

SEGUIMIENTO DEL PLAN I + D TECNOLOGIAS DE BAJO COSTE PARA LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES



Memoria del Segundo Año de Experimentación. Junio 91 - Junio 92



Es una publicación de la

JUNTA DE ANDALUCIA

Consejería de Obras Públicas y Transportes

PLANTA EXPERIMENTAL DE CARRION DE LOS CESPEDES

La Planta Experimental, inaugurada el 16 de marzo de 1990, está ubicada en Carrión de los Céspedes, junto a la autovía A-49, en las proximidades de Sevilla, ocupando una superficie de 21.000 m². El municipio cuenta con una población aproximada de 2.500 habitantes.

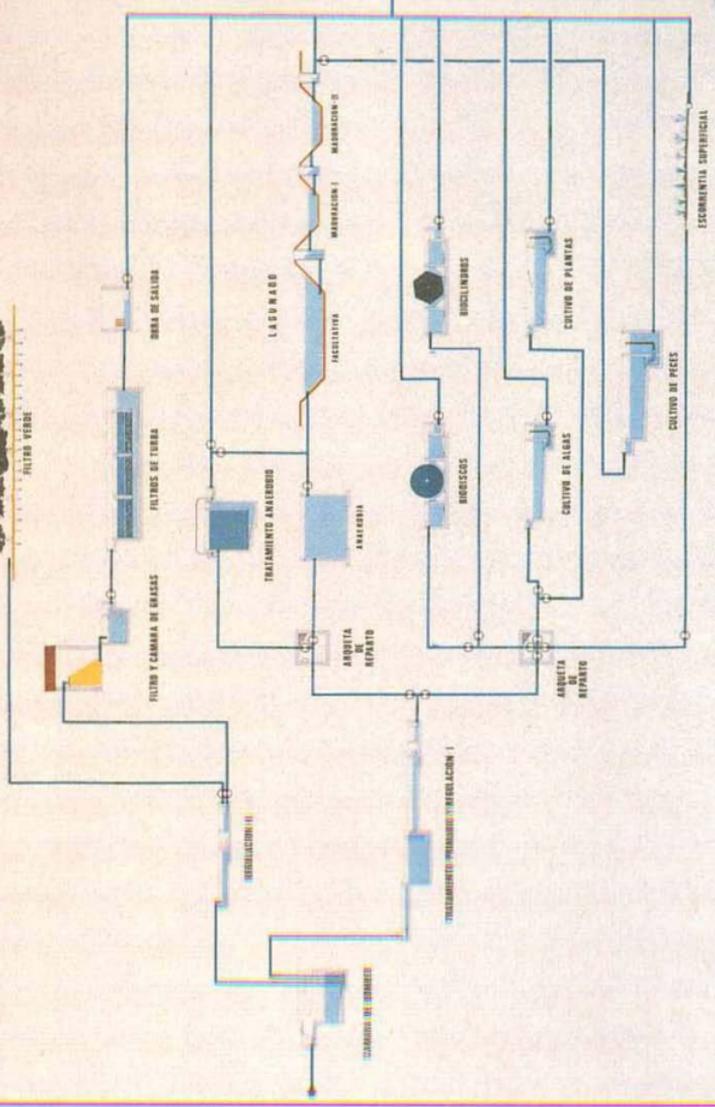
Actualmente en la Planta Experimental se están investigando sistemas de depuración de bajo coste que han alcanzado un cierto grado de maduración en el mundo (lagunado, filtros de turba, filtro verde y contactores biológicos rotativos), así como otras tecnologías en pleno desarrollo (tanques anaerobios de lecho fijo, escorrentía superficial, cultivos de macrofitas acuáticas, de algas y peces), complementándose la instalación con unas pequeñas parcelas de experimentación agrícola.

Se dispone de un completo laboratorio donde se llevan a cabo las determinaciones analíticas necesarias para el correcto seguimiento de todos los sistemas existentes.

Esta Planta Experimental está concebida también como centro de demostración para los responsables de saneamiento de los distintos municipios en que se implanten este tipo de depuradoras.



PLANTA EXPERIMENTAL
 DIAGRAMA DE FLUJO



El Plan I + D de Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales que viene desarrollando la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, a través de su Dirección General de Obras Hidráulicas, en colaboración con la Empresa Nacional de Ingeniería y Tecnología, se articula en varias fases.

Primera Fase

Definición de las Tecnologías de Bajo Coste, aplicables en función de las características climatológicas, geomorfológicas, etc., que condicionen su empleo, así como la implantación de una Planta Experimental donde se ensayen la mayor variedad posible de tecnologías a escala reducida.

Segunda Fase

Consiste en el desarrollo en paralelo de unas *plantas pilotos*, a escala real, en municipios tipo donde se aplicarán las líneas más adecuadas estudiadas en la Planta Experimental, y a la vez, en la tipificación del vertido de las poblaciones basada en el muestreo de un número de núcleos suficientemente representativo.

Tercera Fase

Redacción de un Plan Director que junto a la definición de las soluciones para cada población indicará las posibilidades de financiación, los costes de explotación y tarifas subsiguientes, así como una planificación para la puesta en práctica de las distintas actuaciones.



PLANTA PILOTO DE ALCALA DEL VALLE (CADIZ)

PLAN PILOTO

Uno de los puntos básicos en los que se centra el programa de investigación es la construcción de una serie de Plantas Piloto repartidas por toda la geografía andaluza, donde se aplicarán los distintos sistemas de depuración no convencionales.

Para la construcción de estas Plantas Piloto se ha requerido previamente la firma de convenios entre la Consejería de Obras Públicas y Transportes y cada uno de los municipios afectados.

La investigación que se llevará a cabo en estas Plantas Piloto, una vez puestas en marcha, obedece a un Plan de Seguimiento que permitirá conocer las características típicas de estas instalaciones (control de rendimientos, costes, parámetros característicos de influentes y efluentes...).

OBJETIVOS FUTUROS

Optimización de los parámetros de diseño adaptándolos a las condiciones que imperan en cada zona.

Simplificación de las tareas de explotación y mantenimiento, mediante la introducción de mejoras de diseño.

Desarrollo y experimentación de nuevas tecnologías de depuración de aguas residuales.

Estudios agronómicos sobre las posibilidades de reutilización de las aguas depuradas.

Formación teórica y práctica de las personas encargadas de la explotación de este tipo de depuradoras.

Divulgación de los resultados obtenidos.

© JUNTA DE ANDALUCIA. CONSEJERIA DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTES

Coordina la edición: DEPARTAMENTO DE PUBLICACIONES

Diseño Gráfico: MARIA VICTORIA RUIZ / JUAN CARLOS LOPEZ

Fotocomposición: TEXTOS Y FORMAS

Fotomecánica: FOTOLITO

Impresión: INGRASA

N.º de Registro: JAOP/PN-004-93

ISBN: 84-8095-012-9

D.L. CA-202/93

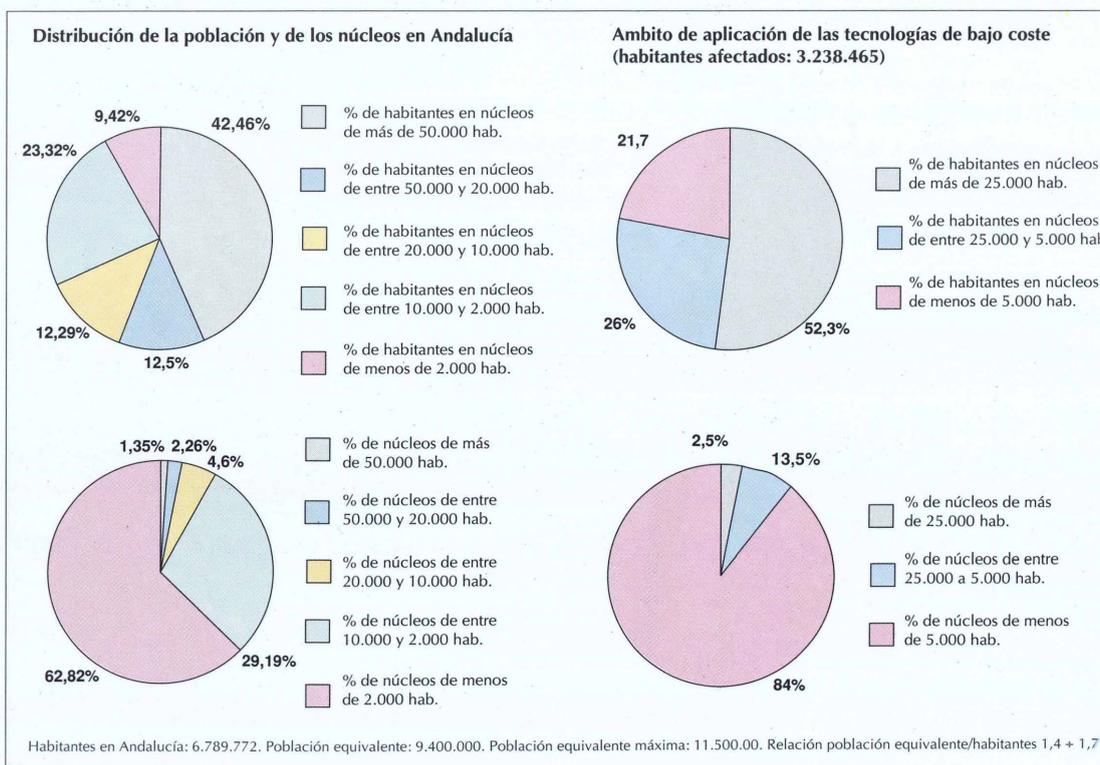
Una de las causas principales del deterioro de la calidad de las aguas continentales de nuestra Comunidad Autónoma radica en los elevados costes de mantenimiento y explotación de las depuradoras de aguas residuales, lo que en muchos casos dificulta una eficaz gestión de las instalaciones construidas.

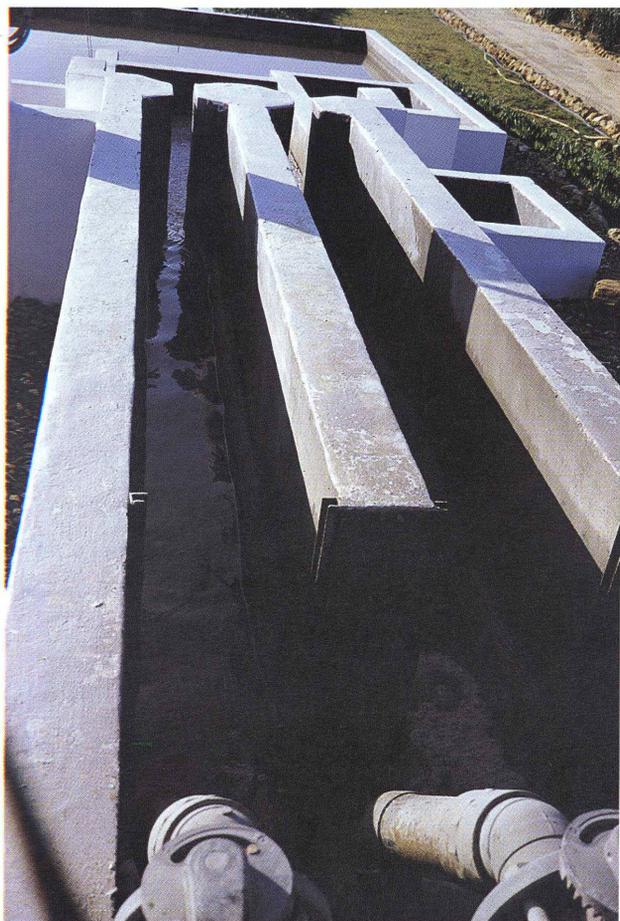
Las depuradoras convencionales, con sus elevados costes de instalación y las necesidades de personal y energía que conlleva su correcta explotación, han supuesto en muchos casos una solución desproporcionada a los problemas reales y a la incidencia sobre el medio de muchos núcleos de población.

Ello ha conducido a una infrautilización de las instalaciones existentes. Así, existe un alto porcentaje de depuradoras que, tras su puesta en marcha con resultados positivos y un breve período de funcionamiento, se encuentran definitivamente paradas. Los motivos, en la mayoría de los casos, derivan de las dificultades de gestión que tienen los Ayuntamientos para hacerse cargo adecuadamente de la explotación de las plantas. Los costes y necesidades de personal, como ya se ha indicado, son los factores alegados para justificar esta grave deficiencia.

Frente a ello, las denominadas "tecnologías de bajo coste" constituyen hoy día una clara alternativa a los problemas de saneamiento que vienen planteándose en los pequeños y medianos municipios y presentan como factores más ventajosos los relativos a costes de explotación y a complejidad del mantenimiento, aspectos en los cuales resultan favorables respecto a los tratamientos convencionales. Su campo de aplicación en Andalucía es muy alto dado que el 96% de los núcleos andaluces tienen una población inferior a 25.000 habitantes, límite razonable de aplicación de estas tecnologías.

En esta publicación, la tercera que se realiza sobre la Planta Experimental, se analizan los rendimientos de depuración alcanzados en cada sistema implantado durante el segundo año de seguimiento y experimentación. A ella seguirán otras donde se analicen los resultados obtenidos por combinación de las tecnologías aplicadas y las que resulten de la aplicación a escala real de éstas en las Plantas Piloto. Con ello pretendemos cubrir una importante demanda de información ya que son escasas las publicaciones en castellano sobre esta materia.





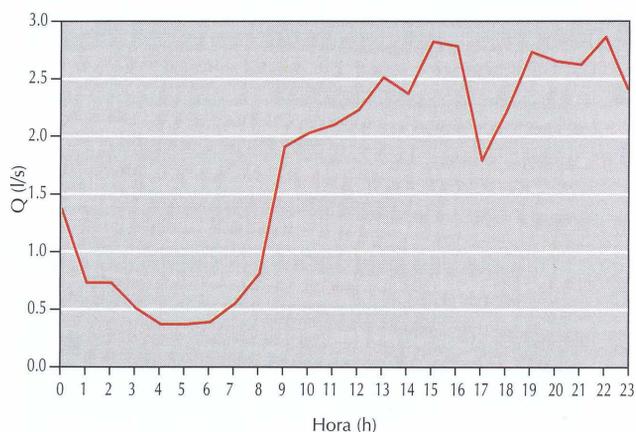
CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL

La dotación de vertido de aguas residuales en Carrión de los Céspedes es de 125 l/hab./día.

El caudal medio diario que genera la población es de 3,7 l/s, del cual en la actualidad sólo 1,7 l/s se incorpora a la Planta Experimental.

La variación diaria del caudal que llega a la Planta, se muestra en el gráfico 1.

Gráfico 1. CURVA CAUDAL-HORA



Se observan unos mínimos durante la madrugada y unos máximos a las 15:00 y a las 22:00.

Los gráficos siguientes muestran la caracterización obtenida del agua residual a lo largo de estos doce meses. Se observan unos valores anormalmente altos en DQO y DBO respecto a un agua residual típicamente urbana, debido fundamentalmente a una escasa dilución.

Gráfico 2. EVOLUCION SOLIDOS (mg/l)

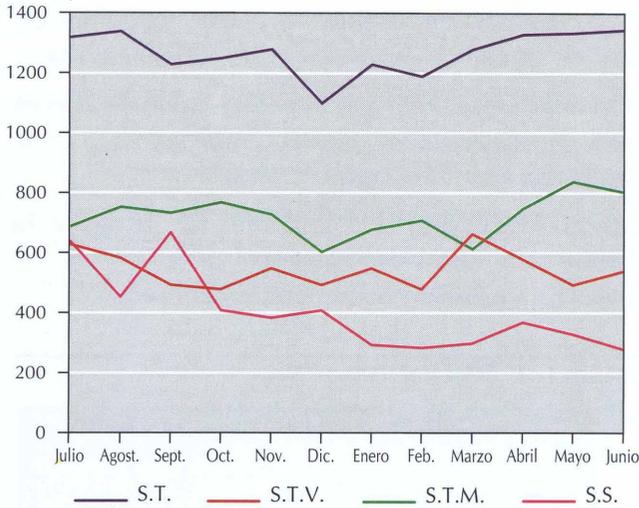


Gráfico 3. EVOLUCION DQO Y DBO5 (mg/l)

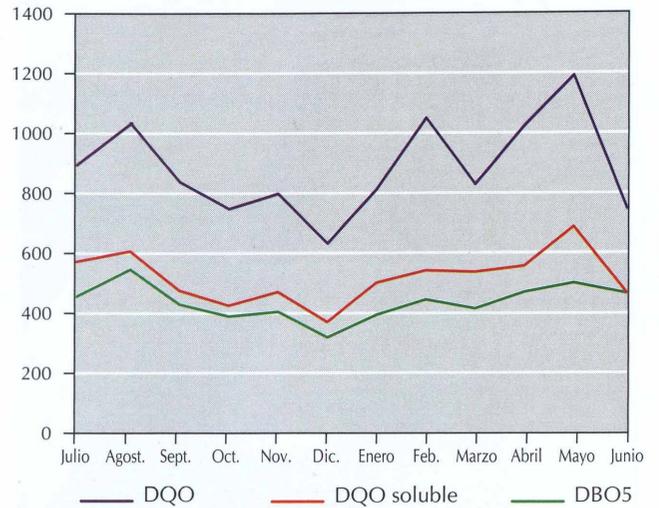


Gráfico 4. EVOLUCION NITROGENO Y FOSFORO (mg/l)

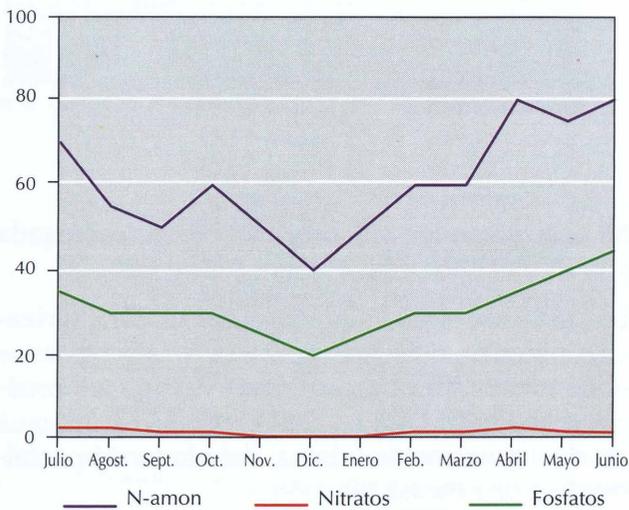
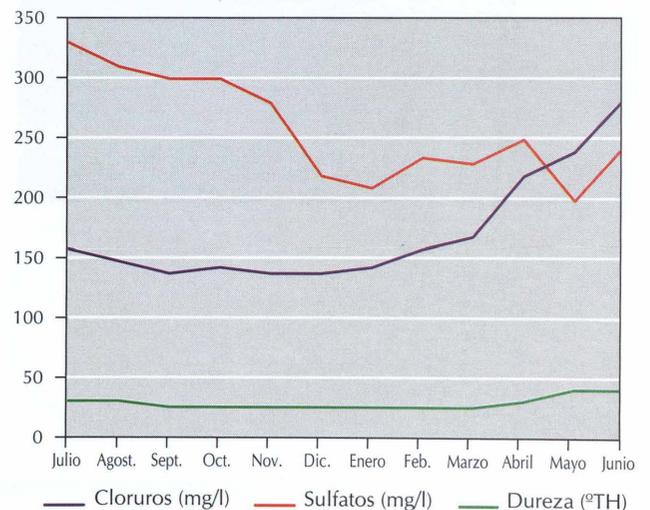


Gráfico 5. EVOLUCION CLORUROS, SULFATOS Y DUREZA (mg/l)





DATOS METEOROLOGICOS

Las condiciones meteorológicas influyen de manera decisiva en los rendimientos de depuración obtenidos con este tipo de tecnologías. En la Planta Experimental se ha instalado una estación meteorológica que permite determinar parámetros fundamentales para el diseño de las mismas.

En los gráficos 6 y 7 se recogen los valores mensuales de las temperaturas máximas, mínimas, medias de las máximas, medias de las mínimas, medias de las medias, precipitación y evaporación.

Gráfico 6. EVOLUCION TEMPERATURAS (°C)

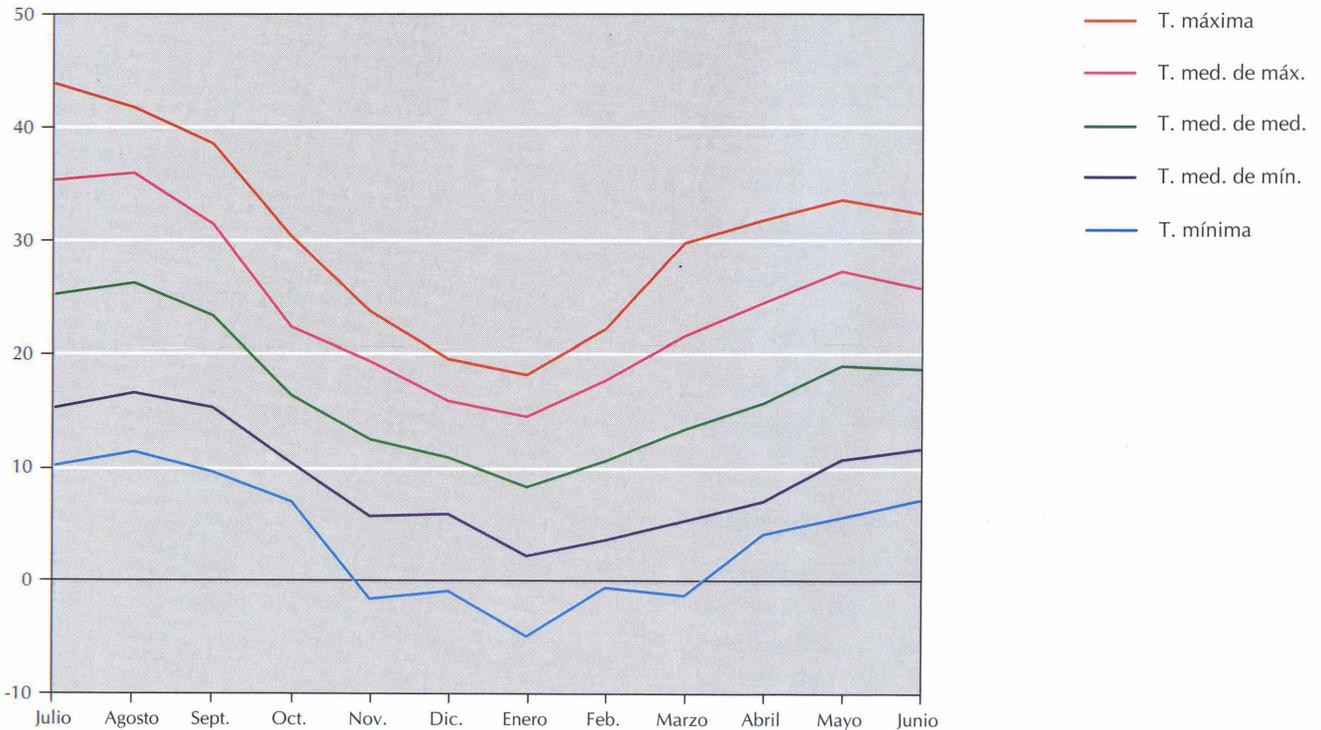
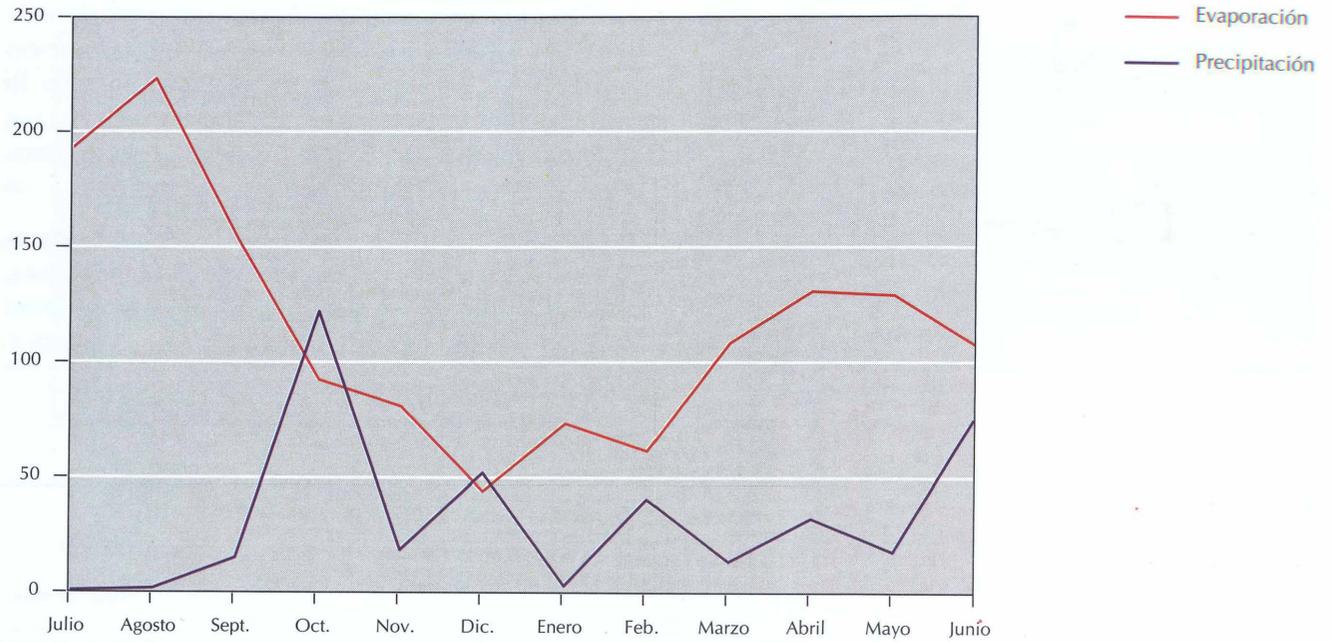


Gráfico 7. EVOLUCION PRECIPITACION Y EVAPORACION (mm)





El sistema de Filtros de Turba consta en su conjunto de: tamiz estático autolimpiable, desengrasador y seis unidades de filtración de 25 m² cada una (agrupadas en tres módulos de dos).

El relleno de los filtros está constituido por las siguientes capas, dispuestas en orden descendente: turba, arena, gravilla y grava.

Las unidades de filtración operan de forma rotativa, de modo que cuando una acaba su ciclo operativo, por colmatación de su superficie y reducción de la velocidad de infiltración, entra en funcionamiento otra unidad que se encontraba en fase de mantenimiento.

Características operativas

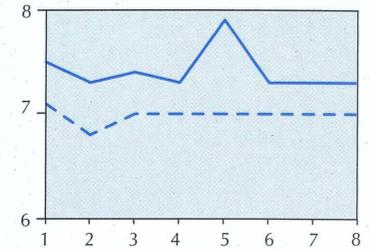
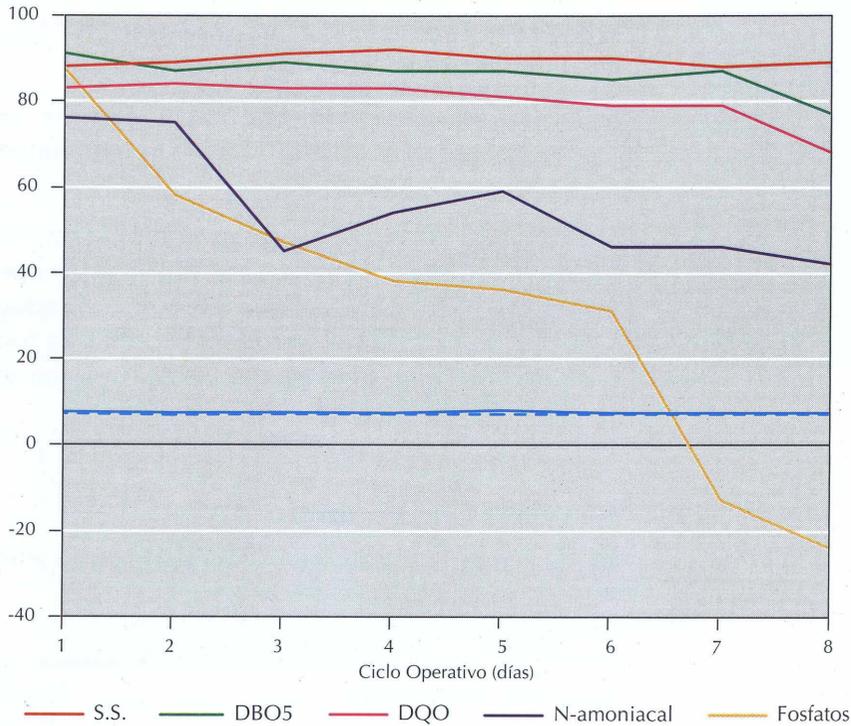
En el siguiente cuadro se resumen algunas características del sistema.

Caudal de alimentación	30 m ³ /d
Superficie en funcionamiento	50 m ²
Duración ciclo:	8-12 días
Rendimiento eliminación SS	90%
Rendimiento eliminación DQO	83%
Rendimiento eliminación DBO5	86%
Rendimiento eliminación N-amon.	57%
Rendimiento eliminación P	31%

Rendimientos

La gráfica siguiente muestra la evolución media, a lo largo de un ciclo operativo, del pH y de los rendimientos medios de eliminación de: sólidos en suspensión, DBO5, DQO, N-amoniacal y P inorgánico.

Gráfico 8. EVOLUCION FILTROS DE TURBA. Rendimiento (%)



* pH en valores absolutos

En el transcurso del ciclo operativo se observa:

- el pH del efluente es siempre inferior al del influente.
- los rendimientos de eliminación de DBO5 y DQO se mantienen prácticamente constantes a lo largo del ciclo.
- el rendimiento de N-amoniacal disminuye progresivamente con el tiempo.
- el rendimiento de eliminación de P inorgánico decae rápidamente, y en los últimos días del ciclo, el efluente presenta mayores concentraciones que el influente.



La Planta Experimental cuenta con diferentes sistemas de Contactores Biológicos Rotativos: **Biodisco**, **Biocilindro** y **Biorrotor Aireado**.

El sistema de **Biodiscos** consta de un decantador primario, al que llega el Agua Residual tras sufrir el pretratamiento.

El efluente clarificado pasa a la zona biológica, donde se ubica una batería de 17 discos de po-

liéster reforzado con fibra de vidrio de 2 m. de diámetro, separados entre sí 3 cm. El conjunto de discos gira lentamente por la acción de un motorreductor equipado con variador de velocidad. Tras el reactor biológico, las aguas pasan al decantador secundario, estático al igual que el primario.

En el caso del **Biocilindro** las etapas de tratamiento son las mismas. La única diferencia estriba en que en este caso el elemento que gira en la zona biológica es una jaula de forma cilíndrica, que alberga en su interior un relleno de material plástico constituido por tubos de corrugados de 50 mm de longitud y 50 mm de diámetro.

El **Biorrotor Aireado** es una unidad compacta diseñada para 50 habitantes/equivalentes. El sistema engloba los decantadores primario y secundario y la zona biológica. La parte móvil del reactor biológico la constituyen dos tambores, recorridos internamente por unos canales en forma de espiral, que comienzan en la zona central y acaban en la periferia. El movimiento de giro se provoca por la acción de una pequeña soplante.

	Biodisco	Biocilindro	Biorrotor
Volumen Decantador 1.º (m ³)	1,4	1,4	0,6
Volumen Zona Reactor Biológico (m ³)	1,7	1,7	2,0
Tiempo Retención Zona Reactor Biológico (h)	5,4	5,4	6,4
Volumen Decantador 2.º (m ³)	1,6	1,6	1,2
Superficie C.B.R. (m ²)	107	232	180
Carga Orgánica Superficial (kg SDQO/m ² y d)	0,033	0,015	0,02
pH (efluente final)	8,1	8,1	8,0
Rendimiento eliminación Sól. Suspensión (%)	48	54	89
Rendimiento eliminación DQO (%)	67	71	87
Rendimiento eliminación DQO soluble (%)	84	87	91
Rendimiento eliminación DBO ₅ (%)	75	78	92
Rendimiento eliminación N-amoniaco (%)	33	37	27
Rendimiento eliminación Fósforo (%)	17	18	13

Características operativas

Los tres Contactores Biológicos Rotativos se han alimentado con un caudal medio de Agua Residual de 7,5 m³/d. La tabla de la página anterior recoge: los volúmenes de los decantadores y de la zona biológica, los tiempos de retención en cada uno de éstos, la superficie disponible para la fijación bacteriana y la carga orgánica superficial.

Rendimientos

El gráfico 9 muestra los rendimientos conseguidos en las tres unidades.

Dada la naturaleza estática de los decantadores y al no disponer éstos de un sistema de purga en continuo, los rendimientos conseguidos en estas unidades son deficientes, y ello repercute en la calidad del efluente final.

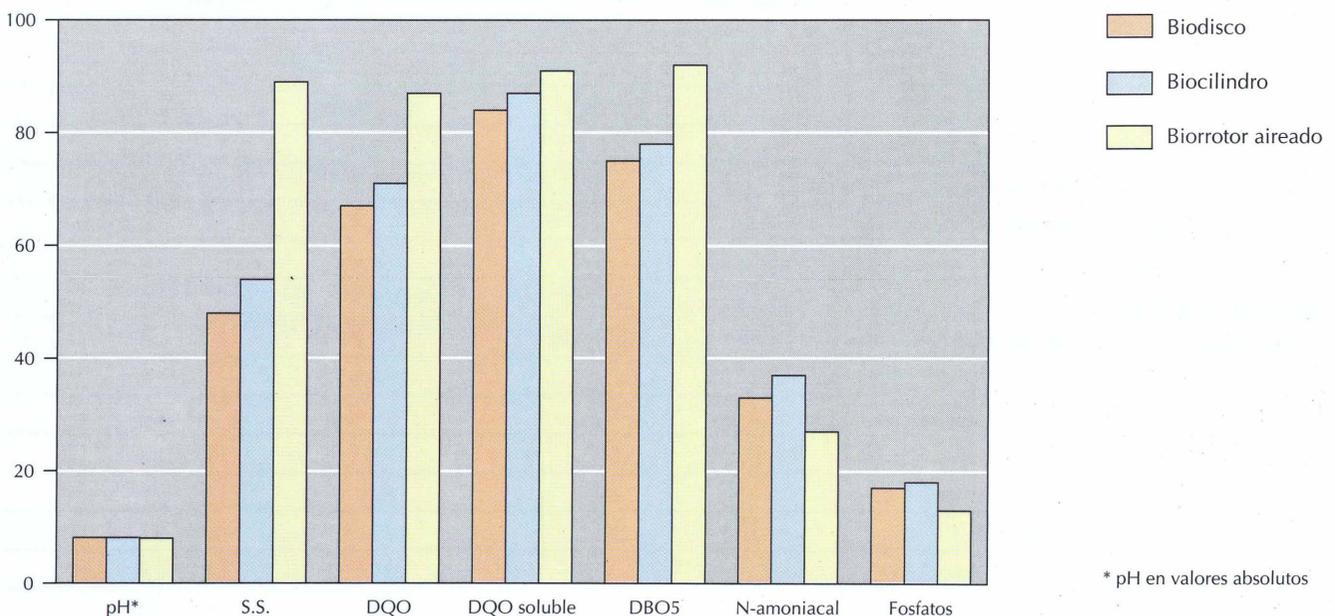
Sin embargo si se examinan los rendimientos de eliminación de DQO soluble, se observa que la zona biológica opera correctamente.

En el **Biorrotor** aireado, al disponer de un decantador secundario dotado de un sistema de purga en continuo, tanto de los fangos decantados como de los flóculos flotantes, se consigue un elevado rendimiento de eliminación de Sólidos en Suspensión y un efluente de alta calidad.

Incidencias

El deficiente funcionamiento observado en los decantadores del **Biodisco** y **Biocilindro**, hace aconsejar la modificación de los mismos, de forma que se les dote de un sistema permanente de extracción de lodos, evitándose el ascenso de éstos a la superficie y su salida del sistema con el efluente.

Gráfico 9. CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS. Rendimiento (%)





La superficie del Filtro Verde ubicado en la Planta Experimental es de 3.300 m² y la especie vegetal implantada el clon I-214 del POPULUS EUROAMERICANA (*Populus deltoides* x *Populus nigra*).

La plantación se efectuó en marzo de 1989, a un marco rectangular de 6 x 3 m, con plantones R1T1 (un año de raíz y un año de tallo). Su altura media era de 3 m.

El Filtro Verde se halla subdividido en seis parcelas, separadas por caballones, y dotada cada una de su correspondiente boca de alimentación.

El riego de las parcelas se efectúa a manta, con el Agua Residual bruta (sólo ha sufrido el desbaste de gruesos). Conforme se van encharcando las parcelas, se va rotando la boca de alimentación.

Para la determinación de los rendimientos de depuración alcanzados, la instalación está provista de dos lisímetros, que recogen las aguas percoladas a 30 y 60 cm. de profundidad.

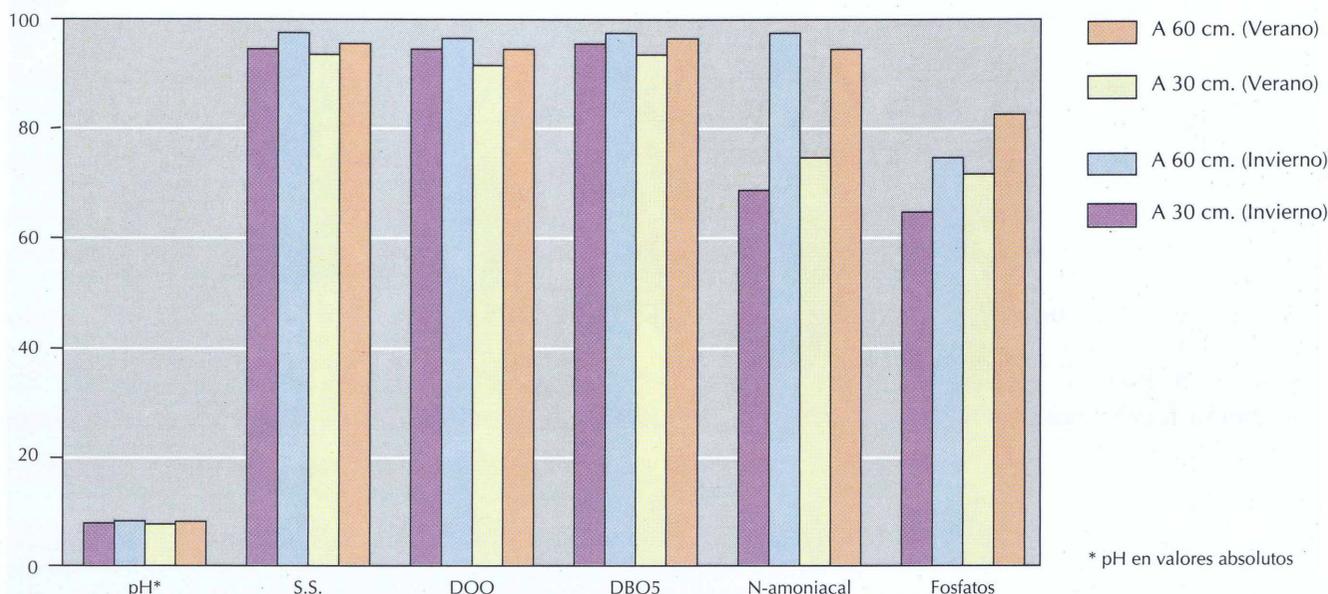
Condiciones operativas

El caudal de alimentación al Filtro Verde ha oscilado a lo largo del año, entre los 0,1 l/s, en invierno, y los 0,3 l/s en verano.

Rendimientos

En el gráfico 10 se recogen los rendimientos medios de depuración y pH obtenidos en dos

Gráfico 10. EVOLUCION FILTRO VERDE. Rendimiento (%)



condiciones: invierno y verano, y dentro de ellas para las dos profundidades referidas anteriormente.

De la observación de dicha gráfica se deduce la gran uniformidad y altos rendimientos de los parámetros analizados.

Además de la analítica de las aguas, en los filtros verdes tiene gran interés la evolución de los chopos y su rendimiento en producción de madera. En este sentido, periódicamente se ha procedido a la determinación de la altura y el diámetro de los árboles.

En el siguiente cuadro se recoge la evolución de los chopos (el diámetro se ha medido a 1,2 m. sobre el suelo).

	06-91	01-92	06-92	Incremento global
Altura (cm)	760	865	1.040	37%
Diámetro (cm)	9,7	12,1	14,9	54%

Incidencias

Aunque la textura del suelo es franco-arenosa en superficie, su espesor es escaso, pasando rápidamente a ser arcillosa. Esto hace que las velocidades de infiltración sean muy bajas, llegándose a dar la circunstancia de que hay días en los que las aportaciones de agua de precipitación superan la altura de agua que puede infiltrarse, teniendo que interrumpirse la aportación de agua residual.



El sistema de lagunaje implantado en la Planta Experimental, recurre al empleo de tres tipos de procesos biológicos operando en serie. En concreto, se dispone de dos lagunas anaerobias, una laguna facultativa y dos lagunas aerobias de maduración.

Lagunas Anaerobias. Se trata de dos balsas que operan en paralelo. El calado es de 3 m. y el volumen unitario es de 75 m³.

Los efluentes de las dos lagunas anaerobias se unifican en una arqueta y pasan a constituir el influente de la Laguna Facultativa.

Laguna Facultativa. Esta laguna tiene una capacidad de 1.050 m³ y un calado de 1,5 m.

El efluente de esta laguna pasa, por su fondo, a la Laguna de Maduración I.

Lagunas de Maduración. Se dispone de dos Lagunas de Maduración iguales y conectadas en serie.

El calado de estas lagunas es de 0,9 m. y su volumen unitario es de 195 m³.

Características operativas y rendimientos

Durante el período objeto de estudio, se ha mantenido un caudal medio de alimentación al sistema de lagunaje de 75 m³/día.

En el siguiente cuadro se resumen las características más relevantes del sistema.

	Anaerobias	Facultativa	Maduración I	Maduración II
Tiempo de retención (d)	2	14	2,5	2,5
Carga orgánica (g DQO/m ³ /d)	442	30	136	99
Rendimiento Eliminación Sólidos Suspensión (%)	53	37	56	63
Rendimiento Eliminación DQO (%)	52	62	71	79
Rendimiento Eliminación N-amoniaco (%)	7	44	52	57
Rendimiento Eliminación P-inorgánico (%)	-21	4	3	23

Gráfico 11. EVOLUCION TEMPERATURA DE LAS LAGUNAS (en °C). Valores medidos a las 10:00

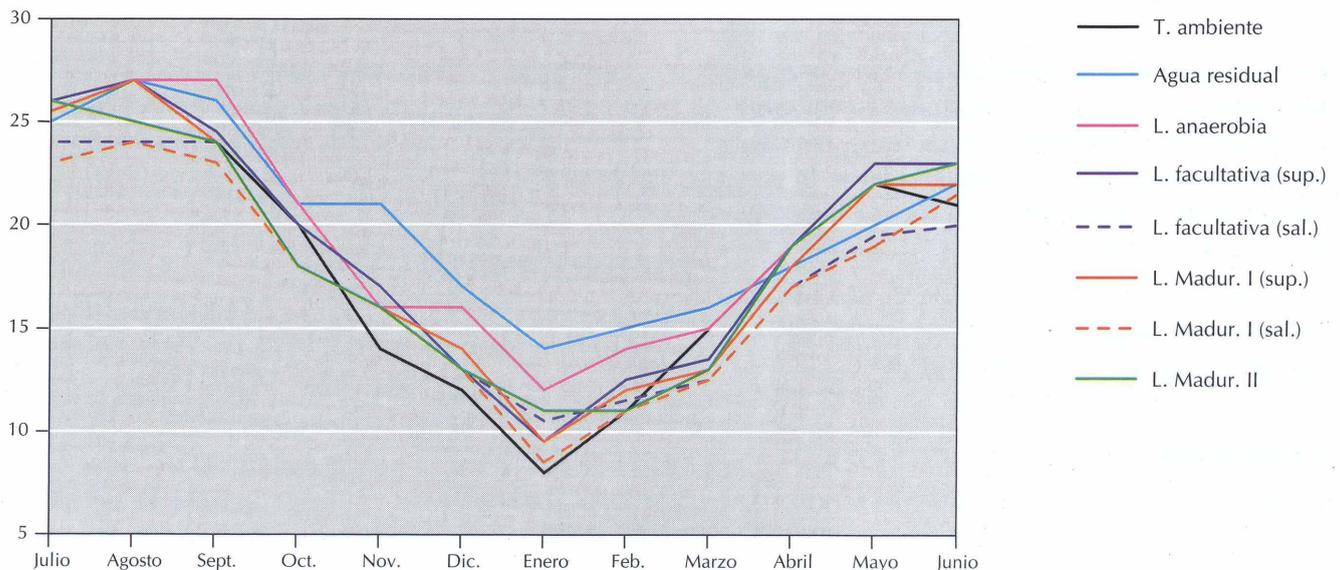


Gráfico 12. EVOLUCION TEMPERATURA DE LAS LAGUNAS (en °C). Valores medidos a las 13:00

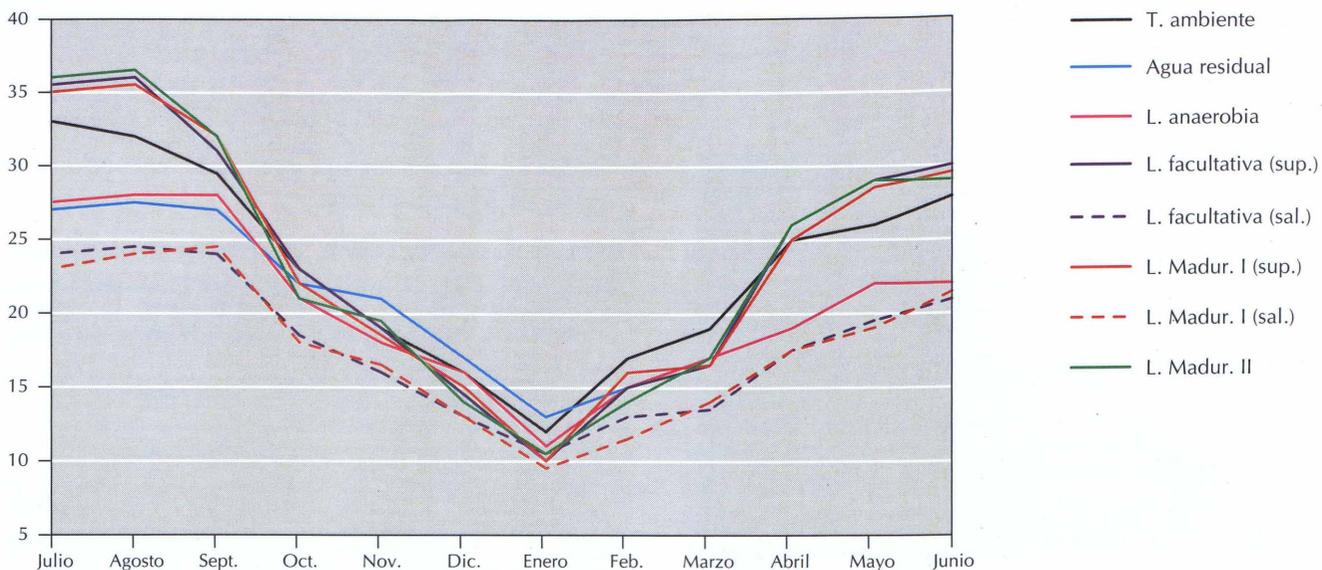
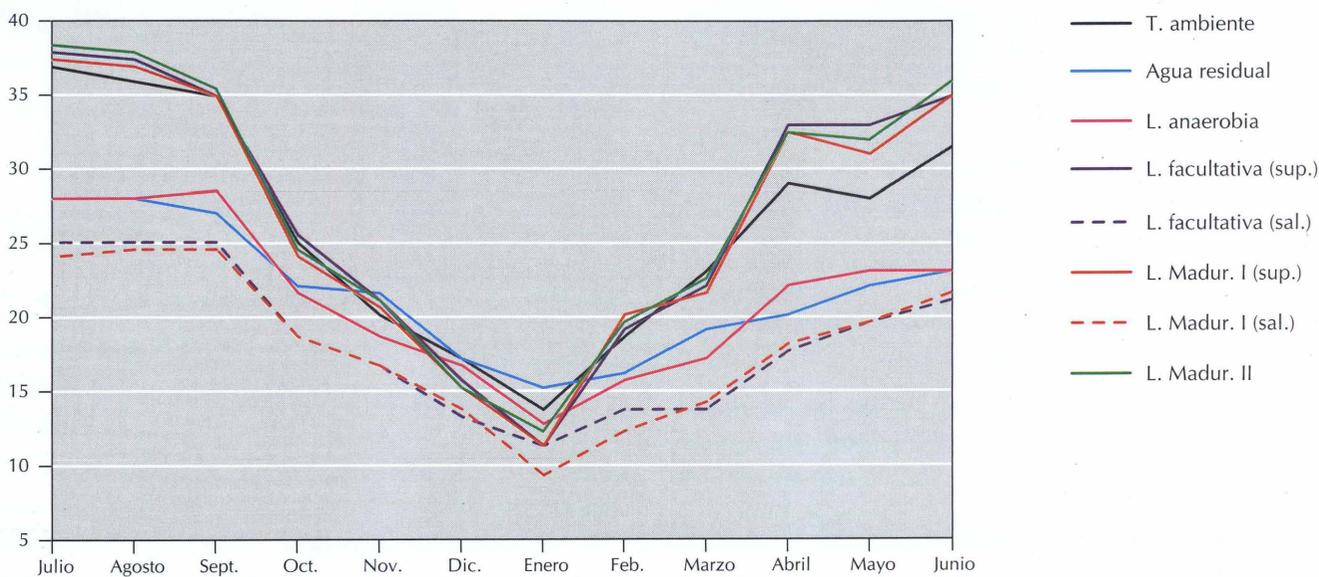


Gráfico 13. EVOLUCION TEMPERATURA DE LAS LAGUNAS (en °C). Valores medidos a las 16:00



En lo referente a las temperaturas de operación, los gráficos 11, 12 y 13 muestran la evolución de la temperatura ambiente, la del agua residual, la de los efluentes de cada laguna y la de la superficie de éstas. Dichas temperaturas se han medido a las 10:00, 13:00 y 16:00.

Los gráficos 14, 15 y 16 muestran la evolución mensual del oxígeno disuelto, tanto en la superficie de las lagunas como en el fondo.

Rendimientos

Se describen a continuación los rendimientos alcanzados en cada laguna.

Estos rendimientos se expresan como porcentaje de eliminación del parámetro en cuestión, con referencia al valor medio del mismo en el Agua Residual de alimentación.

LAGUNAS ANAEROBIAS

El gráfico 17 recoge la evolución anual del pH del efluente y de los rendimientos de eliminación de: sólidos en suspensión, DQO, N-amoniaco y P-inorgánico (expresado como ortofosfato).

Se observa que el pH presenta valores más bajos en los meses más cálidos, cuando la actividad metabólica de las bacterias anaerobias es mayor.

Gráfico 14. EVOLUCION OXIGENO DISUELTO (FACULTATIVA) (mg/l)

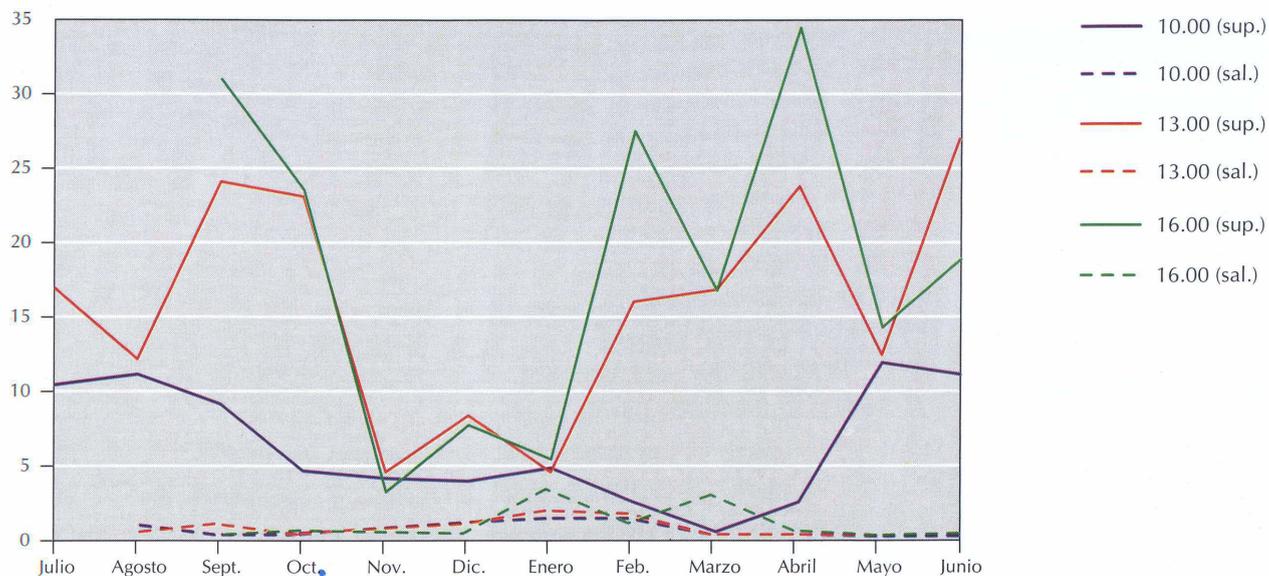


Gráfico 15. EVOLUCION OXIGENO DISUELTO (MADURACION I) (mg/l)

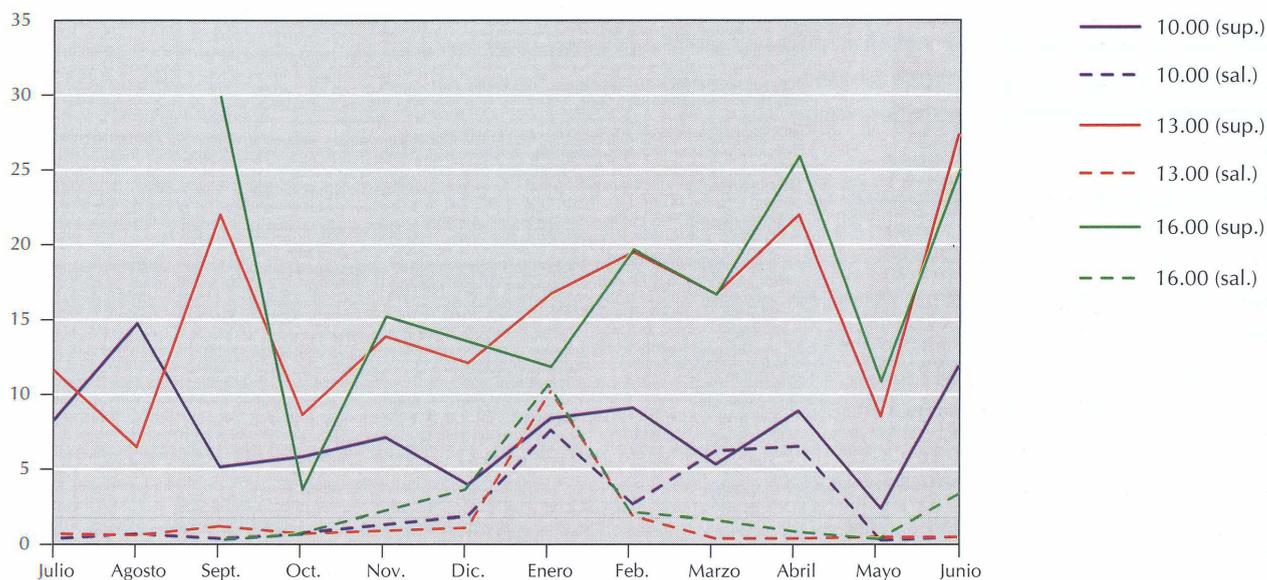


Gráfico 16. EVOLUCION OXIGENO DISUELTO (MADURACION II) (mg/l)

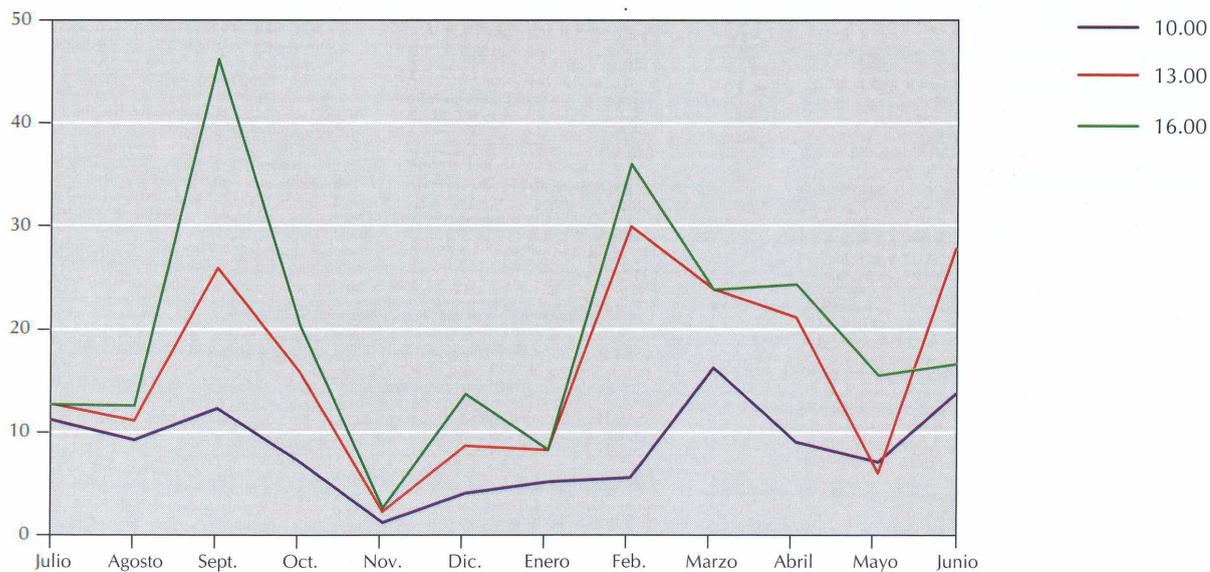
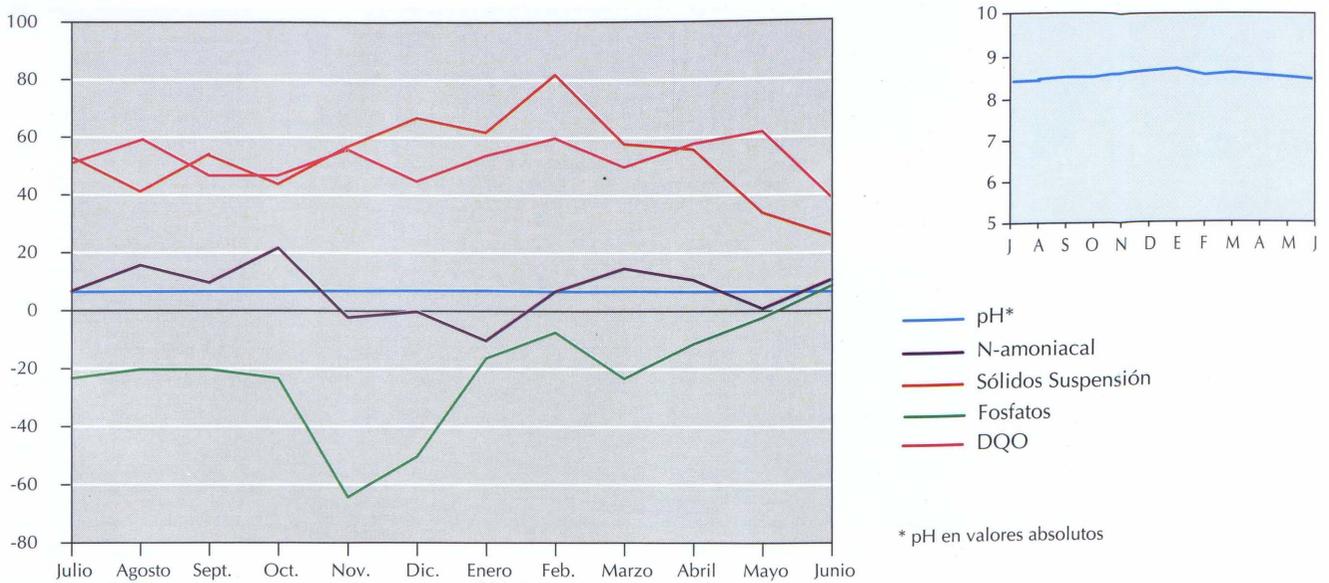


Gráfico 17. EVOLUCION LAGUNAS ANAEROBIAS. Rendimientos (%)



Esta mayor actividad da lugar a menores rendimientos en la eliminación de sólidos en suspensión, debido a que la mayor producción de biogás pone en suspensión parte de los lodos decantados.

Respecto a la DQO, los rendimientos de eliminación son más homogéneos, pues en los meses más fríos, la menor actividad bacteriana se ve compensada con mayores reducciones de sólidos en suspensión en el efluente, mientras que en el período cálido, la mayor reducción de materia orgánica se compensa por la mayor presencia de sólidos en suspensión.

La tasa de eliminación de nitrógeno amoniacal es muy baja, alcanzando su valor más alto en los meses de mayor actividad bacteriana.

En lo referente al P-inorgánico, el efluente de estas lagunas presenta concentraciones más elevadas que el influente, como consecuencia de la solubilización, en condiciones anaerobias de los fosfatos contenidos en los fangos decantados.

LAGUNA FACULTATIVA

Los gráficos 18 y 19 muestran el comportamiento de esta laguna durante el período de seguimiento. Para la determinación de estos rendimientos se ha tomado como referencia los valores medios del agua residual en los meses anterior y corriente, al objeto de considerar el desfase debido al tiempo de retención.

En los meses de abril y mayo, aumenta considerablemente la población de microalgas, lo que ori-

gina fuertes disminuciones en los rendimientos de eliminación de sólidos en suspensión y en DQO bruta; mientras que, por el contrario, la DQO soluble presenta valores más homogéneos a lo largo de todo el año.

El mayor porcentaje de eliminación de nitrógeno amoniacal, de todo el sistema, tiene lugar en la laguna facultativa y presenta sus valores máximos en los meses cálidos, cuando la actividad biológica y el pH son superiores.

Los porcentajes medios de eliminación de fósforo inorgánico, tanto en superficie como en el fondo, son bajos si se refieren a los valores del agua residual que entra en el sistema, pero estos rendimientos se elevan al 27 y 19%, respectivamente, si se refieren al efluente de las lagunas anaerobias.

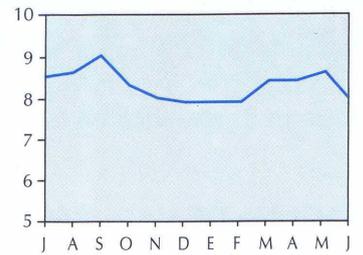
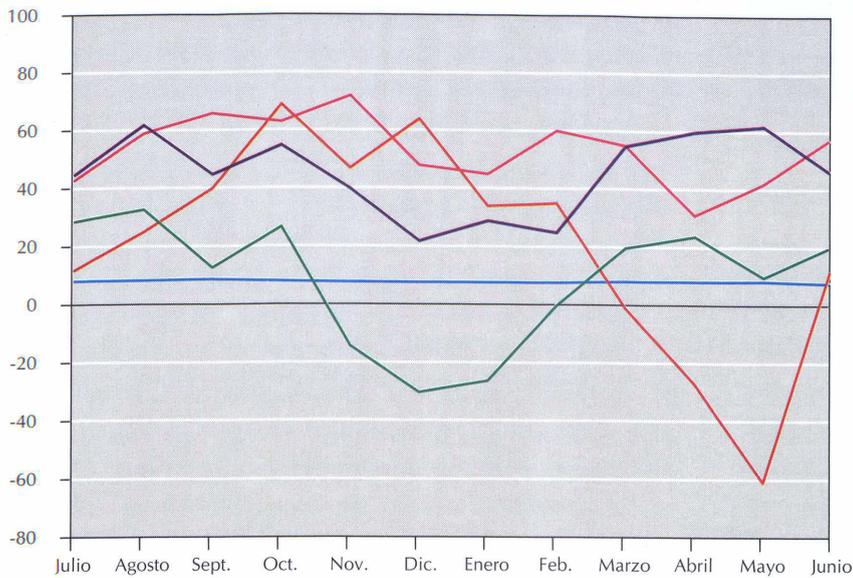
LAGUNA DE MADURACION I

El gráfico 20 refleja el comportamiento de esta laguna a lo largo del año.

Los rendimientos se han determinado con relación a los resultados analíticos de las muestras de Agua Residual tomadas con un mes de antelación.

Al igual que en la laguna facultativa, en los meses de abril y mayo, y como consecuencia del incremento estacional de fitoplancton, se produce una acusada disminución de los rendimientos en sólidos en suspensión y en DQO bruta. No obstante, el incremento de la biomasa de algas se da en mucha menor cuantía que en el caso anterior.

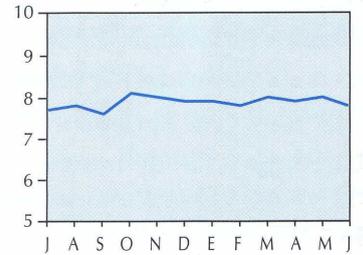
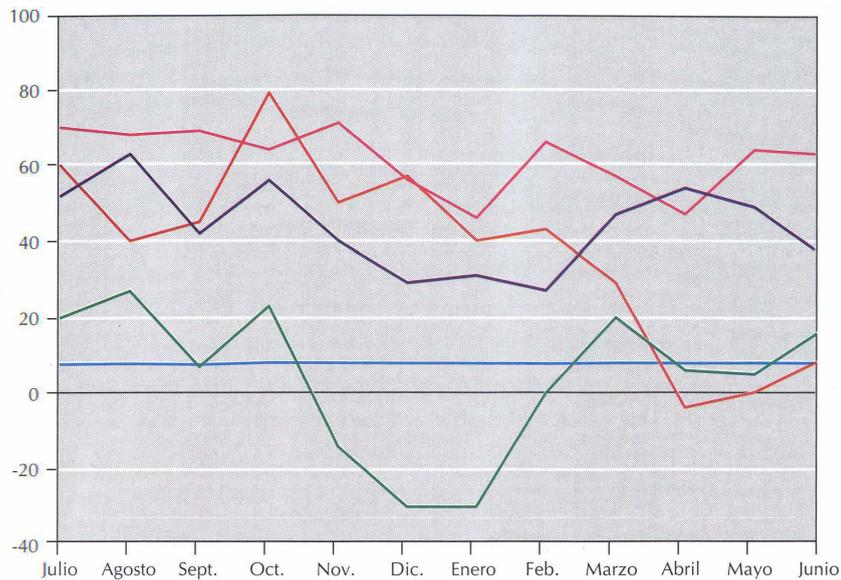
Gráfico 18. EVOLUCION LAGUNA FACULTATIVA (superfic.). Rendimientos (%)



- pH*
- N-amoniaco
- Sólidos Suspensión
- Fosfatos
- DQO

* pH en valores absolutos

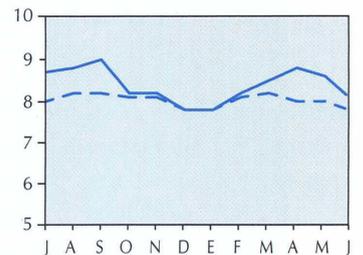
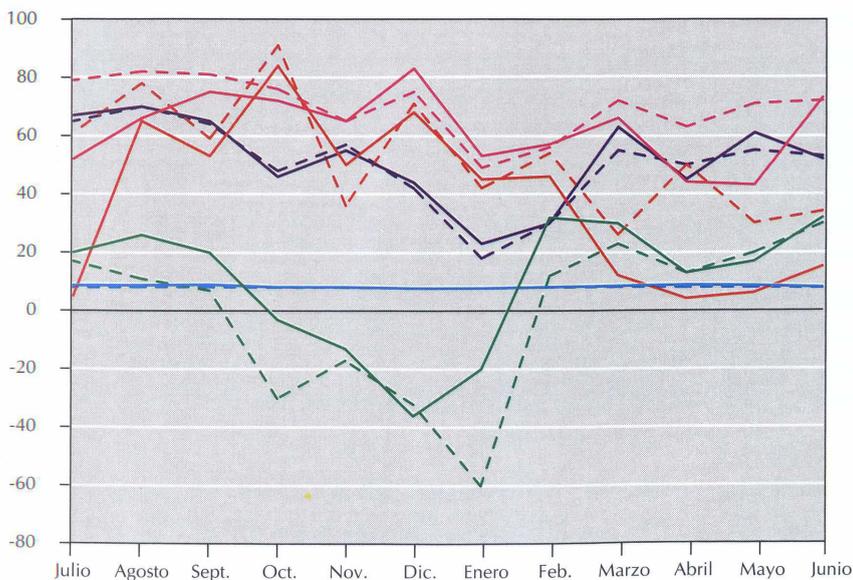
Gráfico 19. EVOLUCION LAGUNA FACULTATIVA (salida). Rendimientos (%)



- pH*
- N-amoniaco
- Sólidos Suspensión
- Fosfatos
- DQO

* pH en valores absolutos

Gráfico 20. EVOLUCION LAGUNA MADURACION I. Rendimientos (%)



- pH (sup.)
- N-amon (sup.)
- S. S. (sup.)
- Fosfatos (sup.)
- DQO (sup.)
- - - pH (sal.)
- - - N-amon (sal.)
- - - S. S. (sal.)
- - - Fosfatos (sal.)
- - - DQO (sal.)

La eliminación de nitrógeno amoniacal es pequeña, con valores más altos en los meses cálidos.

Igualmente la eliminación de fósforo es mínima, como consecuencia de la solubilización de los fosfatos contenidos en los sedimentos.

LAGUNA DE MADURACION II

En el gráfico 21 figuran los datos obtenidos durante el seguimiento de esta laguna, haciéndose constar que los rendimientos corresponden a las muestras tomadas en la superficie (salida).

Como en las otras lagunas, en mayo se produce un incremento en el fitoplancton, aunque en este caso dicho crecimiento es más moderado.

Los rendimientos en eliminación de DQO soluble (eliminando el efecto estacional del crecimiento del fitoplancton) son muy similares a lo largo del año, con valores ligeramente inferiores en los meses de menor actividad biológica.

La evolución de los rendimientos de DBO5 es similar a la de la DQO soluble.

La eliminación de nitrógeno amoniacal es pequeña y con valores más altos en los meses cálidos; por el contrario, el rendimiento en eliminación de fósforo es el mayor de todo el sistema, probablemente como consecuencia de los valores más elevados de pH que se registran en esta laguna.

Incidencias

Durante los meses de invierno y primavera se ha observado una gran proliferación de flotantes en las lagunas de maduración y, de forma menos acusada, en la laguna facultativa.

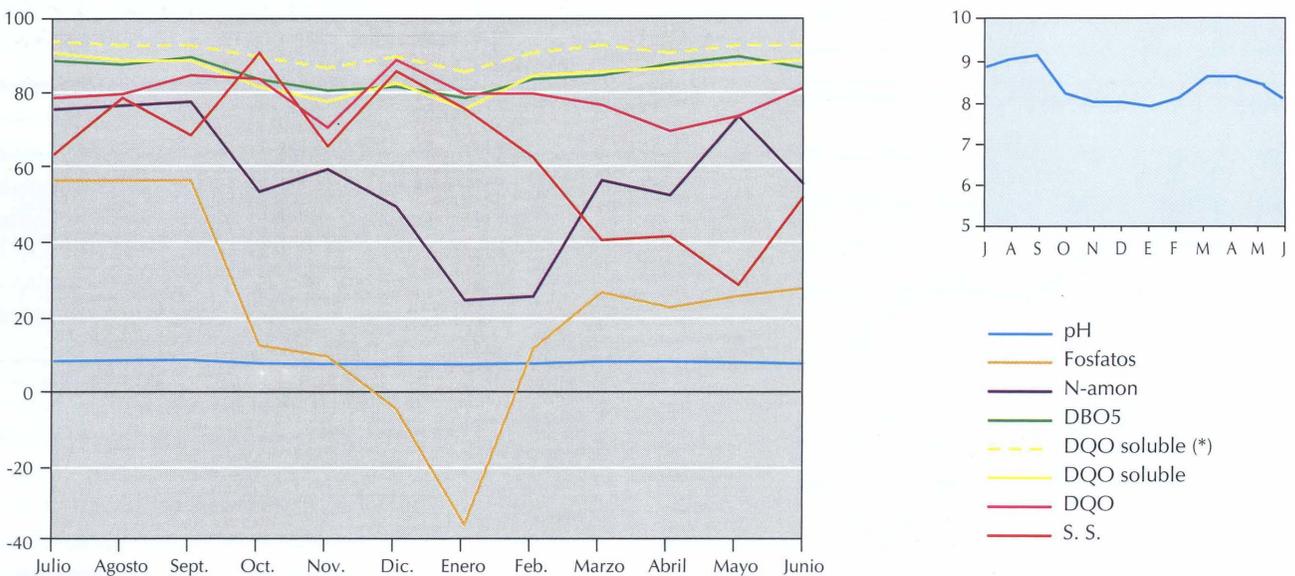
Estos flotantes proceden de la rotura del "tapete" biológico que tapiza el fondo de las lagunas. En la cara externa de dicho tapete se fijan diferentes poblaciones de algas, y en la parte interna se desarrollan bacterias purpúreas fotosintéticas que metabolizan el sulfhídrico que se va desprendiendo de los sedimentos del fondo de las lagunas.

La formación de tapetes en las lagunas es, por tanto, un hecho beneficioso. Ahora bien, cuando los tapetes carecen de consistencia, se rompen con facilidad y los gases producidos hacen que asciendan a la superficie, liberando la población de bacterias purpúreas en la masa de agua.

En ningún momento se han detectado malos olores en las lagunas, salvo en las anaerobias, si bien en este caso dichos olores han sido muy tenues.

El efluente del sistema de lagunaje se emplea para el riego de los jardines de la Planta Experimental y de las parcelas dedicadas a cultivos agrícolas. Igualmente estos efluentes alimentan los estanques dedicados a los cultivos de peces y lentejas acuáticas.

Gráfico 21. EVOLUCION LAGUNA MADURACION II. Rendimientos (%)



BIOLOGIA DE LAS LAGUNAS

	AGOSTO-SEPTIEMBRE 1991	OCTUBRE 1991	NOVIEMBRE 1991	DICIEMBRE 1991	ENERO 1992	FEBRERO 1992	MARZO 1992	ABRIL 1992	MAYO 1992	JUNIO 1992
	Facult. Madur. I Madur. II									
DIV. CHLOROPHYTA. CLASE CHLOROPHYCEAE										
O. Chlorococcales										
F. Microcystaceae	3	3	3							
Gen. Microactinium		3	2		2	2	3	4	4	3
Gen. Golenkinia		2	3		3	2	3	1	1	2
Gen. Acanthosphaera					2	1	1	1	1	
F. Chlorococcaceae										
Gen. Chlorococcum		2	2							
F. Oocystaceae										
Gen. Chlorella	2	3			2	3	4	2	3	2
O. Volvocales										
Gen. Pandorina		3	2				2			
DIV. EULENOPHYTA										
O. Euglenales										
Gen. Euglena	3	4	3	4	2	4	5	4	4	3
Gen. Astasia		2		3	2	2	2	1	1	2
Gen. Phacus	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2
Gen. Leponcillus	2	2	2							
DIV. CHRYSOPHYTA. CLASE DIATOMAEAE										
O. Pennales										
Gen. Navicula	1		3	2	3	2	1	2	3	1
Gen. Nitzschia	1			2	2	2	3	1	4	2
DIV. CYANOPHYTA (ALGAS AZULES)										
O. Stigonematales y Nostocales										
Gen. Microcoleus										2
Gen. Oscillatoria	2	2	3	2	2	1	3	2	2	5
Gen. Spirulina				3	2	2	4	2	1	2
O. Chorococcales										
Gen. Chorococcus										
CILIADOS. CLASE CILIATA										
O. Holotricha										
Gen. Ulotricha				3	2	2	2	1	1	1
Gen. Didinium		3	4		1	3	2	2	3	2
Gen. Glaucoma										3
Gen. Paramecium	2	3	3	2	3	2	2	2	1	2
Gen. Pleuronema							2	2	1	1
Gen. Haltaria										
Gen. Urostyla										2
O. Peritricha										
Gen. Vorticella				4	2	3	2	3	1	3
ROTIFEROS. CLASE ROTATORIA										
GUSANOS CILINDRICOS										
O. Monogononta										
Gen. Brachionus	3	3	2	2	4	2	2	2	4	1
Gen. Asplanchna		3	2							
Gen. Lindia	3	4	2	2	2	4	3	1	1	2
Gen. Cyrtonia										2
Gen. Proales										
ALGAS CONYUGADAS (UNICELULARES)										
Gen. Closterium									3	1

1: rara 2: escasa 3: frecuente 4: común 5: dominante

MICROBIOLOGIA DE LAS LAGUNAS

El tipo de microorganismos que se desarrolla en las diferentes lagunas está determinado por las características de las aguas contenidas en cada una de ellas.

En general, puede decirse que coexisten tres grandes grupos de microorganismos: Bacterias, Fitoplancton y Zooplancton, si bien, también existe una fauna propia del fondo conocida como Benthos.

Bacterias y Fitoplancton son los que juegan un papel más importante en la estabilización de la materia orgánica presente en las aguas residuales, siendo menor la contribución del Zooplancton a este objetivo.

BACTERIAS

Son las principales responsables de la mineralización de la materia orgánica en los sistemas de depuración por Lagunaje. Las más abundantes en las lagunas son quimioheterótrofas.

En las LAGUNAS ANAEROBIAS los dos grupos principales están constituidos por las bacterias formadoras de ácidos y las metanogénicas. Estas últimas utilizan como substrato los productos de degradación de las acidogénicas.

También se encuentran en las lagunas anaerobias bacterias reductoras de sulfato, responsables del paso de estos compuestos a gas sulfhídrico.

En las LAGUNAS AEROBIAS las bacterias más frecuentes pertenecen a los géneros: *Pseudomonas*, *Achromobacter* y *Flavobacterium*.

También, obviamente, existe gran cantidad de bacterias coliformes procedentes del tracto intestinal del hombre y de los animales.

Se detecta, igualmente, la presencia de bacterias nitrificantes, responsables del paso del ión amonio a nitrato. Las más frecuentes son *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*.

En la LAGUNA FACULTATIVA, al darse en su fondo condiciones anaerobias y en su superficie condiciones aerobias, se encuentran bacterias pertenecientes a las dos situaciones.

El número de bacterias en las diferentes lagunas disminuye de forma paralela a la reducción de la DBO.

A lo largo del sistema de depuración, al irse modificando las condiciones del medio, van

variando las poblaciones bacterianas, convirtiéndose en especies dominantes aquéllas que presentan un mayor margen de tolerancia a los diferentes factores: pH, temperatura, oxígeno disuelto, etc.

FITOPLANCTON

Las algas son organismos acuáticos unicelulares o pluricelulares, móviles o no, que contienen en su mayoría pigmentos fotosintéticos. Básicamente son organismos autótrofos.

El papel que desarrollan las algas en el sistema de depuración por lagunaje es fundamental, puesto que por fotosíntesis aportan al medio líquido el oxígeno necesario para la degradación de la materia orgánica y la vida de otros microorganismos.

En las primeras lagunas se observan muchos individuos pertenecientes a pocas especies, mientras que a lo largo del sistema el número de especies aumenta, disminuyendo el número de individuos pertenecientes a las mismas.

En las tres lagunas (facultativa, maduración I y maduración II), se observa durante todo el período el predominio de dos divisiones: *Euglenophyta* y *Chlorophyta*. Las algas verdes móviles, como *Euglena*, presentan, frente a las algas que carecen de movimientos propios, la ventaja de su mejor adaptabilidad a medios turbios, tales como los de las lagunas, ya que pueden emigrar a niveles donde reinen las condiciones adecuadas de iluminación.

Dentro de las Clorofíceas, aparecen dos géneros claramente identificados según la estación del año: *Micractinium*, que aparece en gran número durante el invierno, y *Chlorella*, que aumenta su población en verano.

ZOOPLANCTON

Se define como el conjunto de organismos animales que viven libres en el seno de las aguas. Los grupos fundamentales que se detectan en las lagunas son: Protozoos y Rotíferos.

Protozoos. Se alimentan de bacterias, nano-fitoplancton, partículas orgánicas y otros protozoos, por lo que contribuyen a la purificación de los efluentes.

La mayoría posee cilios que les permiten desplazarse en el medio acuático (*Paramecium*), o con los que impulsan el alimento hacia su cavidad

digestiva (*Vorticella*). Contribuyen a la depuración mediante el consumo directo de materia orgánica, y especialmente mediante su actividad depredadora sobre las bacterias, que estimula el crecimiento adicional de éstas.

Durante el período de estudio los géneros más abundantes han sido:

– *Paramecium*: constante durante todo el año, pero siempre en número reducido.

– *Didinium*: más numeroso que el anterior, y característico de la laguna de maduración II.

– *Ulotricha*: propio de estanques eutróficos, aparece en mayor cantidad en verano.

– *Glaucoma*, *Pleuronoma* y *Urostyla*, aparecen en menor proporción, y su presencia depende de la abundancia de los géneros citados anteriormente, dado que éstos actúan como depredadores.

La mayor diversidad de géneros y abundancia de las poblaciones se dan de finales de febrero a finales de mayo, época en la que las condiciones climáticas son más constantes.

Rotíferos. Poseen una corona ciliada que al vibrar crea corrientes que aprovechan para su alimentación y locomoción.

Su presencia es beneficiosa para las lagunas, pues se alimentan de bacterias, algas, protozoos y materia en suspensión, por lo que contribuyen a clarificar las aguas. Su acción permite una mejor iluminación de las profundidades de las lagunas, y por tanto, favorece el crecimiento de las algas y la oxigenación de las zonas profundas.

El género *Brachionus* es el más abundante, sobre

todo en la laguna facultativa, disminuyendo su número al pasar a las lagunas de maduración al ser controlada su población por otro rotífero, el *Asplanchna*, que fundamentalmente se encuentra en la laguna de maduración II.

Durante los meses de abril y mayo se ha observado la mayor proliferación de *Brachionus*.

BENTHOS

La fauna del Benthos está adaptada a vivir en condiciones de poca luz y bajas concentraciones de oxígeno disuelto.

Los principales organismos encontrados han sido Quironómidos (larvas de color rojo brillante), fundamentalmente en la segunda laguna de maduración, y durante los meses de abril y mayo. Estos organismos contribuyen a la estabilización de la materia orgánica presente en los sedimentos.

HONGOS E INSECTOS

Dado que el pH óptimo para el desarrollo de los hongos se halla en el intervalo 5-6, y que en todas las lagunas se superan estos valores, no se ha detectado la presencia de hongos.

En lo referente a los insectos, para evitar la proliferación de larvas de mosquitos se ha seguido un plan de eliminación, mediante herbicidas de la vegetación que vive en los taludes de las lagunas próximas al agua. Además, también se retiran del sistema los flotantes que aparecen en la superficie de las lagunas.

Gracias a ello y a los elevados pH de las aguas, hasta la fecha no se han detectado problemas.



ESCORRENTIA SUPERFICIAL

La instalación de Escorrentía Superficial consta de un canal de 60 metros de longitud y un metro de anchura. Las especies implantadas son: juncos (*Scirpus sp*), carrizos (*Phragmites sp*) y aneas (*Typha sp*).

El Agua Residual alimenta al sistema tras pasar por el desbaste de gruesos, desarenador y desengrasador, y recorre el canal gracias a su ligera pendiente.

Características operativas

El caudal de alimentación ha oscilado entre los 3 m³/d de los meses de invierno y los 4,5 m³/d del período veraniego.

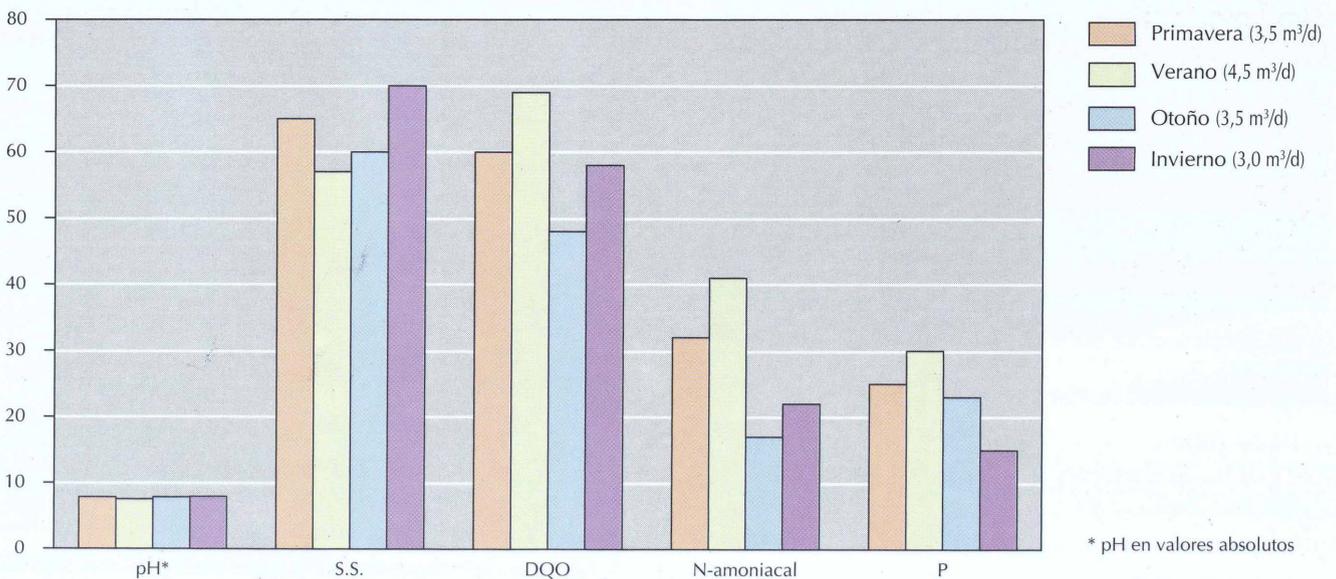
Rendimientos

En el gráfico 22 se recogen los rendimientos medios de depuración conseguidos para los cuatro niveles de caudal ensayados.

Incidencias

Cuando finalizaron los ciclos vegetativos de los juncos y aneas, se procedió a su corte, para favo-

Gráfico 22. EVOLUCION ESCORRENTIA SUPERFICIAL. Rendimiento (%)



recer el crecimiento de los nuevos brotes. Además, en el caso de las aneas, se ha observado que los restos de los tallos que quedan en el lecho sufren fenómenos de putrefacción en la zona en contacto con el agua, liberándose compuestos que empeoran la calidad del efluente.

Los juncos plantados en cabecera presentan en la zona más próxima a la alimentación un desarrollo deficiente, estudiándose la posibilidad de su cambio por carrizo.

CULTIVOS

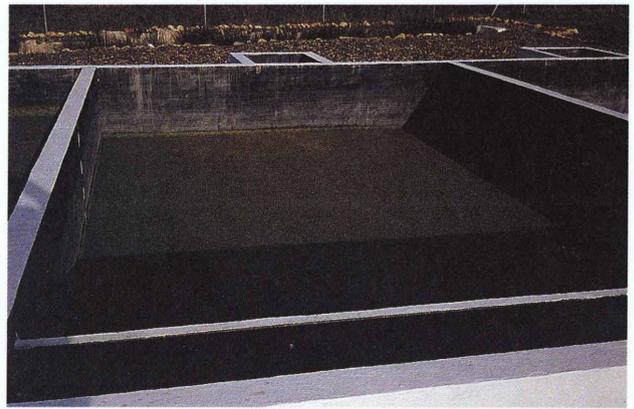
Como complemento al sistema de depuración de aguas mediante lagunaje, se ha continuado experimentando con dos modalidades: cultivo de peces y cultivo de lentejas acuáticas.

En el caso del **cultivo de peces**, se está trabajando con un estanque circular de 27 m² y las especies existentes son *Carassius carassius* y *C. aureatus*.

La tolerancia de estos peces a las aguas procedentes de la laguna de maduración II es muy aceptable.



Respecto al **cultivo de lentejas acuáticas**, las especies implantadas son una mezcla de *Lemna minor* y *Lemna gibba*.



Con estas plantas, el objetivo fundamental de las experiencias llevadas a cabo consiste en el abatimiento de una buena proporción de las microalgas presentes en los efluentes de la laguna de maduración II, si bien esto se consigue a costa de la generación de condiciones anaerobias.

Para este estudio se han destinado dos balsas de 24 m² cada una.

REUTILIZACION DE LOS EFLUENTES

Además de los ensayos de cultivo de peces, antes citados, que permiten, a la vez, conocer las posibilidades de reutilización para usos recreativos/paisajísticos/ ambientales, las aguas residuales depuradas (durante este periodo sólo las procedentes del sistema de lagunaje) se han reutilizado, en buena parte, para el riego de los jardines existentes en la Planta.

Asimismo, dichas aguas se han empleado en el riego de diferentes parcelas de experiencias agrícolas.

Los cultivos implantados fueron:

- Remolacha azucarera.
- Habas.
- Girasol.

También se riega con los efluentes depurados un pequeño vivero de chopos.