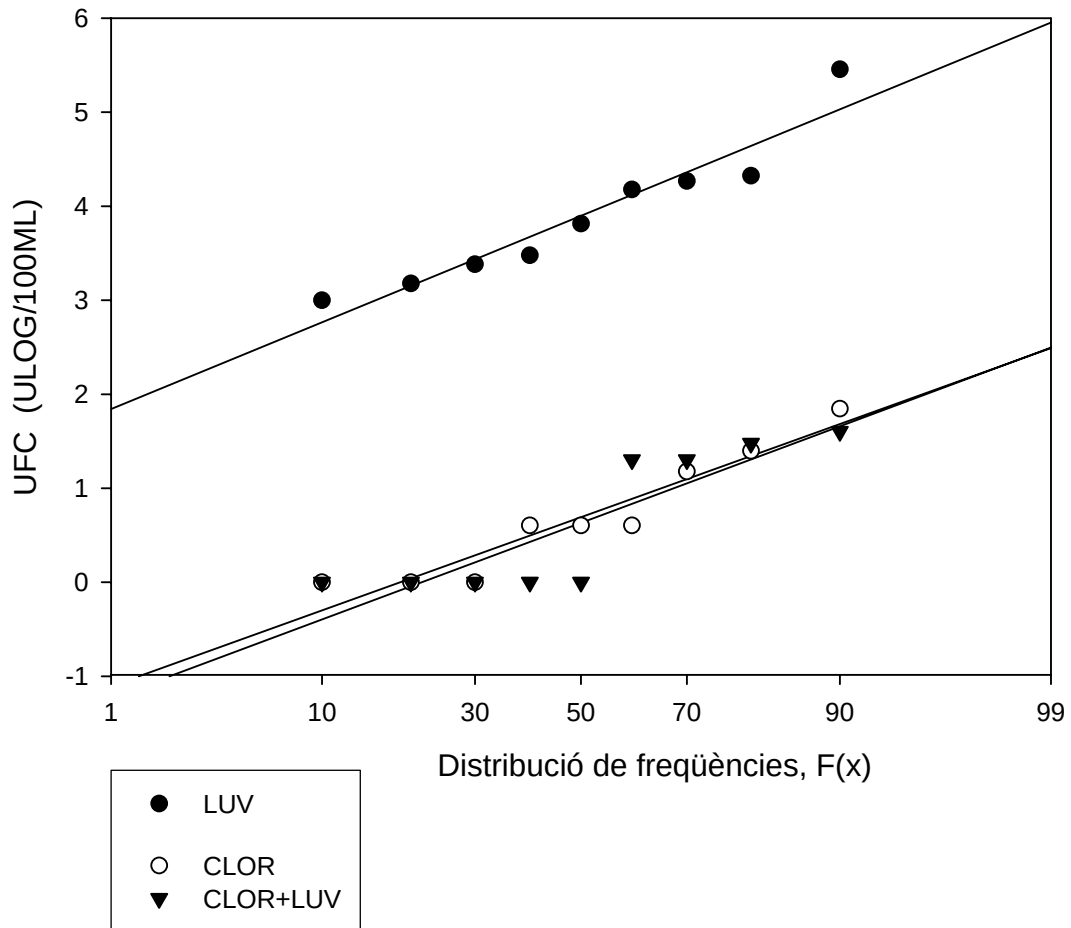
EFLUENT SECUNDARI - BACTERIOFAGS



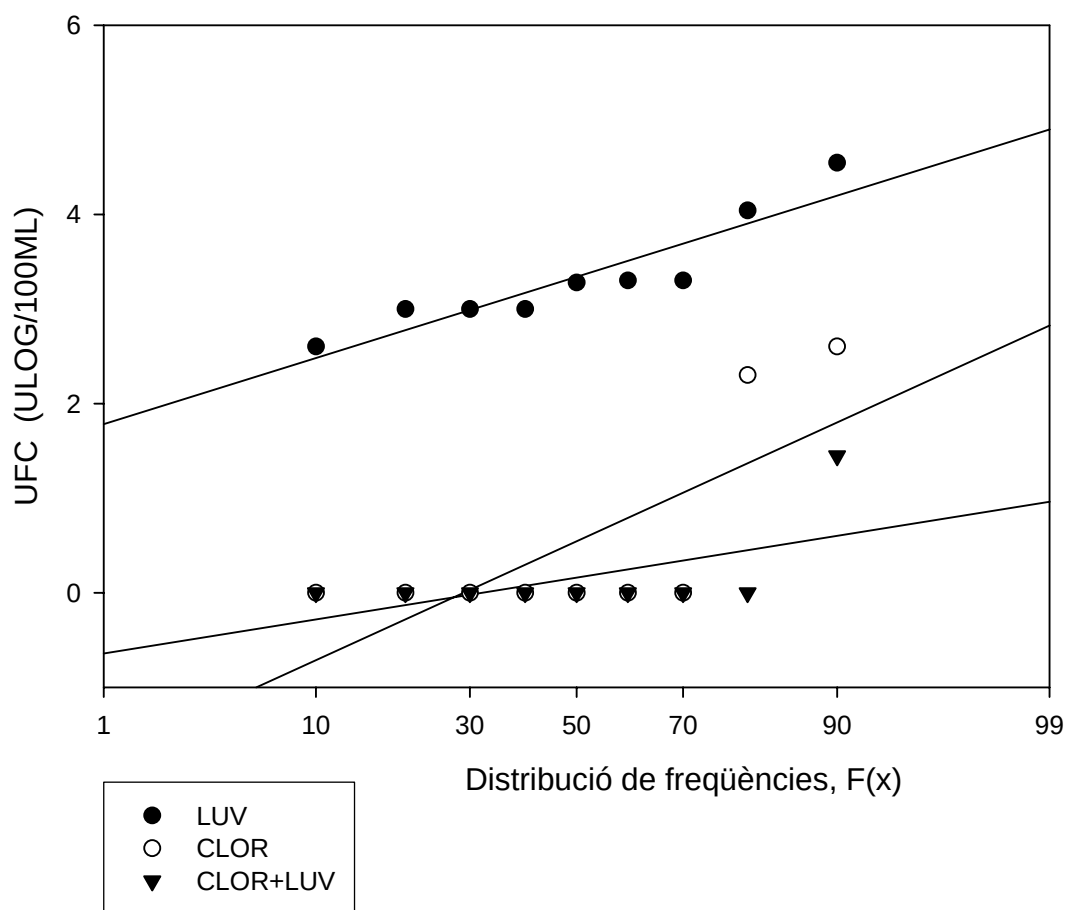
EFLUENT SECUNDARI - COLIFORMS FECALS - COLIFAGS SOMATICS



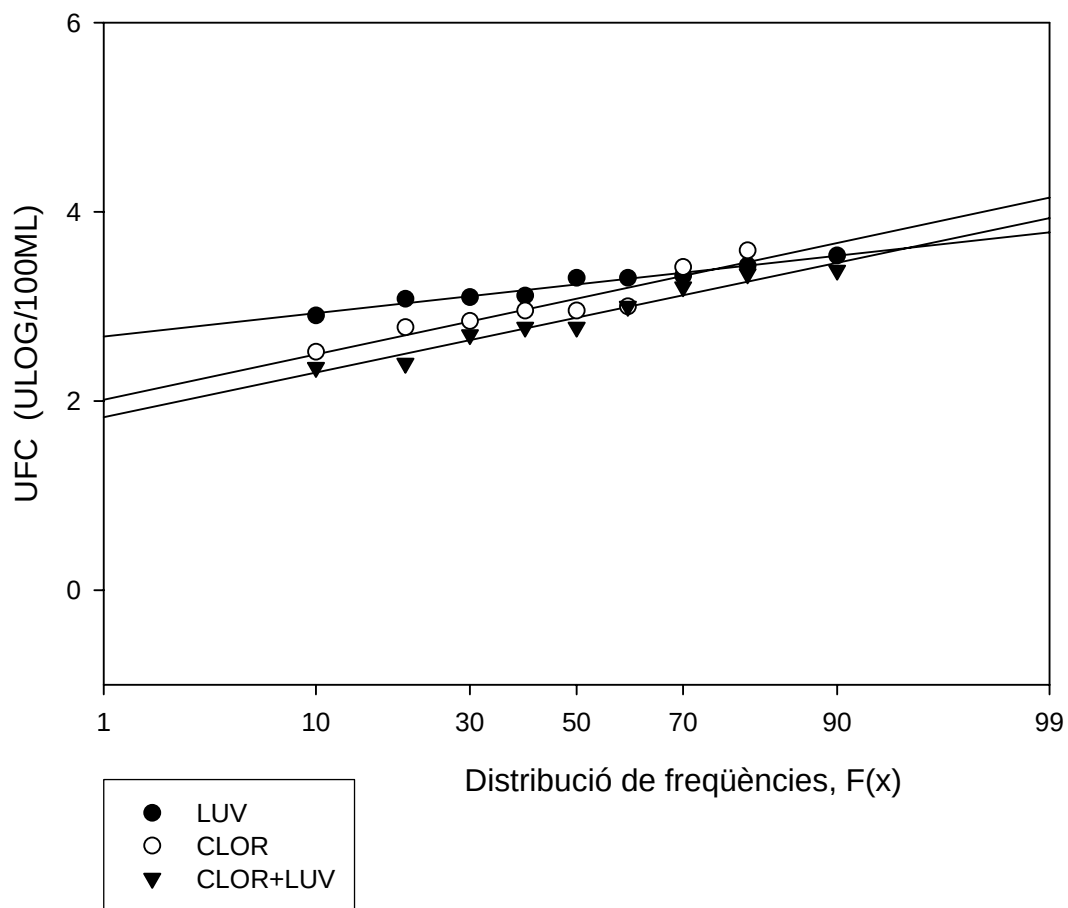
COLIFORMS FECALS



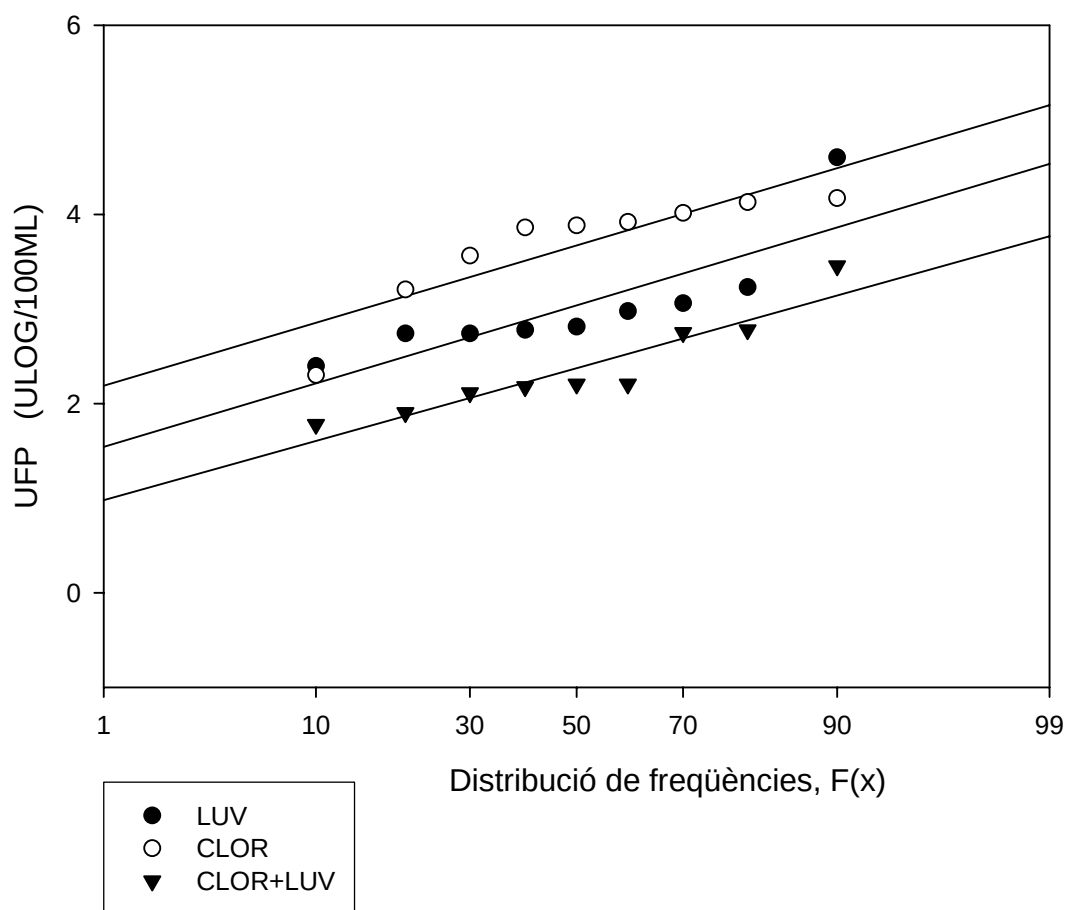
ENTEROCOCS



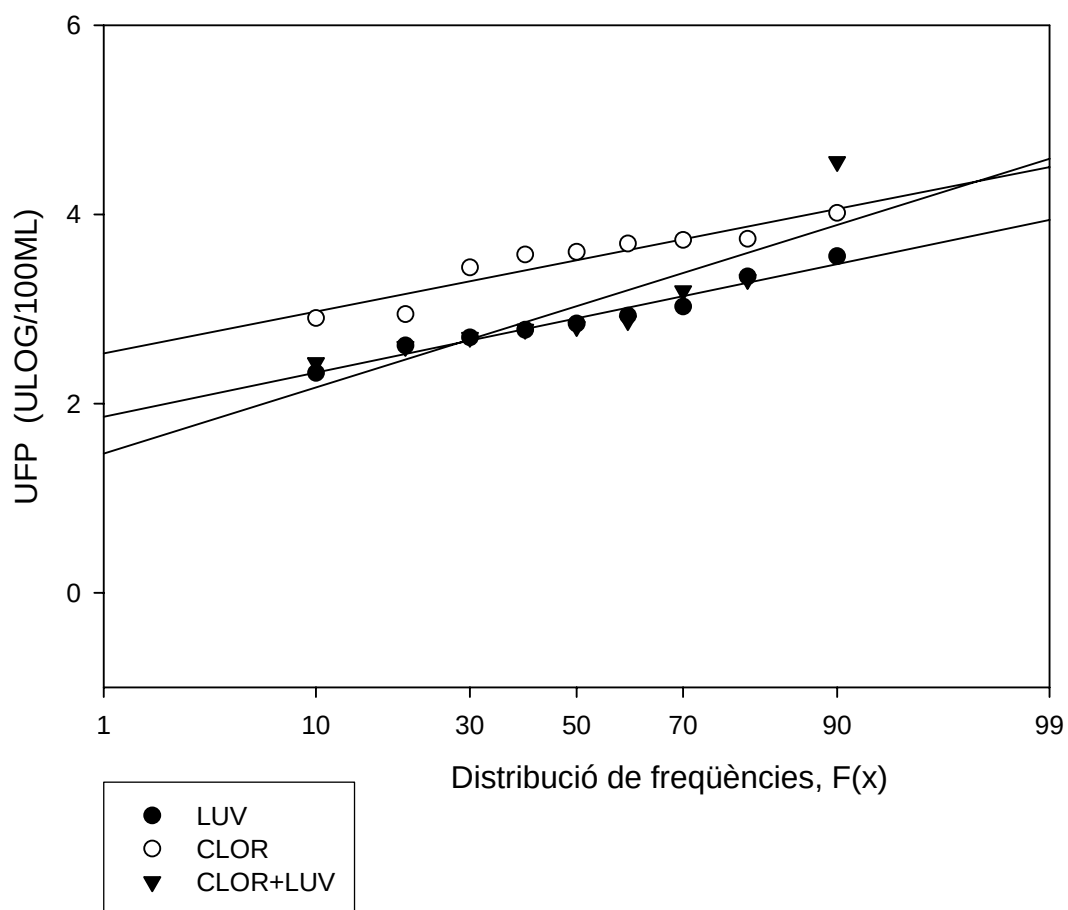
CLOSTRIDIS



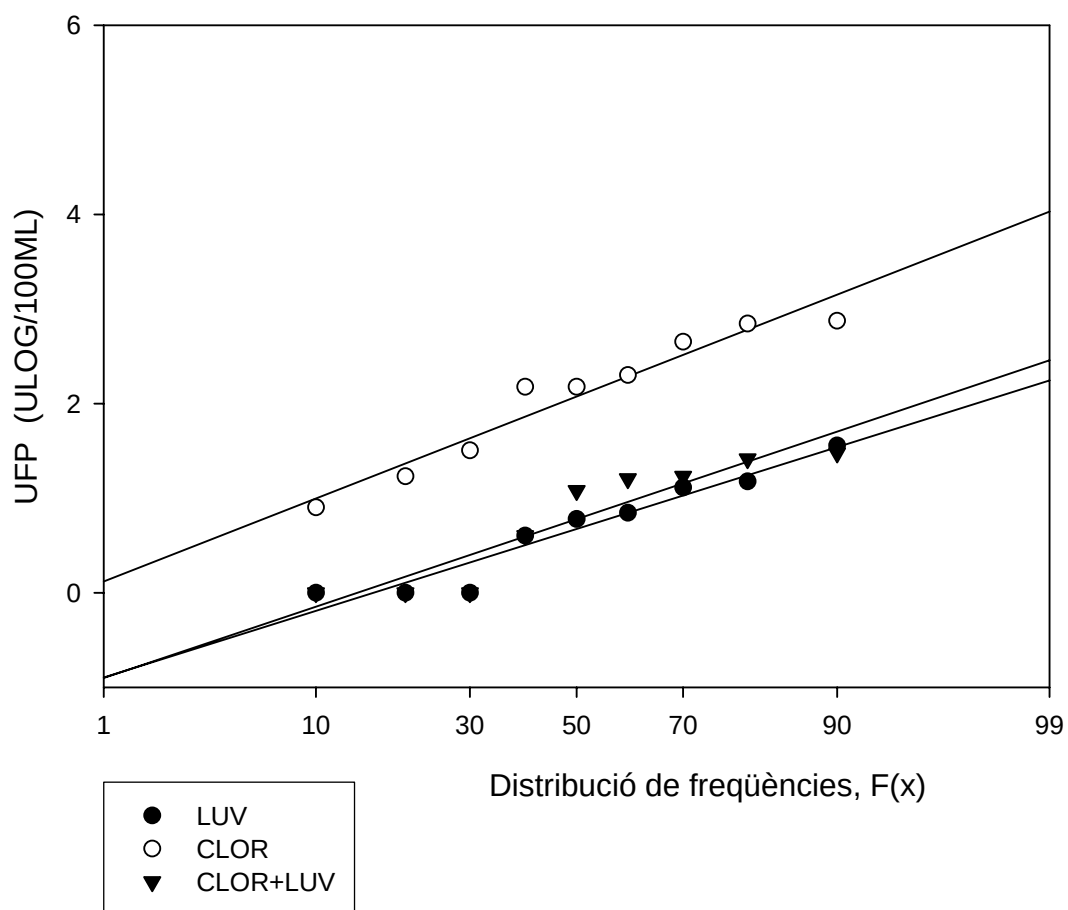
COLIFAGS SOMATICS



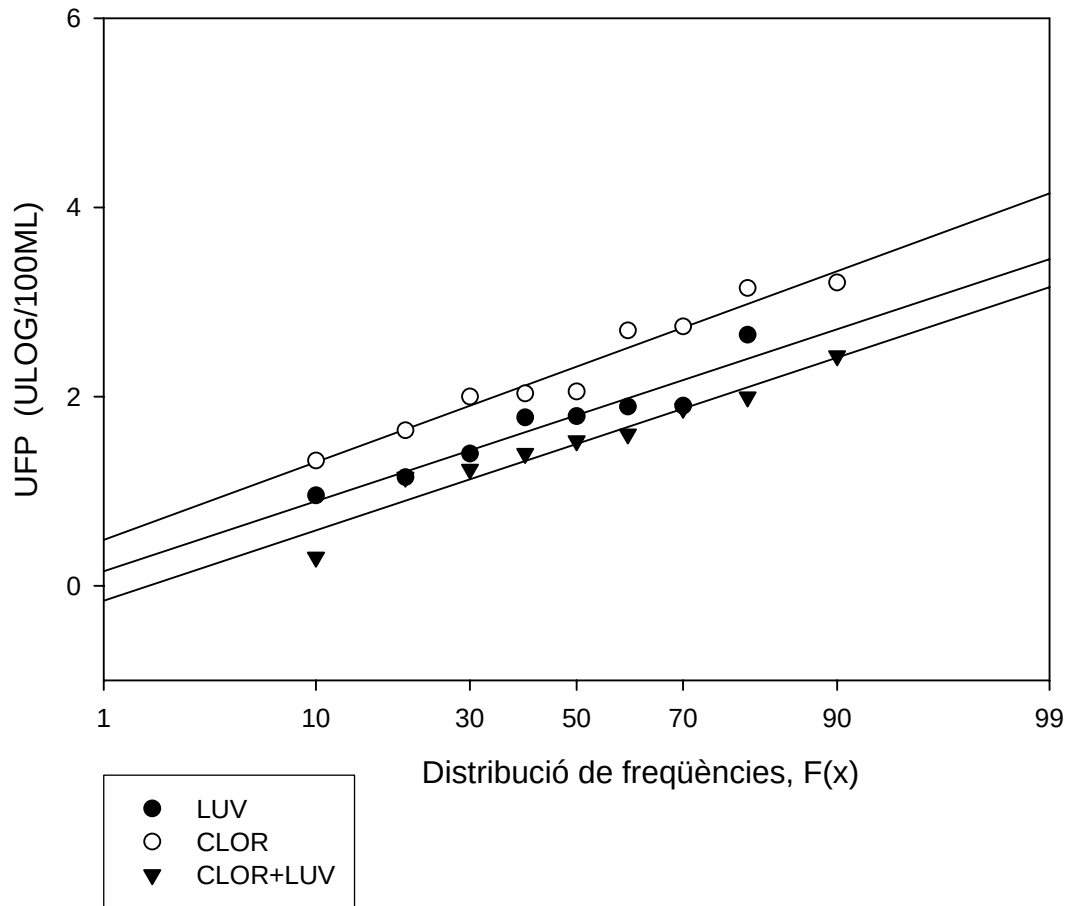
FAGS FRNA-ESPECIFICS



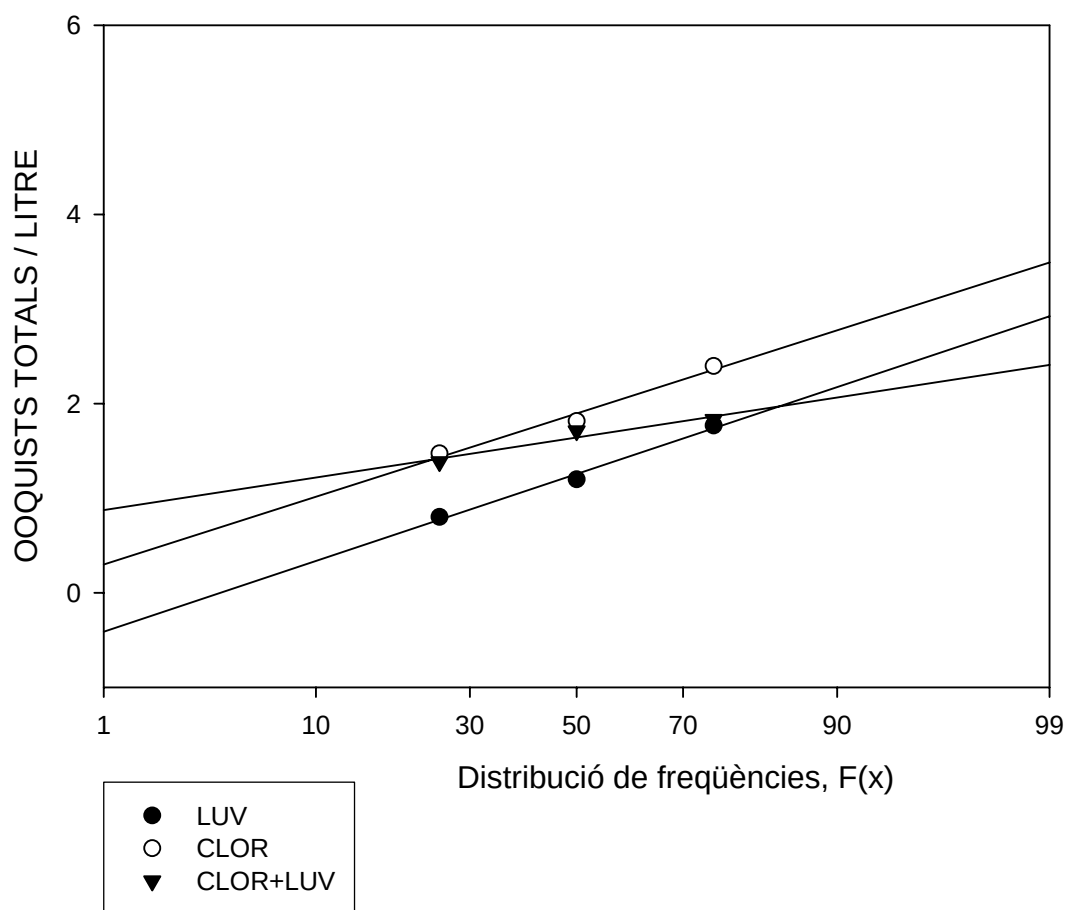
FAGS BACTEROIDES FRAGILIS RYC2056



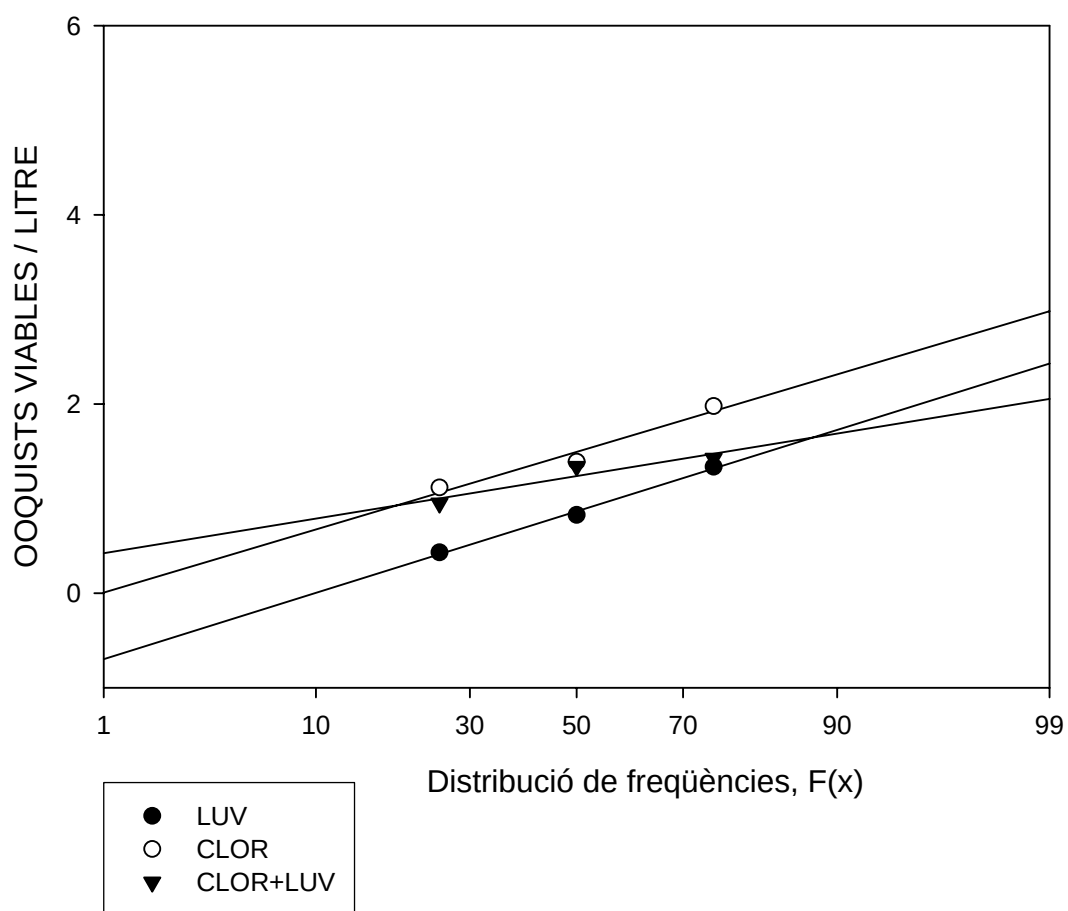
FAGS BACTEROIDES FRAGILIS GA17



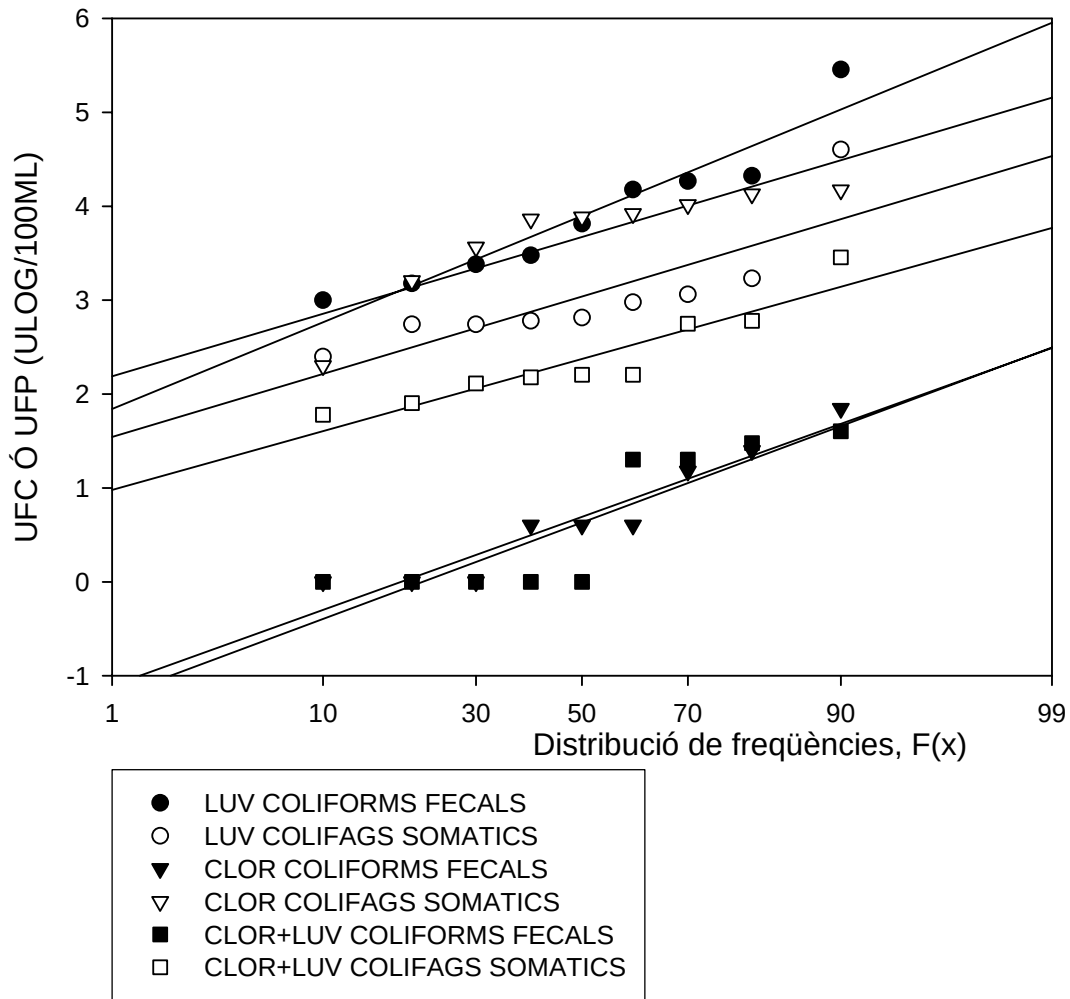
OOQUISTS TOTALS



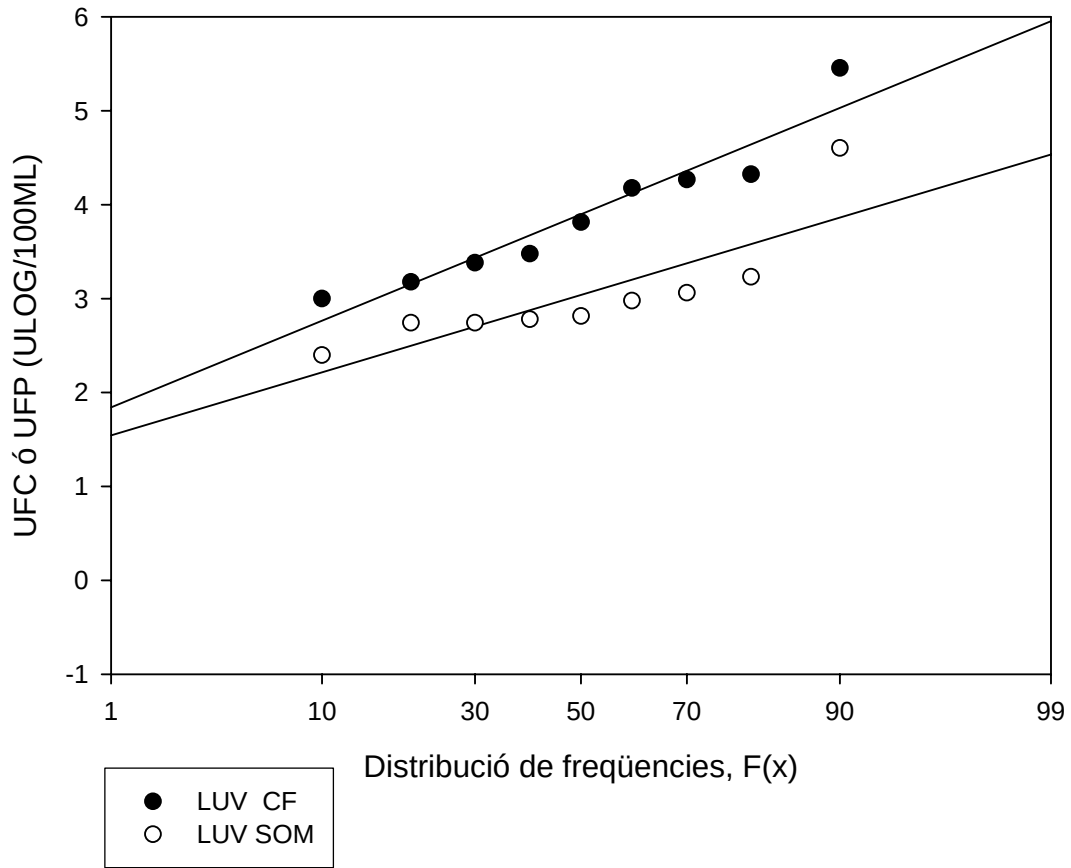
OOQUISTS VIABLES



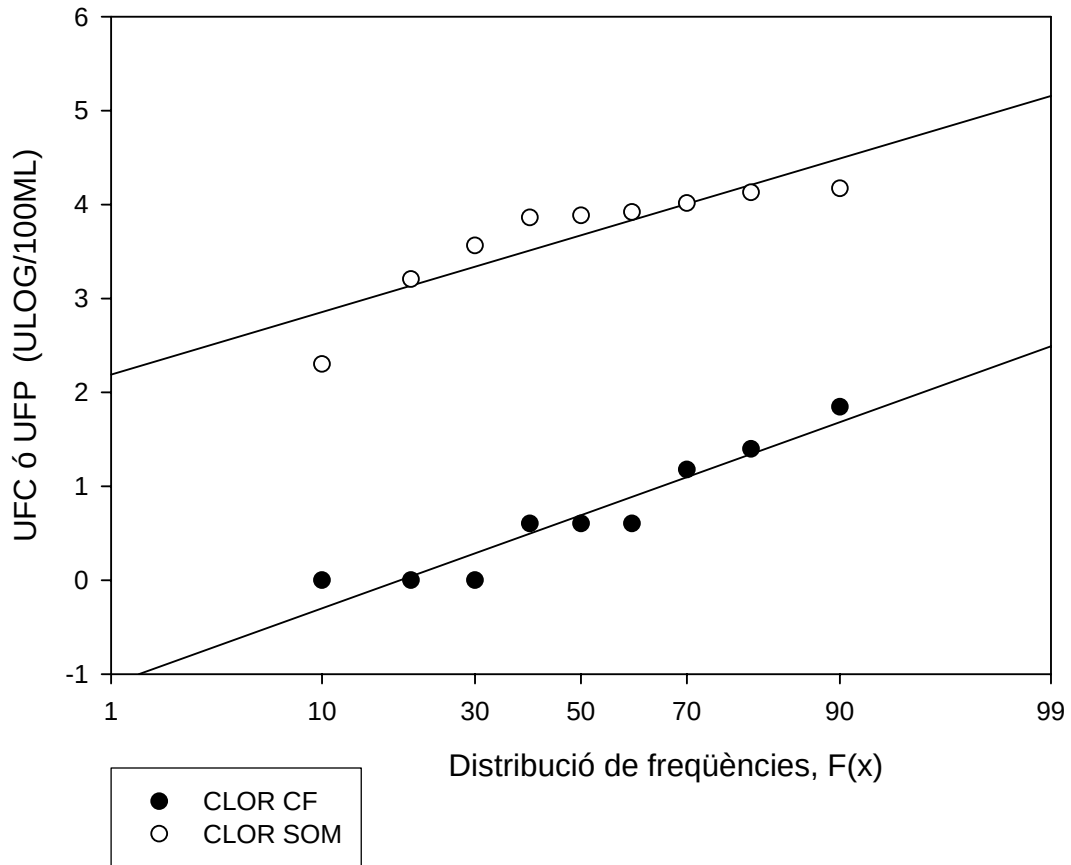
COMPARACIO TRACTAMENTS COLIFORMES FECALS – COLIFAGS SOMATICS



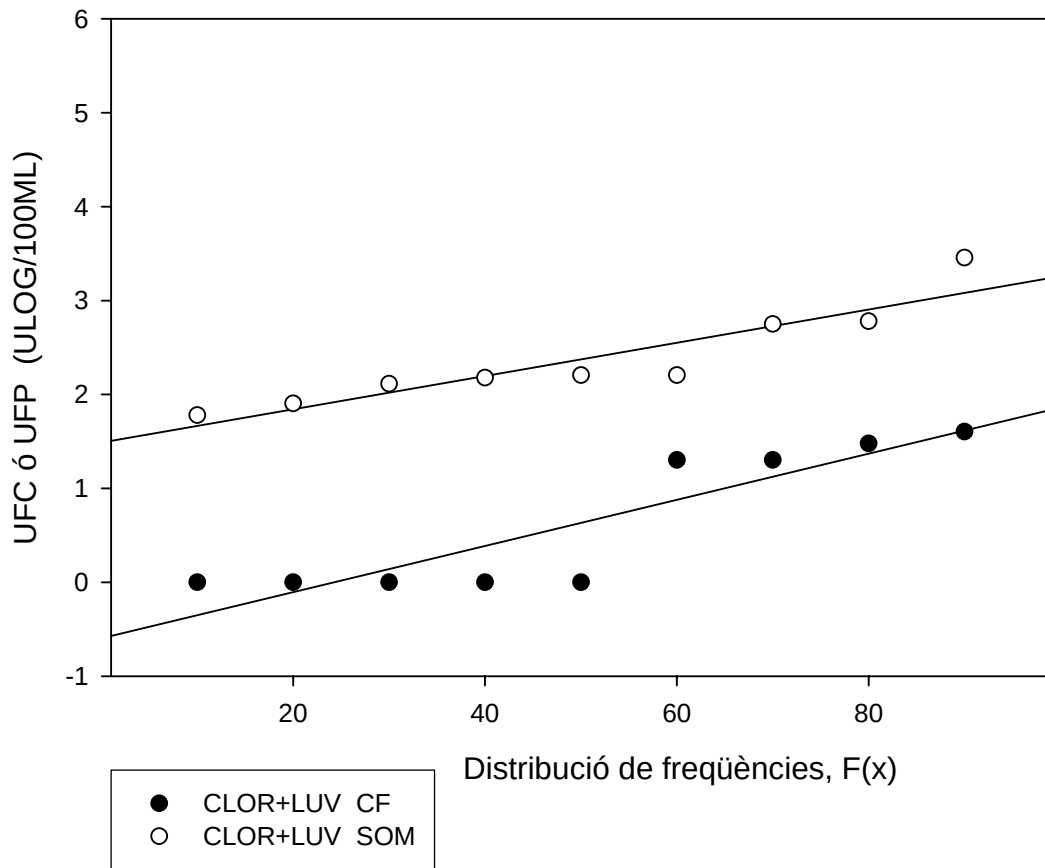
COMPARACIO LLUM ULTRAVIOLADA COLIFORMES FECALS – COLIFAGS SOMATICS



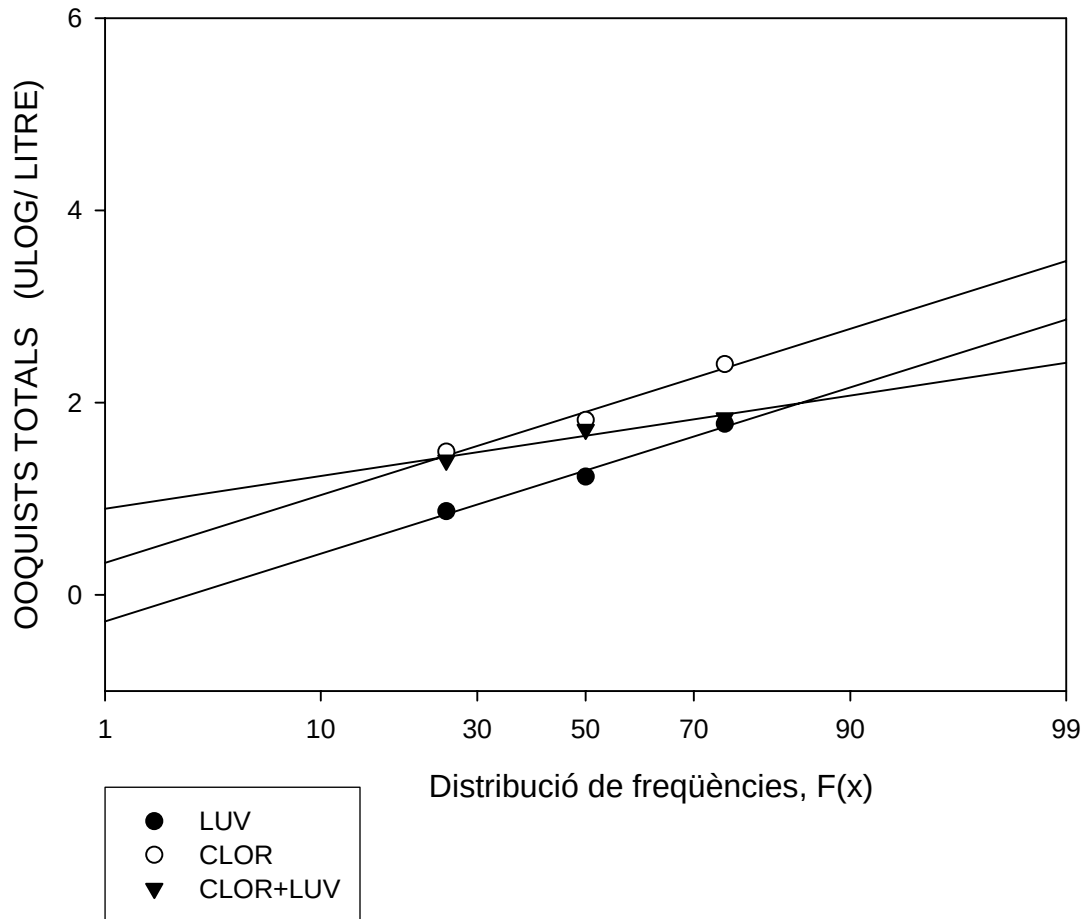
COMPARACIO CLORACIO COLIFORMS FECALS – COLIFAGS SOMATICS



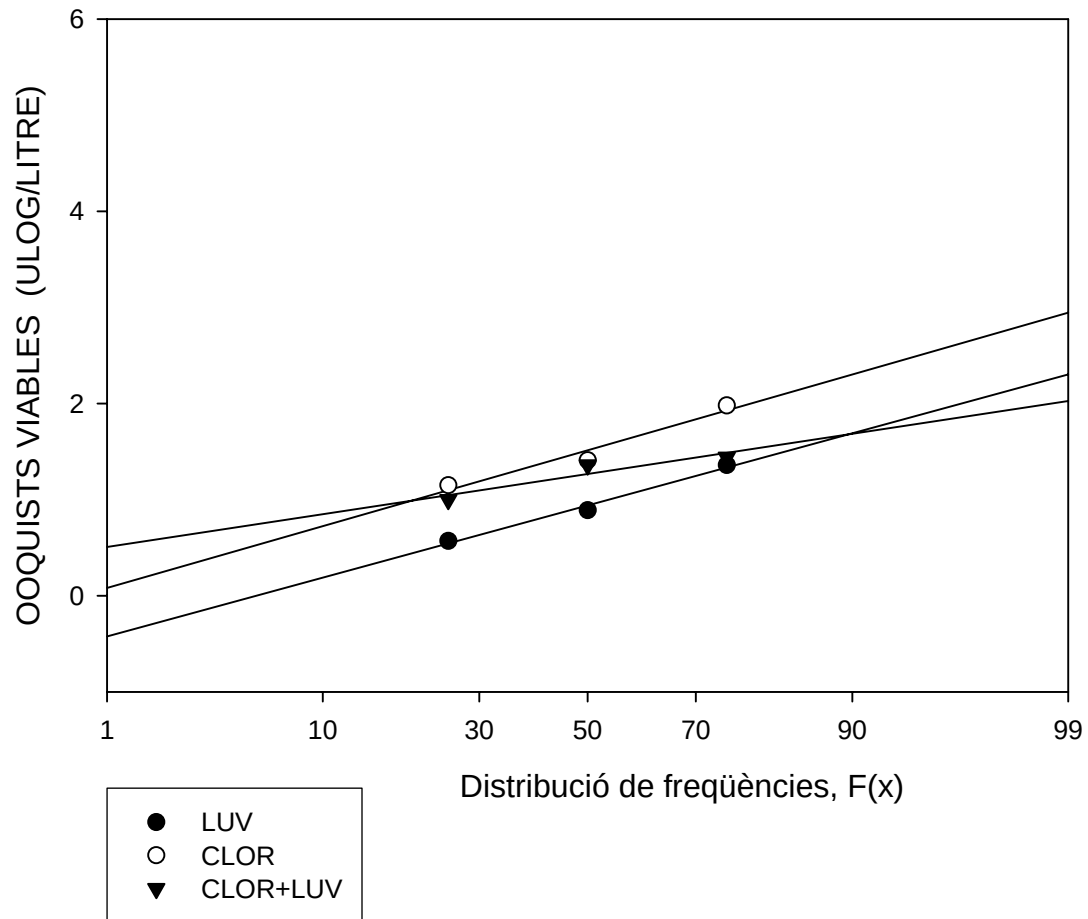
**COMPARACIO CLORACIO + LLUM ULTRAVIOLADA
COLIFORMS FECALS – COLIFAGS SOMATICS**



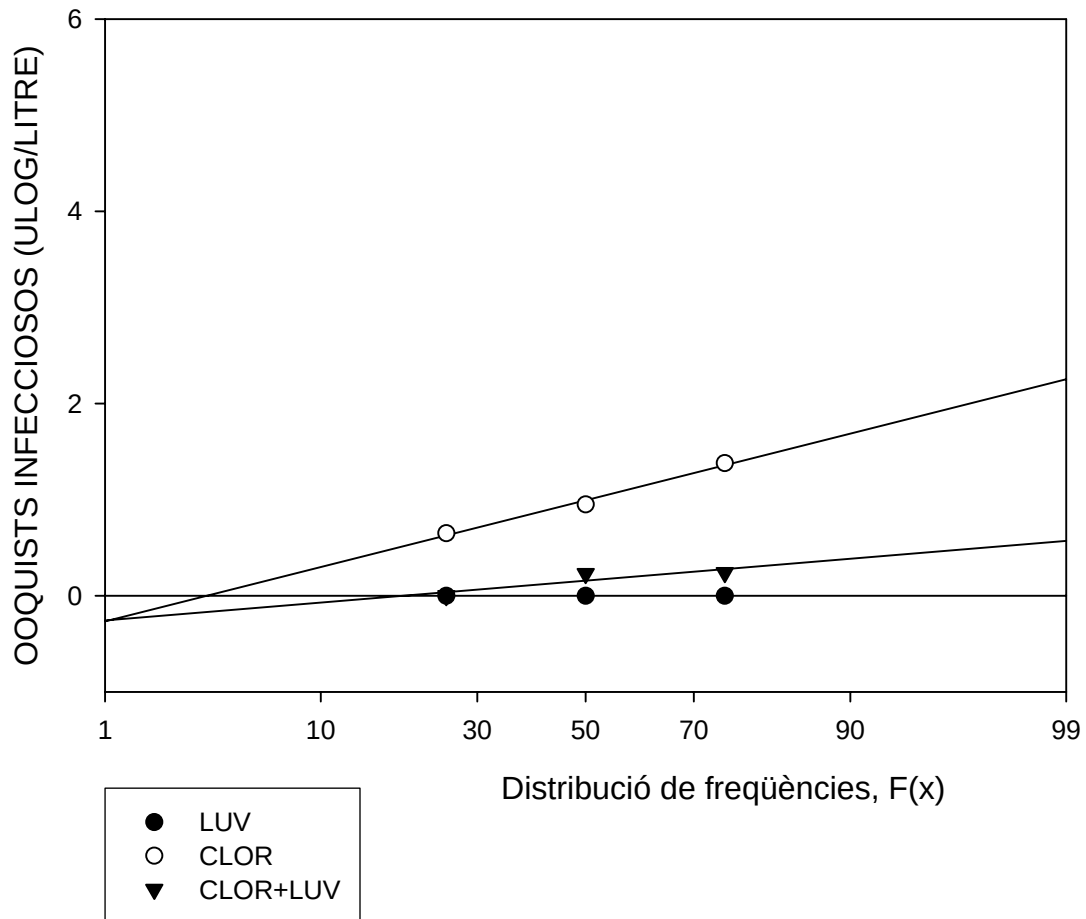
COMPARACIO D'OOQUISTS TOTALS SEGONS TRACTAMENTS



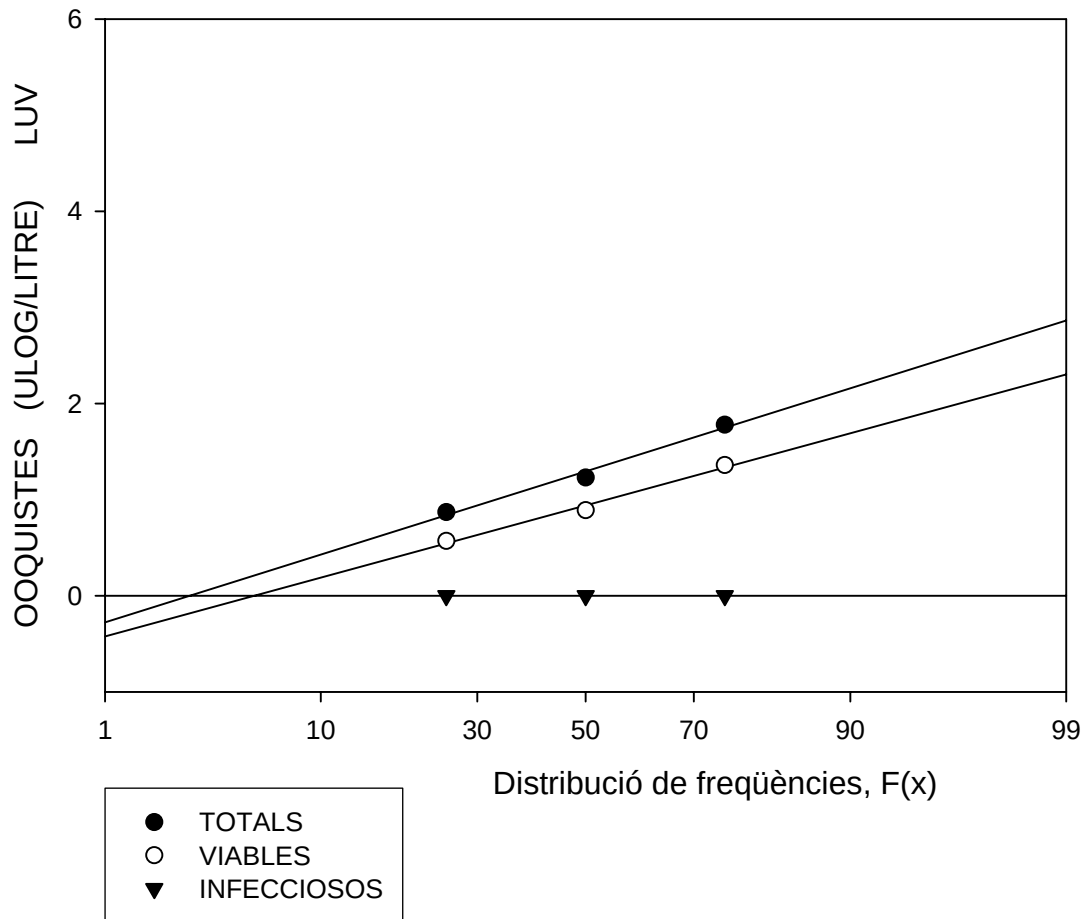
COMPARACIO D'OOQUISTS VIABLES SEGONS TRACTAMENTS



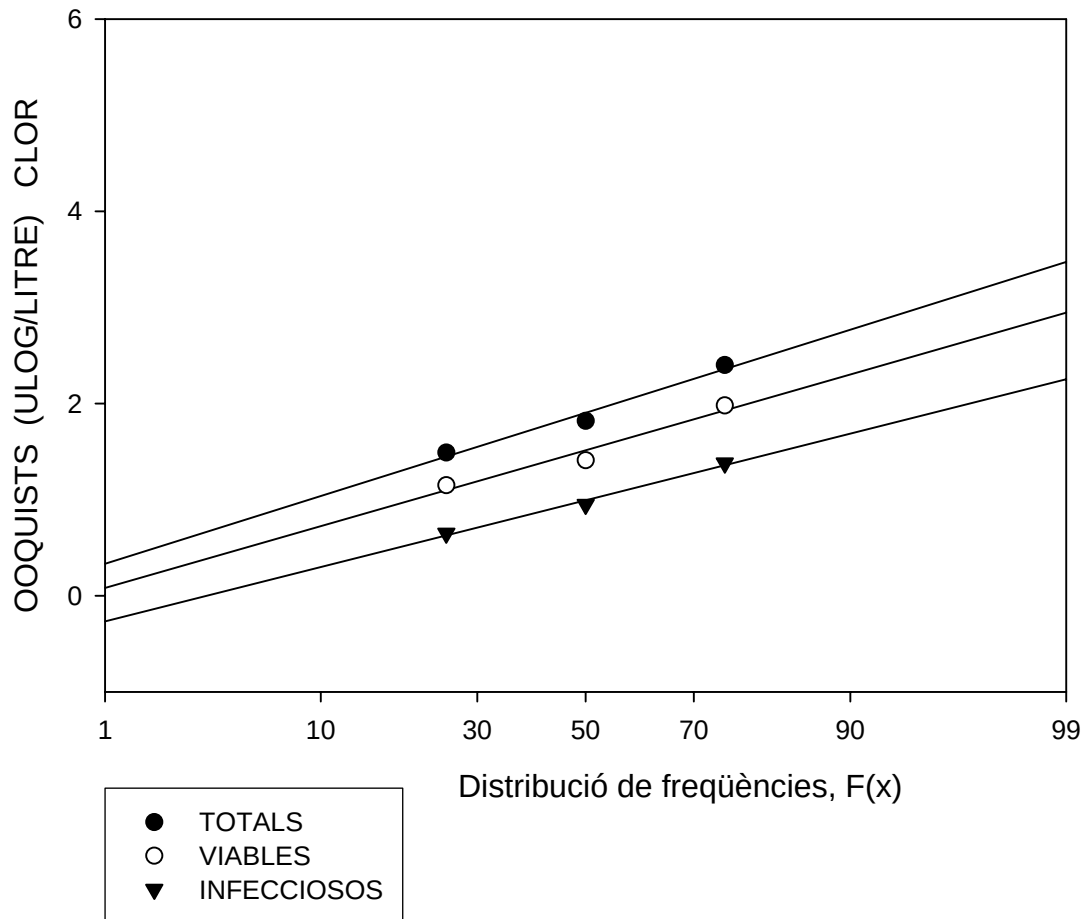
COMPARACIO D'OOQUISTS INFECCIOSOS SEGONS TRACTAMENTS



TRACTAMENT DE LLUM UV
NIVELIS D'OOQUISTS TOTALS, VIABLES I INFECCIOSOS



TRACTAMENT DE CLORACIO
NIVELIS D'OOQUISTS TOTALS, VIABLES I INFECCIOSOS



**TRACTAMENT DE CLORACIO + LLUM ULTRAVIOLADA
NIVELIS D'OOQUISTS TOTALS, VIABLES I INFECCIOSOS**

