

CONSORCI DE LA COSTA BRAVA

**SEGUIMENT DE LA QUALITAT DE LES
AIGÜES A LA ZONA DEL PARC NATURAL
DELS AIGUAMOLLS DE L'EMPORDÀ**

Informe: Avaluació de la Qualitat Bacteriològica de les Aigües
Superficials i Subterrànies del Parc Natural dels Aiguamolls
de l'Empordà

Realitzat per: Rafael Mujeriego i Joan García
Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental
Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental
ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports
Universitat Politècnica de Catalunya

Estudi emmarcat dins del Projecte de Restauració Ambiental al
Parc Natural dels Aiguamolls de l'Alt Empordà i finançat en un
80% pels Fons d'Infraestructures per a la Millora del Medi
Ambient de la Unió Europea

Girona, Desembre de 1997

Introducció

L'any 1995 el Consorci de la Costa Brava (CCB) va sol·licitar al FIMMA de la Unió Europea un ajut per realitzar un projecte de restauració i millora ambiental del Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà (PNAE). L'objectiu principal d'aquest projecte és mantenir el nivell d'aigua d'algunes de les llacunes del PNAE durant el període de sequera estival i augmentar així la seva superfície inundada mitjançant la reutilització dels efluent de l'EDAR d'Empuriabrava. Per dur a terme el projecte i atès que es tracta d'una zona sensible d'alt interès ecològic es va decidir realitzar un tractament terciari dels efluent en un aiguamoll construït amb l'objectiu fonamental de reduir la concentració de nutrients, en especial de nitrogen (veure l'apartat d'Eliminació de Nutrients a l'EDAR d'Empuriabrava: Implicacions sobre el Funcionament de l'Aiguamoll Construït).

D'altra banda i atès que l'EDAR d'Empuriabrava no disposa d'un sistema de desinfecció dels seus efluent es va plantejar la possibilitat de construir un equip de cloració per assegurar la qualitat sanitària de les aigües de l'aiguamoll construït de tractament terciari i de l'Estany del Cortalet (destí final dels efluent). En aquest sentit, es va decidir realitzar paral·lelament a la construcció de l'aiguamoll un estudi de caracterització bacteriològica de les aigües del PNAE amb l'objectiu principal d'establir les necessitats reals de desinfecció dels efluent de l'EDAR.

Per a la realització d'aquest estudi el CCB va signar un Conveni de Col·laboració amb la Universitat Politècnica de Catalunya amb l'objectiu de disposar dels serveis de la Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental en la presa de mostres, realització d'analítiques i avaluació de les dades bacteriològiques. Dins d'aquests treballs, la Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental va posar en marxa tot un seguit de campanyes de mostreig amb periodicitat mensual de les aigües del PNAE que es van iniciar al setembre de 1996 i que van finalitzar a l'agost de 1997. La presa de mostres va tenir lloc simultàniament amb les campanyes de caracterització física, química i biòtica (macroinvertebrats i algues) realitzades pels experts del Departament d'Ecologia de la Universitat de Girona. Les dades bacteriològiques obtingudes han servit per a l'elaboració del treball que es presenta.

El present treball anomenat ***Avaluació de la Qualitat Bacteriològica de les Aigües Superficials i Subterrànies del Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà*** ha estat realitzat a petició del Sr. Lluís Sala, del CCB, per la Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental. L'avaluació de les dades i la redacció de l'informe han estat realitzats pels Srs. Rafael Mujeriego i Joan García. Els treballs analítics han estat duts a terme pel Sr. Jordi Sala. Les dades de biomassa d'aus d'alguns dels estanys i recs caracteritzats en aquest estudi han estat facilitades pel Sr. Jordi Martí del PNAE.

Objectius

L'objectiu principal d'aquest treball és avaluar la qualitat bacteriològica de les aigües superficials i subterrànies dels PNAE. Els resultats obtinguts han de permetre establir les necessitats reals de desinfecció de l'efluent de l'EDAR d'Empuriabrava abans de ser reutilitzat. L'objectiu principal es pot dividir en una sèrie d'objectius específics que a continuació es descriuen:

- 1) Determinar les concentracions absolutes de bacteris indicadors en els punts de mostreig. Avaluar la variabilitat temporal i espacial de les concentracions.
- 2) Valorar la incidència dels factors que poden causar variacions en la qualitat bacteriològica de l'aigua.
- 3) Realitzar una proposta de seguiment futur de la qualitat bacteriològica en la zona d'estudi.

Metodologia

La presa de mostres ha tingut lloc sobre quatre ambients diferenciats del PNAE: 1) a la Reserva Dolça -aigües superficials amb poca influència marina-, 2) a la Reserva Salada -aigües superficials amb influència marina-, 3) als rius Muga i Fluvià i 4) a quatre pous -aigües subterrànies-. També s'han recollit mostres de l'efluent de l'EDAR d'Empuriabrava (DP.M01). La freqüència de mostreig ha estat mensual per a les aigües superficials i l'efluent, i trimestrals per a les subterrànies (des de setembre de 1996 fins a l'agost de 1997). Totes les mostres es recollien el mateix dia de mostreig, excepte les de les aigües subterrànies.

A la Figura 1 es mostra un mapa de situació de la zona estudiada on s'indiquen els punts de mostreig. Els punts de mostreig efectuats a la Reserva Dolça han estat l'estany de Vilaüt (RD.M02), el rec del Molí a Castelló d'Empúries (RD.M07), el rec del Molí després de l'EDAR de Castelló d'Empúries (RD.M08), el rec Madral sota el Pont del Mig (RD.S02) i el rec Madral sota el Tercer Pont (RD.S03). Pel que fa a la Reserva Salada, els punts de mostreig han estat la passera de la Riereta Interior de l'estany del Cortalet (RS.M01), la Comporta interior (RS.M06), el Rec Corredor (RS.S01) i l'estany d'en Túries al costat del mar (RS.S05). Els punts de mostreig dels rius han estat el riu Muga (SP.M01), el riu Muga després de l'EDAR d'Empuriabrava (SP.M04) i el riu Fluvià (SP.M02). Respecte a les aigües subterrànies, els punts de mostreig eren el pou 1 (AS.T01), el pou de can Comes (AS.T02), el pou de can Túries (AS.T03) i el pou Girasol (AS.T04).

Per a determinar la qualitat bacteriana de les aigües, s'han utilitzat tres dels microorganismes indicadors habituals : bacteris aerobis totals, coliforms fecals i estreptococs fecals. La seva determinació s'ha efectuat pel mètode de filtració en membrana. Els medis de cultiu utilitzats han estat **Nutrient Agar** per als bacteris aerobis totals, **M-FC** per a coliforms fecals i **Agar KF-Streptococcus agar** per a estreptococs fecals, tots de la casa comercial DIFCO, seguint la metodologia especificada en el llibre **L'anàlisi microbiològica de les aigües de consum** (Generalitat de Catalunya, 1988). En el segon i tercer medis de cultiu se'ls hi ha afegit un 1,5% d'agar bacteriològic per convertir-los en medis sòlids, mentre que al primer se li ha afegit un 0,5% d'agar per a facilitar el procés de solidificació. Els bacteris aerobis i els estreptococs fecals s'han incubat durant 48 hores a 37°C, mentre que els coliforms fecals s'han incubat a 44°C durant 24 hores. Les mostres s'han recollit amb ampolles de vidre de 500 ml prèviament esterilitzades. Les mostres s'han pres directament de les aigües obrint l'ampolla sota l'aigua. En el cas de les aigües subterrànies, l'aigua es prenia directament d'una bomba que permetia captar l'aigua. En aquest cas, es deixava rajar uns minuts el flux d'aigua per aconseguir que la mostra fos homogènia i evitar així la possible distorsió en els resultats de l'aigua retinguda a la canonada.

Figura 1. Mapa de situació de la zona estudiada amb els punts de mostreig

Les dades de biomassa d'aus presents durant el dia de mostreig de l'estany del Cortalet, estany de Vilaüt, estany d'en Túries -prop del mar- i del rec Madral s'han obtingut per censat directe de les poblacions i posterior transformació a través del pes mitjà de cada espècie.

Resultats i discussió

A l'Annex 1 es mostren els resultats analítics obtinguts durant tot l'estudi. A l'Annex 2 es mostren els valors de la biomassa d'aus obtinguts a partir del censat directe de les poblacions. A l'Annex 3 es mostren alguns resultats addicionals de mostres analitzades durant els mesos d'octubre i novembre de 1997 dels següents punts: RD. M07, RD.M08, DP.M01 i efluent de l'EDAR de Castelló d'Empúries.

Variabilitat temporal i espacial a la Reserva Dolça

A la Figura 2 es mostra l'evolució temporal de la concentració dels tres microorganismes indicadors al rec del Molí abans de l'EDAR de Castelló d'Empúries (RD.M07) i aigües avall després de l'EDAR (RD.M08). Com es pot observar, les concentracions s'han mantingut relativament constants durant tot el període d'estudi tant abans com després de l'EDAR. Només durant els mesos d'octubre i de novembre de 1996 han estat abans de l'EDAR i en tots tres microorganismes indicadors un ordre de magnitud per sobre la pauta general. Les concentracions observades després de l'EDAR han estat generalment superiors en un ordre de magnitud a les d'abans de l'EDAR. Aquest fet és degut a que el Rec del Molí rep un abocament d'aigües residuals sense tractar entre els dos punts de mostreig (RD.M07 i RD.M08). La quantitat d'aigua abocada depèn de l'aigua d'escorriment de regadiu que s'infiltra a la xarxa de clavegueram. En arribar un excés de cabal a l'EDAR actuen els sobreexidors i s'aboca part de l'aigua d'infiltració mesclada amb aigua residual. Les concentracions de microorganismes indicadors de contaminació fecal de mostres de l'efluent de l'EDAR de Castelló d'Empúries analitzades durant els mesos d'octubre i novembre són inferiors que les observades abans de l'EDAR, de manera que l'abocament de l'efluent tendeix a diluir l'aigua circulant pel rec del Molí i per tant millora la seva qualitat des d'un punt de vista microbiològic. Només al mes de novembre les concentracions dels tres microorganismes indicadors han estat superiors abans de l'EDAR. En aquell moment el rec del Molí es va buidar i el nivell d'aigua era molt baix, la qual cosa probablement va repercutir en la qualitat microbiològica de l'aigua.

A la Figura 3 es mostra l'evolució temporal de la concentració dels tres microorganismes indicadors a l'estany de Vilaüt (RD.M02), el rec Madral sota el Pont del Mig (RD.S02) i el rec Madral sota el Tercer Pont (RD.S03). La concentració de bacteris aerobis s'ha mantingut relativament constant durant tot l'estudi en els tres llocs, amb excepció del juliol de 1997 que s'observa un petit augment a l'estany de Vilaüt i novembre de 1996 i gener de 1997 que també augmenta al rec Madral sota el Pont del Mig. Les concentracions de coliforms fecals i d'estreptococs fecals dels tres llocs han estat en termes generals baixes. Les concentracions observades a l'estany de Vilaüt durant els mesos de setembre, octubre i novembre de 1996 han estat superiors que les detectades durant la resta de l'estudi. Tanmateix, la biomassa d'aus presents durant els dies de mostreig d'aquests mesos no és superior a la de la resta de

mostrejos. D'altra banda, les condicions físic-químiques de l'aigua tampoc suggereixen la possibilitat d'un petit abocament d'aigües residuals, només durant el mes d'octubre es va detectar un augment considerable de la concentració d'amoníac (fins a 3 mg N/l, quan normalment és de 0,1 mg N/l). De manera que les concentracions elevades probablement estan relacionades amb l'absència de pluges fins el mes de desembre i amb nivells baixos d'aigua en general.

Les concentracions de coliforms fecals i estreptococs fecals del rec Madral sota el Pont del Mig també han disminuït durant l'estudi, però menys que en el cas de l'estany Vilaüt atès que en cap moment ha assolit valors comparables durant els mesos d'octubre i novembre. Similarment al que ja s'ha esmentat per a l'estany de Vilaüt, no s'observen valors superiors dels indicadors de contaminació fecal quan la biomassa d'aus també és més elevada. El rec Madral sota el Tercer Pont ha presentat valors més baixos de la concentració de coliforms fecals i estreptococs fecals aproximadament des de desembre de 1996 fins al juliol de 1997, just quan la conductivitat elèctrica de l'aigua és més baixa. Aquest punt presenta un confinament màxim de les aigües del rec Madral perquè sota del Tercer Pont hi ha una comporta que interrompeix el flux d'aigua cap al mar. En conseqüència és representatiu de la qualitat de l'aigua que circula pel rec Madral (ja que no té influència marina, a diferència de sota del Pont del Mig). La qualitat microbiològica de l'aigua d'aquest punt depèn doncs dels abocaments contaminants realitzats en punts precedents, el que pot estar relacionat amb el fet inusual que la concentració de microorganismes de la contaminació fecal sigui més baixa quan la conductivitat elèctrica també és més baixa (les variacions de conductivitat elèctrica no són degudes a les fluctuacions de la influència d'aigua marina).

De tots els punts de mostreig estudiats a la Reserva Dolça, els dels rec del Molí presenten concentracions de microorganismes de contaminació fecal significativament superiors a la resta (Figures 2 i 3), de manera que les seves aigües tenen una qualitat més baixa. Des d'un punt de vista químic els punts del rec del Molí també són els de més baixa qualitat (la concentració de nitrats i nitrògen inorgànic és generalment superior). No obstant, la concentració màxima detectada de nitrògen inorgànic en aquests punts és de 4 mg N/l, de manera que les seves aigües poden ser potabilitzades pel fet de tenir una concentració sempre inferior als 10 mg N/l.

Variabilitat temporal i espacial a la Reserva Salada

A la Figura 4 es mostra l'evolució temporal de la concentració dels tres microorganismes indicadors a la Riereta Interior de l'estany del Cortalet (RS.M01), la Comporta interior (RS.M06), el Rec Corredor (RS.S01) i l'estany d'en Túries al costat del mar (RS.S05). La concentració de bacteris aerobis s'ha mantingut relativament constant durant l'estudi als quatre llocs, amb excepció de gener de 1997 que s'observa un augment considerable al Rec Corredor. Les concentracions de coliforms fecals i d'estreptococs fecals dels quatre llocs han estat en termes general baixes. És de destacar el fet que les concentracions de coliforms fecals i estreptococs fecals han estat força similars entre sí a la Comporta interior, el Rec Corredor i la Riereta Interior en comparació amb les observades per a les aigües de la reserva dolça (veure Figura 3) i les de l'estany d'en Túries. Les concentracions observades a l'estany d'en Túries experimenten a partir del mes de gener i fins al final de l'estudi una davallada molt important i es mantenen a l'entorn de 10 ufc/100 ml. Aquest punt és el de major influència marina i és el que està més allunyat de les aportacions d'aigua dolça,

característiques que probablement expliquen el comportament diferenciat de l'evolució de les concentracions de microorganismes indicadors de la contaminació fecal.

Figura 2. Evolució temporal de la concentració dels tres microorganismes indicadors al rec del Molí abans de l'EDAR de Castelló d'Empúries (RD.M07) i aigües avall després de l'EDAR (RD.M08).

Figura 3. Evolució temporal de la concentració dels tres microorganismes indicadors a l'estany de Vilaüt (RD.M02), el rec Madral sota el Pont del Mig (RD.S02) i el rec Madral sota el Tercer Pont (RD.S03).

Figura 4. Evolució temporal de la concentració dels tres microorganismes indicadors a la Riereta Interior de l'estany del Cortalet (RS.M01), la Comporta interior (RS.S06) el rec Corredor (RS.S01) i l'estany d'en Túries al costat del mar (RS.S05).

Les concentracions de coliforms fecals i estreptococs fecals s'han mantingut relativament constants durant tot l'estudi a la Comporta interior i al rec Corredor. A la Riereta Interior s'ha observat una certa variació en la concentració d'estreptococs fecals amb valors molt baixos al febrer i març de 1997. Aquesta variació no s'adiu de cap manera amb les dades de biomassa d'aus aportades pels tècnics del PNAE.

De tots els punts de mostreig estudiats a la Reserva Salada, els rec Corredor presenta concentracions de microorganismes de contaminació fecal lleugerament superiors a la resta, de manera que les seves aigües tenen una qualitat lleugerament inferior. Des d'un punt de vista químic el rec Corredor també presenta aigües de més baixa qualitat amb valors de la concentració de nitrats significativament superiors a la resta (5-13 mg N/l). Tenint en compte que l'aigua del rec Corredor proveeix l'estany del Cortalet, l'aigua efluent de l'EDAR d'Empuriabrava que s'ha de reutilitzar haurà de tenir com a mínim concentracions dels microorganismes indicadors iguals o inferiors a les observades en aquest rec.

En termes generals, els punts de la reserva salada tenen concentracions dels microorganismes indicadors de contaminació fecal inferiors als de la reserva dolça. Aquesta característica es relaciona amb els valors elevats de conductivitat elèctrica que poden assolir les aigües de la reserva salada, sovint gairebé idèntiques a les d'aigües marines. Lògicament aquests punts tenen una gran influència marina que promou la inactivació dels coliforms fecals.

Variabilitat temporal i espacial als rius i a l'efluent de l'EDAR d'Empuriabrava

A la Figura 5 es mostra l'evolució temporal de la concentració dels tres microorganismes indicadors a l'efluent de l'EDAR d'Empuriabrava (DP.M01), al riu Muga abans de l'EDAR (SP.M01) i al mateix riu després de l'EDAR (SP.M04). Els valors de les concentracions de microorganismes observats als efluentes de l'EDAR han presentat una variabilitat temporal bastant important. Tots tres microorganismes indicadors presenten concentracions més elevades durant els mesos de febrer i març just quan l'EDAR està funcionant en forma de llacunatge natural i pràcticament no hi ha aireig mecànic. La qualitat dels efluentes de l'EDAR des d'un punt de vista microbiològic i químic és més baixa durant aquest període que durant la resta del temps (veure

l'apartat d'Eliminació de Nutrients a l'EDAR d'Empuriabrava: Implicacions sobre el Funcionament de l'Aiguamoll Construït).

Els valors de les concentracions dels tres microorganismes indicadors a l'aigua del riu Muga abans i després de l'EDAR d'Empuriabrava s'han mantingut relativament constants durant tot l'estudi, amb excepció dels d'octubre de 1996 abans de l'EDAR, que han estat una mica més elevats que la resta. És de destacar el fet que tant les concentracions de bacteris aerobis com les de coliforms fecals i com les d'estreptococs fecals han tingut valors molt similars abans i després de l'EDAR. Es dedueix que l'aportació (bé sigui en més o menys concentració) de microorganismes deguda a l'EDAR no és prou important com per modificar les concentracions observades al riu. Aquesta característica és molt lògica tenint en compte que el cabal efluent de l'EDAR és molt petit en comparació amb el que discorre pel riu.

A la Figura 6 es mostra l'evolució de la concentració dels tres microorganismes indicadors al riu Fluvià (SP.M02). La concentració no ha presentat una gran variabilitat durant l'estudi, els valors més elevats s'han observat durant els mesos d'octubre i novembre de 1996. Les concentracions de bacteris aerobis, de coliforms fecals i d'estreptococs fecals han estat inferiors a les observades en els dos punts de mostreig del riu Muga (veure Figura 5). Els valors de conductivitat elèctrica enregistrats al riu Fluvià són sensiblement superiors a les detectades al riu Muga, de manera que té una influència marina superior que alhora permet una major inactivació bacteriana.

Figura 5. Evolució temporal de la concentració dels tres microorganismes indicadors a l'afluent de l'EDAR d'Empuriabrava (SP.M04), al riu Muga abans de l'EDAR (SP.M01) i al mateix riu després de l'EDAR (SP.M04).

Figura 6. Evolució temporal de la concentració dels tres microorganismes indicadors al riu Fluvià (SP.M02).

Variabilitat temporal i espacial als pous

A la Figura 7 es mostra l'evolució temporal dels tres microorganismes indicadors a les aigües subterrànies del pou 1 (AS.T01), el pou de can Comes (AS.T02), el pou de can Túries (AS.T03) i el pou Girasol (AS.T04). El rang de concentracions de microorganismes indicadors de contaminació fecal és similar en tots els pous, de manera que la qualitat microbiològica de les seves aigües és semblant. La concentració de microorganismes indicadors de contaminació fecal s'ha de considerar elevada en tots els casos, tenint en compte que es tracta d'aigües subterrànies.

La concentració de bacteris aerobis sempre ha estat superior al pou Girasol. En canvi, a diferència de la resta, aquest pou durant el maig i l'agost de 1997 no ha presentat coliforms totals. Els valors de concentració d'estreptococs fecals del pou Girasol són generalment superiors als que té de coliforms fecals, el que podria suggerir l'existència d'una certa intrusió d'aigües marines que permet una major inactivació de coliforms fecals. Tanmateix, segons el Dr. Joan Bach (*pers. comm.*) el pou Girasol i el pou de can Túries són els que tenen menys influència marina -de fet són els que presenten aigües amb conductivitat elèctrica més baixa i a la vegada estan més lluny

del mar-. D'altra banda, el pou de Can Comes presenta una qualitat química de les aigües comparativament pitjor a la resta de pous, amb concentracions d'amoniac sensiblement superiors i concentracions de nitrats també generalment superiors. No obstant, la qualitat microbiològica de les aigües d'aquest pou no és significativament diferent o pitjor que l'observada a la resta de pous.

Figura 7. Evolució temporal de la concentració dels tres microorganismes indicadors a les aigües subterrànies del pou 1 (AS.T01), el pou de can Comes (AS.T02), el pou de can Túries (AS.T03) i el pou Girasol (AS.T04).

Variabilitat espacial de tota l'àrea d'estudi

De tots els llocs estudiats el que ha presentat la major concentració de microorganismes indicadors de contaminació fecal durant tot l'estudi és el Rec del Molí després de l'EDAR de Castelló d'Empúries (RD.M08). Els Efluents de l'EDAR d'Empuriabrava (DP.M01), el Rec del Molí abans de l'EDAR (RD.M07) i els punts de rius (Muga abans de l'EDAR, SP.M01; Muga després de l'EDAR, SP.M04; Fluvià, SP.M02) també han presentat concentracions elevades dels microorganismes indicadors de la contaminació fecal. Tots aquests punts presenten influències de les activitats agrícoles o ramaderes, o fins i tot possiblement petits abocaments d'aigües residuals que afecten la qualitat de les aigües des d'un punt de vista bacteriològic. Els punts situats a la Reserva Dolça han presentat en termes generals una major concentració dels organismes indicadors de contaminació fecal que els de la Reserva Salada. Aquesta característica es relaciona amb la major influència d'aigües marines que tenen els punts de la Reserva Salada. La salinitat elevada de l'aigua de mar promou una major inactivació dels microorganismes indicadors de contaminació fecal.

Avaluació de salinitat i la biomassa d'aus sobre els microorganismes indicadors

Per a l'avaluació de la salinitat i de la biomassa d'aus sobre la concentració de microorganismes indicadors només s'han utilitzat aquells punts de mostreig d'on es disposa de censos d'aus: l'estany de Vilaüt (RD.M02), el rec Madral sota el Pont del Mig (RD.S02), la passera de la Riereta Interior de l'estany del Cortalet (RS.M01) i l'estany d'en Túries al costat del mar (RS.S05). A la Figura 8 es mostra l'evolució de la biomassa d'aus a cadascun dels punts considerats, segons siguin de la reserva dolça o de la salada. S'ha seguit el següents criteris d'interpretació: 1) atès que la salinitat tendeix a inactivar més efectivament els coliforms fecals que els estreptococs fecals, el quocient entre aquests dos microorganismes tendeix a disminuir quan hi ha influència d'aigües marines fins arribar a assolir valors inferiors a 1 (Geldreich & Kenner, 1969; Feachen, 1975; Doran & Linn, 1979; Mujeriego *et al.*, 1980; Borrego *et al.*, 1982) i 2) com les excrecions de les aus aporten més estreptococs fecals que coliforms fecals, el quocient entre aquests dos microorganismes en aigües freqüentment visitades per aus ha de ser menor que 1 (Geldreich & Kenner, 1969; Doran & Linn, 1979).

A la Figura 9 es representa la conductivitat elèctrica de l'aigua respecte la relació entre coliforms fecals i estreptococs fecals, i la biomassa d'aus el dia mostreig respecte la mateixa relació anterior als quatre punts d'on es disposa de dades censals d'aus (gràfics separats segons es tracti de la reserva dolça o la salada). Com es pot observar, les fluctuacions de conductivitat elèctrica dels punts de la reserva dolça són

molt petites i no permeten explicar les variacions de la relació CF/EF. D'altra banda, la variació de la biomassa d'aus al rec Madral és molt petita (veure Figura 8) i tampoc permet explicar els valors de la relació CF/EF. La relació CF/EF observada a l'estany de Vilaüt sembla que tendeix a disminuir a mesura que augmenta la biomassa, això si, amb una gran dispersió. A la reserva salada la situació es molt diferent perquè són punts amb gran influència marina que promou grans variacions de la conductivitat elèctrica i que a la vegada permeten explicar els valors observats de la relació CF/EF. Tant a l'estany d'en Túries com a l'estany del Cortalet (i fins i tot en conjunt) la relació CF/EF disminueix a mesura que augmenta la conductivitat elèctrica. La variació de la biomassa d'aus a l'estany d'en Túries és molt petita (veure Figura 8) i no té cap influència remarcable sobre la relació CF/EF. En canvi, a l'estany del Cortalet s'observa una certa tendència -amb gran dispersió- a disminuir la relació CF/EF a mesura que augmenta la biomassa d'aus.

Figura 8. Evolució de la biomassa d'aus a cadascun dels punts considerats, segons siguin de la reserva dolça o de la salada temporal.

Els resultats obtinguts en aquest apartat indiquen que tant la quantitat de biomassa d'aus present com a procés d'aportació de microorganismes indicadors, com la salinitat com a paràmetre de control d'inactivació bacteriana regulen la qualitat microbiològica de les masses d'aigua del PNAE. Quan la influència marina és important -durant una gran part del cicle anual- la qualitat microbiològica de l'aigua es manté relativament constant i en un bon nivell malgrat que la biomassa d'aus sigui molt elevada, com succeeix al punt de la riereta interior de l'estany del Cortalet (RS.M01). Si la biomassa d'aus és baixa i la influència marina és molt important, la qualitat microbiològica pot arribar a ser molt bona com és el cas de l'estany d'en Túries. Els punts de la reserva dolça tenen poca variabilitat de la salinitat i per això els que són comparativament més visitats per les aus -com és el cas de l'estany Vilaüt front el rec Madral- mostren relacions més o menys aparents amb la concentració de biomassa. Dels resultats obtinguts es dedueix que la inactivació bacteriana per salinitat assegura la qualitat microbiològica de les masses d'aigua de la reserva salada malgrat que siguin sovint visitades per aus. La inactivació (o desaparició) de microorganismes sembla doncs un procés més important que no pas la producció.

Figura 9. Diagrames de traçat entre conductivitat elèctrica de l'aigua respecte la relació entre coliforms fecals i estreptococs fecals, i la biomassa d'aus el dia mostreig respecte la mateixa relació anterior als quatre punts d'on es disposa de dades censals d'aus (gràfics separats segons es tracti de la reserva dolça o la salada).

Conclusions

1. Les concentracions de microorganismes indicadors de contaminació fecal més elevades s'observen als efluent de l'EDAR d'Empuriabrava (DP.M01) i al rec del Molí després de l'EDAR de Castelló d'Empúries (RD.M08). Al rec del Molí els valors són deguts a l'abocament d'aigües d'infiltració mesclades amb aigües residuals provinents del sobreeixidor de l'EDAR de Castelló d'Empúries. Els valors de les concentracions de microorganismes indicadors també són elevats al rec del Molí

abans de l'EDAR de Castelló d'Empúries (RD.M07) i als punts de rius (Muga abans de l'EDAR, SP.M01; Muga després de l'EDAR, SP.M04; Fluvià, SP.M02). Aquests valors suggereixen la presència d'abocaments o contaminació difusa procedents d'activitats agrícoles o ramaderes de la zona, i fins i tot possiblement petits abocaments d'aigües residuals domèstiques que afecten la qualitat de les aigües des d'un punt de vista bacteriològic.

2. Els valors de les concentracions de microorganismes indicadors de contaminació fecal als punts de la Reserva Salada són en termes generals inferiors que els de la Reserva Dolça. Aquesta característica és deguda a la major influència marina dels punts de la Reserva Salada, que promou una inactivació bacteriana superior. La variabilitat temporal de la concentració dels microorganismes indicadors de contaminació fecal no ha estat en general massa marcada en tots els punts estudiats. Només en alguns punts com el rec Madral sota del Tercer Pont o l'estany d'en Túries s'observa una lleugera variació temporal, així com en l'efluent de l'EDAR d'Empuriabrava i que es relaciona amb el seu règim d'explotació.
3. La concentració de microorganismes indicadors de contaminació fecal i les seves proporcions relatives semblen relacionar-se amb la biomassa d'aus censada quan aquesta és relativament elevada durant tot l'any, com és el cas de l'estany de Vilaüt i l'estany del Cortalet. És probable que la dispersió de les dades en aquesta relació sigui deguda a que el càlcul de la biomassa s'estableix en base a recomptes puntuals, sense tenir present el temps que cada individu està a la massa d'aigua en qüestió. Aquesta característica dona una gran imprecisió ja que es suposa que la quantitat de defecacions és proporcional a la biomassa, cosa que no és estrictament certa. És possible doncs que la biomassa d'aus presents *per se* no sigui una bona estima de la quantitat de microorganismes aportats, ja que hauria d'estar referida a un període mínim de temps. Una millor estimació de l'aportació de defecacions possiblement minvaria la dispersió abans esmentada. D'altra banda, la probabilitat de l'existència d'aquesta relació suggereix que les defecacions de les aus són una de les causes més importants de la disminució de la qualitat microbiològica de les masses d'aigua del PNAE.
4. En els punts on té lloc una gran variabilitat de la salinitat com a conseqüència del complex sistema de circulació d'aigua marina i dolça (punts de la Reserva Salada) s'observa una relació prou evident entre la qualitat microbiològica i la conductivitat elèctrica. En aquests punts malgrat que la biomassa d'aus sigui elevada -com és el cas de l'estany del Cortalet-, les grans oscil·lacions de la salinitat fins a valors propers a l'aigua de mar asseguren una inactivació bacteriana significativa que manté relativament estable la qualitat microbiològica de l'aigua.
5. La qualitat bacteriològica de les aigües dels pous estudiats és baixa. No s'observa una relació evident entre la qualitat química i la qualitat microbiològica de les aigües subterrànies. Els pous que tenen una qualitat química més baixa en relació a abocaments puntuals o contaminació difusa no presenten una qualitat microbiològica significativament més baixa, com és cas del pou de Can Comes. Els pous més propers al mar i amb aigües generalment més salades, com és el cas del pou 1 o el pou de can Comes, no presenten valors de la relació CF/EF inferiors que els pous amb menys influència marina. La manca de relació entre qualitat química i microbiològica evidencia una complexitat extrema dels factors que controlen la qualitat microbiològica.

6. La qualitat bacteriològica de l'aigua del rec Corredor és normalment superior a la de l'aigua efluent de l'EDAR d'Empuriabrava. Atès que l'aigua del rec Corredor és la que proveeix habitualment l'estany del Cortalet sembla en principi necessari dotar al sistema de reutilització de l'efluent de l'EDAR d'Empuriabrava d'un dispositiu de desinfecció. Tanmateix, s'ha comprovat que el règim hídric de l'estany del Cortalet, amb gran influència marina, permet assolir una inactivació bacteriana efectiva que potser desinfecti de manera natural l'efluent de l'EDAR (sense tenir en compte, a més, la capacitat de desinfecció de l'aiguamoll construït).
7. No sembla justificable la realització d'un estudi futur de seguiment de la qualitat bacteriològica amb tots els punts de mostreig utilitzats per aquest estudi perquè ja s'ha pogut comprovar quina és la qualitat microbiològica de diferents masses d'aigua del PNAE. D'altra banda, si es volen definir bé els factors que controlen la qualitat microbiològica de qualsevol punt d'aigua el mostreig haurà de tenir una freqüència superior. Amb l'objectiu de definir la necessitat de desinfecció dels efluent de l'EDAR d'Empuriabrava per a la seva reutilització es proposa seguir l'estudi al rec Corredor abans d'arribar a l'estany del Cortalet, al propi estany i a l'efluent de l'aiguamoll construït (durant un període predeterminat abans de començar a desinfectar l'aigua). Es possible que la capacitat desinfectant de l'aiguamoll construït permeti evitar la desinfecció amb clor.

Referències bibliogràfiques

- Borrego, J.J., Arrabal, F. & Romero, P. (1982). Study of the microbiological pollution of a Málaga litoral area: II. Relationship between faecal coliforms and faecal streptococci. **VI Journées Etud. Pollutions**. Cannes, CIESM. pp. 775-777.
- Doran, J.W. & Linn, D.M. (1979). Bacteriological quality of runoff water from pastureland. **Appl. Environ. Microbiol.** 37: 985.
- Feachen, R. (1975). An improved role for faecal coliform to faecal streptococci ratios in the differentiation between human and non-human pollution sources. **Wat. Res.** 9: 689-690.
- Geldreich, E.E. & Kenner, B.A. (1969). Concepts of faecal streptococci in stream pollution. **Jour. Water Poll. Control Fed.** 41: 336-352.
- Generalitat de Catalunya. (1988). **L'anàlisi microbiològica de les aigües de consum**. Sèrie Sanejament Ambiental. Departament de Sanitat i Seguretat Social. Barcelona.
- Mujeriego, R., Bravo, J.M., Canovas, F., de Vicente, A., Pinas, M., Grane, S., Hernández, A. & Feliu, M.T. (1980). **Calidad de aguas costeras y vertido de aguas residuales en el mar: sus aspectos sobre la salud pública**. Comité Conjunto Hispano Norteamericano para la Cooperación Científica y Técnica, Dirección General de Sanidad Ambiental, Ministerio de Sanidad y Seguridad Social. Madrid.

Annex 1

Resultats analítics de qualitat microbiològica de l'aigua obtinguts durant tot l'estudi (des de setembre de 1996 fins a l'agost de 1997).

Dades de qualitat microbiològica dels punts de la Reserva Dolça

Lloc : Estany de Vilaüt
Codi : RD.M02

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set	24-09-96	1.010.000	9.500	1.830
Oct	15-10-96	1.800.000	13.000	5.960
Nov	19-11-96	2.880.000	19.500	2.550
Des	16-12-96	575.000	1.250	10
Gen	21-01-97	450.000	30	15
Feb	11-02-97	200.000	250	10
Mar	11-03-97	325.000	5	34
Abr	15-04-97	500.000	500	109
Mai	14-05-97	375.000	30	51
Jun	11-06-97	500.000	62	117
Jul	15-07-97	22.500.000	720	160
Ago	19-08-97	1.300.000	40	428

Lloc : Rec del Molí després de l'EDAR de Castelló
d'Empúries

Codi : RD.M08

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set	24-09-96	4.700.000	364.000	7.280
Oct	15-10-96	4.150.000	258.000	8.400
Nov	19-11-96	4.680.000	28.800	2.460
Des	16-12-96	1.425.000	62.500	780
Gen	21-01-97	7.240.000	19.300	2.650
Feb	11-02-97	4.300.000	99.000	3.260
Mar	11-03-97	1.900.000	201.000	9.670
Abr	15-04-97	1.400.000	141.000	4.000
Mai	14-05-97	2.400.000	142.000	3.620
Jun	11-06-97	5.100.000	340.000	12.150
Jul	15-07-97	3.200.000	154.000	3.500
Ago	19-08-97	3.900.000	2.000	6.000

Lloc : Rec del Molí a Castelló d'Empúries
Codi : RD.M07

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set	24-09-96	74.400	248	794
Oct	15-10-96	3.275.000	39.500	5.040
Nov	19-11-96	7.630.000	217.000	4.210
Des	16-12-96	187.500	12.000	685
Gen	21-01-97	850.000	6.320	676
Feb	11-02-97	200.000	5.750	90
Mar	11-03-97	650.000	20.800	279
Abr	15-04-97	375.000	1.250	250
Mai	14-05-97	675.000	28.640	182
Jun	11-06-97	325.000	3.000	492
Jul	15-07-97	1.380.000	5.500	656
Ago	19-08-97	1.200.000	50.000	1.662

Lloc : Rec Madral sota el Pont del Mig
Codi : RD.S02

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set	24-09-96	398.000	4.500	1.057
Oct	15-10-96	275.000	2.000	310
Nov	19-11-96	2.025.000	9.500	1.960
Des	16-12-96	325.000	1.250	210
Gen	21-01-97	1.475.000	3.590	544
Feb	11-02-97	50.000	1.750	170
Mar	11-03-97	200.000	320	57
Abr	15-04-97	175.000	250	50
Mai	14-05-97	200.000	130	67
Jun	11-06-97	100.000	220	516
Jul	15-07-97	120.000	280	740
Ago	19-08-97	940.000	30	852

Lloc : Rec Madral sota el Tercer Pont
Codi : RD.S03

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set	24-09-96	310.000	7.500	964
Oct	15-10-96	650.000	3.500	1.050
Nov	19-11-96	1.900.000	1.250	760
Des	16-12-96	650.000	1.000	50
Gen	21-01-97	850.000	60	35
Feb	11-02-97	275.000	53	9
Mar	11-03-97	500.000	34	9
Abr	15-04-97	1.000.000	250	22
Mai	14-05-97	400.000	1	65
Jun	11-06-97	950.000	38	772
Jul	15-07-97	1.300.000	1.380	864
Ago	19-08-97	450.000	320	255

Dades de qualitat microbiològica dels punts de la Reserva Salada

Lloc : Passera Riereta Interior de l'Estany del Cortalet
Codi : RS.M01

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set				
Oct				
Nov	18-11-96	2.675.000	1.000	330
Des	16-12-96	300.000	250	20
Gen	21-01-97	425.000	310	49
Feb	11-02-97	425.000	260	4
Mar	11-03-97	175.000	320	1
Abr	15-04-97	50.000	1.000	24
Mai	14-05-97	17.500	110	15
Jun	11-06-97			
Jul	15-07-97	113.000	1.010	280
Ago	19-08-97	735.000	10	856

Lloc : Rec Corredor
Codi : RS.S01

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set	25-09-96	237.500	10.000	1.062
Oct	14-10-96	525.000	2.500	1.490
Nov	18-11-96	975.000	4.000	2.250
Des				
Gen	21-01-97	50.200.000	670	166
Feb	11-02-97	125.000	440	139
Mar	11-03-97	275.000	440	88
Abr	15-04-97	50.000	1.250	308
Mai	14-05-97	60.000	860	736
Jun	11-06-97	27.500	250	1.885
Jul	15-07-97			
Ago	19-08-97	258.000	340	2.232

Lloc : Comporta Interior
Codi : RS.M06

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set	25-09-96	177.500	7.000	945
Oct	14-10-96	1.275.000	500	260
Nov	18-11-96	1.200.000	500	260
Des	16-12-96	275.000	1.000	560
Gen	21-01-97	195.000	50	29
Feb	11-02-97	600.000	250	10
Mar	11-03-97	525.000	75	241
Abr	15-04-97	425.000	500	250
Mai	14-05-97	125.000	50	64
Jun	11-06-97	25.000	100	70
Jul	15-07-97	125.000	100	62
Ago	19-08-97	65.000	90	318

Lloc : Estany d'en Túries al costat del mar
Codi : RS.S05

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set				
Oct				
Nov	18-11-96	225.000	250	940
Des	16-12-96	175.000	1.000	24.800
Gen	21-01-97	600.000	360	324
Feb	11-02-97	325.000	390	10
Mar	11-03-97	300.000	10	4
Abr	15-04-97	300.000	10	14
Mai	14-05-97	375.000	2	17
Jun	11-06-97	325.000	2	3
Jul	15-07-97	475.000	1	5
Ago	19-08-97			

Dades de qualitat microbiològica dels punts de Rius

Lloc : Riu Muga

Codi : SP.M01

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set	24-09-96	3.500.000	64.500	1.000
Oct	15-10-96	33.478.000	1.997.000	51.830
Nov	19-11-96	4.700.000	33.300	3.680
Des	16-12-96	425.000	23.250	460
Gen	21-01-97	5.700.000	11.900	1.240
Feb	11-02-97	425.000	13.250	260
Mar	11-03-97	2.450.000	13.800	530
Abr	15-04-97	6.500.000	8.250	750
Mai	14-05-97	1.475.000	22.750	800
Jun	11-06-97	2.300.000	41.000	1.150
Jul	15-07-97	400.000	11.800	490
Ago	19-08-97	850.000	9.250	800

Lloc : Riu Muga després d'EDAR d'Empúriabrava

Codi : SP.M04

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set				
Oct				
Nov				
Des				
Gen	21-01-97	5.480.000	16.900	1.760
Feb	11-02-97	1.200.000	20.000	170
Mar	11-03-97	1.850.000	16.000	530
Abr	15-04-97	12.480.000	7.000	250
Mai	14-05-97	400.000	2.000	260
Jun	11-06-97	400.000	8.500	80
Jul	15-07-97	350.000	1.000	50
Ago	19-08-97			

Lloc : Riu Fluvià

Codi : SP.M02

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set	25-09-96	425.000	1.000	140
Oct	14-10-96	1.550.000	62.500	580
Nov	18-11-96	2.850.000	13.800	1.220
Des	16-12-96	75.000	15.750	30
Gen	21-01-97	875.000	3.360	40
Feb	11-02-97	175.000	11.250	10
Mar	11-03-97	225.000	10.500	53
Abr	15-04-97	150.000	1.750	42
Mai	14-05-97	50.000	1.640	136
Jun	11-06-97	350.000	6.800	186
Jul	15-07-97	75.000	1.460	174
Ago	19-08-97	475.000	17.100	724

Dades de qualitat microbiològica dels punts de Pous i de l'EDAR d'Empúriabrava

Lloc : Pou 1

Codi : AS.T01

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Oct	01-10-96	73.500	9.750	887
Gen	19-01-97	400.000	40	5
Mai	14-05-97	16.000	1.155	50
Ago	23-08-97	11.000	80	380

Lloc : Pou de can Túries

Codi : AS.T03

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Oct	01-10-96	2.000	100	1
Gen	19-01-97	25.000	10	2
Mai	14-05-97	29.300	24	62
Ago	23-08-97	400	1	1

Lloc : Pou de can Comes

Codi : AS.T02

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Oct	01-10-96	36.000	909	357
Gen	19-01-97	325.000	1	1
Mai	14-05-97	25.000	118	6
Ago	23-08-97	5.700	20	166

Lloc : Pou Girasol

Codi : AS.T04

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Oct	01-10-96	302.500	250	20
Gen	19-01-97	1.675.000	2	24
Mai	14-05-97	41.900	1	107
Ago	23-08-97	117.600	1	344

Lloc : EDAR d'Empúriabrava

Codi : DP.M01

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Set	25-09-96	3.800.000	10.000	36.000
Oct	15-10-96	400.000	2.500	250
Nov	19-11-96	575.000	5.000	250
Des	16-12-96	1.275.000	3.750	4
Gen	21-01-97	16.000.000	660	14
Feb	11-02-97	23.600.000	310.000	2.480
Mar	11-03-97	8.800.000	512.000	18.800
Abr	15-04-97	211.000.000	30.000	250
Mai	14-05-97	10.900.000	28.000	940
Jun	11-06-97	10.200.000	2.000	16.620
Jul	15-07-97	7.300.000	1.000	250
Ago	19-08-97	2.800.000	44.000	1.250

Annex 2

Valors de la biomassa d'aus obtinguts a partir del censat directe de les poblacions de l'estany del Cortalet, l'estany de Vilaüt, l'estany Túries -prop del mar- i del rec Madral (des de setembre de 1996 fins a l'agost de 1997).

Dades de biomassa d'aus obtingudes a partir del censat directe

Lloc:	Estany	Rec Madral	Estany	Estany
	de Vilaüt		Túries	Cortalet
Codi:	RD.M02	RD.MS02-03	RS.S05	S.M01

Mes	Data	Biomassa (kg)	Biomassa (kg)	Biomassa (kg)	Biomassa (kg)
Set	25-09-96	430	25	2	###
Oct	14-10-96	199	106	22	869
Nov	19-11-96	116	3	5	###
Des	16-12-96	138	57	44	906
Gen	21-01-97	311	223	54	###
Feb	11-02-97	293	101	7	742
Mar	11-03-97	275	66	32	472
Abr	15-04-97	273	26	23	47
Mai	14-05-97	278	11	20	173
Jun	11-06-97	983	11	12	446
Jul	5-07-97	109	18	14	277
Ago	19-08-97	508	23	19	372

Annex 3

Resultats analítics addicionals de la qualitat microbiològica de mostres dels mesos d'octubre i novembre de 1997 dels punts: RD. M07, RD.M08, DP.M01 i efluent de l'EDAR de Castelló d'Empúries.

Dades addicionals de qualitat microbiològica

Lloc : Rec del Molí a Castelló d'Empúries
Codi : RD.M07

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Oct	30-10-97	29.000.000	1.100.000	5.800
Nov	05-11-97	11.000.000	350.000	5.300
Nov	18-11-97	1.300.000	50.000	50

Lloc : EDAR d'Empúriabrava
Codi : DP.M01

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Oct	30-10-97	2.000.000	120.000	860
Nov	05-11-97	500.000	17.000	5.000
Nov	18-11-97	780.000	3.300	130

Lloc : Rec del Molí després de l'EDAR de Castelló d'Empúries

Codi : RD.M08

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Oct	30-10-97	20.000.000	3.200.000	6.100
Nov	05-11-97	8.100.000	270.000	7.100
Nov	18-11-97	3.500.000	310.000	310

Lloc : EDAR Castelló d'Empúries

Mes	Data	BA (ufc/100mL)	CF (ufc/100mL)	EF (ufc/100mL)
Oct	30-10-97	23.000.000	5.000	860
Nov	05-11-97	8.600.000	20.000	1.300
Nov	18-11-97	1.200.000	500	20

















