

## **PROCESOS FLUVIALES Y SEDIMENTACIÓN ACTUAL EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO TAJO**

POR

**M. J. GONZÁLEZ AMUCHÁSTEGUI**

### *El valle del río Tajo*

El río Tajo en su cuenca alta se caracteriza por dos elementos: presenta un valle muy encajado que tan sólo se ensancha en algunos parajes, al atravesar materiales de naturaleza menos competente, y un perfil longitudinal extremadamente tendido. Su trazado entre la desembocadura del río Cabrillas y Huertapelayo al SW de Molina de Aragón, está determinado fundamentalmente por las principales líneas tectónicas. Se pueden diferenciar dos tramos:

Un primer tramo de dirección NNW-SSE entre las desembocaduras del río Cabrillas y del arroyo de Valdenarros; en él, el Tajo bordea las grandes muelas cretácicas y aprovecha una línea de intenso plegamiento en la que predominan algunas estructuras volcadas. Las aguas circulan por una estrecha franja que contrasta con las amplias zonas culminantes de las muelas en las que abundan las superficies suaves subhorizontales y en las que se instalan un conjunto de morfologías kársticas (figura 1).

M. J. González Amuchástegui. Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid.

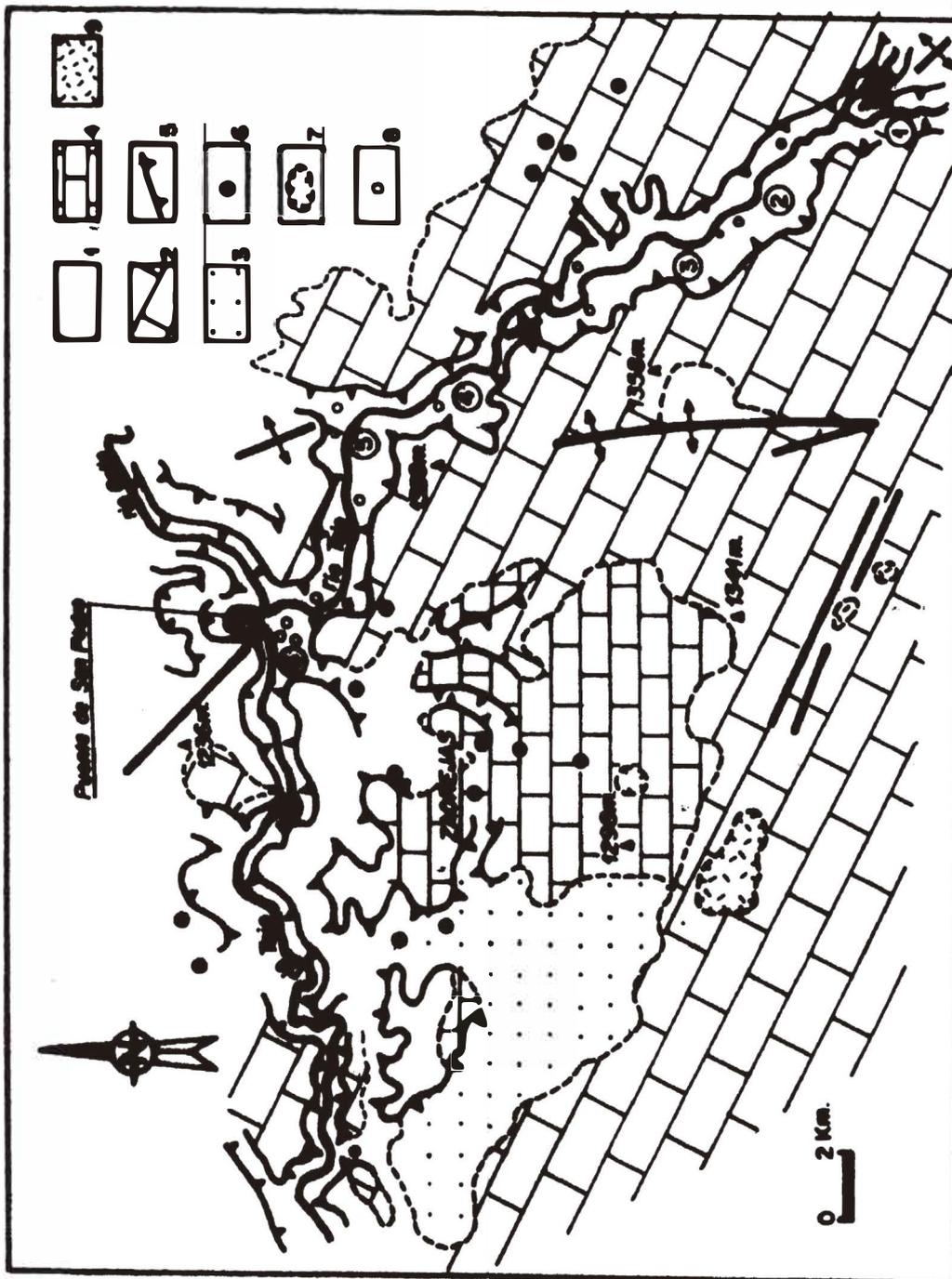


FIGURA 1.—Esquema geomorfológico del Alto Tajo y localización de los depósitos fluviales actuales.  
 1: Calizas y dolomías (Jurásico-Turonense).—2: Calizas y dolomías (Senonense).—3: Conglomerados y arcillas (Terciario inferior).—4: Calizas (Terciario).—5: Grandes escarpes.—6: Surgencias de agua.—7: Depresiones kársticas. 8. Depósitos tobáceos.—9. Arcillas de decalcificación.

En este sector, el Tajo constituye el eje hidrológico principal, por no decir el único, y presenta un trazado de adaptación a la estructura con baja relación de sinuosidad, 1'44 (cuadro I), sin llegar al mínimo de 2'5 establecido para su calificación de meandriforme (Chorley y Schumm, 1984). El tipo de materiales geológicos que componen este primer tramo son las calizas, dolomías y margas del Cretácico superior que dan en las laderas cantiles verticales y de acusado desnivel allí donde afloran las espesas dolomías y calizas dolomíticas del Senoniense y más suaves en los puntos donde asoman las margas, a modo de pequeños taludes intercalados entre tramos más verticalizados. La profundidad del cañón supera en la mayor parte de su trazado los 200 m., llegando en muchos puntos a alcanzar más de 300 m.

CUADRO I  
SINUOSIDAD DEL CAUCE DEL TAJO

<i>RÍO TAJO</i>	<i>Long. real</i>	<i>Long. recta</i>	<i>Relación sinuosidad</i>
Tramo I	15'15 Km.	10'55 Km.	1'44
Tramo II	21'85 Km.	14'4 Km.	1'52

El único afluente importante que recibe el Tajo en este tramo es el río Cabrillas que llega por su margen derecha después de haber modelado un profundo cañón de características similares en su desembocadura al del Tajo. El resto de la red hidrográfica presenta una escasísima organización y desarrollo, constituida por pequeños arroyos y barrancos que apenas muerden las laderas del cañón, tratándose además por lo general de arroyos que tan sólo llevan agua estacionalmente, pero cuya labor erosiva es importante (Barranco de Despeñaborricos, arroyo del Horno Ciego, etc.) debido al gran desnivel que deben salvar desde su nacimiento en las zonas altas de las muelas y su desembocadura en el fondo del cañón. En muchos casos, estos arroyos se forman al pie de surgencias kársticas y presentan edificios tobáceos de ladera en sus desembocaduras.

En el segundo tramo, a partir del arroyo de Valdenarros, proximidades de Puente San Pedro y hasta el sector de Huertapelayo, el Tajo cambia bruscamente de dirección al penetrar en terrenos jurásicos muy tectonizados

en los que permanece hasta unos 2 Km. después de la confluencia del río Gallo para ir alternando posteriormente entre terrenos cretácicos y jurásicos (figura 1). En un principio el cañón se hace algo más abierto, siendo sus características similares hasta el Puente San Pedro; después el cañón se estrecha haciéndose casi inaccesible hasta las proximidades de Huertapelayo, donde debido al afloramiento de los materiales del Albiense en facies Utrillas, el valle se amplía ligeramente.

El cañón en esta zona tiene una clara componente estructural, si bien aquí la enorme complejidad tectónica —interferencia de líneas de plegamiento y fracturación—, otorgan una apariencia caótica al valle. Los materiales continúan siendo calizos y dolomíticos, con desniveles mayores que llegan incluso a los 400 m. de diferencia entre las cornisas y el fondo del valle (sector de El Quemado en Zaorejas o El Cerrillo Labrado, en las proximidades de La Buenafuente del Sistol) y un valle muy estrecho. Su trazado presenta el índice de sinuosidad más alto de toda la zona (1'52) y en él aparecen estrechos meandros como el originado inmediatamente aguas arriba del Puente San Pedro.

En este tramo, el Tajo recibe el mayor afluente de toda la zona, el río Gallo, cuyos aportes aumentan de manera importante el caudal del Tajo. Además de este río, también desembocan en este sector algunos arroyos de relativa importancia.

### *El régimen fluvial*

Dos son los elementos que influyen de modo decisivo en el régimen fluvial del río Tajo, el clima y el roquedo. Efectivamente, la distribución de las precipitaciones a lo largo del año en sus distintas modalidades determina la presencia de épocas de aguas altas y bajas y de crecidas y estiajes. Por otro lado, el dominio casi absoluto de los roquedos calizos en este sector de la cuenca alta del Tajo y la existencia de un modelado kárstico inciden en el régimen de los caudales al moderar las crecidas y estiajes dada la gran regularidad que introduce este sistema.

El conocimiento del régimen fluvial del río Tajo en su cuenca alta se ve dificultada por la inexistencia de estaciones de aforo en nuestra zona. Las dos más próximas se sitúan en Peralejos de las Truchas, esto es en un punto en el que las aguas del río no han penetrado todavía en el área que

aquí nos interesa, y una segunda en Trillo, ya algo alejada aguas abajo. Aun así se han seleccionado los datos de las dos estaciones para el período 1945/46-1969/70 con el fin de analizar la evolución de los caudales medios a lo largo del año (figura 2).

Entre los elementos del régimen fluvial de este río, destacamos en primer lugar el caudal absoluto referido al período señalado, siendo en Peralejos de 5'39 m<sup>3</sup>/seg., frente a los 22'9 m<sup>3</sup>/seg. de caudal medio anual del Tajo en Trillo. En cuanto a los caudales máximos y mínimos en cada una de las estaciones, en Peralejos el Tajo presenta un valor medio anual de caudal máximo de 77'9 m<sup>3</sup>/seg., frente a un valor mínimo de 0'124 m<sup>3</sup>/seg. En el caso de Trillo, estos valores son de 229 m<sup>3</sup>/seg. y de 2'36 m<sup>3</sup>/seg., respectivamente.

Un dato interesante que permite la comparación del comportamiento hidrológico del Tajo a lo largo de su cuenca es el caudal relativo, en el que se combina la superficie de la cuenca drenada y el caudal absoluto. Entre los dos puntos en los que tenemos datos hay una diferencia importante, ya que mientras en la parte alta de la cuenca el Tajo presenta un caudal relativo de 13'1 l/Km<sup>2</sup>/seg., en Trillo éste desciende hasta 7'04 l/Km<sup>2</sup>/seg., lo que indica un descenso paulatino desde las partes altas a las medias de la cuenca y que se trata de un río bastante caudaloso, de hecho había sido definido como el que presentaba un mayor caudal relativo de los grandes ríos atlánticos españoles (Masachs, 1948); por otro lado el importante caudal de esta estación de cabecera hay que relacionarlo sin duda con la abundante presencia de fuentes, algunos afluentes, unas precipitaciones importantes y la inexistencia de pérdidas en el caudal como consecuencia de que sus aguas no son objeto de aprovechamientos intensos al no haber atravesado todavía ningún núcleo de población importante.

CUADRO II  
RÍO TAJO. ESTACIÓN PERALEJOS DE LAS TRUCHAS. PERÍODO: 1945-1970

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Caudal máx. diario (m <sup>3</sup> /seg.)	149	173	216	57	57	28	5	4	17	39	106	85
Caudal mín. diario (m <sup>3</sup> /seg.)	0'55	0'55	0'05	0'05	0'05	0'05	0'05	0'03	0'01	0'02	0'03	0'05

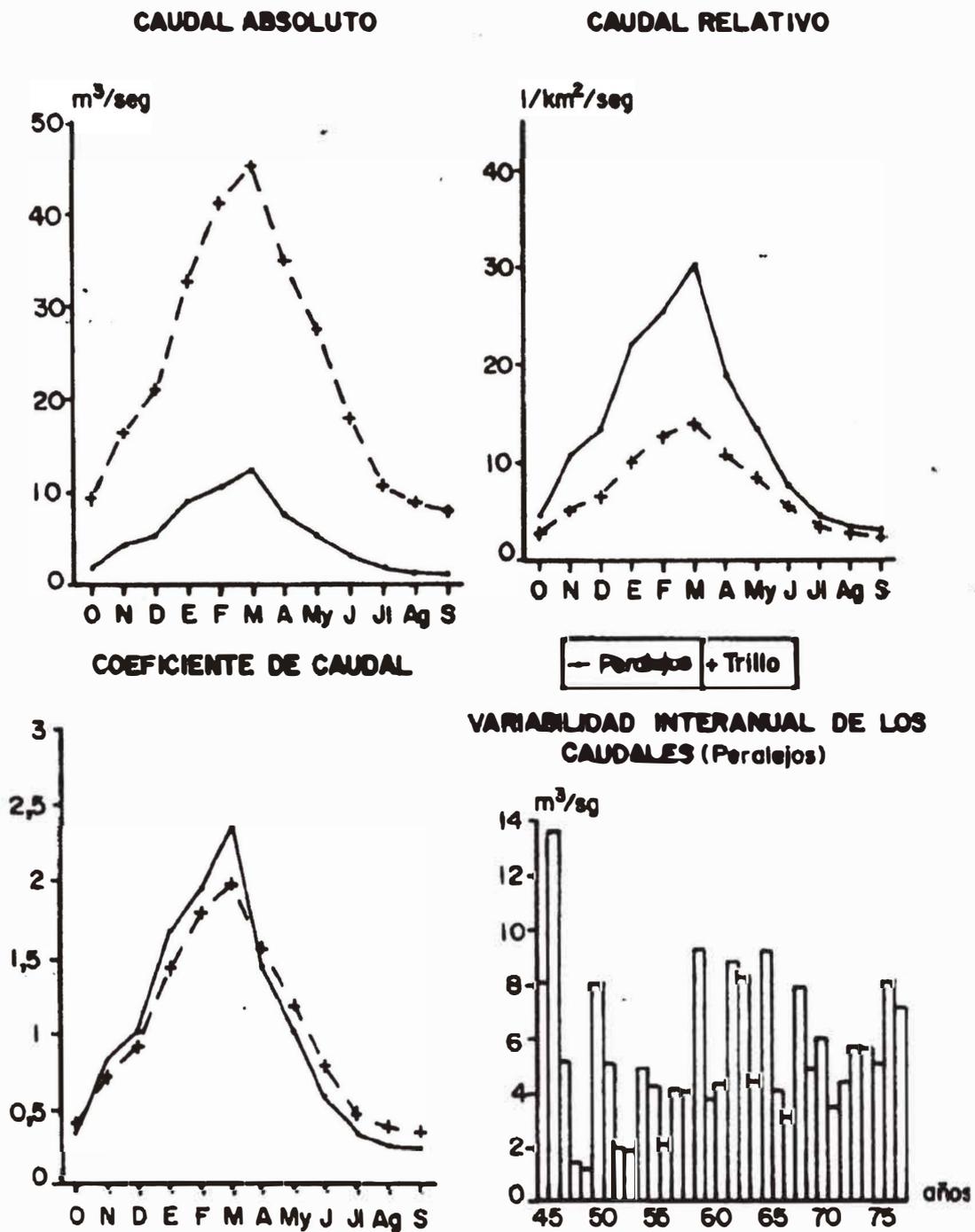


FIGURA 2.—Características hidrológicas del río Tajo (período 1945-46-1969/70)

En el cuadro II se exponen los datos referentes a las crecidas y estiajes. Cabe señalar el máximo alcanzado en el mes de marzo ( $216 \text{ m}^3/\text{seg.}$ ), lo que supone 40'1 veces su caudal medio anual. Las aguas más bajas como resulta obvio se registran principalmente en los meses estivales y más concretamente al finalizar el verano, durante el mes de septiembre. Son más frecuentes e importantes las crecidas y estiajes registradas por el Tajo en su cuenca baja que en su cabecera, sin embargo puede destacarse la ocurrida en enero de 1941 cuando la crecida hizo que las aguas saltasen por encima de la presa de Bolarque, donde se registró un caudal máximo de  $2.500 \text{ m}^3/\text{seg.}$  y en Alcántara alcanzó los 29 m. de altura (Terán, 1952).

A partir de los caudales medios mensuales y anuales hemos procedido a calcular el coeficiente de caudal del Tajo con el fin de establecer la curva de variación estacional del caudal del río, lo que arrojará luz sobre su régimen (figura 2). En ésta se aprecia cómo el módulo anual ( $5'39 \text{ m}^3/\text{seg.}$ ) es rebasado durante el período que se extiende de diciembre a mayo, alcanzando un pico muy acusado en marzo en el que el caudal duplica el módulo (2'3 de coeficiente), mientras que de junio a noviembre, este módulo no es alcanzado por ninguno de los meses, situándose el mínimo entre agosto y septiembre. Lo mismo ocurre en la estación de Trillo, aunque en este caso el módulo anual ( $22'9 \text{ m}^3/\text{seg.}$ ) no llega a superarse hasta enero.

A partir de esta curva puede deducirse una cierta influencia de tipo nival en esta parte de la cuenca alta del Tajo que quedaría reflejada en el máximo pronunciado de marzo, en el que además del deshielo influirían también las precipitaciones. Ello ha llevado a considerar que el Tajo en esta zona presentaba un régimen pluvionival (Lautensach, 1967) al igual que el resto de los colectores de esta zona como el Júcar, el Guadalaviar (Sánchez Fabre y otros, 1986), aunque con una influencia nival muy matizada. Por otro lado, existe un período relativamente largo de aguas bajas que alcanza su mínimos entre los meses de julio y septiembre y más intensamente en los dos últimos meses; llama la atención en este sentido el «retraso» que puede percibirse en relación a la sequía estival referida a las precipitaciones, lo cual también se halla en relación con la dinámica kárstica imperante en la zona.

En la figura 2 se describe la evolución de los caudales absolutos y relativos y en ella se constata la gran similitud del régimen existente entre

las aguas del Tajo en los dos puntos de su cuenca y la mayor caudalosis del río en su cuenca alta al tener en cuenta los caudales relativos.

La irregularidad interanual de las aguas del Tajo se analiza en la figura 3, en la que aparecen los caudales medios anuales para el período comprendido entre octubre de 1947 y septiembre de 1970. El caudal medio anual máximo fue de 13'59 m<sup>3</sup>/seg., alcanzado en el año hidráulico 1946/47, y el mínimo fue de 1'19 m<sup>3</sup>/seg. del año 1949/50, por lo tanto el Tajo presenta una elevada irregularidad interanual: 11'4.

### *Caracterización de los depósitos aluviales actuales*

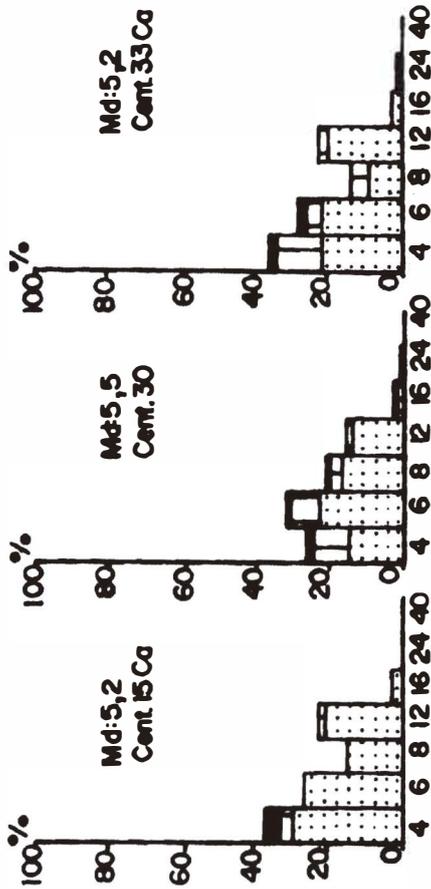
El gran encajamiento del Tajo en este sector impide materialmente la presencia de depósitos aluviales, dada la inexistencia de espacio físico para un lecho detrítico bien desarrollado. Éste tan sólo se halla representado puntualmente en los pequeños ensanchamientos que presenta el Tajo; es en estos parajes donde se han cartografiado los depósitos y se han realizado los distintos análisis aquí expuestos (figuras 3, 4 y 5).

Se ha llevado a cabo un muestreo de los depósitos ubicados en su cauce con toma de muestras a lo largo de su perfil, desde las proximidades del estrecho del Hornillo hasta la localidad de Valtablado del Río con el fin de realizar una aproximación a la caracterización de la dinámica actual del Tajo. Para ello se han seleccionado un total de siete estaciones alineadas en el sentido de la corriente (cuadro III) separadas por una distancia aproximada de 4 Km.

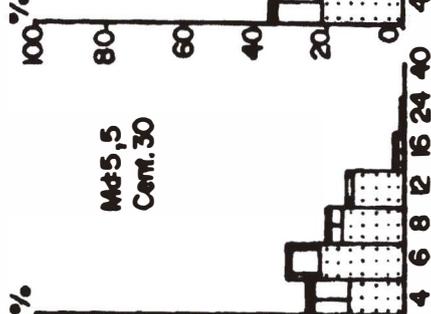
Asimismo, se ha realizado el análisis sedimentológico de cada una de las muestras incluyendo el estudio granulométrico realizado con el fin de obtener información sobre la competencia del río Tajo en este sector, la composición litológica, constituida esencialmente por tres grupos litológicos, calizas, cuarcitas y cuarzos, y su morfometría, es decir, índice de desgaste, aplanamiento y asimetría, cuya evolución en el caso de los dos primeros queda representada en sus correspondientes histogramas.

El primer hecho que destaca a la vista de los resultados es que no se observa una gran clasificación nítida de los materiales gruesos desde el curso alto hacia las zonas bajas; efectivamente, mientras la muestra número 1 correspondiente al río Tajo a su paso por el estrecho del Hornillo, señala que nos hallamos ante un río de competencia media (los tamaños

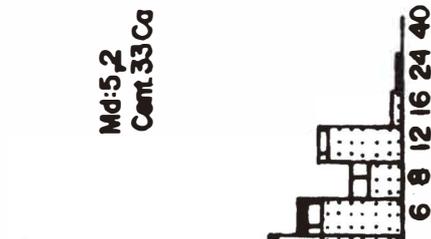
PROX. ESTRECHO DEL HORNILLO Est.1



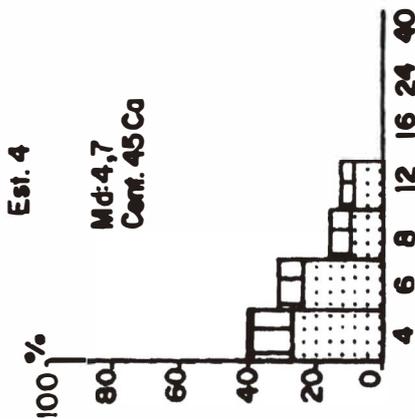
SECTOR RIO CABRILLAS Est.2



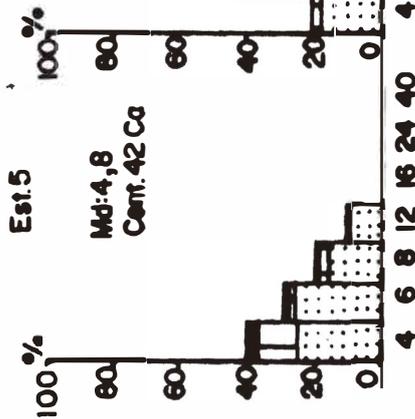
SECTOR LAS TRES FUENTES Est.3



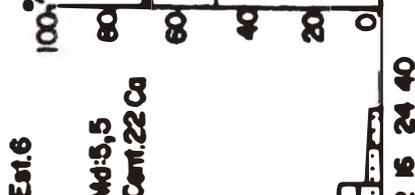
SECTOR LAS PEDRIZAS Est. 4



SECTOR VALDENARROS Est.5



SECTOR A° CAMPILLO Est.6



SECTOR MUERTAPELAYO Est.7



FIGURA 3.—Evolución de los valores granulométricos en los aluviones actuales del río Tajo y composición litológica

no superan los 16 cm.), con un máximo principal poco destacado en el intervalo de tamaños 2-4 cm. y uno secundario en el 8-12 cm. y mediana de 5'2 cm. (figura 3), el resto de los depósitos van variando la situación de sus máximos entre los intervalos 2-4 cm. y 4-6 cm., según el tramo del río en el que nos encontremos. Algo muy parecido ocurre con los valores de la mediana que oscilan entre los 3'5 cm. de la muestra número 7, hasta los 5'5 cm. de las muestras números 2 y 6, sin que pueda hablarse de la existencia de una tendencia desde los tramos superiores del curso del Tajo hacia los bajos; así, frente a la mediana 5'2 cm. del depósito número 1, su valor va variando del siguiente modo hacia aguas abajo: 5'5 (número 2, sector del río Cabrillas), desciende a 5'2 en la zona de las Tres Fuentes (número 3), sigue descendiendo hasta 4'7 en el área de Las Pedrizas (número 4), manteniendo un valor muy próximo en el sector de la Umbría de Valdenarros (número 5), para volver a subir hasta 5'5 cm. en las proximidades de la desembocadura del arroyo Campillo, y descender bruscamente hasta 3'3 cm. aguas abajo en el área de Huertapelayo; en este punto la distribución granulométrica de la muestra señala una muy buena clasificación del material, reflejando la dinámica de un río de muy poca competencia con una distribución unimodal muy marcada y el máximo situado en el intervalo de cantos pequeños (2-4 cm.).

Toda esta evolución de los valores granulométricos sugiere una dinámica muy afectada por la llegada de material transportado por los tributarios del Tajo que ofrecen una modalidad de arrastre más próxima a la torrencial que a la fluvial, al tratarse en la mayor parte de los casos de arroyos con un perfil longitudinal de pendiente acentuada, contrariamente a lo que ocurre en el Tajo, cuyo perfil, como ya se dijo, es extremadamente tendido en esta zona. De este modo, se registra un nítido desequilibrio energético que conlleva al abandono de estos aportes laterales que se acumulan en el fondo del valle del Tajo; una vez que estos sedimentos gruesos se han detenido, el reinicio de su movilización es mucho más difícil, ya que se han depositado en puntos del cauce donde la pendiente y velocidad de las aguas son mucho más bajas y se encuentran por tanto por debajo del umbral necesario para reiniciar su marcha. Este hecho tiene dos claras consecuencias: una primera es que la presencia de bloques grandes caídos por la acción gravitatoria desde las paredes del valle, favorece la deposición de gravas que ven obstaculizada su marcha; y la segunda sirve de explicación a la aparición de cantos de mayor tamaño del esperado, rompiendo así la tendencia evolutiva lógica (García-Ruiz et al,

1987). Por otro lado, esta diferencia en la carga entre ambos ríos se traduce en una acreción del cauce, es decir, en una ampliación del lecho mayor del río.

Este hecho queda especialmente patente en el depósito número 3, situado muy próximo a la desembocadura de un torrente, que presenta una peor clasificación del material como puede apreciarse en un histograma granulométrico (figura 3) de características bimodales, con un máximo más acentuado en el umbral 2-4 cm. y otro segundo en el 8-12 cm., ubicándose en un punto en el que el cauce presenta una mayor anchura.

En cuanto a la evolución de los valores de los centilos, ésta viene a consolidar la idea expuesta. No puede hablarse de una evolución paulatina sino más bien de unos valores que reflejan la contaminación de los aportes laterales traídos por los emisarios del Tajo (valores en el sentido de la corriente: 15 cm., 30 cm., 33 cm., 45 cm., 42 cm., 22 cm., 9'5 cm.).

Por otro lado, no hay que olvidar la posible llegada de material procedente de las laderas; éstas se encuentran regularizadas por importantes masas coluvionares parcialmente recubiertas por la vegetación. Predominan en ellas los fenómenos de arroyada y sobre todo la presencia de barrancos que recogen las aguas de infiltración y vierten tras salvar importantes desniveles en el Tajo; son éstos los responsables fundamentales de las principales anomalías encontradas en la carga aluvial del Tajo.

El estudio de la *composición litológica* (figura 3) señala la presencia de tres grupos fundamentales desigualmente representados: las calizas, las cuarcitas y los cuarzos. En primer lugar por su abundancia se sitúa el grupo de las calizas con un claro predominio —no desciende nunca por debajo del 67 % del total de la muestra, siendo el máximo de 93 %—; en segundo lugar, el grupo de las cuarcitas que oscilan entre un 4 y un 29 %, y, por último, los cuarzos, cuya presencia es más irregular y escasa (entre un 1 y un 5 % del total de la muestra). También hay que señalar la presencia de un último grupo litológico que aparece en la muestra número 2 y constituido por fragmentos carbonáticos procedentes de la destrucción de edificios tobáceos ubicados aguas arriba, aunque su proporción es escasa, su existencia resulta interesante.

La presencia de cuarcitas y cuarzos en cantidades importantes en el lecho del Tajo muestra procedencias diferentes, así en el caso de la muestra número 1, el origen de estos materiales se halla en los bancos de

la Formación Utrillas, de edad Albiense, atravesados tanto por el Tajo como por sus tributarios. En otros casos, este material procede de los conglomerados triásicos en facies Buntsandstein, de los conglomerados terciarios, así como de pequeños depósitos aluviales más antiguos que puntualmente salpican los márgenes del Tajo o sobre los que se montan algunas de las formaciones tobáceas (sector Valdeñarros).

Puede apreciarse una cierta regularidad en la composición litológica de los depósitos, no sólo referida a las variedades, lo cual es obvio, sino también a las proporciones de cada uno de los elementos (cuadro III), pudiendo hablarse, no sin cierta cautela, de un paulatino empobrecimiento en elementos calizos desde el depósito número 1 (93 % de calizas), situado en la parte más alta del curso del Tajo aquí analizado, hasta la zona de Huertapelayo, en la que el porcentaje de calizas desciende hasta el 67 %. Este hecho es bastante lógico, ya que a medida que el Tajo avanza se efectúa un fenómeno de sustitución de carga en el que su cauce va recogiendo las aguas de tributarios cada vez más importantes que han atravesado amplias zonas labradas sobre los conglomerados triásicos y terciarios (río Gallo, arroyos de la margen derecha del río Tajo, etc.).

En relación con la granulometría y la composición litológica de los depósitos, hay que señalar que por lo general se trata de un material retomado y por tanto ya rodado y desgastado en la mayoría de los casos a la vista de las áreas madre de las que procede. Por lo tanto, los depósitos actuales del Tajo están determinados por la llegada de los arroyos laterales que suelen depositar su carga en zonas muy próximas al lugar de su desembocadura, lugares donde el Tajo, que por todo este sector va profundamente encajado, ensancha su cauce o en las zonas internas de los meandros (depósitos aluviales de «point-bar»).

El estudio morfométrico de estos depósitos arroja igualmente una serie de datos interesantes a la hora de caracterizar la dinámica actual del Tajo. El índice de desgaste (figura 4) estudiado sobre los elementos calizos, presenta en todos los casos valores de mediana superiores a los 250, situándose entre 250 y 289, lo que indica que nos hallamos ante un medio fluvial dotado de una cierta energía, siendo asimismo muy importante el porcentaje de cantos con un índice de desgaste superior a 250, valor representativo de una dinámica fluvial intensa (cuadro III). Si bien estos datos apuntan hacia la idea de una dinámica más o menos violenta, ésta debería reflejarse asimismo en la evolución progresiva de los valores del

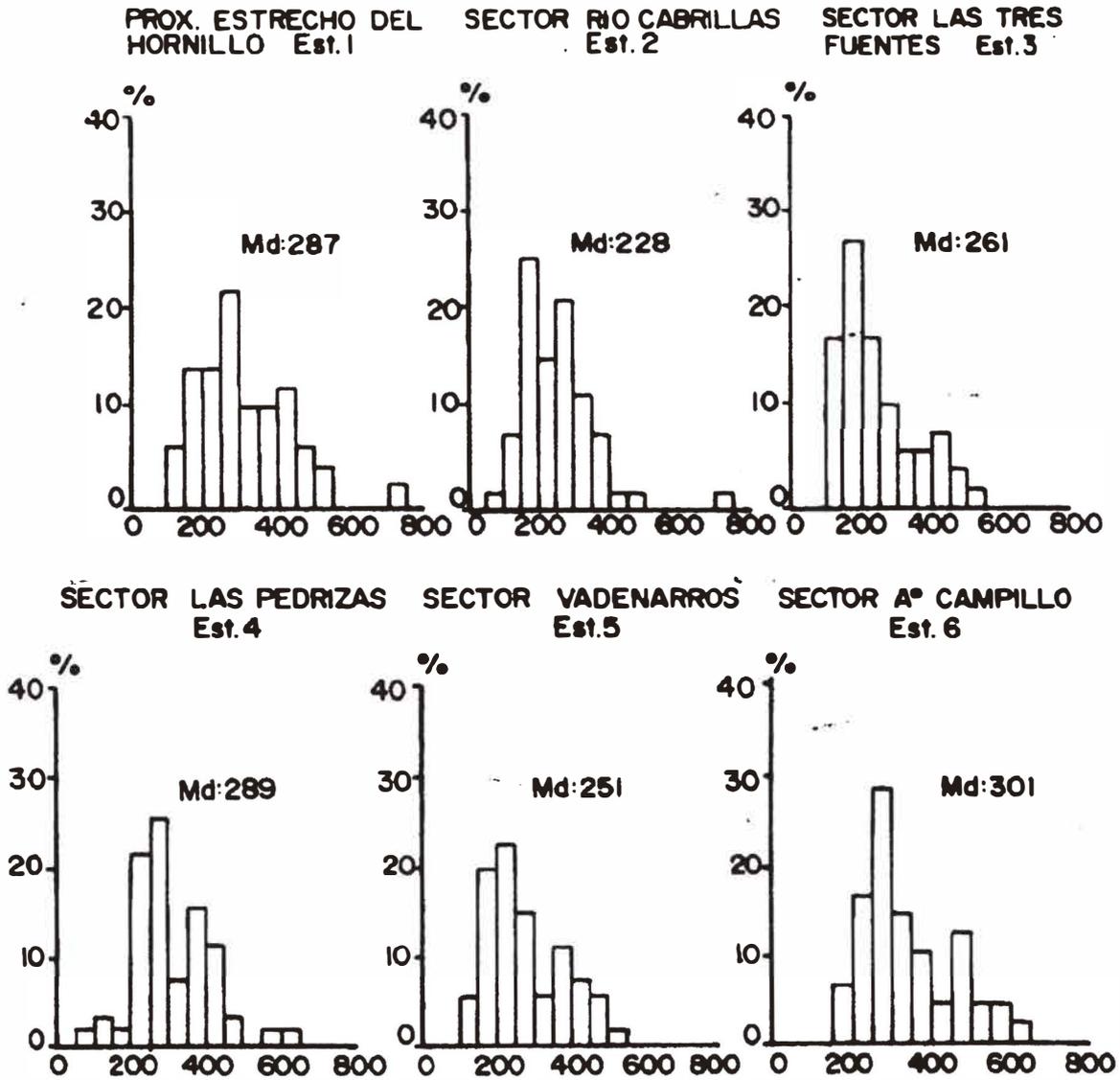


FIGURA 4.—Evolución de los valores de desgaste en los aluviones actuales del río Tago

índice desde las partes más altas del cauce hacia aguas abajo; sin embargo, esta tendencia no se cumple, ya que los valores de la mediana evolucionan desde aguas arriba hacia abajo del siguiente modo: 287 - 228 - 261 - 289 - 251 - 301, lo que obliga a desechar la idea de que es la dinámica de las aguas del Tajo la única responsable del desgaste del material que se encuentra en su lecho. Se trata más bien de unos valores netamente influidos de nuevo por los aportes laterales procedentes de los arroyos emisarios y por tanto de un material que refleja una dinámica originada bajo otras condiciones más violentas y depositado posteriormente en el Tajo; son, por tanto, valores heredados.

Los resultados obtenidos a partir del estudio del índice de aplanamiento (figura 5) son más bien modestos —las medianas se sitúan entre 1'99 y 2'39—, reflejando una dinámica de tipo fluvial en la que los cantos se caracterizan por su aspecto esferoidal. En este sentido hay que tener en cuenta la litología sobre la que se ha estudiado la morfometría; al tratarse de calizas mesozoicas, su forma de fragmentación favorece de modo natural la aparición de medianas de aplanamiento ligeramente altas para el tipo de medio sedimentológico en el que se ha depositado. Este mismo factor se refleja en el elevado porcentaje de cantos con un IA superior a 2.50 (entre el 22 % y 78 % de la muestra). Tampoco puede establecerse una secuencia evolutiva lógica de los valores de este índice, ya que no presentan una tendencia longitudinal clara al tratarse de depósitos rotundamente influidos por los aportes procedentes de los tributarios laterales. Además, por otro lado, la relevancia de este índice en este tipo de estudios fue discutida con anterioridad (Tricart, 1961), ya que no representa tendencias bien organizadas desde las partes altas del curso del río hacia las bajas.

Finalmente, en cuanto al estudio del índice de disimetría, hay que señalar que aunque todos los depósitos quedan englobados dentro del grupo de las acumulaciones fluviales, los altos valores de las medianas de algunos de ellos (depósitos 2, 4 y 5 con 631, 626 y 601 de valor de mediana, respectivamente) se aproximan más a la caracterización de los depósitos torrenciales. Ello debe relacionarse de nuevo con los aportes procedentes de los arroyos laterales, así como con la existencia de cantos rotos por fenómenos de torrencialidad, este grupo de clastos llega a representar una cantidad importante en algunos de los depósitos, como en el de las Tres Fuentes, donde llegan a suponer un 14 % del total.

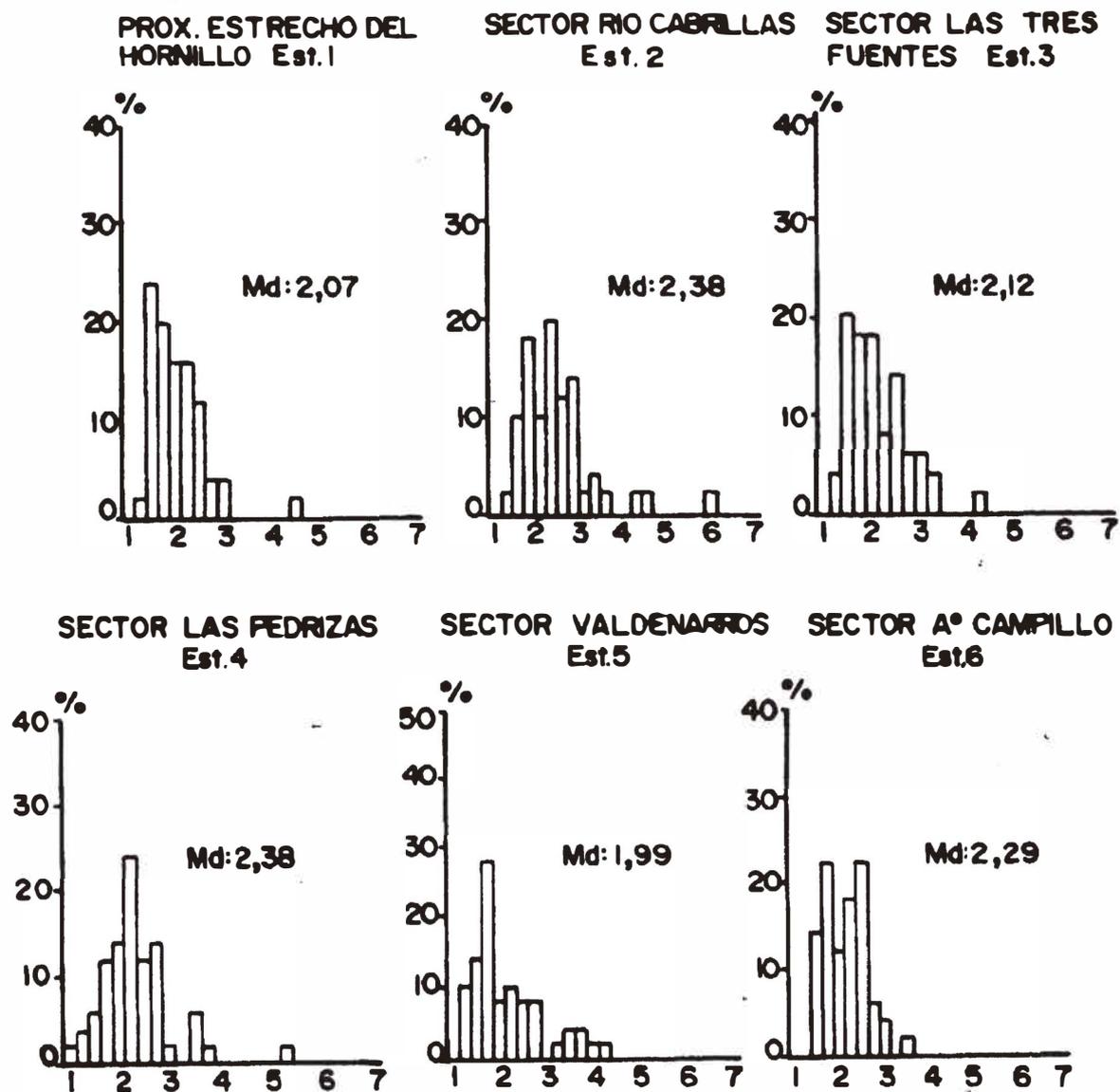


FIGURA 5.—Evolución de los valores de aplanamiento en los aluviones actuales del río Tajo

CUADRO III  
**CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS Y MORFOMÉTRICAS DE LOS  
 DEPOSITOS ACTUALES DEL RIO TAJO**

D. (cm.)	Nº 1. Prox. Estrecho del Hornillo				Nº 2. Sector Rio Cabilillas				Nº 3. Las Tres Fuentes				Nº 4. Las Pedrisas				
	Ø	Ca	Cu	O	Ø	Ca	Cu	O	Tuba	Ø	Ca	Cu	O	Ø	Ca	Cu	O
2-4	35	30	2	3	27	15	10	2		35	21	12	2	48	27	12	1
4-6	26	26			32	23	8		1	27	21	4	2	31	24	7	
6-8	14	14			21	17	3		1	13	8	5		16	18	6	
8-12	22	20	2		16	14	2			22	19	3		13	9	4	
12-16	3	2		1	3	2			1	2	2						
16-24					1				1	1	1						
Ø	100	93	4	3	100	71	23	2	4	100	72	24	4	100	70	29	1
MD	5,2				5,5					5,2				4,7			
CANTIDAD	15				30					33				45			
MD ID	287				228					261				289			
Ø<100	0				2					0				2			
Ø>250	66				48					54				70			
MAX	250-300				150-200					200-250				200-300			
MDIA	2.07				2.38					2.12				2.38			
Ø<1.50	1				2					4				6			
Ø>2.50	22				40					32				38			
MAX	1.50-1.75				2.25-2.50					1.50-2.25				2.25-2.50			
MDIDI	566				631					588				626			
					88 de cantos rotos					148 de cantos rotos							

CUADRO III (CONTINUACIÓN)  
 CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS Y MORFOMÉTRICAS DE LOS  
 DEPÓSITOS ACTUALES DEL RÍO TAJO

D. (cm.)	Nº 5. Sector Valdebarros				Nº 6. Sector Aº Campillo				Nº 7. Sector Ruertapelayo			
	%	Ca	Cu	Q	%	Ca	Cu	Q	%	Ca	Cu	Q
2-4	40	25	12	3	20	17	3		67	67	18	2
4-6	29	26	2	1	43	35	6	2	23	21	2	
6-8	20	16	3	1	18	16	1	1	8	8		
8-12	11	10	1		12	6	6		2	2		
12-16					4	4						
16-24					3	3						
Ø	100	77	18	5	100	77	18	5	100	67	20	2
MD	4.8				5.5				3.3			
CENILO	42				22				9.9			
MD ID	291				301							
% < 100	0				0							
% > 250	50				78							
MAX	200-250				250-300							
MDIA	1.99				2.29							
% < 1.50	10				0							
% > 2.50	30				34							
MAX	1.75-2.00				1.75-2.75							
MDIDI	601				501							
					Algunos cantos rotos							

*Características físico-químicas de las aguas del Tajo: Los arrastres en solución y la precipitación actual de carbonatos*

Hay que hacer una referencia a otro tipo de sedimentación que se está produciendo en el presente en el valle del río Tajo; nos referimos a la precipitación actual de carbonatos que se da tanto en las pequeñas microrrupturas de pendiente a partir de las cuales se produce la oxigenación de las aguas, lo que provoca la precipitación del carbonato que marcha disuelto en las aguas, como en zonas de remanso de las aguas. Así, para caracterizar mejor estos depósitos, hemos estudiado primero las características físico-químicas de las aguas del Tajo y después las pequeñas acumulaciones.

*Características físico-químicas de las aguas del Tajo.*—Se han realizado una serie de análisis de las aguas del Tajo en dos puntos de su curso, en el campamento Fuente de la Teja y en el Puente San Pedro, inmediatamente aguas arriba de la desembocadura del río Gallo. La temperatura, la conductividad y el valor del pH de las aguas se han obtenido «in situ», mientras que el resto de los análisis se han realizado en el Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid.<sup>1</sup> Las principales características de las aguas se resumen en el siguiente cuadro y en los diagramas de Piper-Hill-Langelier.

Como puede apreciarse en las tablas, las variaciones de temperatura de las aguas a lo largo del año son importantes como consecuencia del régimen fluvial de éstas, siendo sus valores claramente dependientes de la época del año en la que se midan.

Los valores del pH de las aguas se sitúan siempre por encima de 7, lo que indica su carácter básico acorde con el tipo de materiales dominantes en la zona y con las características de los aportes de las surgencias que recibe el río. La conductividad presenta valores muy variables a lo largo del año, oscilando entre los 277 y los 1.150  $\mu\text{mhos/cm}$ . en el caso del Tajo en el Puente San Pedro y entre los 400 y los 990  $\mu\text{mhos/cm}$ . en las proximidades de la Fuente de la Teja. Se trata por tanto de valores

CUADRO IV  
M-9. CAMPAMENTO FUENTE DE LA TEJA. RÍO TAJO

	S/90	O/90	D/90	M/91	J1/91	S/91
<b>Conductividad</b>	960	3900	-	-		
<b>pH</b>	7.68	7.66	-	-	7.86	7.97
<b>Temperatura</b>	18	12.7	-	-	17.5	18

	F/92	M/92	A/92	My/92	J/92
<b>Conductividad</b>	543	666	460	545	990
<b>pH</b>	7.84	7.72	7.68	7.6	7.79
<b>Temperatura</b>	7	11	10.5	16	15.5

<sup>1</sup> Agradezco a la doctora Rosario García Giménez los análisis de aguas.

relativamente altos (no hay ningún registro < 250  $\mu\text{mhos/cm.}$ , cuya evolución está determinada por las características de los aportes de los manantiales kársticos que afloran en el cañón del Tajo; en efecto, las fuertes oscilaciones del contenido iónico de las aguas no es más que la respuesta del río ante la llegada de aguas de fuerte conductividad procedentes de las surgencias kársticas (González Amuchástegui, González Martín y García Giménez, 1994), todo lo cual se encuentra en relación directa con el régimen de las precipitaciones y el entramado kárstico regional.

El diagrama de Piper-Hill-Langelier señala que nos hallamos ante unas aguas de características bicarbonatadas que en algunas tomas se desvían al tipo sulfatado. El análisis de cationes señala una mayor variabilidad dando como resultado unas aguas de tipo cálcico-sódico.

*Los arrastres en solución y la precipitación actual de carbonatos.*—Las pequeñas acumulaciones tobáceas que se están formando en la actualidad en el cauce del río Tajo, se asocian a la presencia de musgos, aunque llama la atención la escasa variedad de éstos. Estas tobas contienen como asociación florística junto a los musgos, abundantes diatomeas. Entre las especies de más abundantes, destacan: *Didymodon tophaceus* (Syn. *Barbula tophacea*), *Ctenidium molluscum*, *Barbula convoluta*, *Cratoneuron commutatum* y *Didymodon gallax* (Syn. *Barbula gallax*).<sup>2</sup>

CUADRO V  
M-12. PUENTE SAN PEDRO. RÍO TAJO

	S/90	O/90	D/90	M/91	J1/91	S/91
<b>Conductividad</b>	-	2500	350	277	-	-
<b>pH</b>	-	7.7	8.17	8.27	-	-
<b>Temperatura</b>	-	12.7	4	9.5	18	17

	F/92	M/92	A/92	My/92	J/92
<b>Conductividad</b>	606	646	440	493	1150
<b>pH</b>	7.69	7.76	7.73	7.76	7.9
<b>Temperatura</b>	6.9	12	10	17	16

<sup>2</sup> Agradezco a Patxi Heras el reconocimiento e identificación de los musgos.

Hemos analizado en detalle las microfacies de algunos de estos depósitos (Ordóñez, García del Cura, González Amuchástegui y González Martín, 1992): Las acumulaciones iniciales de carbonatos tobáceos que lentamente se originan en puntos del cauce del Tajo caracterizados por una *hidrodinámica enérgica*, presentan una estructura compleja, ya que sobre una base de colonias algáceas, oncolitos y clastos de cuarzo y caliza de 1-1'5 mm., con envuelta micrítica, aparece un episodio estromatolítico con colonias arborescentes micríticas con fantasmas de tricomas del orden de 0'075 mm. de grosor y longitud total del orden de 1 mm., dando megaestructuras festoneadas y sobre ellas colonias en abanico (tipo Rivularia) sobre las que se sitúa la toba de musgo propiamente dicha; ésta es texturalmente compleja, con moldes de musgos subparalelos orientados por la dirección de la corriente y sobre los que se desarrollan algas epifitas que dan lugar a estructuras estromatolíticas, fundamentalmente del tipo espongiostromata.

Las estructuras estromatolíticas festoneadas pasan gradualmente a micrita homogénea. La toba de musgo suele presentar una porosidad móldica cilíndrica cuyo diámetro oscila entre 0'07 mm. y 0'1 mm. y suelen contener detríticos inferiores a 0'6 mm., habiéndose detectado mediante DRX (Difracción Rayos X) la presencia de minerales de arcilla. En este depósito se ha identificado la presencia de *Barbula gallax* (Heaw).

En el MEB (Microscopio Electrónico de Barrido) se observa cómo las micritas tienen un predominio de morfologías cristalinas laminares que se ponen de manifiesto, no sólo en las acumulaciones micríticas, sino incluso en las incrustaciones de restos vegetales en las que los cristales son más anhedrales que en los carbonatos de cascada.

Sin embargo, los depósitos carbonáticos acumulados en los *remansos del río* son estructuralmente heterogéneos con abundantes restos de musgo que no reflejan una orientación preferente. Estos restos presentan cubiertas estromatolíticas laminares y sirven también de base a formas coloniales tipo Rivularia que pueden llegar a constituir niveles discontinuos y que frecuentemente están recubiertas por micrita. Estas tobas de facies micrítica presenta poros circulares en sección transversal, de diámetro 0'75 mm. a 0'1 mm. También contienen zonas constituidas por colonias algáceas arborescentes. En estas calizas tobáceas se encuentran escasos y dispersos granos de cuarzo y de feldespato, detectándose indicios de minerales de arcilla de DRX. En estos depósitos se han identificado *Barbula tophacea* (Brid) y *Bryum s.p.*

### *Consideraciones finales*

El río Tajo en su cuenca alta presenta un régimen muy regular como consecuencia de su inclusión en una zona en la que impera la dinámica kárstica con crecidas y estiaje moderados.

La caracterización sedimentológica de los depósitos aluviales actuales del curso alto del río Tajo no se ajusta al marco de una evolución de éstos a lo largo de su perfil, ni en lo que se refiere a la granulometría, ni a la litología, ni a la morfometría; los datos obtenidos en estas tres categorías no señalan una pauta sino que muestran valores que se distribuyen de un modo aparentemente caótico. Su lógica hay que encontrarla en los aportes laterales procedentes de arroyos y torrentes tributarios que acarrear en condiciones dinámicas generalmente más energéticas material de distinta litología procedente en muchos casos de los conglomerados triásicos y terciarios, tratándose por tanto de un material cuyos valores granulométricos y morfométricos pueden considerarse heredados, ya que responden a dinámicas que acontecieron en otros tiempos; en otros casos, el perfil longitudinal más pronunciado de estos arroyos, provoca la presencia de una torrencialidad moderada que tiene como consecuencia los elevados índices de desgaste y de asimetría y la ruptura de los clastos, así como la presencia de un material de granulometría más elevada que el río principal es incapaz de movilizar.

La importancia de la karstificación se plasma también en la caracterización físico-química de las aguas del Tajo, de tipo bicarbonatado fundamentalmente, y en la existencia de procesos de precipitación de carbonatos; aunque éstos son mucho más modestos que los que se dieron en tiempos pasados, en las zonas de agitación de las aguas se está produciendo este tipo de sedimentación, sobre todo durante los meses de verano. Asimismo, en remansos y zonas cercanas a las orillas se desarrollan pequeñas estructuras tobáceas asociadas a colonias algáceas o vegetales higrofilos. Por lo tanto, se constata la precipitación actual de carbonatos, lo que señala por un lado una buena calidad de las aguas, así como la existencia de unas condiciones ambientales que permiten una formación aunque sea modesta de acumulaciones tobáceas.

BIBLIOGRAFÍA

- CHORLEY, R., & SCHUMM, S. A. (1984): *Geomorphology*, Methuen, London, 605 pp.
- GARCÍA RUIZ, J. M., GÓMEZ VILLAR, A., y ORTIGOSA IZQUIERDO, L. M. (1987): *Aspectos dinámicos de un cauce fluvial en el contexto de su cuenca: el ejemplo del río Oja*, I. Pirenaico de Ecología, I. de Estudios Riojanos, Logroño, 112 pp.
- GONZÁLEZ AMUCHÁSTEGUI, M. J. (1993): *Geomorfología del «Alto Tajo» en el sector de Molina de Aragón*, tesis doctoral inédita, Universidad Autónoma de Madrid, 732 pp.
- GONZÁLEZ AMUCHÁSTEGUI, M. J., GARCÍA GIMÉNEZ, R., y GONZÁLEZ MARTÍN, J. A. (1994): «Naturaleza hidrogeográfica de los conjuntos kársticos en la zona de Molina de Aragón y Alto Tajo a partir del estudio de sus surgencias», *Anales de Geografía*, en prensa.
- LAUTENSACH, H. (1967): *Geografía de España y Portugal*, Ed. Vicens, 814 pp.
- MASACHS ALAVEDRA, V. (1948): *El régimen de los ríos peninsulares*, C.S.I.C., 511 pp.
- ORDÓÑEZ, S., GARCÍA DEL CURA, M. A., GONZÁLEZ AMUCHÁSTEGUI, M. J., y GONZÁLEZ MARTÍN, J. A. (1992): «Génesis actual de carbonatos fluviales en el alto valle del río Tajo (prov. de Guadalajara)», *III Congreso Geológico de España*, tomo I, pp. 158-163, Salamanca, 1992.
- SÁNCHEZ FABRE, M., PEÑA MONNE, J. L., y MOYA MEDINA, C. (1986): «Aportación al conocimiento del régimen fluvial de los ríos Alfambra y Guadalaviar o Turia a su paso por Teruel», *Revista Teruel*, n. 76, pp. 27-49.
- TERÁN, M. (1952): *Geografía de España y Portugal*, V tomos, Ed. Montaner y Simón, Barcelona.
- TRICART, J. (1961): «Observations sur le charriage des matériaux grossiers par les cours d'eau», *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 1, pp. 3-15.

RESUMEN.—En este trabajo se analizan las principales características de la dinámica actual del río Tajo a partir del estudio de su régimen fluvial, del análisis sedimentológico de los componentes de su llanura de inundación, del análisis físico-químico de sus aguas y de las pequeñas acumulaciones tobáceas que aparecen en el cauce.

PALABRAS CLAVE.—Río Tajo. Sedimentación actual. Acumulaciones tobáceas.

ABSTRACT.—Major characteristics of dynamic of Tajo river are analyzed by means of study of its fluvial regime, sedimentologic analysis on its alluvial plain, and analysis hydrologic. We also study the small tuffaceous deposits located in riverbed.

KEY WORDS.—Tajo river. Actual sedimentation. Tuffaceous deposits.

RÉSUMÉ.—On fait l'étude des principaux caractéristiques de la dynamique fluvial du fleuve Tajo à partir de son régime fluvial et de l'analyse sedimentologique de ses dépôts alluviaux. On fait aussi l'analyse physique-chimique de les eaux du Tajo et des tuffs associés au fleuve.

MOTS CLÉ.—Fleuve Tajo. Sedimentation actuel. Tuffs.