

---

## CALIDAD DEL AGUA EN EL ACUÍFERO ALUVIAL DE LA ZONA REGADA POR LOS CANALES DE URGELL (LLEIDA).

**ARMENGOL JOVÉ, Llorenç<sup>1</sup>; COTS RUBIÓ, Lluís<sup>1</sup>; BARRAGÁN FERNÁNDEZ, Javier D.  
1; PASCUAL DÍAZ, J. Manel<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Dept. Ingeniería Agroforestal. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida.

<sup>2</sup>Agència Catalana de l'Aigua. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya.

### RESUMEN

El Pla d'Urgell –provincia de Lleida- se encuentra recubierto por gravas calcáreas de los conos aluviales de los ríos Corb y Ondara, constituyendo un acuífero libre. La altura de saturación del acuífero se encuentra entre cero y diez metros dependiendo de la época del año, siendo la recarga producida mayoritariamente por excedentes de agua de riego y en menor medida por la infiltración directa del agua de lluvia y de los ríos. La descarga se produce mediante flujo subterráneo y a través de la descarga a la red de desagües.

Las aguas subterráneas son utilizadas para solucionar problemas de abastecimiento urbano, agrícola e industrial. Ante la necesidad del aumento de la demanda de agua de estos sectores se determinaron sus características hidrogeológicas y la contaminación por actividades agrícolas y ganaderas.

Para ello se hizo un muestreo de 30 pozos bimensualmente entre marzo de 1999 y setiembre de 2000 para seguir la evolución hidrogeoquímica. A partir de estos datos el agua se clasificó según Piper-Hill-Langèlier mayoritariamente como bicarbonatadas cálcicas hallándose un porcentaje elevado de sulfatadas cálcicas. Referente a la contaminación por nitratos, mediante mapas de isonitratos se definieron zonas de concentraciones observándose una mayor concentración generalizada en los meses de enero y abril frente los meses de julio y octubre. Este incremento de finales de invierno principios de primavera se correlacionó con el incremento de los abonados de fondo con nitratos en frutales y cultivos.

En cuanto a las características del agua para riego se encontraron riesgos altos de salinización, con posibles problemas de toxicidad debido al sodio, no hallándose ninguna limitación respecto al cloro. Con relación al destino de agua para destino a consumo humano se encontró con que ésta no era potable en tanto a los parámetros analizados (Directiva 89/778/CEE).

La aplicación de los programas de medidas, los códigos de buenas prácticas agrarias, etc. y la oscilación estacional de la calidad (mejor calidad en los meses de otoño-invierno), pueden permitir con relativa facilidad la recuperación del acuífero para abastecimiento humano en esas épocas del año, que coinciden con el incremento de la demanda por el cierre de los canales.

**PALABRAS CLAVE:** Acuífero aluvial, calidad aguas subterráneas, Canales de Urgell, Composición iónica, riego, uso agrícola, uso urbano

## INTRODUCCIÓN

La aplicación de la Directiva europea sobre protección de las aguas contra los nitratos procedentes de las prácticas agrarias (91/676/CEE), traspuesta en España por el Real Decreto 261/1996, ha comportado que la Generalitat de Catalunya haya declarado como zona vulnerable a los nitratos el acuífero aluvial de la zona regada por los canales de Urgell en la provincia de Lleida (Decreto 283/1998). Posteriormente a esta última declaración, la Generalitat ha definido el código de buenas prácticas agrarias en relación con el nitrógeno (O. 22.10.98), el programa de medidas agronómicas aplicables a las zonas vulnerables en relación con la contaminación de nitratos procedentes de fuentes agrarias (Decreto 205/2000), las medidas medioambientales de prevención y corrección de la contaminación de las aguas por nitratos (Decreto 119/2000), etc. Todas estas normativas convergen en el único objetivo de proteger las aguas subterráneas y superficiales de los efectos contaminantes en zonas cuya actividad principal es la agricultura intensiva y la ganadería, así como recuperar aquellas zonas ya contaminadas, y poner a disposición de los usuarios aquellos recursos hídricos no susceptibles de su uso actual.

Recientemente se ha aprobado en Bruselas la nueva Directiva marco sobre política europea del agua (2000/60/CE). Esta nueva directiva obligará a los estados miembros a incrementar la protección, mejorar el medio acuático mediante medidas específicas de reducción de vertidos, emisiones, etc. y a garantizar la reducción progresiva de la contaminación de las aguas subterráneas.

Si además de estas, se consideran otras normas como el Real Decreto 324/2000 mediante el cual se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas, que entre otras prescripciones obliga a los ganaderos a disponer de balsas de estiércol impermeabilizadas natural o artificialmente que eviten el riesgo de filtración y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, se entiende que la aplicación de estas normativas y la que en esta línea se puedan desarrollar, dan una especial relevancia a los trabajos sobre la calidad de las aguas subterráneas que complementan a los programas de control que obligatoriamente han de desarrollar las administraciones (según prescriben las Directivas sobre nitratos y la Marco).

Por otro lado, el acuífero de Urgell, dado el carácter territorialmente disperso de sus aguas subterráneas, va a comportarse en el futuro como un recurso hídrico estratégico, para el desarrollo industrial, el uso doméstico de casas y masías, para el abastecimiento de pequeñas poblaciones en las épocas de cierre de los caudales, para la recuperación de humedades de interés geológico (Estany d'Ivars) y también para complementos de riego (estos en menor grado por el incremento de la disponibilidad de agua superficial procedentes del embalse de Rialp).

## **SITUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ACUÍFERO**

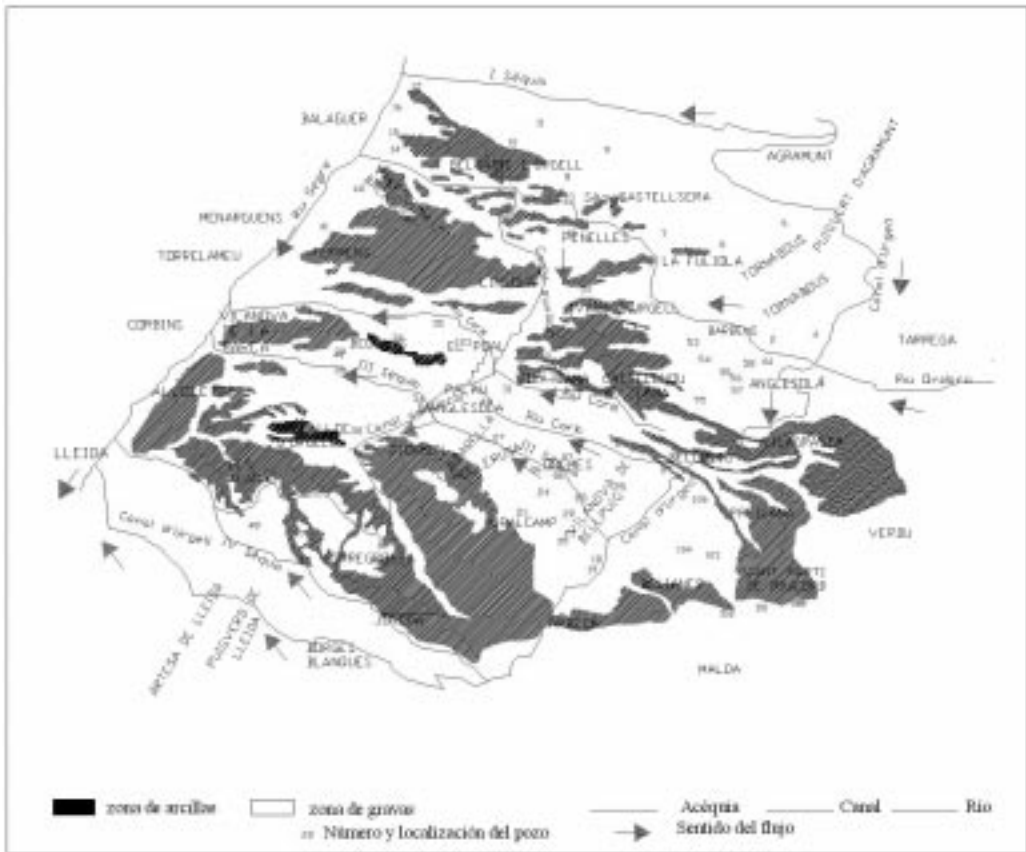
El Pla de Urgell –provincia de Lleida- se encuentra localizado en la cuenca del Ebro. Es una extensa planicie de la Depresión Central Catalana, la cual se extiende de sudeste a noreste hasta el río Segre, quedando delimitada al norte por el anticlinal de la sierra de Almenara y por relieves monoclinales de calizas de la formación Tàrrrega al sur y al este. La extensión del acuífero aluvial dentro de la zona regable se ha evaluado (Bescos, M. et al 2001) en unos 394km<sup>2</sup>.

El Pla d'Urgell se encuentra recubierto por gravas calcáreas con alternancia o intercalaciones de arenas y limos de los conos aluviales de los ríos Corb y Ondara, constituyendo un acuífero libre, cuya potencia oscila entre los tres y quince metros estando su base impermeable formada por arcillas o lutitas oligocenas o una capa de gravas fuertemente consolidadas por cementación carbonatada pliocuaternaria.

El agua de riego -Esquema 1- se suministrada a través del Canal Principal de Urgell y del Canal Auxiliar o Subcanal el cual sigue un trazado paralelo al anterior. Estos están unidos mediante cuatro acequias principales perpendiculares a los canales y paralelas entre ellas. A estas deben sumarse las numerosas acequias que distribuyen el agua de los canales y las acequias principales, así como la red de drenaje que da continuidad a los ríos Corb i Ondara.

La recarga se produce mayoritariamente mediante excedentes de agua de riego, siendo el riego mayoritario por superficie, y en menor medida por la infiltración directa del agua de lluvia y la procedente de los ríos, canales y acequias no revestidas anteriormente nombrados. Siguiendo el sentido de flujo del agua subterránea en general la dirección de los aluviales de este a noroeste.

Se tomaron muestras de treinta pozos bimensualmente entre marzo de 1999 y setiembre de 2000. En estas campañas se midió el nivel piezométrico del agua, los nitratos y se comprobó la conductividad eléctrica y su pH. En quince de estos pozos en primavera y verano además de los análisis anteriores se determinaron las concentraciones de los cationes: calcio, magnesio, sodio y potasio, y de los aniones cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. Las muestras se recogían directamente de los pozos mediante un tomamuestras y se guardaban en recipientes herméticos de plástico. También se dispuso



**Esquema 1.** Principales poblaciones, ríos canales y pozos estudiados

de análisis de aguas superficiales -ríos y canales- del año 1999 y subterráneos de enero de 2000, cedidos por la Comunidad de Regantes de los Canales de Urgell y realizados en L.A.F (Laboratorio de Análisis de Fertilidad de Suelos – Diputación de Lleida).

La explotación del acuífero se realiza mediante pozos que en un principio perforó la Comunidad de Regantes del Canal de Urgell, posteriormente han sido muchos los particulares que han construido uno para su uso propio. El acuífero ayuda desde hace unos años al incremento de la dotación de agua para los cultivos y granjas a la vez que es utilizado en muchas industrias siendo también frecuente que de las numerosas fuentes que brotan del acuífero se recoja utilicen para su consumo diario. Algunas poblaciones utilizan el agua subterránea para abastecimiento urbano durante los meses de invierno cuando los canales se cierran para las operaciones de mantenimiento.

El estudio pretendió evaluar las características hidroquímicas del agua subterránea, así como analizar su posible contaminación, y determinar si estaba relacionada con las

actividades agrícolas y ganaderas, además de dar una respuesta para su utilización en base a su calidad para estos sectores en concreto y para su utilización para consumo urbano.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.- Clasificación de las aguas subterráneas según los diagramas de Piper-Hill-Langelier

Según los diagramas de Piper-Hill-Langelier en función de los cationes y aniones dominantes encontramos que el cation dominante es el calcio seguido del sodio y en último lugar por el magnesio, y en cuanto a los aniones los bicarbonatos dominan sobre los sulfatos y estos sobre el cloro. Así clasificamos el 90% de las aguas como bicarbonatadas cálcicas o sulfatadas cálcicas.

### 2.- Clasificación de las aguas según su composición iónica siguiendo el criterio de Schoeller

A continuación se detallan los tres bloques que componen la clasificación según Schoeller.

Dentro del primer bloque clasificando las aguas atendiendo al grupo de cloruros, las aguas se clasifican como cloruradas normales, por el grupo de sulfatos como sulfatado normal encontrándose una cantidad importante de aguas oligosulfatadas y en menor cantidad sulfatadas. Y finalmente en el grupo de los bicarbonatos las aguas se clasificaron como bicarbonatadas normales, hallándose ciertas muestras hiperbicarbonatadas.

En el segundo bloque del carácter de las aguas domina del sodio frente a los cloruros, con un subtipo de claro dominio del ion calcio frente al carbonato y un parcial en el que el calcio supera al bicarbonato y este al anion sulfato.

El tercer bloque referente a los aniones y cationes existe un mayor número de casos en que los sulfatos son mayores que los bicarbonatos y estos que los cloruros. No obstante en julio de 2000 los  $r\text{CO}_3\text{H}^- > r\text{SO}_4^{2-} > \text{CL}^-$ . Referente a los cationes los  $r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+$ .

Según el criterio de Schoeller las aguas se clasifican como 642-3<sup>a</sup>-4f el año 1999 y como 642-3<sup>a</sup>-6f el año 2000.

Comparando las aguas superficiales y subterráneas encontramos que se clasificaron de la misma manera con relación a los iones dominantes, pero la concentración de iones hallada fue mucho más alta en las aguas subterráneas que en las superficiales. El sodio y el magnesio tienen un incremento del orden de 22 veces, el calcio 6 y los cloruros del orden de 52 veces, los nitratos de las aguas subterráneas se multiplican por diez en relación con los del agua superficial.

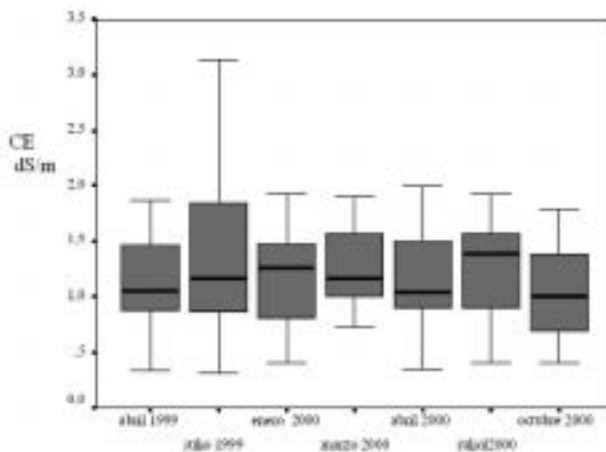
### 3.- Clasificación de la dureza total, la mineralización según el criterio de Noisette, y la mineralización según su conductividad

Atendiendo a la clasificación de Noisette las aguas mayoritariamente se clasificaron como de dureza media hallándose una elevada proporción de aguas duras y extremadamente duras y según su mineralización el 80% de las aguas se clasificaron como mineralización notable, destacando los meses de julio por hallarse elevadas concentraciones de mineralización fuerte.

En función de la conductividad las aguas se clasificaron como C-3 en la mayoría de los casos, seguido de C-2 en una proporción inferior al 25% y finalmente C-4 con una proporción inferior al 10% en todos los muestreos realizados.

### 4.- Conductividad eléctrica

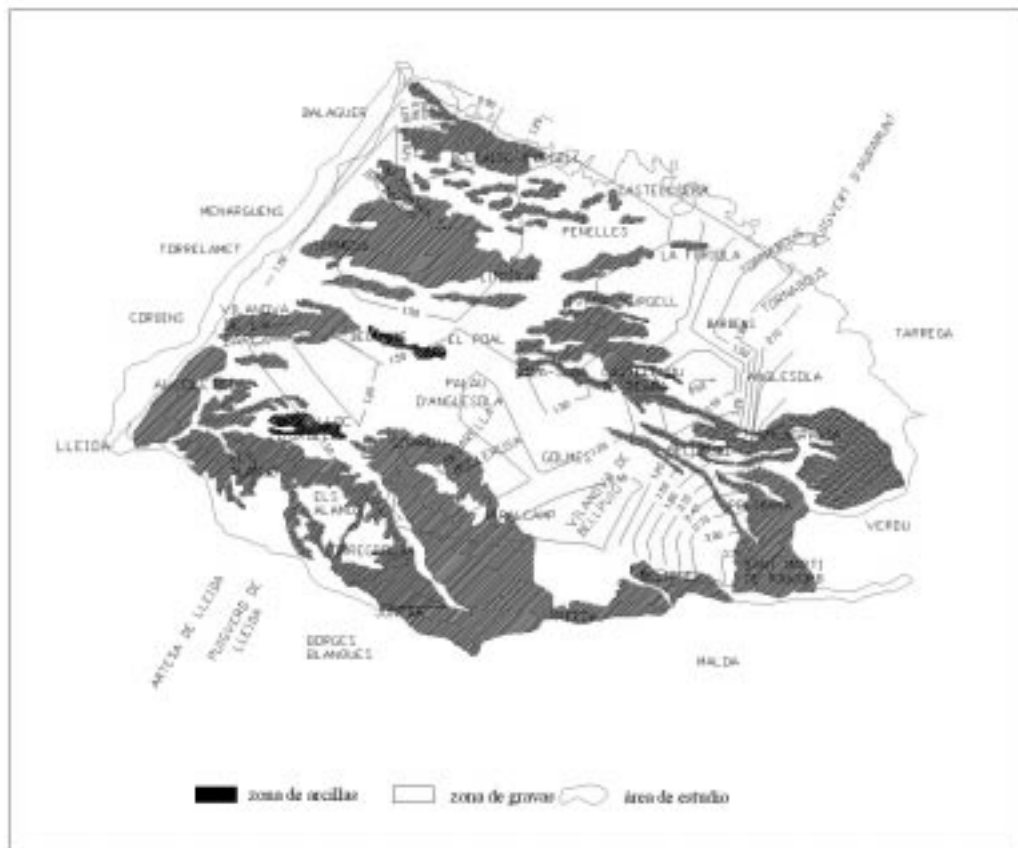
La gráfica 1 representa un diagrama box-plot entre abril de 1999 y octubre de 2000. La línea central representa la mediana que deja un número igual de ítems a cada lado y los límites superiores e inferiores de las muestras.



Gráfica 1. Diagrama box-plot para la conductividad.

Se puede observar como la mediana oscila según el mes entre 1 y 1,4 dS/m, mientras que los límites superiores presentan valores de 2 dS/m, con excepción del mes de julio del 99 que fue de superior a los 3 dS/m, y los valores inferiores suelen ser de 0,3 a 0,4 dS/m que corresponde al valor del agua de riego de los canales. Podemos observar en el diagrama como la mediana en los meses de julio aumenta en relación a los meses de abril.

Se dibujaron mapas de isóneas -mediante el programa informático M.D.T v3.5- para dar una idea espacial de su distribución en el área de estudio. Si observamos el esquema 2,



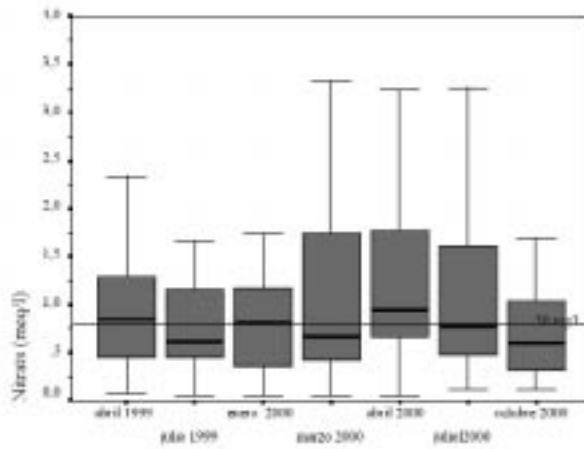
**Esquema 2.** Distribución de isoconductividad dS/m, Julio de 2000.

podremos ver espacialmente como se distribuyó la conductividad en el mes de julio del 2000 observándose como aumenta en las zonas de secano (parte Este: poblaciones de Malda, Verdu, Vilanova de Bellpuig).

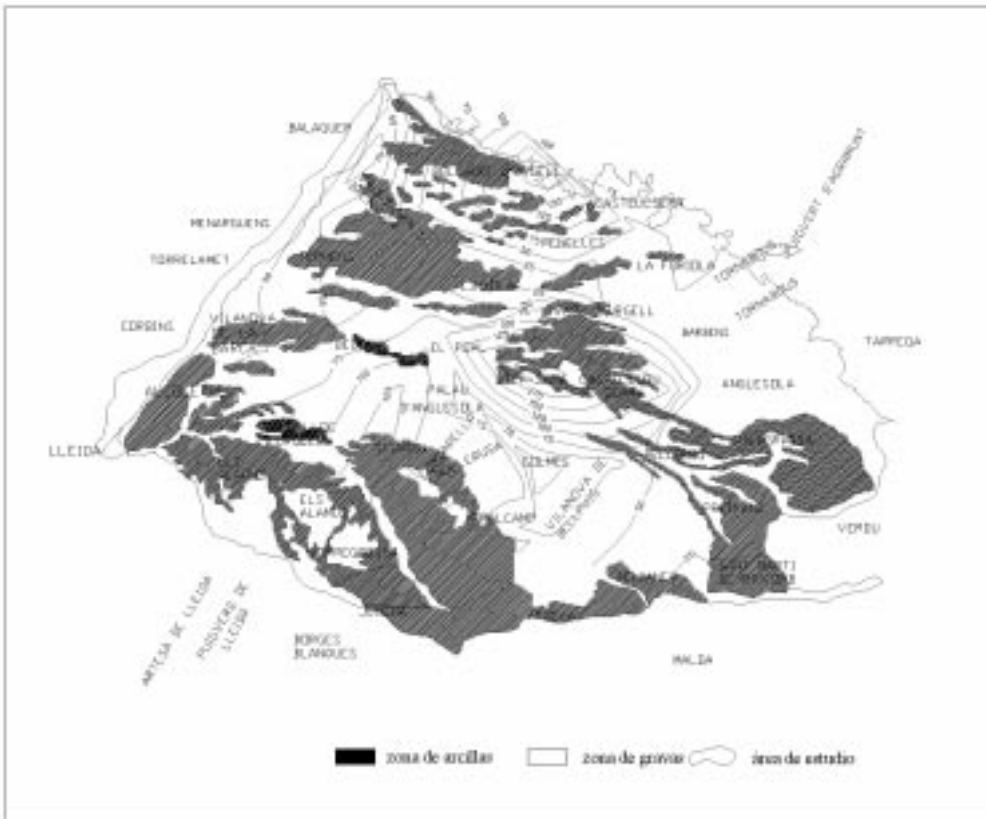
## 5.- Nitratos

A continuación se representa un diagrama box-plot entre abril de 1999 y octubre de 2000, mostrándose la limitación de 50 mg/l como máxima concentración permitida para uso humano.

Según la gráfica 2 se puede observar como varia la mediana en las diferentes campañas. Si observamos el año 2000 vemos como hay una disminución de la mediana de nitratos entre enero y marzo pero en este último mes encontramos concentraciones de nitratos mas altas en algunos pozos que en el mes que le precede, llegando con relativa facilidad a superar los 1.5 meq/l. En el mes de abril la concentración de nitratos aumenta



Gráfica 2. Diagrama box-plot para los nitratos.

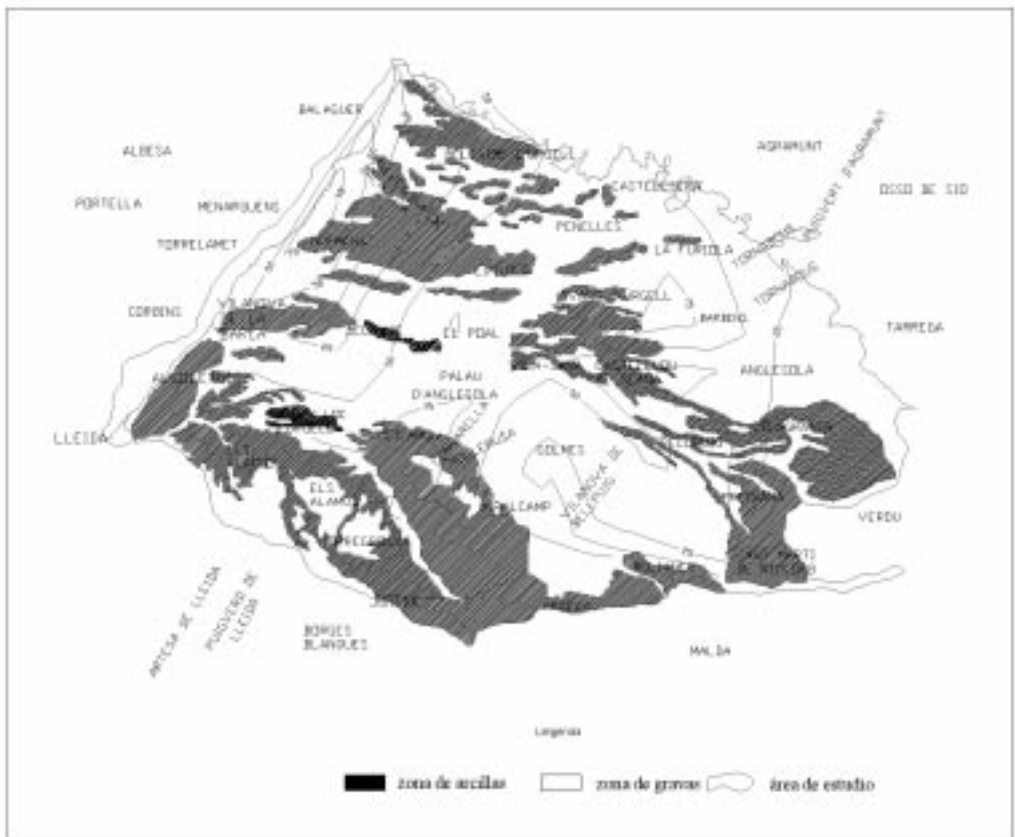


Esquema 3. Distribución de isonitratos mg/l, Abril de 2000.



globalmente respecto marzo observándose valores mayoritarios entre 0.57 y 1.7 meq/l, a la vez encontramos un gran número de pozos que superan los 50 mg/l (0.8 meq/l), este incremento en la concentración es debido al abonado generalmente en forma de nitrato de amonio en frutales y abonos compuestos en los cultivos herbáceos. En julio la mediana se sitúa entorno a 0.8 meq/l, la amplitud de la muestra mayoritariamente está entre 0.5 y 1.4 meq/l para ir disminuyendo en octubre, donde existe poca dispersión entre las concentraciones de nitratos que se sitúan entre los 0.4 y 1 meq/l siendo la mediana de 0.6 meq/l. En el año 1999 se produce una disminución similar a la del 2000 entre los meses de abril y julio.

Viendo la distribución espacial de los nitratos en el mes de abril (Esquema 3) y octubre del mismo año (Esquema 4) se puede apreciar como en abril existen valores más altos de nitratos con zonas en que se alcanzan valores entre los 100 y los 175 mg/l, mientras que en octubre hay una disminución de dichos valores llegándose a valores máximos de 75 mg/l. La causa de estas diferencias puede ser debida a que la mayoría de abonado se



Esquema 4. Distribución de nitratos mg/l, Octubre de 2000.

realiza a finales de invierno y principio de primavera, mientras que en octubre ya hace unos meses que no ha habido aportaciones de nitrógeno y el agua de recarga ha ido diluyendo las concentraciones.

## **6.- Calidad del agua para riego**

Se evaluó la calidad del agua de riego atendiendo a la salinidad, al riesgo de alcalinización y a la toxicidad ion específico.

Basándonos en los criterios de Richards el riesgo de salinización es alto superando el 50% en todos los casos, muy alto en una proporción inferior al 12.5% y medio en el resto de los casos. Según la FAO encontramos problemas crecientes en la mayoría de los casos, problemas graves en una proporción inferior al 6.3% y sin ningún problema el resto.

Para determinar la alcalinización se siguió la clasificación de Ayers & Wescot (1976) que compara el binomio conductividad eléctrica y SARaj (Relación de Adsorción de Sodio ajustado) para determinar los problemas de disminución de la infiltración. Respecto a la conductividad eléctrica el mayor número de muestras (>83%) se encontró en el intervalo de sin problemas y en ningún caso se detectaron problemas graves. En referencia al SARaj. el 70% de las muestras no tenían ningún problema, repartiéndose el resto entre problemas crecientes y en menor medida en problemas graves (alrededor del 7%). Se observó como en los meses julio descendían los pozos con problemas graves frente a los meses de abril. Las aguas en definitiva presentan un bajo riesgo de modificar la estructura y permeabilidad del suelo, teniendo en cuenta que suelen utilizarse como complemento a los aportes de aguas superficiales.

Se evaluó la toxicidad ion específico del sodio y del cloro según Ayers-Westcot - FAO 1976 en función del SARaj. para riego por superficie y riego por aspersión. La toxicidad del sodio para el riego por superficie presenta problemas crecientes para el 25-50% de las muestras y graves para el 5-12.5%. Pero donde se manifiestan mayores problemas es para el riego por aspersión en que encontramos problemas crecientes para el 30-63% de las muestras; aunque hay que decir que el riego por aspersión es prácticamente nulo en la zona y todavía menos captando agua subterránea como única fuente de suministro.

Las variaciones en la concentración de sodio se asocian a aportaciones de minerales de  $\text{SO}_4\text{Na}_2$ . En trabajos anteriores (Masich, J.M; Modol, C; Rivera, R. 1986) se había detectado un aumento de la toxicidad en los meses de julio para disminuir en los meses de octubre. En este estudio se detectaron mayores problemas en los meses de abril que de julio, estas diferencias podrían ser debidas a los diferentes regímenes pluviométricos.

La toxicidad del cloro no es preocupante, en el riego por superficie encontramos problemas crecientes en el 7-13% de las muestras y problemas graves sólo se detectaron en el mes de abril de 1999 en el 6% de las muestras. En riego por aspersión el 6.7-25% presentaban problemas graves y sin ningún problema el resto. Los meses más peligrosos para el riego

ya sea de superficie o por aspersión es el mes de abril. Los cloruros en todos los muestreos presentaban una elevada correlación con los cationes, los bicarbonatos y los sulfatos hecho que explica la aplicación de fitosanitarios y abonos con presencia de cloro y sulfatos (Arqué, S. 1981).

## **7.- Calidad del agua para consumo urbano**

Siguiendo la directiva 89/778/CEE las aguas subterráneas atendiendo a las concentraciones máximas admisibles se clasifican mayoritariamente como no potables para el consumo humano ya que las concentraciones de magnesio, sulfatos, nitratos y en algunos casos el potasio limitan su uso para tal finalidad.

El magnesio presenta una variación local importante. Tomando como centro Bellcaire las concentraciones aumentan a medida que nos alejamos de esta población ya sea hacia el este (La Fuliola) o al oeste (Balaguer). Similarmente en Torregrossa pasa lo mismo. Estas variaciones a nivel local tienen su razón en la utilización de abonos sulfatados del tipo  $SO_4Mg$  (Masich, J.M; Modol, C; Rivera, R. 1986). Estos abonos se incorporan en el suelo desde mediados de abril hasta final del mismo mes.

No se observan diferencias en la distribución de sulfatos si bien encontramos las máximas concentraciones en las proximidades de las poblaciones de Sant Martí de Riucorb y Belianes, diluyéndose estas según el eje Vilanova de Bellpuig, Golmés, Tèrmens y Balaguer. Esta distribución de sulfatos es debida a la composición litológica Barbastro-Balguer-Almenara que afecta toda la zona de Bellcaire, la Fuliola y Anglesola y a la lixiviación de los abonos sulfatados (Boixadera, J. com. personal 1986). En el mismo año la concentración de sulfatos tiende a aumentar proporcionalmente en los meses de abril a julio.

Actualmente también las concentraciones de sodio son una limitación importante (únicamente un 56.9% no supera la concentración máxima admisible). En referencia a los sulfatos y al magnesio sólo el 25% presentaban concentraciones admisibles.

## **CONCLUSIONES**

Las aguas subterráneas se clasifican según Piper-Hill-Langelier como bicarbonatadas cálcicas existiendo una gran cantidad de sulfatadas cálcicas. Según su dureza las aguas subterráneas se clasifican como duras o muy duras con una mineralización notable o fuerte según el criterio de Noisette.

El aumento de la cantidad de aniones se produce por lixiviación de abonos y a la disolución de material que contenga estos elementos por el efecto del agua de riego y de la lluvia.

Referente a la contaminación por nitratos, existen pozos donde la concentración de nitratos llega a cuadruplicar el máximo permitido. Por otro lado hallamos pozos con muy

pocos nitratos. Espacialmente se pueden definir zonas donde la concentración es mucho más alta que en otras

En el agua para destino a riego encontramos problemas crecientes o riesgos altos de salinización. En cambio no hay problemas de en la modificación de la estructura del suelo. Atendiendo a la toxicidad en cuanto al sodio tendremos problemas crecientes tanto en el riego por aspersión como por superficie. En cuanto a la toxicidad debida al cloro no es tan preocupante.

Referente al agua subterránea para consumo humano se halla que el agua no es potable en base a la directiva 89/778/CEE ya que en todas las muestras analizadas hay algún parámetro que limita su uso para tal finalidad. La aplicación de los programas de medidas, los códigos de buenas prácticas agrarias, etc. y la oscilación estacional de la calidad (mejor calidad en los meses de otoño-invierno), pueden permitir con relativa facilidad la recuperación del acuífero para abastecimiento humano en esas épocas del año, que coinciden con el incremento de la demanda por el cierre de los canales.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ARQUE, S. (1981): "La mejora de los regadíos de los conos aluviales de los ríos Corb y Cervera mediante la alimentación de las acequias en servicio con aguas subválveas". Jornadas sobre análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas en Espanya.
- BESCOS, M.; TORRENTE, D.; COTS, Ll.; BARRAGAN, J. (2001): "Calibración y puesta a punto de un modelo de flujo de agua subterránea en el cono aluvial de los ríos Corb y Ondara en la zona regable de los canales de Urgell". XIX Congreso Nacional de Riegos, Zaragoza 12-14 de junio.
- MASICH, J.M.; MODOL, C.; RIVERA, R. (1986): " Estudi de la contaminació de les aigües subterrànies del Pla d'Urgell". E.T.S.E.A . Ed. inéd