

MAXIMIZACIÓN DEL BENEFICIO AMBIENTAL EN LA EXPLOTACIÓN DE UNA EDAR DE UNA ZONA TURÍSTICA COSTERA

Jordi Muñoz Aulet y Josep Maria Caus Pla

Sociedad de Explotación de Aguas Residuales, S.A. (SEARSA)
EDAR de Castell-Platja de Aro
Afores s/n
17249 Castell de Aro
E-mail: edarpmos@arrakis.es

RESUMEN

La mejora tecnológica de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) siempre ha ido ligada a la creciente eliminación del agua de aquellas sustancias que constituían un problema ambiental cuando eran vertidas. En este sentido, la nueva generación de EDAR construidas a partir de los años 90 ha incorporado sistemas de eliminación de nitrógeno que suponían un paso adelante respecto a las tradicionales instalaciones de fangos activados convencionales que tan sólo eliminaban carbono orgánico. El suministro de agua regenerada, es decir, la reutilización, abre nuevas perspectivas sobre como enfocar la eliminación de los diferentes elementos presentes en las aguas depuradas. Contra la opción de quitar cada vez más cosas del agua residual depurada existe la opción de verter menos, reciclando aquellas que puedan tener un interés para la sociedad. En este sentido, esta ponencia se plantea explorar alternativas a la eliminación clásica del nitrógeno de una EDAR situada en una zona turística costera (en concreto, la de Castell-Platja de Aro), en la que la máxima producción de agua –y por tanto, también de nutrientes- coincide con la máxima demanda para riego. Se comparan los diferentes escenarios de futuro respecto a lo que serían las opciones relativas a la ampliación de la EDAR, del tratamiento terciario y del suministro de agua regenerada, llegándose a la conclusión de que el modelo de máximo beneficio ambiental, en esta ponencia llamado sostenibilista, es aquel que se basa en la eliminación de nutrientes cuando el agua depurada debe de ser vertida (meses de invierno) y en la conservación de estos nutrientes cuando el agua puede ser suministrada para riego (meses de verano). La conservación de estos nutrientes propicia un ahorro global que incluso permite su suministro para riego en las zonas agrícolas de Santa Cristina d'Aro y de Llagostera.

Palabras clave: reutilización de aguas, eliminación de nutrientes, fertirrigación, balance energético, sostenibilidad

INTRODUCCIÓN

La EDAR de Castell d'Aro entró en servicio en 1983 y desde su inicio trata las aguas residuales de las poblaciones de Castell-Platja d'Aro, S'Agaró, Santa Cristina d'Aro y Sant Feliu de Guíxols, al sur de la comarca del Baix Empordà. Desde 1989 esta EDAR suministra agua regenerada (hasta 1998, efluente secundario desinfectado, y a partir de entonces con una filtración previa a la desinfección) para riego agrícola y de campos de golf en la zona de la Vall d'Aro. Inicialmente este suministro se limitaba al Golf d'Aro (entonces Golf Mas Nou) y a los regantes del entorno de la EDAR, pero en los últimos años esta actividad ha crecido gracias al suministro de agua para el riego del Golf Costa Brava y a la Comunidad de Regantes de Solius, y a la mejora del vertido al río Ridaura que se hace de una parte del agua tratada en esta instalación. De cara al futuro se prevén nuevos incrementos en el suministro de agua regenerada en la zona, ya que han mostrado interés en disponer de este agua los regantes de la zona de Santa Cristina d'Aro y de Llagostera. Por este motivo, y en base a las reflexiones surgidas alrededor de la reutilización en la Vall d'Aro a lo largo de estos años, se ha preparado esta ponencia, que intenta evaluar desde un punto de vista global el beneficio ambiental de las diferentes opciones de tratamiento de las aguas residuales y de suministro de agua regenerada en la zona.

OBJETIVOS

El objetivo de esta ponencia es el de evaluar desde un punto de vista ambiental global los diferentes escenarios que se pueden dar en el futuro respecto al tratamiento de las aguas residuales y a la reutilización de las aguas regeneradas, con el fin de disponer de criterios para escoger la de máximo beneficio ambiental. Estos escenarios, que serán descritos y evaluados más adelante, incluyen las diferentes opciones en cuanto al tratamiento del agua residual, al suministro de agua regenerada, y a los criterios de explotación de la EDAR.

DESCRIPCIÓN DE LA EDAR Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO

La EDAR de Castell-Platja d'Aro cuenta con un sistema de depuración convencional por fangos activados para un caudal máximo de diseño de 35.000 m³/día y una carga contaminante máxima de 175.000 habitantes equivalentes.

Tabla 1. Caudales mensuales tratados (en m³) durante los últimos tres años.

Meses	Año 2002	Año 2003	Año 2004
Enero	294.618	506.739	389.953
Febrero	264.674	359.181	340.472
Marzo	312.852	455.379	417.363
Abril	523.788	614.477	587.791
Mayo	575.286	471.470	695.974
Junio	550.602	454.586	503.740
Julio	542.814	561.989	563.260
Agosto	636.597	680.080	694.980
Septiembre	497.487	428.550	460.832
Octubre	427.830	582.995	335.162
Noviembre	395.496	408.961	289.144
Diciembre	417.678	589.261	347.653
Total anual	5.439.722	6.113.668	5.626.324

La línea de agua está compuesta por:

- a) 2 líneas de pretratamiento con reja automática de gruesos y sistema de eliminación de arenas y de grasas por aireación
- b) 3 decantadores primarios de 22 metros de diámetro
- c) 3 cubas de aireación de 2.623 m³ con 9 turbinas de superficie
- d) 3 decantadores secundarios de 30 metros de diámetro

En la Tabla 1 se presentan los datos de los caudales tratados por la instalación en los últimos tres años, mientras que la Tabla 2 muestra la calidad del efluente secundario obtenido durante el año 2004.

Tabla 2. Resumen estadístico de la calidad del efluente secundario durante el año 2004.

Parámetros	Mínimo	Media	Mediana	Percentil 90	Máximo
DBO, mg O ₂ /l (74)	2	5,9	5	10,7	15
DQO, mg O ₂ /l (48)	11	41,3	40,5	60,4	75
MES, mg/l (74)	2	8,2	7	14,7	26
Turbidez, NTU (28)	0,5	3,6	2,7	7,0	8,1
Transmitancia 254 nm, % (28)	33	56	55	67	71
pH (74)	7,1	7,6	7,6	7,9	8,1
CE, dS/m (74)	0,78	1,30	1,26	1,65	1,97
Nitrógeno total, mg N/l (61)	0,3	19,5	24	41	44
Fósforo total, mg P/l (61)	0,08	5,3	4,4	11,1	20

Nota: Entre paréntesis se muestra el número de análisis realizados durante el año.

El análisis de los datos de las Tablas 1 y 2 y de la Figura 1 permite extraer los diferentes factores que condicionan la explotación de la instalación y que hacen variar la cantidad y las características del efluente secundario producido a lo largo del año. Estos factores son:

- 1) *La contaminación de origen doméstico:* La instalación se encuentra en una zona con poca actividad industrial, de forma que el agua a tratar tiene una carga contaminante fácilmente biodegradable. Este agua tiene un origen esencialmente doméstico y son raros los vertidos incontrolados de residuos de procesos industriales tóxicos para el proceso biológico. Esta circunstancia hace que la EDAR produzca un efluente secundario de muy buena calidad, que se encuentra muy por debajo de los límites establecidos por la legislación de una manera regular y constante durante todo el año.
- 2) *La estacionalidad:* Esta EDAR trata las aguas residuales de poblaciones eminentemente turísticas, de manera que las puntas de caudal y de carga contaminante llegan a la planta en el período comprendido entre los meses de junio y septiembre, coincidiendo con la temporada alta del turismo en la zona. La instalación pone en funcionamiento sus líneas de tratamiento en función de la carga contaminante que le llega, consiguiéndose los máximos valores de materia en suspensión (MES), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente secundario durante los meses de verano. Por el hecho de tratarse de una instalación con un tratamiento biológico de fangos activados convencional, sin la capacidad de llevar a cabo procesos de nitrificación/desnitrificación ni de reducción de fósforo, el efluente secundario presenta concentraciones elevadas de nutrientes, especialmente durante los meses

de verano. En la Figura 1, que muestra la distribución mensual del nitrógeno en el efluente secundario durante el año 2004, se puede observar como entre los meses de junio a septiembre el efluente secundario contiene casi un 50% de la carga anual de nitrógeno vertida al medio.

- 3) *La entrada de aguas pluviales*: Dado que los municipios a los que se da servicio cuentan con redes separativas sólo en algunas partes, en episodios de lluvias la EDAR recibe gran cantidad de aguas pluviales junto con el agua residual. Este hecho se pone de manifiesto si se observan en la Tabla 1 las fluctuaciones en el caudal tratado durante los meses de mayo y octubre de los diferentes años, a causa de la pluviometría especialmente variable característica de la primavera y del otoño en el clima de la zona.

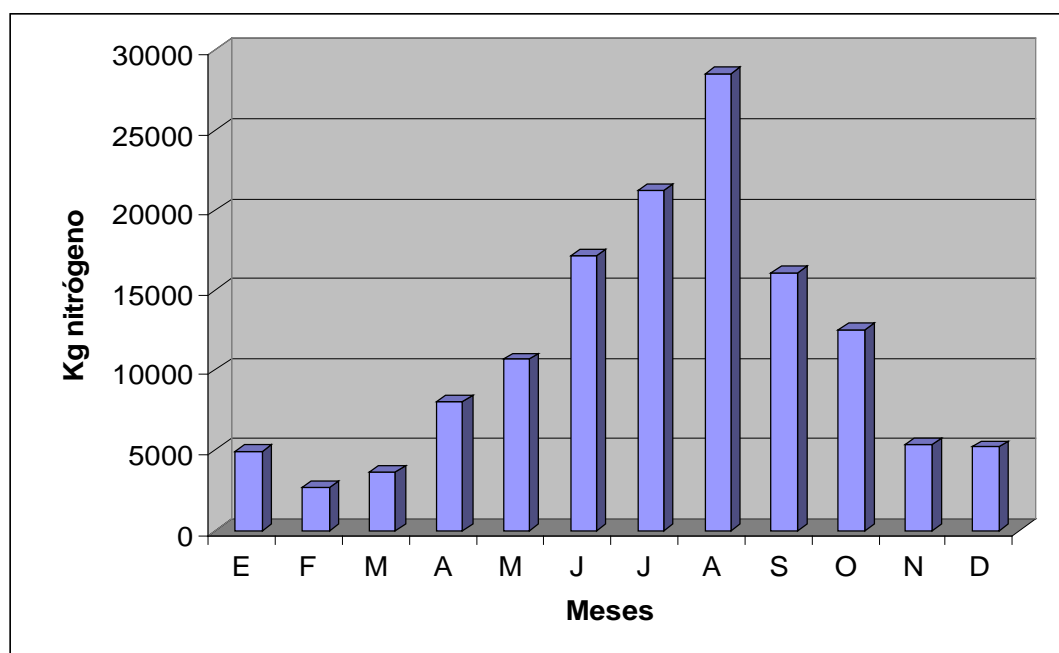


Figura 1. Distribución mensual de las cargas de nitrógeno (en kg N/mes) vertidas con el efluente secundario de la EDAR de Castell-Platja d'Aro durante el año 2004.

TRATAMIENTO TERCIARIO Y CALIDAD DEL AGUA REGENERADA

La construcción de la planta de regeneración de la EDAR de Castell d'Aro se inició el 27 de junio de 1997 y finalizó el 25 de marzo de 1998. Fue financiada en un 80% por parte de la Unión Europea a través de los Fondos de Infraestructuras para la Mejora del Medio Ambiente (FIMMA), con los objetivos de mejorar la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del Ridaura, reducir los vertidos y mejorar la calidad del agua en el último tramo del río Ridaura. El caudal vertido por la EDAR de Castell-Platja de Aro, que corresponde a buena parte del total del agua residual tratada por la instalación, representa también una parte importante del caudal del río durante la mayor parte del año en este tramo final. Éste es un tratamiento terciario de tipo convencional y con una capacidad máxima de diseño de 625 m³/hora, equivalentes a 15.000 m³/día. El objetivo de este tratamiento es la reducción o eliminación de la población de microorganismos patógenos, sin buscar la eliminación de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) presentes en el efluente secundario. Las etapas por las que pasa el efluente secundario, en las cuales se modifican sus características fisicoquímicas y microbiológicas hasta conseguir la calidad que lo hace apto para su reutilización posterior son:

- 1) *Coagulación-floculación*: se lleva a cabo la adición de policloruro de aluminio en una cámara de contacto provista de un agitador. Se trata de una etapa opcional que sólo se utiliza en los momentos en que la concentración de sólidos del efluente secundario se encuentra por encima de 20 ppm y se hace necesario incrementar el rendimiento de la instalación con el fin de asegurar la obtención de un efluente que se encuentre dentro de los límites de calidad establecidos.
- 2) *Filtración*: se dispone de 4 filtros abiertos de lecho pulsado, sistema Hydroclear, provistos de una única capa de matriz filtrante de arena de cuarzo de grano fino y de 25 centímetros de grosor. En esta etapa el agua sufre unas modificaciones de las características físico-químicas, que consisten en un descenso en la concentración de la materia en suspensión y de la turbidez, y en un aumento de la transmitancia a 254 nanómetros, que facilitan la desinfección posterior.
- 3) *Desinfección con luz ultravioleta*: se dispone de 2 equipos en canal cerrado con un total de 8 lámparas de media presión. En esta etapa se busca reducir las concentraciones de microorganismos patógenos gracias al efecto germicida de la luz ultravioleta.
- 4) *Post-cloración*: se realiza mediante la adición en línea de hipoclorito sódico. En esta etapa de afino se busca eliminar totalmente la población de microorganismos patógenos y dotar al agua de un agente desinfectante que perdure en el tiempo y permita mantener la calidad microbiológica del agua en los sistemas de conducción hasta el punto de uso.

Tabla 3. Comparativa entre los límites de los criterios de calidad establecidos para riego sin restricciones (agrícola y espacios verdes) y los resultados obtenidos del efluente terciario.

Parámetros	Percentil 90 de los valores anuales				
	Límites	2002	2003	2004	enero-agosto 2005
Huevos de Nemátodos	<1/ litro	<1/ 25 litros	<1/25 litros	<1/50 litros	<1/50 litros
<i>Escherichia coli</i> (ufc/100 ml)	<200	23	120	5	29
Materia en suspensión, (mg/l)	<20	4,0	7,0	6,8	8,9
Turbidez (NTU)	<5	1,5	2,5	3,4	4,8

A pesar de lo que se podría pensar *a priori*, la utilización de derivados del cloro para la desinfección de aguas residuales depuradas presenta un potencial muy bajo de formación de trihalometanos, ya que la presencia de una mínima concentración de nitrógeno amoniacal ya hace que éste reaccione preferentemente con el cloro para formar cloraminas, y que la formación de trihalometanos sea prácticamente nula. Así, la producción de un agua con concentraciones elevadas de amonio asegura la inhibición de la formación de trihalometanos en el proceso de desinfección por cloración, ya que no se supera el punto de ruptura ("*breakpoint*") del amonio, quedando todo el cloro retenido en forma de cloraminas. En consecuencia no se genera cloro residual libre que pueda reaccionar con la materia orgánica presente en el efluente terciario. El Departamento de Química Analítica de la Universidad de Girona ha realizado una campaña de muestreo del efluente terciario durante los ejercicios 2004 y 2005 (9 muestras puntuales en total) analizando las muestras según el método EPA 551, aplicable a la determinación de subproductos de desinfección y de disolventes clorados. Esta técnica, que se lleva a cabo mediante una extracción líquido-líquido y una cromatografía de gases con detector de captura de electrones, permite la detección simultánea de 19 sustancias. Los resultados de este seguimiento han corroborado la tesis anterior, con todos los

compuestos situados por debajo de los límites de detección del método, en un rango comprendido entre 0,02-0,15 µg/l, dependiendo del compuesto.

Por otro lado, durante este período se han llevado a cabo diferentes campañas de muestreo por parte del Departamento de Microbiología de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona, con el fin de ampliar el abanico de microorganismos analizados y de evaluar la eficiencia del tratamiento terciario en su reducción o eliminación. Así, aparte de la determinación de las concentraciones de coliformes fecales y de estreptococos fecales, también se han hecho determinaciones de las concentraciones de esporas de clostridios, de cuatro tipos de bacteriófagos, de enterovirus y de un protozoo patógeno como *Cryptosporidium parvum*, tanto a la entrada como a la salida del tratamiento de regeneración. En la Figura 2 se pueden observar los resultados obtenidos en el efluente terciario por lo que respecta a estos diferentes grupos de microorganismos.

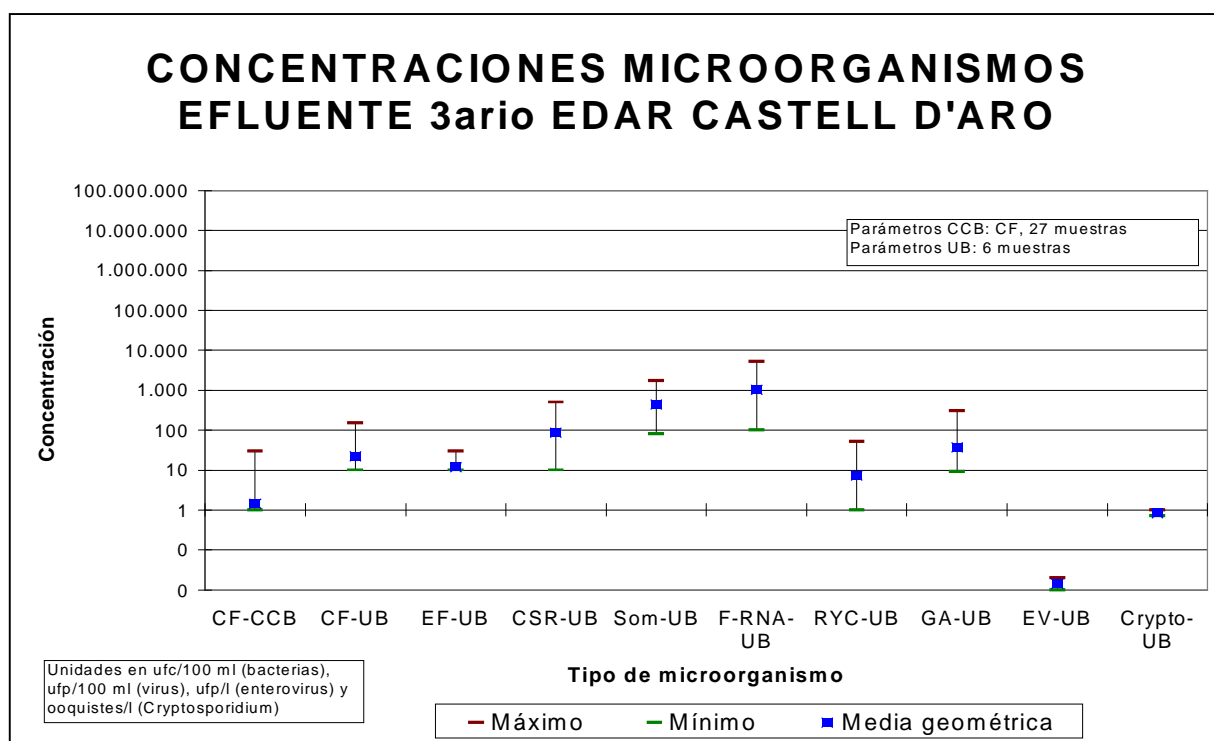


Figura 2. Concentraciones de los diferentes microorganismos analizados en el agua regenerada de la EDAR de Castell-Platja d'Aro durante el año 2004. Abreviaciones: CCB: Consorci de la Costa Brava; UB: Universidad de Barcelona. **Bacterias:** CF: coliformes fecales; EF: estreptococos fecales; CSR: clostridios sulfito-reductores. **Virus:** Som: fagos somáticos; F-RNA: fagos F-RNA; RYC: fagos RYC de *Bacteroides fragilis*; GA: fagos GA de *Bacteroides fragilis*; EV: enterovirus. **Protozoos:** Crypto: *Cryptosporidium parvum*. Número de muestras CCB: 27; UB: 6. Unidades en ufc/100 ml (bacterias), ufp/100 ml (virus), ufp/l (enterovirus) y ooquistes/l (*Cryptosporidium*).

Tanto de los resultados de la Tabla 3 como de estos seguimientos adicionales realizados a través de convenios con diferentes departamentos universitarios se desprende que se cuenta con la capacidad de obtener un efluente terciario que se encuentre dentro de los límites para su reutilización posterior para usos de riego de una manera constante y regular. Este hecho, con el paso del tiempo, ha ido dando una confianza en este recurso tanto a la administración como a los diferentes usuarios.

ALTERNATIVAS EN LA GESTIÓN CONJUNTA DE LA EDAR Y DEL SUMINISTRO DE AGUA REGENERADA

Debido a que se plantea la posibilidad de una ampliación del tratamiento biológico de la EDAR con criterios de reducción de nutrientes, y que también existe una expectativa de ampliar el suministro de agua regenerada para diferentes usos, de entre los cuales el riego agrícola es el principal, a continuación se exploran las diferentes alternativas de gestión del sistema EDAR-usuarios del agua regenerada, evaluando la viabilidad global de las diferentes opciones. En la Tabla 4 se presenta la relación de los usuarios actuales junto con datos que permiten tener una idea de las características de cada uno de ellos y de su importancia relativa.

Tabla 4: Superficies de riego de los usuarios actuales de agua regenerada y principales datos relacionados con el suministro en los últimos años.

Usuarios agua regenerada	Superficie regada (hectáreas)	Lagunas de almacenaje	Aporte medio anual nitrógeno 2002-2004 (Kg)	Aporte medio anual fósforo 2002-2004 (Kg)	Volumen suministrado media 2002-2004 (m ³)	Volumen suministrado enero-agosto año 2005 (m ³)
Hortes entorn EDAR	10	No	2.532	382	84.573	73.827
Golf d'Aro	30	Si	5.870	727	177.299	201.701
Golf Costa Brava	25	No	4.109	577	135.094	117.703
Regantes Solius	25	Sí	3.609	371	96.880	115.550

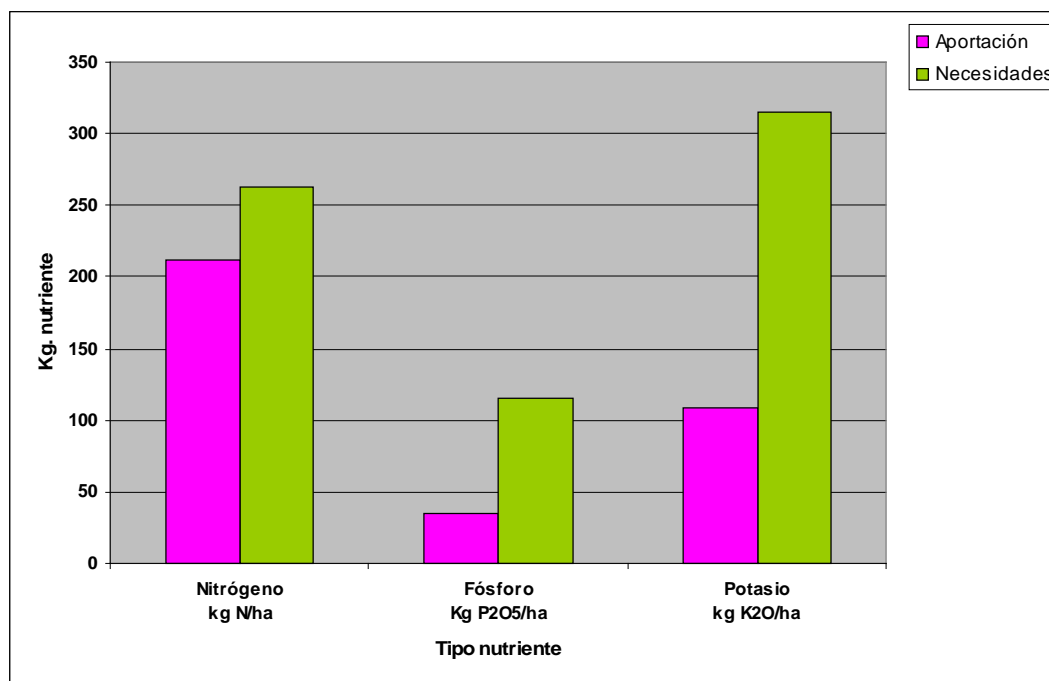


Figura 3: Comparativa entre las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio aportadas por fertirrigación con agua regenerada durante el año 2004 al cultivo de maíz de Solius (Santa Cristina d'Aro) y necesidades totales anuales de estos nutrientes para un cultivo de maíz forrajero con una producción anual de 70 toneladas de materia fresca por hectárea.

Debido a que el agua regenerada presenta unas elevadas concentraciones de nutrientes, los aportes realizados por fertirrigación a los cultivos son significativamente importantes y permiten un ahorro importante en fertilizantes para el agricultor. En la Figura 3 se relacionan

las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio aportadas durante el año 2004 a las hectáreas de maíz que actualmente se riegan con agua regenerada en la zona de Santa Cristina d'Aro con las necesidades totales anuales de estos nutrientes. Gracias a los nutrientes presentes en el agua regenerada, tan sólo el riego ya aporta un 81% del nitrógeno, un 30 % del fósforo y un 35 % del potasio que requiere este cultivo.

Para el análisis de las diferentes alternativas se contemplan cinco escenarios de futuro a medio plazo, los datos de los cuales se resumen en la Tabla 5:

Escenario nº 1 – Situación actual: Este caso supondría que no se llevara a cabo la ampliación del tratamiento biológico con criterios de reducción de nutrientes ni de la planta de regeneración de la EDAR, ya que la demanda de agua regenerada se mantendría estable. Se trata del estado actual de las cosas. En este escenario la EDAR continuaría vertiendo gran parte del agua tratada al mar y al río Ridaura con unas elevadas concentraciones de nutrientes. Este vertido sólo se vería reducido por la parte del efluente terciario producido que es consumido por los usuarios y que representaría un 9% del total tratado por la EDAR y un 12 % de los kilogramos de nitrógeno vertidos.

Tabla 5. Comparativa de la distribución, en porcentajes y en kg totales, del nitrógeno que actualmente se vierte con el efluente secundario en los 5 escenarios de futuro.

Usuarios	Distribución en porcentajes					Distribución en Kg de nitrógeno				
	Escenarios					Escenarios				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<i>Huertas entorno EDAR</i>	1,9	1,9	0,5	0,5	1,4	2.532	2.532	708	708	1.845
<i>Golf Mas Nou</i>	4,4	4,4	1,2	1,2	3,9	5.870	5.870	1.630	1.630	5.206
<i>Golf Costa Brava</i>	3,1	3,1	0,9	0,9	2,5	4.109	4.109	1.161	1.161	3.347
<i>Santa Cristina – Llagostera</i>	2,7	40,0	0,7	11,0	40,0	3.609	52.911	969	14.586	52.911
Subtotal reciclaje	12,1	49,4	3,3	13,6	47,8	16.120	65.422	4.468	18.085	63.309
Atmósfera	0,0	0,0	71,7	71,7	39,1	0	0	94.907	94.907	51.670
Vertidos medio	87,9	50,6	25,0	14,7	13,1	116.178	66.876	32.923	19.306	17.319
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	132.298	132.298	132.298	132.298	132.298

Escenario nº 2 - No ampliación tratamiento biológico / Sí ampliación planta de regeneración: Este escenario implicaría que no se llevara a cabo la ampliación del tratamiento biológico pero que sí que se llevara a cabo la ampliación del tratamiento terciario hasta una capacidad de tratamiento de 30.000 m³/día y que se construyera un sistema de conducción del agua regenerada hasta el punto de uso. El aumento de la demanda podría ir principalmente a cargo de una comunidad de regantes formada por agricultores de las poblaciones de Santa Cristina d'Aro y Llagostera, que consumirían la totalidad del caudal vertido actualmente durante los meses de junio a septiembre. En este escenario el vertido de la EDAR al medio (al río Ridaura y al mar) en términos de nitrógeno se vería reducido de un 87,9 % a un 50,6 %, mientras que el porcentaje de nitrógeno reciclado pasaría de un 12,1 % a un 49,4 %. La escasa demanda de agua de riego fuera de los meses punta es la que impediría un mayor reciclaje y, por tanto, una menor reducción de los vertidos al medio. Este es el escenario que implica un mayor reciclaje de nitrógeno, ya que no existe eliminación por desnitrificación en ningún momento del año.

Escenario nº 3 - Sí ampliación de tratamiento biológico / No ampliación planta de regeneración: Este caso implicaría que se llevara a cabo la ampliación del tratamiento biológico de la EDAR con criterios de reducción de nutrientes y que se mantuviera la

demanda actual de agua regenerada, de manera que no se ampliara el tratamiento terciario. Se estima que la EDAR produciría un efluente secundario con una concentración de nitrógeno total inferior a 5 ppm durante el período comprendido entre los meses de mayo y octubre, e inferior a 10 ppm de junio a septiembre. Esta reducción de la concentración de nitrógeno presente en el efluente comportaría que a pesar de verter al medio alrededor de un 90 % del volumen tratado de agua (situación equivalente al actual en este aspecto), el vertido de nitrógeno al medio pasaría a ser tan sólo de un 25 %. El destino principal del nitrógeno no vertido pasaría a ser la atmósfera (71,7 %), a través de la desnitrificación. Éste es el escenario de mínimo reciclaje de nitrógeno, con tan sólo un 3,3 % del total producido por la EDAR.

Escenario nº 4 - Sí ampliación del tratamiento biológico / Sí ampliación del tratamiento terciario: Este escenario comportaría que se ejecutara el proyecto de ampliación del tratamiento biológico de la EDAR con criterios de reducción de nutrientes y al mismo tiempo la ampliación del tratamiento terciario hasta una capacidad de tratamiento de 30.000 m³/día, y que se construyera un sistema de conducción del agua regenerada hasta el punto de uso. Se estima que la EDAR produciría un efluente secundario con una concentración de nitrógeno total inferior a 5 ppm durante el período comprendido entre los meses de mayo y octubre, e inferior a 10 ppm de junio a septiembre. El aumento de la demanda podría ir principalmente a cargo de una comunidad de regantes formada por agricultores de las poblaciones de Santa Cristina d'Aro y Llagostera, que consumirían la totalidad del caudal vertido al mar en la actualidad durante los meses de junio a septiembre. En este escenario el vertido de nitrógeno al medio se vería reducido a tan sólo un 14,7 %, mientras que el reciclaje sería de un 13,6 %. Igual que en el escenario anterior, el destino principal del nitrógeno no vertido continuaría siendo la atmósfera (71,7 %), a través de la desnitrificación.

Escenario nº 5 - Modelo sostenibilista: Este escenario comportaría la ejecución del proyecto de ampliación del tratamiento biológico de la EDAR con la versatilidad suficiente como para permitir trabajar a voluntad tanto con criterios de reducción de nutrientes mediante un sistema de aireación prolongada como con un sistema de fangos activados convencional que permita reducir tan sólo la carga contaminante carbonosa (eliminación de MES, DQO y DBO) sin actuar sobre el nitrógeno y el fósforo. A su vez, este escenario contemplaría la ampliación del tratamiento terciario hasta una capacidad de tratamiento de 30.000 m³/día, construyendo un sistema de conducción del agua regenerada hasta el punto de uso. Igual que en los otros escenarios, el aumento de la demanda podría ir principalmente a cargo de una comunidad de regantes formada por agricultores de las poblaciones de Santa Cristina d'Aro y Llagostera que consumirían la totalidad del caudal vertido en la actualidad durante los meses de junio a septiembre.

Dentro de este escenario la explotación de la EDAR se llevaría a cabo aplicando los siguientes criterios:

- a) Alojamiento de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el compartimento ambiental con el menor impacto posible (Sala & Serra, 2004). Estos compartimentos varían a lo largo del año, de manera que en verano se procuraría alojarlos en la biomasa ligada a las actividades productivas de los usuarios del agua regenerada, mientras que la atmósfera sería el destino en la época invernal, en la que no hay demanda de riego.
- b) Minimizar los costes económicos y el consumo energético del sistema EDAR-usuarios.

La logística básica de este modelo respecto al tratamiento biológico de las aguas residuales presenta dos criterios de actuación diferenciados según la época del año:

- 1- Temporada de baja intensidad en el riego: Son los meses de bajo consumo de agua regenerada (de octubre a mayo), en los que se obtendría un efluente secundario a partir del tratamiento biológico de aireación prolongada, con unas concentraciones de nitrógeno bajas, de entre 5 y 10 ppm. La producción del tratamiento terciario se ajustaría a las demandas puntuales de los usuarios.
- 2- Temporada de alta intensidad en el riego: Son los meses de elevado consumo de agua regenerada (de junio a septiembre), en los que se obtendría un efluente secundario mediante un tratamiento biológico convencional de fangos activados, con unas concentraciones de nitrógeno similares a las actuales, que se podrían situar alrededor de los 35 ppm de media. La totalidad del efluente tratado recibiría un tratamiento terciario y sería reutilizado para los diferentes usos de riego.

En ambas épocas, sin embargo, el tratamiento terciario a aplicar al agua depurada sería idéntico, y debería consistir en una filtración –con posibilidad de ser reforzada por una coagulación- y una desinfección mixta que combinara el efecto desinfectante de la luz ultravioleta y del cloro. Con este tratamiento ya actualmente se consigue estar por debajo de los límites de calidad en un agua para ser utilizada para riego agrícola y de jardinería sin restricciones (ver Tabla 3).

En este escenario el porcentaje de nitrógeno vertido sería el mínimo, llegando tan sólo a un 13,1 %, mientras que el nivel de reciclaje de este elemento sería el segundo más elevado, llegando al 47,8 %, muy cercano al 49,4 % del escenario 2. El envío de nitrógeno a la atmósfera a través de la desnitrificación llegaría a ser de un 39,1 %. Este mínimo vertido al medio se conseguiría gracias a la combinación de dos factores: la liberación de gran parte de nitrógeno a la atmósfera durante la temporada de baja intensidad de riego y la eliminación del vertido durante la temporada de alta intensidad de riego. El hecho de no tener que proporcionar el oxígeno necesario para llevar a cabo la nitrificación del nitrógeno amoniacal presente en el agua durante la época de alta intensidad de riego comportaría un ahorro energético en el tratamiento biológico del proceso de depuración.

Este ahorro energético del tratamiento biológico puede ser estimado a partir de los siguientes datos y consideraciones:

- i) Que la cantidad de nitrógeno amoniacal a oxidar durante el período comprendido entre los meses de junio y septiembre sería de unos 80.000 Kg. (valor calculado a partir de los datos de la EDAR de Castell-Platja d'Aro del 2004).
- ii) Que el factor de conversión de las necesidades estequiométricas de oxígeno a las necesidades reales de oxígeno en condiciones estándar sería de 0,64.
- iii) Que la eficacia de los difusores sería de un 32 %. (valor proveniente de la EDAR de Torroella de Montgrí)
- iv) Que se dispondría de unas soplantes con un caudal de emisión de aire de 2.500 Nm³/h y con una potencia de 75 Kw (valor proveniente de los equipos instalados en la EDAR de Torroella de Montgrí)

En base a estos supósitos, el caudal de aire que se dejaría de aportar para la nitrificación/desnitrificación sería de unos 4.926.000 m³, lo cual se traduciría en un ahorro energético de unos 148.000 Kwh en el mencionado período de junio a septiembre.

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA OPCIÓN SOSTENIBILISTA

Debido a que esta opción presenta no solamente el mínimo vertido al medio y un elevado porcentaje de reciclaje de nitrógeno, sino también un importante ahorro energético, se ha efectuado una evaluación de la contribución al efecto invernadero de las actividades asociadas a la aplicación del modelo sostenibilista, basada en el balance entre las toneladas de CO₂ generadas y fijadas. Los resultados de este balance se presentan en la Tabla 6.

Tal como muestra dicha Tabla 6, mientras que la estimación del CO₂ generado en el período comprendido entre los meses de junio y septiembre llega a las 937 toneladas, el CO₂ fijado por el nuevo cultivo de maíz plantado en zonas actualmente de secano, y el no emitido por los ahorros energéticos y de fertilizantes llega a las 7.067 toneladas. Así pues, el resultado del balance indica que el conjunto de actividades asociadas al modelo sostenibilista contribuyen a paliar el efecto invernadero fijando anualmente alrededor de 6.130 toneladas de CO₂ de la atmósfera. Teniendo en cuenta que el consumo energético anual del conjunto del sistema de saneamiento (EDAR y estaciones de impulsión) se encuentra alrededor de los 3.000.000 de Kwh, equivalentes a una emisión de 1.277 toneladas de CO₂/año, el hecho de no verter el agua depurada y de suministrarla para el riego haría que el efecto del consumo energético de la depuración quedara ámpliamente neutralizado por la cantidad de CO₂ fijada.

Tabla 6. Balance en toneladas de CO₂ generado y fijado en las actividades del modelo sostenibilista⁽¹⁾.

Actividad	Toneladas CO ₂ generado	Actividad	Toneladas CO ₂ fijado
Tratamiento de regeneración	185 ⁽²⁾	Cultivo maíz	6.900 ⁽⁴⁾
Impulsión y riego	752 ⁽³⁾	Ahorro energético EDAR	63 ⁽⁵⁾
		Ahorro energético fertilizante	104 ⁽⁶⁾
Total	937	Total	7.067

- (1) Emisión específica media de la generación de electricidad en España: 425,7 g. CO₂/Kwh
- (2) Se estima que se tratarían 1.450.000 m³ de agua con un consumo energético de 0,3 Kwh/m³
- (3) Se regarían 75 hectáreas de la zona de Santa Cristina d'Aro con un consumo energético de 0,75 Kwh/m³ y 270 hectáreas de la zona de Llagostera con un consumo energético de 1,2 Kwh/m³ aportando 4.600 m³ de agua por hectárea
- (4) Absorción de CO₂ por parte de las nuevas 260 hectáreas en las cuales se podría plantar maíz y que actualmente sustentan cultivos de secano per falta de agua de riego. Se considera que una hectárea de maíz fija directamente 30 toneladas de CO₂ por cosecha (Departament de Agricultura, Ramaderia y Pesca de la Generalitat de Catalunya, 2001)
- (5) Se considera un ahorro energético de 148.000 Kwh al no aplicar criterios de reducción de nutrientes en el proceso biológico
- (6) Se considera un ahorro en la producción industrial de fertilizantes de origen mineral para cubrir las necesidades del cultivo de 53 toneladas de nitrógeno. Se necesita la energía equivalente a la emisión de 1,97 toneladas de CO₂ para producir una cantidad de fertilizante que contenga una tonelada de nitrógeno (Kongshaug, 1998).

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA OPCIÓN SOSTENIBILISTA

Con el fin de poder llevar a la realidad el modelo sostenibilista se debe dar salida a la totalidad del efluente de la EDAR no reutilizado en la actualidad durante los meses de junio a septiembre, que llega a un volumen aproximado de 1.450.000 m³. Teniendo en cuenta este elevado volumen y el hecho de que este efluente presentaría una concentración media de nitrógeno de unas 35 ppm, se hace necesario encontrar una actividad productiva rentable basada en un cultivo que requiera tanto una gran cantidad de agua como de una importante aportación de nitrógeno durante los meses de junio a septiembre. El cultivo que cumple estos requisitos, que actualmente se cultiva en la zona y que, por tanto, es económicamente viable,

es el maíz. Este cultivo presenta unas necesidades de agua durante los meses de junio a septiembre de 4.600 m³/ha y unas necesidades de nitrógeno de 262 Kg/ha.

Si se relacionan los datos antes mencionados con los caudales de efluente secundario se necesitarían unas 320 hectáreas de este cultivo a las cuales suministrar el agua regenerada. Consultados los agricultores de los municipios de Santa Cristina d'Aro y de Llagostera, en la zona se dispone de unas 350 hectáreas potencialmente cultivables, siempre y cuando existiera un suministro de agua regenerada que asegurara la viabilidad agronómica de su explotación. En las Tablas 7 y 8 se realiza una comparativa de costes con el fin de evaluar la viabilidad económica del cambio del tipo de agua de riego en las dos zonas.

Tal como se deduce de los resultados de las Tablas 7 y 8, la opción del riego con agua regenerada producida siguiendo el modelo sostenibilista es económicamente viable respecto a la situación actual, tanto en Santa Cristina d'Aro como en Llagostera, gracias al ahorro de costes que se produce en el apartado de la fertilización. Este ahorro compensa con creces el incremento de consumo energético que se produce en la mayoría de situaciones por el transporte del agua desde la EDAR. A destacar que en el caso de las zonas regadas a partir de pozos con motor a gasoil en Santa Cristina d'Aro este coste ya es actualmente superior al que genera el aporte de agua desde la EDAR.

Tabla 7. Comparativa de los costes, en €/ha.año, del consumo energético para el riego y la fertilización del cultivo de maíz en la zona de Santa Cristina d'Aro.

Costes	Zona de Santa Cristina d'Aro, €/ha.año		
	Escenario convencional		Escenario agua regenerada
	Pozos energía eléctrica	Pozos motor gasoil	Bombeo EDAR-cultivo
Riego	240	450	297
Fertilización	350	350	135
Total	590	800	432

Tabla 8. Comparativa de los costes, en €/ha.año, del consumo energético para el riego y la fertilización del cultivo de maíz en la zona de Llagostera.

Costes	Zona de Llagostera, €/ha.año		
	Escenario convencional		Escenario agua regenerada
	Pozos energía eléctrica	Pozos motor gasoil	Bombeo EDAR-cultivo
Riego	300	400	450 ⁽¹⁾
Fertilización	350	350	135
Total	650	750	585

(1) Coste estimado según el anteproyecto constructivo del sistema de impulsión y riego realizado por Casas-Masgrau, S.A.

VENTAJAS

Ventajas de la ejecución del proyecto de ampliación del terciario y del sistema de conducción de agua regenerada hasta el punto de uso

Las ventajas que presentan los escenarios de futuro en los que, para dar respuesta al incremento en la demanda de agua regenerada se lleve a cabo la ampliación del tratamiento terciario y la construcción de un sistema de conducción de este agua hasta el punto de uso, serían las siguientes:

1. El cambio en la fuente de suministro de agua permite liberar recursos hídricos de los acuíferos de los cuales se extrae el agua con la que se riegan los campos en la actualidad. Este hecho evita su salinización por intrusión de agua de mar y aumenta las reservas estratégicas de agua para el suministro doméstico a utilizar en períodos de sequía persistente.
2. La reutilización de toda este agua reduce el vertido de los nutrientes en el tramo final del río Ridaura, evitando procesos de eutrofización y mejorando el estado ecológico del tramo final del río.
3. Regar con agua regenerada proporciona una seguridad en la disponibilidad, control y suministro en términos de cantidad y de calidad. Este hecho permitirá gestionar la explotación del cultivo con independencia de la meteorología que condiciona las reservas disponibles en los acuíferos, lo cual comporta que la disponibilidad de agua no sea un factor limitante para los cultivos en años de sequía.
4. Se optimiza el aprovechamiento de un recurso existente como elemento clave para la continuidad de actividades agrícolas rentables, ayudando a proteger y conservar el paisaje de las zonas rurales.
5. El hecho de ampliar y consolidar el sistema EDAR-usuarios contribuye en términos de educación ambiental a cambiar la idea de esconder e ignorar los residuos generados por la actividad humana, convirtiéndolos en un recurso integrado en las actividades productivas cotidianas.
6. El sistema EDAR-usuarios integra actividades de sectores productivos diversos. Este hecho contribuye a la vertebración tanto de la sociedad como del territorio, permitiendo la organización de diferentes actividades económicas con el agua regenerada como eje conductor.

Ventajas adicionales de la aplicación del modelo sostenibilista

1. Se racionaliza el alojamiento del nitrógeno en el compartimento con el menor impacto ambiental posible en cada época del año.
2. El hecho de producir un agua con concentraciones elevadas de amonio hace que todo el cloro dosificado en el proceso de desinfección quede complejado en forma de cloraminas. Ello evita la presencia de cloro residual libre en el agua susceptible de reaccionar con la materia orgánica y formar trihalometanos.
3. El realizar la fertilización por fertirrigación reduce las aplicaciones de nitrógeno en forma de fertilizante mineral en cobertera. Este hecho hace que se reduzca la cantidad de nitrógeno lavado en los períodos de lluvias de otoño, minimizando la cantidad de este nutriente que llega a los acuíferos por lixiviación (Domingo, F. et al. 2003). A su vez, el reciclaje de un nitrógeno que ya ha entrado en la cuenca evita la entrada de nuevo nitrógeno a partir de los fertilizantes minerales, de manera que el potencial tanto de eutrofización de los cursos superficiales de agua como de contaminación de los acuíferos por nitratos se ve fuertemente reducido.
4. El operar el tratamiento biológico sin criterios de nitrificación-desnitrificación durante la época de alta intensidad de riego permite un descenso en el consumo energético a nivel de

explotación de la EDAR, ya que no es necesario aportar el oxígeno para llevar a cabo la oxidación de amonio a nitrato en el proceso biológico.

5. Servir un agua regenerada con unas concentraciones elevadas de nitrógeno y fósforo reduce el gasto del agricultor en la compra y aplicación de fertilizantes de origen mineral. Esta reducción de costes contribuye de manera importante a la viabilidad económica del cambio del tipo de agua de riego.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer las valiosas informaciones aportadas para la confección de esta ponencia por parte de las siguientes personas: Joan Pijoan, presidente de la Comunidad de Regantes de Solius; Benjamí Ferrer, greenkeeper Golf Costa Brava; Xavier Millet, biólogo; Jordi Salvia, Fundación Mas Badia; Nela Hidalgo, Departamento de Química Analítica de la Universidad de Girona; Casas Masgrau, S.A.; Josep Ferrer, SEAR S.A. y Lluís Sala, Consorci de la Costa Brava.

REFERENCIAS

Departament de Agricultura, Ramaderia y Pesca de la Generalitat de Catalunya (2001). Llibre Blanc del Sector Agrari. Disponible en internet a través de la dirección <http://www.gencat.net/darp/c/departam/lliblanc/doc/llibre.pdf>

Domingo, F; Serra, J; Duran, M; Teixidor, M; (2003). Influencia de los aportes de residuos orgánicos ganaderos en el lavado de nitratos en un cultivo de maíz en regadio. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. Vol VI: 391-395.

Kongshaug, G. (1998). Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. Disponible en internet a través de la dirección http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/PDF/1998_biblio_65.pdf

Sala, L. and M. Serra (2004). Towards sustainability in water recycling. *Water Science and Technology*, Vol 50 No 2, pp. 1-7