

Ensayo de reconstrucción cuaternaria de los valles del Segre y Valira (Andorra-La Seu d'Urgell-Organyà, Pirineos Orientales): morrenas y terrazas fluviales

Valentí Turu i Michels* y José Luis Peña Monné**

* Fundació Marcel Chevalier, Av. Príncep Benlloch 66-72, AD 005 Andorra la Vella,

Principado de Andorra; E-mail: vturu@andorra.ad

** Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

E-mail: jlpena@unizar.es

Resumen:

Los depósitos fluviales y glaciares del valle del Valira, en Andorra, y del río Segre, en el Urgellet han sido objeto de estudio desde antiguo, con importantes controversias acerca del número de etapas cuaternarias y su asignación cronológica. Partiendo de la cartografía de los niveles de terraza y la localización de nuevos afloramientos, entre ellos depósitos morrénicos y fluvio-glaciares, así como de algunas dataciones por termoluminiscencia y 14C, se propone una reconstrucción de las etapas climáticas pleistocenas en este sector del Pirineo Oriental. Se diferencian más de una fase fría anterior al penúltimo ciclo glacial (el Riss según la cronología alpina), alcanzando en una de ellas la máxima extensión glacial (unos 46,5 km), dos fases de estabilización en el penúltimo ciclo glacial y tres fases del último (Würm según la cronología alpina), estableciéndose la relación entre terrazas fluvio-glaciares y los restos de till glacial del valle del Valira. Hay que destacar que en el último ciclo glacial es diacrónico respecto al LGM (*Last Glacial Maximum*), identificado ya por diferentes autores (ver García-Ruiz et al., 2003), y que el glaciar del Valira se situaba a una cota relativamente baja (1.000 m) incluso posteriormente al LGM. De forma conjunta a la sedimentación de las terrazas fluviales ha existido una actividad tectónica continuada, la cual ha generado discordancias intraformacionales y saltos de falla que han afectando al sistema de terrazas en varias ocasiones, generando problemas de correlación para las terrazas bajas y procesos de captura entre los dos ríos a lo largo del Pleistoceno.

Palabras clave: Pleistoceno, Pirineos Orientales, extensión glacial, terrazas fluviales, neotectónica, cronología.

Abstract:

The fluvial and glacial deposits of the Valira and Segre valleys in Andorra and the Urgellet basin have been studied from old times, with important controversies about the number of quaternary cycles and their chronological allocation. With the cartography of the terrace levels and the study of new outcrops, among them new glaciofluvial and morrenic deposits, some absolute datings by termoluminescence and 14C AMS, a reconstruction of the Pleistocene climatic stages from this sector of the Eastern Pyrenees are exposed. More than one cold phase previous to the penultimate glacial cycle (the Riss according to the alpine chronology), reaching the maximum glacier extension (about 46,5 km), two stabilization phases in the Riss and three phases in the last glacial one (the Würm according to the alpine chronology), settling the relationship between glaciofluvial terraces and glacier moraines from the Valira valley. It is important to note that in the last glacier cycle a diachronic relationship with to LGM (*Last Glacial Maximum*) is identified, like some authors observed before (see García-Ruiz et al., 2003) in the Central Pyrenees, and the Valira glacier was located to a relatively low level (1,000 m a.s.l) time after the LGM. Jointly to the fluvial terraces sedimentation a tectonic activity had been always present, which generated discordances and faults in several occasions, causing correlation uncertainties for the lowers terraces and capture processes between both rivers throughout the Pleistocene.

Key words: Pleistocene, Southeastern Pyrenees, glacial extension, fluvial terraces, neotectonic, chronology

ANTECEDENTES

Los depósitos cuaternarios de los valles de los ríos Segre y Valira han sido objeto de estudio desde finales del siglo XIX. Leymerie en 1869 (Marcel i Riba, 1930, p. 11) es el primer autor que cita los aluviones de las terrazas del Segre, seguido de Vidal (1875, p. 71), que describe capas detríticas de más de 20 m de espesor en la Seu d'Urgell. Contemporáneamente Bladé (1875), en su guía de viajes por Andorra, señala por primera vez los vestigios glaciares de Les Escaldes, información que posteriormente Penck (1883) utiliza para situar el frente glaciar del Valira, dándole en esos momentos una longitud de unos 25 Km. Esta misma preocupación por el límite del hielo es recogida por Chevalier (1906, 1907) quien traslada el frente glaciar del Valira hasta Santa Coloma (1030 m), alcanzando por tanto un total de 29 Km de largo. Es justamente este autor el que más ha contribuido al conocimiento y difusión de la morfogénesis de los valles de Andorra y la Seu d'Urgell en el primer cuarto del siglo XX, apareciendo en sus trabajos (Chevalier, 1909, 1924a,b, 1925a,b, 1926) las alusiones a evidencias sedimentarias y morfológicas de tres glaciaciones; la primera de ellas estaría relacionada con una topografía de los valles que nada tiene que ver con la actual y le asigna una edad de Cuaternario Antiguo; la segunda la atribuye al Riss y su extensión correspondería a la asignada ya por Chevalier (1906, 1907); finalmente, la más moderna, atribuida al Würm, únicamente se situaría en los valles altos de Andorra sobre los 1400 m de altura. Respecto a las terrazas del Segre-Valira sólo reconoce como claramente cuaternarias las más bajas, relacionándolas con los frentes morrénicos del Riss y del Würm de los valles de Andorra, mientras que para las terrazas más altas les asigna una edad de Cuaternario Antiguo o anterior. Estas mismas ideas son también recogidas por Dalloni (1930).

Junto con los autores franceses, en el segundo cuarto del siglo XX los investigadores germanos empiezan a abordar también la problemática de las terrazas y su relación con el glaciario, pero ambas escuelas se centran en estudiar más las existentes en la Cerdeña. En este sentido Panzer (1926, 1927), en su recorrido por los valles del NE español, reconoce tanto las terrazas del Segre y del Valira como el glaciario descrito por Chevalier anteriormente; además, resitúa el frente glaciar a 3 Km al sur de Andorra la Vella (en La Margineda) y argumenta que el hielo no pudo pasar por el angosto valle del sur de Santa Coloma y que en este lugar la morrena está recubierta por derrubios de vertiente. Esta interpretación coincide con la expresada por Nussbaum (1934) años más tarde. Además, Panzer (1926, 1927) discrepa parcialmente con las interpretaciones de Chevalier aludiendo que no existe ninguna razón para creer que la morrena del Riss pudiese formar parte de la última época glaciar, ni razón por la cual en el Würm los glaciares únicamente se hubiesen mantenido por encima de los 1400 m cuando en todos los valles del Pirineo en el Würm bajaron mucho más, de forma que asigna una edad würmiense a las terrazas bajas del Segre y anteriores al Riss las más altas, dejando suponer que la terraza intermedia existente entre ambas es del Riss.

Ya a mediados del siglo XX, Llobet (1947) señala, como Chevalier, la presencia de materiales fluviales del Valira en el sur del Principado de Andorra, suspendidos a unos 150 m de altura (en Aubinyà), que los equipara a las terrazas altas de La Seu d'Urgell; terrazas similares también han sido descritas en la Cerdeña por diversos autores (Peña 1994, pág. 177). Para Llobet (1947) existirían cuatro terrazas del Valira hasta su confluencia con el Segre, cuyas alturas relativas serían: una situada a 2-3 m, otra a 10-15 m, que le asigna una edad würmiense, otra a 45 m, de edad rissense, y finalmente una superior, a 80-100 m, como mindeliense. No obstante Llobet (1947) llega a la conclusión de que únicamente se pueden reconocer dos glaciaciones claras en el Principado de Andorra, que corresponderían al Würm y al Riss y cuyo frente glaciar se situaría en La Margineda, aunque habría una tercera a la que no le otorga edad alguna. Estas son las ideas que predominan hasta el año 1957, en que con motivo del V Congreso del INQUA Fontboté et al. (1957) ponen en duda la existencia de una morrena en La Margineda, de forma que vuelven a recolocar la máxima extensión glaciar en 28 Km, en Santa Coloma, como ya hizo Marcel Chevalier en su día. Más tarde Hartevelt (1970) sitúa las terrazas más altas de La Seu en su formación Ballesta, asignándolas una edad Terciaria, mientras que según Gómez-Ortiz (1981, en Peña, 1994) las terrazas altas en el Baridá (antes de alcanzar la depresión del Urgellet siguiendo el curso fluvial del Segre) no se observan, pero si las más bajas.

En el último tercio del siglo XX se produce un cambio importante de enfoque al ponerse en duda en modelo de correlación morrenas-terrazas al demostrarse relaciones paleoambientales con etapas cálidas en la génesis de algunas terrazas, como señala Imbrie y Imbrie (1994, págs. 114-119, y 153-159) en referencia a los trabajos de Indigo Schaefer en 1953 y más tarde por Kukla en 1968. Como consecuencia de ello se produce una cierta independencia entre los estudios sobre glaciario y los que tratan específicamente sobre terrazas fluviales. Así, en la cuenca del Segre Gómez-Ortiz (1977-78, 1978-79, en Peña, 1994), Prat (1980) y Vilaplana (1985) estudian el glaciario del Valira y la Cerdaña por un lado, mientras que por otro las terrazas del Segre son abordadas en el curso bajo por Peña (1974, 1983) y Bomer (1976). La mayor parte de los estudios sobre glaciario de estos momentos no tienen en cuenta las interpretaciones paleoambientales y cronológicas que puedan aportar las terrazas fluviales a la evolución cuaternaria.

En este sentido el trabajo geomorfológico de Prat (1980) en Andorra identifica, sin tener en cuenta los sedimentos fluviales, una fase de máximo glaciar (Pléniglaciaire) con un frente glaciar que se habría situado en Sant Julià de Lòria al igual que hiciera en su día Llopis (1967); una fase de retroceso y estabilización (Disjonction) que equivaldría a la fase de 1400 m de Chevalier (1925a) para el glaciar del Valira del Nord, mientras que para al glaciar del Valira d'Orient le correspondería un frente situado ya por Panzer (1926) en La Margineda. El conjunto comprendería el equivalente del Riss y del Würm juntos, siguiendo las ideas monoglaciarias de Pierre Barrère, su director de tesis. Un esquema similar sigue Bordonau (1992) en la vertiente meridional de los Pirineos, o Turu y Bordonau (1995) en la cubeta yuxtaglaciaria de La Massana-Ordino, pero acentuando el carácter monoglaciario y condensando todas las manifestaciones glaciares en un solo ciclo glacial, el último.

No obstante, la relación entre frentes morrénicos y terrazas fluvio-glaciares del Valira fueron nuevamente tratadas por Turu (1994) situando la máxima extensión glaciar en el valle del Valira en 34 Km pero sin asignación de edad alguna. Por otro lado el estudio sistemático del curso medio y bajo del Segre y sus afluentes Noguera Ribagorçana y Pallaresa, así como su confluencia con el Cinca (Peña y Sancho, 1988) y los afluentes del Pla d'Urgell (Calvet, 1980; Peña, 1988, 1989; Peña et al. 2005 a,b), han conducido en trabajos posteriores (Sancho et al., 2004 y Peña et al., 2003 y 2004) en el Cinca y el Gállego a abordar nuevamente la relación existente entre las terrazas fluviales y los frentes glaciares, al demostrarse su contemporaneidad mediante dataciones.

En este trabajo se pretende efectuar un nuevo ensayo de correlación entre las terrazas fluviales y los frentes morrénicos en el Segre-Valira, retomando el espíritu de los investigadores de la primera mitad del siglo XX pero con nuevas técnicas de datación. En este sentido citaremos la reflexión que realizaba Marcet i Riba (1930, pág. 13): “Estos valles pueden facilitar el estudio de las relaciones de los depósitos cuaternarios con las morrenas”, o las indicaciones de Llobet (1947): “La determinación del número de glaciaciones en Andorra no es cosa fácil, [...], y, para una buena interpretación, hace falta un detenido examen de las terrazas fluvio-glaciares que puedan encontrarse aguas abajo del Valira y el Segre [...]”.

DATAIONES Y EDADES ASIGNADAS

Partiendo de los antecedentes existentes, parecía necesario buscar una conexión entre los afloramientos glaciares en el río Valira y las terrazas fluviales del Segre. Para ello se dispone de una serie de dataciones efectuadas en el sur de Andorra y en el Urgellet, de las cuales hay que destacar las que ya en su día publicaron Turu y Planas (2005) y Turu (2002), junto con otras que son inéditas y que pueden ser útiles en la ubicación cronológica de las terrazas del Segre y del Valira (tabla 1).

Las dataciones por termoluminiscencia se efectuaron en las terrazas altas y bajas del Segre-Valira, obteniendo para la más alta de las terrazas bajas una edad comprendida entre 104.400 años y 136.250 años; este nivel alcanza una gran extensión en el sector de Les Garbes (Adrall), por lo que a partir de ahora se le asigna este nombre (afloramientos 10 y parte baja del afloramiento 11, **Figura 1**). En cambio para las terrazas altas, el laboratorio no pudo obtener una edad calibrada de las muestras analizadas y alude a edades superiores al millón de años (parte superior del afloramiento 11). En la misma línea apuntan las conclusiones sobre el grado de alteración de las terrazas altas del Segre-Valira, ya que partiendo del importante frente de carbonatos desarrollado en la segunda terraza más

antigua (afloramientos 8, 9 y 45, **Figura 2**), se pueden sugerir edades en torno a 750 Ka (estados del carbonato IV de Birkeland, 1999), es decir edades de principios del Pleistoceno medio. Así pues la terraza más antigua sería posiblemente anterior a los 750 Ka, situándose ya en el Pleistoceno inferior pero sin poder precisar más.

La edad del frente morrénico de Santa Coloma, allá donde diversos autores lo situaron ya (Chevalier, 1906 y 1907, Llobet, 1947 y Nussbaum, 1956), tendría entre 18.000 - 19.260 cal BP (β -151639 y β -151639) según las dataciones 14C efectuadas de sedimento total en esta localidad (afloramiento 56). Esta interpretación se refuerza más con la evidencia de que Sant Julià de Lòria estaba ya libre de los hielos glaciares antes de los 18.700-19.710 cal BP (β -152811), dado que los primeros sedimentos de pendiente que se depositan encima del sustrato rocoso en el fondo del valle tienen esa edad (Camp de Perot, afloramiento 55, **Figura 1**). En unas fechas similares (17.390-18.230 cal BP; β -198808; afloramiento 57a, **Figura 1**) se habría encontrado el frente glaciar del valle de Os de Civís (afuente del Valira) aguas abajo de Bixessarri, en el lugar que indicó ya en su día Chevalier (1924b). También en este momento los glaciares del Valira del Nord y del Valira d'Orient, que a lo largo del Würm confluyeron de forma intermitente (Turu, 2002), habrían confluído por última vez dado que la edad de los sedimentos de pendiente que el glaciar del Valira del Nord fosilizó en el Solà d'Engordany (afloramiento 58, **Figura 1**) arroja una edad de 19.350-21.580 cal BP (β -169909 y β -115016). En estos momentos los hielos se situaban en Engolasters entre los 1.600 y los 1.500 m, a la entrada del valle de Escaldes y Andorra, ya que la edad encontrada para el till lateral más interno es de 18.080-18.960 cal BP (β -203443, lugar 53, **Figura 1**). Posteriormente y asociado con la obturación del Valira en la Farga de Moles sobre los 15.350-16.785 cal BP (β -188227 y β -188228), que es la edad obtenida en los sedimentos del fondo de valle aguas arriba del deslizamiento de Arcavell (punto 54, **Figura 1**), se habría sedimentado la terraza más baja en Anserall (afloramiento 41 y 42, **Figura 1**); momento en el cual el frente glaciar habría experimentado un importante retroceso aguas arriba de Santa Coloma, situándose todavía en el fondo del valle tal como sugieren los sedimentos glaciares con interdigitaciones de aportes laterales en el Fener (afloramiento 50b, **Figura 1**).

Muestra	Lugar/afloramiento	Ref.	Datacion BP	13C/12C	Edad calibrada	Material
Gravera Tolse	Sant Julià (0)	Lum-27	TL	-	125.000 \pm 11.250	Cuarzos
Adrall 1	Adrall (11)	Lum-24	TL	-	120.000 \pm 15.600	Cuarzos
Adrall 2	Adrall (11)	Lum-25	TL	-	>> 350.000	Cuarzos
Adrall 3	Adrall (11)	Lum-26	TL	-	>> 350.000	Cuarzos
Pou-Clos-60M	Engolasters (53)	β -203443	15480 \pm 70	-24,5 o/oo	BP 18.960-18.080	Fluvioglaciari
Dep-ST1	Riu Runer (54)	β -188227	13260 \pm 120	-24,9 o/oo	BP 16.500-15.350	Fluvioglaciari
Dep-ST2	Riu Runer (54)	β -188228	13650 \pm 60	-23,5 o/oo	BP 16.785-16.030	Fluvioglaciari
StJ1	Sant Julià (55)	β -152811	16090 \pm 90	-22,5 o/oo	BP 19.710-18.700	Coluviones
SC-SR1*	Santa Coloma (56)	β -151639	15780 \pm 50	-23,7 o/oo	BP 19.260-18.440	Fluvioglaciari
Royl-a-dat-sed*	Santa Coloma (56)	β -152125	15360 \pm 50	-24,3 o/oo	BP 18.760-18.000	Fluvioglaciari
Bix-Can-P1	Bixessarri (57a)	β -198808	14870 \pm 70	-23,2 o/oo	BP 18.230-17.390	Till supraglaciari
C-Os-P6	Ctra.Os Civís (57b)	β -198807	4010 \pm 50	-22,8 o/oo	BP 4.560-4.410	Limos fluviales
Vil-2x*	Can Diumenge (58)	β -169909	16610 \pm 60	-25,3 o/oo	BP 20.250-19.350	Coluviones
LM1	La Serra Honor (59)	β -115016	17600 \pm 140	-14,9 o/oo	BP 21.580-20.300	Coluviones

Tabla 1. Cuadro de dataciones efectuadas por Turu y Planas (2005), Turu (2002) y dataciones inéditas (*). Las dataciones efectuadas por AMS se han realizado en Florida por Beta Analytic INC, datando el sedimento total con la calibración facilitada por el mismo laboratorio. Las dataciones efectuadas por TL se han realizado en el ITN de Sacavem (Portugal).

RECONSTRUCCIÓN PALEOGEOGRÁFICA Y PALEOAMBIENTAL DEL SISTEMA DE TERRAZAS Y SU RELACIÓN CON LOS FRENTES MORRÉNICOS

El criterio básico de correlación de terrazas fluviales para el sistema Segre-Valira es muy evidente, ya se ha ido utilizando en los apartados anteriores, y consiste en hacer una diferenciación entre los afloramientos que se encuentran más suspendidos en el valle (terrazas altas) de los que se encuentran a menos altura (terrazas bajas), tal como se puede observar en la **Figura 3**. El límite entre las dos familias de terrazas es fácil de determinar dada la importante pedogénesis que presentan las terrazas altas respecto a las bajas, tal como se ha expuesto con anterioridad.

Para las terrazas altas se observa que existen dos niveles de acumulación de cantos fluviales escalonados, es decir separados por una incisión del sustrato rocoso, y con el desarrollo de un suelo en

la parte superior de cada una, que las nombraremos respectivamente SV-T1 y SV-T2 en orden de altura. La separación entre las terrazas altas y las bajas pasa también por una incisión del sistema fluvial que afecta al sustrato rocoso, por tanto las terrazas bajas aparecen escalonadas respecto a las altas; en cambio las terrazas bajas guardan entre ellas una relación de encajonamiento y escalonamiento en función del tramo de río considerado. En este sentido se pueden individualizar como mínimo tres niveles de terraza a partir de sus posiciones altitudinales relativas, que coincide también con una gradación de mayor a menor desarrollo del horizonte B en los lugares donde la sucesión vertical de terrazas es fácilmente identificable, como en Adrall (sector de afloramientos 10-11-15, **Figura 1**) o en Anserall (afloramientos 35, 43, 40, **Figura 1**). Así pues a partir de esta individualización de tres niveles de terrazas bajas las podemos nombrar como SV-T3 (Les Garbes), SV-T4 y SV-T5 respectivamente en orden de altura relativa, y por tanto de antigüedad.

Del conjunto de terrazas altas se conserva en muy buen estado un arco morrénico frontolateral que parte cerca de Calvinyà, encajado en la terraza SV-T1 (afloramientos 32, **Figura 1**), y presenta cambios laterales de facies con los depósitos fluviales que se sedimentaron en su pie (SV-T2, afloramiento 45, **Figura 1 y 2**). La edad de la misma supera el rango de la Termoluminiscencia, y según Chevalier (1924b) las terrazas altas podrían estar en relación con la formación de Lannemezan de los Pirineos Occidentales franceses. La reconstrucción del Neógeno hasta el Pleistoceno medio-inferior se puede observar en la **Figura 4**; donde una vez rellena la fosa del Urgellet en el Plioceno se instaaura la actual red fluvial del sistema Segre-Valira asociada con un frente glaciar en el Valira, cuya ubicación exacta se desconoce, al igual que se desconoce en que punto se produjo la confluencia con el Segre durante la sedimentación de la SV-T1; en cambio se dispone de mejores afloramientos para la SV-T2, donde ha sido reconocida una morrena frontolateral correspondiente al glaciar del Valira en Calvinyà, y a partir de la mayor o menor presencia de litologías granítica en la antigua Ciudadela militar la confluencia con el Segre se habría producido en Montferrer.

El mencionado nivel de Les Garbes es la clave para la ordenación cronológica del sistema de terrazas. Esta terraza (tabla 1) ha sido datada como perteneciente al Eemiense-Riss final, y por consiguiente, siguiendo el razonamiento que hizo ya en su momento Panzer (1926), las que estén por encima son más antiguas (Pleistoceno medio-inferior), mientras que las situadas por debajo son más modernas (Würm). El nivel de “Les Garbes” fue identificado por Turu (1994) en el valle del Valira, en una antigua gravera al sur de Sant Julià de Lòria (afloramiento 0, **Figura 5**), observando que estaría ligada por su altura (45 m por encima del fondo del valle) a una acumulación de bloques morrénicos ubicados al pie del torrente de Llumaneres (afloramiento 47, **Figura 6**); se interpreta que la terraza de “Les Garbes” tiene allí su origen más septentrional y la paleogeografía del momento se correspondería con la expuesta en la **Figura 7**, con una confluencia del Valira con el Segre en Castetellicuitat (afloramientos 16, **Figura 1**). Aguas arriba de Sant Julià de Lòria existe una acumulación de bloques morrénicos que estarían en relación con el nivel de “Les Garbes” (La Margineda, afloramiento 49, **Figura 8 y 9**), ya que presenta un estado de alteración similar, y que interpretamos como una morrena de retroceso respecto a la de Sant Julià de Lòria; correspondiendo a una paleogeografía como la interpretada en la **Figura 10**. Con un retroceso glaciar más importante, se habría sedimentado un depósito fluvial en el fondo del valle de Andorra la Vella, y cuyo estado de alteración (com mínimo similar al del nivel de Les Garbes) fue identificado mediante sondeos mecánicos por Turu y Planas (2005) a 35 metros en el subsuelo, el cual correlacionamos como mínimo con el nivel de “Les Garbes”. La reconstrucción de los frentes morrénicos y situación del lecho fluvial en el Riss / Eemiense se puede observar en la **Figura 11**.

La primera terraza del Würm (SV-T4) se la puede seguir hasta el congosto de Pont Trencat, en donde existe una acumulación de bloques imbricados de gran tamaño (de hasta 2 m de diámetro, afloramiento 39, **Figura 12**) que se interpértan como proglaciares, disponiéndose éstos encima de sedimentos fluviales y coluviales compactados. Aguas arriba de Pont Trencat la terraza tiene continuidad pero el tamaño de los bloques en Borda Coll (afloramiento 37, **Figura 1**) es radicalmente menor (**Figura 13**), y podría asignarse su depósito a una etapa de retroceso y estabilización del frente glaciar en Cal Tolse (afloramiento 46, **Figura 1**); en este lugar se conserva una acumulación de grandes bloques morrénicos (de hasta 8 m³) de litología granítica y que fueron citados ya en su día por Prat (1980). La situación de los frentes morrénicos correlativos con la sedimentación de SV-T4 puede

observarse en la **Figura 14**, en donde también se ha situado la confluencia del sistema Segre-Valira en Adrall.

La última terraza del Würm en sedimentarse (SV-T5) estaría relacionada con un frente morrénico situado aguas arriba de Sant Julià de Lòria, justo en Santa Coloma (afloramiento 50a, **Figura 15**), coincidiendo cronológicamente con el LGM (*Last Glacial Maximum*). La retirada del frente glaciar de Santa Coloma pasó antes por una estabilización a una altura relativamente baja (unos 1000 m), previa a la retirada definitiva del fondo del valle de Andorra-Escaldes, con un frente glaciar detrás del cono de deyección de La Nogreda en donde se han observado materiales consolidados en la construcción de la guardería del complejo deportivo Serradells (afloramiento 60, **Figura 1**), así como un till lateral supraglaciar en el Fener (afloramiento 50b, **Figura 1**, frente morrénico de Penck, 1883-Bladé, 1875) hasta tiempo después del LGM. La reconstrucción de los frentes morrénicos en el último ciclo glaciar (el equivalente al Würm alpino) se puede observar en la **Figura 16**, pudiéndose observar que la confluencia del sistema Segre-Valira en el lugar que actualmente se produce es relativamente reciente.

LAS DEFORMACIONES DEL SISTEMA DE TERRAZAS

Hay que matizar que existen todavía dudas sobre la asignación definitiva de cada uno de los afloramientos que corresponden a las terrazas bajas, ya que en ciertos tramos del recorrido fluvial la posición altitudinal respecto al fondo de valle varía y la relación entre terrazas (escalonamiento-encajamiento) no es siempre la misma. Así pues tenemos que las terrazas situadas por debajo de la SV-T3 (“Les Garbes”) están encajadas respecto a ésta entre Montferrer y el Pla de Sant Tirs (afloramientos 16, 10, 11 y 18), mientras que aguas abajo del Pla de Sant Tirs (afloramientos 14, 19, 22) y en el Valira (afloramientos 35 y 0) están escalonadas respecto a las anteriores.

Vistas las manifestaciones tectónicas registradas en las terrazas del Segre-Valira se interpreta que, para el conjunto de terrazas bajas, en los sectores donde hay encajamiento respecto al nivel de “Les Garbes” (SV-T3), el sistema fluvial discurre en un contexto subsidente; mientras que se interpreta todo lo contrario en los sectores donde existe escalonamiento. Las dos terrazas más bajas (SV-T4 y SV-T5) guardan entre ellas siempre una relación de encajamiento; pero entre Pont Trencat y Morters (**Figura 1**) el lecho del río Valira discurre directamente sobre el sustrato rocoso, observándose en Pont Trencat (afloramientos 39a y 39b) que la base de los depósitos de la terraza SV-T4 están a la altura del lecho del Valira, de forma que la asignación de la SV-T5 es dudosa aguas arriba de Pont Trencat.

En lo referente a la expresión morfológica de estas subsidencias éstas pueden identificarse a partir de los escalones bruscos que se observan en el perfil de equilibrio del sistema Segre-Valira (**Figura 3**). Éstos saltos abruptos en la continuidad de las terrazas se interpretan que corresponden a saltos de falla; como ocurre en Adrall (afloramiento 11), en donde observando el techo de la terraza SV-T1 se ve como en la carretera N260 se encuentra el labio hundido al pié del torrente que baja de Pardinoves, mientras que aguas arriba del torrente se encuentra el labio levantado que se puede seguir hasta el aeródromo de Montferrer (afloramiento 25), siendo el salto de falla de unos 20 m y afectando en la misma magnitud a las tres primeras terrazas (SV-T1, SV-T2 y SV-T3), mientras que las dos últimas (SV-T4 y SV-T5) fosilizan el movimiento vertical (afloramiento 15). Partiendo de esta observación se puede decir que la subsidencia se produjo posteriormente a la sedimentación de SV-T3 y anteriormente a SV-T4; hecho que no parece ser local dado que algo similar debió suceder en la cubeta de Andorra, dado que los sedimentos del Pleistoceno medio (SV-T3) se encuentran 35 m por debajo del actual curso fluvial (Turu y Planas, 2005).

Tampoco parecen localizarse estas subsidencias puntualmente en el tiempo, ya que atendiendo a la cartografía de las terrazas más bajas (SV-T4 y SV-T5) se observa como la confluencia entre el Segre y el Valira se producía en Adrall durante el depósito de la terraza SV-T4, mientras que actualmente se sitúa entre Castellciutat y la Seu d’Urgell, siendo la captura del Valira por parte del Segre sincrónica al episodio de sedimentación de la terraza SV-T5 (afloramiento 1).

CONCLUSIONES

El estudio de las terrazas del sistema Segre y Valira permite realizar una serie de precisiones y reflexiones sobre la evolución cuaternaria de este ámbito pirenaico. En términos generales se puede afirmar que es imprescindible analizar conjuntamente el sistema de terrazas fluviales/fluvioglaciares con los depósitos de los glaciares, volviendo al modelo alpino clásico. En el caso del sistema Segre-Valira se ha observado un marcado carácter fluvioglacial del sistema de terrazas que evoluciona a facies propiamente fluviales. Por otra parte, queda demostrado que las terrazas altas del Segre-Valira responden al mismo modelo morfosedimentario que las terrazas bajas, incluyendo en esta similitud el hecho de existir incluso correlación de una de ellas con una morrena terminal del glaciar del Valira, al igual que ocurre con las terrazas más bajas. De entre todos los niveles de terraza hay que destacar el nivel de “Les Garbes” (SV-T3), que tal como hizo ya en su día Panzer (1926), permite separar las terrazas más antiguas de las más modernas, ya que dicho nivel presenta una importante continuidad y desarrollo.

Sobre la cronología cuaternaria, puede decirse que no sólo en la Cerdaña se encuentran manifestaciones de glaciario antiguo, sino también en el sistema Segre-Valira, donde el frente morrénico de Calvinyà aparece relacionado con la terraza SV-T2 y el arco morrénico más externo de Engolasters, cuya edad podría situarse en el Pleistoceno medio o inferior (tal vez Günz? de la cronología alpina). Posteriormente a la sedimentación de SV-T2 se observa un recrudescimiento del clima (el Mindel?), muy frío y seco a juzgar por las manifestaciones periglaciares observadas en el aeródromo de Montferrer (afloramiento 25, **Figura 1**), y la presencia de una roca aborregada bajo la morrena más externa de Engolasters y que está afectada por una intensa gelifracción (afloramiento 61, **Figura 1**). Nada se conoce por el momento de la posición relativa del frente glaciar que enlazaría con la terraza SV-T1, pero lo que ciertamente se puede decir es que a partir de la naturaleza de sus sedimentos ésta tendría un origen fluvioglacial, ligada con un episodio glaciar anterior a la etapa de Calvinyà, tal vez del Pleistoceno inferior.

El descubrimiento de este nuevo frente morrénico, que nada tiene que envidiar a los de Puigcerdá, pone de manifiesto que en las últimas tres décadas se ha estigmatizado excesivamente el estudio de glaciario antiguo. Al igual que opina Calvet (1998), con este trabajo se pone nuevamente de manifiesto que el estudio del glaciario pirenaico desde un enfoque monoglaciario está agotado, y hay que desterrar la idea que el último ciclo glaciar fué el más extenso, y admitir que existen manifestaciones de glaciario antiguo en ámbito de influencia del último ciclo glaciar. En este sentido las dataciones por termoluminiscencia del nivel de “Les Garbes”, y su correlación con los sucesivos frentes morrénicos de Sant Julià de Lòria y La Margineda, permiten afirmar que el penúltimo episodio glaciar fue similar en extensión al último ciclo, conclusiones que están de acuerdo con las apreciaciones cronológicas establecidas por Sancho et al (2004), Peña et al (2003, 2004) para los valles del Cinca y Gállego, destacando en éste último valle una etapa Riss (estadio isotópico 7) correspondiente al episodio glaciar más importante, existiendo también para el Gállego las evidencias de una glaciación anterior relacionada con una morfología ajena a la actual y que para Serrano (1992) pertenecería al Pleistoceno Medio. A partir de las dataciones radiocarbónicas se han podido establecer edades de los sedimentos glaciares y fluvioglaciares correspondientes a la terraza SV-T5, que sería contemporánea con el LGM (*Last Glacial Maximum*) global, y el glaciar del Valira se habría mantenido hasta una cota altitudinal relativamente baja (1000 m) tiempo después del LGM. Así pues la terraza SV-T4 se situaría cronológicamente entre las dos anteriormente citadas, siempre dentro del último ciclo glaciar pero anterior al LGM, y con un frente glaciar asociado de mayor extensión que en el penúltimo ciclo glaciar (el Riss de la cronología alpina). Para poder precisar más sobre la edad de la terraza SV-T4 se tendría que efectuar dataciones por OSL-TL en ella y aplicar el método de resonancia de electro-spin (ESR) o de cosmogénicos a las terrazas SV-T2 y SV-T1.

Finalmente hay que resaltar la importancia de las deformaciones tectónicas pleistocenas, que afectan de manera importante al sistema de terrazas del Segre-Valira mediante escalones y subsidencias, que dificultan la correlación de niveles en algunos tramos. A partir del estudio de las terrazas fluviales se puede establecer una cronología relativa de los eventos subsidentes mayores; en primer lugar la segunda de las terrazas más antiguas presenta evidencias de inestabilidades en la cuenca

(discordancias intraformacionales, dislocaciones, etc ...); posterior a la sedimentación de la terraza de "Les Garbes" y anterior a la sedimentación de la penúltima terraza (SV-T4), se registra un importante episodio subsidente que viene marcado por saltos de falla en Adrall y por la subsidencia en el valle de Andorra-Escaldes; mientras que entre las dos últimas terrazas también acontece otro episodio subsidente que propicia la captura del Valira por parte del Segre en La Seu d'Urgell.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Birkeland, P.W., 1999. Soils and Geomorphology. New York: Oxford University Press. 430p.
- Bladé, J.F., 1875. Études géographiques sur la vallée d'Andorre. París. Universelle, 97p
- Bomer, B., 1976. Le Bassin de l'Ébre et ses bordures montagneuses, Étude geomorphologique, Espagne, unpublished PhD thesis, Univ. Caën, France. pp. 662
- Bordonau, J. 1992. Els complexos glacio-lacustres relacionats amb el darrer cicle glacial als pirineus. Logroño: Geofoma, 251p
- Calvet, J., 1980. Relaciones entre la evolución geomorfológica cuaternaria de la Depresión Central catalana (Segarra y Pla d'Urgell) y del valle del Segre, Espagne, Unpublished,. Fundación J. March, España. pp 102
- Calvet, M., 1998. Los complejos fluvio-glaciares de Cerdanya-Capcir (Pirineos Orientales) y sus enseñanzas. In: Gómez-Ortiz, A. y Pérez-Alberti, A. (Eds.), traducción por M. Valcárcel. Las huellas glaciares de las monañas españolas. Santiago de Compostela. Universidad de Santiago de Compostela. pp., 263-290
- Calvet, M., 1999. Rytmes et vitesses d'évolution morfogénétique dans un orògen alpin. Le cas des Pyrénées orientales franco-espagnoles. Z.Geomorph. N. F., 118, 91-105
- Chevalier, M., 1906. Sur les glaciers Pleistocènes dans les vallées d'Andorre. Cte. R. Acad. Des Sciences Paris, XLI, 662-663
- Chevalier, M., 1907. Les glaciers Pleistocènes dans les vallées d'Andorre. Revue Scientifique (revue rose) N° 23, T. VII, 501-502
- Chevalier, M., 1909. Note sur la Cuencita de la Seo de Urgel. Bull. Soc. Géologique de France, 4e serie, T. IX y T. X
- Chevalier, M., 1924a. La tectonique et le quaternaire dans les Vallées du Valira et du haut Ségre. Butll. de la I.C.H.N., Vol. III, Abril-Noviembre
- Chevalier, M. 1924b. Contribution a l'étude des Pyrénées, note sur les terrains Néogènes des Vallées du Valira. Butll. de la I.C.H.N., Vol. IV, N° 9 (Octubre), 177-190
- Chevalier, M. 1925a. Andorra. Chambéry: Dardel, 106p.
- Chevalier, M. 1925b. Carte topographique d'Andorra, E 1:40.000, Chambéry: Dardel.
- Chevalier, 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
- Dalloni, M. 1930. Étude géologique des Pyrénées Catalanes. Ann. Fac. Sci. Marseille, 26, 373p.
- Fontboté, J.M.; Solé-Sabaris, L y Alimen, H. 1957. Livret guide de l'excursion nord Pyrénées. Barcelona: Vème Com. Inter. INQUA, 107p.
- García-Ruiz, J.M., Valero Garcés, B.L., Martí Bono, C., González Sampériz, P., 2003. Asynchronicity of maximum glacier advances in the central Spanish Pyrenees. Journal of Quaternary Science 18, 1, 61-72
- Hartvelt, J.J.A. 1970. Geology of the upper Segre and Valira valleys Central Pyrenees, Andorra/Spain. Sheet 10, Leidse Geol. Med., 45, 167-236
- Imbrie, J. y Imbrie, K.P. 1994. Ice ages, solving the mystery. London: Harvard University Press, 224p.
- Llopis, N., 1967. Mapa geológico de Andorra, E 1:25.000, hoja IV, Madrid: CSIC Inst. Geol. Econ.
- Llobet, S., 1947. El medio y la vida en Andorra, estudio geográfico. CSIC Inst. Juan Sebastián Elcano-Estación de estudios pirenaicos. Barcelona, 347p.
- Marcet i Riba, J. 1930. Las terrazas del NE de España. Mem. R. Ac. de C. y A., T. XXII, n° 7, 129-174

- Nussbaum, F. 1934. Die seen der Pyrenäen. Berna: Mitt. Nat. Ges., 184 p., (Traducción catalana de SOLÉ. L.: Els llacs dels Pirineus segons Nussbaum, Butll. de la I.C.H.N., Vol. XXXVI, II^{on} trimestre, Barcelona 1936, 107-115
- Nussbaum, F., 1956. Observations morphologiques dans la region de la Noguera Pallaresa. Pirineos. XII. Núms. 39-42, 57-99
- Panzer, W. 1926. Talentwicklung und eiszeitklima im nordöstlichen Spanien. (Traducción de Teresa Michels) Abhand. den Senckenberg. Naturs. Ges., Bd. 39, Heft 2, 141-182
- Panzer, W. (1927) Andorra. (Traducción de Teresa Michels) Geographischer Anzeiger. 28, Heft 3, 82-88
- Penck, A. 1883. Die Eiszeit in der Pyrenäen, Mitteilungen des Vereins für Erdkunde. Leipzig. 163-231, (Traducción francesa de Braemer, L.: La période glaciare dans les Pyrénées, B.S.M.N., XIX, Toulouse 1885, 105-200,
- Peña, J.L., 1974. Los depósitos cuaternarios del valle del Segre entre Tiurana y Camarasa. *Ilerda*, XXXVI, 187-217
- Peña, J.L., 1988. *Las acumulaciones cuaternarias de los llanos leridanos. Aspectos generales e itinerarios de campo*. Lleida: Inst. Estudis Ilerdencs. 81 p.
- Peña, J.L. y Sancho, C., 1988. Correlación y evolución cuaternaria del sistema fluvial Segre-Cinca en su curso bajo (provs. de Lérida y Huesca). *Cuaternario y Geomorfología*, 2 (1-4), 7-83.
- Peña, J.L., 1989. La evolución paleogeográfica de los Llanos leridanos (sector oriental de la depresión del Ebro) durante el Cuaternario. *Geographicalia*, 26, 223-232.
- Peña, J.L.L., 1994. Cordillera Pirenaica. In: Gutiérrez Elorza, M. (Ed.) Geomorfología de España. Editorial Rueda. Madrid, 159-226
- Peña, J.L., Sancho, C., Lewis, C., McDonald, E. y Rhodes, E. 2003. Las morrenas terminales de los valles glaciares del Gállego y Cinca (Pirineo de Huesca). Datos cronológicos. *Bol. Glaciológico Aragonés*, 4, 91-109
- Peña, J.L., Lewis, C., McDonald, E., Rhodes, E. y Sancho, C., 2004. Ensayo cronológico del Pleistoceno medio-superior de la cuenca del río Cinca (Pirineos y Depresión del Ebro). In Benito, G. y Díez-Herrero, A. (Eds.) *Contribuciones recientes sobre Geomorfología (Actas VIII Reunión Nac. de Geomorfología. Toledo)*. SEG y CSIC. Madrid, pp 165-172.
- Prat, M.C. 1980. Montagnes et vallées d'Andorre, étude géomorphologique. Unpublished PhD thesis de III cycle, Inst. de Géogr. de la Univ. de Bord. III, Bordeaux, France, 267p.
- Sancho, C., Peña, J.L., Lewis, C., McDonald, E. y Rhodes, E., 2004. Registros fluviales y glaciares cuaternarios de las cuencas de los ríos Cinca y Gállego (Pirineos y Depresión del Ebro). In: Colombo, F, Liesa, C.L., Meléndez, G., Pocoví, A., Sancho, C. Y Soria, A.R. (Eds) *Geo-Guías 1. Itinerarios Geológicos por Aragón (VI Congreso Geológico de España)*. Sociedad Geológica de España. Zaragoza, pp. 181-205
- Serrano, E. 1992. Huellas de una glaciación pre-Pléniglaciario en la ribera de Biescas (Cuenca del Gállego, Pirineo Aragonés). Cuadernos de sección-Historia. 20, 213-227
- Turu, V., 1994. Datos para la determinación de la máxima extensión glaciar en los valles de Andorra (Pirineo Central). *Geomorfología en España*, T 1, Logroño, España, pp. 256-273.
- Turu, V., Bordonau, J., 1997. El glacialisme de les valls de la Valira del Nord (Principat d'Andorra): Síntesi dels afloraments. *Annals 1995 de l'Institut d'Estudis Andorrans*, 41 -104
- Turu, V. 2002. Análisis secuencial del delta de Erts. Estratigrafía de un valle glaciar obturado intermitentemente. relación con el último ciclo glaciar. Valle de Arinsal, Pirineos Orientales. Parte II : Aplicación. Estudios recientes (2000-2002) en geomorfología, patrimonio, montaña y dinámica territorial. SEG-Departamento de Geografía UVA (Eds.). Valladolid. España, pp. 565-574.
- Turu, V. y Planas, X., 2005. Inestabilidad de vertientes en los valles del Valira. Datos y dataciones para el establecimiento de una cronología, posibles causas. Andorra y Alt Urgell (Pirineos Orientales). Simposio de Inestabilidades de Vertientes y Taludes. Valencia.
- Vidal, L.M., 1875. Geología de la provincia de Lérida. *Bol. Com. Mapa. Geol. España*, T (II), 273-250
- Vilaplana, J.M. 1985. Les fases glacials del quaternari superior en el sector nord-oest del pirineu andorrà, *Rev. Inv. Geol.*, 41, 67-82

FIGURAS:

Pongan las figuras después de las siguientes páginas:

Figuras 1-4, detrás de pág. 3

Figuras 5-11, después de pág. 4

Figuras 12-16, después de pág. 5

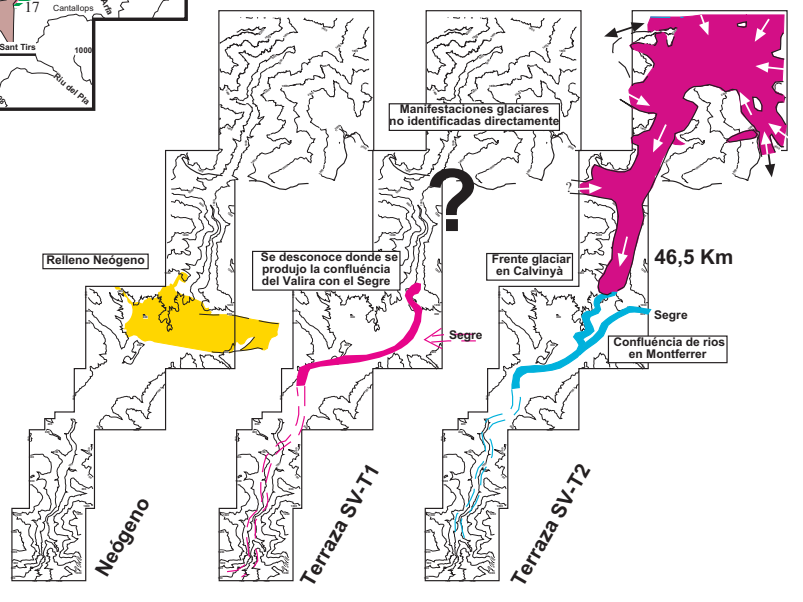
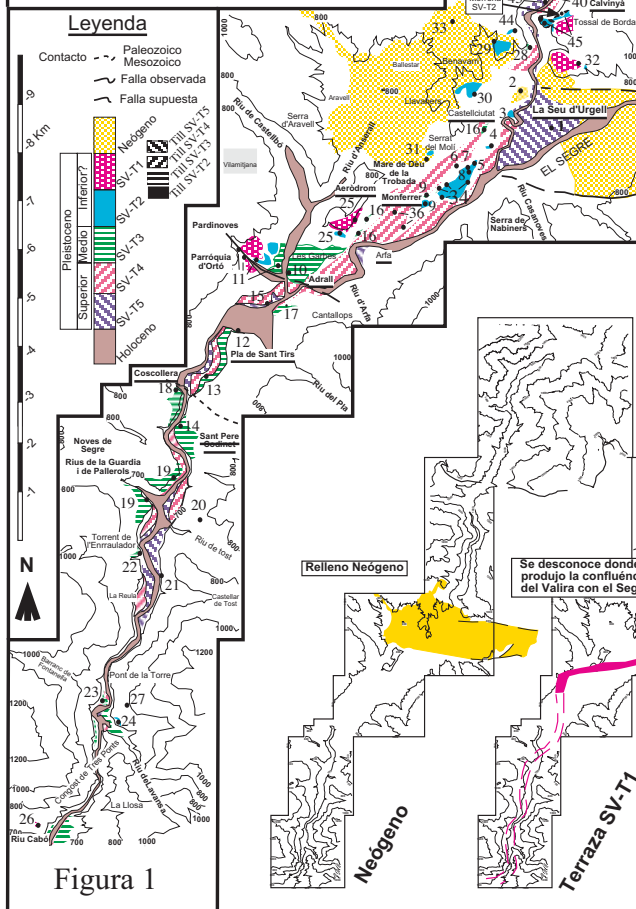
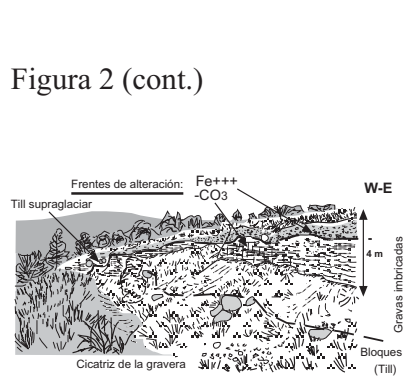
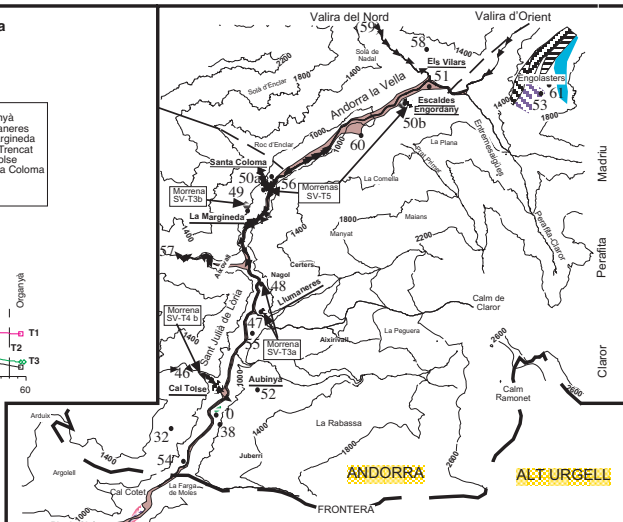
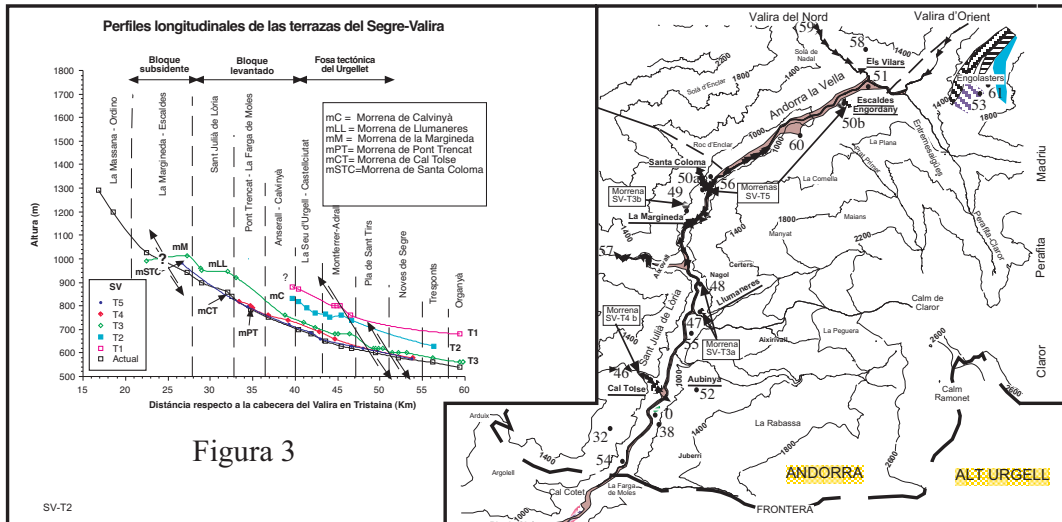


Figura 5

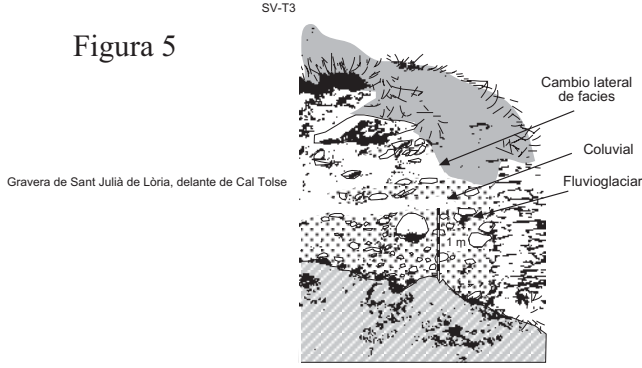


Figura 6

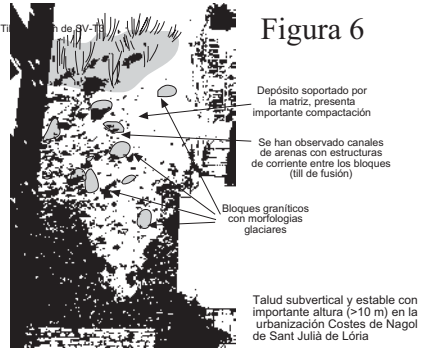


Figura 8

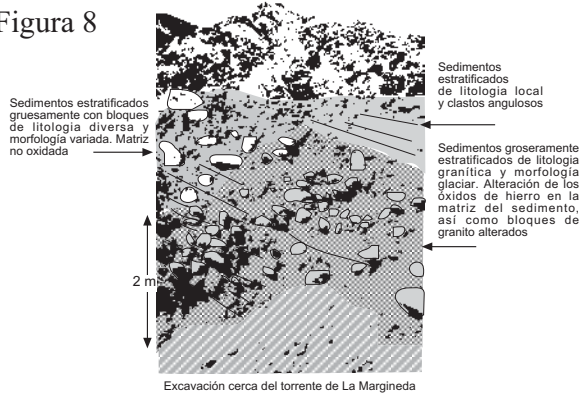


Figura 9

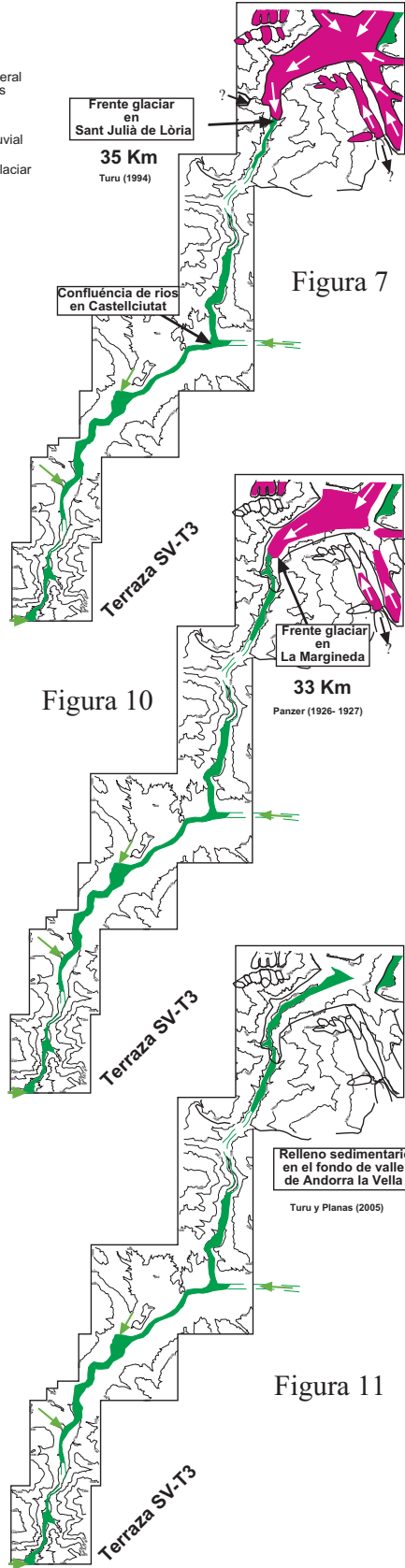
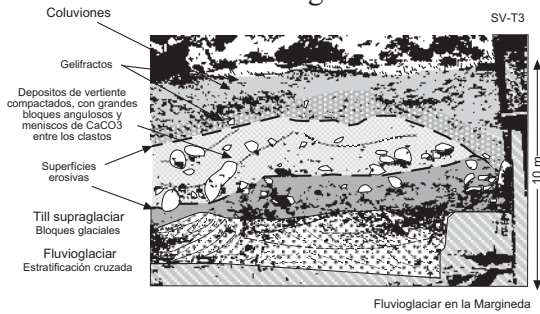
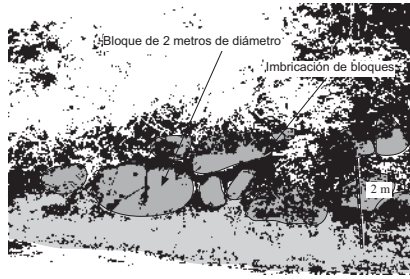


Figura 7

Figura 10

Figura 11

Figura 12



Bloques imbricados, antigua carretera en Pont Trecat

Figura 13

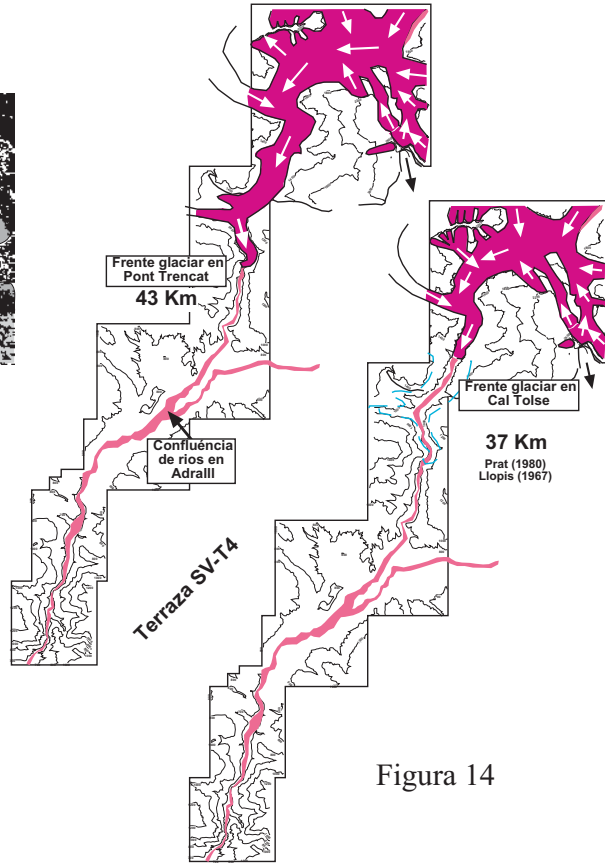
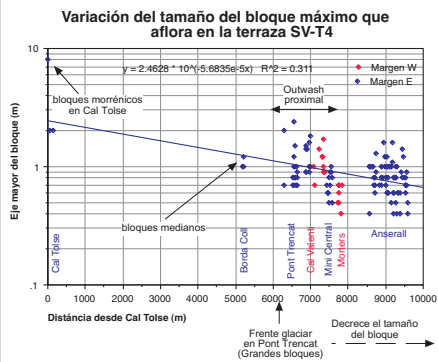


Figura 14

Figura 15

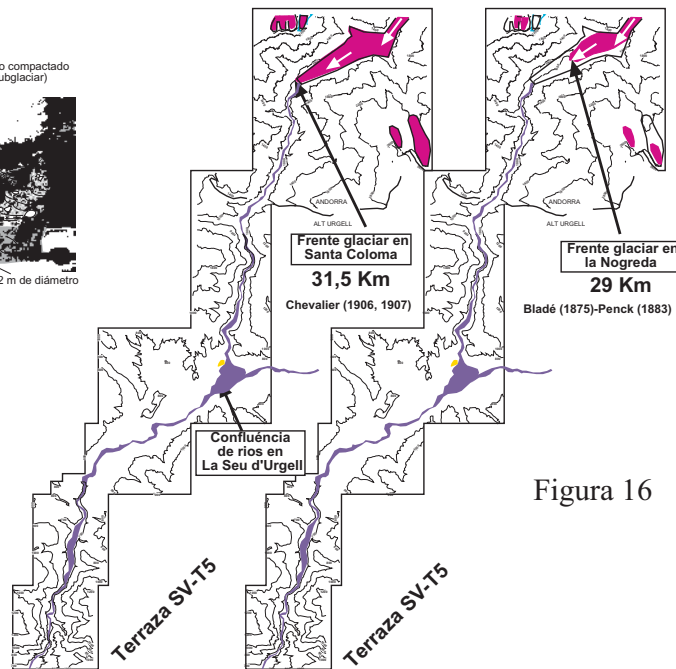
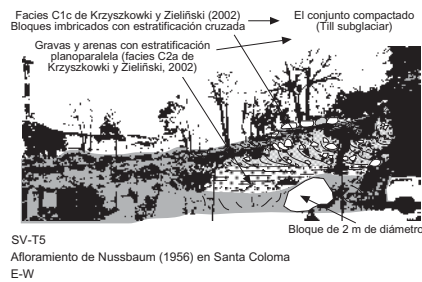


Figura 16