

Tasas de erosión, transporte y sedimentación en un medio estuárico: el Río Miñor (Ría de Vigo, Pontevedra)

M. Pérez-Arlucea¹, M.T. Freijido¹, G. Méndez¹, M.A. Nombela¹, B. Rubio¹, M. Filgueira²,
S. Fernández Bastero¹ y R. Giménez³

¹ Departamento de Geociencias Marinas y Ordenación del Territorio. Facultad de Ciencias. Universidad de Vigo. 36200 Vigo. marlucea@uvigo.es.

² Department of Geosciences. University of Nebraska. 214 Bessey Hall. P.O. Box 880340. Lincoln, NE, USA.

³ Departamento de Estratigrafía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid.

ABSTRACT

The Miñor river is one of the 35 minor currents entering the Ría de Vigo (Pontevedra) at Baiona Bay, close to the SE margin of the Ría. The present study was carried out over two periods: from May 97 to July 98 and from May 00 to May 01. In this paper we carry out a hydraulic and sedimentologic approach of the Miñor river, making an estimation of the total fresh-water discharge and sediment input transported as suspended and dissolved loads. The final aim of this study is to calculate erosion rates at the catchment, sediment yield, transport and the nature of the sediments accumulated at the estuarine area. In view of the average discharge for both periods of time (2.7 m³/s y 6.7 m³/s) and the catchment area (75.6 km²) is possible to estimate suspended and dissolved sediment yields. Mean values for suspended sediments are 25.76 t/km²a for 97/98 and 139.74 t/km²a for 00/01 and those for dissolved loads of 109 t/km²a y 204 t/km²a, respectively. Finally, considering an average rock density of 2.7 g/cm³ we can estimate mechanical denudation rates of 9.54 m³/km²a during 97/98 and 51.76 m³/km²a during 00/01. Chemical denudation rates are 40.46 m³/km²a for the first period and 75.56 m³/km²a for the second. Data obtained during 00/01 interval can be considered as maximum values, bearing in mind the very unusually high rainfall conditions.

Key words: Sediment yield, denudation rate, transport rates, sediment load, estuary

INTRODUCCIÓN

El río Miñor es uno de los 35 tributarios de la Ría de Vigo (provincia de Pontevedra), que desemboca en la Bahía de Baiona al SE de la ría. Aparte del río Verdugo, que desagua en la cabecera de la Ría de Vigo, el Miñor es el tributario más grande (junto con el río Lagares) de la red fluvial transversal a la ría. Por este motivo, por presentar una densidad de población y un grado relativamente bajo de antropización y por contener los sedimentos mejor conservados, se seleccionó este río para llevar a cabo un estudio integral abarcando aspectos de hidráulica, geomorfología y sedimentología, con el objetivo final de calcular tasas de erosión, aportes de sedimentos y naturaleza y composición de los depósitos acumulados en la zona estuárica y las marismas situadas próximas a su desembocadura.

Las condiciones climáticas de la zona estudiada corresponden a un ambiente templado-húmedo, con precipitaciones anuales medias de 1.000 mm y temperaturas medias de 18° en el verano y 9,5° en invierno. Los vientos dominantes son del SSW y del NNW.

Los datos previos son escasos. Algunos datos hidrológicos están recogidos en el volumen *As augas de Gali-*

cia publicado por el Consello da Cultura Galega en 1996. La mayor parte de los datos de caudales existentes se basan en cálculos teóricos en referencia a los tamaños y retención de las cuencas de drenaje y datos pluviométricos, aunque también existen datos de medidas directas (Ríos et al., 1992; Alejo, 1994; Pazos et al., en prensa).

METODOLOGÍA

El Río Miñor carece de estaciones de aforo y por tanto el primer paso fue establecer una estación fija, siguiendo el criterio de evitar el influjo de las mareas recogiendo el mayor número posible de tributarios y el flujo máximo. La estación está situada en el puente que cruza el río en la localidad de Mañufe (Fig. 1; estación M5). Para establecer las condiciones hidráulicas y las variaciones en la profundidad y la descarga se midieron semanalmente las etapas durante el periodo de tiempo comprendido entre mayo de 1997 hasta julio de 1998 y posteriormente desde mayo de 2000 hasta mayo de 2001.

Las variaciones en la descarga se establecieron mediante medidas directas de la velocidad del flujo con un correntímetro de hélice y el levantamiento topográfico de la sección del canal. Posteriormente se construyó una cur-

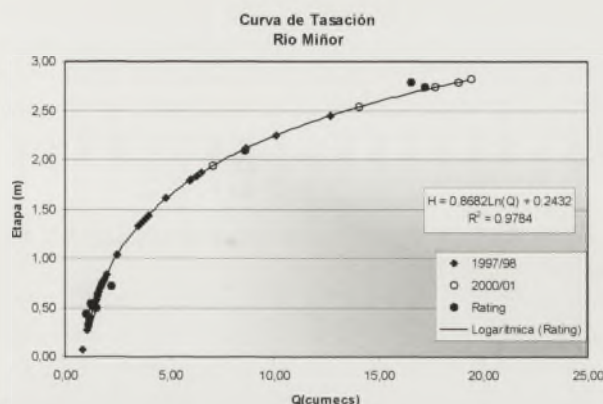


FIGURA 2: Curva de tasación del Río Miñor. Q: descarga, H: Etapa.

asimetría, estando desarrollados preferentemente los tributarios de las márgenes derechas. Los contactos litológicos tienen direcciones principales N-S y no parecen influir decisivamente en la distribución de la red, como ocurre en otras cuencas de Galicia (Pagés, 2000). Algunos de los ríos afluentes al Miñor siguen claramente las direcciones de las fracturas principales. Todo ello sugiere que el control en la distribución de la red fluvial es claramente tectónico. La pendiente media en el tramo bajo del río Miñor es de unos $0,25^\circ$ mientras que en el tramo alto es de $7,6^\circ$. La longitud total del Miñor es de unos 15 km, siguiendo el arroyo Touteiras (Fig. 1) y la del Zamáns de 16,5 km.

La profundidad del río Miñor presenta importantes fluctuaciones a lo largo del año (Pérez Arlucea *et al.* 2001) mostrando una profundidad media de 0,82 m durante el periodo 97/98 y de 1,4 m durante el periodo 00/01. Los valores máximos se produjeron en noviembre y abril y los mínimos en la etapa de estiaje desde julio a septiembre. Mediante la curva de tasación se pudo establecer una relación entre la etapa (H) y la descarga (Q) mediante la siguiente ecuación:

$$Q = e^{(H/0,86) - 0,24}$$

La curva de tasación es muy estable y presenta un índice de correlación muy bueno ($R^2 = 0,98$). Una vez establecidas las variaciones en la descarga se pudieron establecer valores medios para los dos intervalos de tiempo estudiados. Para el periodo 97/98 el río presentó un valor medio de descarga de $2,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, mientras que durante el periodo 00/01 esta cifra fue mucho más alta, alcanzando un valor de $6,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Este cambio en el valor medio de la descarga se debe a un incremento notable, anómalo, del régimen de lluvias durante el periodo más reciente. El valor medio de la descarga establecido para el periodo 97/98 concuerda mejor con los valores medios normales establecidos por otros autores previamente, por ejemplo Fraga (1996) establece un valor medio de $2,17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

APORTES DE PARTÍCULAS SÓLIDAS Y DISUELTAS

Concentraciones

El aporte de partículas sólidas a la Ría de Vigo desde el río Miñor es muy variable, tanto como carga en sus-

pensión como en carga de fondo. La carga de fondo está formada por cantos y bloques en el tramo alto y arena gruesa y gránulos en la parte próxima a la desembocadura. Los cantos sólo se transportan como carga de fondo en condiciones muy excepcionales. Dominan los granos de cuarzo y feldespato, siendo las micas y los fragmentos de roca metamórfica localmente muy abundantes. Las cargas en suspensión y disolución se han estimado mediante el análisis de 43 muestras de agua representativas de toda la columna. La carga en suspensión está compuesta por caolinita (22%), moscovita (17%), cuarzo (15%), ortoclasa (13%), anortita (11%) y en menor proporción albita (8%) y microclina (6%). Las aguas están enriquecidas en sodio, calcio, potasio, magnesio, sílice y cloro con proporciones menores de aluminio, hierro y manganeso. El valor medio de los valores de concentración de carga en suspensión para el periodo 97/98 es de $22,8 \text{ mg/l}$ y el del periodo 00/01 de 50 mg/l , lo que corresponde muy bien con un aumento excepcional de la descarga en esta última etapa. En la Fig. 3 se representan las variaciones de la carga en suspensión con respecto a la descarga. Se observa un aumento de la carga en suspensión siguiendo una relación logarítmica con un índice de correlación $R^2 = 0,7$:

$$CS = 33,9 \ln(Q) - 5,1802$$

La carga media en disolución es mayor (en peso por unidad de volumen) que la carga en suspensión en casi todos los ríos que vierten a la Ría de Vigo (Pérez-Arlucea *et al.*, 2001). Los valores medios son de $92,4 \text{ mg/l}$ para el periodo 97/98 y de 73 mg/l para el periodo 00/01. La relación entre la carga en disolución y la descarga se ha representado en la figura 4. Se observa una correlación general negativa entre las dos variables, lo que se puede interpretar como un fenómeno de dilución de la carga a medida que aumenta la descarga. Sin embargo el índice de correlación de la recta es muy bajo. Posiblemente parte de la carga en disolución proceda, en algunos de los puntos de muestreo, de la presencia de contaminantes procedentes de las zonas urbanas o zonas de cultivo, como sugieren Pazos *et al.* (en prensa). Otro factor a tener en cuenta es la contaminación procedente de los vientos húmedos del NW (*spray* marino), lo que explicaría la alta

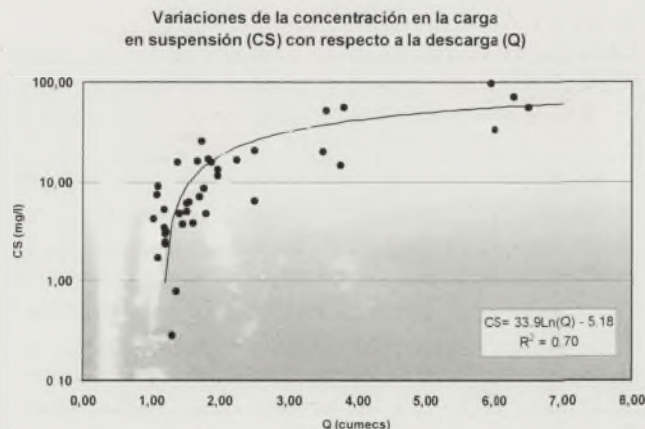


FIGURA 3: Variaciones en la concentración de la carga en suspensión del Río Miñor en la estación M5 (Mañufe) durante el periodo total de muestreo.

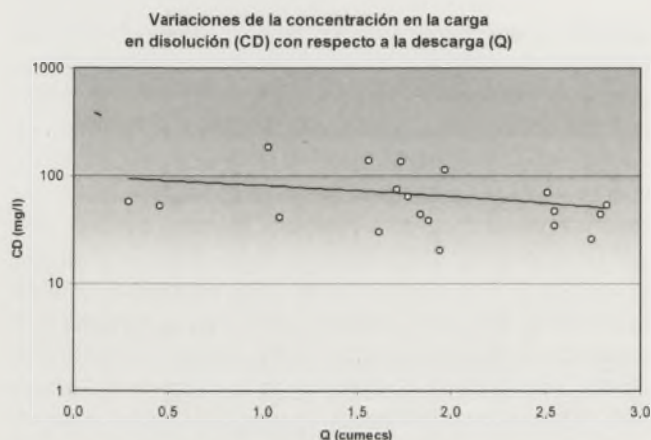


FIGURA 4: Variaciones en la concentración de la carga en disolución del Río Miñor en la estación M5 (Mañufe) durante el periodo total de muestreo.

proporción en cloro y otros elementos del agua, que disminuyen exponencialmente con la distancia a la desembocadura de los ríos. Aún así la concentración de material disuelto en las aguas de los ríos disminuye sistemáticamente con los aumentos en la etapa, siguiendo una tendencia opuesta a la carga en disolución.

Aportes de partículas y tasas de erosión

Considerando las descargas medias del río Miñor durante los dos periodos de tiempo estudiados (2,7 m³/s y 6,7 m³/s), y el área de la cuenca de drenaje (75,6 km²) se pueden estimar los aportes de partículas en suspensión y disolución a corto plazo hacia la Bahía de Baiona por km² y año. Los aportes de partículas en suspensión son de 25,76 t/km²a para el primer periodo (97/98) y de 139,74 t/km²a para el segundo (00/01), mientras que los aportes de partículas en disolución son de 109 t/km²a y 204 t/km²a. Por último considerando un valor medio de densidad de las rocas del área fuente de 2,7 g/cm³, correspondiente a una composición de granitos y gneises, tendríamos unas tasas de erosión (a corto plazo) para el material en suspensión de 9,54 m³/km²a durante el periodo 97/98 y de 51,76 m³/km²a durante el periodo 00/01. Por otra parte las tasas de denudación química serían de 40,46 m³/km²a para el primer periodo y de 75,56 m³/km²a para el segundo. Todos estos valores se resumen en la Tabla 1.

Fecha (año inicial/final)	Concentración (mg/l)	Descarga m ³ /s	Área (km ²)	Aportes (t/km ² a)	Tasas de erosión	
					(m ³ /km ² a)	mm/ka
Carga en suspensión (denudación mecánica)						
97/98	22.87	2.70	75.60	25.76	9.54	9.54
00/01	50.00	6.70	75.60	139.74	51.76	51.76
Carga en disolución (denudación química)						
97/98	97.00	2.70	75.60	109.25	40.46	40.46
00/01	73.00	6.70	75.60	204.02	75.56	75.56

TABLA 1: Resumen de los datos obtenidos en el periodo de muestreo.

Los datos del periodo 00/01 pueden considerarse valores máximos puesto que se relacionan con valores de descarga anómalamente altos asociados a un año pluviométrico excepcional, como ya se ha expuesto previamente. Los valores establecidos son del mismo rango que los calculados por Gunnell (1998) y otros autores.

SEDIMENTACIÓN EN LA ZONA ESTUÁRICA Y TASAS DE SEDIMENTACIÓN

Los sedimentos del río Miñor se han estudiado en detalle mediante sondeos someros realizados con un *corer* de succión (Fig. 5). Las marismas del Miñor aún mantienen cierto grado de conservación que permite su estudio sedimentológico. La marisma tiene unos 50 cm de espesor medio en esta zona y está surcada por pequeños canales que drenan las aguas hacia el Miñor. Los depósitos de marisma se caracterizan por un contenido alto en fangos poco compactados con intercalaciones de arenas en capas milimétricas o centimétricas. La base de los depósitos de marisma se ha datado con la técnica del Carbono 14 (Fig. 5). La edad resultante no es muy precisa siendo de 100 años +/- 100. El rango de error, sin embargo, se puede restringir bastante observando las fotos aéreas de años anteriores. Las marismas se encuentran desarrolladas ya en las fotos del año 1956 y por tanto se puede acotar la edad de las mismas entre 1950, como fecha mínima y 1800. Las tasas de sedimentación en la marisma son de unos 4 mm/a. Por debajo de la marisma los depósitos son de arenas medias a gruesas y localmente gravas. Estos depósitos son de origen estuárico, como los que se encuentran en la parte baja del río actual, donde dominan las barras arenosas con dunas orientadas en la dirección del flujo y del refluo marea.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo (publicación 225 del Grupo EX1) forma parte de los proyectos 'Estudio de la Geomorfología e Hidrología superficial'... financiado por la Universidad de Vigo (O.M.A.) y CICYT 2000-1102 MAR. Sandra Rúa, Montse Martínez e Iván León realizaron los trabajos de análisis en el laboratorio.

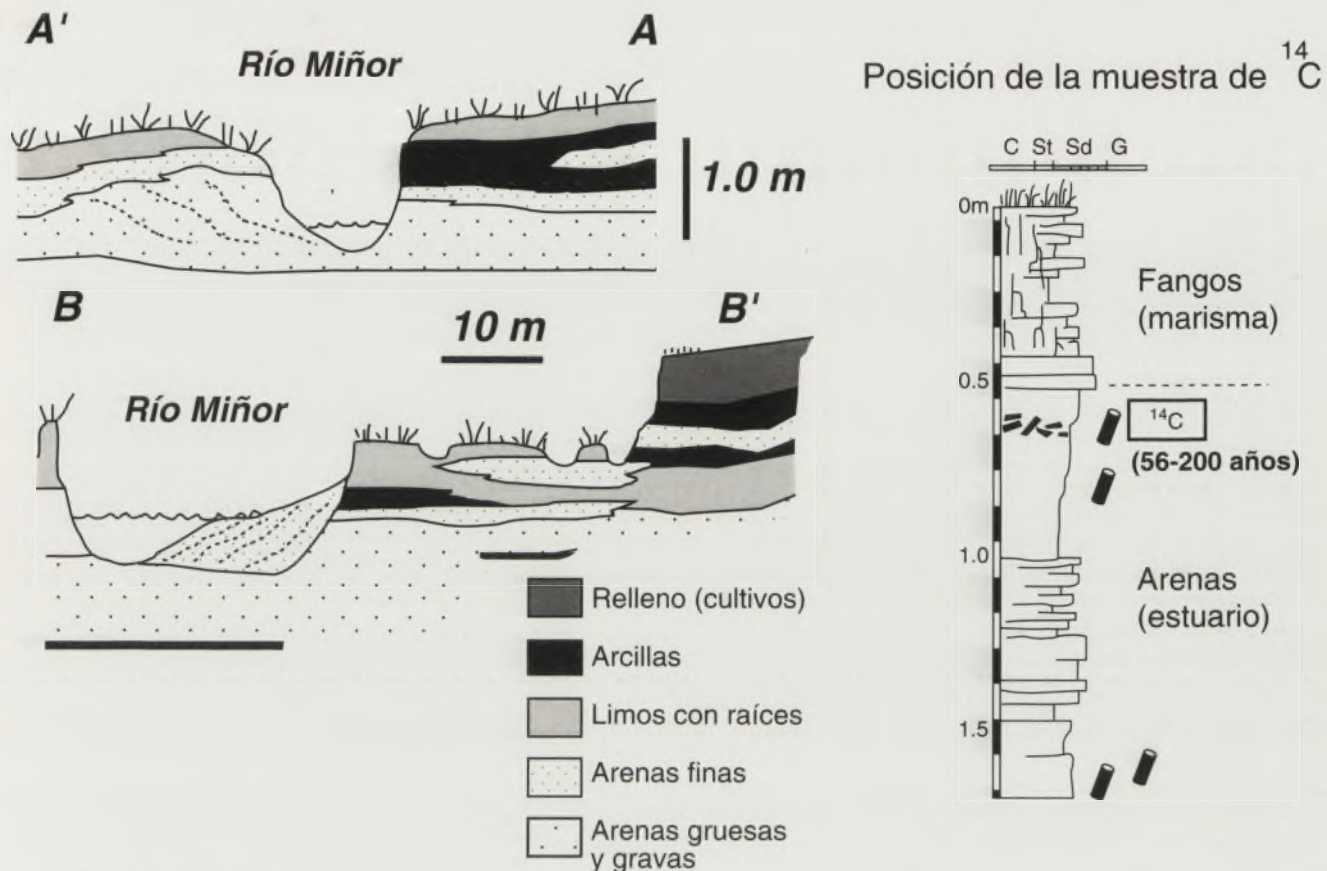


FIGURA 5: A-A' y B-B' transectos de la zona de marisma del Río Miñor próxima a la desembocadura y columna representativa, mostrando la posición de la muestra de ^{14}C .

REFERENCIAS

- Alejo, I. (1994): *Estudio dinámico y sedimentario de la Bahía de Baiona*. Tesis doctoral, Univ. de Vigo, 264 p.
- Fraga, F. (1996): As rías. En: *As augas de Galicia*. Consello da Cultura Galega, 611 p.
- Gunnell, Y. (1998): Present, past and potential denudation rates: is there a link?. Tentative evidence from fission-track data, river sediment loads and terrain analysis in the South Indian Shield. *Geomorphology*, 25: 135-153.
- Pagés, J.L. (2000): Origen y evolución geomorfológica de las rías atlánticas de Galicia. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13, (3-4): en prensa.
- Pazos, O., Nombela, M.A. y Vilas, F. (2001): Continental contribution of suspended sediment to a ría: Ría de Vigo. *Scientia Marina* (en prensa).
- Pérez-Arlucea, M., Filgueira, M., Freijido, M. y Méndez, G. (2001): Parámetros morfométricos e hidrológicos de las cuencas de drenaje y ríos tributarios a la Ría de Vigo. Estimación de las variaciones anuales en las cargas en suspensión y en disolución. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 26: 81-97.
- Ríos, A., Nombela, M.A., Pérez, F.F., Rosón, G. y Fraga, F. (1992): Calculation of runoff to an estuary. Ría de Vigo. *Scientia Marina*, 56: 29-33
- Mumme, W.G., Tsambourakis, G., Madsen, I.C. y Hill, R.J. (1996): Improved petrological modal analyses from X-ray powder diffraction data by use of the Rietveld method. Part II: Selected sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Research*, 66: 132-138.
- Rietveld, H. M. (1969): A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal of Applied Crystallography*, 2: 65-71.
- Rodríguez-Carvajal, J., Anne, M., y Pannetier, J. (1987): *A system for time-resolved data analysis (Powder Diffraction Pattern)*, ILL. Internal Report 87R014T (Ed.), Institut Max Von Laue Paul Langevin, Grenoble. 127 p.