

# **TRABAJOS ACTUALES EN EL DELTA DEL LLOBREGAT**

## **Resumen**

### **1. Introducción**

### **2. Características hidrogeológicas**

### **3. Evolución de la intrusión**

### **4. Investigaciones en curso**

#### **4.1. Estudio de las repercusiones de un posible pozo de recarga en el acuífero profundo**

#### **4.2. Estudios en el acuitardo**

### **5. Comentarios finales**

### **6. Bibliografía**

## TRABAJOS ACTUALES EN EL DELTA DEL LLOBREGAT

MANZANO, Marisol (1)  
SANCHEZ-FRESNEDA, Calixto (1)  
SKUPIEN, Elzbieta (1)  
CUSTODIO, Emilio (1)

### RESUMEN

*El control de la intrusión marina en el delta de Llobregat se viene realizando prácticamente desde que se detectó, hace más de dos décadas. A pesar del aumento de niveles piezométricos registrado desde hace cinco años como consecuencia del descenso gradual de las extracciones, la intrusión ha continuado, sobre todo en la zona oriental donde la actividad industrial es mayor. Por primera vez se está pensando en la posibilidad de poner una barrera a la misma mediante recarga artificial puntual, para lo cual se están preparando una serie de trabajos previos*

*Los estudios en el acuitardo dan idea de la complejidad del proceso de mezcla agua dulce - agua salada, donde la interacción con el medio sólido origina además procesos de intercambio iónico, disolución de minerales y fraccionamientos químicos e isotópicos.*

### 1.-INTRODUCCION

Los acuíferos del delta de Llobregat son suficientemente estudiados y conocidos desde hace más de veinte años debido a su estratégica situación geográfica, ya que soporta una de las principales áreas industriales y en menor medida actualmente, agrícolas, del cinturón de Barcelona. La masiva explotación de los acuíferos deltaicos desde finales de los años 50 para satisfacer las crecientes demandas de la zona, originó un descenso generalizado de niveles y el inicio de la salinización de los acuíferos.

Entre 1975 y 1985 las explotaciones descendieron debido, entre otras razones, al ahorro inducido por el aumento de los costes energéticos y a la propia salinización. Como consecuencia de esta disminución, y en menor grado de las prácticas de recarga artificial en la cabecera del delta, se ha producido un ascenso de niveles generalizado los cuales que han

---

(1) Universidad Politécnica de Cataluña.

mantenido, no obstante, por debajo del nivel del mar. En los últimos años los niveles han vuelto a descender a causa del fuerte incremento de las extracciones para abastecimiento y de la disminución de las prácticas de recarga, ambos debidos a la ocurrencia de un periodo especialmente seco.

Desde la década de los 60 se han realizado numerosos estudios, tanto de la hidrogeología general del delta como de la evolución de la intrusión marina, los cuales han proporcionado un conocimiento de la zona y su problemática que la han convertido en una de las mejor conocidas de Europa (MOP, 1966; Custodio et al. 1976; Custodio et al. 1985).

En la actualidad los estudios continúan, centrándose en los siguientes aspectos:

- reacciones sólido-líquido en el seno del acuitardo y su relación con las características hidrogeoquímicas e isotópicas del agua intersticial del mismo.
- evaluación de los efectos que sobre la intrusión provocaría una acción de recarga puntual del acuífero profundo con agua de mejor calidad.
- preparación de un modelo de transporte de masa que simule la penetración de agua marina y la extracción de agua salada, salobre y dulce.

## **2.- CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS**

El delta del Llobregat tiene una estructura bien conocida a través de los numerosos trabajos sobre él realizados. Sucintamente esta formado por cuatro niveles bien diferenciados de edad cuaternaria, que se disponen sobre un substrato plioceno. De abajo a arriba, éstos niveles son:

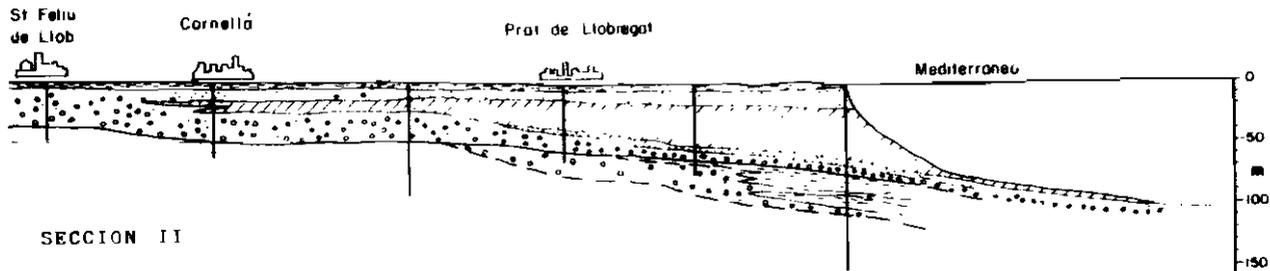
- conglomerados, gravas con matriz arcillosa y areniscas.
- gravas limpias con arenas, de origen fluvial, que constituyen el acuífero profundo del delta:
- nivel limo-arcilloso en forma de cuña, de origen marino, que constituye un acuitardo de 40 m de espesor en la costa;
- arenas y limos arenosos, de origen litoral y de llanura deltaica, que cubren toda la superficie del delta, constituyendo el acuífero superficial

Los acuíferos profundo y superficial se comunican en los márgenes delta y en el valle, donde existe un acuífero único, por cambio lateral de facies de la cuña de limos a arenas.

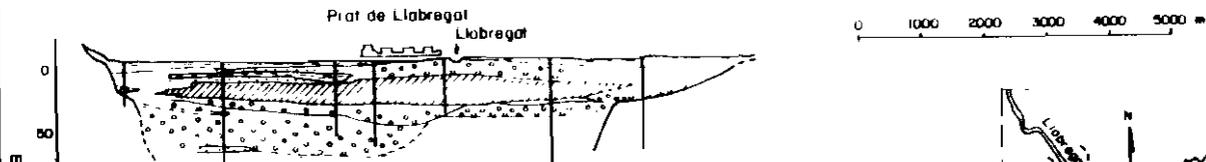
El acuífero profundo se prolonga además bajo el mar y prácticamente aflora a unos 5 km de la costa y 100 m de profundidad. (Fig.1), zona por la que continúa entrando agua marina.

El funcionamiento hidráulico de los acuíferos ha sido tratado en numerosos trabajos

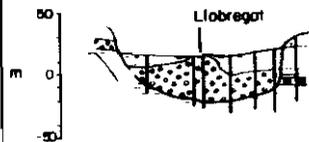
SECCION I



SECCION II



SECCION III



- Gravas
- Arena, arena y gravas
- Conglomerado
- Limos semipermeables
- Arcilla

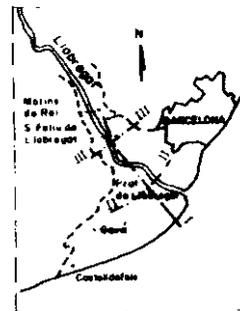


Fig. 1- Geología del delta del Llobregat.

Véase por ejemplo MOP (1966), Custodio, Bayó y Peláez (1971) y Custodio (1981).

### 3.-EVOLUCION DE LA INTRUSION

Los primeros síntomas de la intrusión marina se apreciaron en 1966, aunque ésta debió comenzar mucho antes y sus efectos no se notaron hasta más tarde debido a la gran extensión del acuífero profundo bajo el mar, desde el lugar donde prácticamente aflora.

La intrusión comenzó en el centro y en ambos laterales del delta: en el centro debido al inicio de actividad industrial junto a la zona costera de mayor transmisividad; en el margen oriental (Zona Franca) debido también a la fuerte actividad industrial y a la existencia de un único acuífero en contacto directo con el mar; en el margen occidental debido asimismo a la existencia de un único acuífero que ya tenía agua marina antigua atrapada cuya expulsión al mar se vió frenada, siendo empujada tierra adentro al aumentar las extracciones a lo largo del borde interior.

Desde 1966 a 1985, la intrusión ha progresado en las zonas mencionadas, a pesar de que la extracción de agua del acuífero profundo disminuyó considerablemente entre éstas fechas y los niveles piezométricos subieron, quedando, no obstante, bajo el nivel del mar en toda la extensión deltaica. A consecuencia de ésta elevación de niveles, algunos sótanos construidos en épocas de nivel más bajo fueran inundados, sobre todo en áreas donde se han abandonado pozos a causa de la salinización. (Custodio y Bayó, 1986).

Entre 1985 y 1987 (Fig.2) parece apreciarse una disminución de los contenidos en  $Cl^-$  en la zona central de la delta, aunque tal vez se trata sólo de un desplazamiento del agua mezcla y del agua dulce del sector del aeropuerto hacia el Polígono Industrial Pratense, junto al río, inducido por los bombeos en éste. En la zona del Puerto Franco, en cambio, la salinización continúa avanzando.

### 4.-INVESTIGACIONES EN CURSO

#### 4.1- ESTUDIO DE LAS REPERCUSIONES DE UN POSIBLE POZO DE RECARGA EN EL ACUIFERO PROFUNDO

En la zona central del delta Llobregat se estan llevando a cabo una serie de estudios preliminares para definir y estimar los efectos de una posible recarga artificial. El problema de la salinización del acuífero inferior en la citada zona es evidente, según se ha venido exponiendo en el presente trabajo así como en otros muchos anteriores. El proyecto pretendería crear una barrera piezométrica que frenara el avance de la intrusión (ver Fig.2) usando conceptos clásicos de recarga artificial (Custodio, 1976; Custodio, en MOP,

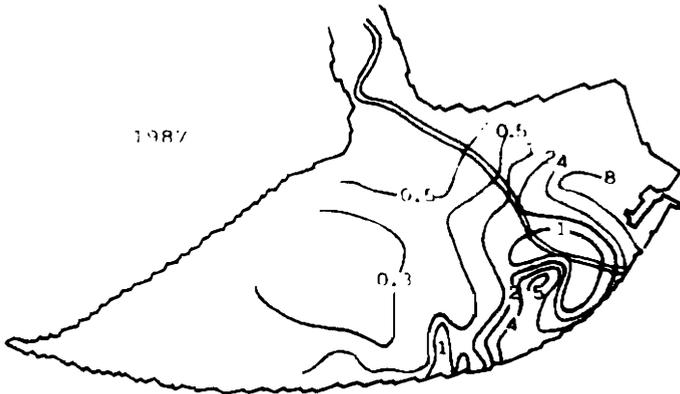
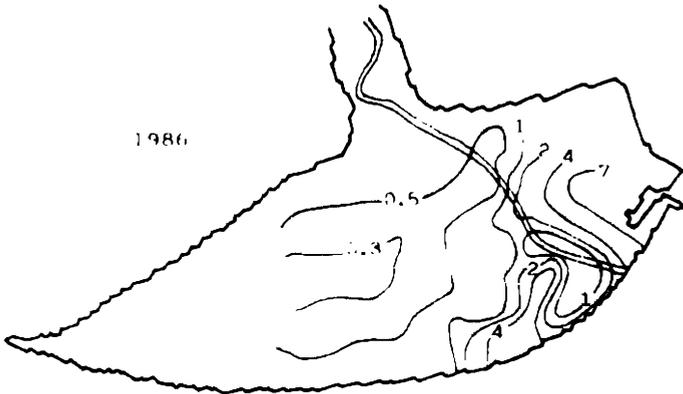


Fig. 2- Evolución reciente de la intrusión marina, en g/l.

1986, Vilaró, en Custodio y Llamas, 1976, Secc 19).

El delta del Llobregat posee gran cantidad de estudios hidrogeológicos y un gran número de análisis químicos efectuados en una amplia red de control. El primer paso en estos estudios preliminares ha sido la recopilación de todos estos datos y su preparación para ser informatizados. La procedencia es de distintos fuentes como organismos dependientes de la Dirección General de Obras Hidráulicas de la Generalitat de Catalunya, la Comunidad de Usuarios de Aguas del Sector Oriental del Delta del Llobregat y de los trabajos del Curso Internacional de Hidrogeología Subterránea. Abarcan periodos de tiempo que van desde el año 65 hasta el 87. Todos ellos se han ordenado en ficheros dentro del programa dBase III, en los cuales se tiene información sobre las características generales de cada pozo así como de los análisis químicos que existen con sus distintas fechas.

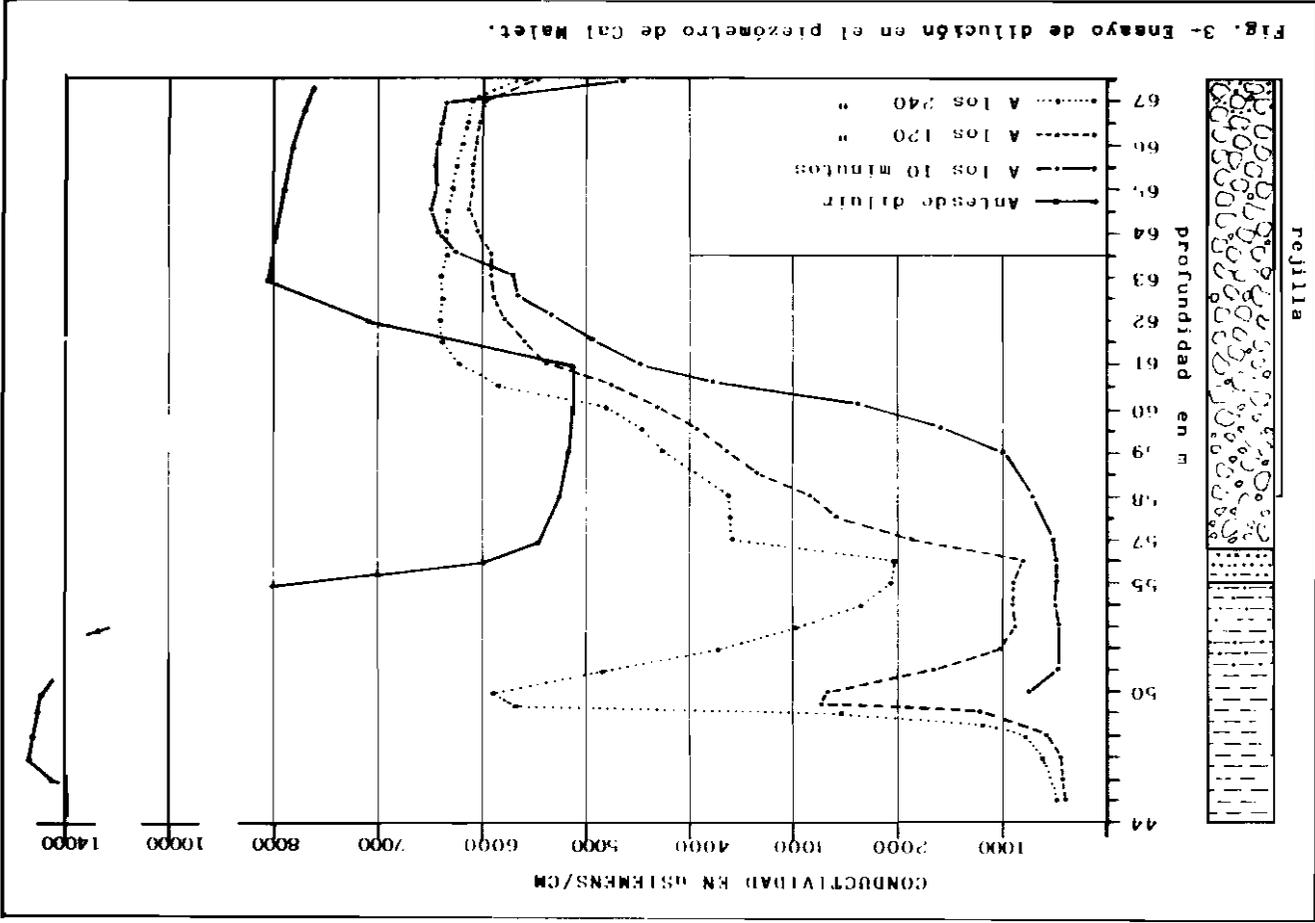
Por otro lado se esta llevando un control estricto de todos los piezómetros de la zona, realizándose registros de salinidad en aquellos que están situados en el entorno del área donde se presupone la recarga, para determinar la posible estratificación salina. Dentro de estos trabajos previos se ha realizado un ensayo de dilución en un piezómetro determinandose, en la zona de la rejilla (58-67.5 m) la conductividad después de inyectar 200 l de agua de baja salinidad (Fig.3). De manera general se puede concluir que dentro del tramo permeable se pueden diferenciar dos tramos con diferentes valores de transmisividad que se traducen en diferentes tiempos de recuperación de la conductividad. La posibilidad de encontrar roto o fisurado el entubado de las piezómetros es evidente, lo cual puede causar ciertas problemas en las medidas, ya que si estas fisuras se encuentran en la zona de limos, éstos confieren una salinidad residual bastante elevada al agua. Es pues un factor a tener en cuenta al efectar muestreos.

Paralelamente se está empleando el modelo de simulación de transferencia de masas por el método de las características (Konikow y Bredehoeft, 1978) con el que se pretende simular la variación en el espacio y en el tiempo de las concentraciones de cloruros en todo el acuífero, así como la variación de los niveles piezométricos en función de la recarga. En la aplicación de este modelo se está empleando como base el ya existente Modelo de Flujo del Llobregat, al mismo tiempo que se introducen algunas modificaciones para obtener el detalle requerido en las zonas de interés. Ya está en inicio la construcción del pozo piloto de recarga cuyo proyecto está llevando a cabo la Dirección General de Obras Hidráulicas, en el que colabora la Universidad Politécnica de Cataluña.

#### 4.2 ESTUDIOS EN EL ACUITARDO

Los primeros estudios sobre el acuitardo permitieron conocer que se trata de una unidad de materiales limo- areno- arcillosos, de origen marino, que contiene agua intersticial salina congénita (Peláez, 1983). La aplicación de la teoría de la dispersión en medio poroso a datos hidroquímicos proporcionó los primeros valores de parámetros hidrodinámicos de la unidad:

- la permeabilidad vertical varía entre  $5 \times 10^{-5}$  y  $1 \times 10^{-6}$  m/día



- el coeficiente de dispersión hidrodinámica varía entre  $18 \times 10^{-6}$  y  $3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{día}$  para el Cl, trazador prácticamente ideal, y entre  $8 \times 10^{-6}$  y  $2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{día}$  para el Na.

También se puso de manifiesto que el agua salina original de los limos había sufrido una dilución vertical ascendente en su parte inferior, debido al flujo de agua dulce del acuífero profundo en épocas pasadas en que el gradiente hidráulico favorecía dicho flujo.

Estudios posteriores (Manzano,1986) han permitido un mejor conocimiento de la naturaleza de los materiales que forman el acuitardo, los cuales se atribuyen a un ambiente prodeltaico, mientras que actualmente se realizan estudios más detallados enfocados hacia las reacciones agua-sólido en el seno de la unidad. Para estos trabajos se dispone de datos hidrogeoquímicos de agua intersticial obtenida por compactación de muestras de material inalterado, que proporcionan perfiles verticales similares a los que ya se conocían aunque menos alterados respecto a la composición real del agua intersticial. Esto es debido a la mayor efectividad del método de extracción usado en este caso, compactación, frente al de dilución utilizado en los primeros estudios.

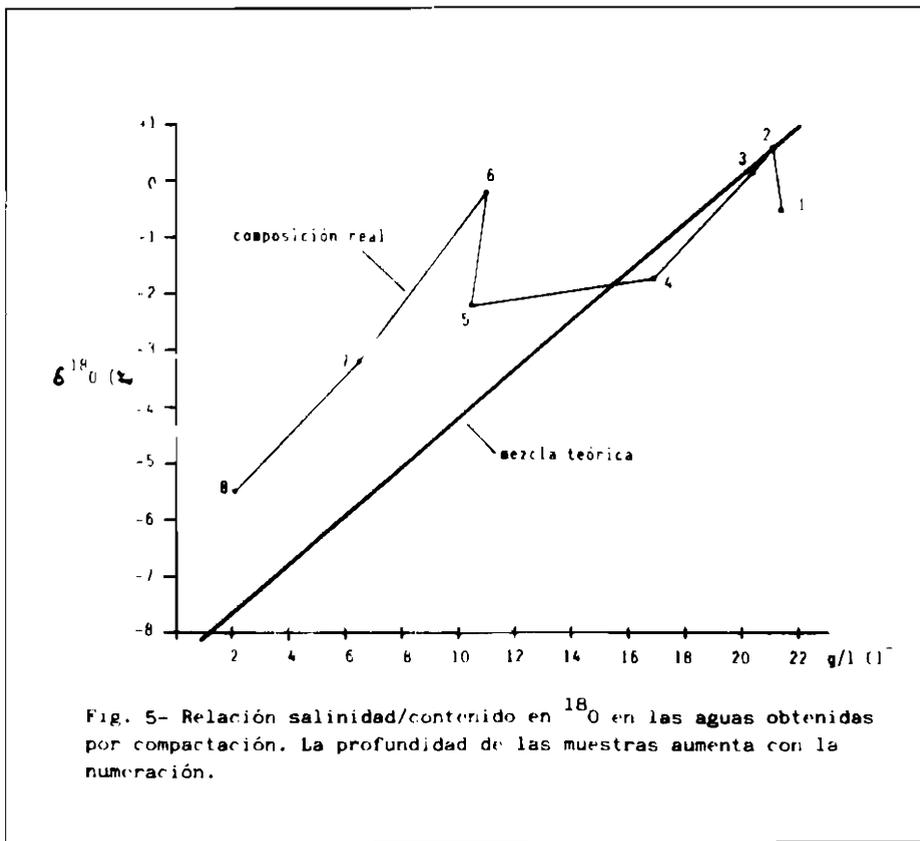
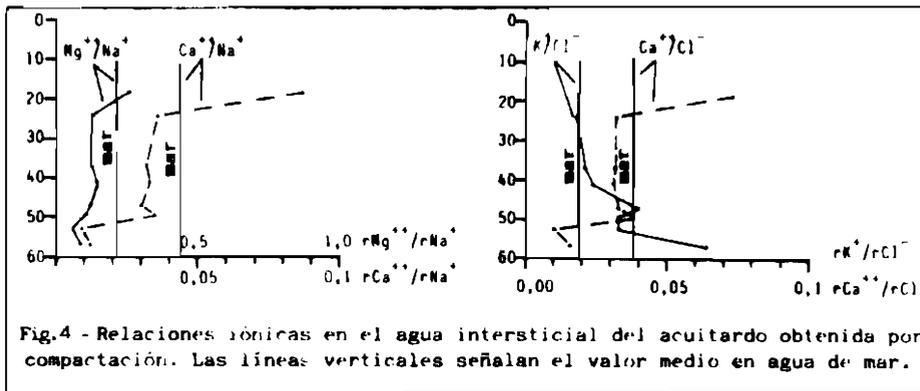
Resultados preliminares parecen mostrar que los principales procesos hidrogeoquímicos que ocurren en el seno de los limos son (Manzano y Custodio,1987):

- intercambio catiónico de Na,Mg y Ca (Fig. 4) como muestran, paralelamente, el aumento con la profundidad del primero y la disminución de los segundos,
- alteración de ciertas fases silicatadas como feldespatos y arcillas portadoras de K , que se traduce en un aumento de éste en profundidad (Fig. 4),
- fraccionamiento isotópico y/o difusión diferencial de O-18 y D, cuyos contenidos se apartan del teórico esperado para mezcla simple de agua marina de los limos y agua dulce del acuífero inferior (Fig. 5).

Los estudios encaminados a la comprobación y mejor conocimiento de estos procesos continúan.

## **5.- COMENTARIOS FINALES**

- La intrusión marina en el acuífero profundo del delta del Llobregat continúa progresando a pesar del descenso de las extracciones, aunque parece haberse frenado e incluso iniciado un cierto retroceso en los dos últimos años en el sector central a causa de la progresiva salinización de pozos industriales próximos a la costa en el llamado Polígono Industrial Pratense.
- Ante la posibilidad de realizar un ensayo de recarga del acuífero profundo en la zona costera, se plantea la necesidad de evaluar la cantidad y calidad de los datos que se poseen sobre el acuífero en el entorno de la zona, así como de elegir los puntos de observación adecuados controlando su funcionamiento y representatividad . Los



complejidad del proceso de mezcla agua dulce-agua salada, en el que la interacción con el medio sólido origina cambios notables en la composición química. Estos procesos son totalmente asimilables a los que suceden en el acuífero, con una escala de tiempo diferente, y se pueden considerar como una analogía para el estudio de los procesos durante la recarga.

## **6-BIBLIOGRAFIA**

CUSTODIO, E., BAYO, A. y PELAEZ, M.D. (1971): Geoquímica y datación de aguas para el estudio del movimiento de las aguas subterráneas en el delta del Llobregat (Barcelona). Primer Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Sección 6, Madrid pp.51-80

CUSTODIO, E.; CACHO, F.; PELAEZ, M.D y GARCIA, I.L. (1976): Problemática de la intrusión marina en los acuíferos del delta del Llobregat. II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Barcelona, Dic. 1976. Instituto Geofísico y Catastral. Madrid pp. 2069-2101

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1976) (Ed): Hidrogeología Subterránea. Editorial Omega. Vol II. Secc 13 y 19.

CUSTODIO, E.; IRIBAR, V.; MANZANO, M.; BAYO, A. y GALOFRE, A. (1985). Evolution of sea water intrusion in the Llobregat Delta. Barcelona, Spain. IX Salt Water Intrusion Meeting. Delf, the Netherlands.

CUSTODIO, E. y BAYO, A. (1986): Interactions between land use and aquifer behaviour in the surroundings of Barcelona (Spain). 19th Congres. International Association of Hydrogeologists. Karlove Vary, Czechoslovakia.

KONIKOW, L.F. and BREDEHNOEFT, I.D. (1978): Computer Model of two dimensional solute transport and dispersion in groundwatwer. Geological Service Book 7. Chapter C-7.

MANZANO, M. (1986): Estudio sedimentológico del prodelta holoceno del Llobregat. Tesis de Licenciatura. Universidad de Barcelona.

MANZANO, M.; CUSTODIO, E. (1987): Muestreo de agua intersticial en acuitardos: aplicación al Delta del Llobregat. IV Simposio de Hidrogeología. Palma de Mallorca. Octubre. 1987. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos XII pp. 883-897.

MOP (1966): Estudios de los recursos totales de las cuencas de los ríos Besós y Bajo Llobregat. Comisaría de Aguas del Pireneo Oriental y Servicio Geológico de Obras Publicas. 4 Vol. Barcelona.

MOP (1986): Recarga artificial de acuíferos. Servicio Geológico. Boletín de Informaciones y Estudios N.45, Febrero 1986

**MOP (1986): Recarga artificial de acuíferos. Servicio Geológico, Boletín de Informaciones y Estudios N.45, Febrero 1986**

**PELAEZ, M.D. (1983): Hidrodinámica en formaciones semipermeables a partir de la composición química y radioisotópica del agua intersticial: aplicación a los limos intermedios del delta de Llobregat. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.**