FLUCTUACIONES DEL NIVEL PIEZOMETRICO EN EL DELTA DEL RIO ADRA (PROVINCIA DE ALMERIA)

Francisco Sánchez Martos

RESUMEN

El acuífero del delta del río Adra ha sido objeto de un análisis detallado sobre la evolución piezométrica ocurrida a lo largo de diez años: desde 1977 hasta 1987. Dicho análisis se ha efectuado a partir de la elaboración de dos planos de isopiezas por año que, en los puntos más representativos, se han complementado con una serie de gráficos sobre evolución de niveles relacionados con el régimen pluviométrico de la zona. Se han diferenciado dos periodos: 1º) 1977-1981 y 2º) 1981-1987. Las precipitaciones del primer periodo están muy cercanas al módulo pluviométrico y las fluctuaciones de niveles mantienen estrecha relación con el régimen de lluvias, correspondiendo las cotas negativas solamente al otoño.

En el segundo periodo se reducen bruscamente las lluvias, por lo que, tanto en primavera como en otoño, aparecen áreas con niveles piezométricos negativos que en algunos casos se extienden hasta la línea de la playa.

RESUME

L'aquifère du delta du Río Adra a été sujet d'une analyse minutieuse sur l'évolution piézomètrique pendant dix ans: dépuis 1977 jusq à 1987. Cette analyse a été réalisé avec deux cartes d'isopiézes èlaborées pour

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 1

chacun des ans qui, dans les points les plus représentatifs, ont été parfaites avec des représentations graphiques sur l'évolution de niveaux qui se rapportent avec le régime pluviomètrique de cette zone. Il y a deux périodes très différentes: 1º) 1977-1981 y 2º) 1981-1987. Les précipitations de la prémière période sont très près de la mesure moyenne global, et les fluctuations de niveaux se rapportent avec le régime de pluies, en se montrant negatives les côtes en automne. Il y a une forte reduction des pluies dans la deuxième période. Ce motif produit l'apparition d'aires avec des niveaux piézomètriques negatifs au printemps et aussi en automne; quelques fois cettes aires-ci arrivent jusqu à la ligne du plage.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 2

INTRODUCCION

El acuífero costero del delta del río Adra se localiza en el extremo Suroeste de la provincia de Almería. Los bordes meridionales de la Sierra de Gádor y Sierra de la Contraviesa, por un lado, y el mar Mediterráneo por otro, constituyen sus límites, extendiéndose a lo largo de 22 Km². El acceso se efectúa por la carretera Nacional 340, que atraviesa el delta de Este a Oeste.

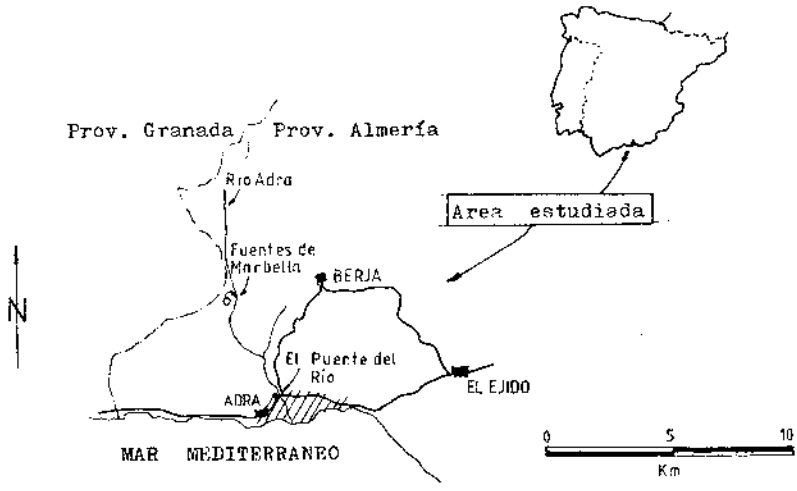


Figura nº 1. Localización del delta del río Adra.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 3

Adra, el núcleo de población más importante, está ubicado en el extremo occidental. Sus habitantes obtienen la producción agrícola mediante pequeñas parcelas de cultivos enarenados y de invernadero. En el extremo oriental se encuentran las Albuferas (Honda y Nueva). Ambas constituyen una de las zonas húmedas de la provincia de Almería.

Los estudios hidrogeológicos referidos a este sector han sido realizados por diversos organismos: el IGME, en los años setenta publicó una síntesis que completó más tarde con una serie de datos sobre la evolución de niveles. La Comisaría de Aguas del Sur de España y el Servicio Geológico de Obras Públicas, que han llevado a cabo numerosos trabajos, mantienen una red de observación de niveles y control de parámetros hidrogeoquímicos. La Universidad de Granada dentro del Proyecto LUCDEME y por medio del Departamento de Geodinámica, abordó el estudio de la hidrogeología de la Cuenca del río Adra, dentro de la cual se encuentra el delta.

El contenido de este artículo es fruto de un trabajo realizado para la Agencia del Medio Ambiente. Se analiza detalladamente la evolución piezométrica del delta del río Adra en los últimos diez años, confiriendo tratamiento especial a la evolución de los niveles y a la variación temporal de la morfología de la superficie piezométrica.

Quede expresa mi gratitud a: D. Hermelindo Castro Nogueira, Director Provincial de la Agencia de Medio Ambiente, D. José Luis Martínez Vidal, del Colegio Universitario de Almería, D. Antonio Carrasco de ENADIMSA, al Instituto Geológico y Minero de España por la documentación facilitada, a la Comisaría de Aguas del Sur de España por las facilidades dadas para utilizar sus datos piezométricos y a D. Antonio Pulido Bosch, del Departamento de Geodinámica de la Universidad de Granada por la colaboración y el asesoramiento prestados. Finalmente, una consideración especial en la persona de D. Manuel Navarro Jiménez, de la Agencia de Medio Ambiente, por su imprescindible ayuda en la recogida de material y por haber sido, en definitiva, el principal impulsor del presente trabajo.

RASGOS GEOLOGICOS

En los relieves que rodean al delta están ampliamente representados los materiales alpujárrides (Figura 2, Aldaya, 1985). En las estribaciones de Sierra de Gádor afloran materiales pertenecientes a los Mantos de Lújar y Murtas. Este último presenta la secuencia típica de cuarcitas y esquistos

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 4

paleozoicos, filitas y cuarcitas permotriásicas con calizas y dolomías triásicas. La composición del Manto de Lújar es semejante, si bien hay en él un mayor espesor de materiales carbonatados. Las vertientes de la Contraviesa están constituidas mayoritariamente por el Manto de Adra, compuesto de micasquistos y cuarcitas con estructura tectónica muy compleja.

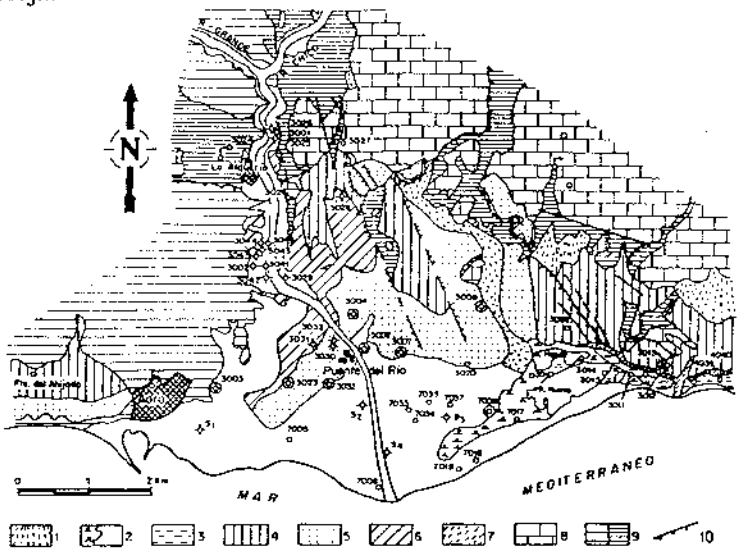


Figura nº 2. Plano hidrogeológico del delta del río Adra. 1 a 7 materiales neógeno-cuaternarios (1:conos de deyección; 2:marismas; aluviales y delta actual; 3:limos rojos; 4:glacis; 5:glacis cementado; 6:conglomerados "facies deltaica"; 7:calcarenitas; 8 y 9: materiales alpujárrides (8:calizas y dolomías; 9:esquistos, filitas y cuarcitas) 10:manto de corrimiento. Tomado de PULIDO BOSCH, 1988.

El presente estudio se ha efectuado en la franja costera, donde se encuentran materiales neógeno-cuaternarios. La serie, de abajo hacia arriba, comprende en primer lugar calcarenitas miocenas que afloran de forma reducida. Los materiales de edad Plioceno inferior y medio corresponden a depósitos deltaicos y litorales que forman una serie detrítica de areniscas y conglomerados con cantos de naturaleza variable, apareciendo incluso facies margosas profundas.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 5

El Pleistoceno marino se observa en dos pequeñas terrazas de poca extensión. Los sedimentos continentales tienen un mayor desarrollo, con diversas litologías que corresponden a depósitos aluviales recientes (limos, gravas, glacis).

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

Los terrenos de edad Neógeno-Cuaternario que rellenan el delta del río Adra se comportan de modo complejo, debido, por un lado a la heterogeneidad de sus materiales de borde (rocas carbonatadas, filitas y materiales metapelíticos) y, por otro, a las diferentes litologías de los sedimentos. Todo ello, unido a la compleja geometría de los materiales, puede dar lugar a la existencia en una misma vertical de varios tramos acuíferos separados por otros acuitardos.

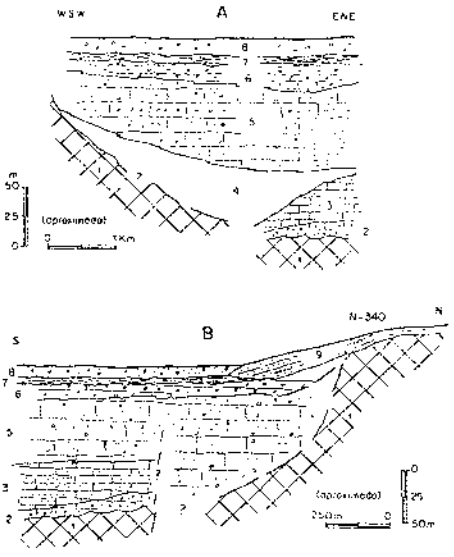


Figura nº 3. Cortes esquemáticos del delta del río Adra. El A es longitudinal; el B representa una transversal cercana a las Albuferas. 1:metapelitas; 2:conglomerados calcáreos; 3:calcarenitas y calizas conglomeráticas; 4:margas; 5 y 6:conglomerados calcáreos y calcarenitas; 7:limos; 8:aluviones. Tomado de BENAVENTE et.al.1987.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 6

Apenas hay datos referidos a parámetros hidraúlicos y, como indica Benavente (1987), los pocos que existen son de escasa representatividad. Pulido Bosch (1988) distingue tres sectores en función de los valores de transmisividad, siendo el más transmisivo el comprendido entre El Puente del Río y la confluencia de Río Grande y Río Chico, con valores que oscilan entre 4.000 y 18.000 m^2/día. El cauce antiguo, desde La Alquería hasta Adra, oscila entre 1.500 y 3.000 m^2/día. Los valores estimados más bajos corresponden a los puntos acuíferos que explotan el delta actual, con valores que varían entre 200 y 900 m^2/día. Para el coeficiente de almacenamiento no existe ninguna determinación; el valor estimado por Pulido Bosch (op. cit.) es de 0.1, obtenido de forma ponderada.

La mineralización de las aguas presenta valores mínimos de 1.4 g/l en el sector de cabecera próximo al río, y va incrementándose hacia el Este, donde alcanza valores cercanos a 4 g/l.

La facies sulfatada, bien cálcica o/y magnésica, predomina en las áreas más cercanas al cauce, mientras que la facies clorurada se limita al tercio oriental del delta (Benavente et al., 1987). Pulido Bosch (1988) manifiesta la similitud del quimismo del agua con facies sulfatada del delta y el agua de las Fuentes de Marbella, a la vez que interpreta los valores elevados de la relación rCl/rSO4 como consecuencia de un proceso de lavado de sedimentos marinos muy recientes, más que de un proceso de intrusión.

CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

El delta del río Adra ha tenido un uso tradicionalmente agrícola, lo cual ha originado una gran demanda de agua para completar el riego de las parcelas, suponiendo esto, a su vez, una gran proliferación de captaciones con caudal y profundidad variables. En cuanto a la distribución de los puntos acuíferos, al norte de El Puente del Río y en las cercanías de La Alquería predominan los sondeos, con profundidades del orden de 60 m y caudales entre 15 y 70 l/s. En una franja paralela a la carretera nacional 340 se puede comprobar la existencia de numerosos pozos-sondeos con profundidades medias de 50 m; extrayendo caudales del orden de 40 l/s. En el delta predominan los pozos con profundidades comprendidas entre 5 y 10 m y que actualmente en su mayor parte no se utilizan.

En este trabajo se ha realizado un estudio detallado de la evolución de los niveles piezométricos de 35 captaciones (figura nº 4), situadas en el del delta, a lo largo de 10 años (1977-1988). El criterio para seleccionar los puntos ha sido la disponibilidad de datos y la no utilización de la captación

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 7

para riegos, con lo que la información obtenida está influida al mínimo por acciones externas a la dinámica del acuífero.

Estas dos condiciones han determinado la extensión del área a estudiar, quedando delimitada casi exclusivamente a la superficie situada entre la carretera N-340 y el mar Mediterráneo. No se ha trabajado la zona situada al Norte de El Puente del Río, debido fundamentalmente a las importantes extracciones que tienen lugar (Pulido Bosch, 1988 estima del orden de 1 0 Hm^3/año en 8 sondeos), con lo que se obtienen niveles dinámicos. Estos importantes volúmenes son posibles si tenemos en cuenta que la alimentación más importante del delta se produce por la infiltración directa en el cauce del río, especialmente en las zonas cercanas a los sondeos anteriormente citados por Pulido Bosch (op. cit.). Estos factores se ven favorecidos por los elevados valores de Transmisividad (4.000-18.000 m^2/día) y permeabilidad (100-200 m/día). (Morales, 1986).

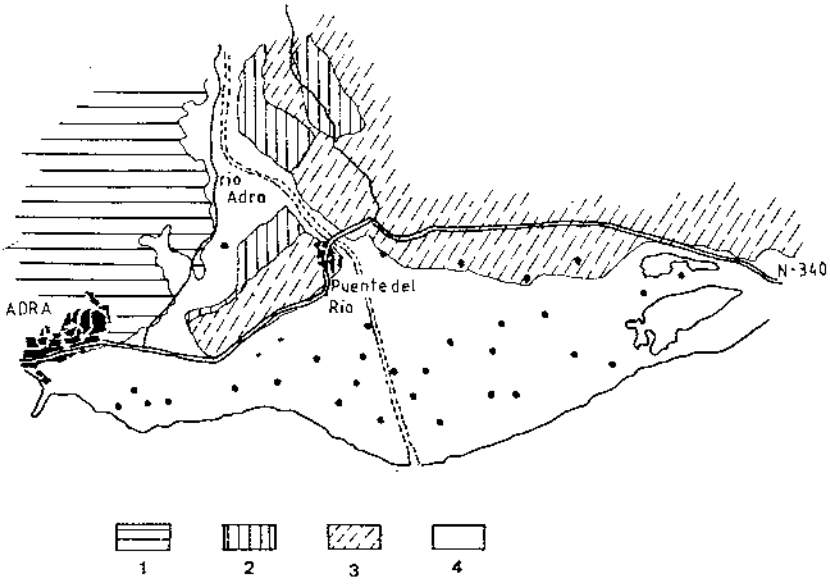


Figura nº 4. Situación de los puntos utilizados para dibujar los planos de isopiezas. 1: materiales metapelíticos; 2:formación deltaica pliocena; 3:glacis; 4:delta.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 8

Los dos momentos más claros para ver la evolución estacional son (figura nº 5) Abril, final de la época lluviosa, periodo de aguas altas, y los meses de Octubre y Noviembre, final de la época seca. Dentro del periodo que aborda este trabajo, se pueden diferenciar claramente dos fases: antes y después de 1981. A partir de esa fecha hay una disminución clara de las precipitaciones hasta valores cercanos a 200 mm/año. (figura nº 5). Con los datos disponibles se han dibujado 2 planos de líneas isopiezas por año, correspondientes a la época de niveles altos (primavera), y a la de estiaje (otoño).

Las líneas se disponen de forma radial, con las cotas mayores en los puntos cercanos al cauce y en los alrededores de El Puente del Río. Es de resaltar la heterogeneidad en la distribución de las isopiezas. El gradiente hidraúlico disminuye ostensiblemente con la proximidad al mar, se pasa de 2.3% en la zona central del delta, a 0.03% en la parte más cercana a la costa. Estas variaciones se pueden interpretar por el aumento de la sección del acuífero hacia el Sur. También hay que tener en cuenta las anomalías locales. Este es el caso del sector donde se emplazaba la desecada Albufera Ancha, entre el Puente del Río y el borde costero. La albufera depositó materiales limoso-arcillosos, con menor permeabilidad que los sedimentos fluviodeltaicos de alrededor, lo que da lugar a una menor separación de las isopiezas. (Morales, 1986).

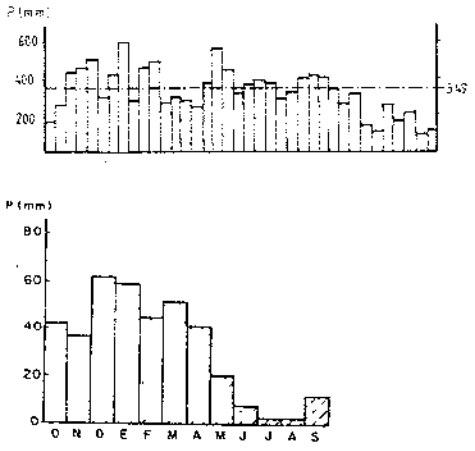


Figura nº 5. Situación de los puntos utilizados para dibujar los planos de isopiezas. 1: materiales metapelíticos; 2:formación deltaica pliocena; 3:glacis; 4:delta.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 9

Las relaciones acuífero-río son bastante claras. Se detectan dos convexidades en el trazado de las curvas isopiezas. Una de dirección NNE-SE, que coincide con el cauce actual del río. La forma divergente de las lineas de corriente indica que el río es perdedor en casi todo su recorrido. La otra convexidad, de dirección NNE-SSW, corresponde al cauce antiguo en dirección al antiguo delta. Por este tramo se produce la mayor descarga al mar, favorecida por los elevados valores de transmisividad.

Estos efectos se hacen más claros en las épocas de niveles altos, debido, a la menor incidencia de los bombeos , al conjugarse dos efectos: en la primavera las precipitaciones alcanzan los máximos, con lo que los riegos se reducen y por tanto los bombeos.

A partir de un muestreo, realizado en Marzo de 1985 Benavente et al. (1987) representa mediante tres vectores, las modificaciones hidroquímicas según las tres principales direcciones de flujo subterráneo. La figura nº 6 representa gráficamente las proporciones iónicas y los vectores citados. El vector I corresponde al antiguo cauce en dirección al mar, el II, según el cauce actual y el III representa la componente dirigida a la albufera.

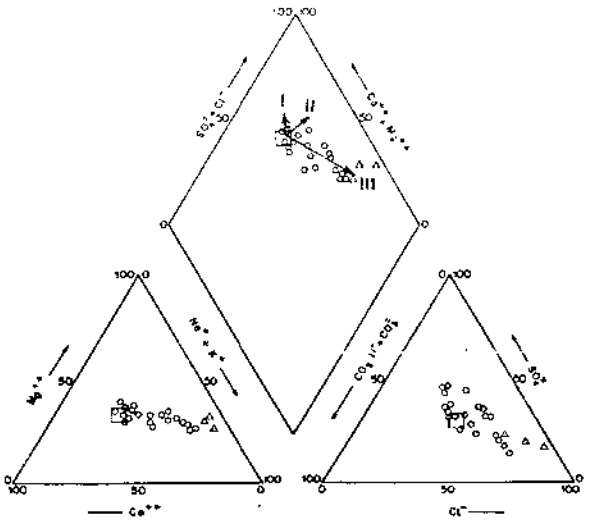


Figura nº 6. Proporciones iónicas de punto analizados en Marzo de 1985. (Triángulos:albuferas; el rectángulo corresponde a las Fuentes de Marbella) Tomado de BENAVENTE et al. 1987.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 10

Observando los planos de isopiezas correspondientes a Abril 1978, 1979 y 1981 y Febrero 1980 que corresponden a años en los que las precipitaciones están cercanas al módulo pluviométrico, se ve claramente la convexidad de las líneas isopiezas en dirección a la albufera, lo que apoyaría la hipótesis de flujo en esa dirección.

El flujo subterráneo se realiza hacia el mar, las isopiezas son sensiblemente paralelas a la línea de costa en las áreas cercanas a la playa. Unicamente en los planos correspondientes a Noviembre 1981 y Mayo 1987 muestran depresiones negativas en las cercanías de la costa, con el consiguiente riesgo de invertir el sentido de flujo subterráneo. Sin embargo, estos procesos parecen ser puntuales y con carácter temporal, no apareciendo en fechas posteriores.

Respecto a las relaciones entre el acuífero y los materiales de borde, las isopiezas tienden a ponerse perpendiculares al contacto con los materiales del Mar de Adra. En el extremo occidental ocurre algo similar, lo que lleva a pensar en el comportamiento impermeable de los materiales de borde. Sin embargo en las épocas de estiaje aparece cierto paralelismo entre el contacto y las isopiezas, especialmente claro en Noviembre de 1986. Puede explicarse esta evolución por la descarga de los materiales carbonatados cubiertos y los glacis, hacia las zonas de niveles bajos por la acción de los bombeos. No se ha podido comprobar esta hipótesis al no tener datos de captaciones al norte de la carretera N-340.

EVOLUCION DE LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

A la hora de estudiar la evolución de la superficie piezométrica se pueden diferenciar dos niveles, oscilaciones estacionales y tendencias interanuales.

Oscilaciones estacionales.-

Durante el año hidrológico los niveles del acuífero sufren oscilaciones periódicas. Oscilaciones que son el resultado de numerosas causas, todas ellas en relación con la abundancia pluviométrica, aunque tal vez una de las menos importantes sea la propia infiltración directa (Benavente, 1987). Así, en los períodos de mayor pluviosidad los riegos disminuyen y por consiguiente las extracciones, a la vez que aumenta el caudal de entrada al acuífero. Se puede afirmar que existe una dinámica bastante activa del agua subterránea en relación con los aportes pluviométricos.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 11

En las figuras nº 7 y 8 se representan las superficies piezométricas correspondientes a Noviembre 77-Abril 78, Noviembre 78-Abril 79, Noviembre 79-Febrero 80, Octubre 80-Abril 81. Se observa que las oscilaciones del nivel piezométrico no son homogéneas a lo largo de toda la exten-

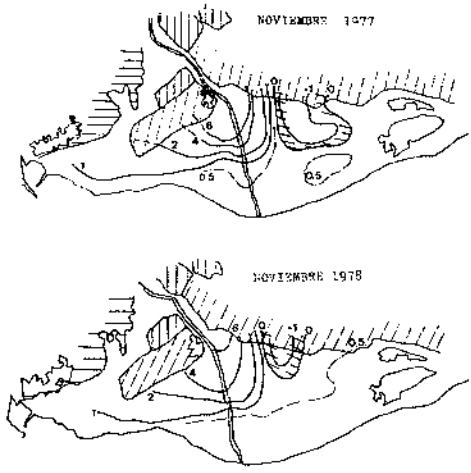


Figura nº 7A. Superficie piezométrica correspondiente a NOVIEMBRE 1977 y NOVIEMBRE 1978.

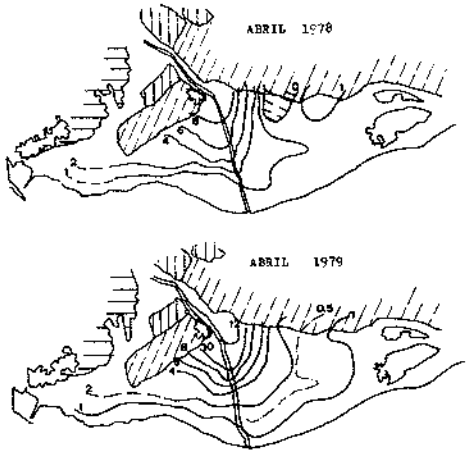


Figura nº 7B. Superficie piezométrica correspondiente a ABRIL 1978 y ABRIL 1979.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 12

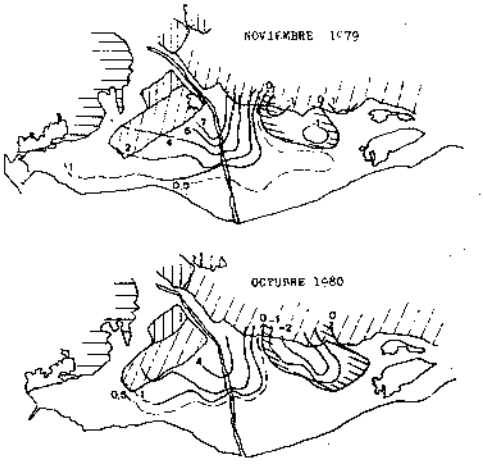


Figura nº 8A. Superficie piezométrica correspondiente a NOVIEMBRE 1979 y OCTUBRE 1980.

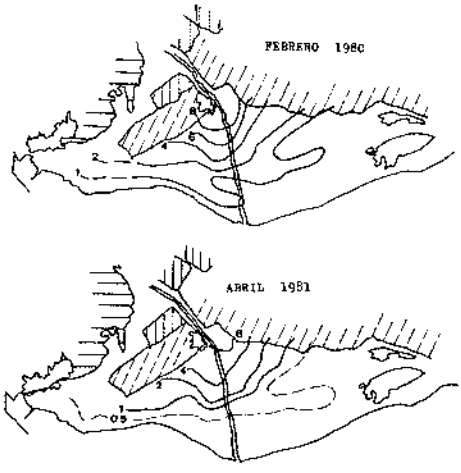


Figura nº 8B Superficie piezométrica correspondiente a FEBRERO 1980 y ABRIL 1981.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 13

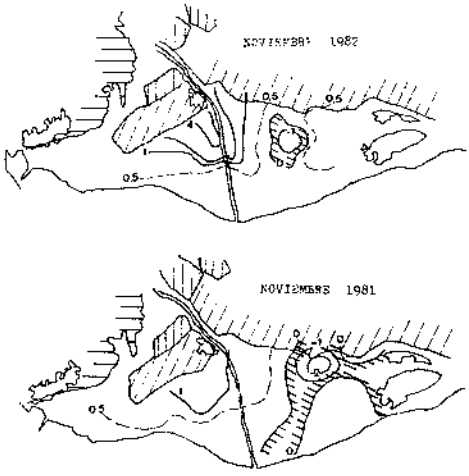


Figura nº 9A. Superficie piezométrica correspondiente a NOVIEMBRE 1981 y NOVIEMBRE 1982.

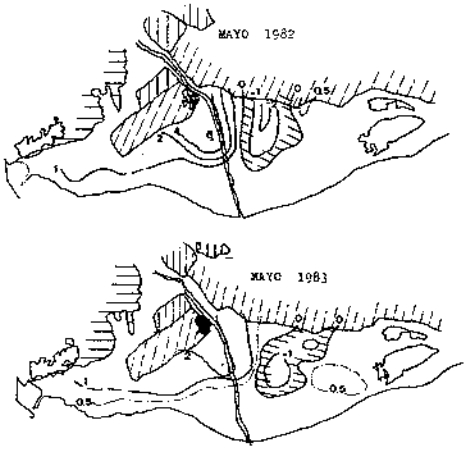


Figura nº 9B . Superficie piezométrica correspondiente a MAYO 1982 y MAYO 1983.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 14

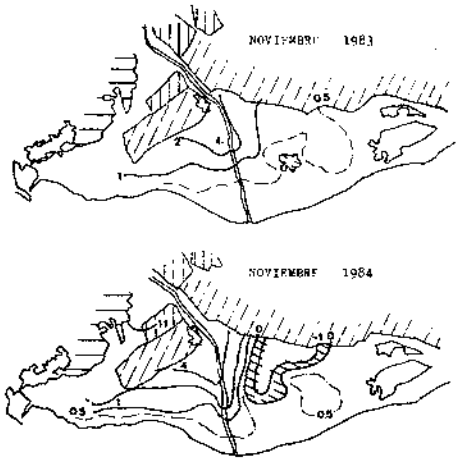


Figura nº 10A. Superficie piezométrica correspondiente a NOVIEMBRE 1983 y NOVIEMBRE 1984.

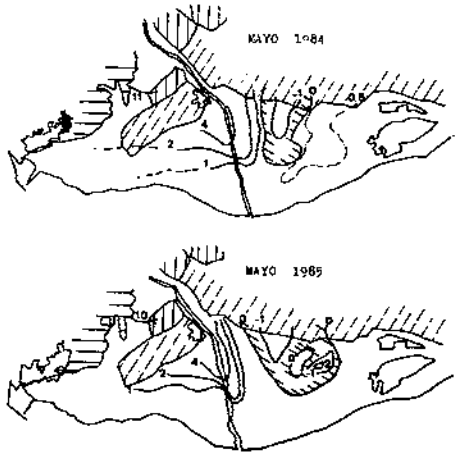


Figura nº 10B. Superficie piezométrica correspondiente a MAYO 1984 y MAYO 1985.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 15

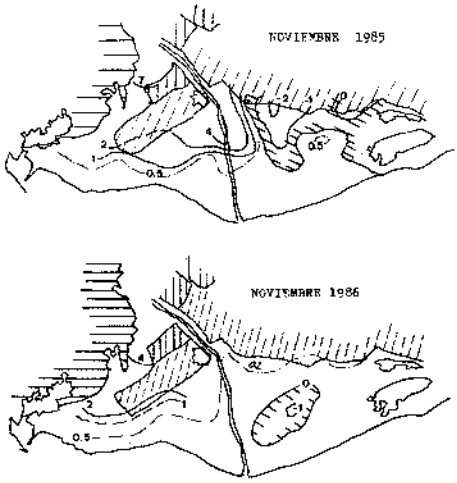


Figura nº 11A. Superficie piezométrica correspondiente a NOVIEMBRE 1985 y NOVIEMBRE 1986.

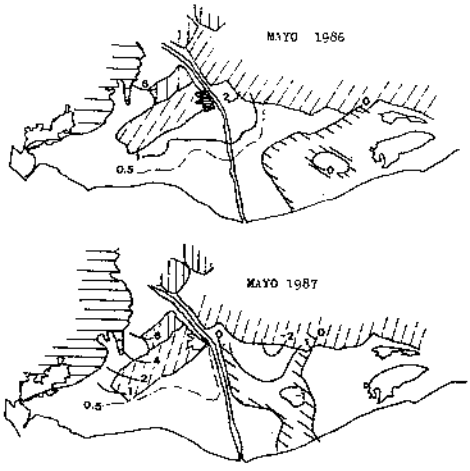


Figura nº 11B. Superficie piezométrica correspondiente a MAYO 1986 y MAYO 1987.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 16

Leyenda para las figuras 7 ,8,9,10 y 11

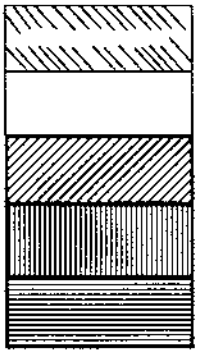
Zona de cota negativa del nivel piezométrico

Delta (acuífero)

Glacis (acuífero)

Formación deltaica pliocena (acuitardo)

Materiales metapelíticos(acuitardo)



Origen de los datos: Comisaría de Aguas del Sur de España

sión del delta. En las cercanías del cauce del río, al sur de El Puente del Río, los descensos son, para el año 1978-79 de 6 m mientras que en las cercanías de las albuferas sólo fueron de 0.35 m. La disminución de la infiltración directa en el cauce del río y los grandes volúmenes que se extraen al Norte de El Puente del Río-Pulido Bosch (1988) los estima en 12.5 Hm^3/año- pueden ayudar a comprender estos procesos. En el área central del delta aparecen depresiones piezométricas ligadas a pequeños pozos, que tienen una influencia grande, dada la importante disminución de la recarga. En las épocas de aguas altas los efectos de las extracciones quedan enmascarados. El aumento de la recarga es la causa fundamental, aumento que queda reflejado en la elevación del gradiente. Sectores que en Abril de 1979 tienen un 2.9% de gradiente en Noviembre de 1978 sólo tenían 1.7%.

La disminución del valor de las precipitaciones a partir de 1981 ha modificado la morfología de las oscilaciones estacionales. La primera consecuencia ha sido la reducción de los niveles piezométricos entre el otoño y la primavera, es frecuente que en cualquier época del año existan importantes áreas con niveles negativos; véase el caso de Noviembre 1986 y Mayo 1987 donde la superficie con cotas negativas es mayor en primavera que en otoño. No cabe duda que este caso es un ejemplo de niveles dinámicos a raíz de importantes extracciones, pero las precipitaciones de los años 85/86 y 86/87 fueron en total de 208 y 137 mm.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 17

respectivamente, del todo insuficientes para mantener unos niveles de recarga normales. Casos similares se observan en el año 1984/85.

Tendencia interanual.-

El estudio de la tendencia interanual muestra también la íntima relación de las características pluviométricas y el comportamiento piezométrico. En la figura nº 12 se han representado las desviaciones acumuladas de las precipitaciones mensuales con respecto a la media mensual. Cuando las precipitaciones son superiores a la media, las desviaciones son positivas y la curva es ascendente, si son negativas será descendente. Hasta el otoño de 1980 la curva, con suaves oscilaciones, se mantiene alrededor de la media; posteriormente las desviaciones son siempre negativas y la curva descendente. Durante el verano las precipitaciones son casi nulas y por tanto, las desviaciones sobre la media son pequeñas; para estos meses la curva se horizontaliza.

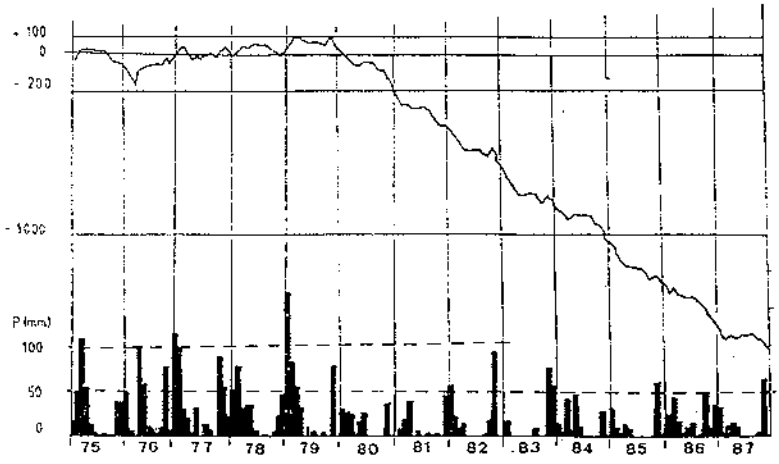


Figura nº 12. Desviaciones acumuladas de las precipitaciones mensuales con respecto a la media mensual. En la parte inferior está reflejado el valor de las precipitaciones.

Hasta Abril de 1981, (figuras nº 7 y 8) las isopiezas son semejantes todos los años, salvo pequeñas oscilaciones ligadas a procesos de interferencia. Sin embargo, a partir de esa fecha, hay variaciones tanto en la

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 18

morfología (siempre aparecen áreas con cotas negativas) como en los gradientes (zonas que en Abril de 1979 tenían 2.2%, en Mayo de 1981 eran ya 1.7% y de 1.1% en Mayo de 1985) y en las alturas piezométricas (áreas cercanas al cauce alcanzaban niveles medios de 12 m., mientras que los mismos puntos para el año 83/84 alcanzan máximos de 6 m). También se ha de señalar la situación que aparece reflejada en Noviembre 1981 y Mayo 1987 donde se pone en contacto la zona interior, de máximas extracciones y valores negativos del nivel piezométrico, con la línea de playa. Aunque son fenómenos puntuales y al parecer poco intensos, no se han detectado en más ocasiones; de producirse con más frecuencia y en momentos de poca recarga pueden provocar inversiones de flujo. Por tanto, se deberían realizar controles de parámetros físico-químicos (conductividad, cloruros...) caracterizadores de la intrusión marina, para alcanzar un conocimiento detallado del acuífero en la zona costera.

La tendencia evolutiva de los niveles está íntimamente ligada al régimen pluviométrico. Los importantes descensos que aparecen a partir del año 1981, en parte pueden justificarse por la disminución de las precipitaciones, aunque no hay que olvidar los efectos de la entrada en funcionamiento del embalse de Benínar.

La consecuencia más inmediata del descenso de los niveles es la disminución de las reservas. Para estimar el volumen de ésta reducción hay que conocer de una manera precisa las oscilaciones de la superficie piezométrica y compararla con unos valores de referencia. Estos valores de referencia se han obtenido calculando la media de los niveles correspondientes a los meses de Abril de los año 1977, 1978, 1979 y 1980. Se han elegido estos cuatro años, ya que el valor de su módulo pluviométrico (368 mm) es muy cercano al módulo de la serie de 33 años (349 mm.). El siguiente paso consiste en comparar la superficie de referencia correspondiente a una fecha concreta. Posteriormente, mediante un cálculo planimétrico y conociendo la porosidad, al tratarse de un acuífero libre, se puede obtener una estimación del volumen en que se han reducido las reservas. Se ha elegido la fecha de 1985 por ser un año en el que están muy completos los datos de niveles; los años siguientes son más escasos. El mes de Mayo coincide con la época de aguas altas de tal manera que la relación se ha establecido a finales de la primavera, momento en que termina la estación lluviosa, con lo que las interferencias de los bombeos son mínimas.

El resultado queda reflejado en la figura nº 13 donde aparecen las fluctuaciones entre la media de Abril 77-78-79-80 y Mayo 85. Al observar

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 19

este mapa junto a los planos de isopiezas (figuras 7 a 11) aparece claramente la relación directa entre la magnitud de las fluctuaciones y el gradiente; a mayor gradiente mayor fluctuación. Las oscilaciones alcanzan valores máximos en las cercanías de El Puente del Río (-9 m), y mínimos al Noroeste de las albuferas, donde llega a ser positivo (0,34 m). Este dato aunque puntual, apoya la idea de una alimentación subterránea lateral, a través del borde oriental del delta, escasa, pero importante para mantener el equilibrio en la alimentación de las albuferas.

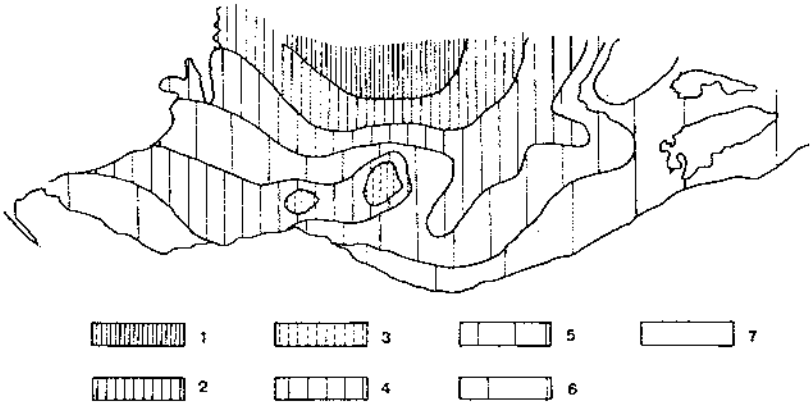


Figura nº 13. Plano de fluctuaciones de niveles piezométricos en el período (media Mayo 1977-78-79-80) - (Mayo 1985). 1:mayor de 6 m; 2:3-6 m; 3:2-3 m; 4:1-3 m; 5:0.5-1 m; 6:menor de 0.5 m; 7:oscilaciones nulas.

Las fluctuaciones representadas en la figura nº 13 son claramente diferentes a las correspondientes al año 83/84 (figura nº 14), tanto en la *magnitud* de las oscilaciones (las máximas en Mayo-85 son 9 m, frente a 6 en el año 84), como en la *morfología* de los sectores; las variaciones en este aspecto son especialmente claras en la zona, ya comentada, sin ninguna fluctuación situada al Norte de la Albufera Honda y en el área central del cauce, al Sur de El Puente del Río, donde tienen lugar dos procesos singulares: de un lado la *inflexión* del sector con oscilaciones comprendidas entre 0.5 y 1 m la *extensión* en dirección SW de la banda con fluctuaciones entre 1 y 3 m. Estas circunstancias se justifican si se tiene en cuenta que toda la zona central del cauce corresponde con la situación de

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 20

la antigua Albufera Ancha, hoy desecada. En relación con esta albufera se depositaron materiales limoso-arcillosos con menor permeabilidad que los depósitos deltaicos de alrededor. Esta anisotropía en la permeabilidad, junto a los conos de descensos cercanos a 3 m son los responsables de la particular forma de los sectores con descensos entre 0.5 y 3 m.

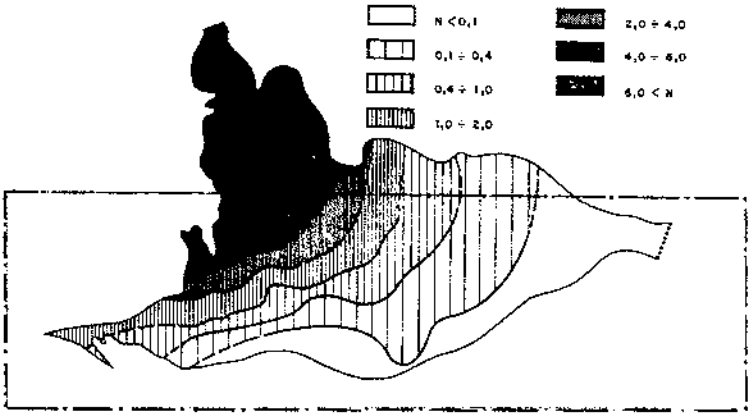


Figura nº 14. Plano de fluctuación de niveles piezométricos, período Noviembre-83 - Marzo-84. El recuadro corresponde a la superficie representada en la figura nº 13. Tomado de MORALES, 1986.

En cuanto a la evaluación de la disminución del volumen de reservas con respecto a los niveles medios (primavera 77-78-79-80) y dado que no existe ninguna determinación del coeficiente de almacenamiento, se van a utilizar los datos de Pulido Bosch (1988), calculados de forma ponderada, acotándolos entre 10 y 15 %. El volumen de la disminución de las reservas para Mayo de 1985 queda reflejado en el siguiente cuadro, donde aparecen los resultados para dos valores de coeficiente de almacenamiento.

COEFC. ALMACEN	REDUCCION RESERVAS
10 %	1.61 Hm^3/año
15 %	2.42 Hm^3/año

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 21

Benavente (1988) calcula los recursos totales en 25 Hm^3/año, de los cuales 22 serían imputables a la infiltración directa o indirecta de las aguas superficiales. El volumen aquí estimado es pequeño en relación a los recursos. No hay que olvidar que el cálculo se ha hecho para la primavera de 1985, época de aguas altas, con lo que ya se parte de un déficit para el estiaje. Hay que señalar que en los años siguientes a 1985 siguen descendiendo los niveles con lo que las perspectivas son de aumento de este déficit.

Quedan aún por evaluar la influencia del embalse de Benínar en la dinámica subterránea del delta y consecuentemente en todos los procesos anteriores de disminución de reservas. Para ello sería necesario establecer como mínimo un control de caudales de las Fuentes de Marbella, que situadas aguas abajo de la presa son la principal fuente de alimentación del río Adra. No hay que olvidar el incremento de caudal de estos manantiales en el verano de 1984, al comenzar a hacer pruebas de retención en el embalse, que originó fuertes aumentos del nivel piezométrico en el delta.

EVOLUCION DE LOS NIVELES PIEZOMETRICOS

Para estudiar la evolución de los niveles piezométricos se han seleccionado una serie de 13 piezómetros situados en la llanura aluvial, al Sur de la carretera nacional 340. (figura nº 15). Las profundidades varían, aunque en términos generales disminuyen a medida que nos acercamos a

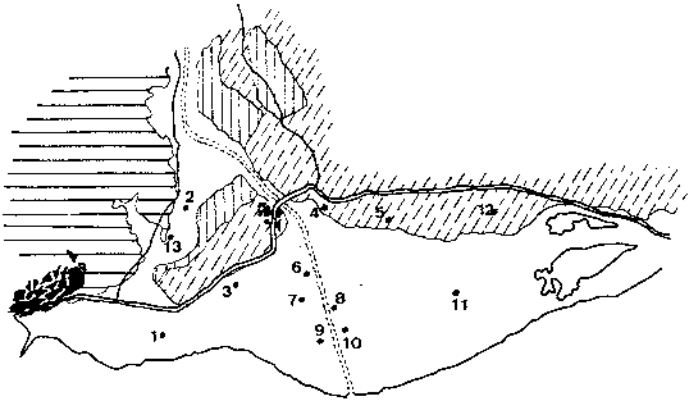


Figura nº 15. Situación de los piezómetros utilizados para estudiar la evolución de los niveles piezométricos.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 22

la costa. En los alrededores de El Puente del Río y la carretera N-340 oscilan entre 30 y 40 metros, reduciéndose hasta llegar a 2-3 m en las cercanías de la costa y las albuferas.

Los piezómetros seleccionados corresponden a la red de puntos que controla la Comisaría de Aguas del Sur de España con carácter mensual y bimensual, en la mayoría de los casos. Para utilizar niveles estáticos se han seleccionado puntos con extracciones nulas, de tal manera que en los gráficos aparece un fiel reflejo del comportamiento del acuífero. En la figura nº 16 se muestra un ejemplo de piezómetro afectado por bombeos. Los puntos marcados con representan niveles dinámicos que hacen imposible cualquier tipo de interpretación.

Al igual que para el estudio de la superficie piezométrica, se ha diferenciado entre oscilación estacional y tendencia interanual.

Oscilaciones estacionales.-

Al observar las figuras nº 16 y 17 llama la atención una característica típica de los acuíferos cuya dinámica está muy relacionada con los aportes pluviométricos: las oscilaciones cíclicas de niveles con carácter anual. Estas oscilaciones tienen un máximo que coincide con la primavera (época de aguas altas) y un mínimo al final del otoño (época final del estiaje). Sin embargo la magnitud de estas variaciones, al igual que en las superficies piezométricas no es homogénea. Son mayores en las áreas de cabecera, disminuyendo progresivamente a medida que nos acercamos a la costa. En el año 1979, con fuertes precipitaciones, los niveles subieron desde el fin del estiaje 7.2 m en el punto nº 4 y 4.6 en el nº 6. Para puntos cercanos a la línea de costa como en el nº 11 los valores son de 0.25 m.

Esta regla general tiene algunas excepciones. Así, durante el invierno de 1979 en los puntos nº 8 y 6 se registraron ascensos de 1.84 y 4 m respectivamente, mientras que en el nº 3 fueron solamente de 1.56 m.

Observando la figura 15 el punto nº 3 está mucho más alejado de la costa que los otros dos y por el contrario las oscilaciones son más reducidas que las de los nº 8 y 6. Hay que tener en cuenta que al norte del punto 3 aflora la formación deltaica pliocena, con un cáracter acuitardo, de tal manera que podría reducir la alimentación a partir del cauce en toda la zona del punto nº 3, lo que disminuiría la amplitud de las oscilaciones. Para explicar las diferentes oscilaciones entre los puntos nº 9, 10 y 11 Benavente (1988) plantea la existencia de áreas de diferente difusividad. Esto, junto al hecho de que la zona 9 y 10 actúa como colector de las aguas superficiales, puede explicar sus mayores oscilaciones.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 23

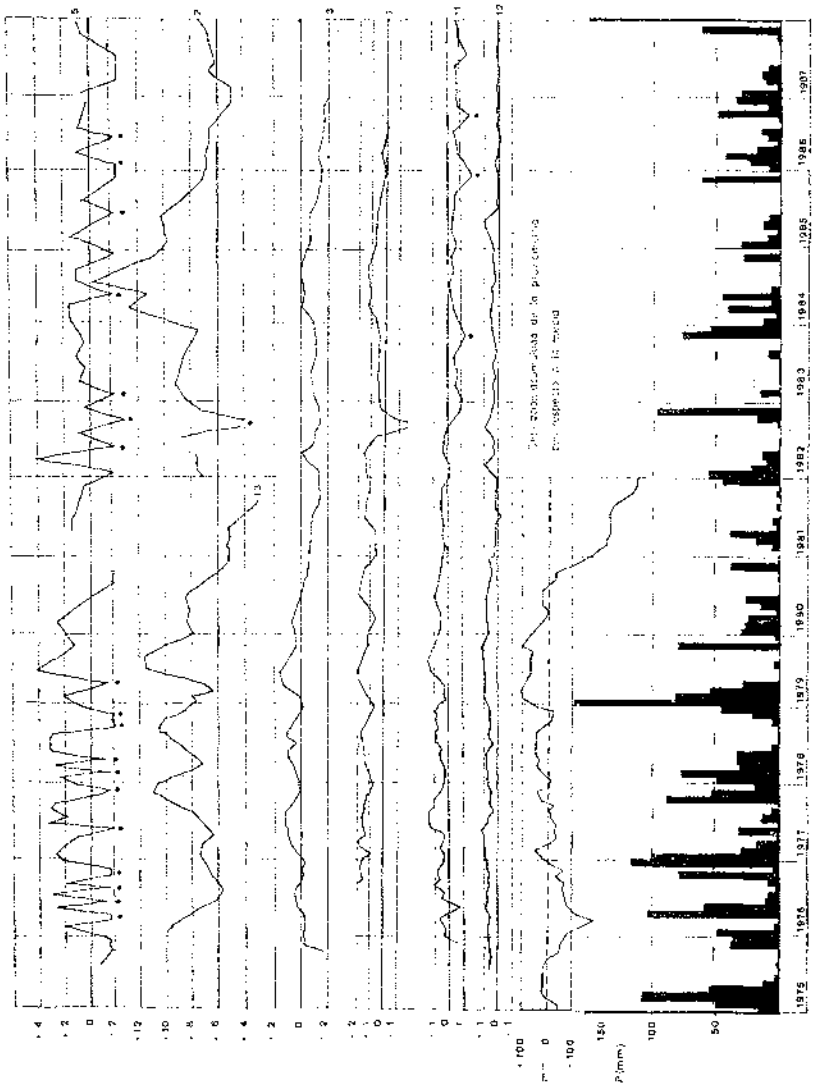


Figura nº 16. Evolución de los niveles en los piezómetros numeros 1, 2, 3, 5, 11, 12 y 13. Fuente de los datos Comisaría de Aguas del Sur de España.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 24

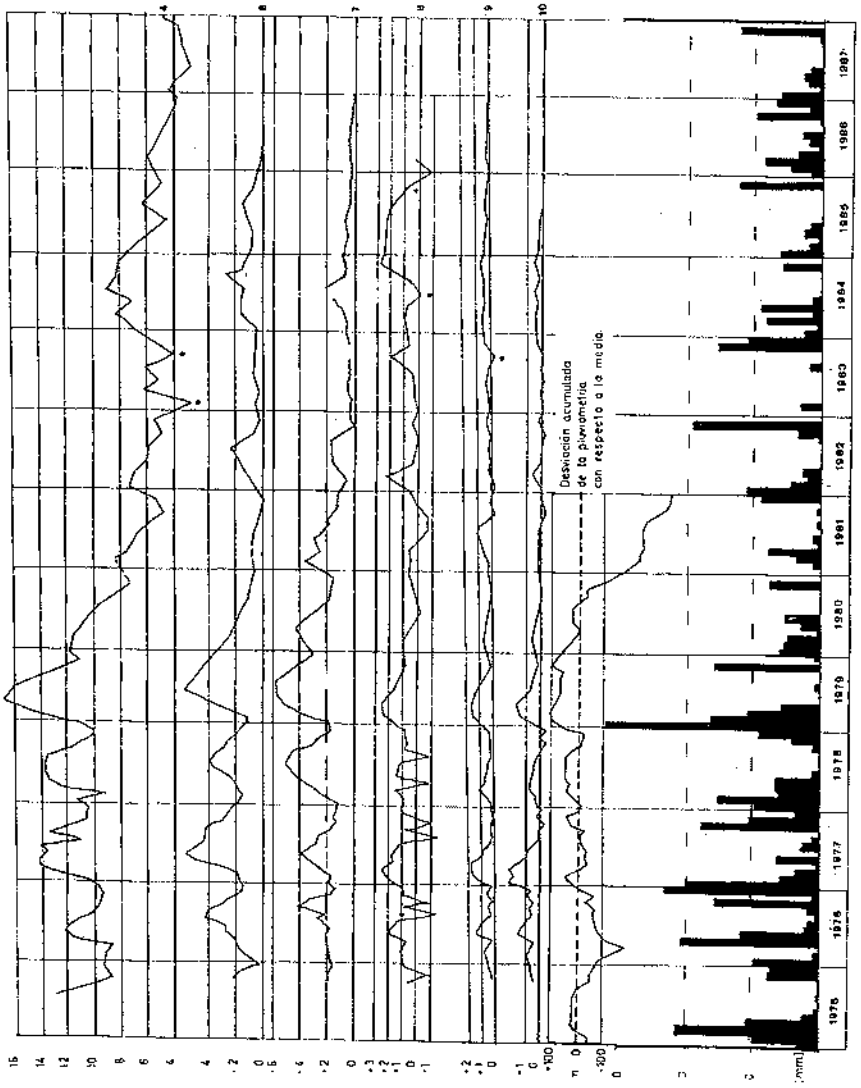


Figura nº 17. Evolución de los niveles en los piezómetros números 4, 6, 7, 8, 9, 10. Fuente de los datos Comisaría de Aguas del Sur de España.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 25

Tendencia interanual.-

Aunque 10 años no es un período suficientemente grande para detectar las tendencias de evolución piezométrica, sí se pueden determinar las principales oscilaciones relacionándolas con actuaciones externas e internas al propio acuífero.

A lo largo de éste trabajo se ha venido incidiendo en la diferente evolución piezométrica antes y después de 1981. Al comparar las fluctuaciones de niveles (figuras 16 y 17) con el gráfico que representa la desviación acumulada de la pluviometría con respecto a la media, se ve el parecido que hay entre las dos curvas hasta el año 1981. Posteriormente a esa fecha ya no hay ninguna relación entre los dos gráficos, fundamentalmente debido a la disminución de las precipitaciones. También los puntos más cercanos al cauce (2, 4, 6, 7, 8, 9, 10) tienen un ajuste muy bueno, mientras que los más alejados (1, 5, 11, 12, 13) no tienen una relación tan clara, aunque puede ser debido a la disminución de las oscilaciones, lo que hace que no se detecte claramente la relación.

Tal como se ha comentado en el apartado anterior, las fluctuaciones tienen un carácter cíclico, con un máximo y un mínimo anuales. Estudiando con detalle la evolución temporal de niveles en una serie de puntos se puede definir la dinámica del acuífero. En la figura nº 17 aparece representada dicha evolución para una serie de puntos (4, 6, 7, 8, 9 y 10) cercanos al cauce del río (50 - 200 m) colocando primero el nº 4 situado aguas arriba y al final el nº 10, el más cercano al mar. Una vez más se ve como las oscilaciones disminuyen a medida que nos acercamos a la costa.

Así en el año 1979, el máximo estuvo ligado a las importantes lluvias de Octubre 1978 a Abril 1979, con 413 mm, máximos que dieron lugar a subidas de 6.85 m en el punto nº 4 mientras en el nº 9 y 10 apenas fueron de 1.36 y 2.18 m respectivamente. También es interesante observar la forma del gráfico (figura nº 17). El nº 4 tiene forma aguda, con un estrecho vértice en Abril de 1979, sin embargo en el nº 9 el ascenso y descenso son más suaves. Para el año 1978 ocurre algo similar; los niveles apenas suben 1 m en los puntos nº 9 y 10 mientras que en el nº 4 alcanzan 3.8 m.

También se pueden destacar algunos hechos que se producen con anterioridad en la cabecera. En Febrero y Marzo de 1976 las lluvias fueron de apenas 5 y 1 mm respectivamente, mientras que los valores medios mensuales eran de 48 y 55 mm; este hecho está claramente reflejado en el gráfico sobre la desviación media acumulada y se puede detectar por un

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 26

mínimo en la evolución de niveles. El máximo descenso se alcanza en Marzo para el nº 4 y en Abril para los nº 9 y 10, más cercanos a la costa.

En la figura nº 16 se han elegido unos puntos que en su evolución muestran algunas características particulares del acuífero. El nº 5 corresponde a un pozo de 20.5 m de profundidad que explota fundamentalmente las calcarenitas miocenas. El gráfico quebrado corresponde a niveles dinámicos en el que los máximos descensos llegan hasta 20 m de profundidad momento en que se deja de bombear.

El siguiente gráfico se refiere a los puntos nº 2 y 13; la morfología corresponde a un típico ejemplo de punto cercano al cauce. En realidad estos dos puntos están próximos al antiguo cauce en una zona de altos valores de Transmisividad (1.500 - 3.000 m^2/día; Pulido Bosch, 1988).

El punto nº 3 presenta unas oscilaciones muy parecidas a las de los nº 6 y 7, como por otra parte corresponde a su situación geográfica. Estudiando con detalle los gráficos del nº 3 se observa que las fluctuaciones tienen menos amplitud que en el nº 6 y son del mismo orden que las representadas para el 9 y 10, puntos más cercanos a la costa. También hay un desfase entre algunos momentos del gráfico del nº 3 con respecto a los puntos más próximos (nº 6, 7, 8, 9). Para el año 1979 su máximo se alcanza en Junio, mientras que para los otros puntos es Mayo. Estos puntos alcanzan los máximos para 1982 en Febrero y Marzo mientras que en el punto nº 3 es en Abril.

Se han representado los puntos nº 1 y 11 como ejemplos de las zonas en que las oscilaciones son pequeñas pero aún así se detecta un claro descenso, especialmente a partir del año 1981.

En cuanto al punto nº 12 se trata de un pozo de 10 m de profundidad, situado en el glacis que recubre la parte nororiental del delta. Su característica viene dada por las oscilaciones de niveles que representan un comportamiento totalmente diferente al resto del acuífero, sin relación importante con los episodios pluviométricos. Esta singularidad puede justamente justificar una descarga hacia el glacis de los materiales carbonatados alpujarrides y de las calcarenitas miocenas que bordean el noroeste del delta, que el punto nº 12 explotaría.

No se puede dejar de comentar la anomalía que supone el año 1984, con una subida general de niveles y la particularidad de alcanzarse los máximos en el mes de Julio, sin ninguna relación con precipitaciones importantes. Estos ascensos son de 8.19 y 3.65 m en los puntos 2 y 4 respectivamente y de 0.35 m en los alrededores de las albuferas. En el resto de los puntos

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 27

las subidas no son tan espectaculares, pero durante todo el año los niveles están por encima de los años inmediatos, posteriores y anteriores. Benavente (1987) explica estas anomalías como consecuencia de las elevadas precipitaciones (137 mm) que tuvieron lugar en Noviembre y Diciembre de 1983 y al aumento del caudal del río Adra en relación con la descarga de las Fuentes de Marbella, debido a pérdidas en el embalse de Benínar que había comenzado a hacer pruebas de retención ese año. En los puntos próximos al cauce (2 y 4) hay una respuesta más rápida e intensa que en los distribuidos a lo largo del delta, donde las subidas son más suaves pero se mantienen a lo largo de todo el año los niveles altos. El punto nº 12 no presenta ninguna anomalía con respecto a los años inmediatos, siguiendo su particular comportamiento.

CONCLUSIONES

El comportamiento piezométrico del acuífero del delta del río Adra está íntimamente ligado a la posición del cauce y a la dinámica pluviométrica.

Las máximas oscilaciones de niveles tienen lugar en las zonas de cabecera y en la áreas más cercanas al cauce. Oscilaciones con carácter anual que alcanzan un máximo en primavera y un mínimo en otoño, íntimamente ligados a la distribución anual de precipitaciones. Esta relación piezometría/pluviometría, es especialmente importante para el período 1975-80, cuyo valor del módulo pluviométrico -369 mm- es algo superior al calculado para la serie de 33 años -349 mm-. Mientras tanto, para los años 1981-87, dicha relación no es clara, experimentando todo el delta un descenso generalizado de niveles, que oscilan entre 6 y 3 m en los alrededores de El Puente del Río y de 0.5 m en el borde Sur y cercanías de las Albuferas.

Se ha estimado la disminución de las reservas en torno 1.6 - 2.4 Hm^3. Este volumen puede parecer pequeño si se tienen en cuenta los recursos del acuífero -25 Hm^3- de los que 22 corresponden a la infiltración directa del río. No obstante hay que saber que el cálculo se ha hecho entre el año 1985 y la media de 1977-78-79-80, para los valores de Abril, que corresponde con el periodo de aguas altas, con lo que se parte de un déficit para el estiaje; además, en los años siguientes los niveles continúan descendiendo, con lo que las perspectivas son de aumento de este déficit.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 28

En todas estas apreciaciones no se ha valorado la influencia de la entrada en funcionamiento del Embalse de Benínar sobre el caudal de las Fuentes de Marbella, manantiales situados aguas abajo de la presa, que son la principal fuente de alimentación del río Adra y por tanto del acuífero del delta. Ya se ha comprobado la rápida subida de niveles en relación con el anormal aumento de caudal de las fuentes en el año 1984.

Por tanto sería necesario continuar con las medidas de niveles en el delta e iniciar un control de caudal de las Fuentes de Marbella, lo que permitiría conocer e interpretar mejor las oscilaciones piezométricas. También sería necesario controlar parámetros físico-químicos, en el acuífero del delta, especialmente los caracterizadores de la intrusión marina, ante posibles inversiones de flujo.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 29

BIBLIOGRAFIA

ALDAYA, F. et al. 1983. Memoria y Hoja Geológica de Adra (21-41). 1: 50.000 MAGNA. IGME. Madrid.

BENAVENTE, J., PULIDO BOSCH, A., MORALES, G. 1987. Principales rasgos hidrogeoquímicos del Delta del río Adra. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos.* XI. Mallorca.

BENAVENTE, J. 1987. Síntesis hidrogeológica de las albuferas de Adra (Almería) y de su entorno. En "Estudio integral de las albuferas de Adra (Almería)". Instituto de Estudios Almerienses.

CARRASCO, A., CARRASCO, F., RUIZ-TAGLE, M., THAUVIN, J.P. 1981 Características hidrogeológicas del acuífero calizo-dolomítico de la unidad Gádor-Laujar en el sector Berja-Beníñar (Almería) y su relación con las fuentes de Marbella. *Simposio del Agua en Andalucía,* I. Granada.

CUSTODIO, E. LLAMAS, J. 1976. Hidrología Subterránea. Ed . Omega. Barcelona.

MORALES, G. 1986. Contribución al conocimiento hidrogeológico del delta del río Adra. Tesis Lic. Univ. Granada. Inédita.

PULIDO BOSCH, A., BENAVENTE, J., CASTILLO, A., PADILLA, A. 1986. Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Adra. Proyecto LUCDEME. ICONA-Univ. Granada. Inédito.

PULIDO BOSCH, A. 1988. Síntesis hidrogeológica del delta del río Adra. *TIAC '88. Tecnología de la intrusión en Acuíferos costeros.* Almuñécar. Granada.

Diputación de Almería — Biblioteca. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el delta del río Adra (provincia de Almería)., p. 30