

HIDROGEOLOGÍA DE UN VALLE GLACIAR: EL CASO DE LA CUBETA DE ANDORRA (PIRINEOS ORIENTALES). PARTE 1: DATOS GEOQUÍMICOS

GUTIÉRREZ RORIGUEZ, M^a Carmen⁽¹⁾; TURU MICHELS, Valentí⁽²⁾

⁽¹⁾Igeotest, SL. Avd Príncep Benlloch, 66-72, dptx 407. Andorra la Vella maryclip@hotmail.com

⁽²⁾Fundació P. Marcel Chevalier. Avd Príncep Benlloch, 66-72, dptx 308. Andorra la Vella igeofundacio@andorra.ad

Palabras clave: acuífero multicapa, geoquímica, hidrotermal, macizo fisurado, valle glaciar

RESUMEN

La cubeta glaciar de Andorra la Vella y Escaldes Engordany se caracteriza por presentar dos acuíferos independientes alimentados por el macizo rocoso que le rodea. El más superficial es de tipo multicapa y está separado del inferior, que estaría confinado, por una capa impermeable. El objetivo de este trabajo es aportar nuevos datos hidroquímicos e hidrodinámicos que ayuden a mejorar el conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de la cubeta. Para ello se ha realizado una piezometría del acuífero superior en régimen permanente, la caracterización hidrogeoquímica de las aguas de acuífero y las del macizo rocoso adyacente.

SITUACIÓN

El área de estudio se sitúa en medio de los Pirineos, en el Principado de Andorra, en la confluencia de los ríos Valira del Nord, Valira d'Orient y Madriu. Se centra en la cubeta glaciar principal (unos 2,3 km², río Gran Valira) a lo largo de las poblaciones de Escaldes-Engordany (cota 1050 s.n.m), Andorra la Vella (cota 1000 s.n.m), Santa Coloma (cota 975 s.n.m) y la Margineda (cota 930 s.n.m), con unas dimensiones aproximadas de 5 km x 0,5 km en dirección NE-SW. No obstante, debido a que parte de su recarga se relaciona con el macizo rocoso adyacente la zona de estudio se amplió (28,7 km²) de igual modo a las cuencas hidrográficas que rodean a la misma, desde el valle (cota mínima 930 m) hasta las crestas del macizo rocoso que las rodea (cota máxima 2540 m en la collada de Prat Primer, sector SE de la Figura 1).

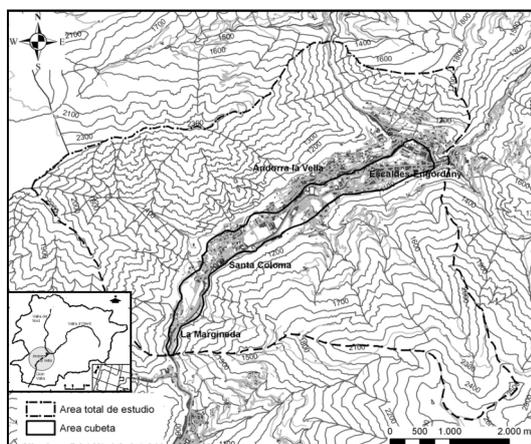


FIGURA 1: Situación de la zona de estudio

ANTECEDENTES

Existen varios trabajos previos sobre la geometría y funcionamiento de la cubeta en los que se pueden destacar los trabajos de TURU (1999), TEIXIDÓ et al. (2003), TURU et al. (2007), e informes inéditos de IGEOEST-Lamban (1999) IGEOEST-DRYAS (2004 y 2005) que ponen de manifiesto que existen entradas de agua hidrotermal procedente de la zona de la Umbría de Escaldes-Engordany. Los datos de carácter físico-químicos, piezométricos, caudales y meteorología se han consultado en diferentes instituciones: Fundación P. MARCEL CHEVALIER (1997-2009), Servei d'Aigua del Comú d'Andorra la Vella (1997-2009), Laboratori d'Aigües del Comú d'Andorra la Vella (2006-2008), FEDA (1935-2009), CHE (1997-2009).

En base a dichos informes y datos se establece la existencia de dos acuíferos en la cubeta siendo el más superficial de tipo multicapa, separado del inferior por una capa impermeable. El superior estaría formado básicamente por una alternancia de gravas y arenas intercaladas con niveles más limosos que corresponderían a depósitos aluviales y flúvioglaciares; por el contrario, el inferior estaría formado por gravas y arenas donde se distinguen facies de tipo lacustre y glaciolacustre (TURU et al., 2007), que a techo se encuentra confinado por una capa impermeable de génesis glaciar (morrena de fondo). Las entradas de agua al sistema hidrogeológico se producirían por infiltración vertical, recarga lateral por el macizo rocoso fisurado (TURU, 1999) y las entradas relacionadas con el agua hidrotermal.

No se puede considerar que los dos acuíferos sean completamente independientes, pero la escasa información sobre el acuífero inferior y el hecho de que la mayoría de sondeos estudiados estén ranurados en toda su longitud no permite determinar las variaciones entre ellos. Respecto al nivel superior hay que comentar que éste acuífero cede agua al río en la localidad de Santa Coloma, en encontrarse aquí el fondo del valle a menor profundidad (TURU, 1999; TURU et al. 2007); el gran caudal que presenta el río no permite establecer relaciones directas con el acuífero superior en cuanto a su quimismo, pero sí que se detectan cambios en el valor de conductividad que presenta el río Gran Valira a lo largo de su recorrido que estarían relacionadas con las entradas de agua del acuífero. Por otro lado, hay que tener en cuenta que el macizo rocoso que envuelve a la cubeta se encuentra intensamente fracturado lo que permite una buena infiltración del agua procedente de las precipitaciones (TURU 1999). A pesar de presentar numerosas incisiones de torrentes hay que destacar que la mayoría de ellos no presentan un caudal permanente, incluso en el caso de los ríos con mayor caudal, como el de la Comella o el de Enclar, llegan a infiltrarse antes de unirse al río Gran Valira (a excepción de las épocas de mayor caudal). Asimismo, también se puede destacar la gran cantidad de fuentes existentes asociadas al macizo rocoso, las cuales presentan un régimen estacional marcado y cuyo quimismo refleja la litología por la cual circulan sus aguas.

CONTEXTO GEOLÓGICO

En líneas generales el sustrato rocoso es metamórfico con abundancia de pizarras y calcoesquistos (CRECIT 2002), pero también de origen ígneo (granodioritas). En la zona central de la cubeta el sustrato se encuentra a gran profundidad (100 m; TURU, 1999; TURU et al., 2007), mientras que otros autores citan profundidades más modestas (CORAL et al., 2002; TEIXIDÓ et al., 2003). Recientemente, a partir de la prospección directa del terreno mediante un sondeo mecánico, se han determinado profundidades del sustrato rocoso superiores a 115 m (MIQUEL et al, 2011) en Andorra la Vella (Figura 2). En cuanto a las formaciones cuaternarias, a grandes rasgos se podría decir que la zona central del valle se encuentra formada por materiales de relleno glaciar (materiales glaciares, glaciolacustres y fluviales) y en su parte superior por materiales de la actual dinámica flúviorrencial. Las laderas se encuentran recubiertas por materiales originados por la dinámica glaciar (morrenas) y la dinámica de ladera (coluviones, canchales, abanicos de derrubios y deslizamientos, Figura 2).

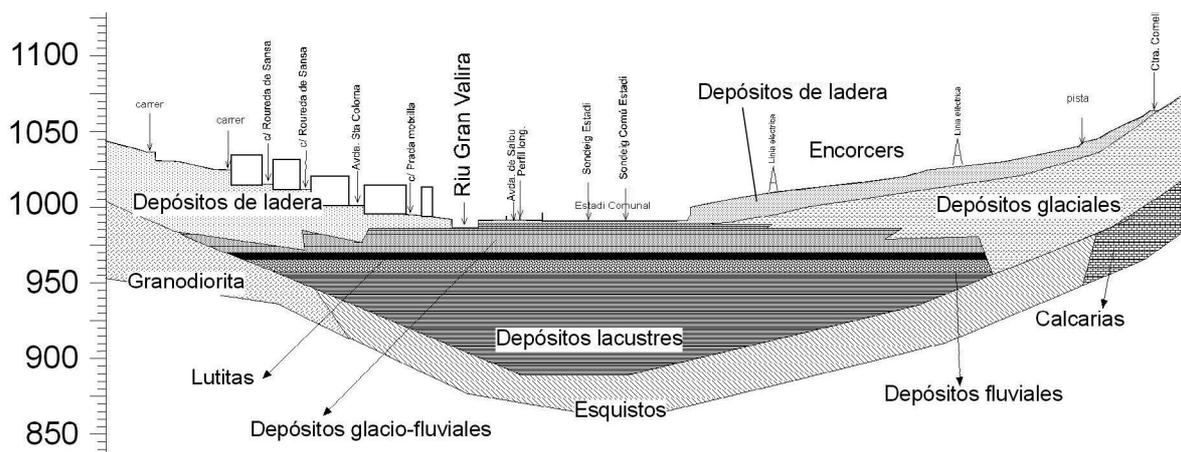


FIGURA 2: Perfil geológico conceptual de la cubeta de Andorra. Se puede observar como los sedimentos de ladera se disponen por encima de los sedimentos del fondo de valle, los cuales presentan una disposición subhorizontal. El nivel más horizontal más oscuro (lutitas) corresponde a una morrena de fondo impermeable que separa el relleno sedimentario en dos acuíferos.

INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Para el presente trabajo se han utilizado un total de 31 puntos de agua (Figura 3): 12 correspondientes a pozos o sondeos equipados con tubo piezométrico, 11 a manantiales y 8 a afloramientos directos en ríos y/o torrentes. En los 12 sondeos/ pozos se han tomado medidas piezométricas, y en 29 de estos puntos se ha medido las características físico-químicas "in situ" (temperatura, conductividad, pH, Eh). Finalmente en 20 de los puntos se ha tomado muestra para su análisis químico con el fin de caracterizar todo el sistema hídrico.

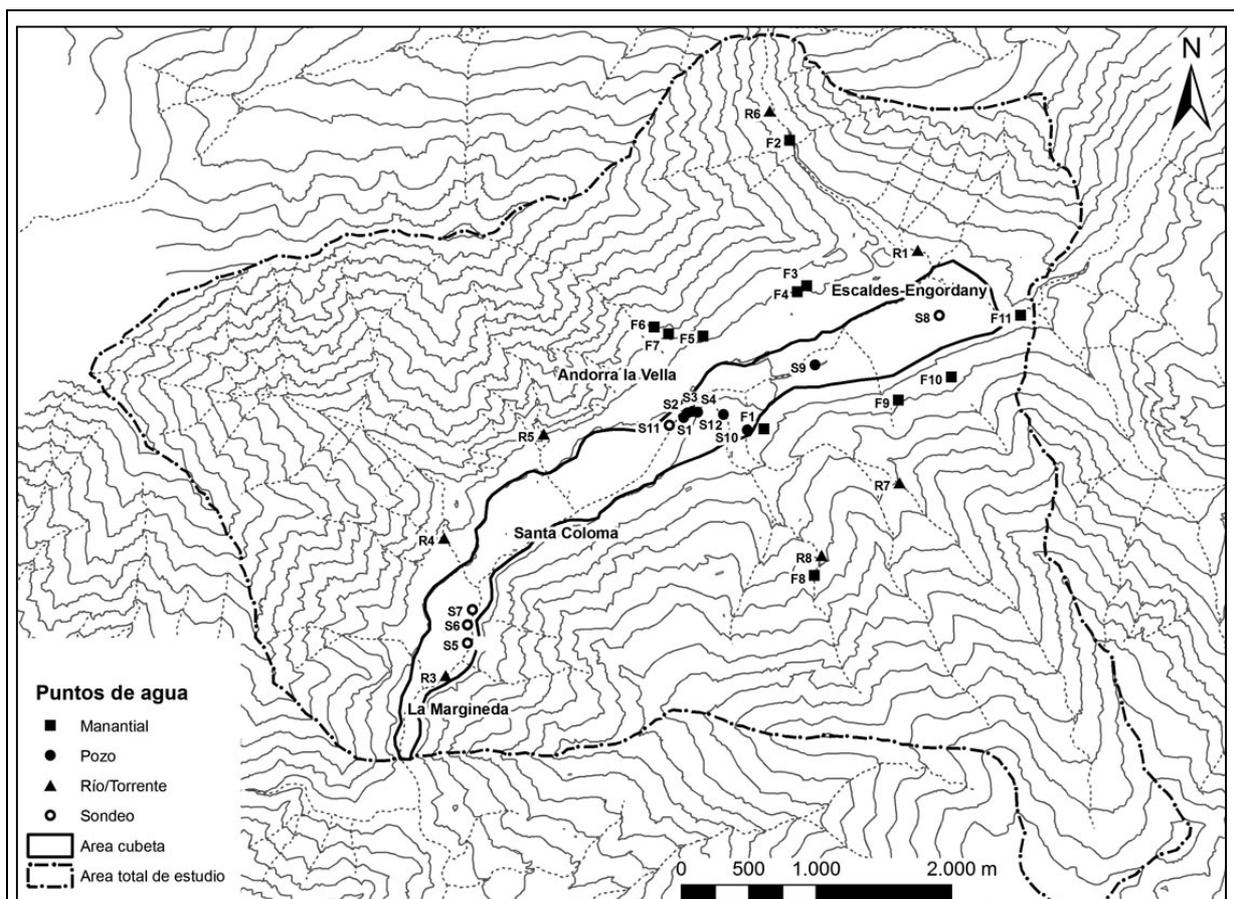


FIGURA 3: Mapa de situación de los puntos de agua inventariados

PIEZOMETRÍA

Para determinar la piezometría de la cubeta se hizo un seguimiento del nivel freático, desde marzo a octubre del 2008 y desde febrero a abril del 2009, en 12 puntos de muestreo repartidos a lo largo de toda la cubeta. La profundidad y diseño de los pozos utilizados sólo han permitido caracterizar el acuífero superior. Además, hay que tener en cuenta que debido a la incertidumbre del número de bombeos actuales, de su distribución y del caudal que se está extrayendo en la zona, se ha decidido realizar una piezometría en régimen permanente a partir de los datos medidos, sin tener en cuenta las posibles influencias por bombeo.

Los valores mínimos se han tomado a finales de los meses de otoño y finales del período invernal, mientras que los niveles máximos se dan en primavera coincidiendo con la época de la fusión de la nieve. Estas variaciones se reflejan en diferencias de nivel en torno a los 2-3 metros por regla general. La piezometría máxima (período abril-mayo 2009) correspondiente al acuífero superior de la cubeta, refleja como el flujo de agua principal, se dirige desde la zona NE de la cubeta, en Escaldes-Engordany, donde se podría situar la principal entrada de agua al sistema; hasta la zona SW, en la Margineda, que se puede considerar como la salida de agua del acuífero.

Asimismo, se observan las entradas laterales de agua procedentes del macizo rocoso que rodea a la cubeta, destacando principalmente la entrada de agua desde el río de Enclar y en menor medida las entradas desde el sector del Forn-Comella, o el sector del Canal de la Cirera. Por otro lado, desde la zona central de la cubeta (cota 970 s.n.m en Santa Coloma, Figura 4) hasta la zona de la confluencia del río Gran Valira con el Río de Enclar (sector S7, Figura 4) existe, según los datos obtenidos a partir del balance hídrico, un aporte de agua del acuífero al río.

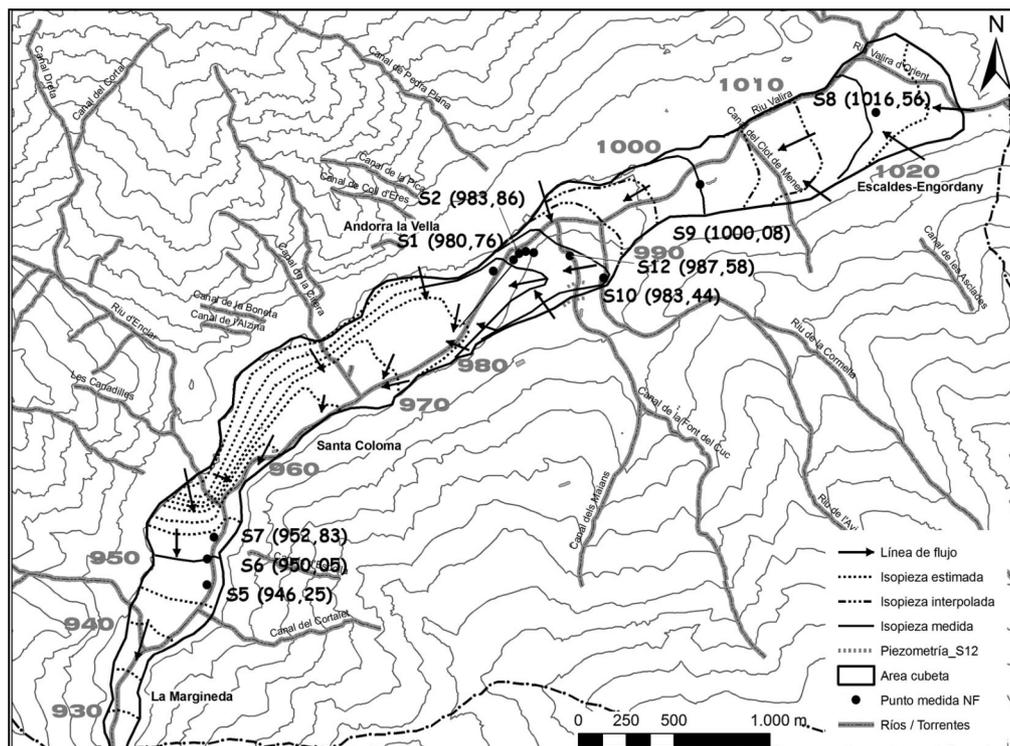


FIGURA 4: Mapa de la piezometría máxima correspondiente al mes de abril-mayo de 2009

Respecto a la piezometría del resto del macizo no se ha realizado un seguimiento específico para poder dibujarla. Sin embargo, como regla general se puede decir que el agua recargada en las zonas más altas de las subcuencas, se infiltran a través de las fracturas del macizo rocoso y descargan parte del agua a través de manantiales de carácter temporal. El flujo se dirige desde la zona donde afloran estos manantiales hacia el centro de la cubeta incorporándose posteriormente a las aguas de la zona de la cubeta y siguiendo su mismo recorrido.

HIDROQUÍMICA

Entre el 27 de febrero y el 2 de mayo del 2009, se tomaron diferentes parámetros "in situ" del agua, concretamente la conductividad, la temperatura, el pH y el potencial redox en un total de 29 puntos de muestreo (tanto aguas superficiales como subterráneas), en 20 de los cuales también se tomó muestra para su análisis geoquímica (entre los días 30 de abril y 2 de mayo) (Figura 5).

El análisis de los diferentes parámetros obtenidos permiten diferenciar entre:

1. Aguas del acuífero poroso de la cubeta de Andorra la Vella - Escaldes
2. Aguas del acuífero fracturado del macizo rocoso
 - a. Zona de la Solana (litología granítica principalmente)
 - b. Zona de la Umbría (litología calcárea y esquistosa)
3. Aguas de los ríos Gran Valira, Valira del Nord y Valira d'Orient

Las aguas de la cubeta, representadas por los puntos S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 y S10, presentan una facies “bicarbonatada cálcica y/o magnésica” que se mantiene a lo largo de su recorrido desde las zonas más al Norte hasta la salida por el Sur. A excepción del punto S2 (Figura 5), que presenta un error de balance, siendo su facies “sulfatada y/o cloruradas cálcica y/o magnésica” y que podría estar asociado a alguna influencia de tipo antrópica.

En términos generales (Tabla 1), son aguas dulces con un grado de mineralización medio y con temperaturas medias de $10,3 \pm 3,1$ °C. Los valores de dureza indican que son aguas duras. Aún así, existe cierta diferenciación progresiva entre las aguas del sector Norte y las del sector Sur.

En la zona Norte, la mineralización de las aguas es ligeramente superior a la de la zona central, manteniéndose aproximadamente constante en el tiempo. Asimismo la temperatura que presenta también es ligeramente superior. Estas diferencias podrían estar relacionadas con la influencia de flujos hidrotermales, de hecho el punto S8 (Figura 5) se encuentra cercano a la zona termal de Escaldes-Engordany. En cuanto a la zona Sur, el comportamiento es totalmente al contrario, el grado de mineralización de las aguas es inferior, y una mayor variabilidad en el tiempo. Presentando unos valores medios de temperatura también inferiores a los de la zona central de la cubeta. La dureza del agua presenta una bajada importante entre los puntos S5-S6 y S7, hecho que se podría relacionar con la entrada de aportes laterales procedentes del río de Enclar (Figura 5).

La zona de la Solana de Andorra, representada por las fuentes F1, F2, F3, F4, F5, F6 y F7 y los torrentes/ríos R4, R5 y R6 (Figura 5), se caracteriza por presentar aguas poco mineralizadas con facies “bicarbonatada cálcica y/o magnésica” coherente con el sustrato rocoso existente en la zona (granodiorita y pizarras limosas con intercalaciones de calcáreas y areniscas de la formación Civís).

Estas aguas presentan (Tabla 2), en general, unos valores de conductividad bajos y temperaturas medias bajas en torno a los 8 °C, a excepción de los puntos F3-F4 donde hay una componente antrópica que altera la temperatura.

Los valores de dureza indica que se trata de aguas blandas.

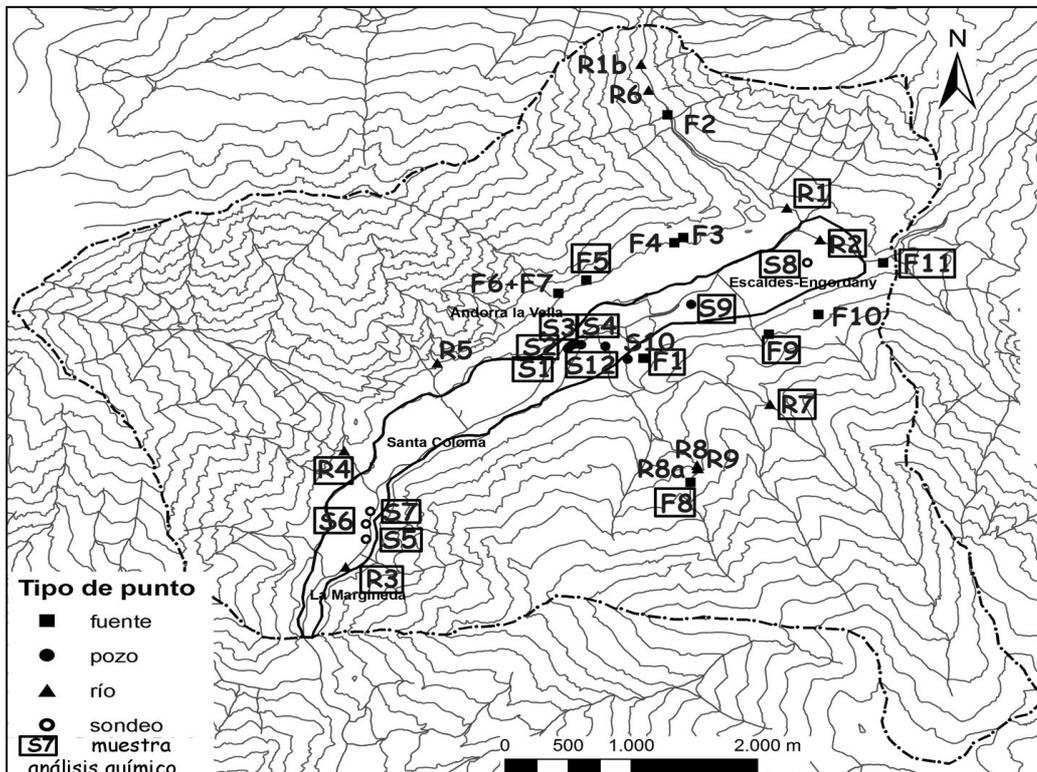
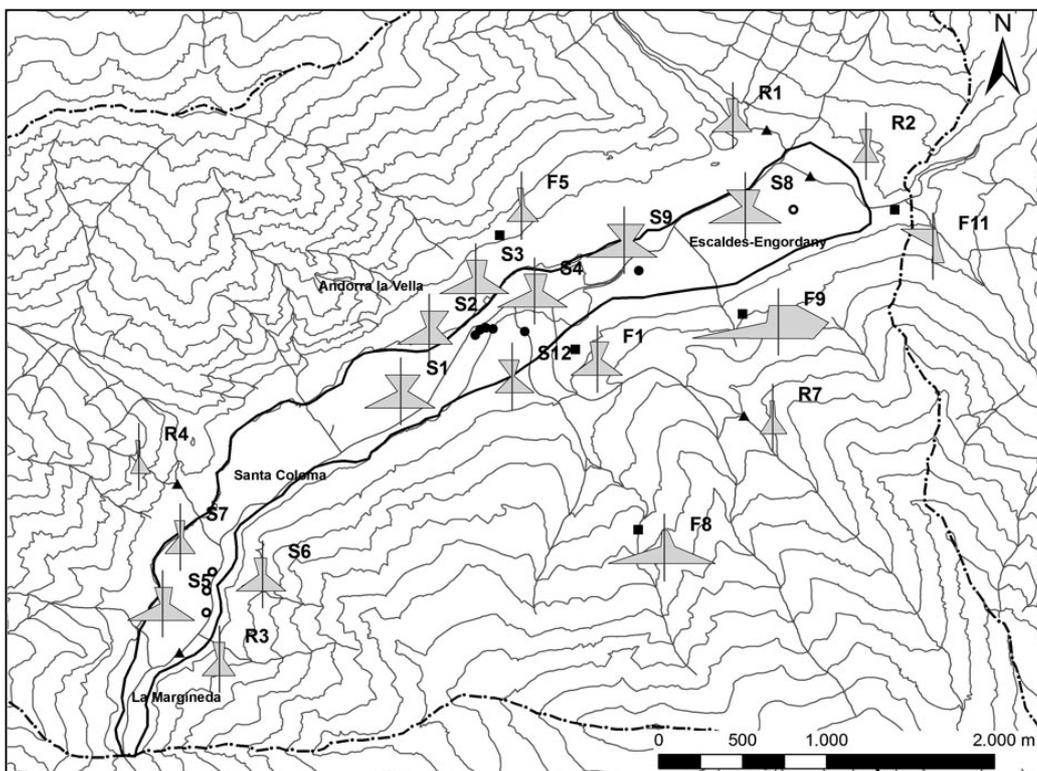


FIGURA 5: Arriba: Situación de los 29 puntos de agua muestreados. Los puntos enmarcados corresponden a las 20 muestras enviadas al laboratorio para su análisis químico. Abajo: Diagramas de Stiff de los puntos muestreados



Al igual que en el caso de la cubeta existen ligeras diferencias entre las diferentes tipologías de punto de agua. Así pues, los manantiales asociados a la granodiorita (F4, F5, F6 y F7) están ligeramente más mineralizados que los asociados a la formación Civís (F2, F3 y R6). En cuanto a los ríos y torrentes que circulan por el macizo (R4 y R5), su baja mineralización se asocia más a valores relacionados con la fusión de la nieve.

Sector Cubeta	Facies	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH (-)	Eh (mV)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Dureza ($^{\circ}\text{HTF}$)
Parámetros medios	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica	246 \pm 57	7,44 \pm 0,29	-24,1 \pm 8,5	10,3 \pm 3,1	10,61 \pm 2,46
Zona Norte		276 \pm 38	7,3 \pm 0,4	-18,3 \pm 6,2	12,5 (S9) – 16 (S8)	12,2 \pm 0,4
Zona Sur		187 \pm 54	7,6 \pm 0,2	-25,6 \pm 11,3	7,6 \pm 0,7	11,5 a 5,1

TABLA 1: Principales parámetros físico-químicos de las aguas de la cubeta

Sector Solana	Facies	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH (-)	Eh (mV)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Dureza ($^{\circ}\text{HTF}$)
Parámetros medios	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica	76 \pm 25	7,43 \pm 0,29	-34,5 \pm 30,1	8,7 \pm 2,4	3,9 \pm 1,7
Asoc. granodiorita		98 \pm 18	7,41 \pm 0,22	-13,2	9,5 \pm 2,7	5,1 (F5)
Asoc. a la Fm. Civís		74 \pm 16	7,20 \pm 0,16	-	6,3 \pm 0,5	-
Aguas superficiales		50 \pm 9	7,63 \pm 0,33	-55,8	9,4 \pm 2,3	2,7 (R4)

TABLA 2: Principales parámetros físico-químicos de las aguas de la Solana de Andorra

Sector Umbría	Facies	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH (-)	Eh (mV)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Dureza ($^{\circ}\text{HTF}$)
Asoc. Fm. Civís	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica	78 \pm 11	7,54 \pm 0,25	-18	10,6 \pm 2,5	4,5
Asoc. calcáreas		251 \pm 52	7,53 \pm 0,24	-25,4	5,8 \pm 0,0	18,6
Asoc. calcáreas y cuaternario		183 \pm 29	7,69 \pm 0,13	-37,3 \pm 2,2	9,8 \pm 1,2	7,3 \pm 2,9
Clot Meners (min. sulfuros)	Sulfatada y/o clorurada cálcica y/o magnésica	517 \pm 55	7,47 \pm 0,25	-38,7	10,5 \pm 0,2	29,3
Agua termal	Bicarbonatada sódica	188 \pm 4	9,26 \pm 0,20	-130,8	50,2	0,5

TABLA 3: Principales parámetros físico-químicos de las aguas de la Umbría de Andorra

Sector Ríos (VN, VO, GV)	Facies	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH (-)	Eh (mV)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Dureza ($^{\circ}\text{HTF}$)
Parámetros medios	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica	132 \pm 25	7,80 \pm 0,11	-43 \pm 8	9,7 \pm 1,6	5,8 \pm 1,4

TABLA 4: Principales parámetros físico-químicos de las aguas de los ríos principales de Andorra

En el caso de la zona de la Umbría, representada por las fuentes F8, F9, F10 y F11 (agua termal), los ríos y torrentes R7, R8 y R9 y el pozo S12, (ver Figura 5), se encuentran varios tipos de agua, relacionados principalmente con el tipo de litología por la que circulan, a excepción de la muestra de agua termal (Tabla 3). Presentan valores de parámetros ligeramente superiores a los de la zona de la Solana. La mayoría son aguas “bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas”, a excepción de la muestra F9 que se clasifica como “sulfatada y/o clorurada cálcica y/o magnésica” debido a la mineralización por presencia de sulfuros en el sustrato y la muestra F11, agua termal, que es “bicarbonatada sódica”.

Las fuentes y ríos (F10 y R7) que se sitúan en terrenos de la formación Civís (CRECIT 2002), formados por pizarras con intercalaciones de calcáreas, presentan una mineralización baja y son aguas blandas. Los puntos F8, R8 y R9, que se sitúan en terrenos de litología calcárea o asociada a ella (formación Manyanet, CRECIT 2002) presentan una mineralización media y se trata de aguas duras. Los puntos S12 y F1 aunque se emplazan en litologías calcáreas (CRECIT, 2002) presentan características diferentes a los dos grupos anteriores, este hecho se podría asociar a que sus aguas discurren parcialmente por terrenos del cuaternario o a influencias de un flujo hidrotermal. Así pues, presentan una mineralización baja y se clasifican como aguas algo duras. El punto F9 (Clot del Mener) presenta una mineralización de tipo medio, aunque sustancialmente superior al resto de aguas. En este caso, se asocia con la presencia de una franja de roca más mineralizada con presencia de sulfuros (pizarras grafitosas del Silúrico, CRECIT 2002), aunque tampoco podría descartarse una cierta influencia hidrotermal. Presenta una dureza superior al resto, siendo aguas muy duras. Finalmente la fuente termal del Roc del Metge (F11) presenta una mineralización baja, y llama la atención el pH básico de sus aguas con un valor de $9,26 \pm 0,20$ y un potencial redox muy negativo (-130 mV) con respecto al resto de aguas de la zona (-31 ± 9 mV). Asimismo la temperatura medida en el momento del muestreo fue de $50,2$ °C, siendo la temperatura media medida en las aguas del sector de $9,2 \pm 2,4$ °C. La dureza del agua es blanda.

Respecto al río Gran Valira (R3) se observa que tiene unas características intermedias entre los valores del Valira d'Orient (R2) y el Valira del Nord (R1), sus aguas se clasifican dentro de la facies química "bicarbonatada cálcica y/o magnésica (ver situación en Figura 5). En general, sus aguas se caracterizan por presentar una mineralización baja (Tabla 4). Todos ellos reflejan la temperatura atmosférica del momento y según la dureza sus aguas se clasificarían como "algo duras", aunque hay que destacar que el Valira d'Orient presenta una temperatura inferior al Valira del Nord y una dureza "blanda", quizás relacionado con la entrada de las aguas del río Madriu que procede de cotas superiores. En principio no parece existir una relación clara entre el acuífero y el río, sin embargo, a partir de los datos de balance hídrico esta relación sí se pone de manifiesto. Hay que tener en cuenta que el caudal del río es muy superior al de entrada desde la cubeta, cosa que enmascara esa posible entrada.

CONCLUSIONES

El valle glaciar principal presenta dos acuíferos siendo el más superficial de tipo multicapa y separado por una capa impermeable del acuífero inferior, que se encontraría confinado. Éstos, a su vez, están relacionados hídricamente con el macizo rocoso que le rodea, existiendo influencia de las aguas hidrotermales que proceden del substrato rocoso fisurado de litología granítica. La evolución de los niveles piezométricos medidos durante la campaña marzo 2008-mayo 2009, revelan

que los más altos se dan en el mes de mayo coincidiendo con la fusión de la nieve, y los más bajos se dan en el mes de enero, existiendo una variación del nivel en torno a los 2-3 metros. Estos datos han permitido establecer la piezometría del acuífero superior de la cubeta, donde el flujo general va desde la zona NE (en Escaldes, 1050 m.s.n.m) hasta la zona SW (en La Margineda, 930 m.s.n.m). Durante su recorrido se observan dos entradas de agua laterales, las que se producen en el sector de la Comella (1000 m.s.n.m) y en el sector del río de Enclar (960 m.s.n.m). Desde el punto de vista hidroquímico, las aguas de la cubeta pertenecen a una facies bicarbonatada cálcica y/o magnésica, existiendo una mayor mineralización en el Norte de la cubeta relacionada con los flujos hidrotermales. En la zona más baja de la cubeta se han detectado menores grados de mineralización coherente con recargas en el río de flujos no hidrotermales. Por otro lado, las aguas de la zona de la Solana y de la Umbría de Andorra son completamente diferentes, la hidroquímica de la primera es de baja mineralización y facies bicarbonatada cálcica y/o magnésica, mientras en la zona de la Umbría se encuentran diferentes facies de agua desde la bicarbonatada cálcica y/o magnésica a la sulfatada y/o clorurada cálcica y/o magnésica y de mineralización variable (de influencia hidrotermal).

BIBLIOGRAFÍA

- Coral, H.; Figueras, S.; Fleta, J.; González, M. & Susagna, T. (2002) Microzonación Sísmica Preliminar de Andorra con Registros de Microsismos; In: *Actas de la IX Asamblea Nacional y III Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, Valencia. p 22-26
- CRECIT (2002). *Mapa geològic d'Andorra*. AND-183-2002. ISBN-99920-0-291-3
- IGEOTEST & Lamban, J. (1999). *Perímetres de protecció dels pous de l'Estadi comunal d'Andorra. Parròquia d'Andorra la Vella*. Exp. núm. A-085-ACA-080.09.99. Informe inédito, (FMC).
- IGEOTEST-DRYAS (2004): *Avaluació prèvia dels recursos hídrics subterranis del Principat d'Andorra (fases 1 i 2)*. Exp. núm. D-020-AG-017.04.04 y D-020-AG-014.04.05. Informe inédito, disponible para consulta en el fondo documental de la Fundació P. Marcel Chevalier (FMC).
- IGEOTEST-DRYAS (2005): *Model hidrogeològic del Prat del Roure. Parròquia d'Escaldes-Engordany*. Exp. núm. D-030-ACEE-007.03.05. Informe inédito, fondo documental de la FMC.
- Miquel, C.; Ponsa, A. & Rivero, L. (2011). Coneixements hidrogeològics en el sector del con de dejecció de La Comella (Parròquia d'Andorra la Vella). In: Turu, V. y Constante, A. (Eds.) *Actas XIII Reunión Nacional del Cuaternario. Andorra 2011*. p. 324-327. Disponible en <http://www.igeotest.ad/igeofundacio/Activitats/Docs/PDF/ACTAS%20ANDORRA%202011.pdf>
- Teixidó, T.; Palomares, I.; Valls, P. & Martínez, P. (2003) realizado para el CRECIT: *Prospecció sísmica de la cubeta d'Andorra la Vella - Escaldes- Engordany*. ISBN: 99920-2-031-8. Artículo disponible en Horitzó, 4, 3-25. <http://www.iea.ad/crecit/imatges/H4prospecciosismica.pdf>
- Turu, V. (1999). Aplicación de diferentes técnicas geofísicas y geomecánicas para el diseño de una prospección hidrogeológica de la cubeta de Andorra (Pirineo Oriental): Implicaciones paleohidrogeológicas en el contexto glacial andorrano. In: *Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología*. Olmo M. I López, J.A. ITGE, p. 203-210. Disponible en: http://aguas.igme.es/igme/publica/pdfactu_tec_geofi/14a_comunicacion.pdf