



El reg amb aigües regenerades

Autoria:

Maria Adrover Fiol
Jaume Vadell Adrover



Govern de les Illes Balears
Conselleria d'Agricultura i Pesca

ÍNDEX

1. Introducció	7
2. Les aigües residuals	9
2.1 Origen	9
2.2 Tractament de les aigües residuals	11
2.3 Reutilització de les aigües residuals	14
3. Utilització de les aigües regenerades per al reg agrícola	15
3.1 Antecedents	15
3.2 Beneficis ambientals	16
3.3 Risc sanitari	17
3.4 Legislació	19
4. Efectes del reg amb aigües regenerades en els sòls i en els cultius	22
4.1 Fertilitat de la terra	22
4.2 Nitrats	25
4.3 Salinitat	27
4.4 Metalls pesants	30
4.5 Producció i contingut mineral dels cultius	34
5. Conclusions	36
6. Bibliografia	37

EDITA:
Conselleria d'Agricultura i Pesca

Text revisat lingüísticament

IMPRIMEIX: Gràfiques Rubines

Dipòsit legal: PM-1662-2007

ISBN: 978-84-690-6759-8

Agraïments:

Volem agrair la col·laboració a Pedro Pons, Antoni Ramis, Francisco Serra, Xavier Serra, Joan Llabrés i Maria Messana, productors d'alfals del pla de Sant Jordi. També volem agrair a la Conselleria d'Agricultura i Pesca del Govern Balear el finançament del projecte de recerca aplicada "Efectes del reg amb aigües residuals tractades sobre el sòl i els cultius".

1. INTRODUCCIÓ

A les Illes Balears l'agricultura de regadiu es localitza sobretot a zones amb fàcil captació d'aigües subterrànies. El creixement de la demanda d'aigua, tant per al reg com per a usos urbans, en el passat va provocar un augment de les extraccions d'aigua de pou, que en alguns casos eren superiors a la infiltració de l'aigua de pluja, fet que es coneix amb el nom de sobreexplotació. En els aqüífers costaners, la davallada del nivell de l'aigua causada per la *sobreexplotació* permet que hi entri aigua marina, cosa que provoca la *salinització*. Aquest fenomen ja s'ha donat en alguns aqüífers de les Illes Balears, com, per exemple, al pla de Sant Jordi i a Campos, a Mallorca; a Ciutadella, a Menorca, i a Sant Antoni de Portmany i a Eivissa ciutat, a l'illa d'Eivissa (LÓPEZ-GARCÍA I MATEOS, 2003).

La pèrdua de recursos hídrics, juntament amb un increment de la demanda per als usos urbans, fa que es qüestionï l'ús d'aigües de qualitat per a l'agricultura i que es plantegin solucions que van des de l'abandonament dels cultius o el canvi a una agricultura de secà fins a la substitució del tipus d'aigua de reg.

Des que es construïren les primeres estacions depuradores a les Illes Balears s'ha promogut la reutilització de les aigües residuals tractades per al reg agrícola i també dels camps de golf. Algunes parcel·les agrícoles s'hi reguen des de fa més de quaranta anys, circumstància que ha permès el manteniment dels regadius tradicionals i l'aparició de nous.

La reutilització de les aigües residuals per al reg agrícola permet disminuir l'extracció d'aigua subterrània, ja que representa una nova font d'aigua, disponible en quantitats abundants. A més, comporta avantatges interessants en l'àmbit agrícola, perquè se'n poden aprofitar les propietats fertilitzants, gràcies als nutrients que conté, i disminuir, d'aquesta manera, els costos en fertilitzants sintètics. Un tercer avantatge està relacionat amb el tractament, ja que en alguns casos es pot prescindir del tractament terciari, necessari per abocar aquestes aigües a zones sensibles (ANGELAKIS *et al.*, 1999).

El primer aspecte que s'ha de tenir en compte abans de reutilitzar les aigües residuals és la qualitat d'aquestes aigües en relació amb la presència de substàncies potencialment tòxiques o d'elements contaminants que s'acumulen en el sòl i en els cultius. També és important avaluar-hi la presència d'organismes patògens (CROOK, 1998).

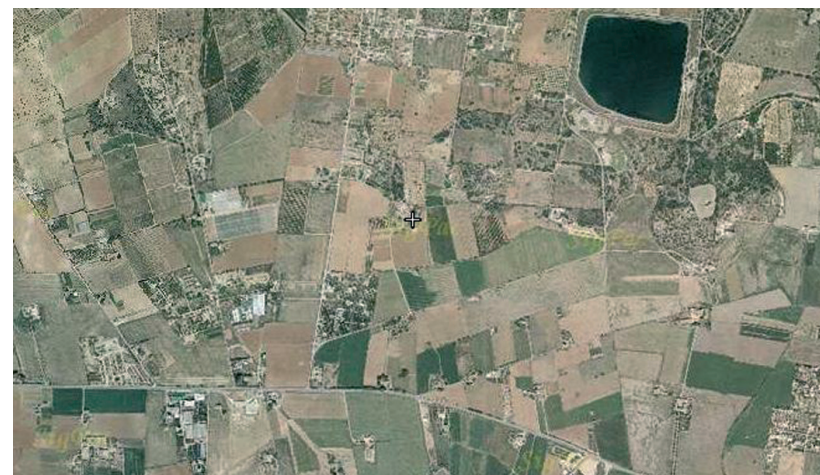
2. LES AIGÜES RESIDUALS

2.1. Origen

Les aigües residuals provenen de totes les activitats en què s'utilitza aigua, ja siguin agropecuàries, industrials o urbanes. A les Illes Balears les aigües que resulten d'activitats agropecuàries i industrials són minoritàries, per la qual cosa ens centrarem en les aigües residuals urbanes.

En origen, l'aigua destinada a l'abastament urbà prové majoritàriament d'embassaments i d'aqüífers, encara que també se n'obté, per mitjà de plantes dessalinitzadores, de l'aigua marina. Per poder ser utilitzada per al consum humà ha de complir uns mínims requeriments de qualitat, fet pel qual sovint ha de passar per plantes potabilitzadores abans de ser incorporada a la xarxa de subministrament.

La qualitat de l'aigua de les xarxes d'ús domèstic condiciona, en part, algunes característiques de les aigües residuals urbanes, ja que alguns paràmetres com la salinitat van augmentant amb els diferents usos que es fan de l'aigua i difícilment es poden reduir amb la depuració. D'aquesta manera, si l'aigua d'abastament té una salinitat elevada, també la tindrà l'aigua residual.



Vista aèria de part del sector nord del pla de Sant Jordi, entre sa Casa Blanca i Son Ferriol (agost de 2002); a la dreta de la part superior de la fotografia es pot veure la bassa de regulació del reg. Font: <http://sigpac.mapa.es/feqa/visor>

El consum urbà es reparteix entre el reg de jardins i el consum pròpiament domèstic. L'aigua s'utilitza per a diversos usos que tenen en comú l'addició de substàncies a l'aigua i l'abocament posterior a les xarxes de clavegueram.

Les aigües residuals urbanes són les que arriben a les xarxes de clavegueram de tot tipus d'urbanitzacions, i es poden subdividir en aigües pluvials, aigües de reg i neteja, aigües domiciliàries i aigües negres (TAULA 1). Les aigües domiciliàries inclouen l'aigua provinent de la cuina, que conté greixos, residus de rentada, sals, sabons, etc., i les aigües blanques de bany, que provenen de la higiene personal i que contenen sabons i altres líquids de neteja. Les aigües negres provenen dels sanitaris i consisteixen bàsicament en orins i aigües fecals, amb una càrrega orgànica important.

Taula 1. Origen i composició de les aigües residuals urbanes

Aigües residuals	Procedència	Contaminants que aporten
Pluvials	Aigua de pluja que s'escola pel clavegueram dels carrers	Fems dels carrers (papers, llaunes, etc.), greixos, excrements animals
De reg o neteja	Aigua que s'utilitza per netejar els carrers i que s'escola pel clavegueram	
Domiciliàries	Aigües de la cuina, de la rentadora, de la dutxa i del rentamans	Greixos, detergents i sabons
Negres	Aigua dels sanitaris	Matèria orgànica, microorganismes infecciosos

La composició de les aigües residuals urbanes és molt variable i depèn bàsicament del tipus de població i dels seus hàbits de consum, encara que es pot veure afectada per molts factors, com, per exemple, abocaments d'origen industrial. Les aigües negres són les que aporten la major càrrega contaminant, en forma de matèria orgànica i de microorganismes infecciosos. Les aigües pluvials o de neteja de carrers també aporten elements contaminants, ja que augmenten els sòlids en suspensió i les molècules orgàniques. D'altra banda, les aigües domiciliàries són les que tenen un menor efecte contaminant i actuen com a factor de dilució.

Els factors que s'han de tenir en compte en una aigua residual són els sòlids en suspensió, que donen terbolesa a l'aigua; els composts inorgànics perillosos, com els metalls pesants; la salinitat; el contingut en nutrients i en matèria orgànica, i la presència de composts orgànics tòxics i d'organismes infecciosos.

2.2. Tractament de les aigües residuals

Es coneix amb el nom de *tractament de les aigües residuals* tot el conjunt de sistemes i processos que s'utilitza per retornar l'aigua a uns nivells de qualitat determinats prèviament, que varien depenent del lloc on s'han d'abocar aquestes aigües.

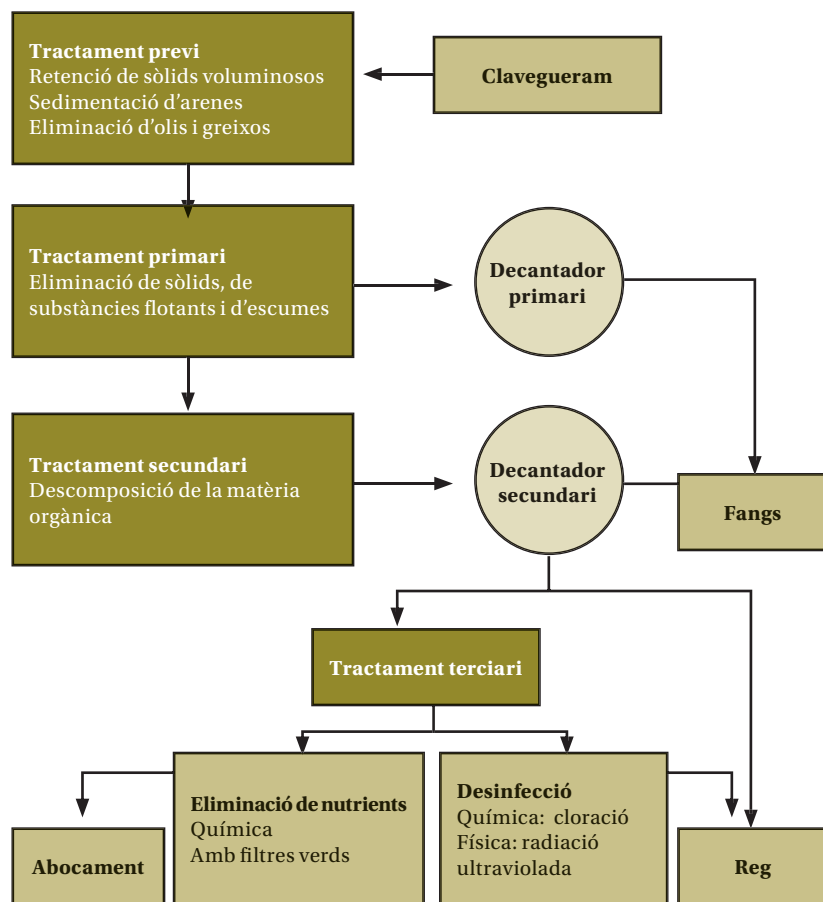
Per dur a terme aquest tractament es poden utilitzar tecnologies convencionals, que són les més habituals en nuclis grossos, o tecnologies toves o extensives, més pròpies de comunitats petites. Ambdues tecnologies es diferencien principalment pel consum energètic, per la necessitat de manteniment i per l'espai que ocupen. Mentre que les convencionals consumeixen molta energia, però concentren tots els sistemes i processos del tractament en un espai reduït, les tecnologies extensives, com el nom indica, requereixen més espai, però es redueix considerablement el consum energètic i el manteniment és mínim.

En una depuradora convencional l'aigua segueix el recorregut que s'ha esquematitzat en la FIGURA 1. En primer lloc, passa per un tractament previ, que elimina les matèries que poden obstruir les bombes i les canalitzacions o interferir en el desenvolupament dels processos posteriors, com, per exemple, objectes voluminosos, pedaçs, pals, fulles, arenes, greixos i altres materials que hi arriben surant o en suspensió. Consisteix en un conjunt de reixes verticals i horitzontals que intercepten el flux de corrent d'aigua residual en el canal d'entrada de la depuradora i que retenen els sòlids més grossos per evitar obstruccions. A continuació, l'aigua passa per unes cambres on es fa circular a una velocitat que permet la sedimentació de les arenes. Finalment, s'eliminen els greixos i els olis que suren en superfície.

En segon lloc, el tractament primari és la separació per mitjans físics dels sòlids en suspensió no retenguts en el tractament previ. En els sistemes de

depuració convencionals aquest tractament es dona dins un decantador, que és un tanc circular amb el fons lleugerament inclinat cap al centre. Els sòlids sedimenten i es concentren al centre del tanc, al mateix temps que s'eliminen les substàncies flotants i les escumes. El tractament primari aconsegueix eliminar, doncs, escumes i elements flotants; obtenir fangs concentrats, i eliminar les males olors, mitjançant l'oxigenació dels fangs.

Figura 1. Esquema dels processos de depuració emprats habitualment.



En tercer lloc, el tractament secundari es basa en la descomposició de la matèria orgànica mitjançant processos biològics, generalment aeròbics. En presència d'oxigen els bacteris aeròbics converteixen la matèria orgànica en formes estables, com el diòxid de carboni, l'aigua, els nitrats i els fosfats, així com altres molècules orgàniques més petites i ions inorgànics. La producció de matèria orgànica nova és un resultat indirecte dels processos de tractament biològic i s'ha d'eliminar mitjançant un decantador secundari.

Com a conseqüència dels tractaments primari i secundari es produeixen fangs, que també s'han de tractar. Una vegada compostats, es poden utilitzar en agricultura com a adobs orgànics o com a substrat en planteris i hidroponia (VERGARA *et al.*, 2006).

Les aigües resultants del tractament secundari encara contenen una certa quantitat de sòlids en suspensió, matèria orgànica i nutrients, a més de microorganismes d'origen fecal. Aquestes aigües poden ser aptes per a alguns usos, amb poques restriccions, com el reg de masses forestals o de cultius industrials, però per a la majoria d'usos possibles és necessari que es dugui a terme una desinfecció. El contingut en nutrients no és un problema si les aigües residuals tractades s'han de reutilitzar per al reg, ja que disminueixen la quantitat necessària de fertilitzants. Ara bé, en el cas que s'hagin d'utilitzar per a la recàrrega d'aqüífers o per abocar en una zona sensible a l'eutrofització, és necessari que es redueixin les concentracions de nitrogen i de fòsfor. La desinfecció i l'eliminació de nutrients són processos que formen part del que es coneix com a *tractament terciari* i es poden dur a terme de diferents maneres.

La desinfecció pot ser química, mitjançant cloració, o física, amb radiacions ultraviolades o filtració mitjançant membranes. Per eliminar el nitrogen se solen utilitzar processos de nitrificació-desnitrificació, mentre que el fòsfor s'elimina per precipitació química.

La vegetació terrestre també pot desenvolupar la funció dels tractaments terciaris, ja que aprofita els nutrients de l'aigua per al seu propi creixement i té l'avantatge de consumir poca energia, a més d'oferir un valor paisatgístic. Arbres com els pollancre i els salzes són molt utilitzats als països nòrdics, que han estat pioners en la utilització d'arbres per a la depuració d'aigües residuals. No obstant això, altres espècies més pròpies del nostre paisatge com tamarells, baladres, alocs i pistàcies, són igualment efectives.

2.3. Reutilització de les aigües residuals

Es considera *reutilització* l'aplicació de les aigües que, una vegada utilitzades per al fi per al qual es varen obtenir, s'han sotmès als processos de depuració necessaris per assolir la qualitat requerida depenent dels usos a què s'han de destinar.

S'anomenen *aigües depurades* les aigües residuals que han estat sotmeses a uns tractaments per poder ser abocades en el medi ambient. En canvi, les aigües *regenerades*, a més, han estat sotmeses a processos addicionals o complementaris per adequar-ne la qualitat al nou ús a què es destinen. Parlar d'aigües regenerades és, per tant, equivalent a parlar de *reutilització*.

Els usos que es poden donar a les aigües regenerades són molts i molt diversos (TAULA 2), i depenen de la qualitat de les mateixes aigües.

Taula 2. Possibles usos de les aigües regenerades (modificat a partir de SALGOT, 2002)

Tipus d'usos	Aplicacions
Usos urbans	Reg de zones verdes i de jardins privats, fonts ornamentals, sistemes contra incendis, neteja de carrers, rentada industrial de vehicles, sistemes de calefacció i refrigeració d'aire, cisternes d'inodor i altres usos domèstics
Regs agrícoles	Conreus per consum humà, pastures per a animals, cultius llenyosos, cultius industrials, producció de biomassa amb finalitats energètiques, vivers i flors ornamentals
Ramaderia	Aqüicultura, aigua de beguda per a animals i neteja d'instal·lacions agropecuàries
Usos industrials	Calderes, refrigeració, neteja, control de la pols i obres públiques
Usos recreatius	Reg de camps de golf, fabricació de neu, estancs, cabals circulants d'ús recreatiu, navegació i rem
Usos ambientals	Recàrrega d'aqüífers, lluita contra la intrusió marina, creació i manteniment de zones humides, reg de boscs, silvicultura i millora de paisatges.

3. UTILITZACIÓ DE LES AIGÜES REGENERADES PER AL REG AGRÍCOLA

3.1. Antecedents

Les aigües residuals, tractades o no, tradicionalment s'han utilitzat per al reg, principalment a les regions amb pocs recursos hídrics. Ja a l'antiga Grècia es tenen indicis de canalització i d'aprofitament de les aigües fecals (ASANO I LEVINE, 1996).

En àrees fluvials s'ha donat des de sempre una reutilització indirecta, a través dels cursos naturals. Les aigües residuals, més o menys depurades, són abocades al riu i reutilitzades per les poblacions situades riu avall, que capten l'aigua d'aquest riu per al consum urbà. Durant el segle XIX aquest tipus de reutilització no planificada va derivar sovint en grans epidèmies de còlera i tifus, per culpa que les aigües no sofrien cap tipus de tractament (ASANO I LEVINE, 1996). Malauradament, aquestes epidèmies encara continuen als països pobres, a causa de la manca d'aigua potable i d'infraestructures per al tractament de les aigües residuals (CONNOLLY *et al.*, 2004).

En altres zones la reutilització és directa i planificada, tot i que no sempre s'ha dut a terme amb aigües regenerades. La vall del Mezquital, a Mèxic, és una zona agrícola que s'ha regat durant gairebé cent anys amb aigües residuals sense tractar procedents de la capital. Aquest fet ha comportat un augment en el contingut de matèria orgànica i en l'activitat biològica dels sòls (Friedel *et al.*, 2000), però també de metalls pesants potencialment perillosos, com el cadmi i el plom (LUCHO-CONSTANTINO *et al.*, 2005).

A la conca mediterrània, Israel ha estat un país capdavanter a desenvolupar pràctiques de reutilització d'aigües residuals, seguit per Xipre, Jordània i Tunísia. A Israel, per exemple, un 72% de l'aigua residual es recicla; un 42% es destina al reg agrícola, i un 30%, a la recàrrega d'aqüífers. França, a pesar de no tenir gaire problemes de manca d'aigua, també s'ha començat a interessar per la reutilització com a tractament de depuració efectiu i respectuós (ANGELAKIS *et al.*, 1999).



Camp experimental de la depuradora d'Algaida i Montuïri, on s'estudià la capacitat de depuració de diverses espècies llenyoses (període 2002-2005)

A Espanya algunes comunitats autònomes amb escassos recursos hídrics, com és el cas del País Valencià, Múrcia, les Balears i les Canàries, varen introduir ràpidament el reg amb aigües regenerades, principalment per a cultius arboris i farratgers. A les Illes Balears la reutilització es va iniciar al final dels anys seixanta en algunes zones del pla de Sant Jordi, Calvià, Inca i Sóller, per al reg sobretot d'alfals (*Medicago sativa*) i de cítrics.

3.2. Beneficis ambientals

A les Illes Balears, a l'igual que en altres zones de clima mediterrani, la pluviositat pot sofrir variacions importants d'un any a l'altre i les sequeres són freqüents. Segons les prediccions, amb el canvi climàtic s'accentuaran aquestes situacions (més variabilitat interanual i més sequeres), de manera que la disponibilitat de recursos hídrics es veurà afectada seriosament.

Les aigües regenerades tenen l'avantatge que la disponibilitat n'és més o menys constant i que es produeixen en grans quantitats. De fet, són l'única font d'aigua que s'incrementa amb l'augment de la població. L'abocament a certs ambients naturals, com llacs, rius, torrents o aigües marines costaneres, no és recomanable, a causa de la presència de nutrients orgànics i inorgànics, que poden causar problemes d'eutrofització. En canvi,

la reutilització d'aquestes aigües per al reg permet disminuir les extraccions de les altres fonts d'aigua disponibles, de la mateixa manera que es redueixen els efectes negatius dels abocaments (TOZE, 2006).

Els composts orgànics i inorgànics que es troben a les aigües residuals tractades són útils per a les plantes, que els aprofiten per al seu propi creixement, i també estimulen l'activitat metabòlica dels organismes del sòl, relacionada amb la descomposició de la matèria orgànica i amb els cicles de nutrients.

3.3. Risc sanitari

La reutilització de les aigües residuals tractades, sigui per al reg agrícola sigui per a qualsevol altre ús, comporta un risc sanitari, a causa dels microorganismes presents a l'aigua i d'altres substàncies d'origen químic. Per aquest motiu és de vital importància conèixer la qualitat de l'aigua abans de d'assignar-hi un ús, i també els perills potencials i les mesures de prevenció.

Un dels factors que més preocupen amb vista a la salut humana en la reutilització de les aigües residuals tractades és la presència de microorganismes infecciosos que es puguin transmetre a través de l'aigua, d'aerosols o dels cultius destinats a l'alimentació humana o animal. Durant el procés de depuració la proporció d'agents patògens es redueix considerablement, però el risc de transmissió a través de l'aigua no s'elimina del tot. Els principals agents infecciosos que es troben a les aigües residuals es poden agrupar en bacteris, paràsits (nematodes i protozous) i virus.

Els bacteris són els organismes vius més àmpliament distribuïts de tot el planeta. Es troben en tots els ambients on hi ha vida, tenen una mida microscòpica i compleixen múltiples funcions. Alguns colonitzen el tracte intestinal humà i hi col·laboren en la digestió, però també poden provocar malalties si són ingerits amb els aliments, com, per exemple, *Escherichia coli*, que causa gastroenteritis. Els bacteris patògens es troben a la femta dels malalts, de manera que les aigües residuals en contenen una àmplia varietat. Entre aquests, els més habituals són del gènere *Salmonella*, que provoquen salmonel·losi, encara que també se'n poden tro-

bar altres de menys comuns, com el bacteri del còlera (*Vibrio cholerae*). Una de les principals vies de transmissió d'aquests bacteris infecciosos és mitjançant el menjar o l'aigua per beure, o per contacte directe de la persona amb el microorganisme (TOZE, 2006).

Els paràsits no es reproduïxen fora dels individus infectats, però tenen la capacitat de resistir condicions ambientals adverses en forma de quists, ous o larves. Els més comuns són els nematodes o cucs intestinals. La via més habitual d'infecció per protozous o cucs intestinals és la ingestió d'aigua o d'aliments contaminats amb quists o ous d'aquests paràsits. El reg amb aigües residuals sense tractar incrementa considerablement el risc d'infecció, principalment en el cas dels mateixos agricultors.

Els virus no tenen capacitat de reproduir-se per si mateixos i es veuen obligats a parasitar una cèl·lula hoste. Molts dels virus que produeixen infeccions en humans s'excreten per la via fecal i es poden trobar a les aigües residuals. Les concentracions de virus a les aigües residuals són més elevades durant l'estiu i al començament de la tardor. Aquest grup és més resistent a estressos ambientals que la majoria de bacteris, però són els quists de paràsits els que mantenen la viabilitat per un període més llarg de temps (CROOK, 1998).

La supervivència dels patògens a l'aigua, al sòl o als cultius es veu afectada per molts factors. La humitat, les baixes temperatures, els pH elevats i la presència de matèria orgànica els afavoreixen, mentre que la radiació solar, la dessecació i els pH àcids els són desfavorables. En la Taula 3 es mostra el temps de supervivència habitual dels patògens a l'aigua, als cultius i al sòl; els valors entre parèntesis són els màxims que s'han pogut observar.

Taula 3. Temps de supervivència habitual i màxim (entre parèntesis) de diferents grups de patògens a l'aigua, als cultius i al sòl (valors expressats en dies)

Patogen	Aigua	Cultius	Sòl
Enterovirus	<50 (120)	<15 (60)	<20 (100)
Coliformes fecals	<30 (60)	<15 (30)	< 20 (70)
<i>Salmonella</i> sp.	<30 (60)	<15 (30)	<20 (70)
Còlera	<10 (30)	<2 (5)	<10 (20)
Ous de nematodes	Molts mesos	<30 (60)	Molts mesos

Font: CROOK, 1998

Les infeccions causades pel reg amb aigües residuals eren habituals abans que apareguessin els primers sistemes de tractament. Actualment existeixen moltes recomanacions i regulacions dels usos que es poden fer de les aigües residuals tractades depenent de la concentració d'organismes infecciosos. Els coliformes fecals i els ous de nematodes es consideren indicadors de la qualitat de les aigües i s'utilitzen per establir criteris de reutilització.

En els darrers anys s'està començant a fer incidència en els anomenats *contaminants emergents*. Es tracta de substàncies que són presents a les aigües residuals i que no s'eliminen amb els tractaments convencionals. Entre aquestes substàncies s'inclouen els medicaments, que són eliminats del cos per l'orina i que arriben, per tant, a les aigües residuals.

Els analgèsics i els antiinflamatoris, juntament amb el clofíbric (un regulador del colesterol), són els que es troben amb més quantitat, encara que els més preocupants són els estrògens i els antibiòtics. Aquests darrers poden causar resistències a les poblacions naturals de bacteris, malgrat que estiguin en baixes concentracions, per la qual cosa suposen un risc ecològic important (HERNANDO *et al.*, 2006).

3.4. Legislació

Les Illes Balears varen ser la primera comunitat autònoma que va establir uns criteris per a la reutilització de les aigües residuals tractades, per mitjà del Decret 13/1992 del Govern balear, que regulava l'evacuació dels líquids procedents de plantes de tractament d'aigües residuals urbanes. En aquest Decret s'establien els requeriments sanitaris perquè els abocaments de les plantes de tractament d'aigües residuals es poguessin utilitzar en els regadius.

Per al reg sense restriccions (reg de cultius susceptibles de ser consumits per l'home sense un procés d'elaboració que elimini els gèrmens patògens, reg dels camps esportius i reg dels parcs o carrers públics) s'exigien menys d'un ou de nematodes intestinals per litre i menys de mil bacteris coliformes fecals per cent mil·lilitres. El reg restringit s'aplicava quan no

es complia alguna de les exigències anteriors per al reg sense restriccions, i es limitava a cereals i cultius industrials, a farratges consumits al tall (sempre que el darrer reg es fes tres setmanes abans de l'aprofitament), a farratges pasturats (sempre que s'impedís la presència d'animals al camp de cultiu fins a tres setmanes després de la darrera regada) i a arbres fruiters, si es feien regs superficials (amb el darrer reg tres setmanes abans de la recol·lecció).

En el Pla Hidrològic de les Illes Balears, aprovat pel Reial decret 378/2001 (BOE núm. 96, de 21 d'abril), s'estableixen uns criteris més específics per a la reutilització d'aigües, que substitueixen els anteriors (TAULA 4).

A escala estatal la normativa vigent és la Llei d'aigües del 2001 (Reial decret legislatiu 1/2001) i el Reglament del domini públic hidràulic del 1986 (Reial decret 849/1986). En aquestes dues normes s'indica que el Govern ha d'establir les condicions bàsiques de reutilització d'aigües i que ha de precisar la qualitat exigible de les aigües depurades segons els usos prevists. El mes de maig del 2006 es va presentar un esborrany de reial decret a aquest efecte, si bé encara resta pendent d'aprovació.

Taula 4. *Condicions que han de complir les aigües reutilitzades per al reg quan procedeixen d'aigües residuals urbanes o d'indústries els abocaments de les quals tinguin característiques anàlogues a les urbanes*

Tipus de cultiu	Tractament	Nematodes (ous)	Qualitat de l'aigua
1. Reg de gespa i de plantes ornamentals amb contacte directe (parcs públics, camps de golf, etc.)	Secundari Filtració o tractament equivalent Desinfecció	< 1 L ⁻¹	pH = 6-9 SS < 10 mg L ⁻¹ DBO ₅ < 10 mg L ⁻¹ Colí fecal < 100 100ml ⁻¹ Cl ₂ residual > 0,6 mg L ⁻¹
2. Reg de cultius per consumir en cru	Secundari Filtració o tractament equivalent Desinfecció	< 1 L ⁻¹	pH = 6-9 SS < 30 mg L ⁻¹ DBO ₅ < 25 mg L ⁻¹ Colí fecal < 200 100ml ⁻¹ Cl ₂ residual > 0,3 mg L ⁻¹
3. Reg de gespa, de zones arbòries i d'altres àrees on l'accés al públic està restringit o no hi és freqüent	Secundari Desinfecció	< 1 L ⁻¹	pH = 6-9 SS < 30 mg L ⁻¹ DBO ₅ < 25 mg L ⁻¹ Colí fecal < 200 100ml ⁻¹ Cl ₂ residual > 0,3 mg L ⁻¹
4. Reg d'horts i de fruiters, com també d'hortalisses per consumir cuites (no s'han de collir fruits del terra)	Secundari Filtració o tractament equivalent Desinfecció	< 1 L ⁻¹	pH = 6-9 SS < 35 mg L ⁻¹ DBO ₅ < 25 mg L ⁻¹ Colí fecal < 500 100ml ⁻¹ Cl ₂ residual > 0,1 mg L ⁻¹
5. Reg de cereals, de cultius industrials, de farratges i de pastures	Secundari Desinfecció	< 1 L ⁻¹	pH = 6-9 SS < 35 mg L ⁻¹ DBO ₅ < 25 mg L ⁻¹ Colí fecal < 1000 100ml ⁻¹ Cl ₂ residual > 0,1 mg L ⁻¹

Font: PLA HIDROLÒGIC DE LES ILLES BALEARS, 2001

4. EFECTES DEL REG AMB AIGÜES REGENERADES EN ELS SÒLS I EN ELS CULTIUS

4.1. Fertilitat de la terra

La *fertilitat* d'un sòl és la capacitat per mantenir una producció vegetal. Els factors que intervenen en la fertilitat poden ser físics (textura, estructura, porositat, estabilitat dels agregats), químics (pH, capacitat d'intercanvi catiònic, contingut mineral, conductivitat elèctrica, contingut en matèria orgànica) o biològics (activitat dels microorganismes del sòl). Els factors físics condicionen la disponibilitat d'aigua i la distribució de les arrels; els factors químics tenen a veure amb la reserva de nutrients, i l'activitat dels microorganismes descompon la matèria orgànica i intervé en els cicles dels nutrients (PORTA *et al.*, 2003).

La matèria orgànica té un paper fonamental en la fertilitat del sòl, ja que millora l'estructura i l'estabilitat dels agregats, afavoreix la retenció hídrica, augmenta la capacitat d'intercanvi catiònic, regula el pH i constitueix una reserva important de nutrients. El contingut en matèria orgànica depèn en gran manera de la gestió del sòl i es pot veure afectat pel tipus de cultiu, per la freqüència de les labors agrícoles, per l'erosió i per les aportacions d'esmenes orgàniques.



Reg a manta en pareades, emprat habitualment en el cultiu de l'alfals (*Medicago sativa*)

En els estudis comparatius que s'han fet fins ara al pla de Sant Jordi i al conjunt de l'illa de Mallorca no es pot veure de manera clara més contingut en matèria orgànica en els sòls regats amb aigües regenerades. Això no vol dir que la contribució no sigui important, sinó que les aportacions orgàniques fetes en el passat i el tipus de gestió tenen més pes en el contingut en matèria orgànica total.

Per a altres paràmetres de fertilitat, com el nitrogen i el fòsfor soluble, passa el mateix: la presència al sòl depèn més de la gestió que se n'ha fet a llarg termini que de l'aigua de reg.

Taula 5. Paràmetres de fertilitat del sòl: matèria orgànica (MO), nitrogen total (N), relació carboni/nitrogen (C/N), fòsfor soluble (Ps) i potassi intercanviable (K); valors mitjans $\pm$ desviació típica

	MO (%)	N (%)	C/N	Ps (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
PR1	4,28 $\pm$ 0,21	0,26 $\pm$ 0,01	9,6 $\pm$ 0,1	77,5 $\pm$ 7,2	383 $\pm$ 18
PR2	4,62 $\pm$ 0,13	0,27 $\pm$ 0,01	9,8 $\pm$ 0,2	37,0 $\pm$ 2,2	343 $\pm$ 24
VR1	3,07 $\pm$ 0,11	0,16 $\pm$ 0,02	11,0 $\pm$ 1,8	33,3 $\pm$ 2,3	238 $\pm$ 38
VR2	3,78 $\pm$ 0,18	0,22 $\pm$ 0,01	9,9 $\pm$ 0,4	79,2 $\pm$ 6,7	383 $\pm$ 38
VS1	2,56 $\pm$ 0,11	0,17 $\pm$ 0,01	9,1 $\pm$ 0,1	53,7 $\pm$ 1,4	526 $\pm$ 57
VS2	4,19 $\pm$ 0,35	0,23 $\pm$ 0,01	10,6 $\pm$ 0,4	35,6 $\pm$ 1,1	431 $\pm$ 59

PR1 i PR2: terra de prat regada amb aigües regenerades, VR1 i VR2: call vermell regat amb aigües regenerades, VS1 i VS2: call vermell regat amb aigües subterrànies

En la TAULA 5 es presenten els resultats obtinguts a sis parcel·les del pla de Sant Jordi: dues de terra de prat regades amb aigües regenerades (PR1 i PR2), dues de call vermell regades amb aigües regenerades (VR1 i VR2) i dues de call vermell regades amb aigües subterrànies (VS1 i VS2). No es veuen diferències atribuïbles al tipus de sòl o a l'aigua de reg.

En un sòl llaurat, el contingut en matèria orgànica és similar a tota la capa llaurable (0-20 cm) a causa que, amb la llaurada, aquesta capa de terra es va mesclant. En canvi, en un sòl no llaurat es pot veure que hi ha més matèria orgànica en superfície i que el contingut disminueix gradualment amb la fondària (FIGURA 2). Aquesta distribució es deu principalment que la matèria orgànica es forma gràcies a la descomposició de les restes de cultiu que s'acumulen en superfície.

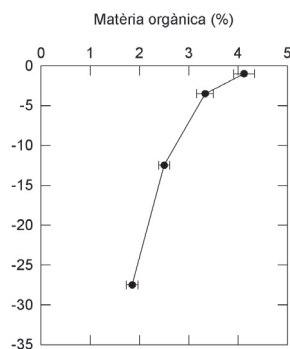


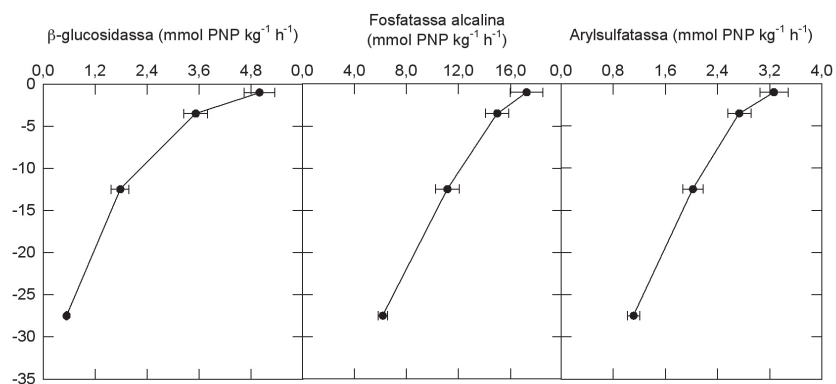
Figura 2. Variació en fondària del contingut en matèria orgànica del sòl en un cultiu d'alfals (*Medicago sativa*) de 5 anys.

Els microorganismes del sòl descomponen la matèria orgànica i permeten el reciclatge de nutrients, la formació d'humus, l'estabilització de l'estructura del sòl i el tancament del cicle del carboni, que és alliberat a l'atmosfera. L'activitat biològica del sòl es refereix no tan sols a l'activitat microbiana, sinó també a l'activitat de tots

els organismes del sòl, incloent-hi les arrels (NANNIPIERI, 2003). Per avaluar-la, es mesura la biomassa microbiana, que és la fracció del carboni orgànic total que pertany als microorganismes i les activitats enzimàtiques potencials. En conjunt, l'activitat biològica del sòl està íntimament relacionada amb el contingut de matèria orgànica i és utilitzada habitualment com a indicadora de la qualitat del sòl (BANDICK I DICK, 1999).

L'activitat biològica del sòl té una distribució en fondària molt semblant a la matèria orgànica. En la FIGURA 3 es comparen tres activitats enzimàtiques en un mateix sòl.

Figura 3. Variació en fondària de les activitats enzimàtiques del sòl β -glucosidasa, fosfatasa alcalina i arilsulfatasa, en un cultiu d'alfals de 5 anys.



4.2. Nitrats

Les aigües regenerades contenen nutrients com nitrogen, fòsfor i potassi en forma orgànica i inorgànica, que contribueixen a la fertilització dels cultius. Això no obstant, algunes formes inorgàniques, com els nitrats, són molt solubles en aigua i susceptibles de ser rentades del sòl per l'aigua de reg o de pluja i de ser arrossegades fins a les aigües subterrànies, de manera que provoquen una contaminació.

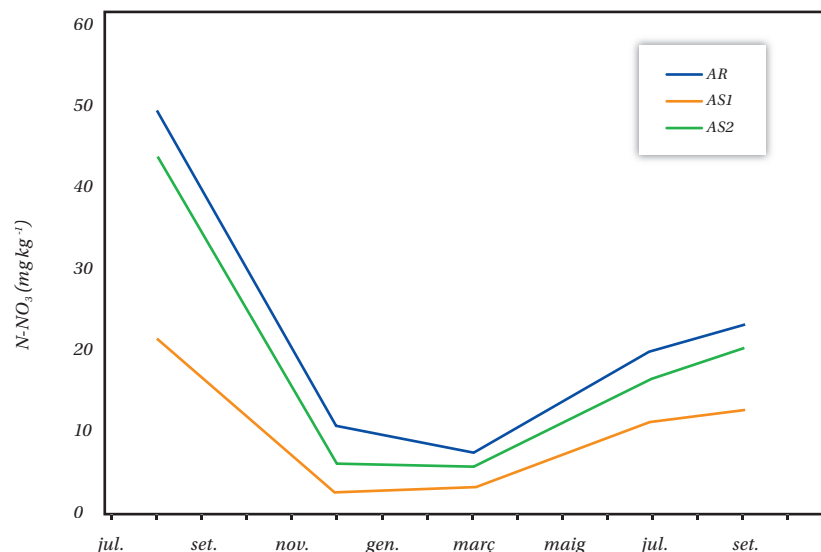
Malgrat que en algunes aigües regenerades el nitrogen es troba majoritàriament en forma d'ió amoni, aquest és transformat ràpidament en nitrat pels microorganismes del sòl, mitjançant el procés de nitrificació. És per aquest motiu que els sòls regats amb aigües regenerades solen presentar continguts alts de nitrats.



Camp d'alfals del pla de Sant Jordi

En un estudi fet a Sant Jordi, en què es compara el reg amb aigües regenerades (AR) amb el reg amb aigües subterrànies amb diferents concentracions de nitrats (AS1 i AS2) en parcel·les amb un cultiu d'alfals, es veu com el contingut en nitrats és més elevat durant els mesos d'estiu, que és quan es rega, i disminueix a l'hivern, després de les pluges de tardor (FIGURA 4). El nitrogen inorgànic es troba majoritàriament en forma d'amoní a les aigües regenerades i en forma de nitrat a les aigües subterrànies, i les concentracions són similars, de manera que l'increment de nitrats en el sòl a causa del reg es dona a totes les parcel·les, independentment del tipus d'aigua de reg.

Figura 4. Contingut de nitrats al sòl al llarg d'un any. (període: juliol de 2003 – octubre de 2004).



AR: sòl regat amb aigües regenerades
 AS1: sòl regat amb aigua subterrània 1
 AS2: sòl regat amb aigua subterrània 2

La concentració mitjana de N-NH_4^+ a les aigües regenerades és de $31,5 \text{ mg L}^{-1}$ i la de N-NO_3^- és de $4,4 \text{ mg L}^{-1}$. A les aigües subterrànies la concentració mitjana de N-NO_3^- és de $29,2 \text{ mg L}^{-1}$ en AS1 i de $49,1 \text{ mg L}^{-1}$ en AS2.

Els valors de nitrats al sòl en els mesos d'estiu són considerables, fet que indica que l'aportació d'aquest element mitjançant el reg és superior a la demanda del cultiu. En canvi, durant els mesos d'hivern i de primavera, quan no es rega, se'n produeix una clara disminució a causa de la manca d'entrades de nitrogen al sòl.

En una parcel·la del pla de Sant Jordi regada amb aigües regenerades s'ha estudiat la distribució en fondària de diferents paràmetres durant l'estiu. S'ha pogut veure com el contingut de nitrats disminueix ràpidament en fondària (FIGURA 5), a causa que és assimilat per l'alfals, i entre els 20 i 35 cm ja només es troba en una concentració del voltant de 6 mg kg^{-1} .

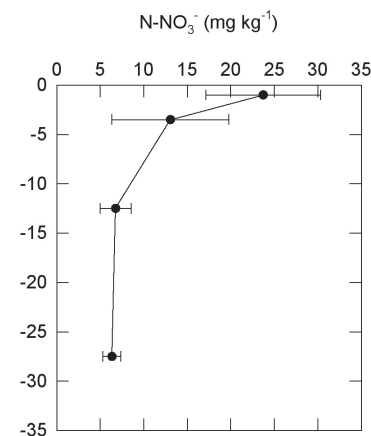


Figura 5. Variació en fondària del contingut en nitrats del sòl en un cultiu d'alfals de 5 anys

No obstant això, en aquesta fondària ja no és captat per les arrels, de manera que serà arrossegat amb l'aigua de drenatge i anirà a parar a l'aqüífer. REBASSA *et al.* (1997), en un estudi similar que es va fer a la mateixa zona, també varen poder constatar una disminució en fondària molt acusada.

L'alta presència de nitrats és deguda a l'aportació feta amb l'aigua de reg, sense menysprear els provinents de la descomposició de les restes de cultiu que s'acumulen en superfície, ja que no s'apliquen adobs a cap de les parcel·les. En el cas dels sòls regats amb aigües regenerades, l'aportació de nitrogen inorgànic és majoritàriament en forma d'amoni.

L'acumulació de nitrogen al sòl, especialment en forma de nitrats, s'ha d'intentar evitar, ja que aquests són rentats fàcilment amb els regs excessius o amb les pluges abundants, de manera que es contribueix a la contaminació de les aigües subterrànies. En aquest sentit, si la salinitat de l'aigua de reg ho permet, és important ajustar les dosis de reg dependent de la capacitat de retenció d'aigua del sòl.

4.3. Salinitat

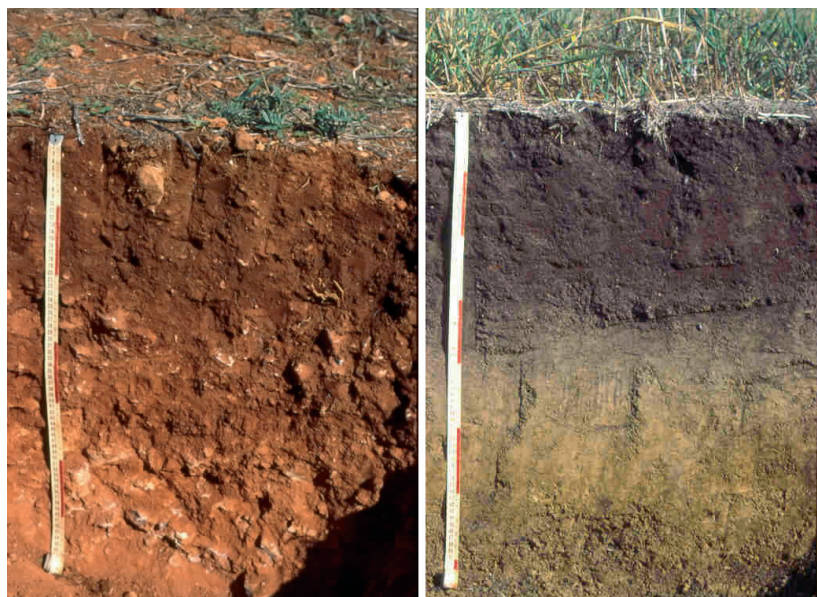
La salinitat i, especialment, la concentració de sodi de les aigües residuals són difícils d'eliminar mitjançant els tractaments de depuració convencionals. A aquest efecte és necessari utilitzar membranes d'osmosi inversa o resines d'intercanvi catiònic, però aquests tractaments són molt cars i només s'utilitzen per obtenir aigües de molt alta qualitat destinades a la recàrrega d'aqüífers o a la reutilització industrial.

Les aigües regenerades per al reg agrícola mantenen els nivells de salinitat de la sortida de l'estació depuradora, que sempre són més alts que els de l'aigua de consum.

La conductivitat elèctrica mitjana de les aigües regenerades que s'utilitzen per al reg al pla de Sant Jordi és de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$, si bé és molt inferior a la de les aigües subterrànies de la zona ($3,6 - 7,6 \text{ dS m}^{-1}$), afectades per la intrusió marina. Així i tot, s'ha pogut constatar com el reg continuat amb aigües regenerades, i la reducció consegüent de les extraccions, ha disminuït considerablement la concentració de clorurs a les aigües subterrànies (MATEOS *et al.*, 2001).

El cultiu majoritari al pla de Sant Jordi és l'alfals, la major part del qual es rega amb aigües regenerades. Aquest cultiu, tolerant a la salinitat, presenta un bon creixement regat amb aquestes aigües i manté produccions interessants amb aigües subterrànies amb alta salinitat (conductivitat elèctrica de $7,6 \text{ dS m}^{-1}$).

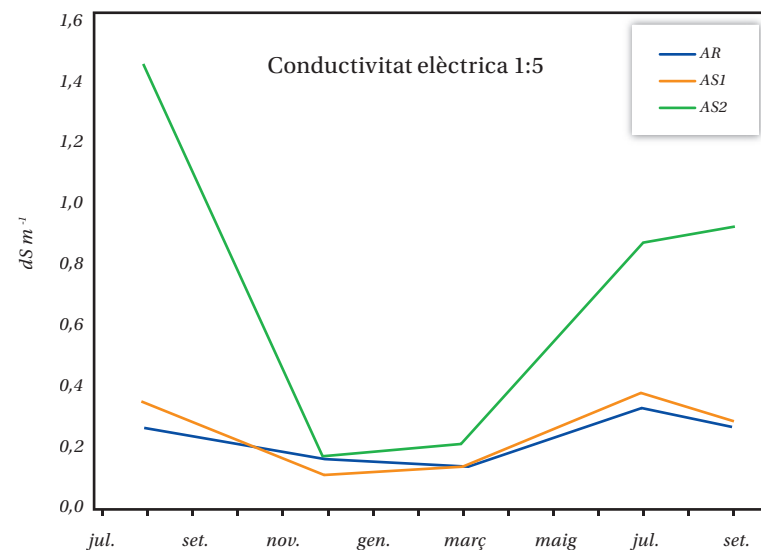
La salinitat també pot tenir un impacte sobre el sòl i és especialment greu l'acumulació de sodi, ja que té efectes negatius en l'estructura i en la



A la dreta, terra de prat i a l'esquerra, call vermell

permeabilitat. La conductivitat elèctrica de l'extracte 1:5 d'un sòl ens en dóna una idea de la salinitat. Al pla de Sant Jordi s'ha fet un seguiment d'aquest paràmetre durant un any (FIGURA 6).

Figura 6. Conductivitat elèctrica de l'extracte 1:5 del sòl al llarg d'un any. (període: juliol de 2003 – octubre de 2004).



AR: sòl regat amb aigües regenerades
 AS1: sòl regat amb aigua subterrània 1
 AS2: sòl regat amb aigua subterrània 2

La conductivitat elèctrica (1:5) del sòl està relacionada amb la de l'aigua de reg. S'ha pogut observar que els sòls regats amb aigües subterrànies amb una conductivitat elèctrica alta (AS2, $7,6 \text{ dS m}^{-1}$) presenten valors més elevats de conductivitat elèctrica en el sòl durant el període de reg que els sòls regats amb aigües regenerades (AR, $2,3 \text{ dS m}^{-1}$) o amb aigües subterrànies menys salines (AS1, $3,6 \text{ dS m}^{-1}$). En canvi, després de les pluges de tardor i d'hivern, que arrossegueu les sals cap a l'aqüífer, la conductivitat elèctrica 1:5 del sòl davalla i els valors es mantenen iguals, independentment del tipus d'aigua de reg que s'aplicava durant l'estiu. Aquesta situació es prolonga durant tot el període sense reg.

4.4. Metalls pesants

Quan es parla de reutilització d'aigües residuals sol aparèixer alguna preocupació respecte de la contaminació del sòl i dels cultius amb metalls pesants. La presència de metalls pesants en aigües residuals d'origen domèstic és molt reduïda i és amb l'abocament d'aigües residuals industrials a la xarxa de clavegueram que es poden assolir nivells més elevats. En qualsevol cas, durant el procés de depuració bona part dels metalls pesants precipiten i s'eliminen amb els fangs. No obstant això, s'ha de tenir en compte que aquests elements s'acumulen en el sòl i que es poden incorporar a la cadena tròfica, de manera que l'aportació continuada de quantitats molt petites per un període llarg de temps pot derivar cap a una contaminació molt difícil d'eliminar.

Es consideren metalls pesants el cadmi (Cd), el crom (Cr), el coure (Cu), el manganès (Mn), el níquel (Ni), el plom (Pb) i el zinc (Zn), entre d'altres. Alguns d'aquests elements com el crom, el coure, el manganès, el níquel i el zinc, són micronutrients essencials per a plantes i animals, de manera que la presència al sòl en petites quantitats és necessària. D'altra banda, no es coneix cap funció biològica en què intervengui el cadmi o el plom. Ara bé, les concentracions elevades de tots aquests elements són tòxiques tant per a les plantes com per als animals, i també per als micro-organismes del sòl (DE VRIES *et al.*, 2002).

Taula 6. Continguts de metalls pesants en sòls agrícoles de Mallorca (mg kg^{-1}).

Metalls pesants	Mitjana $\pm$ DT (1)	Rang (1)	Límits legals (2)
Cd	0,65 $\pm$ 0,22	0,40 – 1,24	3
Cr	34,5 $\pm$ 15,5	8,8 – 65,4	150
Cu	24,4 $\pm$ 14,5	3,5 – 52,3	210
Mn	483 $\pm$ 243	109 – 1.052	-
Ni	22,5 $\pm$ 9,7	8,3 – 43,9	112
Pb	19,9 $\pm$ 10,7	3,5 – 40,1	300
Zn	64,6 $\pm$ 37,6	16,9 – 142,9	450

(1) Valors mitjans $\pm$ desviació típica i rang corresponent a 24 mostres agrícoles diverses preses a diferents punts de l'illa de Mallorca.

(2) Límits legals que apareixen en el Reial decret 1310/1990, BOE 262 del 29 d'octubre per a sòls amb $\text{pH} > 7$.

Taula 7. Continguts de metalls pesants en sòls agrícoles regats amb aigües regenerades durant més de 30 anys (mg kg^{-1}).

Mostra	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	0,56	39,5	15,3	446	23,7	14,8	58,9
2	0,54	34,2	11,4	360	18,7	21,8	53,8
3	0,57	34,1	12,2	398	20,6	13,8	54,0
4	0,42	26,4	9,9	236	15,6	22,2	57,1
5	0,54	24,3	12,0	301	16,5	10,9	57,3
6	0,51	25,0	11,6	288	16,7	9,3	51,3
7	0,46	17,3	5,9	220	12,6	7,1	30,3
8	0,33	12,2	4,4	189	8,6	2,6	20,3
9	0,41	11,2	5,8	144	10,0	3,8	30,9
10	0,88	59,1	27,0	501	34,6	43,7	88,5
11	0,56	82,2	26,4	340	21,7	51,7	64,1
12	0,58	177,4	64,2	401	27,4	61,4	95,4
13	0,62	115,8	34,1	534	28,2	67,6	91,0
14	0,85	63,0	28,6	643	29,6	31,3	86,6
15	0,63	35,6	24,3	439	23,0	37,1	68,5

Per conèixer el contingut de metalls pesants en els sòls de Mallorca s'han analitzat vint-i-quatre mostres de sòls agrícoles procedents de diferents indrets de l'illa. En la TAULA 6 es mostren els valors mitjans i la desviació estàndard per a cada metall estudiat, el rang obtingut i els valors límit que marca la legislació.

Al mateix temps, s'ha mesurat el contingut de metalls pesants en sòls regats durant més de trenta anys amb aigües regenerades, per comparar els valors amb els que s'han trobat en sòls agrícoles de Mallorca que no reben aquest tipus d'aigües de reg (TAULA 7). Les aigües regenerades provenen de les estacions depuradores de Calvià (1-3), Peguera (4-9), Inca (10-12) i Palma (13-15).

Els valors de cadmi que s'han trobat a Mallorca estan per davall dels límits màxims permesos que s'estableixen en el Reial decret 1310/1990 (3 mg kg^{-1}). Les concentracions obtingudes en sòls regats amb aigües regenerades són similars a les de la resta de sòls i no superen 1 mg kg^{-1} .

Les concentracions de crom en els sòls regats amb aigües regenerades són baixes, excepte en la mostra 12, en què se supera el límit màxim permès de 150 mg kg⁻¹. Aquesta mostra, juntament amb l'11 i la 13, presenta valors considerablement més elevats que el valor màxim obtingut en sòls agrícoles (65,4 mg kg⁻¹).

El contingut de coure és baix, tant en els sòls regats amb aigües regenerades com en la resta de sòls agrícoles, i no supera en cap cas el límit crític de 210 mg kg⁻¹. El mateix passa amb els valors de níquel i de zinc.

Els valors de plom (Pb) són bastant baixos, però el rang que es troba en els sòls agrícoles utilitzats com a control arriba fins a 520 mg kg⁻¹, superior al màxim permès de 300 mg kg⁻¹. Això és degut a una sola mostra que presenta aquest valor i que va ser recollida en una zona de caça, de manera que la contaminació prové dels perdigons. El reg amb aigües regenerades durant un llarg període de temps no té cap efecte sobre el contingut en plom.

Els sòls regats amb aigües regenerades presenten valors de manganès dins el rang que es pot observar en els sòls agrícoles de Mallorca.

En general, podem constatar que els sòls regats amb aigües regenerades durant uns quaranta anys no presenten contaminació per metalls pesants. La mostra 12, que és la que conté els valors més elevats de crom, de coure i de zinc, es rega amb aigua de la depuradora d'Inca, que en algun moment pot haver rebut aigües contaminades amb crom procedents de la indústria de la pell. Això no obstant, les mostres 10 i 11 es reguen amb aigua de la mateixa depuradora i no presenten cap problema de contaminació.

En un estudi anterior que es va fer al pla de Sant Jordi (REBASSA *et al.*, 1997) i en què es comparaven parcel·les regades amb aigües regenerades amb altres de regades amb aigües subterrànies, els valors més elevats de metalls pesants es varen trobar en una parcel·la que mai no s'havia regat amb aigües regenerades, tot i que no se superaven els valors crítics. En aquest cas, els majors nivells de metalls pesants es varen atribuir a una possible aportació d'esmenes orgàniques contaminades.

En un estudi més recent, que també s'ha fet al pla de Sant Jordi, s'han comparat mostres regades amb aigües residuals de dues tipologies de terra (call vermell i terra de prat) amb mostres regades amb aigües sub-

terrànies (call vermell). S'ha analitzat el contingut de metalls pesants en el sòl (TAULA 8) i també en el cultiu d'alfals (TAULA 9).

El contingut de metalls pesants del pla de Sant Jordi es troba dins el rang que es troba en sòls agrícoles de Mallorca i per davall dels límits exigits per la legislació (TAULA 6). Els valors són similars en els tres tipus de sòl per a tots els elements, de manera que no es pot atribuir cap efecte de contaminació per metalls al reg amb aigües regenerades.

Taula 8. Contingut de metalls pesants en sòls del pla de Sant Jordi (mg kg⁻¹); valors mitjans ± desviació típica

Metalls pesants	PR	VR	VS
Cd	0,66 ± 0,03	0,64 ± 0,10	0,73 ± 0,07
Cr	31,4 ± 6,5	28,8 ± 2,3	41,7 ± 11,9
Cu	18,0 ± 2,8	29,4 ± 4,5	28,5 ± 12,8
Mn	438 ± 120	395 ± 46	589 ± 203
Ni	19,8 ± 4,3	20,7 ± 1,3	28,6 ± 9,1
Pb	26,9 ± 4,8	40,3 ± 11,4	30,9 ± 7,5
Zn	66,6 ± 11,2	74,9 ± 13,5	121,2 ± 64,7

PR: terra de prat regada amb aigües regenerades

VR: call vermell regat amb aigües regenerades

VS: call vermell regat amb aigües subterrànies

Taula 9. Contingut de metalls pesants en alfals cultivat al pla de Sant Jordi (mg kg⁻¹); valors mitjans ± desviació típica

Metalls pesats	PR	VR	VS
cd	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00
Cr	0,26 ± 0,01	0,25 ± 0,04	0,24 ± 0,02
Cu	0,26 ± 0,01	0,25 ± 0,04	0,24 ± 0,02
Mn	61,1 ± 2,5	61,8 ± 4,8	58,1 ± 8,4
Ni	15,7 ± 1,6	24,9 ± 1,0	32,1 ± 2,4
Pb	1,35 ± 2,08	2,07 ± 2,63	0,73 ± 0,42
Zn	22,8 ± 3,4	21,4 ± 4,8	26,2 ± 2,0

PR: terra de prat regada amb aigües regenerades, VR: call vermell regat amb aigües regenerades, VS: call vermell regat amb aigües subterrànies.

Els continguts màxims de cadmi i de plom en les matèries primeres per a l'alimentació animal s'estableixen en el Reial decret 465/2003. El contingut de cadmi no ha de passar d'1 mg kg⁻¹, mentre que el límit de plom és en 10 mg kg⁻¹ per a matèries primeres d'origen vegetal, en 30 mg kg⁻¹ si es tracta de farratges verds, i en 5 mg kg⁻¹ si es tracta de pinsos complets. L'alfals cultivat al pla de Sant Jordi presenta valors molt inferiors, de manera que, amb relació als metalls pesants, és totalment apte per a l'alimentació animal i no comporta perill per a la seva salut ni per a la de les persones.

Els valors de metalls pesants són molt similars en els alfals regats amb aigües residuals i en els regats amb aigües subterrànies.

Amb aquestes dades podem concloure que no s'ha detectat cap contaminació per metalls associada al reg amb aigües regenerades.

4.5. Producció i contingut mineral dels cultius

A les zones productores d'alfals que es reguen majoritàriament amb aigües regenerades, com el pla de Sant Jordi, els pagesos tenen la percepció que l'alfals regat amb aquestes aigües creix més ufanós que el regat amb aigües subterrànies, si bé no hi ha cap constatació tècnica d'aquest fet.

L'alfals és un cultiu permanent que, una vegada sembrat, es manté habitualment entre cinc i set anys. La finalitat és la producció de farratge i l'emmagatzematge en sec per a l'alimentació animal. La periodicitat de la sega varia al llarg de l'any: és més baixa durant l'hivern i es fa cada tres setmanes en els mesos més productius (juny i juliol).

A continuació es presenten les dades obtingudes entre els anys 2003 i 2006 a sis parcel·les del pla de Sant Jordi (TAULA 10).

Les dades de producció que s'indiquen en la taula 10 just pretenen oferir una informació orientativa sobre les produccions que es donen al pla de Sant Jordi, ja que poden tenir un efecte sobre la producció factors decisius com la varietat de l'alfals, l'edat del cultiu, la freqüència de les sega-

des, el maneig del reg i el trànsit de maquinària, entre d'altres. Així i tot, les produccions obtingudes amb el reg amb aigües regenerades no es diferencien de les regades amb aigües subterrànies.

El contingut mineral de l'alfals tampoc no es veu afectat pel reg amb aigües regenerades i en tots els casos assoleix nivells òptims (TAULA 11).

Taula 10. Producció d'alfals sec (t ha⁻¹) a cada segada, durant els mesos de juliol i agost; valors mitjans ± desviació típica

Parcel·la	Producció
PR1	2,34 ± 0,43
PR2	2,35 ± 0,37
VR1	2,29 ± 0,37
VR2	3,05 ± 0,79
VS1	2,85 ± 1,02
VS2	2,68 ± 0,68

PR1 i PR2: terra de prat regada amb aigües regenerades
VR1 i VR2: call vermell regat amb aigües regenerades
VS1 i VS2: call vermell regat amb aigües subterrànies

Taula 11. Contingut mineral de l'alfals del pla de Sant Jordi; contingut per planta (g kg⁻¹), excepte Fe (mg kg⁻¹); valors mitjans ± desviació típica

	PR1	PR2	VR1	VR2	VS1	VS2
N	30,5 ± 5,2	28,8 ± 2,3	30,8 ± 3,0	27,9 ± 4,3	30,5 ± 2,6	31,6 ± 3,6
P	2,4 ± 0,5	2,3 ± 0,2	2,5 ± 0,4	2,5 ± 0,3	2,7 ± 0,5	1,9 ± 0,3
K	15,2 ± 3,7	21,6 ± 7,2	14,8 ± 3,3	21,4 ± 2,7	22,6 ± 4,8	26,5 ± 1,0
Ca	14,5 ± 1,9	12,9 ± 1,9	14,7 ± 1,7	12,6 ± 3,0	15,3 ± 2,7	13,6 ± 1,5
Mg	3,6 ± 0,5	3,2 ± 0,4	3,6 ± 0,3	2,5 ± 0,3	3,4 ± 0,5	4,7 ± 0,5
Na	5,6 ± 1,2	3,7 ± 1,3	5,7 ± 2,0	3,3 ± 0,6	2,8 ± 1,1	2,1 ± 0,6
Fe	86 ± 17	74 ± 14	72 ± 11	61 ± 10	73 ± 18	67 ± 7

PR1 i PR2: terra de prat regada amb aigües regenerades
VR1 i VR2: call vermell regat amb aigües regenerades
VS1 i VS2: call vermell regat amb aigües subterrànies

5. CONCLUSIONS

L'aprofitament de les aigües regenerades és a la vegada una necessitat ambiental i una oportunitat per a l'agricultura.

En les condicions climàtiques mediterrànies, en què l'aigua és el principal factor limitador de la producció, el reg amb aigües regenerades permet aprofitar aquest recurs hídric i també tots els elements minerals associats, com el fòsfor o el nitrogen, que contribueixen a la fertilització de les terres. A la vegada, l'ús agrícola de les aigües regenerades pot contribuir a reduir les despeses en el tractament terciari d'aquestes aigües.

Les experiències de reg amb aigües regenerades a diferents indrets de l'illa de Mallorca (pla de Sant Jordi, Inca i Peguera) posen de manifest que l'ús d'aquestes aigües no compromet la fertilitat de les terres, la producció o la qualitat ambiental.

El factor més negatiu que les aigües regenerades comporten per als cultius sol ser la salinitat que s'hi associa. Aquest paràmetre és difícilment corregible, per la qual cosa comporta de manera inevitable que s'aportin sals al sòl amb el reg. A l'hivern, quan es prescindeix del reg, la salinitat del sòl disminueix considerablement gràcies a la rentada que produeixen les pluges.



6. BIBLIOGRAFIA

ANGELAKIS, A.N.; MARECOS DO MONTE, M.H.F.; BONToux, L.; ASANO, T. (1999). "The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines". *Water Research*, 33 (10): 2201-2217.

ASANO, T.; LEVINE, A.D. (1996). "Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future". *Water Science and Technology*, 33: 1-14.

BANDICK, A.K.; DICK, R.P. (1999). "Field management effects on soil enzyme activities". *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1471-1479.

CONNOLLY, M.A.; GAYER, M.; RYAN, M.J.; SALAMA, P.; SPIEGEL, P.; HEYMANN, D.L. (2004). "Communicable diseases in complex emergencies: impact and challenges". *The Lancet*, 364: 1974-1983.

CROOK, J. (1998). "WATER RECLAMATION AND REUSE CRITERIA". A: ASANO, T. (ed.). *Wastewater reclamation and reuse*. Lancaster: Technomic Publishing, p. 627-704.

"Decret 13/1992, de 13 de febrer, pel qual es regula l'evacuació d'abocaments líquids procedents de plantes de tractament d'aigües residuals urbanes". *Butlletí Oficial de les Illes Balears* núm. 29 (7 de març de 1992); correcció d'errades: *Butlletí Oficial de les Illes Balears* núm. 45 i 126 (14 de març i 17 d'octubre de 1992).

DE VRIES, W.; RÖMKENS, P.F.A.M.; VAN LEEUWEN, T.; BRONSWIJK, J.J.B. (2002). "Heavy metals". A: Haygarth, P.M.; Jarvis, S.C. (ed.). *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. Wallingford: CAB International, p. 107-132.

FRIEDEL, J.K.; LANGER, T.; SIEBE, C.; STAHR, K. (2000). "Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico". *Biology and Fertility of Soils*, 31: 414-421.

HERNANDO, M.D.; MEZCUA, M.; FERNÁNDEZ-ALBA, A.R.; BARCELÓ, D. (2006). "Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments". *Talanta*, 69: 334-342.

LÓPEZ-GARCÍA, J.M.; MATEOS, R.M. (2003). "La intrusión marina en los acuíferos de la isla de Mallorca". A: López-Geta, J.A.; Gómez, J.D.; de la Orden, J.A.; Ramos, G.; Rodríguez, L. (ed.). *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos*. Madrid: IGME, p. 383-392.

LUCHO-CONSTANTINO, C.A.; ÁLVAREZ-SUÁREZ, M.; BELTRÁN-HERNÁNDEZ, R.I.; PIETRO-GARCÍA, F.; POGGI-VARALDO, H.M. (2005). "A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico, irrigated with raw wastewater". *Environment International*, 31: 313-323.

MATEOS, R.M.; CRESPI, D.; GALMÉS, A.; GONZÁLEZ, C. (2001). "Regadío con aguas residuales tratadas en la isla de Mallorca. Afección a las aguas subterráneas". A: *VII Simposio de Hidrogeología*. Tom XXIV. Murcia: Asociación Española d'Hidrología Subterránea.

NANNIPIERI, P.; ASCHER, J.; CECCHERINI, M.T.; LANDI, L.; PIETRAMELLARA, G.; RENELLA, G. (2003). "Microbial diversity and soil functions". *European Journal of Soil Science*, 54: 655-670.

"Pla Hidrològic de les Illes Balears". Aprovat pel Reial decret 378/2001, de 6 d'abril. *Butlletí Oficial de l'Estat* núm. 96 (21 d'abril de 2001); publicat en el *Butlletí Oficial de les Illes Balears* núm. 77 (27 de juny de 2002).

PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Barcelona: Mundi-Prensa.

REBASSA, M.J.; FARRÚS, E.; SOLER, J.M.; SOLER, M.; TOMÀS, M.; FLAQUER, J.M.; VADELL, J. (1997). "Seguiment de les terres del pla de Sant Jordi regades amb aigües residuals depurades". Treball finançat per la Conselleria d'Agricultura i Pesca. Universitat Illes Balears.

"Reial decret 849/1986, d'11 d'abril, pel qual s'aprova el Reglament del domini públic hidràulic, que desplega els títols preliminar, I, IV, V, VI i VII de la Llei 29/1985, de 2 d'agost, d'aigües". *Butlletí Oficial de l'Estat* núm. 103 (30 d'abril de 1986).

"Reial decret 1310/1990, de 29 d'octubre, pel qual es regula la utilització dels fangs de depuració en el sector agrari". *Butlletí Oficial de l'Estat* núm. 262 (1 de novembre de 1990).

"Reial decret 465/2003, de 25 d'abril, sobre les substàncies indesitjables en l'alimentació animal". *Butlletí Oficial de l'Estat* núm. 112 (29 d'abril de 2003). Modificat per l'Ordre PRE/1809/2006, de 5 de juny, publicada en el *Butlletí Oficial de l'Estat* núm. 138 (10 de juny de 2006).

"Reial decret legislatiu 1/2001, de 20 de juliol, pel qual s'aprova el text refós de la Llei d'aigües". *Butlletí Oficial de l'Estat* núm. 176 (25 de juliol de 2001).

SALGOT, M. (2002). "Aspectes reglamentaris de la reutilització d'aigües residuals". Ponència presentada en el 8è Congrés de l'APEVC: La utilització d'aigües reciclades en jardineria (Cambrils, 7-9 de novembre de 2002). Consulta en línia: <http://www.apec.cat>.

TOZE, S. (2006). "Reuse of effluent water - benefits and risks". *Agricultural Water Management*, 80: 147-159.

VERGARA, J.M.; VERA, J.; COLOMBÀS, M. (2006). *El compost com a substrat alternatiu en viverisme i hidroponia*. Palma: Govern de les Illes Balears, Conselleria d'Agricultura i Pesca (Quaderns d'Agricultura, 11).

