

# La infiltración controlada de las aguas residuales urbanas brutas en las zonas costeras

PEDRO NIETO LÓPEZ-GUERRERO (\*)

**RESUMEN** Se presentan los resultados físicos, químicos y bacteriológicos obtenidos en el funcionamiento en campo de una planta piloto de este tipo, y se describen someramente algunas aplicaciones importantes que quedan a su alcance en el marco de una gestión activa del agua en zonas de litoral, mediterráneo en particular.

## CONTROLLED SEEPAGE OF URBAN RAW SEWAGE IN COASTAL AREAS

**ABSTRACT** We present the physical, chemical and bacteriological results obtained from the field operation of a pilot plant of this kind, and an overall description is given of several important applications which are feasible within the framework of an active administration of the water in coastal areas, particularly the Mediterranean.

**Palabras clave:** Saneamiento de núcleos pequeños; Infiltración controlada; Tecnologías blandas; Contaminación del mar; Reutilización de aguas residuales; Intrusión salina.

## INTRODUCCIÓN

La recarga de los acuíferos en zona litoral para regadío, con aguas residuales urbanas (ARU) suficientemente tratadas, es una técnica en firme desarrollo, de particular importancia en el ámbito mediterráneo y en las islas. Se dispone de esta manera de un recurso hídrico suplementario para la agricultura, que atienda en forma variable la degradación creciente por intrusión marina, y se tiene la ocasión de una aplicación beneficiosa a su contenido en nutrientes (nitrógeno y fósforo, principalmente), abaratándose considerablemente los costes del tratamiento, en inversión y mantenimiento. En los núcleos costeros que reúnen condiciones favorables, con esta técnica se pueden solucionar del todo eventuales inconvenientes relativos a la calidad del agua para baño o cría de moluscos, por ejemplo, al hacerse innecesarias las conducciones de vertido al mar y su vigilancia (Ley de Costas, 1988).

En ambos casos, la actividad turística se ve beneficiada: las puntas en la demanda global del agua y en su posterior evacuación, que acompañan a los meses de temporada alta —habitualmente durante el estío— pueden ser efectivamente laminadas por la inercia y la magnitud de los acuíferos, en conjunción ahora con la práctica agrícola.

Como parte de la gestión integral del agua, especialmente en zonas meridionales deficitarias, este planteamiento se ve mejorado con el aporte que suponen las tecnologías llamadas blandas. Cuando las características del entorno posibilitan su aplicación, se consiguen unas ventajas sobre las plantas convencionales de sobra conocidas, y

que últimamente se ven reforzadas en especial por suponer una reducción en el gasto ineludible que requieren estas obras públicas, así como en el consumo energético, prioritariamente eléctrico (emisiones a la atmósfera, además del costoso rendimiento termodinámico), aumentando también la garantía de funcionamiento correcto y la vida media de las depuradoras.

En esta dirección se encuentra la tecnología de la "infiltración controlada" de las ARU (ITGE, 1992) la cual, de manera sucinta, consiste en aprovechar la capacidad decontaminadora del terreno de una manera sistemática, consiguiendo al tiempo el almacenamiento en el acuífero del agua depurada para la agricultura.

A efectos de confirmar en campo las hipótesis favorables de los laboratorios, se ha llevado a cabo por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE) una investigación en colaboración con técnicos franceses del Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) y subvencionada por la Unión Europea (Programa MEDSPA), cuyos aspectos más relevantes se presentan a continuación, dentro del marco esbozado en los párrafos anteriores.

## 1. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El lugar de implantación fue elegido mediante selección de las características de varios casos posibles a priori, por consideración de los parámetros que en teoría son más importantes, relativos al terreno y a la hidrogeología local, al núcleo de población y sus ARU, y a otros condicionantes varios (ITGE, 1994). Esta selección primaria fue confirmada por un conjunto de ensayos en campo y en laboratorio. Los resultados favorables obtenidos decidieron el desarrollo del trabajo en el lugar elegido, próximo a Mazagón (Huelva), en un claro del pinar del cordón litoral. Las ARU utilizadas fueron las de este núcleo costero, sin componente industrial, que

(\*) Ingeniero Industrial, Hidrogeólogo, Director de proyectos en el Instituto Tecnológico GeoMinero de España.



FIGURA 1. Plano de situación.

tiene una población fija de unos 1.000 habitantes que en época veraniega se multiplica por 10 ó mas veces.

El material está constituido por arena de dunas en una potencia de unos 30 m, sobre un sustrato margoso imperme-

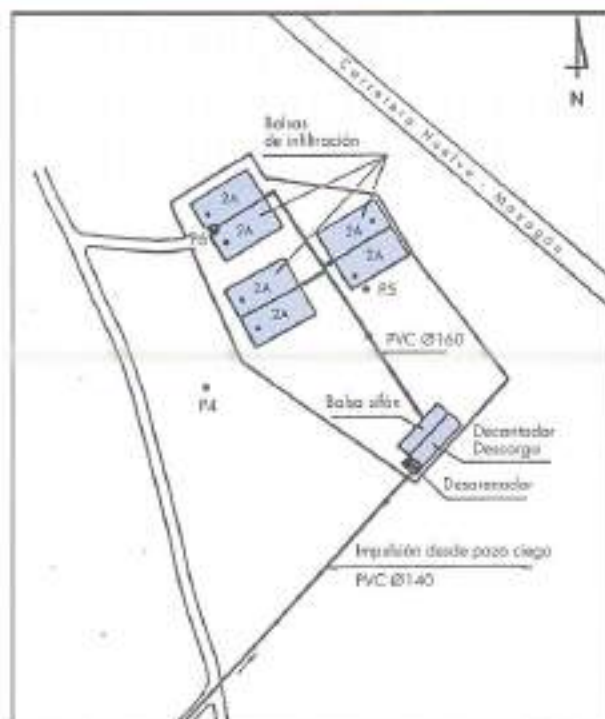


FIGURA 2. Emplazamiento.

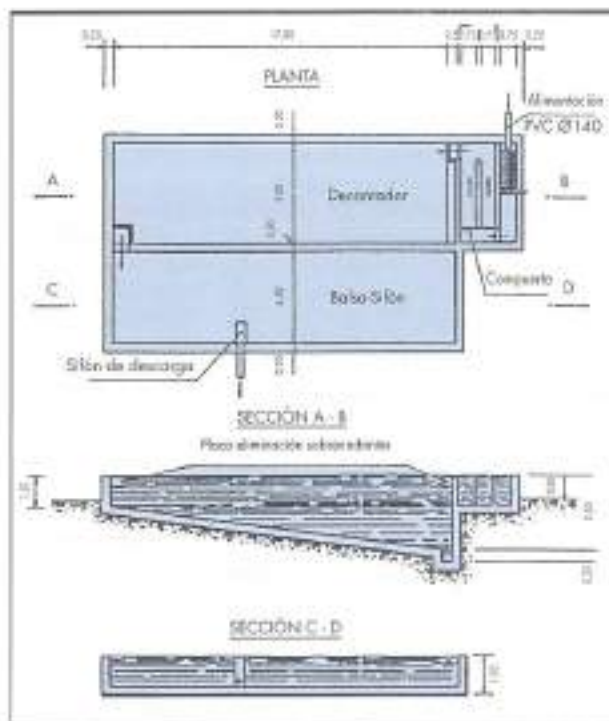


FIGURA 3. Decantador - Descarga.

able, muy bien clasificadas y con una gran homogeneidad sobre todo en los primeros 10 m. El nivel del agua se sitúa a una profundidad de unos 6-8 m, con un gradiente hidráulico del orden del 0,5‰ hacia el mar distante unos 300 m. Regionalmente, forma parte de la unidad Almonte-Marismas dentro del sistema acuífero 27; datos del entorno han permitido asignar una transmisividad del orden de  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, y coeficiente de almacenamiento 0,2.

Se ha utilizado el desnivel topográfico para llevar a cabo por gravedad la distribución del agua en las instalaciones, de manera que el consumo de energía eléctrica y de reactivos químicos es nulo en el funcionamiento de la planta y su mantenimiento: las escasas operaciones se han realizado manualmente.

La planta ocupa una superficie total cercada de media hectárea, aproximadamente, repartida en 2 zonas: la parte alta, que recibe el ARU bruta y contiene su pretratamiento; la parte baja donde se realiza la infiltración controlada. El pretratamiento consiste en una decantación prolongada (17 m x 5 m x 2 m) precedida de un desbaste con rejilla y desarenador estáticos, con eliminación de flotantes, sobre un caudal de entrada medio de 7 l/s, procedente por bombeo de un estanque de retención. Por reboso, el agua pasa del decantador a una balsa de almacenamiento cuya descarga ( $\approx 100$  m<sup>3</sup>) ocurre a través de una válvula sifón al alcanzar su nivel máximo. El agua descargada se distribuye por gravedad mediante tuberías de PVC ( $\varnothing$  160 mm) y válvulas manuales, llegando a cada una de las 6 balsas de infiltración (10 m x 20 m) acopladas 2 a 2. Cada balsa contiene un pozo de observación donde asoman 5 puntos para muestreo del percolado a distinto nivel: 30, 60, 100, 150 y 200 cm de profundidad. En 3 balsas se ha instalado un sistema para muestrear el gas ambiente a esas mismas profundidades. En una balsa se ha dispuesto un sistema para medir la resistividad eléctrica en el primer medio metro de terreno.

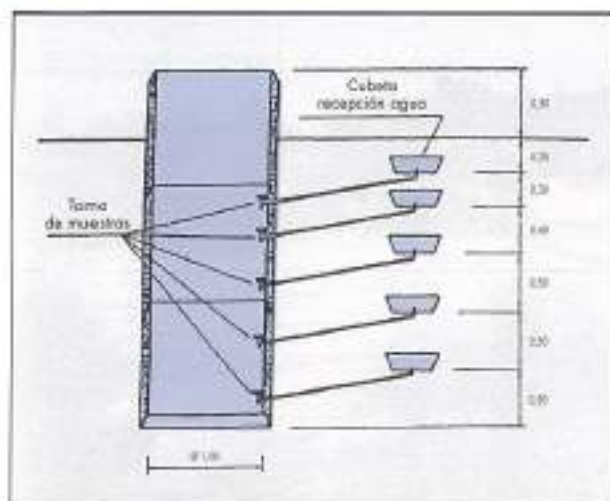


FIGURA 4. Pazo de observación.

Se han instalado 3 piezómetros separados entre sí unos 50 m, con distancia variable a la balsa más cercana: 0 m, 2 m y 15 m aproximadamente. Una caseta de obra recoge los utensilios y facilita las operaciones en campo.

La actividad en la planta ha venido determinada por la medición de parámetros y por el mantenimiento de las instalaciones. Este último, de tipo manual, ha consistido en una serie de prácticas elementales llevadas a cabo por un operario sin cualificación técnica pero con interés por su trabajo, y las principales han sido:

- en la fase de pretratamiento: limpiado de la rejilla de desbaste y eliminación de sobrenadantes en el decantador (diario); purga del desarenador (semestral) y eventualmente del decantador.
- en la fase de infiltración: limpiado del ranurado en las tuberías de descarga (diario); horizontalización y rastrillado

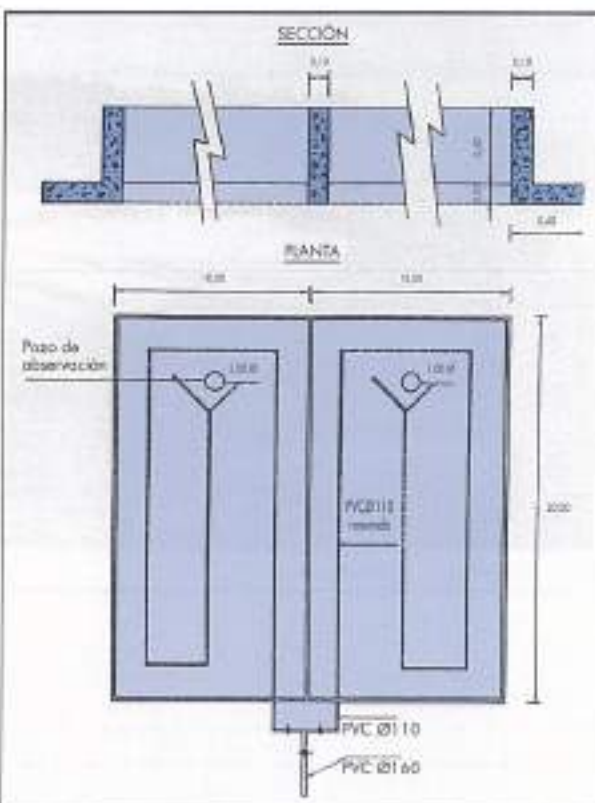




FOTO 2. Las balsas de infiltración. Zona baja.

- in situ, antes, durante y después de las descargas: T, pH, CE, OD del agua previa a la infiltración y en los efluentes de la percolación; posteriormente en laboratorio, se han determinado  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ , DQO y contenido bacteriano (coliformes totales, estreptococos fecales y, sobre todo coliformes fecales), si bien estos últimos con menor densidad de datos.
- sobre los efluentes, se han determinado los caudales en las distintas profundidades, así como el volumen medio de las descargas y la lámina de agua alcanzada durante la infiltración, en altura y uniformidad. En un balsa se ha seguido la evolución de la humedad residual de los primeros 50 cm mediante la observación de la resistividad eléctrica del terreno.
- en 3 balsas, junto a los pozos de observación, se han tomado muestras de gases y su temperatura a las mismas



FOTO 3. Percolado fluyendo por los drenajes.



FOTO 4. Infiltración durante la descarga.

profundidades que el agua, con análisis posterior de  $O_2$ ,  $N_2$  y  $CO_2$ .

- en los piezómetros, a diferentes distancias del punto de infiltración, se ha llevado un registro automático del nivel de agua con periodicidad programada, tomándose también en ellos muestras para sus análisis químico y bacteriológico.

Estas actividades se han realizado de forma esporádica por diversos motivos a lo largo de una primera fase, y posteriormente de una manera continuada durante más de 6 meses.

## II. RESULTADOS OBTENIDOS

Siendo de diversa índole los resultados obtenidos (ITGE, 1994 bis), se presentan a continuación los más destacables e

importantes desde una perspectiva global de aplicación en la práctica, agrupados de una manera habitual. Corresponden a un ritmo de 1 descarga al día sobre 2 balsas simultáneamente, equivalente a unos  $100 \text{ m}^3$  sobre  $400 \text{ m}^3$ , o sea  $250 \text{ l/m}^2$  en promedio, con un breve periodo en que se ensayó una carga doble ( $500 \text{ l/m}^2$ ) que resultó claramente excesiva.

En el ámbito físico, se ha constatado un funcionamiento continuado de la infiltración, durante varias semanas, sin aparecer dificultades de consideración: si bien la colmatación del terreno en superficie ha ido desarrollándose lentamente, un simple rastrillado manual 2 ó 3 veces por semana ha sido suficiente para mantener la capacidad de infiltración; cuando esta práctica no ha sido llevada a cabo, la permeabilidad de la balsa ha llegado de hecho a anularse. En el interior (2 m más someros) la progresiva colmatación observada no ha alcanzado una magnitud importante durante el tiempo de experimentación, pudiéndose aceptar en principio

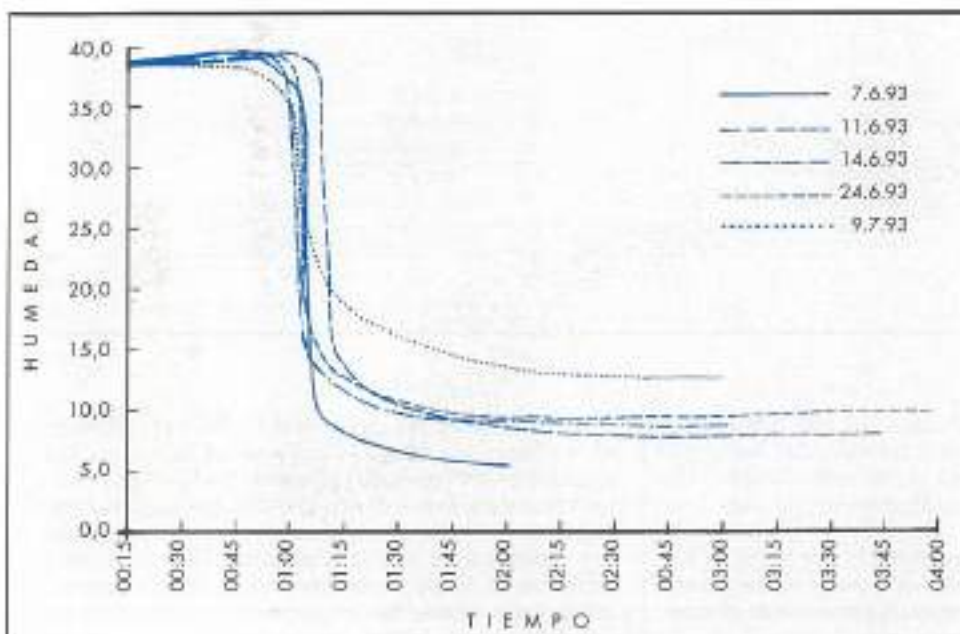


FIGURA 6. Evolución de la humedad a 5 cm de profundidad.

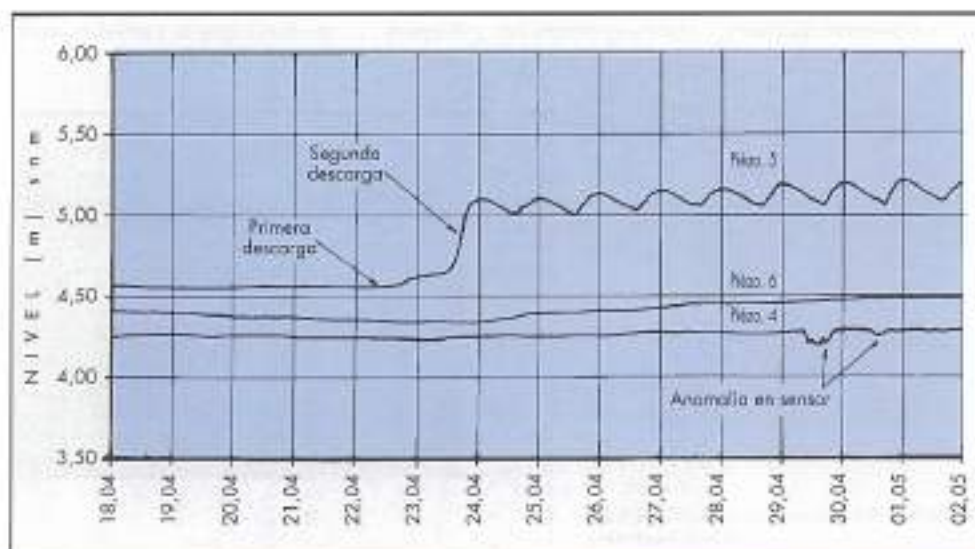


FIGURA 7. Piezometría: 18 de abril a 2 de mayo.

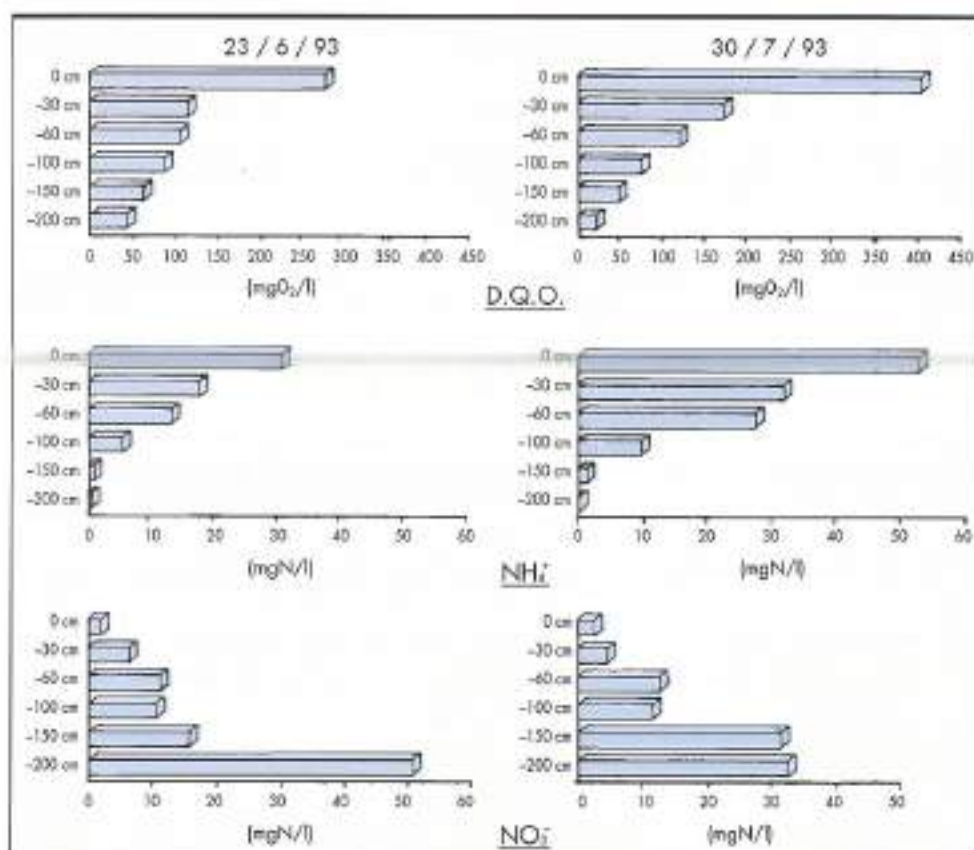


FIGURA 8. Evolución de la depuración con la profundidad.

un desplazamiento del frente de agua del tipo "pistón". La respuesta del nivel piezométrico a las sucesivas descargas ha sido nítida; el domo formado por el manto acuífero ha permitido siempre una potencia de aireación de unos 4 m mínimo.

En ningún momento se ha percibido el olor típico de las ARU, excepto en los días de calor en el borde de los estanques y ello con una intensidad tenue; la presencia de moscas ha sido la normal en la zona, acorde con el clima. Desde su construcción, el desarenador ha sido purgado 1 vez, con el motivo principal de confirmar el sistema de purga.

En el ámbito químico, se ha comprobado una reducción

muy alta del contenido orgánico del ARU. Los rendimientos en la eliminación de DQO aumentan con la profundidad en el muestreo del percolado —llegando hasta el 90% en el último drenaje a 2 m— siendo la intensidad de la depuración mayor en las zonas más someras; los mismos resultados se han obtenido en el caso de la oxidación del amonio, con rendimientos en el último drenaje continuamente cercanos al 100%. Estos valores han requerido un mínimo de maduración del terreno de alguna semana.

Lógicamente, la concentración de nitratos observada en el manto acuífero ha tenido un incremento importante, mientras que la variación en el resto de componentes es in-

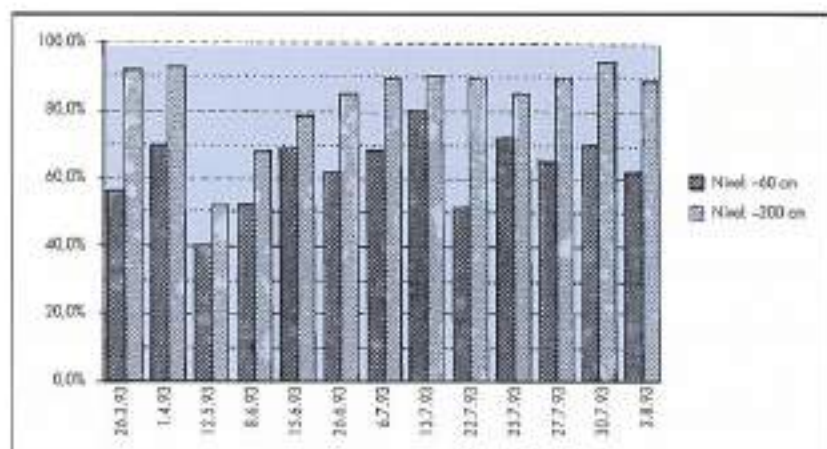
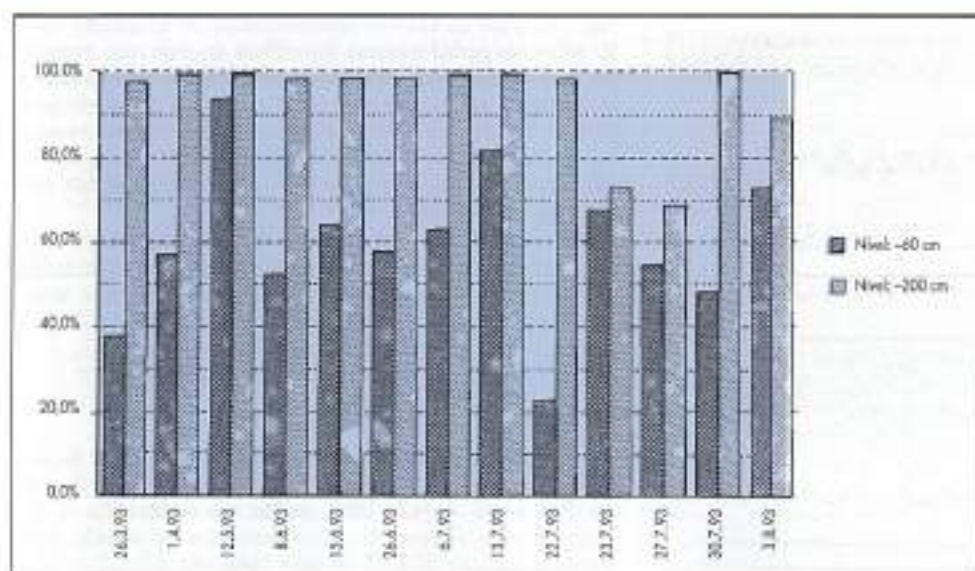


FIGURA 9.1. Eliminación de D.Q.O. a 0,6 m y 2 m (valores medio).

FIGURA 9.2. Eliminación de  $\text{NH}_4^+$  (valores medios).

sustancial, excepto para el período en que se duplicó la carga de ARU infiltrada, lo cual provocó un disparo en el contenido de amonio (5,3 mgN/l) en el piezómetro colindante a las balsas de infiltración.

Los análisis realizados sobre las muestras de gas tomadas en las sucesivas profundidades se ajustan al fenómeno de aerobiosis, con una disminución en la concentración de  $\text{O}_2$  después de la descarga y su recuperación posterior, mientras que el contenido en  $\text{CO}_2$  varía de manera inversa.

En el ámbito bacteriológico, el comportamiento del terreno es insuficiente, con la sistemática de trabajo utilizada (susceptible de mejoras con total seguridad). Después de 2 m de percolación, la reducción observada presenta un valor

medio en unidades logarítmicas de 1,2 para el contenido en coliformes totales; de 1,1 para los coliformes fecales; y de 1,4 para los estreptococos fecales. Sin embargo, las muestras tomadas en los piezómetros indican ausencia total de contaminación bacteriana, excepto nuevamente para el período en que se duplicó la carga hidráulica de infiltración: la contaminación entonces detectada alcanza 3,6 u log de C. fecales y 4,6 u log de C. totales, si bien únicamente en el piezómetro colindante con las balsas (P6).

Como última fase destacable, se ha utilizado un **modelo numérico** de flujo y transporte, sencillo, para simular algunas hipótesis de interés a partir de los datos obtenidos. Así, se ha determinado que para un bombeo de unos 100

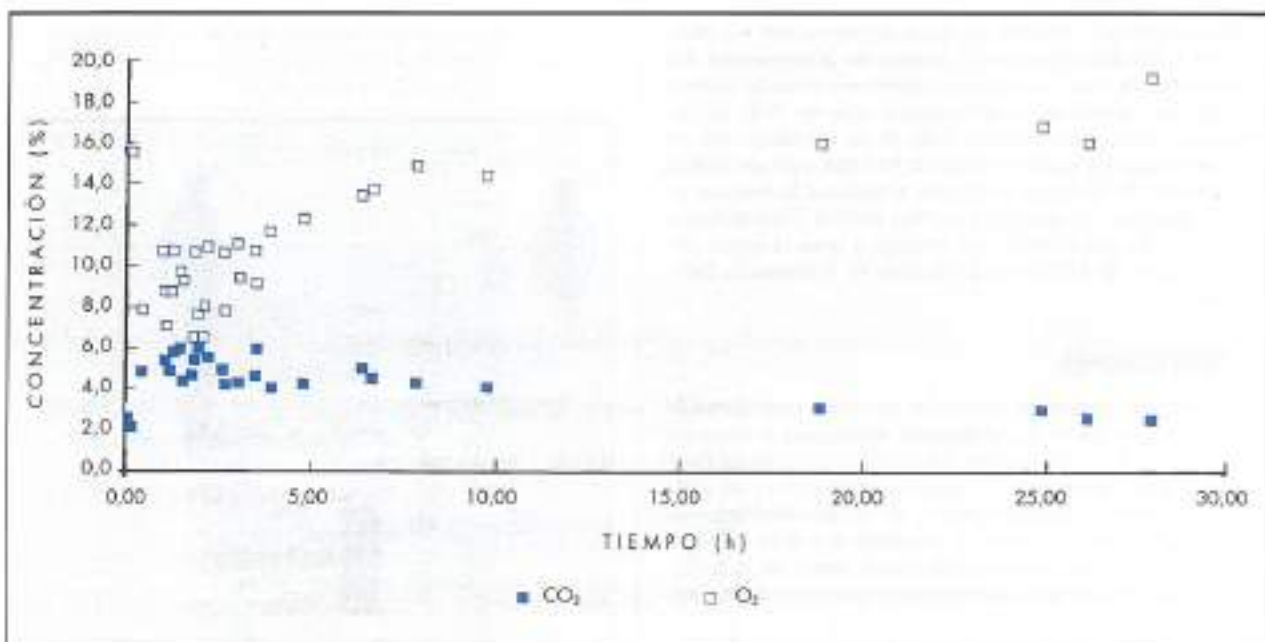


FIGURA 10. Evolución de concentración de gases a 0,30 m.

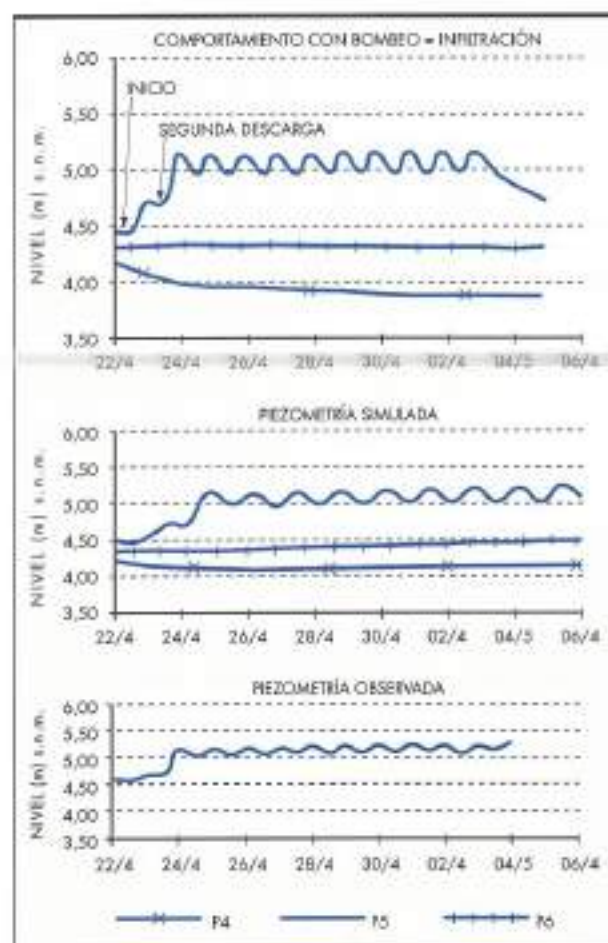


FIGURA 11. Modelización de la hidráulica subterránea.

$\text{m}^3/\text{día}$  —igual al volumen de agua aportada con un régimen de 1 descarga diaria— el tiempo de permanencia del agua infiltrada en el subsuelo es superior a 50 días cuando el punto de extracción se encuentra a más de 30 m de las balsas de infiltración. Por otro lado, se ha calculado que en las condiciones de experimentación habidas, con un aporte medio diario de 25 kg de nitrógeno al terreno, la concentración de nitratos —suponiéndoles una inercia físico-química total— adopta una distribución análoga a la de la figura adjunta, al cabo de 1.000 ó de 2.000 días de iniciarse la infiltración.

### III. CONCLUSIONES

Los resultados concretos expuestos permiten considerar la aplicación práctica de la infiltración controlada a casos reales, allí donde se reúnan las suficientes condiciones favorables. Estas limitaciones —cuyo examen previo en cada caso particular es determinante— se verán sobradamente compensadas por las ventajas inherentes a este sistema, según su esbozo en las primeras líneas, tanto en la inversión inicial como en el mantenimiento posterior de las instalaciones.

La decisión para aceptar o rechazar de manera definitiva y justificada este sistema de tratamiento y almacenamiento,

requiere pues un estudio pormenorizado de suficiente detalle sobre las características específicas de cada caso particular que a priori reúna condiciones favorables. La consulta a la Directiva 91/271, por otra parte, indica los plazos disponibles de tiempo. En consecuencia, un primer criterio razonable puede consistir en tomar la cifra de 10.000 e-h para los núcleos de población susceptibles de beneficiarse con este sistema, por ejemplo.

Una orientación primaria —que agilice, facilite y economice los estudios individuales posteriores— se puede conseguir directamente aplicando una sistemática para la determinación de las zonas potencialmente favorables desde la perspectiva del terreno (ITGE, 1993).

### REFERENCIAS

Ley de Costas, 22/1988, de 22 de julio, en BOE de 29 de julio 1988: art. 34 y 57 en especial. También, en la Orden del MOPyT de 13 de julio 1993, por la que se aprueba la instrucción para el proyecto de conducciones de vertido desde tierra al mar, en BOE 27 de julio 1993; art. 4.2; 5.2.1; 5.3.3; 6.2.2 y 6.2.3 sobre la necesidad de un estudio riguroso de las alternativas al vertido, total o parcial; y art. 7 sobre el programa de vigilancia.

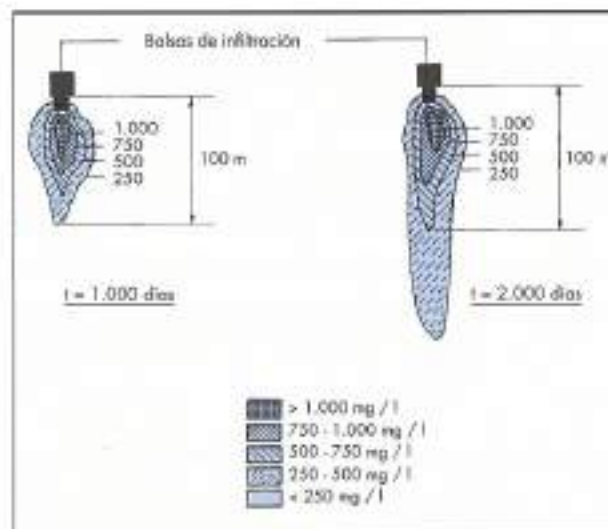
ITGE, 1992: "Los acuíferos y las aguas residuales urbanas: la infiltración controlada". Boletín Geológico y Minero. V. 103-5 (914-920).

ITGE, 1994: "Depuración natural de aguas residuales brutas mediante su infiltración controlada". Boletín Geológico y Minero. V.105-1 (102-109).

ITGE, 1994 bis: "Depuración natural de aguas residuales brutas mediante su infiltración controlada. Parte II". Boletín Geológico y Minero. V.105-3 (272-277).

Directiva del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (91/271/CEE), en DOCE n° L135/40.

ITGE, 1993: "Posible contribución de la infraestructura hidrogeológica al Programa Nacional de ARU". Boletín Geológico y Minero. V. 104-4 (416-421).

FIGURA 12. Distribución de la concentración de  $\text{NO}_3$  al cabo del tiempo.