

HIDROGEODIA
2018 ANDORRA

UN WATER

M. Chevalier

IAH AIH
Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

Excursió gratuïta

Lloc de sortida: Plaça del Poble
Hora de sortida: 9H30
Durada del recorregut: 4H
Distància: 5,5 Km
Tornada amb bus de línia regular
Cal portar calçat còmode,
impermeable, beguda i menjar

- NATURA PER L'AIGUA -

18 de Març

**Vulnerabilitat de l'aquífer
d'Andorra la Vella**

0 90 180 270 360 m



M. Chevalier

HIDROGEOLOGIA 2018

Valenti Turu (1,2)

- (1) Fundació Marcel Chevalier,
Centre Cultural de la Llacuna, AD 500 Andorra la Vella. Principat d'Andorra igeofundacio@andorra.ad
(2) Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Español (AIH-GE)

INTRODUCCIÓN

La zona estudiada se sitúa dentro del valle principal del río Valira, en el marco geográfico del Principado de Andorra y Alt Urgell, vertiente sur de los Pirineos orientales (Fig. 1)

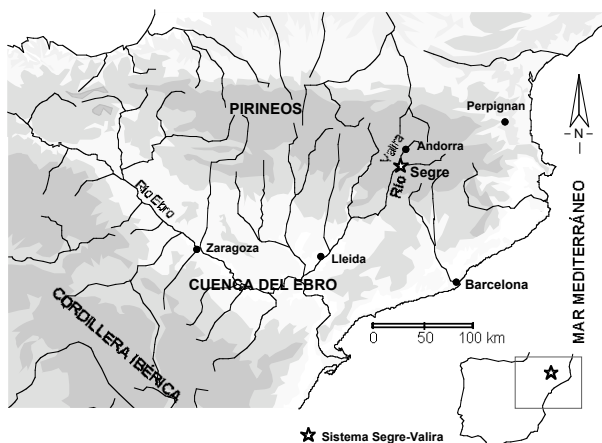


Fig. 1: Situación de la zona de estudio en su contexto hidrográfico.

El río Segre tiene por afluente al Valira (559 Km²) en su paso por La Seu d'Urgell (690 m), el cual a su vez se compone de los afluentes Valira del Nord (145 Km²) emplazado en materiales exclusivamente metamórficos (Fig. 2), el Valira d'Orient (166 Km²) y el Madriu (45 Km²) con litologías metamórficas e ígneas (Fig. 2).

El valle de Andorra presenta un modelado glaciar muy evidente en la mitad norte del mismo (La Margineda, Santa Coloma, Andorra la Vella y Escaldes-Engordany), mientras que en la mitad sur, el modelado fluvial predomina (Aixovall, Os de Cívis, Sant Julià de Lòria).

INTERPRETACIÓN DEL PAISAJE

Desde la "Plaça del Poble" d'Andorra la Vella se acierta a ver hacia el N el Solà d'Engordany, el complejo morrénico de Engolasters (NE), el Obac de Escaldes, La Comella, fins al Roc d'Enclar al S.

Engolasters. Durante los trabajos de represa del lago en los años 1930 Marcel Chevalier hizo una descripción del lugar para FHASA (Fuerzas Hidroeléctricas de Andorra SA) y que reproducimos aquí junto con una reinterpretación actualizada (Fig. 3). De este sector también se dispone de datos del subsuelo del llano de Engolasters, concretamente de un par de pozos de 80 m de profundidad en sedimentos porosos y saturados de agua. Este complejo morrénico suspendido permite

autoabastecer de agua a las viviendas adosadas alrededor del citado rellano.

El drenaje gravitacional de este acuífero se distribuye a lo largo de toda la ladera. A partir de una cierta cota topográfica las fuentes de agua son abundantes (Fig. 4), lo que permite deducir el gradiente hidráulico ($i = 20\%$). El propio lago de Engolasters resulta ser también un reservorio de agua que alimenta al acuífero (Fig. 4)

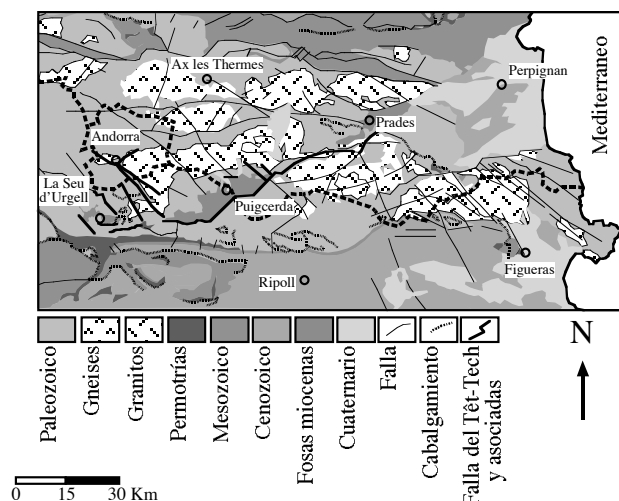


Fig. 2a: Boceto geológico de los Pirineos Orientales. Se observa que el batólito de Andorra-Montluis queda emplazado en el sector SW del Principado. Destacar que a lo largo del límite sur del Principado éste limita con la fosa tectónica de la Cerdaña y de la Seo de Urgel.

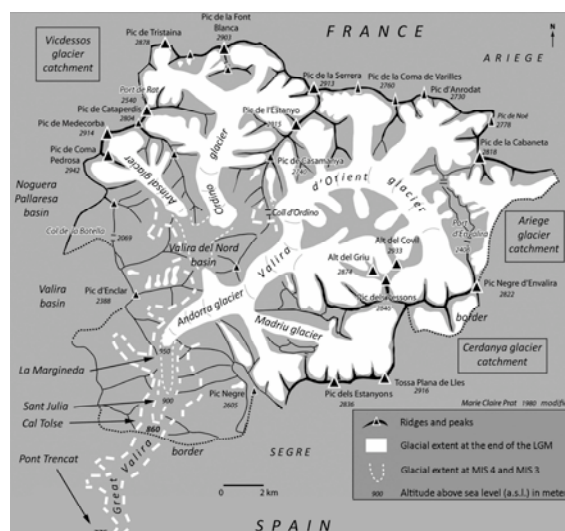


Fig. 2b: Esquema de la extensión de los glaciares de Andorra según Prat (1980, modificado).

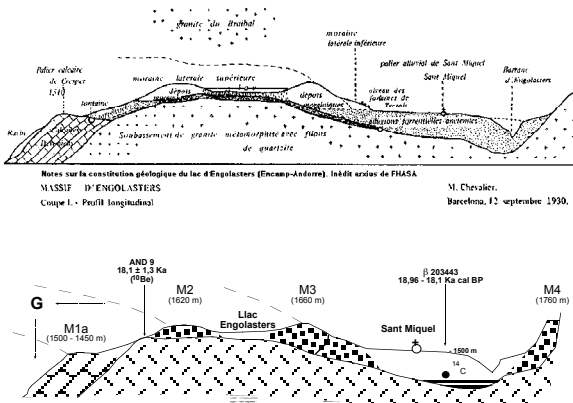


Fig. 3: Interpretación del complejo morrénico lateral de Engolasters basado en el esquema de Chevalier (1930) y corresponde a los datos de una perforación de más de 60 m de profundidad en el rellano de Sant Miquel d'Engolasters, en dónde en la base se sitúan sedimentos finos que se interpretan glaciolacustres en el momento que el glaciar del Valira de Orient obturaba el sector.

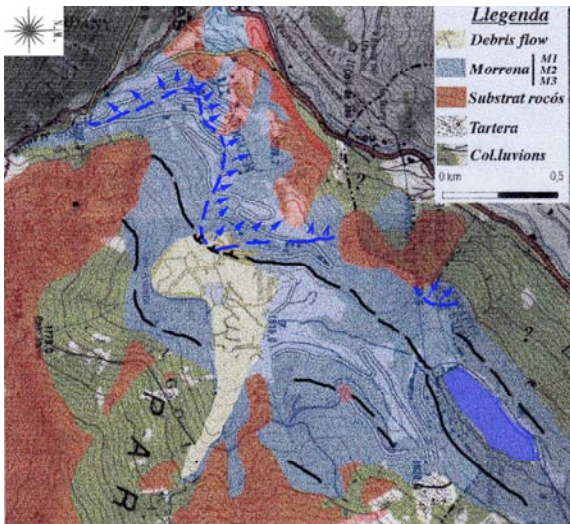


Fig. 4: Cartografía de las fácies sedimentarias del material mueble y el substrato granítico. El rellano de Engolasters y su acuífero se ha pintado en amarillo. En línea azul discontinua corresponde a la intercepción del nivel freático con la topografía. Las flechas azules indican el sentido del drenaje.

Obac de Escaldes. La continuación del nivel freático que presenta el sector de Engolasters se continúa por el Obac de Escaldes (Fig. 5). Aquí se encuentra la principal entrada de agua al acuífero, que se efectúa por el lateral del valle (Fig. 6), tal como se muestra en la simulación efectuada (Fig. 7). Límites del acuífero del fondo de valle. Por en Norte y el NW el substrato rocoso aflora en superficie, siendo éste un limite impermeable. Por el Sur se encuentra un borde positivo de aporte de agua subterránea directamente hacia el acuífero. El río Valira representaría ser un borde positivo, únicamente influente en la zona vadosa y la parte superior del acuífero. La arquitectura del acuífero del fondo de valle presenta diferentes niveles permeables separados por otros de impermeables que confinan las capas acuíferas (Fig. 8). Estas capas presentan una ligera inclinación aguas abajo aumentando su confinamiento hacia el sur.

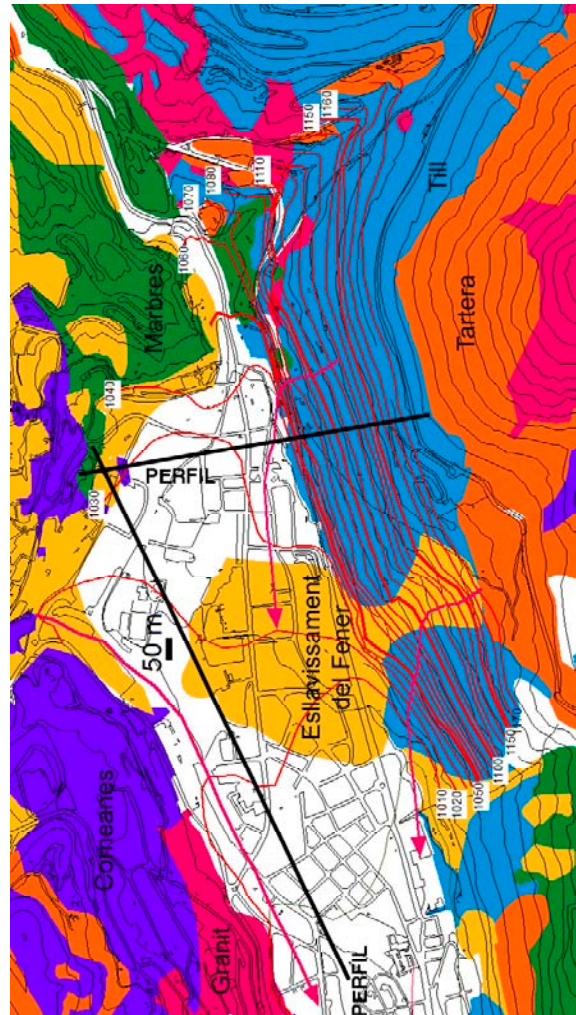


Fig. 5: Piezometría del obac de Escaldes y Andorra.

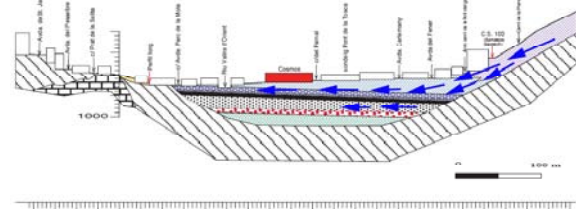


Fig. 6: Esquema de recarga del acuífero de fondo de valle en Escaldes (perfil transversal).

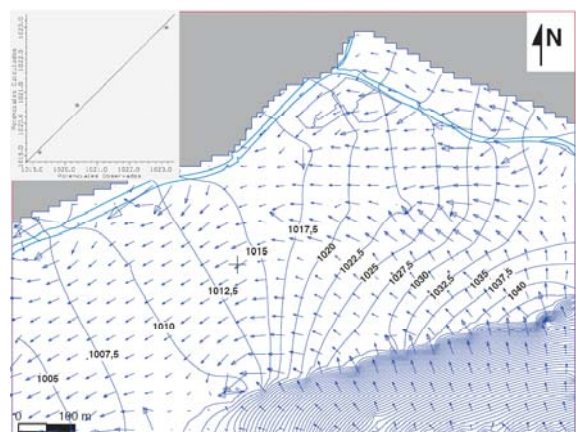


Fig. 7: Modelización del acuífero superior.

El Ribal. El sector de La Nogreda presenta el cono de deyección más importante del fondo de valle (Fig. 11).



Fig. 11: Piezometría del sector intermedio del fondo de valle, coincidiendo con los conos de deyección de la Nogreda y del Carroi.

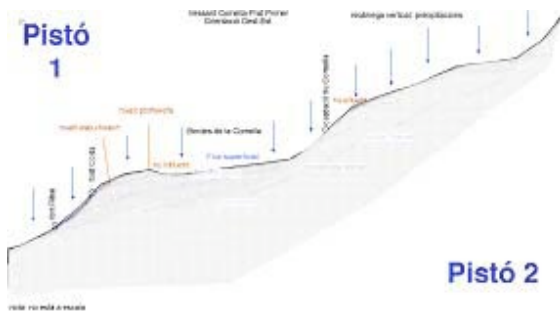


Fig. 12: Esquema de funcionamiento del acuífero de Prat Primer – La Comella y el punto final de convergencia de flujos en la Font del Ribal. Ejercicio práctico: Dibujar las líneas de flujo y situar los lugares en los que se encontrarían los flujos de pistón 1 y pistón 2 (modelo de infiltración).

La Font del Ribal surge de los sedimentos morrénicos adosados en la vertiente de l'Obac d'Andorra. La temperatura media ronda los $8,8 \pm 1,6^\circ\text{C}$ y su variación anual oscila entre los 4°C (en Mayo) y los 11°C (a mediados de Junio). El pH es neutro oscilando entre 7,2 y 7,8. Su conductividad varía entre 153 y $190 \mu\text{Scm}^{-1}$. Su caudal no es inferior a los 15 l/s ($\approx 0,5 \text{ Hm}^3/\text{año}$). Contiene una cierta cantidad de Tritio (^3H alrededor de $11,8 \pm 2,15 \text{ UT}$) y la cota de recarga se situaría cerca de los 1700 m de altura, lo que implica un recorrido mínimo del agua subterránea de 3 km . Los ensayos de inyección realizados con sal común permiten decir que este valor es un promedio, y que existe un segundo frente de infiltración a una cota inferior.

La continuidad de los sedimentos morrénicos es importante al igual que su espesor ($50 - 100 \text{ m}$), y se pueden reseguir hasta la zona de La Comella, dónde se infiltran totalmente los ríos de l'Avier y de la Comella. La cuenca asociada es de $4,33 \text{ km}^2$, siendo el balance hídrico repartido entre la infiltración (48%) y la evapotranspiración un 52% respecto al 100% de precipitación anual (4 Hm^3). En estas condiciones la Font del Ribal drena anualmente el 25% del volumen infiltrado. La curva de agotamiento de la fuente proporciona una $\alpha = -1,1 \cdot 10^{-3}$, y por tanto un volumen de almacenamiento de unos $0,7 \text{ Hm}^3$. Esto significa que solo el 71% del acuífero se renueva anualmente y otro 23% queda retenido. Si se modela un flujo de doble pistón (modelo de infiltración, Fig. 12) con el valor de Tritio detectado en 2002, se puede estimar una edad inferior a 1 año para el agua reciente (primer pistón y más cercano a la fuente), y una edad de 28 años para el flujo profundo (segundo pistón y más lejano). En este modelo de infiltración la proporción del agua joven respecto al de agua vieja es de un 66% . Este valor es razonablemente cercano al porcentaje de renovación.

Estadi Comunal. Los diferentes frentes morrénicos del glaciar de Andorra durante su retroceso final (Fig. 13) han coexistido con la dinámica de las vertientes, hecho que puede generar confusión en el momento de interpretar la tipología de los sedimentos adosados (Fig. 14), y su asignación de propiedades hidrogeológicas.

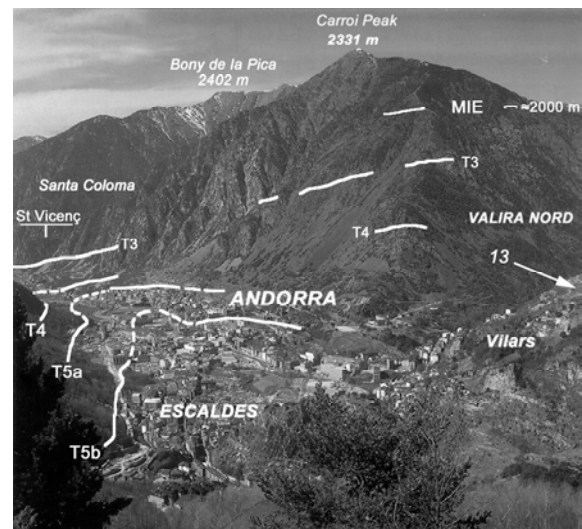


Fig. 13: Indicación de los principales rasgos glaciares del valle principal. Punto 13 datación ^{14}C dels Vilars.

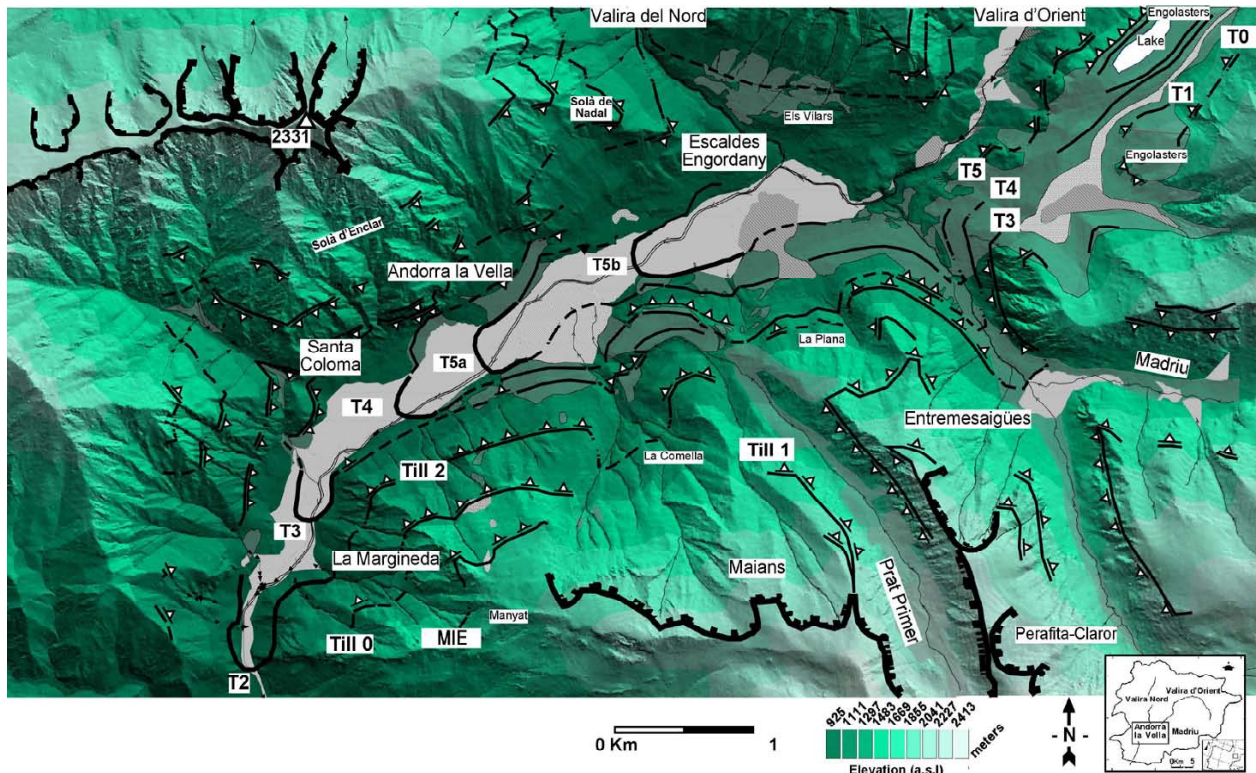


Fig. 14: Posició de los principales complejos morrénicos en el valle principal de Andorra. La nomenclatura de los diferentes niveles se corresponde con la figura 13.

Roureda de Sansa

El sector de la Roureda de Sansa (puntos 3 y 4, Fig. 11) presenta estructuras tradicionales de extracción de agua (pozos excavados) y de uso agrícola que permiten trazar la piezometría del acuífero. Alguno de ellos con transmisibilidades y permeabilidades destacables, como es el caso del punto 5 (Fig. 11), del cuál se dispone de los resultados de una prospección de resonancia magnética nuclear (Fig. 15).

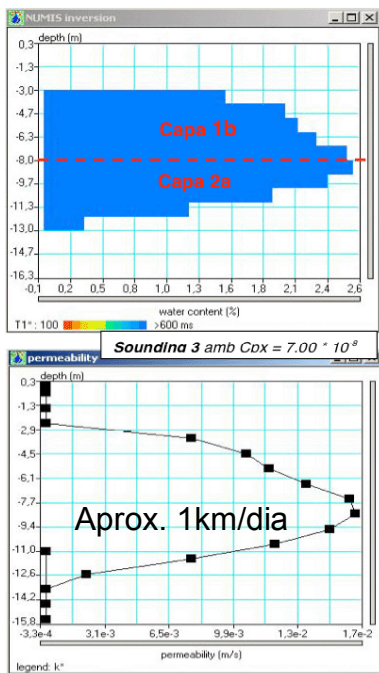


Fig. 15: Datos de porosidad y permeabilidad del acuífero.

El lugar de Santa Coloma

Los sedimentos descritos por Chevalier (1906) quedan situados en Santa Coloma. Este autor, interpreta los sedimentos que colmatan el valle de Andorra la Vella, como producto de la obturación del río Valira por la morrena frontal. A Nussbaum (1956) se le debe un boceto interpretativo (Fig. 16) con un nivel de morrena situada encima de una terraza fluvial. Prat (1980) cita la existencia de dos arcos morrénicos en Santa Coloma, de los cuales el más septentrional queda situado dentro del pueblo de Santa Coloma.

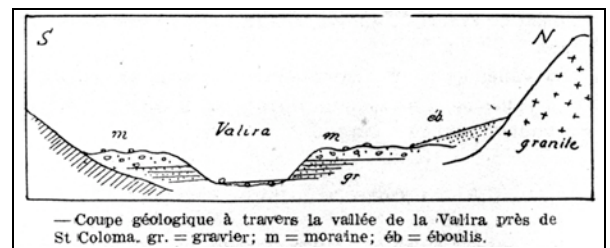


Fig. 16: Interpretació d'una de les seccions existents d'una antiga gravera situada al peu de l'església de Santa Coloma. Per Fritz Nussbaum la part superior de la secció correspon a una morrena (m) que es disposa per sobre d'uns dipòsits fluviotorrencials (gr)

Afloramiento de Santa Coloma: Éste presenta las siguientes características: 1) Los bloques morrénicos descansan sobre sedimentos flúvioglaciares de litología granítica y indicando que el valle afluente de litología metamórfica (Valira del Nord) estaba en ese momento obturado. 2) El nivel de bloques situado sobre el depósito anterior fuertemente compactado. 3) De forma minuciosa se observan evidencias de niveles de finos intercalados entre niveles de gravas cerca del contacto con los bloques morrénicos que presentan deformación.

La posición de estos sedimentos respecto al actual nivel del río es de 15 m (cota 975 m).

En las cercanías de Santa Coloma se observa otro cordón morrénico situado al sur de esta localidad, entre 1140 m y 1166 m de altitud cerca del río de Enclar y citada por Llobet (1947).

Turu y Peña (2006b) interpretan que el frente morrénico terminal de Santa Coloma se corresponde con la última obturación efectiva del valle de litología metamórfica de La Massana y Ordino, de forma que se enlazaría con el cordón morrénico (Fig. 14) más interno de Engolasters, el cual sería anterior al que ha sido datado en el Solà d'Engordany (Els Vilars) correspondiendo al LGM (Tabla 1).

Muestra	Ref.	Edad	$^{13}\delta$	Cal BP
Vil-2x	β-169909	16610±60	-25,3 o/oo	20.250-19.350

Tabla 1: Resultados obtenidos de sedimento total en sedimentos de vertiente interdigitados en un till lateral situado en Can Diumenge (Turu y Peña, 2006b).

Terminación del acuífero en Santa Coloma: Como consecuencia del retroceso glaciar queda una depresión rellanada con sedimentos post-glaciares compresibles (Fig. 17). El escarpe dejado por los sedimentos glaciares presentaban en su día continuidad con el acuífero central. En esta depresión rellanada una parte de las capas acuíferas confinadas aguas arriba dejan de serlo (Fig. 18). Del mismo modo ocurre con esas mismas capas aguas abajo de Santa Coloma, que vuelven a confinar acuíferos con un potencial hidráulico fijado en la cota 970 m en Santa Coloma (Fig. 19). El resultado de la modelización del acuífero de Santa Coloma (Fig. 20).

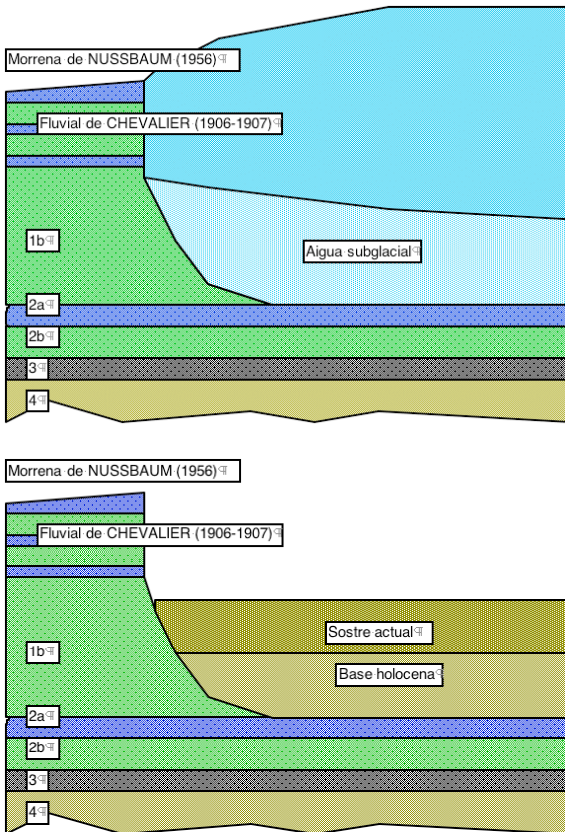


Fig. 17: Esquema interrepresentativo de la terminación del acuífero en Santa Coloma.

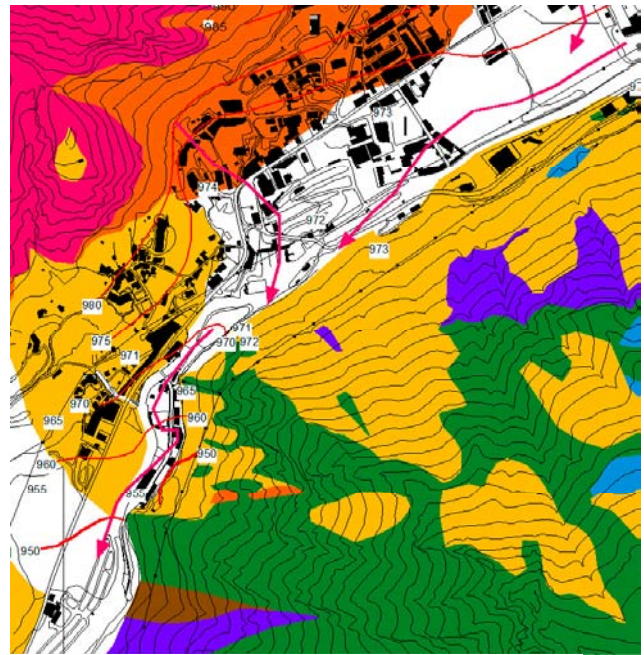


Fig. 18: Piezometría aproximativa del sector de Santa Coloma.

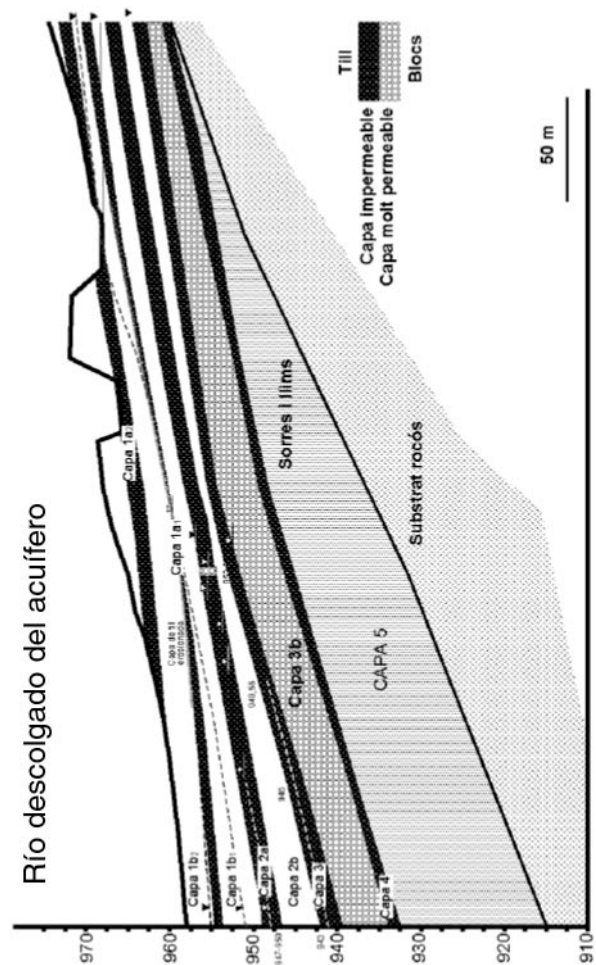


Fig. 19: Continuidad de las capas glaciares impermeables (1a, 2a, 3a, 4a) y las permeables entre medio (1b, 2b, 3b, 4b). Dado que el acuífero queda abierto en Santa Coloma, cualquier posible contaminación puede penetrar fácilmente y contaminar los niveles superiores.

NOTAS

Bibliografia general

- Andrieu, V., Hubschman, J., Jalut, G. & Hérial, G. (1988): Chronologie de la déglaciation des Pyrénées françaises. Dynamique de sédimentation et contenu pollinique des paléolacs: application à l'interprétation du trait glaciaire. *Bull. de l'Ass. fra. pour l'étude du Quat.*, 1988-2/3, 55-67
- Bierman, P.R.; Marsella, K.A.; Patterson, C.; Thompson, C.; Davis, P. & Caffee, M. (1999) Mid-Pleistocene cosmogenic minimum-age limits for pre-Wisconsinan glacial surfaces in southwestern Minnesota and southern Baffin Island: a multiple nuclide approach; *Geomorphology*, 27, 25-39
- Bond, G.; Heinrich, H.; Boecker, H.; Labeyrie, I.; i col.laboradors (1993) Evidence for massive discharges of ice-bergs into the North Atlantic Ocean during the last glacial period. *Nature* 365, 143-147
- Bloembergen, N., Purcell, E M., & Pound, R. V. (1948). Relaxation effects in nuclear magnetic resonance absorption. *Physical review*, 73(7)
- Broecker, W.S. (2005) "The role of the ocean in climate yesterday, today and tomorrow" pp 183 (Eldigio Press: Palisades, N.Y.)
- Bakalowicz, M., Sorriaux, P., Ford, D.C., 1984. Quaternary glacial events in the Pyrenees from U. series dating of speleothems in the Niaux-Lombrives-Sabart Caves, Ariège, France. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 38, 193-197.
- Calvet, M. (1998). *Los complejos fluvio-glaciares de Cerdanya-Capcir (Pirineos Orientales) y sus enseñanzas*; LAS HUELLAS GLACIARES DE LAS MONAÑAS ESPAÑOLAS (Gómez Ortiz & Pérez Alberti, A. Eds.), traducción por M. Valcárcel, Universidad de Santiago de Compostela, 263-290
- Copons, R i Bordonau, J. (1994) La pequeña efef del hielo en el macizo de la Maladeta (Alta cuenca del Esera, Pirineos Centrales); *In*: "El glaciario supinaico: nuevas aportaciones". (Eds C. Martí-Bono i J.M. García-Ruiz) pp 111-124. (Geoforma Ediciones: Logroño)
- Copons, R. (2005) El relleu postglacial al Principat d'Andorra. Les dinàmiques de vessants i fluviotorrencials. *Horitzó*, 8, 26-34: http://www.iea.ad/images/stories/Documents/CE_NMA/Hortizo/Hortizo8/H8article5.pdf
- Delmas M., Calvet M., Gunnell M., Braucher R., Bourlès D., 2011 - Palaeogeography and ¹⁰Be exposure-age chronology of Middle and Late Pleistocene glacier systems in the northern Pyrenees: implications for reconstructing regional palaeoclimates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 305, 109-122.
- Fernández-Mosquera, D., Martí, K., Vidal Romaní, J.R. & Weigel, A. (2000). Late Pleistocene deglaciation chronology in the NW of the Iberian Peninsula using cosmic-ray produced ²¹Ne in quartz. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 172. 832-837.
- Fernández-Mosquera, D., Martí, K. y Vidal-Romani, J.R. (2003). Cosmogenic Ne in terrestrial quartz: How to correct the trapped component. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67/18S.
- Fontboté, J.M., Solé Sabaris, L. & Alimén, H. (1957): Livretguide de l'excursion Nord Pyrénées, Vèmecom. Inter. INQUA, 107 pp, Barcelona Hartevelt, J. J. A. (1970): Geology of the upper Segre and Valira valleys Central Pyrenees, Andorra/ Spain, Sheet 10, Leidse Geol. Med., 45,167-236
- Guilaine, J. i Martzluff, M. (1995) LES EXCAVACIONS DE LA BALMA DE LA MARGINEDA (1979-91); Ministeri d'Afers socials i Cultura del M.I. Govern d'Andorra i Centre de Perpinyà de l'Institut d'Estudis Andorrans, volum I, II, III
- Guilaine, J. i Martzluff, M. (2008) LES EXCAVACIONS DE LA BALMA DE LA MARGINEDA (1979-91); Ministeri d'Afers socials i Cultura del M.I. Govern d'Andorra, volum IV
- Jalut, G. i Turu, V. (2008). Le dernier cycle glaciaire-interglaciaire dans les Pyrénées: Englacement, Climat, Vegetation. En: *Pyrénées d'hier et d'aujourd'hui*, Atlantica Ed., Biarritz, (France) 145-161.
- Lewis, C., McDonald, E., Sancho, C., Peña J.L. y Rhodes, E. (2009): Climatic implications of correlated Upper Pleistocene glacial and fluvial deposits on the Cinca and Gállego Rivers, NE Spain. *Global and Planetary Change*, 67, 141-152.
- Pallàs, R., Rodés, A., Braucher, R., Carcaillet, J., Ortuño, M., Bordonau, J., Bourlès, D., Vilaplana, J. M., Masana, E., Santanach, P., 2006. The late Pleistocene and Holocene glaciation in the Pyrenees: a critical review and new evidence from 10 Be exposure ages, south-central Pyrenees. *Quaternary Science Reviews* 25, 21-22, 2937-2963.
- Popper, K.R. (1959) The logic of scientific discovery. Hutchinson, Londres, 452 pp. (Traducción esp.: La lógica de la investigación científica, 4a, Ed. Tecnos, 1973, Barcelona)
- Prat, M.C (1980). *Montagnes et vallées d'Andorre, Thèse de Doctorat Université de Bordeaux 3, 266 p, 50 planches hors texte, carte géologique et carte géomorphologique en couleurs au 1 : 50 000*
- Renault-Miskovsky, J. (1992) Palynologie du Quaternaire européen: chronostratigraphie, paléoclimatologie et paléoenvironnement végétal de l'homme fossile. *Géochronique* 44: 21-24
- Serrat, D. & J.M. Vilaplana (1979) *Mapa geomorfològic d'Andorra a 1:50.000*; El Patrimoni Natural d'Andorra; Ed. Ketres, Barcelona, 15-51
- Turu, V. (1994) Datos para la determinación de la máxima extensión glaciaria en los valles de Andorra (Pirineo Central). In: "Actas de la III Reunión Nacional de Geomorfología 1994" pp 266-273. (SEG: Logroño)
- Turu, V. i Bordonau J. (1997) El glacialisme en les valls de la Valira del Nord, síntesi d'afloraments, *Annals de l'Institut d'Estudis Andorrans* (Centre de Barcelona) 1995, 41-104
- Turu, V. (1998) Interpretación genética de la unidad deformada de la sección estratigráfica de Sornàs. Un drumlin en los valles de la Valira del Nord, Principado de Andorra, (Pirineos Orientales). In: "Investigaciones recientes de la Geomorfología española" (Eds. A. Gómez-Ortiz y F. Salvador Franch) pp 445-454. (SEG-UB: Barcelona) <http://www.igeotest.ad/articles/docs/Drumlin%20Sornas.pdf>
- Turu, V. (2001) Ejemplos de deofrmación sinsedimentaria en la cubeta glaciolacustre de la Massana, Push Moraine de la Aldosa i delta dels Hortals, Principado de Andorra (Pirineos Orientales). In: "Actas V Reunión del Cuaternario Ibérico" pp 81-84. (GTPEQ-SGP: Lisboa) <http://www.igeotest.ad/articles/docs/Push%20Moraine.pdf>

- Turu, V. (2002a) Análisis secuencial del delta de Erts. estratigrafía de un valle glaciario obturado intermitentemente. relación con el último ciclo glaciario. valle de Arinsal, Pirineos Orientales, parte I : El método utilizado". In: "Estudios recientes (2000-2002) en geomorfología, patrimonio, montaña y dinámica territorial" pp 555-563 (SEG-Departamento de Geografía UVA: Valladolid) <http://www.igeotest.ad/articles/docs/Delta%20Ert%20Part%201.pdf>
- Turu, V. (2002b) Análisis secuencial del delta de Erts. Estratigrafía de un valle glaciario obturado intermitentemente. relación con el último ciclo glaciario. Valle de Arinsal, Pirineos Orientales. Parte II : Aplicación. In: "Estudios recientes (2000-2002) en geomorfología, patrimonio, montaña y dinámica territorial" pp 565-574 (SEG-Departamento de Geografía UVA: Valladolid)
- Turu, V.; Pous, J; Bordonau, J. y Palomar, J. (2002) La cubeta de sobreexcavación glacial de La Massana-Ordino, Pirineos Orientales: Aplicación de la prospección geoelectrica. *Horitzó* 2, 38-52 <http://www.iea.ad/crecit/imatges/massana.pdf>
- Turu, V. i Peña, J.L. (2006a) Las terrazas fluviales del sistema Segre-Valira (Andorra-La Seu d'Urgell-Organyà, Pirineos Orientales): relación con el glaciario y la tectónica activa. In: "Geomorfología y Territorio" (Eds. A. Pérez-Alberti y J.López) pp 113-128 (Publicaciones de la Universidad de Santiago de Compostela, 171: Santiago de Compostela). <http://www.igeotest.ad/articles/docs/Turu%20Peña%20Segre-Valira%201.pdf>
- Turu, V. i Peña, J.L. (2006b) "Ensayo de reconstrucción cuaternaria de los valles del Segre y Valira (Andorra-La Seu d'Urgell-Organyà, Pirineos Orientales): morrenas y terrazas fluviales". In: "Geomorfología y Territorio" (Eds. A. Pérez-Alberti y J.López) pp 129-146 (Publicaciones de la Universidad de Santiago de Compostela, 171: Santiago de Compostela). <http://www.igeotest.ad/articles/docs/Turu%20Peña%20Segre-Valira%201.pdf>
- Vernet, J.L. i Krauss-Marguet, I. (1985) La Balma Margineda: Charbons de bois et vegetation; Histoire et archéologie, 96, 24-25
- Algunas referencias bibliográficas más:**
- Barnett, W.K. (1988): *Transformació de l'argila en el procés d'elaboració de la ceràmica prehistòrica: estudi del jaciment del Neolític Antic de la Balma de la Margineda*, Informe interno del Patrimoni Artístic Nacional, 41 pp,
- Bladé, J.F. (1875): *Etudes géographiques sur la vallée d'Andorre.*, Universelle, 97 pp, París
- Bordonau, J. (1992): *Els complexos glacio-lacustres relacionats amb el darrer cicle glacial als Pirineus*, Geoforma, 251 pp, Logroño
- Bordonau, J., Serrat, D. & Vilaplana, J.M. (1992): Las fases glaciares cuaternarias en los Pirineos, The late Quaternary in the Western Pyrenean Region, (Cearreta, A.; Ugarte, F.M.), Servicio Editorial Universidad del País Vasco, 303-312, Bilbao
- Brú, J., Gómez Ortiz, A., Serrat, D., Ventura, J. & Vilaplana, J.M. (1985): Síntesis de la dinámica glaciario cuaternaria en la vertiente meridional del Pirineo Catalán, *Actas de la I Reunión del Cuaternario Ibérico*, GETC-GTPEQ, Lisboa, vol. 1,165-183
- Chevalier, M. (1906): Sur les glaciers Pleistocènes dans les vallées d'Andorre; Cte *R Acad. Sciences*, T.XLI, 662-663
- Chevalier, M. (1907): Les glaciaires Pleistocenes dans les Vallées d'Andorre. *Rev. Scientifique (rev. rose)*, N° 23, T. VII, 501-502
- Chevalier, M. (1924): Contribution à l'étude des Pyrénées. Note sur les terrains Néogènes des Vallées du Valira, *Butll. de la I.C.H.N.*, Vol. IV, N° 9, 177-190
- Chevalier, M. (1925): *La Vallée d'Arinsal*, Ed. Dardel, 106 pp, Chambéry, M.
- (1926): Essai sur la physiographie de la Catalogne. Les formes topographiques et leurs relations avec la structure géologique. Leur évolution pendant les temps quaternaires, *Butll. I.C.H.N.*, Vol XXVI, 25-41
- Colomer, V. (1990): *Dades sobre l'esllavçada que destruí el poble del Fené*, Informe interno del Patrimoni Artístic Nacional, 10 pp, Aixovall
- Dalloni, M. (1930): *Etude géologique des Pyrénées Catalanes*, Ann. Fac. Scien. Marseille, T. XXVI, Fase. III, Vol. 1, 373 pp, Alger
- Dupont, E. (1844): Sur divers phénomènes diluviens observés dans le département de l'Ariège et quelques vallées voisines, *Ann. Mines*, IV^e série, t. V, p 481.
- Durrocher (1843): Sur les traces de phénomènes diluviens qui s'observent dans les Pyrénées, *C.R. Acad. Se.*, t. XIII, p. 92
- Hérial, G., Hubschman, J. & Jalut, G. (1987): Quaternary glaciation in the French Pyrenees, *Quaternary Science Reviews*, 5, 397-402
- Llobet, S. (1947): *El medio y la vida en Andorra, estudio geográfico*, CSIC. Inst. Juan Sebastián Elcano-Estación de estud. piren., 347 pp, Barcelona
- Lewis, C., McDonald, E., Sancho, C., Peña J.L. y Rhodes, E. (2009): Climatic implications of correlated Upper Pleistocene glacial and fluvial deposits on the Cinca and Gállego Rivers, NE Spain. *Global and Planetary Change*, 67, 141-152.
- Llopi, N. (1967): *Mf/wge/og/coúte, 4/ii/Orra*, CSIC Inst. Geol. E con., hoja IV, escala 1:25.000, Madrid
- Nussbaum, F. (1928): Die diluviale Vergletscherung der östlichen Pyrenäen, *Geogr. Zeitsch.*, Heft 7, (Traducción francesa de Nussbaum, F.: Sur la glaciation quaternaire dans les Pyrénées Orientales, *Eclogae Geol. Helv.*, T. 21, N° 1, 80-83, Bale 1928)
- Nussbaum, F. (1930): Morphogischestudien in den östlichen Pyrenäen, *Zeitschr. d. Ges. F. Erdk.*, N° 5/6, 200-210
- Nussbaum, F. (1934): *Die seen der Pyrenäen*, Mitt. Nat. Ges., 184 pp, Berna. (Traducción catalana de Solé. L.: Els lacs dels Pirineus segons Nussbaum, *Butll. de la I.C.H.N.*, Vol. XXXVI, II^o trimestre, 107-115, Barcelona 1936)
- Nussbaum, F. (1956): Observations morphologiques dans la région de la Noguera Pallaresa, *Pirineos*, año XII, N° 39, 40, 41 y 42, 57-115
- Panzer, W. (1926): Talentwicklung und eiszeitklima im nordöstlichen Spanien, *Abhand. den Senckenberg. Naturf. Ges.*, Bd. 39, Heft 2, 141-182 Penck, A. (1883): Die Eiszeit in der Pyrenäen, *Mitteilungen des Vereins für Erdkunde*, 163-231,
- Leipzig. (Traducción francesa de Braemer, L.: La période glaciario dans les Pyrénées, *B. S.M.N.*, XIX, 105-200, Toulouse 1885)
- Prat, M.C. (1980): *Montagnes et vallées d'Andorre, étude géomorphologique*, Thèse de III cycle, Inst. de Géogr. de la Univ. de Bord. III, 267 pp, Bordeaux
- Vilaplana, J.M. (1985): Les fases glaciales del Cuaternario superior en el sector nord-oest del Pirineu Andorra, *Rev. Inv. Geol.*, 41, 67-82