

PARTE V. LUCHA CONTRA LA INTRUSION SALINA

5.1. Introducción

5.2. Modificaciones del bombeo o su redistribución

5.3. Recarga artificial

5.4. Barreras de inyección

5.5. Barreras físicas

5.6. Barreras de bombeo

5.7. Ejemplos

5.1. INTRODUCCION

En un acuífero costero sin explotación existe un equilibrio agua dulce-agua salada que depende del volumen de agua dulce que vierta al mar. Cuando el acuífero es explotado, el volumen de agua dulce que fluye hacia el mar se reduce y la interfase tiende a alcanzar un nuevo equilibrio, penetrando tierra adentro. Si el volumen de extracción es mayor que la recarga del acuífero, el proceso dinámico de la intrusión es continuo y en un cierto tiempo los pozos o sondeos de explotación se contaminarán por agua salina. Por lo tanto, para mantener la interfase en un cierto equilibrio hay que dejar que una porción de volumen de agua dulce se vierta hacia el mar.

Para evitar los avances no deseables de la intrusión existen una serie de métodos como son:

- Modificación del bombeo o su redistribución
- Recarga artificial
- Barreras de inyección
- Barreras físicas
- Barreras de bombeo

5.2. MODIFICACION DEL BOMBEO O SU REDISTRIBUCION

En un acuífero costero si se disminuye el bombeo de extracción de los pozos se reducirá la penetración de la cuña salina responsable de la contaminación. Con ello se podrá controlar el avance salino hasta situarlo en la posición deseada.

Esta técnica plantea una serie de desventajas como son:

- Pérdidas de agua dulce al mar que son difíciles de recuperar.
- Encontrar abastecimientos alternativos en otras zonas para cubrir las disminuciones en los bombeos.
- Lentitud del retroceso de la interfase cuando esta ha sobrepasado los límites de penetración admisibles.

A veces la intrusión salina es debida a una excesiva concentración de los puntos de bombeo en una determinada zona cercana a la costa. Si el volumen total bombeado en esta zona no es suficiente para provocar un excesivo avance de la cuña salina, se puede limitar la intrusión redistribuyendo los pozos de explotación. Este

método supone el no reducir el volumen de agua dulce al mar y el diseño y construcción de nuevas redes de distribución del agua. La figura 5.1 ilustra la diferencia de la posición de la cuña salina con una nueva situación del punto de bombeo.

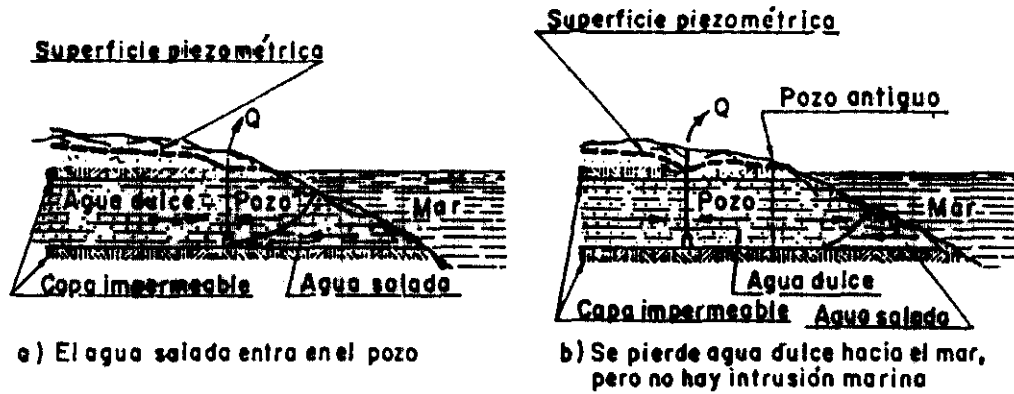


Fig. 5.1. Modificación de la cuña salina en función del punto de bombeo.

5.3. RECARGA ARTIFICIAL

Otro método para combatir el avance de la intrusión es la recarga artificial. El fundamento de este sistema de lucha, consiste en la formación y mantenimiento de una cresta de presión de agua dulce, adyacente y paralela a la costa, a suficiente altura sobre el nivel del mar como para rechazar al agua salobre.

Esta cresta en el caso de un acuífero libre, se produce en la capa freática, y en el caso de un acuífero confinado en la superficie piezométrica (fig. 5.2).

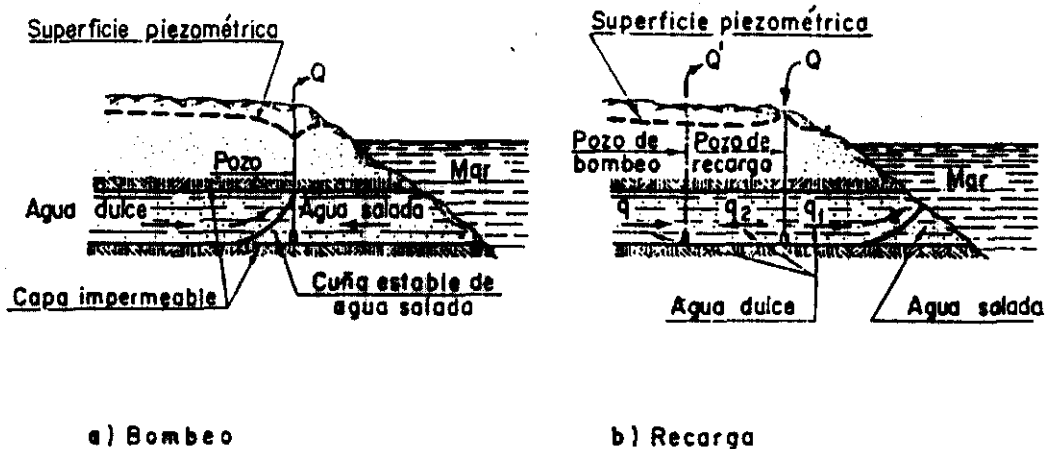


Fig. 5.2. Recarga artificial

Para realizar la recarga artificial se requiere disponer de agua barata. Para ello hoy día se utilizan aguas residuales depuradas o bien aguas pluviales. Los dispositivos de recarga pueden ser extensivos (canales de infiltración, excavaciones, etc.) en los que la infiltración es rápida o puntuales.

5.4. BARRERAS DE INYECCION

Consiste este método en establecer y mantener una recarga a lo largo de la costa de tal forma que se

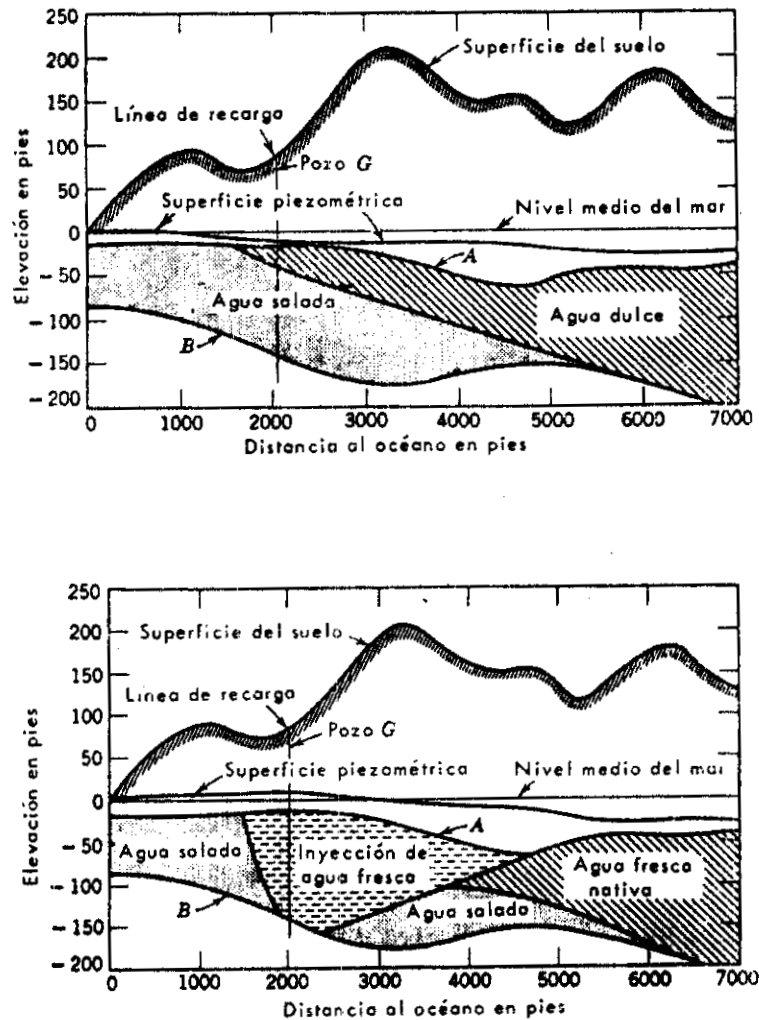


Fig. 5.3. Evolución de la cuña salina. La figura superior refleja el estado del acuífero antes de comenzar la inyección de agua. La inferior después de dos años de recarga (Todd, 1966)

tenga una elevación del nivel piezométrico superior al potencial de agua dulce necesario para evitar que el agua marina fluya hacia el interior del acuífero.

Cuando el acuífero es libre, esta barrera de inyección puede hacerse mediante canales o zanjas paralelas a la costa o pozos cercanos.

La separación entre los puntos de inyección es una optimización entre los costes de ejecución y mantenimiento y el mayor consumo de agua necesario para mantener un nivel mínimo entre ellos, que es mayor cuanto mayor es la separación.

Las desventajas son el coste de los pozos de inyección y del agua utilizada por lo que es muy interesante usar aguas residuales tratadas. Frente a esto tiene como ventajas en comparación con otras técnicas, la posibilidad de bombear sin grandes limitaciones y no tener pérdidas de agua dulce al mar.

En la figura 5.3 se puede ver un esquema del funcionamiento y los logros conseguidos con una barrera de inyección utilizada en el Llano de los Angeles (USA).

5.5. BARRERAS FISICAS

La construcción de una barrera física que consiga impermeabilizar el acuífero a lo largo de la costa, es otro método para impedir la entrada de agua del mar al acuífero.

Cuando el acuífero es relativamente superficial la barrera puede realizarse mediante el relleno de zanjas con materiales impermeables (arcillas, cementos, asfaltos, etc.). En acuíferos más profundos es necesario la inyección de productos impermeabilizantes a través de sondeos los cuales, deben estar muy cercanos para que la barrera sea efectiva.

Este método tiene como inconveniente su elevado costo y la dificultad de una alta efectividad en la impermeabilización. La aplicación de las barreras físicas sólo es factible en acuíferos poco potentes.

Frente a las desventajas enumeradas en el párrafo anterior, la construcción de una barrera física permite una explotación intensa del acuífero sin riesgo de salinización.

5.6. BARRERAS DE BOMBEO

Esta técnica tiene como objeto crear en una zona próxima a la costa, mediante una batería de sondeos, una depresión del nivel del agua. Los pozos deben estar situados dentro de la cuña salina de tal manera que el agua extraída sea agua salina. De esta forma la penetración de la cuña salina queda limitada a la línea de pozos, aunque una pequeña porción de aquella quede hacia el interior de la costa (fig. 5.4)

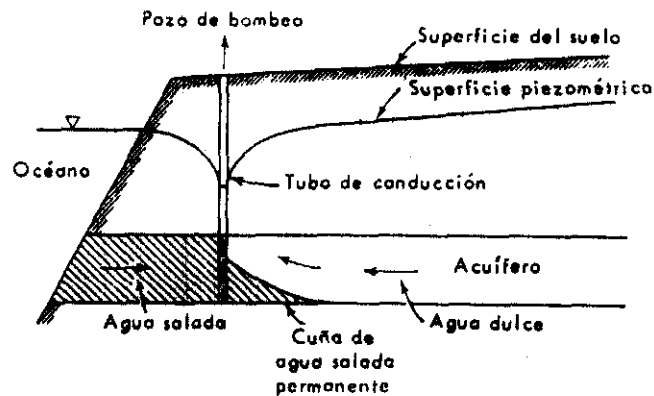


Fig. 5.4. Esquema de una barrera de bombeo (Todd, 1966)

Los inconvenientes de esta técnica radican en la carestía de la construcción de los pozos y su bombeo además de una pérdida de agua dulce al mar. Las extracciones de agua en el acuífero deben ser inferiores a la recarga para poder mantener estable la cuña salina situada hacia el interior de la costa.

5.7. EJEMPLOS

Se expone a continuación un ejemplo de lucha para controlar la invasión de agua salada de origen marino, desarrollada en la playa de Manhattan en el estado de California (U.S.A.)

El método consistió en una barrera de inyección en un acuífero confinado que presentaba aguas salobres con contenidos de cloruros del orden de los 16.000 p.p.m. (fig. 5.3). La línea de inyección paralela a la costa, se situó a unos 600 m. de ésta en donde el nivel piezométrico se encontraba entre 2 y 4 m. sobre el nivel del mar. Los sondeos, de un diámetro de 12 pulgadas, tenían un

empaquetado de gravas de 3 pulgadas de espesor y estaban separados entre ellos unos 150 m. La longitud de la línea de recarga fue de 1.200 m. Para observar la evolución de la operación de recarga se perforaron numerosos piezómetros.

La inyección de agua dulce comenzó a principios de 1953 en un sondeo; con posterioridad se amplió a cuatro pozos y finalmente a ocho. La evolución de los perfiles de presión normales (a) y a lo largo de la línea de recarga (b) pueden verse en la fig 5.5.

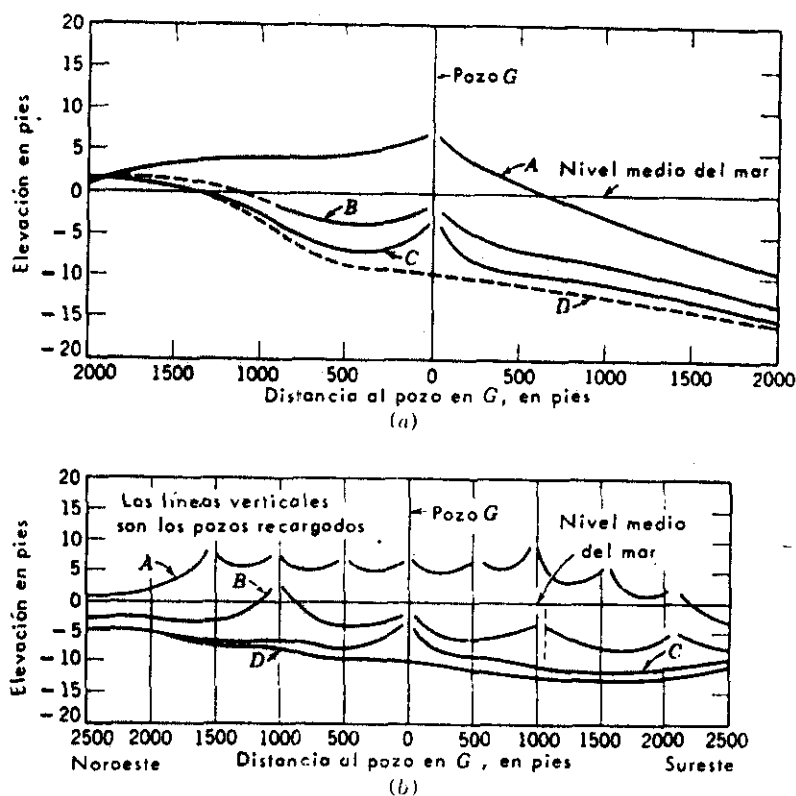


Fig. 5.5. Nivel piezométrico normal (a) y a lo largo de la línea de recarga (b). A, 16 de Septiembre; B, 15 de Junio; C, 10 de Marzo; D, nivel estático antes del comienzo de la prueba (Todd, 1966)

El caudal inyectado en el conjunto de los 8 pozos fué de algo más de 140 l/seg. Sólomente el 5% del volumen de agua inyectado se perdió hacia el mar. Fue necesario clorar el agua de inyección para prevenir la formación de bacterias.

Los resultados de la recarga se pueden ver en la fig. 5.3. La (a) ilustra la situación antes de comenzar la prueba y la (b) dos años después. La evolución de los cloruros en los pozos de observación puede observarse en la figura 5.6.

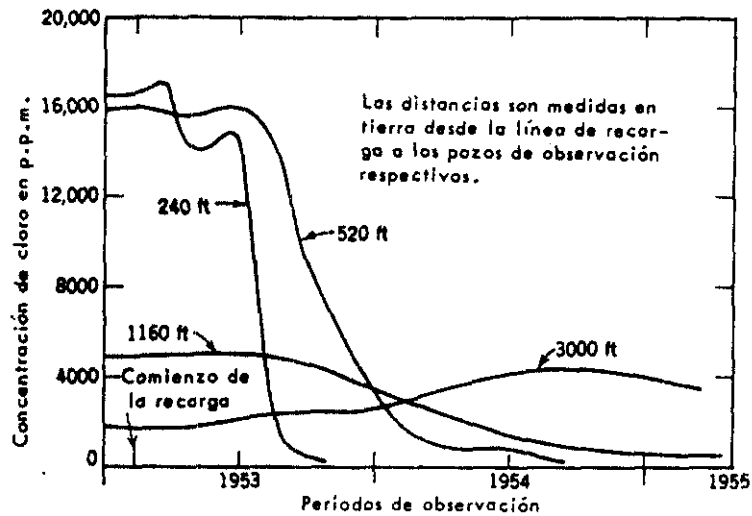


Fig. 5.6. Evolución de los cloruros con el tiempo (Todd, 1966)

Este experimento demostró la viabilidad de las barreras de recarga para detener la intrusión salina, tanto económica como técnicamente.

- Río Vélez (Málaga)

El ejemplo que se describe, es un proyecto piloto que el IGME pretende realizar en el aluvial del río Vélez. Este proyecto tiene por objeto evaluar técnica y económicamente las posibilidades de creación de una barrera impermeable con el fin de impedir la contaminación salina del acuífero.

El acuífero del río Vélez presenta un estrechamiento cerca de la costa, aproximándose sus bordes impermeables a una distancia menor de 500 m. (fig. 5.7). La sección del acuífero en esta zona es de forma triangular y la base impermeable, se encuentra a una profundidad máxima de 40 m. La cota topográfica no supera los 10 m. s.n.m. Las características hidrogeológicas del acuífero son las siguientes: transmisividad 5.000 m²/día; coeficiente de almacenamiento 10%; gradiente hidráulico 0,3%.

El estado actual de los conocimientos que se poseen del acuífero, permite simular los efectos de las impermeabilizaciones bien con modelos matemáticos de flujo o con modelos analógicos del tipo "cajón de arena". En ambos casos se simulará el flujo natural sin extracciones, para seguir la simulación con las extracciones actuales y acabar con la barrera impermeable.

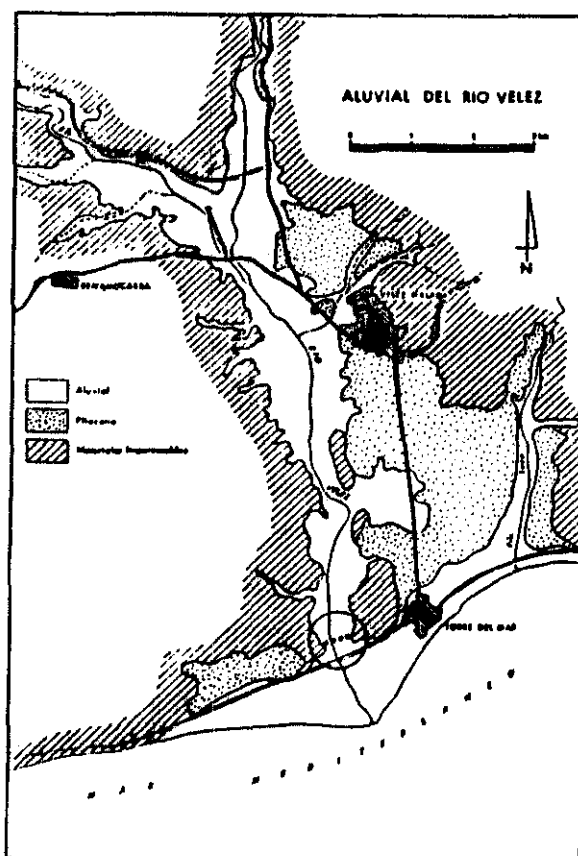


Fig. 5.7. Esquema geológico

El diseño de los procesos físicos es la elección de un fluido impermeabilizante, el mortero, por ejemplo, con tiempo de fraguado conocido y regulable antes de la inyección para poder así, realizar los sondeos de inyección a la distancia precisa para que el fraguado del cemento se produzca en el lugar elegido para crear la pantalla (fig. 5.8). En el cálculo de la distancia entre la zona de inyección y la de fraguado del cemento, se debe tener muy en cuenta la diferencia de la permeabilidad del terreno con el agua y con fluidos de densidad y viscosidad diferentes.

En consecuencia lo que se persigue con la simulación por medio de modelos analógicos, del tipo "cajón de arena", es poder ensayar, a escala reducida, diferentes fluidos y mezclas de impermeabilizantes y sus tiempos de fraguado.

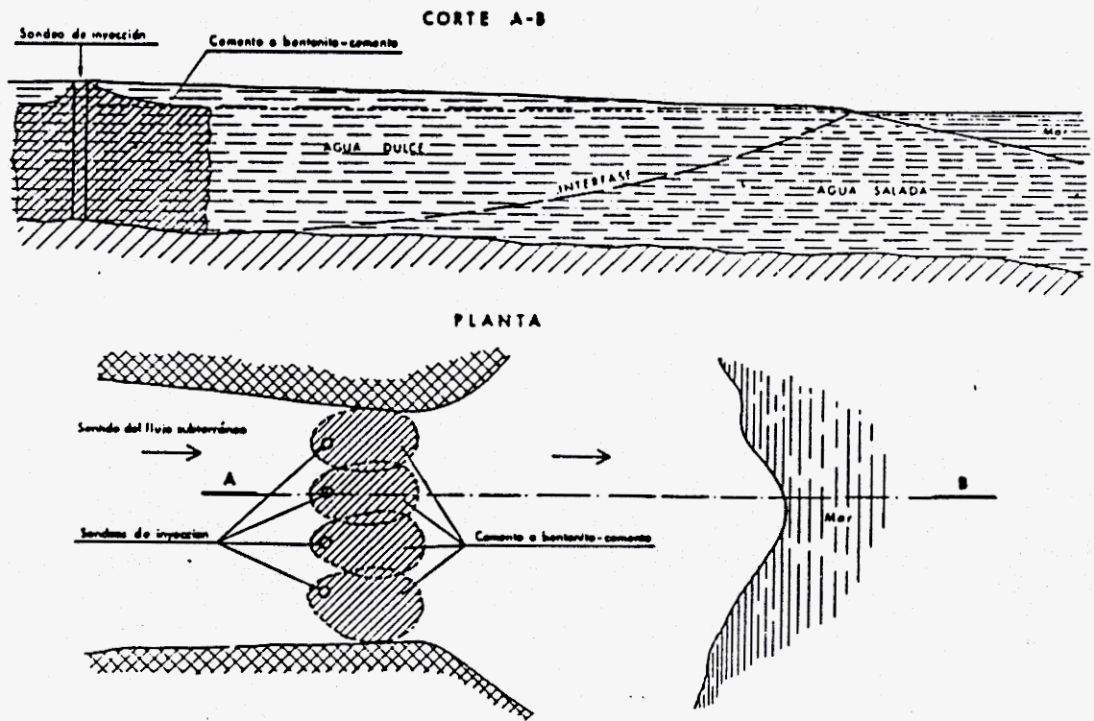


Fig. 5.8. Detalle de la barrera impermeable