

ANÁLISIS PETROLÓGICO DE DEPÓSITOS DE TERRAZAS APLICADO AL ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE CAPTURA EN LOS RÍOS ADAJA, VOLTOYA Y ERESMA (PROVINCIAS DE SEGOVIA Y VALLADOLID)

A. Tortosa¹, J. Arribas¹, G. Garzón², P. Fernández² y M. Palomares¹.

¹ Dpto. de Petrología y Geoquímica, UCM-CSIC, 28040 Madrid

² Dpto. de Geodinámica, UCM, 28040 Madrid

Resumen: La caracterización composicional y textural de los depósitos arenosos de terrazas de los ríos Adaja, Voltoya y Duero ha permitido resolver la procedencia de otras secuencias de terrazas, relacionadas con estos ríos pero hasta ahora de difícil asignación genética, como son las situadas al SE de Pozáldez y en el área de Olmedo. La secuencia de terrazas del área de Pozáldez se ha dividido en dos grupos: el primero, correspondiente a las terrazas más antiguas, está relacionado con el retrabajamiento de las terrazas del Duero por el río Voltoya durante su encajamiento. El segundo grupo, formado por las terrazas más modernas, se relaciona con los depósitos del río Adaja, marcando el límite de ambos grupos el momento de la captura de este último por el Voltoya. Por otra parte, la secuencia de terrazas del área de Olmedo refleja una gran similitud con las arenas del sistema del Voltoya, pudiendo ser considerado como parte del mismo. La integración de los datos geomorfológicos y petrológicos ha permitido elaborar un modelo de evolución de la red fluvial basado en capturas sucesivas entre los ríos Adaja, Voltoya y Eresma.

Palabras clave: Arenas, capturas, composición de arenas, Cuaternario, geomorfología, petrología, procedencia, terrazas.

Abstract: The analysis of the composition and textures of the sandy deposits of terraces of Adaja, Voltoya and Duero rivers permits to solve the provenance of other terrace sequences, as those appearing at the SE of Pozáldez and near Olmedo, without a clear parentage with the rivers mentioned above. The Adaja terraces are constituted by arkoses with crystalline rock fragments and a light dominance of k-feldspar over plagioclase grains, representing the more immature deposits analysed. The Voltoya terraces also consist of arkoses with a greater dominance of k-feldspar over plagioclase and with the occurrence of metamorphic rock fragments. The Duero terraces are formed of subarkoses with low content in rock fragments, showing a great dispersion of the contents in feldspars and rock fragments typologies. Based on these data, the upper terraces appearing near Pozáldez are constituted by the reworking product of Duero terraces by the Voltoya river during the incision of its channel. The lower terraces are constituted by recent terraces whose origin is related to the Adaja river. Thus the limit between these two groups of terraces represents the capture of the Adaja by the Voltoya river. On the other hand, the terrace sequence near Olmedo shows a great similarity with the deposits of the Voltoya terraces, so that its origin is related to this terrace system. The integration of geomorphologic and petrologic data permits the reconstruction of the evolution of the fluvial network, based on successive channel piracy. Firstly, the Adaja river was captured by the Voltoya river, and subsequently both the Adaja and Voltoya rivers were captured by the Eresma river. The origin of this set of captures is the general trend to the NE of the groundwater flow, caused by tectonic tilting, and improving the hydraulic efficiency of the basin. Finally, the composition of the terrace deposits was greatly influenced by the piracy processes that produced a new input of sediments with different provenance. Incision of the channels also affected composition by reworking of intrabasinal sediments. Both processes acted by mixing sediments producing a homogenisation of its composition. As a consequence, an important loose of detailed information about the source area of the different feeders occurs.

Key words: Sand, channel piracy, sand composition, Quaternary, geomorphology, petrology, provenance, terraces.

Tortosa, A., Arribas, J., Garzón, G., Fernández, P. y Palomares, M. (1997): Análisis petrológico de depósitos de terrazas aplicado al estudio de los procesos de captura en los ríos Adaja, Voltoya y Eresma (provincias de Segovia y Valladolid). *Rev. Soc. Geol. España*, 10 (1-2): 131-145.

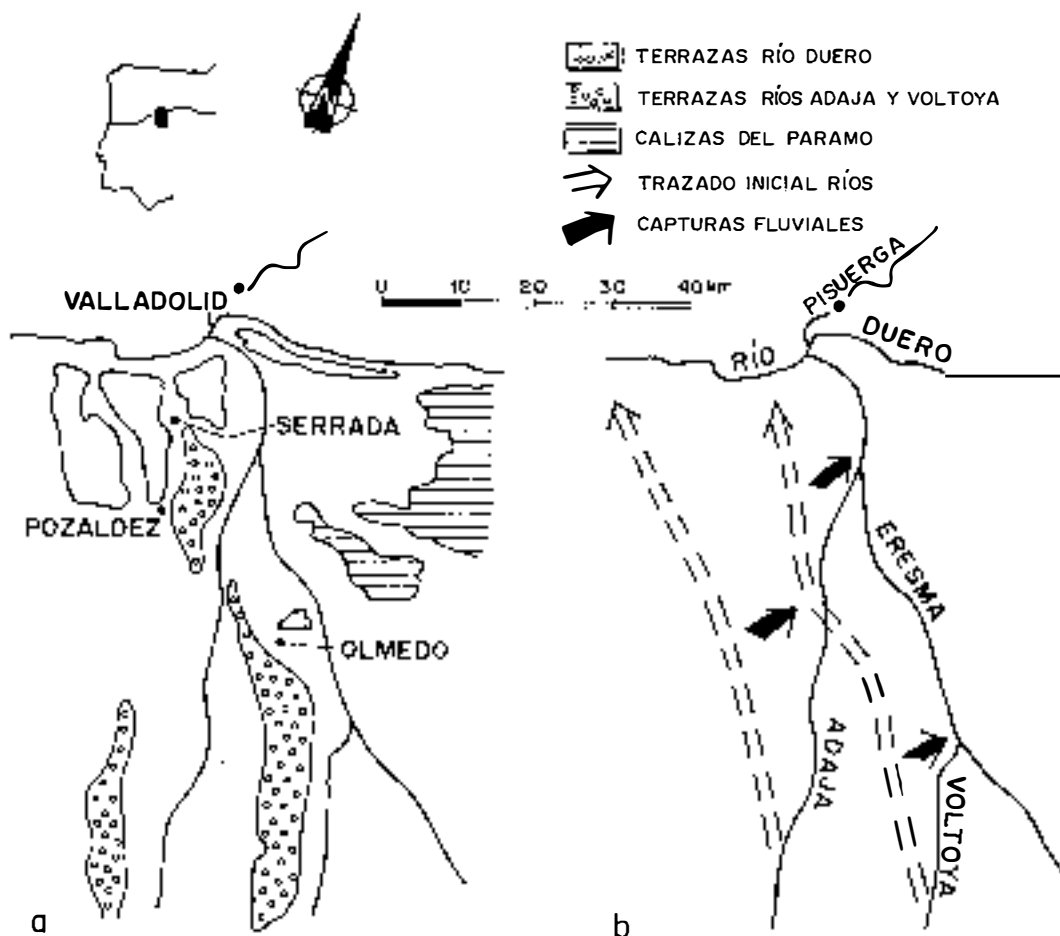


Figura 1.- Situación de la zona de estudio mostrando la posición actual de los ríos respecto a las principales unidades morfológicas (a) y la evolución hipotética de la red desde su trazado originario al actual (b).

Los ríos Adaja, Eresma y Voltoya descienden desde el piedemonte norte del Sistema Central hacia el río Duero, colector axial de la depresión a la que da nombre. El Adaja es en la actualidad uno de los tributarios más importantes del Duero por su margen meridional, y a él confluyen, poco antes de su desembocadura, el Eresma junto con su afluente el Voltoya (Fig. 1a). Esta situación, sin embargo, no ha sido siempre así a lo largo del Cuaternario, sino que estos ríos han seguido una compleja evolución hasta llegar a su jerarquización actual.

En la cartografía de terrazas de las hojas geológicas de escala 1/50.000 de Olmedo y Portillo (Portero y del Olmo, 1982; Portero *et al.*, 1982) y Pérez González (1979) se señala que tanto el Adaja como el Eresma cambiaron su curso bajo al final del Cuaternario. Ello produjo el abandono de sus terrazas y valles previos, dejando como testimonio los corredores o valles secos de Olmedo y Serrada (Fig. 1a).

Este desplazamiento de la red fluvial no representa un hecho casual y aislado. En trabajos previos hemos venido señalando la presencia de capturas sucesivas en zonas aledañas, con la característica común a todas ellas de que la captura y jerarquización de la red se produce siempre hacia el NE (Fernández, 1988; Garzón y

Fernández, 1993). Las ideas desarrolladas a partir de estos casos análogos, así como un análisis más detallado de la evolución de los sistemas de terrazas en la zona del presente trabajo, nos han llevado a una interpretación diferente para la evolución de estos ríos de la deducida en la cartografía existente. Así, los tres cauces citados seguirían inicialmente cursos más o menos paralelos, desembocando directa e independientemente en el Duero. Posteriormente se produciría un proceso de capturas sucesivas de estos ríos en dirección NE (Fig. 1b).

Para el establecimiento de la secuencia de estos procesos de captura es indispensable una caracterización previa de los depósitos y una correcta correlación entre los diferentes sistemas de terrazas. Hasta el momento, los criterios de correlación utilizados se han limitado a las medidas altimétricas, dada su gran homogeneidad y la falta de material datable. En el presente trabajo se emplean análisis petrológicos como forma de establecer relaciones entre los diferentes sistemas, dados los buenos resultados obtenidos con este método en situaciones similares de zonas próximas (Palomares *et al.*, 1992a y b).

Los objetivos de este estudio se han centrado, por tanto, en la caracterización de cada sistema de terrazas

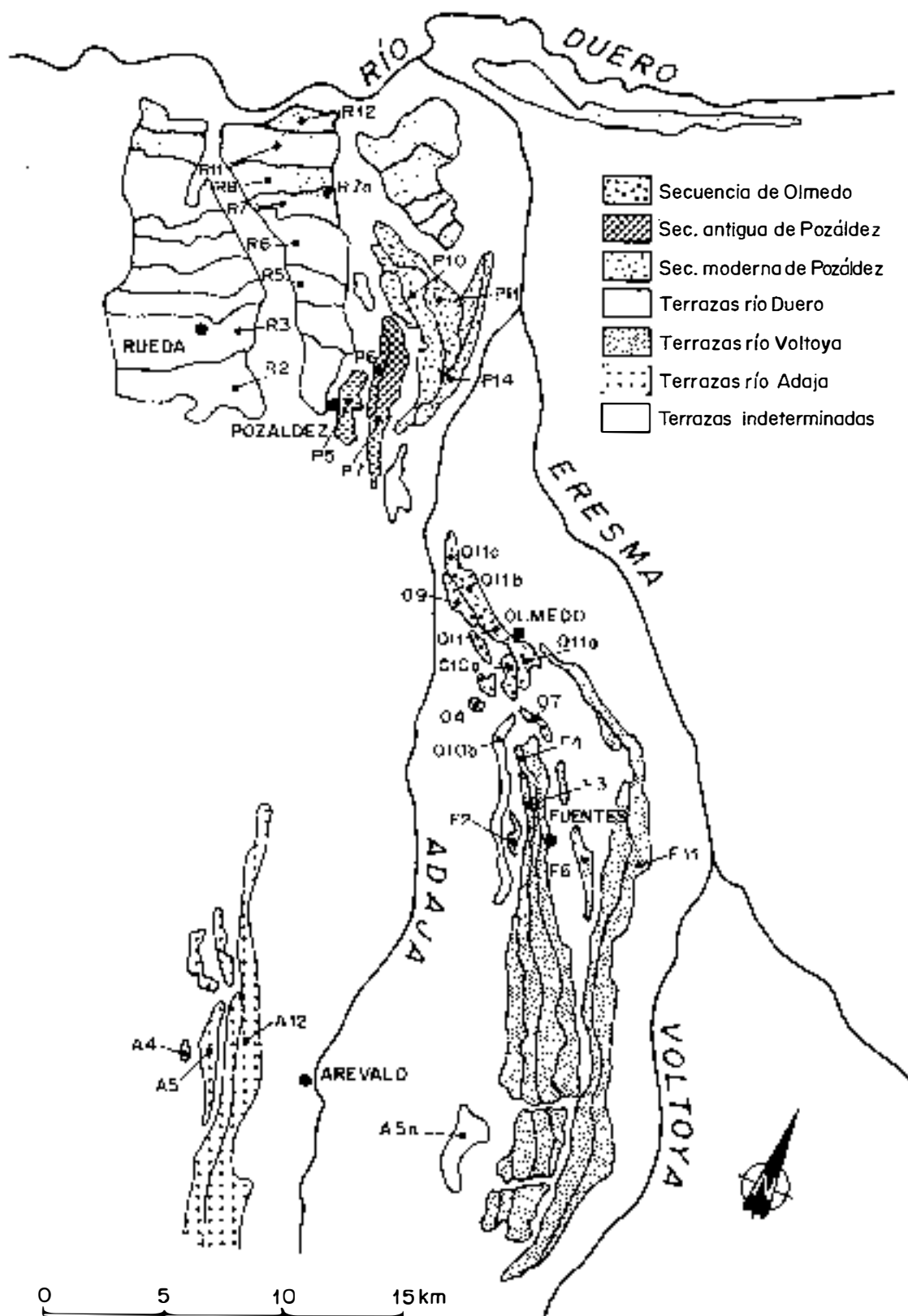


Figura 2.- Cartografía de los sistemas de terrazas estudiados mostrando su arqueamiento y cambios de dirección progresivos. Situación de las muestras analizadas. Las terrazas indeterminadas corresponden a depósitos no asimilables a ninguno de los grupos fluviales establecidos.

tanto morfológica como petrológicamente, en el establecimiento de su relación con cada uno de los sistemas fluviales analizados y en su procedencia. Esto ha permitido discernir en determinadas zonas conflictivas

cuál de los cauces ha sido dominante en cada momento y establecer la sucesión de capturas ocurridas en la zona durante el Cuaternario reciente. La transcendencia de desvelar la dinámica de estas capturas radica en

una mejor comprensión de los mecanismos de jerarquización de la red fluvial y la determinación del posible condicionamiento neotectónico de la distribución actual del drenaje.

Marco y problemática geomorfológicos

La zona de trabajo se sitúa en el centro de la Depresión del Duero, al sur de Valladolid. El conjunto fluvial estudiado comprende los tramos finales de los ríos Adaja, Voltoya, Eresma y una pequeña porción del río Duero. Los tres primeros provienen del Sistema Central, drenando los materiales más antiguos del zócalo: granitoides, gneises y esquistos de edad paleozoica, sin que las diferencias litológicas entre sus cabeceras resulten *a priori* muy significativas. Aguas abajo se encajan en la cuenca neógena del Duero, constituida por secuencias detríticas de composición arcósica y depósitos evaporíticos, que pasan lateralmente hacia el centro de la cuenca a los depósitos calcáreos palustres de la formación Páramo. El río Duero, con una dirección transversal E-W, tiene una procedencia muy distinta, dominando en su cabecera los materiales calcáreos y arcillosos cretácico-terciarios de la Cordillera Ibérica, al que se incorporan posteriormente algunos tributarios con aportes más siliciclásticos de las zonas orientales de la Sierra del Guadarrama. En el tramo fluvial estudiado confluye además el río Pisuerga, proveniente del N, con un considerable aporte de materiales siliciclásticos.

Morfológicamente los ríos se encajan unos 100 m en los depósitos terciarios y han dejado sobre ellos un sistema de hasta 17 terrazas escalonadas (Portero y del Olmo, 1982; Portero *et al.*, 1982). Los valles son en general asimétricos y las terrazas se desarrollan sólo en uno de los lados (Fig. 2), lo que indica un posible condicionamiento tectónico en el drenaje. El río Duero presenta un sistema de terrazas escalonadas hacia el N muy bien desarrollado en las proximidades de su confluencia con el río Pisuerga, al SW de Valladolid. Sus niveles altos están casi a la misma altura que la superficie del techo de las calizas del Páramo.

El río Voltoya también presenta un sistema de terrazas bien desarrollado, que comienza con alturas equivalentes a las del río Duero. Estas terrazas están bien definidas inicialmente, pero en su curso bajo ofrecen un arqueamiento en planta que sugiere ciertos cambios en el curso del río. Estos tramos son problemáticos en cuanto a su procedencia y evolución por lo que han sido uno de los objetivos principales de este trabajo. El río Adaja presenta un amplio valle, con un sistema de terrazas relativamente bien desarrollado en su margen occidental. Sin embargo, en su margen oriental, aparece una serie de rellanos con depósitos, que aunque han sido considerados como terrazas del propio Adaja (Portero *et al.*, 1982), no hemos encontrado datos suficientes ni de campo ni petrológicos que nos hayan permitido corroborar ese origen.

Finalmente, el río Eresma prácticamente no ha de-

jado depósitos de terraza en este tramo de su curso bajo, por lo que se ha excluido del estudio petrológico al no poder realizarse una toma de muestras con suficientes garantías.

Si observamos la distribución en planta de estas terrazas (Fig. 2) se pueden hacer las siguientes consideraciones. En primer lugar, el sistema mejor desarrollado es el del río Voltoya, que sigue una dirección norteada, hasta que es interceptado por el curso del río Adaja, al SE de Pozáldez. Según la interpretación cartográfica existente (Portero y del Olmo, 1982), a partir de este punto el sistema de terrazas corresponde al río Adaja. La mayor continuidad morfológica de éstas y sus perfiles longitudinales nos han llevado, sin embargo, a establecer la hipótesis de que se trata de la continuación del propio sistema del río Voltoya. En segundo lugar, en los alrededores de Olmedo (Fig. 2) se observa un arqueamiento progresivo de los niveles de terrazas más bajos que indican, por tanto, cambios sucesivos en el curso del río. Como resultado de dicha curvatura, el Voltoya cambia de dirección y pasa a verter sus aguas al río más oriental, que es el Eresma.

Un hecho similar ocurre también en la zona de Pozáldez, donde el tramo bajo del río Adaja sufre el abandono de su valle, pasando también a verter hacia el E. En este proceso quedan abandonados parte de sus antiguos cauces, dejando como testimonio de ello los valles secos que constituyen los corredores de Olmedo y Serrada (Fig. 1a). En resumen, se puede deducir una migración progresiva de ambos ríos hacia el E, que da lugar a la captura independiente de cada uno de ellos por el río Eresma.

Además de los criterios puramente cartográficos de cambio de dirección de las terrazas, los rasgos morfológicos que nos inducen a pensar en la ocurrencia de estos procesos de capturas son diversos. Los tramos de valle abandonados permanecen relictos en el paisaje como amplios corredores cuya magnitud no se corresponde con los pequeños cauces que discurren en él. Por otra parte, el arqueamiento de las terrazas va acompañado del desarrollo de amplias llanuras intraterrazas que se caracterizan por redes de drenaje fantasmas y mal definidas entre las que abundan las depresiones endorreicas, que constituyen los vestigios de los tramos fluviales abandonados por el proceso de captura.

Estos hechos no son exclusivos de la zona de estudio sino que, como ya se ha señalado, situaciones similares han sido estudiadas por nosotros en zonas aledañas. Fernández (1988) estableció una serie de capturas sucesivas y terrazas abandonadas en la subfosa de Nieva, en que la desviación sistemática del drenaje hacia el NE desarrollaba extensas llanuras intraterrazas. Garzón y Fernández (1993) observaron que este no era un hecho local sino que se hacía extensible a todo el margen meridional del río Duero, afectando también a los ríos Voltoya y Eresma. La secuencia de capturas fue establecida posteriormente mediante la petrología (Palomares *et al.*, 1992a y b), pudiéndose definir el rejuve-

	Q				K			P		L		M					FRG	FRE	FRM	
	Qmr	Qmo	Qp2-3	Qp>3	Qfr	Ks	Kfr	Ps	Pfr	Ch	Sl	Ms	Bi	Clo	Mfr	Bifr				Ci
A-4	22.7	6.8	4.4	1.0	7.1	22.0	3.4	16.1	3.4	0.2	0.2	0.5	1.5	0.0	1.2	0.7	8.6	100.0	0.0	0.0
A-5	25.9	6.0	4.5	0.7	8.0	26.9	4.5	19.7	2.2	0.0	0.5	0.0	0.7	0.0	0.5	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
A-5A	28.8	4.0	6.5	0.5	5.2	22.8	5.2	21.8	4.0	0.0	0.5	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	92.0	2.0	6.0
A-12	31.2	6.2	6.2	1.2	4.2	25.2	2.7	16.0	6.0	0.2	0.0	0.0	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
F-2	27.0	8.5	6.8	1.4	8.7	21.8	7.5	9.6	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	5.6	79.0	4.8	16.0
F-3	27.5	6.2	6.2	2.2	6.9	26.5	6.4	14.1	2.2	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	1.0	0.0	84.5	7.3	8.1
F-4	42.8	4.5	5.5	1.0	3.3	27.8	2.5	10.8	1.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.6	2.1	7.3
F-6	29.2	4.5	5.0	1.5	6.6	27.0	4.7	16.3	3.5	0.2	0.0	0.5	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	87.9	6.0	6.0
F-11	32.4	4.7	4.2	2.2	5.6	32.1	2.7	11.0	2.5	0.2	1.0	0.2	0.0	0.0	0.5	0.2	0.5	87.5	7.5	5.0
R-2	32.5	8.0	11.5	6.5	4.3	15.0	3.3	13.3	2.8	0.0	0.0	0.8	2.0	0.0	0.3	0.0	0.0	97.0	1.0	2.0
R-3	40.5	13.0	14.3	10.5	1.8	8.5	1.8	6.8	2.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	91.2	1.1	7.7
R-5	26.8	13.5	12.6	7.1	3.0	21.2	3.0	9.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.5	98.8	0.0	1.2
R-6	35.8	9.8	12.5	6.0	3.0	20.0	1.5	9.3	1.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	93.8	1.0	5.1
R-7	45.0	13.8	11.8	5.0	2.3	12.5	1.0	7.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.5	2.2	4.3
R-7A	38.9	15.0	17.5	10.6	3.7	6.4	0.5	5.7	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	83.7	2.0	14.3
R-8-9	45.3	11.5	13.5	14.2	3.4	4.9	0.5	4.4	0.5	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	87.7	2.0	10.2
R-11	51.2	12.1	18.8	13.4	0.5	1.5	0.0	1.5	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	86.0	6.0	8.0
R-12	35.9	13.5	6.5	6.0	2.5	15.7	4.0	13.0	2.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0	0.0	99.0	0.0	1.0
O-4	33.1	2.9	6.5	1.9	4.4	17.9	2.1	13.5	1.1	3.4	0.0	0.6	0.6	0.6	0.2	0.2	10.9	93.2	4.5	2.2
O-7	35.4	6.0	8.5	1.5	6.0	27.4	2.7	9.5	1.5	0.0	0.0	0.2	0.5	0.2	0.5	0.0	0.0	95.0	2.0	3.0
O-9	42.0	5.7	8.7	3.0	4.0	17.2	2.5	13.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.5	0.0	96.0	2.0	2.0
O-10A	36.8	5.2	6.0	1.7	6.5	24.1	2.2	14.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.5	97.4	1.7	0.8
O-10B	37.8	5.0	7.5	2.0	6.2	26.4	3.2	9.7	1.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	96.0	3.0	1.0
O-11	36.4	4.5	6.5	1.5	4.0	26.4	5.0	12.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.5	0.2	0.0	96.0	2.0	2.0
O-11A	38.5	9.3	5.5	1.5	4.5	27.5	1.5	9.5	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.8	1.1	1.1
O-11B	36.5	6.5	9.0	2.0	5.3	24.3	3.5	9.8	2.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	98.0	1.0	1.0
O-11C	32.8	6.2	8.2	3.7	8.9	22.8	4.0	9.2	2.5	0.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	96.0	3.0	1.0
P-5	36.1	15.7	10.0	7.5	2.2	12.4	2.5	11.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.5	0.0	82.3	1.5	16.2
P-6	22.3	8.3	8.2	3.9	3.3	8.3	1.5	10.4	3.3	0.0	0.0	0.4	0.6	0.0	0.9	0.7	27.8	90.0	10.0	0.0
P-7	34.2	8.7	10.8	2.4	5.1	12.3	1.0	15.9	3.9	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.7	0.2	3.4	93.7	2.5	3.7
P-10	30.6	5.2	7.0	3.5	6.2	24.1	4.7	14.4	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.0	100.0	0.0	0.0
P-11	28.3	5.3	8.8	5.3	3.5	19.8	2.5	21.3	4.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	97.0	1.0	2.0
P-14	21.3	5.7	6.9	6.2	6.4	14.6	4.5	25.0	5.2	0.0	0.0	0.2	0.7	0.0	2.2	1.0	0.0	95.2	2.4	2.4

Tabla I.- Base de datos petrográfica de los niveles de terrazas muestreados. Q: Cuarzo. Qmr: Cuarzo monocristalino con extinción recta. Qmo: Cuarzo monocristalino con extinción ondulante. Qp2-3: Cuarzo policristalino con 2 ó 3 unidades cristalinas. Qp>3: Cuarzo policristalino con más de tres unidades cristalinas. Qfr: Cuarzo en fragmento de roca. K: Feldespato potásico. Ks: Grano simple de feldespato potásico. Kfr: Feldespato potásico en fragmento de roca. Ps: Grano simple de plagioclasa. Pfr: Plagioclasa en fragmento de roca. L: Fragmentos de roca líticas. Ch: Chert. Sl: Fragmentos de pizarra. M: Micas. Ms: Moscovitas. Bi: Biotita. Clo: Clorita. Mfr: Moscovita en fragmento de roca. Bifr: Biotita en fragmento de roca. Ci: Carbonatos intracuencales. FRG: Fragmentos de roca granuda. FRE: Fragmentos de roca esquistosos. FRM: Fragmentos de roca de metacuarcitas.

nacimiento de los depósitos de terraza una vez consumada la captura. Esta situación tiene un condicionante tectónico de basculamiento hacia el NE y los mecanismos de capturas están provocados por la direccionalidad general del flujo en ese sentido (Fernández y Garzón, 1994).

Por tanto, la problemática que se presenta en este trabajo desde el punto de vista geomorfológico es la siguiente: (1) establecer la evolución de la red de drenaje y de los sistemas de terrazas en la zona; (2) justificar la relación entre los conjuntos de terrazas y el río que las origina; y, finalmente, (3) comprobar la continuidad de las terrazas del río Voltoya más hacia el N, aunque en este momento el río se encuentre en una posición diferente, mucho más alejada.

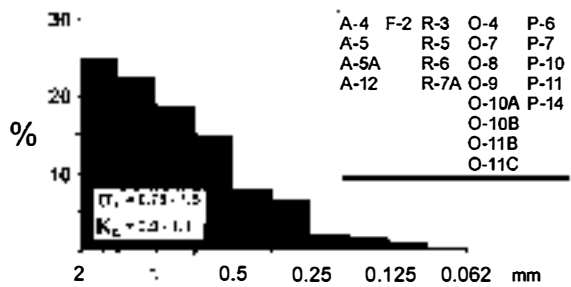
Metodología

Para poder caracterizar composicional y texturalmente los sistemas de terrazas correspondientes a los ríos Adaja, Voltoya y Duero, se recogieron un total de 18 muestras en un área comprendida entre las

proximidades de las localidades de Arévalo (provincia de Ávila) y Valladolid, eligiéndose tres zonas principales de muestreo, con una localización geográfica y orientación que permite su asignación inequívoca a uno de estos ríos (Fig. 2). Se sigue la nomenclatura de terrazas utilizada por la cartografía geológica (Portero y del Olmo, 1982; Portero *et al.*, 1982) en la que se supone una equivalencia aproximada en el tiempo para terrazas de igual numeración. La zona elegida para caracterizar el sistema de terrazas del río Adaja está situada al W de la localidad de Arévalo, donde se recogieron cuatro muestras de las terrazas 4, 5 y 12. En las proximidades de la localidad de Fuentes se muestreó el sistema de terrazas del río Voltoya, recogiendo un total de cinco muestras correspondientes a las terrazas 2, 3, 4, 6 y 11. Por último, se recogieron nueve muestras de terrazas del río Duero situadas en el margen izquierdo de su cauce, al SW de la localidad de Valladolid, próximas a la localidad de Rueda y correspondientes al intervalo entre las terrazas 2 y 12.

Además de este muestreo, destinado a la caracterización de los depósitos de estos ríos, se muestrearon en

GRUPO 1



GRUPO 2

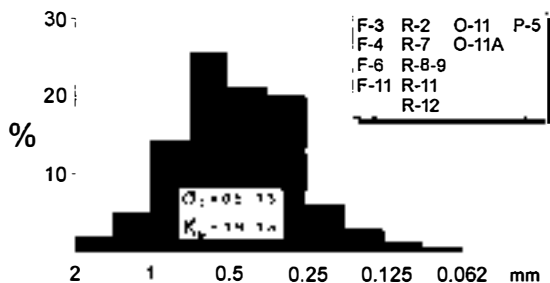


Figura 3.- Relación de muestras de terrazas agrupadas en función de las características de sus distribuciones clastométricas. s_1 : Desviación estándar. K_G : Curtosis (según Folk y Ward, 1957).

la misma área otras secuencias de terrazas, comentadas en el apartado anterior, que presentaban dificultades en cuanto a su interpretación genética. Una de ellas es el conjunto desarrollado en las proximidades de la localidad de Olmedo. Un segundo conjunto de terrazas estudiado se encuentra localizado en las proximidades de Pozáldez, que se encaja con una orientación general N-S en el sistema de terrazas del río Duero comentado previamente. Este último sistema está considerado en la cartografía actual como perteneciente al río Adaja. De estos dos sistemas se han recogido un total de 15 muestras (Fig. 2).

El muestreo de las terrazas se ha restringido a los depósitos arenosos, evitándose en lo posible la presencia de niveles edáficos desarrollados, procurando eludir de este modo los procesos de alteración o meteorización que pudieran haber ocasionado modificaciones de la composición y textura del depósito original. Las muestras fueron atacadas con agua oxigenada para la eliminación de la materia orgánica, extrayéndose además tanto la fracción inferior a 0.062 mm como la superior a 2 mm. La fracción arenosa (2-0.062 mm) resultante fue tamizada en intervalos de $1/2 \Phi$ para el estudio textural de la distribución clastométrica. El análisis composicional se realizó exclusivamente sobre el tamaño medio de dicha fracción (0.5-0.25 mm) para evitar posibles variaciones de la composición atribuibles a diferencias en el tamaño de grano. Previa cementación artificial con resina epoxy, se realizaron láminas delgadas sobre las que se efectuó el análisis

petrográfico, consistente en contajes de un mínimo de 400 puntos por cada lámina delgada, en los que se han diferenciado 23 tipos de componentes. Se ha utilizado el método de contaje de "Gazzi-Dickinson", si bien los datos así obtenidos pudieron también ser elaborados según el método "tradicional" (Ingersoll *et al.* 1984). Además se realizó un análisis específico de tipologías de fragmentos de roca consistente en un contaje independiente de aproximadamente 100 fragmentos. A partir de la base de datos petrográfica (Tabla I) se han elaborado diversos diagramas composicionales ternarios y binarios que han permitido caracterizar y discriminar los distintos tipos de terrazas considerados.

Caracterización petrográfica de los depósitos de terrazas de los ríos Adaja, Voltoya y Duero

Distribuciones clastométricas

Las distribuciones de tamaños de los clastos de la fracción arenosa de los sistemas de terrazas de los ríos Adaja, Voltoya y Duero no marcan diferencias netas que permitan su discriminación. No obstante, en función de la morfología de las curvas clastométricas se pueden distinguir dos grandes grupos de depósitos (Grupo 1 y 2 en la Fig. 3) cuyas diferencias sólo pueden ser atribuibles a las variaciones en las condiciones hidráulicas durante su génesis (velocidad del flujo, profundidad y anchura del cauce, etc.). La influencia de la litología del área fuente sobre la distribución clastométrica del depósito, puesta de manifiesto en depósitos actuales de otras zonas del Sistema Central (Palomares *et al.*, 1990) puede quedar descartada, ya que la heterogeneidad de las litologías existentes en las áreas fuentes no es suficiente para su justificación.

Por un lado, el grupo 1 lo forma un conjunto de depósitos con modas muy poco marcadas o presentes en el intervalo mayor arenoso (2-1 mm), que pueden indicar la existencia de modas principales superiores al tamaño arena. La selección varía entre moderada y pobre (s_1 : 1.5 - 0.75). Ocasionalmente tienen modas secundarias en 0.25 mm, y los valores de curtosis son bajos (K_G : 0.9 - 1.1, mesocúrticas). Todos estos caracteres se interpretan como correspondientes a depósitos muy poco evolucionados y generados por procesos hidráulicos poco selectivos, asociados a otras poblaciones de clastos de tamaños superiores a los 2 mm.

Un segundo grupo de muestras (grupo 2 en Fig. 3) presentan caracteres texturales propios de una mayor madurez. Las distribuciones tienen modas bien definidas en el tamaño de arena medio (0.5 - 0.25 mm) y mejor selección (s_1 : 1.3 - 0.5) que las de los depósitos del grupo anterior, y con valores de curtosis algo más elevados (K_G : 0.9 - 1.5, meso y leptocúrticas). Corresponderían a depósitos generados por corrientes tractivas más selectivas y de menor velocidad del flujo.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los caracteres texturales no llegan a ser discriminatorios

de las terrazas de los distintos ríos considerados, aunque pueden observarse ciertas similitudes entre las muestras pertenecientes a un mismo sistema de terrazas. Así, todas las muestras de las terrazas del río Adaja pertenecen al primer grupo clastométrico descrito, donde la escasa madurez textural puede estar justificada por ser el grupo de terrazas más próximas a las áreas fuentes. Por otra parte, las terrazas del Voltoya y parte de las del Duero (aparentemente las más modernas) están formadas fundamentalmente por depósitos con mayor madurez textural y por lo tanto pertenecientes al segundo grupo clastométrico descrito. También existen en estos sistemas depósitos más inmaduros (grupo 1) que corresponden a las terrazas más antiguas (Voltoya 2, Duero 3, 5 y 6), observándose por tanto una evolución temporal desde depósitos inmaduros en las terrazas antiguas hasta depósitos maduros en las más modernas. Este hecho podría estar relacionado con procesos de reciclado y retrabajamiento de las terrazas más antiguas en los depósitos más modernos, con la propia evolución de la red fluvial.

Composición

Todas las arenas

nentes fundamentales granos de cuarzo monocristalinos y policristalinos, con predominio de los monocristalinos con extinción recta (Tabla I). Entre los cuarzos policristalinos, aquellos con escasas unidades cristalinas son los más frecuentes. Las dos tipologías más ampliamente representadas son típicas de depósitos procedentes de áreas fuentes granítico-gnéisicas (Basu *et al.*, 1975; Tortosa *et al.*, 1991; entre otros). Los feldespatos y los fragmentos de roca granudos constituyen el resto de la población de componentes fundamentales. Los feldespatos son tanto potásicos (ortosa y microclina) como calcosódicos (plagioclasas), presentándose frescos o con escaso grado de alteración a minerales de la arcilla. Los fragmentos de roca granudos están constituidos mayoritariamente por agregados de cuarzo-feldespato con escasas unidades cristalinas y sin orientación preferente, característicos de rocas granítico-gnéisicas. En menor proporción aparecen micas (moscovita y biotita), chert y fragmentos de roca metamórficos (esquistos y metacuarcitas) y sedimentarios (carbonáticos y siliciclásticos). Estos últimos pueden estar asociados con la erosión de depósitos edáficos desarrollados sobre las mismas terrazas, de depósitos terciarios, o proceder incluso de depósitos mesozoicos afectados por la erosión en cabecera del río Duero.

La composición modal de todos los depósitos analizados refleja una gran monotonía, en cuanto a tipologías y porcentajes de los componentes comentados previamente (ver Tabla I). Esta similitud composicional se debe, por un lado, a que los sistemas de terrazas de los ríos Adaja y Voltoya se nutren de materiales del borde norte del Sistema Central, caracterizado por la presencia de rocas granítico-

gnéisicas, con escasos afloramientos metamórficos, y con variaciones composicionales muy ligeras. Por otro lado, aunque la cabecera del río Duero está formada fundamentalmente por materiales sedimentarios mesozoicos, durante su recorrido va incorporando aportes de tributarios con áreas fuentes diversas, como los de su margen meridional, que se abastecen del Sistema Central con las mismas litologías que nutren a los sistemas de terrazas de los ríos Adaja y Voltoya. La capacidad de generación de arenas de estas rocas (granítico-gnéisicas) es lo suficientemente elevada como para "diluir" los aportes procedentes de otras litologías (Palomares y Arribas, 1993) y, por lo tanto, aproximar su composición a la de depósitos de procedencia exclusiva granítico-gnéisica.

Terrazas del río Adaja

Las muestras pertenecientes al sistema de terrazas del río Adaja son arcosas con un valor medio $Q_{40}F_{44}R_{16}$ (Fig. 4). Corresponden a los depósitos más feldespáticos del conjunto analizado, con un ligero predominio del feldespato potásico sobre la plagioclasa (Figs. 5 y 6). Por lo que respecta a las distintas tipologías de granos de cuarzo (Fig. 6), existe un claro predominio de las tipologías monocristalinas sobre las policristalinas, con valores superiores a 1.5 del índice $\ln(Q_m/Q_p)$. Los fragmentos de roca llegan a ser casi exclusivamente de naturaleza granuda con esporádica presencia de fragmentos metamórficos ($FRG_{98}FRE_0FRM_2$ en Fig. 7). En general, todas las muestras de este sistema de terrazas presentan una gran afinidad composicional, que queda reflejada en todos los diagramas utilizados agrupándose en campos de proyección muy reducidos. La muestra A-5A (Tabla I) ha sido tratada como perteneciente a este sistema de terrazas siguiendo los criterios de la cartografía geológica. Sin embargo, puede observarse que presenta variaciones composicionales significativas con respecto al resto de muestras de este grupo (Figs. 4 a 7).

Terrazas del río Voltoya

La composición modal de estos depósitos se aproxima a la de los depósitos arcósicos del sistema de terrazas comentado previamente, si bien presentan un ligero incremento en el contenido en cuarzo, que pasa a ser el componente mayoritario ($Q_{46}F_{40}R_{14}$ en Fig. 4). El sistema de terrazas del Voltoya presenta además una mayor dispersión en la composición de sus formando en todos los diagramas campos de proyección más amplios que los del río Adaja (Figs. 4 a 7). La diferencia fundamental entre estos dos sistemas estriba en un mayor contenido de feldespato potásico frente a la plagioclasa en el sistema del río Voltoya (Fig. 5), dándose en conjunto los valores más bajos de la relación $\ln(P/K)$, comprendidos entre -0.5 y -1.0 (Fig. 6). En esta última figura se observa que la relación entre las tipologías mono y policristalinas de cuarzo se mantiene en un intervalo de valores muy semejante al de los

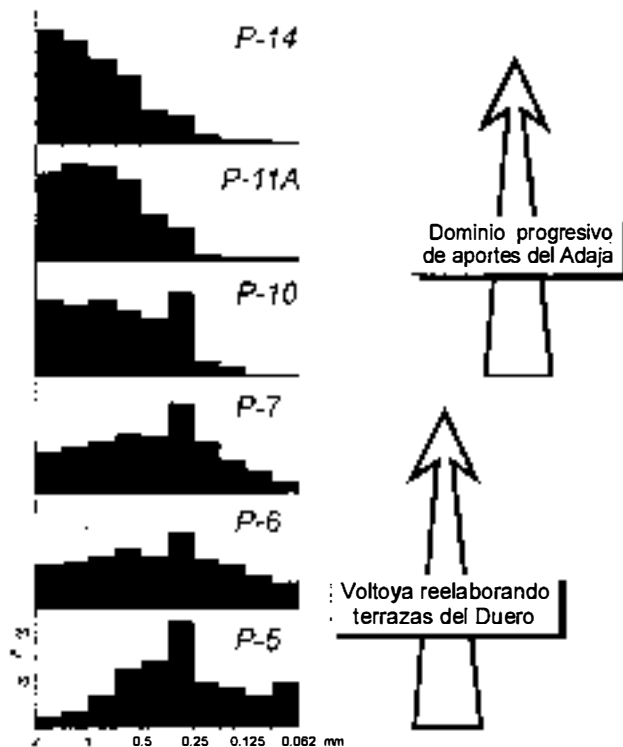


Figura 8. Evolución temporal en las distribuciones clastométricas de la secuencia de terrazas muestrada en la zona de Pozáldez, donde se observa una pérdida de la madurez textural entre las terrazas más antiguas (P-5, P-6 y P-7) y las más modernas (P-10, P-11 y P-14). Las flechas indican los niveles de dominio de los ríos Voltoya y Adaja.

Existe una componente del flujo hídrico regional hacia el NE, de forma que a medida que los ríos se encajan se van desplazando en este sentido. En su encajamiento, el Voltoya y el Adaja van dejando un valle asimétrico con sus terrazas escalonadas hacia el E. Este proceso ocasionó la interferencia del sistema del río Adaja con el del Voltoya, provocando la captura del primero (Fig. 9b). Petrologicamente esto ha podido ser confirmado en el conjunto de terrazas más modernas del área de Pozáldez, donde la composición de los depósitos cambia radicalmente con respecto a las terrazas más antiguas, pasando a presentar características propias de los aportes «tipo Adaja» aunque manteniendo todavía aspectos típicos de los depósitos del río Duero, que continúan siendo retrabajados y mezclados con los nuevos aportes. Durante este período el río Voltoya deja de ser el curso principal de la zona, como lo indica la ausencia de aspectos petrográficos característicos de este sistema fluvial en los depósitos de las terrazas modernas del área de Pozáldez. Este cambio en la naturaleza de los aportes podría justificarse por medio de dos mecanismos diferentes: (1) el río Adaja ha sufrido un cambio en la trayectoria de su curso que implicaría su captura por parte del río Voltoya entre los niveles 7 y 10 de terrazas o (2) el río Adaja ha ido aumentando su importancia hídrica, manteniendo constante su trayectoria, hasta ser dominante sobre el Voltoya. Esta segunda hipótesis parece la menos probable teniendo en

cuenta la disposición en planta de las terrazas y la morfología regional.

La evolución progresiva de los ríos hacia el NE se traduce en una curvatura de sus cursos con un arqueamiento en planta de las terrazas a medida que progresa su encajamiento. Este efecto se manifiesta simultáneamente tanto en Pozáldez como en Olmedo. La exageración de esta curvatura da como resultado que los dos ríos cambien su curso, abandonen definitivamente los tramos bajos de sus cauces y pasen a desaguar al río más oriental, el Eresma. Se produjeron por tanto otras dos capturas: la del río Adaja, a la altura de Pozáldez y la del río Voltoya, en Olmedo. Ambas se deben haber producido en períodos de tiempo relativamente próximos (Fig. 9c). No podemos entrar en precisiones cronológicas detalladas acerca del momento de la ocurrencia de las capturas ya que no existe ninguna datación de los depósitos de terrazas de la zona y la cartografía actual establece una cronología basada en alturas relativas. Sin embargo, existe un nivel de referencia regional que es el determinado por la superficie de Coca, considerada Pleistoceno superior (Portero y del Olmo, 1982; Portero *et al.*, 1982). Considerando que los dos últimos cambios en la red se producen inmediatamente por debajo de esta superficie, es lógico pensar que las capturas se pueden relacionar con la implantación de dicha superficie. Los potentes depósitos fluvio-eólicos ligados a ella favorecerían además la dinámica final del proceso de la captura.

Las tres capturas han dado lugar a un acortamiento significativo de la longitud de la red y a una considerable mejora de la eficiencia hidráulica de la cuenca. Este poder captante del Eresma se justifica al observar comparativamente los perfiles longitudinales de los tres ríos (Fernández y Garzón, 1994), siendo el Eresma el que presenta unas cotas más bajas, por lo que pudo captar el flujo subterráneo de los otros cauces cuando discurrían próximos a él y con ello acelerar el mecanismo de las capturas.

El origen primario de las capturas reside, por tanto, en la tendencia general del flujo hídrico regional, en nuestro caso hacia el NE, la cual induce el desplazamiento inicial de los ríos en este sentido. Aunque derivada de este mismo origen, la curvatura final de los cauces, con el consiguiente proceso de capturas, puede estar favorecida por dos factores diferentes. Uno de ellos puede ser directamente imputable a la tectónica de la zona, que permite inferir movimientos direccionales dentro de la cuenca (Fernández y Garzón, 1994). Los fenómenos de captura inducidos indirectamente por movimientos de fallas en dirección han sido descritos por otros autores (p.e. Hawkins *et al.*, 1991). Otro factor condicionante es la erosión diferencial. En nuestro caso, tanto el Adaja como el Voltoya encuentran en su migración impedimentos para su movimiento. El tramo bajo del Adaja tuvo que formar su valle en las terrazas del Duero, más resistentes que los materiales terciarios, quedando reducida su capacidad de divagación; sin embargo, aguas arriba tiene más facilidad de migra-

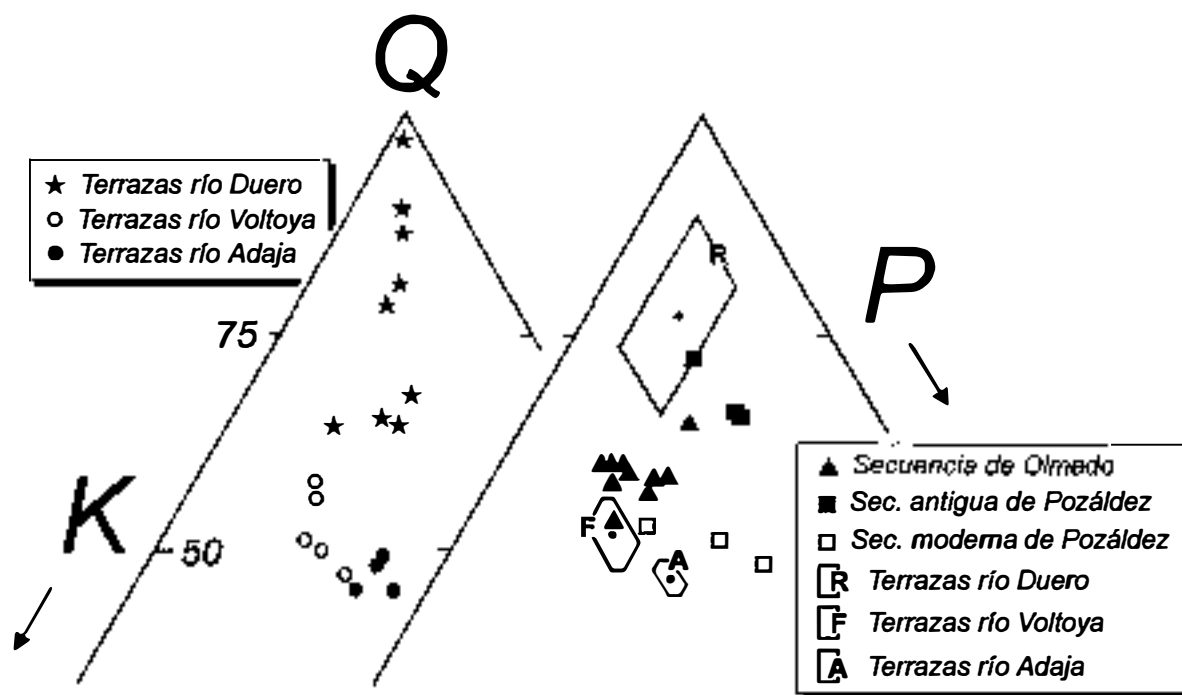


Figura 5.- Distribución de las muestras de terrazas analizadas en función de su composición en un diagrama QKP (Cuarzo/Feldespatos potásico/Plagioclasa). Los polígonos representan los campos correspondientes a la desviación estándar sobre la media (punto central) de los valores de una población de terrazas.

lares entre sí, se pueden distinguir en función de los tipos de feldespatos y de fragmentos de roca, siendo los del río Adaja los que contienen más plagioclasa dentro de la población de feldespatos y un dominio casi exclusivo de fragmentos de roca granudos.

Caracterización petrográfica de las secuencias de terrazas de Pozáldez y Olmedo

Para analizar la procedencia de las secuencias de terrazas cuyo origen plantea problemas interpretativos, se ha procedido a contrastar los datos texturales (clastométricos) y composicionales de dichos depósitos con los datos de los tres sistemas de terrazas analizados previamente, con el fin de dilucidar su relación con ellos.

Secuencia de terrazas de Pozáldez

Por lo que respecta a las distribuciones clastométricas de estos depósitos, la mayoría puede enmarcarse dentro del grupo 1 (Fig. 3), definido previamente como depósitos inmaduros. Exclusivamente la terraza más antigua (P-5) parece presentar características más evolucionadas, con una moda bien definida en 0,25 mm, y por lo tanto perteneciente al grupo 2. Analizando la evolución en el tiempo de estos caracteres, se aprecia una pérdida progresiva de la madurez, desde depósitos con modas bien definidas en el tamaño medio arenoso, hasta las terrazas más modernas, con modas muy gruesas y poco marcadas (Fig. 8).

Composicionalmente, las terrazas de Pozáldez están formadas por depósitos arcósicos (Fig. 4) constituidos por los mismos componentes fundamentales y accesorios que las arenas de los ríos Adaja, Voltoya y Duero, pero con ligeras variaciones en el contenido relativo de los mismos. Al igual que en la caracterización clastométrica, se observa una pérdida de madurez composicional entre las terrazas más antiguas (P-5, P-6 y P-7) y las más modernas (P-10, P-11 y P-14). Las terrazas antiguas presentan características composicionales muy similares a las del río Duero, siendo posible descartar la participación en ellas de aportes «tipo Adaja», en función del contenido en feldespatos y tipologías de fragmentos de roca. La participación del río Voltoya en la formación de estas terrazas antiguas es muy probable, ya que depósitos «tipo Voltoya» mezclados con depósitos «tipo Duero» podrían generar depósitos similares a los de las terrazas antiguas de Pozáldez. Por otra parte, los depósitos de las terrazas más modernas de esta zona, si bien presentan también algunos caracteres composicionales propios del sistema del río Duero (baja relación del índice $\ln(Q_m/Q_p)$), se asocian fundamentalmente con depósitos «tipo Adaja» con un contenido muy elevado en fragmentos de roca granudos (superior al 95%) y en feldespatos, con valores de la relación $\ln(P/K)$ entre -0.5 y 0.5. En este grupo de terrazas más modernas no se observan caracteres atribuibles a aportes «tipo Voltoya».

En resumen, las arenas del área de Pozáldez podrían interpretarse como terrazas generadas, en un principio,

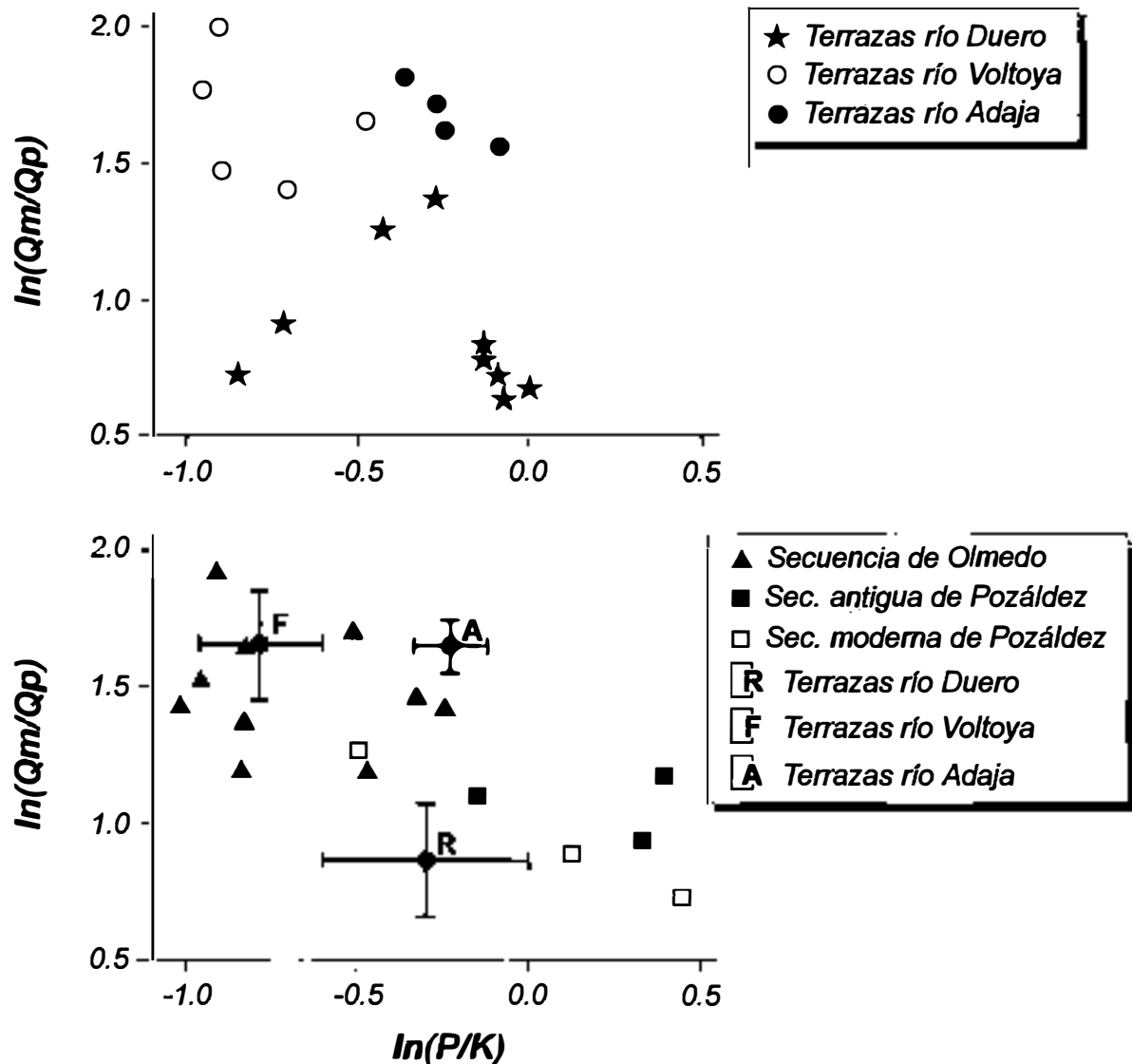


Figura 6.- Distribución de las muestras de terrazas analizadas en función de las tipologías de cuarzo - $\ln(Qm/Qp)$ -, y de las de feldespato - $\ln(P/K)$. Las cruces representan el valor de la desviación estándar sobre la media (punto central) de una población de terrazas.

por un río que se encajó en el sistema de terrazas del Duero, bien exclusivamente retrabajando los depósitos previos de éste último, o bien aportando además materiales «tipo Voltoya». Posteriormente, este río cambió drásticamente, generándose en las terrazas más modernas depósitos con caracteres propios del sistema Adaja, aunque algo contaminados por los depósitos del río Duero. Este hecho justifica la pérdida de madurez textural observada en esta secuencia de terrazas (Fig. 8).

Secuencia de terrazas de Olmedo

Este sistema de terrazas está constituido por depósitos con distribuciones clastométricas generalmente inmaduras (pertenecientes al grupo 1, en la Fig. 3). Aunque ocasionalmente pueden aparecer sedimentos más maduros, sus modas siguen siendo gruesas (superiores a 0,5 mm), sin que se observe ninguna evolución temporal entre los diferentes niveles de esta secuencia.

Composicionalmente, este grupo de muestras son

también arcósicas, quedando todas ellas proyectadas en un reducido campo, próximo al sistema de terrazas del río Voltoya (Fig. 4). Esta similitud composicional entre ambos sistemas de terrazas se manifiesta también al comparar las relaciones entre tipologías de feldspatos y cuarzós (Figs. 5 y 6). Estos mismos aspectos composicionales permiten descartar la participación del río Adaja en la génesis de estos depósitos, al contrario de lo que s

encia fundamental entre las terrazas del área de Olmedo y las del río Voltoya, anteriormente descritas, radica en el contenido en cuarzo, ligeramente superior en el área de Olmedo. Esta diferencia puede interpretarse como un leve incremento en la madurez composicional de estos depósitos, resultado de un transporte más prolongado. Por tanto, consideramos que esta secuencia de terrazas forma parte también del sistema de terrazas del río Voltoya, estando la diferencia composicional relacionada con su posición algo

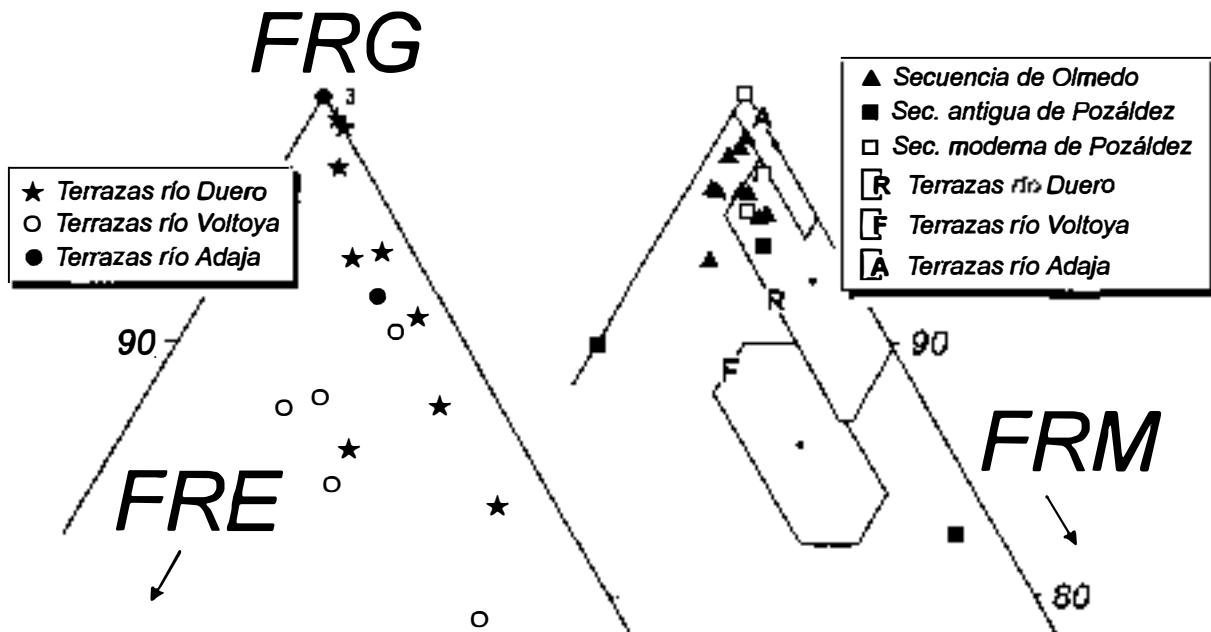


Figura 7.- Distribución de las muestras de terrazas analizadas en función de los tipos de fragmentos de roca que presentan en un diagrama FRG / FRE / FRM (Fragmentos de roca Granudos / Esquistosos / Metacrústicos). Los polígonos representan los campos correspondientes a la desviación estándar sobre la media (punto central) de los valores de una población de terrazas.

más alejada aguas abajo. No obstante, el análisis clasométrico no refleja esta relación, ya que las arenas de esta secuencia son más inmaduras texturalmente que las previamente definidas como del río Voltoya. Esta diferencia textural entre ambos grupos de terrazas no tiene por qué interpretarse como una contradicción con las deducciones basadas en los datos composicionales, ya que cambios en las condiciones hidráulicas en la evolución de los canales pueden producir cambios drásticos en la textura (tamaño, selección) del depósito.

Integración y discusión de los resultados dentro del modelo de capturas

La integración de los resultados petrológicos con la problemática geomorfológica planteada nos permite reafirmar la hipótesis sugerida como punto de partida de este trabajo. Así, la situación inicial consistiría en tres ríos subparalelos independientes (Adaja, Voltoya y Eresma) que desembocarían directamente en el Duero (Fig. 9a).

El cauce con un sistema de terrazas mejor desarrollado y con mayor entidad sería inicialmente el del río Voltoya, que desembocaría directamente en el río Duero. A medida que el río Duero se desplazaba hacia el norte, el río Voltoya se fue encajando progresivamente en sus terrazas más antiguas, con las que fue formando sus propios depósitos. Este hecho queda constatado en la zona de Pozáldez, donde existe un grupo de terrazas antiguas con caracteres texturales y composicionales próximos a los depósitos del río Duero, muy probable-

	%Q*	ln(Qm/Qp)	ln(P/K)	%FRG**
ADAJA	40 ± 2,9	1,66 ± 0,1	-0,23 ± 0,1	98 ± 3,4
VOLTOYA	46 ± 4,6	1,65 ± 0,2	-0,78 ± 0,2	86 ± 3,9
DUERO	74 ± 12	0,87 ± 0,2	-0,3 ± 0,3	92 ± 5,2

* Porcentaje de cuarzo en relación al total de componentes

** Porcentaje de fragmentos de roca granudos en relación al total de fragmentos de roca.

Los recuadros sombreados corresponden a los valores más útiles para la discriminación entre los sistemas de terrazas

Tabla II.- Parámetros e índices composicionales más significativos para la discriminación de los depósitos de terrazas analizados.

mente generados por mezcla de material retrabajado del río Duero y aportes del río Voltoya. Por la composición de las arenas puede descartarse la participación del río Adaja en la génesis de terrazas para este momento y en esta zona.

La relación genética entre las terrazas antiguas del área de Pozáldez y el sistema de terrazas del río Voltoya se puede confirmar también al analizar la secuencia de terrazas de Olmedo. Esta última secuencia ha sido interpretada, a partir del análisis petrológico, como perteneciente también al sistema Voltoya. Analizando conjuntamente los tres sistemas (Voltoya, Olmedo y sistema antiguo de Pozáldez) se puede considerar la secuencia de Olmedo como una etapa intermedia de la evolución hacia una mayor madurez composicional entre las terrazas típicas del Voltoya (serie F) y las terrazas más antiguas del área de Pozáldez. El incremento progresivo en los componentes más estables (Fig. 4) es relacionable con la evolución de los depósitos durante el transporte.

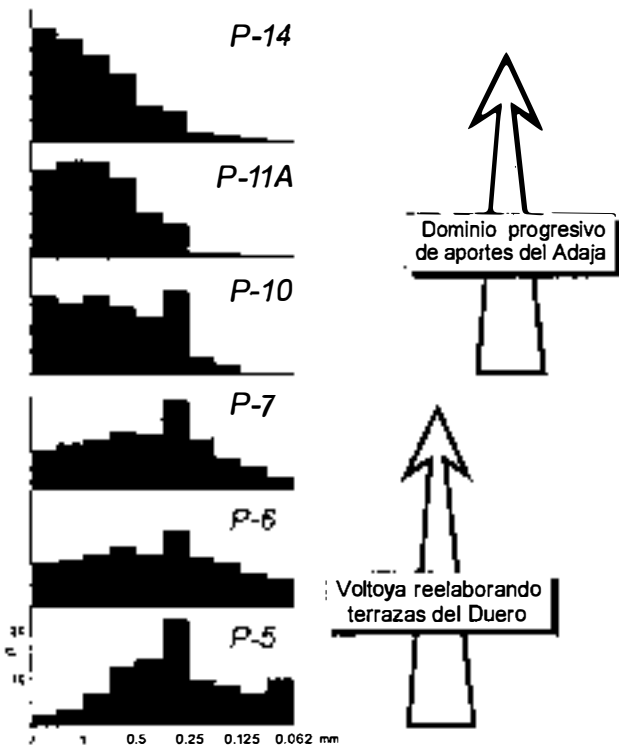


Figura 8.- Evolución temporal en las distribuciones clastométricas de la secuencia de terrazas muestrada en la zona de Pozáldez, donde se observa una pérdida de la madurez textural entre las terrazas más antiguas (P-5, P-6 y P-7) y las más modernas (P-10, P-11 y P-14). Las flechas indican los niveles de dominio de los ríos Voltoya y Adaja.

Existe una componente del flujo hídrico regional hacia el NE, de forma que a medida que los ríos se encajan se van desplazando en este sentido. En su encajamiento, el Voltoya y el Adaja van dejando un valle asimétrico con sus terrazas escalonadas hacia el E. Este proceso ocasionó la interferencia del sistema del río Adaja con el del Voltoya, provocando la captura del primero (Fig. 9b). Petrologicamente esto ha podido ser confirmado en el conjunto de terrazas más modernas del área de Pozáldez, donde la composición de los depósitos cambia radicalmente con respecto a las terrazas más antiguas, pasando a presentar características propias de los aportes «tipo Adaja» aunque manteniendo todavía aspectos típicos de los depósitos del río Duero, que continúan siendo retrabajados y mezclados con los nuevos aportes. Durante este período el río Voltoya deja de ser el curso principal de la zona, como lo indica la ausencia de aspectos petrográficos característicos de este sistema fluvial en los depósitos de las terrazas modernas del área de Pozáldez. Este cambio en la naturaleza de los aportes podría justificarse por medio de dos mecanismos diferentes: (1) el río Adaja ha sufrido un cambio en la trayectoria de su curso que implicaría su captura por parte del río Voltoya entre los niveles 7 y 10 de terrazas o (2) el río Adaja ha ido aumentando su importancia hídrica, manteniendo constante su trayectoria, hasta ser dominante sobre el Voltoya. Esta segunda hipótesis parece la menos probable teniendo en

cuenta la disposición en planta de las terrazas y la morfología regional.

La evolución progresiva de los ríos hacia el NE se traduce en una curvatura de sus cursos con un arqueamiento en planta de las terrazas a medida que progresa su encajamiento. Este efecto se manifiesta simultáneamente tanto en Pozáldez como en Olmedo. La exageración de esta curvatura da como resultado que los dos ríos cambien su curso, abandonen definitivamente los tramos bajos de sus cauces y pasen a desaguar al río más oriental, el Eresma. Se produjeron por tanto otras dos capturas: la del río Adaja, a la altura de Pozáldez y la del río Voltoya, en Olmedo. Ambas se deben haber producido en períodos de tiempo relativamente próximos (Fig. 9c). No podemos entrar en precisiones cronológicas detalladas acerca del momento de la ocurrencia de las capturas ya que no existe ninguna datación de los depósitos de terrazas de la zona y la cartografía actual establece una cronología basada en alturas relativas. Sin embargo, existe un nivel de referencia regional que es el determinado por la superficie de Coca, considerada Pleistoceno superior (Portero y del Olmo, 1982; Portero *et al.*, 1982). Considerando que los dos últimos cambios en la red se producen inmediatamente por debajo de esta superficie, es lógico pensar que las capturas se pueden relacionar con la implantación de dicha superficie. Los potentes depósitos fluvio-eólicos ligados a ella favorecerían además la dinámica final del proceso de la captura.

Las tres capturas han dado lugar a un acortamiento significativo de la longitud de la red y a una considerable mejora de la eficiencia hidráulica de la cuenca. Este poder captante del Eresma se justifica al observar comparativamente los perfiles longitudinales de los tres ríos (Fernández y Garzón, 1994), siendo el Eresma el que presenta unas cotas más bajas, por lo que pudo captar el flujo subterráneo de los otros cauces cuando discurrían próximos a él y con ello acelerar el mecanismo de las capturas.

El origen primario de las capturas reside, por tanto, en la tendencia general del flujo hídrico regional, en nuestro caso hacia el NE, la cual induce el desplazamiento inicial de los ríos en este sentido. Aunque derivada de este mismo origen, la curvatura final de los cauces, con el consiguiente proceso de capturas, puede estar favorecida por dos factores diferentes. Uno de ellos puede ser directamente imputable a la tectónica de la zona, que permite inferir movimientos direccionales dentro de la cuenca (Fernández y Garzón, 1994). Los fenómenos de captura inducidos indirectamente por movimientos de fallas en dirección han sido descritos por otros autores (p.e. Hawkins *et al.*, 1991). Otro factor condicionante es la erosión diferencial. En nuestro caso, tanto el Adaja como el Voltoya encuentran en su migración impedimentos para su movimiento. El tramo bajo del Adaja tuvo que formar su valle en las terrazas del Duero, más resistentes que los materiales terciarios, quedando reducida su capacidad de divagación; sin embargo, aguas arriba tiene más facilidad de migra-

ción sobre materiales terciarios. Por otro lado, el Voltoya encontró facilidades para su desplazamiento antes de erosionar el relieve residual de la Formación Páramo que constituye la mesa de Olmedo. En ambos casos les resulta más fácil desplazarse hacia el E y cambiar su curso.

Todo esto pone de manifiesto la importancia de los procesos de capturas en la jerarquización de la red de drenaje, muy significativos para establecer los controles de flujo regional en la zona, su posible condicionamiento tectónico y la predicción de la evolución de la red de drenaje y futuras capturas.

Por otra parte, el modelo de capturas desarrollado subraya las limitaciones de la interpretación de la procedencia de los depósitos de origen fluvial basada en su composición. La primera dificultad se plantea con la ocurrencia de procesos de capturas, que provocan cambios drásticos en las áreas de drenaje involucradas, con la entrada de nuevos aportes que producirán variaciones composicionales significativas en los depósitos de un mismo canal. Este hecho se observa claramente en la sucesión de Pozáldez, donde el sistema generado por un único canal presenta variaciones composicionales en el tiempo, relacionadas con la captura del río Adaja. Cambios composicionales de este tipo se han observado también en depósitos antiguos, como en el relleno de canales fluviales de la cuenca terciaria de Loranca, que han sido interpretados como producto de posibles capturas de redes tributarias de menor rango.

Otro hecho que se ha puesto de manifiesto en este trabajo es que en el análisis de procedencia de las terrazas va a ser importante no sólo el área fuente de la cuenca fluvial, sino los materiales en los que el río incide, y que va a ir asimilando, diluyendo progresivamente sus aportes originales (Kelley y Whetten, 1969; Whetten *et al.*, 1969). Esto se hace especialmente patente cuando el río desemboca en otro que tenga un sistema de terrazas bien desarrollado, como ocurre en las terrazas altas de la secuencia de Pozáldez, donde el río Voltoya se va encajando en las terrazas del río Duero, retrabajando y asimilando sus depósitos. Sobre este punto conviene señalar las diferencias en cuanto a la interpretación de los datos composicionales en el estudio de series fluviales antiguas, generadas por procesos de agradación, y series de terrazas recientes, relacionadas directamente con procesos de "degradación" o denudación del paisaje por el encajamiento de las redes fluviales. En este último caso, la erosión del substrato hace participar a la propia cuenca en la génesis de los depósitos detríticos, con la consiguiente pérdida de información de las áreas fuentes extracuencales. Además, las terrazas actúan como zonas de almacenamiento temporal de sedimentos, los cuales, en función del tiempo de permanencia en ellas y del clima, pueden sufrir transformaciones en su composición por acción de la alteración superficial (pedogénesis) (Johnsson, 1993).

Síntesis y conclusiones

Los depósitos de los sistemas de terrazas de los ríos Adaja, Voltoya y Duero, al SW de Valladolid, han sido caracterizados composicional y texturalmente con el fin de poder compararlos con otras secuencias de terrazas de difícil interpretación genética por métodos geomorfológicos convencionales.

Los depósitos arenosos de las terrazas del río Adaja son texturalmente muy inmaduros. Composicionalmente se caracterizan por ser los más feldespáticos, con un ligero predominio del feldespato potásico sobre la plagioclasa, y por sus fragmentos de roca, de naturaleza casi exclusivamente granuda.

El sistema de terrazas del río Voltoya se caracteriza por incluir depósitos con mayor madurez textural. Por lo que respecta a la composición, se diferencian del sistema anterior por presentar un ligero incremento en cuarzo, mayor contenido de feldespato potásico frente a la plagioclasa y una población de fragmentos de roca más variada (granudos, esquistosos y metacuarcíticos).

Las diferencias composicionales entre los sistemas de terrazas del Adaja y Voltoya se relacionan directamente con las litologías que constituyen sus áreas de drenaje.

Las arenas del sistema de terrazas del río Duero presentan una evolución de la madurez textural desde depósitos inmaduros, en las terrazas antiguas, hasta depósitos maduros, en los niveles más modernos. Composicionalmente se pueden definir como depósitos subarcósicos con bajo contenido en fragmentos de roca. Las diferencias fundamentales con respecto a los sistemas anteriores estriban en un aumento en el contenido en cuarzo ligado a un fuerte incremento en las tipologías policristalinas. Asimismo, presentan mayor dispersión en los contenidos de las diferentes tipologías de fragmentos de roca y de feldespatos, ligada a la pluralidad de aportes de sus distintos tributarios.

Por otro lado, se han analizado las secuencias de terrazas en las áreas de Pozáldez y Olmedo con el fin de relacionar su génesis con alguno de los sistemas definidos previamente.

La secuencia de Pozáldez muestra una pérdida progresiva de madurez textural en sus depósitos, desde las terrazas más antiguas (P-5, P-6 y P-7) a las más modernas (P-10, P-11 y P-14). La composición refleja también diferencias sustanciales entre estos dos grupos de terrazas. Así, las terrazas antiguas se pueden relacionar con el retrabajamiento de los depósitos del sistema del río Duero durante el encajamiento del curso del río Voltoya, ya que presentan caracteres propios de la mezcla de depósitos de ambos sistemas. Por el contrario, las terrazas modernas se relacionan con los depósitos del río Adaja, pudiendo de este modo marcar la captura de este último por el Voltoya.

Las terrazas analizadas en el área de Olmedo se caracterizan por tener una madurez textural baja, sin evoluciones temporales marcadas. Su composición refleja una gran similitud con los depósitos descritos para el

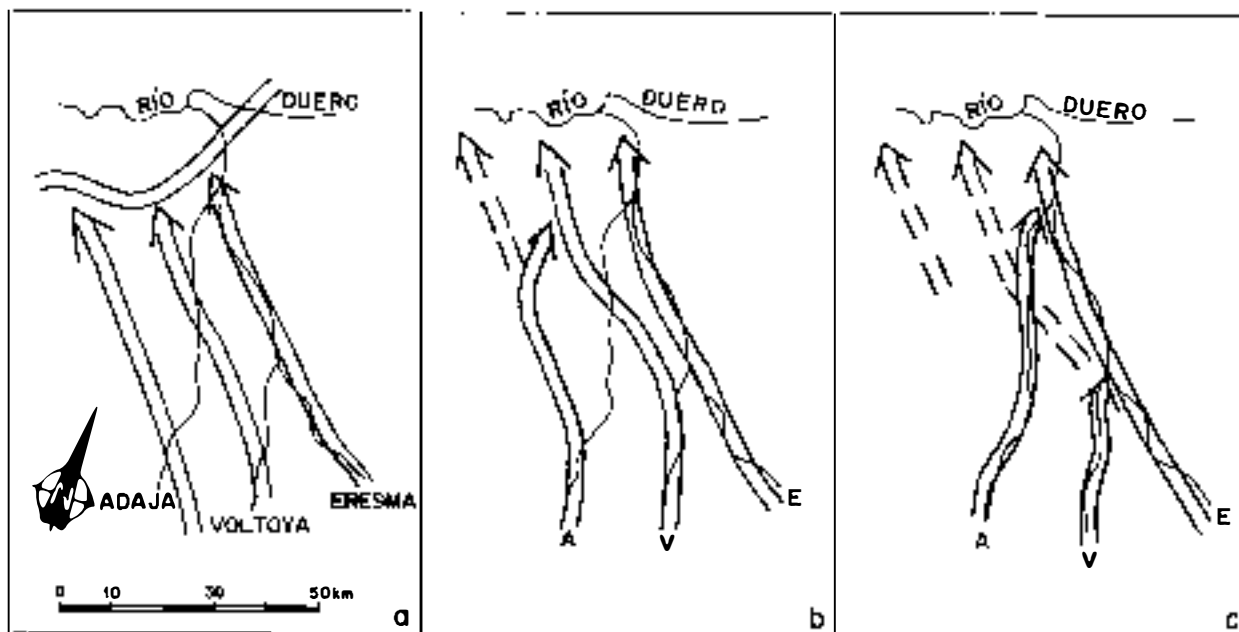


Figura 9.- Esquema evolutivo de los ríos y de la sucesión de capturas. a: Posición inicial subparalela de la red. b: Migración del río Adaja hacia el río Voltoya. c: Situación actual con la captura del Adaja y del Voltoya por el Eresma. A: Río Adaja. V: Río Voltoya. E: Río Eresma.

río Voltoya, pudiendo ser consideradas como parte de dicho sistema de terrazas, con un ligero incremento en el contenido en cuarzo, resultado de un transporte algo más prolongado.

Los resultados petrológicos expuestos justifican claramente el modelo de evolución de la red de drenaje por capturas sucesivas, que previamente había sido planteado desde el punto de vista geomorfológico. Los ríos Adaja, Voltoya y Eresma serían inicialmente subparalelos entre sí y confluirían en el río Duero, muy posiblemente de forma independiente. Una tendencia en el flujo regional hacia el NE iría desplazando progresivamente los cursos de agua de estos ríos, favoreciéndose los procesos de captura entre las diferentes cuencas con la mejora de la eficiencia hidráulica del sistema.

La primera captura que se produce corresponde a la del río Adaja por el Voltoya. A partir de ese momento, el río Adaja controla la composición de las terrazas, que previamente correspondían al río Voltoya. Posteriormente, el río más oriental, el Eresma, captura los cursos previos del Voltoya y del Adaja, en dos puntos diferentes y de forma independiente. Previa a la captura, se produce una curvatura en los cursos de los ríos simultánea a su encajamiento, que se manifiesta en el arqueamiento en planta de sus terrazas. Este hecho dificulta *a priori* la interpretación sobre el origen de los depósitos de cada río. La correspondencia aparente de cada sistema de terrazas con su río más próximo en la actualidad no es, por consiguiente, siempre aceptable.

Por último, la elaboración de este modelo ha puesto de manifiesto la trascendencia que tienen los

procesos de captura sobre la composición y textura de los depósitos detríticos. Dichos procesos pueden provocar cambios drásticos de composición, debido a los nuevos aportes del canal capturado. Este hecho puede ser en muchas ocasiones el causante de la variabilidad composicional en depósitos fluviales antiguos, incluso dentro del relleno de un canal, que se observa en determinadas cuencas continentales. Por otra parte, queda patente la importancia de la reelaboración o retrabajamiento de los depósitos del sistema fluvial durante el proceso de encajamiento de la red, generando mezclas de sedimentos, no sólo con distinta procedencia, sino también con diferentes tiempos de permanencia en zonas de almacenamiento temporal (terrazas). Esto puede producir una homogeneización en la composición del depósito resultante con la consiguiente pérdida de información referente a las litologías del área fuente.

Los autores agradecen a José Andrés de la Peña sus sugerencias y corrección del manuscrito. Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos PB94-0276-CO2-01 y PB93-0178 de la DGICYT.

Bibliografía

- Basu, A., Young, S.V., Suttner, L.J., Calvin, W.C. y Mack, G.H. (1975): Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Jour. Sed. Petrol.*, 45: 873-882.
- Fernández, P. (1988): *Geomorfología del sector comprendido entre el Sistema Central y el macizo de Sta. María Real de Nieva (Segovia)*. Tesis doctoral, Universidad Complutense, Madrid, 336p.
- Fernández, P. y Garzón, G. (1994): Ajustes en la red de drena-

- je y morfoestructura en los ríos del centro-sur de la cuenca del Duero. *III Reunión de Geomorfología de España*. Logroño. Comunicaciones Tomo I: 471-484.
- Folk, R.L. y Ward, W.C. (1957): Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, 27: 3-26.
- Garzón, G. y Fernández, P. (1993): Las capturas fluviales de los ríos Voltoya, Zorita, Moros y Eresma. Sus implicaciones geológicas. En: *El Cuaternario de España y Portugal*. IGME, Madrid. Vol.2: 849-859.
- Hawkins, J., McLea, W., Neef, G. y Vella, P. (1991): Two rivers captures, northwestern Wairarapa, New Zealand. *New Zealand Geographos*, 47: 3-10.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D. y Sares, S.W. (1984): The effect of grain size on detrital modes: a test of Gazzi-Dickinson point-counting method. *Jour. Sed. Petrol.*, 54: 103-116.
- Johnsson, M.J. (1993): The System controlling the composition of clastic sediments. In: *Processes controlling the composition of clastic sediments* (M.J. Johnsson y A. Basu, Eds.). *Geol. Soc. Amer.*, Spec. Paper 284: 1-19.
- Kelley, J.C. y Whetten, J.T. (1969): Quantitative statistical analyses of Columbia River sediment samples. *Jour. Sed. Petrol.*, 39: 1167-1173.
- Palomares M. y Arribas, J. (1993): Modern stream sands from compound crystalline sources: Composition and sand generation index. En: *Processes controlling the composition of clastic sediments* (M.J. Johnsson y A. Basu, Eds.). *Geol. Soc. Amer.*, Spec. Paper 284: 313-322.
- Palomares M., Tortosa, A. y Arribas, J. (1990): Caracterización clastométrica de los depósitos detríticos de cabecera de arroyos en el Sistema Central: Influencia de la litología del área fuente. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.* (Sección Geología), 85: 5-21.
- Palomares, M., Fernández, P. y Garzón, G. (1992a): Textura y composición de los depósitos fluviales de la depresión de Valverde de Majano (Segovia) como indicadores de los cambios morfológicos y de red de drenaje. *Estudios Geol.*, 48: 111-121.
- Palomares, M., Garzón, G. y Fernández, P. (1992b). Evolución de la sedimentación fluvial durante el Pleistoceno en la depresión de Valverde del Majano (Segovia). *III Congreso Geológico de España*, Salamanca, Comunicaciones Tomo II: 82-87.
- Pérez González, A. (1979): Terrazas abandonadas por cambios en la primitiva red del sistema fluvial del río Eresma. *I Reunión de Geología de la Cuenca del Duero*. Salamanca. Guía de excursiones. *Inst. Geol. Min. España. Temas Geológico Mineros*, vol. n° 6: 777-780.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. y Siever, R. (1973): *Sand and sandstones*. Springer Verlag, Berlín, 618p.
- Portero, J.M., y del Olmo, P. (1982): Mapa Geológico de España E.1:50.000, Hoja n° 400 (Portillo). Memoria explicativa por del Olmo, P. *Inst. Geol. Min. España*, 68p.
- Portero, J.M., Carreras, F., Olivé, A. y del Olmo, P. (1982): Mapa Geológico de España E.1:50.000, Hoja n° 428 (Olmedo). Memoria explicativa por Portero, J.M. *Inst. Geol. Min. España*, 56p.
- Tortosa, A., Palomares, M. y Arribas, J. (1991): Quartz grain types in Holocene deposits from the Spanish Central System: Some problems in provenance analysis. En: *Developments in sedimentary provenance studies* (A.C. Morton, S.P. Todd y P.D.W. Haughton, Eds.), *Geol. Soc. London*, Spec. Publ., 57: 47-54.
- Whetten, J.T., Kelley, J.C. y Hanson, L.G. (1969): Characteristics of Columbia River sediment and sediment transport. *Jour. Sed. Petrol.*, 39: 1149-1166.

Manuscrito recibido el 4 de Diciembre de 1996

Aceptado el manuscrito revisado el 19 de Mayo de 1997