

APORTACIÓ DE NUTRIENTS MITJAÇANT EL REG AMB AIGUA REGENERADA AL GOLF MAS NOU (Platja d'Aro, Girona)

Lluís Sala

Consorci de la Costa Brava, Plaça Josep Pla, 4, 17001 Girona.

INTRODUCCIÓ

El mes de setembre de 1989 es va iniciar el reg de la gespa del Golf Mas Nou amb l'efluent secundari desinfectat de l'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) de Castell-Platja d'Aro. Aquesta estació depuradora tracta a l'entorn de 6 hm³/any, dels quals el camp de golf en consumeix aproximadament entre 240 000 i 275 000 m³/any, corresponents a un 4-5 % de la producció total. L'EDAR de Castell-Platja d'Aro depura les aigües residuals de 175 000 habitants equivalents mitjançant un sistema convencional de fangs activats, assolint rendiments a l'entorn del 95 % per a la reducció de la DBO₅ i del 97 % per a la MES (ConSORCI de la Costa Brava, 1994). La fracció d'aquest efluent necessària per al reg del camp de golf és desinfectada amb hipoclorit sòdic amb un 15 % de clor actiu en l'estació de bombament de situada en la pròpia depuradora, el qual exerceix la seva acció al llarg dels 53 minuts de durada de la impulsió de l'aigua des de la depuradora fins a la seva entrada en el llac 1, superant el desnivell de 300 metres que existeix entre ambdós punts.

En les instal·lacions del Golf Mas Nou hi ha dos llacs ornamentals connectats en sèrie, anomenats llac 1 i llac 2 en funció del trajecte que segueix l'aigua, els quals realitzen les funcions de reservori d'aigua per al reg i de sistema de tractament addicional de l'aigua, a més de la funció de millora estètica que els és pròpia. El llac 1 té una capacitat de 13 300 m³ i una fondària màxima de 4,5 m i rep directament l'efluent secundari desinfectat; l'aigua d'aquest llac s'utilitza per a regar 21 ha. i per a abastir d'aigua de reg al llac 2. El llac 2 té una capacitat de 21 000 m³, una fondària màxima de 5,5 m i s'utilitza per a regar les 13 ha. restants (Mujeriego et al., 1993). Altres dades referents al sistema de reg del Golf Mas Nou es poden trobar a Mujeriego & Sala (1991).

Des dels inicis s'ha realitzat un seguiment acurat de la composició físico-química i microbiològica de l'efluent de la depuradora i de l'aigua dels llacs, per tal d'establir quina ha de ser la gestió que cal fer de l'aigua residual regenerada de cara a la seva reutilització per al reg d'un camp de golf. En el bienni 1991-1992 aquest estudi es va realitzar en el marc d'un Conveni d'Investigació entre la Junta de Sanejament, el Consorci de la Costa Brava, la Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental de la Universitat Politècnica de Catalunya i el propi Club de Golf Mas Nou. Les dades que aquí es presenten corresponen a les de l'any 1992, recollides majoritàriament en l'informe de progrés *Gestió de l'aigua residual regenerada emprada pel reg del camp de golf Mas Nou (IV)*.

CARACTERITZACIÓ FÍSICO-QUÍMICA DE L'AIGUA DE REG

La caracterització d'alguns dels paràmetres físico-químics mesurats en les aigües de reg apareix resumida en les Taules 1, 2 i 3. Els valors de conductivitat elèctrica s'han mantingut relativament estables al llarg de l'any, oscil·lant entre 1,3 i 1,7 dS/m, tant en l'efluent secundari com en l'aigua dels llacs. L'espècie nitrogenada dominant al llarg de tot l'any en l'efluent secundari ha estat el nitrogen amoniacal, mentre que en els llacs aquesta dominància ha estat parcial, ja que en períodes d'elevada retenció de l'aigua l'espècie dominant ha passat a ser el nitrat, a causa dels fenòmens de nitrificació que s'hi han produït. Les concentracions d'ortofosfat soluble dels llacs han presentat menys variacions que les de nitrogen, mantenint-se entre 5 i 8 mg PO₄-P/L en el llac 1 i entre 2,5 i 4 mg PO₄-P/L en el llac 2, a excepció de les mitjanes estivals en l'aigua de la superfície; en l'efluent de la depuradora les concentracions d'ortofosfat soluble han experimentat variacions més acusades.

APORTACIÓ HÍDRICA

L'aportació hídrica total al llarg de l'any 1992 ha estat de 1 634 mm, dels quals 932 mm (57 %) van ser aportats per la pluja i els 702 mm restants (43 %), equivalents a un bombament de 240 669 m³, van ser aportats per l'aigua regenerada (Taula 4). Les aportacions mensuals van oscil·lar entre els 27,5 mm del mes de novembre i els 274,7 mm del mes de juny, mes en el que les precipitacions van assolir els 249 mm. El total d'aigua de reg extreta del llac 1 va ser de 171 565 m³ (31 %), mentre que l'extreta del llac 2 va ser de 64 340 m³ (12 %). Aquestes diferents extraccions, juntament amb la menor capacitat del llac 1 respecte el llac 2, propicien un major temps de residència de l'aigua en aquest darrer, la qual cosa és molt important a l'hora d'explicar els mecanismes que intervenen en la regulació dels cicles dels nutrients d'ambdós llacs.

Taula 1 Mitjanes mensuals representatives de les diferents estacions de l'any dels paràmetres analitzats durant 1992 en l'efluent secundari.

Paràmetre	Hivern (Gener)	Primavera (Abril)	Estiu (Agost)	Tardor (Octubre)
Conductivitat elèctrica, dS/m	1,32	1,44	1,59	1,49
pH	7,7	7,9	8,1	8,0
Nitrogen amoniacal, mg NH ₄ ⁺ -N/L	9,4	27,2	41,5	19,5
Nitrogen nitrós, mg NO ₂ ⁻ -N/L	0,0	0,0	0,0	0,0
Nitrogen nítric, mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,7	0,0	0,0	0,0
Nitrogen total, mg N/L	12,7	29,0	43,3	21,3
Ortofosfat soluble, mg PO ₄ -P/L	3,3	5,6	6,9	5,1

Taula 2 Mitjanes mensuals representatives de les diferents estacions d'alguns dels paràmetres analitzats durant 1992 en l'aigua del llac 1 del Golf Mas Nou.

Paràmetre	Hivern (Gener)		Primavera (Abril)		Estiu (Agost)		Tardor (Octubre)	
	Superf.	Fons	Superf.	Fons	Superf.	Fons	Superf.	Fons
Conductivitat elèctrica, dS/m	1,57	1,59	1,45	1,44	1,62	1,60	1,64	1,65
pH	8,7	8,3	8,3	8,0	8,1	8,0	8,2	7,9
Nitrogen amoniacal, mg NH ₄ ⁺ -N/L	0,5	1,0	14,6	14,4	28,6	29,0	7,6	8,8
Nitrogen nitrós, mg NO ₂ ⁻ -N/L	0,2	0,2	0,3	0,2	1,3	1,3	10,3	9,5
Nitrogen nítric, mg NO ₃ ⁻ -N/L	4,0	4,3	0,6	0,6	1,4	0,7	9,2	9,3
Nitrogen total, mg N/L	7,6	8,4	17,4	17,1	33,4	33,1	29,3	29,8
Ortofosfat soluble, mg PO ₄ -P/L	5,4	6,2	6,0	6,4	7,2	7,5	7,2	7,5

Taula 3 Mitjanes mensuals representatives de les diferents estacions d'alguns dels paràmetres analitzats durant 1992 en l'aigua del llac 2 del Golf Mas Nou.

Paràmetre	Hivern (Gener)		Primavera (Abril)		Estiu (Agost)		Tardor (Octubre)	
	Superf.	Fons	Superf.	Fons	Superf.	Fons	Superf.	Fons
Conductivitat elèctrica, dS/m	1,65	1,66	1,57	1,57	1,43	1,47	1,62	1,64
pH	9,2	8,8	8,9	8,2	9,4	8,4	8,3	7,9
Nitrogen amoniacal, mg NH ₄ ⁺ -N/L	0,0	0,1	0,7	2,1	1,5	7,3	0,2	1,4
Nitrogen nitrós, mg NO ₂ ⁻ -N/L	0,0	0,0	0,1	0,0	1,7	1,1	0,8	0,8
Nitrogen nítric, mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,0	0,0	0,3	0,2	1,0	0,4	3,6	2,2
Nitrogen total, mg N/L	3,5	3,6	2,6	3,8	6,5	11,1	7,3	7,1
Ortofosfat soluble, mg PO ₄ -P/L	2,6	2,9	3,0	4,1	0,3	3,8	3,3	3,7

APORTACIÓ DE FERTILITZANTS

L'aportació de nitrogen realitzada per l'aigua de reg ha estat de 193,7 kg N/ha en l'àrea regada pel llac 1 i de 48,1 kg N/ha en l'àrea regada pel llac 2 (Taula 5). En l'àrea regada pel llac 1

les aportacions més importants van correspondre als mesos d'agost, maig i setembre, amb uns totals de 67,1, 40,4 i 27,8 kg N/ha, a causa de les importants concentracions de nitrogen en l'aigua de reg (>30 mg N/L) i de les elevades dosis de reg d'aquests mesos. En l'àrea regada pel llac 2, les concentracions de nitrogen tan sols van superar els 10 mg N/L de mitjana en quatre dels mesos (maig, juny, agost i setembre), per la qual cosa les aportacions van ser molt menors; les més importants van correspondre als mesos d'agost (12,8 kg N/ha) i maig (10,6 kg N/ha). Les aportacions anuals de nitrogen realitzades per l'aigua del llac 1 van ser inferiors a les necessitats teòriques de la gespa, xifrades a l'entorn dels 300 kg N/ha, si bé l'aportació corresponent al mes d'agost segurament va estar per sobre de les necessitats d'aquell moment i les aportacions dels mesos de tardor i hivern van estar-ne per sota; l'aportació realitzada per l'aigua del llac 2 ha estat clarament inferior a la recomanada, per la qual cosa en aquesta àrea ha calgut aplicar majors dosis d'adob mineral.

Pel que fa al fòsfor, les aportacions, calculades en forma de P_2O_5 , han estat de 120,6 kg/ha en l'àrea regada pel llac 1 i de 47,9 kg/ha en la regada pel llac 2. En l'àrea regada pel llac 1 les aportacions més importants van correspondre als mesos d'agost, maig i juliol, amb uns totals de 35,0, 22,6 i 16,7 kg P_2O_5 /ha, mentre que en l'àrea regada pel llac 2 les aportacions màximes van tornar a correspondre als mesos de maig (10,6 kg P_2O_5 /ha) i d'agost (10,0 kg P_2O_5 /ha). Les aportacions de fòsfor realitzades per l'aigua del llac 1, calculades en forma de P_2O_5 , han cobert amb escreix les necessitats teòriques de la gespa, que són febles en tres de les espècies (*Festuca rubra*, *Agrostis tenuis* i *Lolium perenne*) i elevades (entre 120 i 150 kg P_2O_5 /ha) per a la *Poa pratensis*; les aportacions realitzades per l'aigua del llac 2 han estat insuficients per a cobrir aquestes necessitats.

Les aportacions de potassi han estat calculades a partir de les estimacions de les concentracions d'aquest element fetes a partir de la conductivitat elèctrica, mitjançant una recta de regressió entre ambdós paràmetres. Les aportacions totals, en forma de K_2O , han estat de 195,9 kg K_2O /ha en l'àrea regada pel llac 1 i de 110,7 kg K_2O /ha en l'àrea regada pel llac 2. Les aportacions realitzades per l'aigua del llac 1 han cobert pràcticament les necessitats de la gespa, xifrades entre 200 i 250 kg K_2O /ha, mentre que les realitzades per l'aigua del llac 2 han cobert tan sols la meitat d'aquestes necessitats.

Taula 4 Estimació de l'aportació mensual i total d'aigua pel reg del camp de golf Mas Nou al llarg de l'any 1992 (a).

Mes	Pluvio- metria mm	Reg aportat per la pluja m ³	Reg Llac 1 (b) m ³	Reg Llac 2 (b) m ³	Reg directe pous, m ³	Reg total m ³	Reg total mm	Aportació diària mm/dia
Gen 92	118,1	39 800	1 922	1 216	0	42 938	127,4	4,1
Feb 92	40,0	13 480	4 047	1 763	0	19 290	57,2	2,0
Mar 92	35,7	12 031	8 835	3 458	0	24 324	72,2	2,3
Abr 92	42,5	14 323	22 249	8 598	0	45 170	134,0	4,5
Mai 92	49,2	16 580	27 457	10 373	0	54 410	161,5	5,2
Jun 92	249,0	83 913	6 292	2 353	0	92 558	274,7	9,2
Jul 92	59,1	19 917	34 731	10 857	0	65 505	194,4	6,3
Ago 92	17,5	5 898	41 553	15 144	635	63 230	187,6	6,1
Set 92	25,2	8 492	15 394	6 321	150	30 357	90,1	3,0
Oct 92	193,3	65 142	2 454	1 495	0	69 091	205,0	6,6
Nov 92	2,0	674	6 299	2 299	0	9 272	27,5	0,9
Des 92	100,0	33 700	332	463	0	34 495	102,4	3,3
Total	931,6	313 940 57,0 %	171 565 31,2 %	64 340 11,7 %	785 0,1 %	550 639	1 634,0	

(a) La superfície total del camp de golf és de 33,7 ha, i comprèn els 18 forats del camp gran i els 9 forats *par 3* per a principiants.

(b) Inclou l'aigua de pou que durant els mesos de gener, febrer i abril s'ha bombat als llacs.

Taula 5 Aportació de macronutrients mitjançant el reg amb aigua residual regenerada durant l'any 1992 (a).

Mes	Nitrogen mg/L		P ₂ O ₅ mg/L		K ₂ O mg/L (b)		Volum aigua reg m ³ (c)		Nitrogen kg N/ha		Fòsfor kg P ₂ O ₅ /ha		Potassi kg K ₂ O/ha	
	Llac 1	Llac 2	Llac 1	Llac 2	Llac 1	Llac 2	Llac 1	Llac 2	Llac 1	Llac 2	Llac 1	Llac 2	Llac 1	Llac 2
Gen 92	8,3	3,4	14,4	6,6	26,6	29,1	1922	1 216	0,8	0,3	1,4	0,6	2,5	2,7
Feb 92	3,8	2,6	6,2	8,9	15,5	24,8	4 047	1 763	0,7	0,3	1,2	1,2	3,1	3,3
Mar 92	5,7	3,1	8,7	9,4	18,3	23,7	8 835	3 458	2,5	0,8	3,8	2,5	7,9	6,2
Abr 92	17,0	3,8	14,6	9,5	21,2	25,9	22 249	8 598	18,5	2,5	15,8	6,2	23,0	16,8
Mai 92	30,2	13,5	16,9	13,5	21,2	19,0	27 457	10 373	40,4	10,6	22,6	10,6	28,4	15,0
Jun 92	13,4	12,2	16,6	14,0	18,7	18,3	6 292	2 353	4,1	2,2	5,1	2,5	5,7	3,3
Jul 92	12,7	9,9	9,8	9,9	20,3	18,2	34 731	10 857	21,5	8,2	16,7	8,1	34,4	15,0
Ago 92	33,1	11,1	17,2	8,7	27,0	22,1	41 553	15 144	67,1	12,8	35,0	10,0	54,7	25,4
Set 92	37,1	18,1	16,2	8,2	31,4	28,2	15 394	6 321	27,8	8,7	12,2	3,9	23,6	13,5
Oct 92	29,8	7,1	17,1	8,4	28,8	28,3	2 454	1 495	3,6	0,8	2,0	1,0	3,4	3,2
Nov 92	21,3	3,9	14,8	6,1	28,3	29,5	6 299	2 299	6,5	0,7	4,6	1,1	8,7	5,1
Des 92	15,3	5,0	14,1	6,4	31,3	34,6	332	463	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	1,2
Total anual							171 565	64 340	193,7	48,1	120,6	47,9	195,9	110,7

- a) La important diferència de nutrients entre ambdós llacs ha fet que calgués diferenciar-los. La superfície regada amb l'aigua del llac 1 és de 20,5 ha, mentre que la regada amb la del llac 2 és de 13,2 ha. Els càlculs de l'aportació de nitrogen s'han fet a partir de les concentracions de nitrogen amoniacal, nitrats, nitrats i nitrogen orgànic. Els càlculs de l'aportació de fòsfor s'han fet a partir de les concentracions d'ortofosfat soluble.
- b) La concentració de potassi s'ha estimat a partir de la conductivitat elèctrica mitjançant la següent recta de regressió : $K^+ \text{ (mg/L)} = 29,78 \times \text{Cond. } 20^\circ \text{C (dS/m)} - 25,30$ ($r = 0,823$ $n = 34$).
- c) L'aigua de reg extreta de cada llac és la suma de l'aigua regenerada bombada més l'aigua de pluja recollida en la superfície de cadascun d'ells, menys l'evaporació teòrica i, en el cas del llac 1, menys el cabal emprat pel reg dels jardins del conjunt residencial Hapimag.

Taula 6 Aportacions de nitrogen i fòsfor degudes a l'aigua regenerada utilitzada per al reg del Golf Mas Nou durant 1992 i valoració econòmica d'aquestes aportacions.

Aigua	Aportacions		Equivalència en adob mineral kg	Valoració econòmica pessetes
	kg N/ha.any	kg P ₂ O ₅ /ha.any		
Llac 1	194	121	27 160	3 000 000
Llac 2	48	48	4 160	460 000
Total			30 833	3 460 000

- (a) Àrea regada amb el llac 1 = 21 ha; àrea regada amb el llac 2 = 13 ha.
 (b) Contingut de nitrogen de l'adob mineral emprat habitualment = 15 %.
 (c) Preu mitjà dels adobs utilitzats en el Golf Mas Nou = 110 ptes/kg.

VALORACIÓ ECONÒMICA

Les aportacions de fertilitzants realitzades per l'aigua regenerada han estat valorades econòmicament en funció del preu dels adobs minerals d'alliberació lenta emprats habitualment en el Golf Mas Nou. Així, l'equivalència en adob mineral de tot el nitrogen aportat per l'aigua de reg és de 30 833 kg, que representen, a un preu de mercat de 110 ptes/kg, un estalvi proper als 3 500 000 de pessetes (Taula 6).

CONCLUSIONS

- 1) L'efluent secundari de l'EDAR de Castell-Platja d'Aro reuneix, durant la major part de l'any, les condicions físico-químiques adients per a ser reutilitzat per al reg de gespa.
- 2) L'aportació hídrica d'aigua regenerada al llarg de l'any 1992 va ser de 702 mm, corresponents a 240 669 m³, el que representa un 43 % de l'aportació hídrica total.
- 3) En el balanç anual, les aportacions de macronutrients (nitrogen, fòsfor i potassi) realitzades per l'aigua del llac 1 han cobert, en línies generals, les necessitats de nutrients de la gespa; malgrat tot, s'observa que les aportacions dels mesos d'estiu són superiors a les necessitats reals, mentre que les dels mesos de tardor i hivern són clarament inferiors, per la qual cosa en aquestes èpoques cal realitzar una fertilització complementària amb adobs minerals. En l'àrea regada pel llac 2 aquesta situació s'accentua, atès que les necessitats de la gespa tan sols es cobreixen durant l'estiu, quan hi ha un reg diari amb l'aigua regenerada.
- 4) El valor dels fertilitzants presents en l'aigua regenerada emprada pel reg al llarg de l'any 1992, prenent com a referència l'adob d'alliberament lent emprat habitualment en el Golf Mas Nou, amb 15 % de contingut de nitrogen i amb un preu mitjà de 110 ptes/kg, ha estat d'uns 3,5 milions de pessetes.

BIBLIOGRAFIA

- Consorci de la Costa Brava (1994). *Memòries d'explotació. Any 1993*.
- Mujeriego, R. & L. Sala (1991). *Golf course irrigation with reclaimed wastewater*. Wat. Sci. Tech. Vol.24, No. 9, pp. 161-171.
- Mujeriego, R., L. Sala & J. Turet (1993). *Nutrient losses in two landscape ponds used for golf course irrigation*. 2nd International Specialist Conference on Waste Stabilization Ponds and the Reuse of Pond Effluents. Oakland, California.
- Mujeriego, R., L. Sala, J. Garcia & M. Carbó (1994). *Gestió de l'aigua residual regenerada emprada pel reg del camp de golf Mas Nou (IV)*. 4^a Memòria Semestral, Platja d'Aro.