

TIPOS DE ESCORRENTIA Y RITMO DE EVACUACION DE SEDIMENTOS EN LA SIERRA DE LA DEMANDA. SISTEMA IBERICO

José Arnáez Vadillo*
José M. García-Ruiz**

RESUMEN

Con el fin de relacionar las oscilaciones de caudal con la carga sólida y analizar la importancia relativa de los diferentes flujos que se establecen en la vertiente, se han medido periódicamente caudales, sedimentos en suspensión y conductividad del agua en dos cuencias de la sierra de la Demanda, una con importante cubierta forestal y otra con casi total ausencia de bosque.

Carga sólida y caudal mantienen una correspondencia notable a lo largo del año, pero en muchas situaciones la cuenca cubierta de bosques tiene una mayor pérdida de sedimentos, aunque, en todo caso, las cifras son muy bajas. Una parte muy importante de la escorrentía de esa cuenca tiene lugar mediante *pipes* que posteriormente se mostraron como los más eficaces en el transporte de sedimentos, al menos durante la fusión de la nieve.

SUMMARY

To relate the changes in flow with solid load and to analyze the relative importance of the different flows which take place on slopes, we have measured flow, suspended load and water conductivity in two basins of the Sierra de la Demanda, one with a significant forestry cover and the other with an almost complete absence of forest.

Solid load and flow are closely related all year long, but in many events the basin covered by forest has a greater loss of sediments, though, in any case, the figures are very low. Most of the runoff of this basin takes place through pipes which proved to be the most efficient in sediment transport, at least during snowmelt.

* Departamento de Geografía. Colegio Universitario de Las Palmas.

** Departamento de Geografía. Colegio Universitario de la Rioja. Logroño.

La evolución y dinámica de las vertientes se hallan directamente relacionadas con su funcionamiento hidrológico. El tipo de procesos que se desencadenan y las formas de relieve resultantes a microescala derivan de la manera en que el agua circula en superficie, en los diferentes niveles edáficos e incluso en las capas superiores del sustrato. De la relación escorrentía/infiltración y de los muy diferentes sistemas de circulación del agua a nivel superficial y subcortical –en relación con otros factores tales como la pendiente, el tipo de materiales, la densidad de la cubierta vegetal, etc.– depende la tasa de erosión y la intensidad con que tienen lugar los procesos en las vertientes. La importancia de las relaciones entre Geomorfología e Hidrología no escapa a los especialistas de ambas ciencias, hasta el punto de haberse acuñado recientemente el término Hidromorfología (SCHEIDEGGER, 1973, GREGORY, 1979) aunque los estudios vinculados a este campo disponen ya de notables y numerosos antecedentes.

En este trabajo se presentan y discuten los primeros resultados acerca del comportamiento hidromorfológico de las vertientes bajo diferentes condiciones. El objetivo fundamental es relacionar las fluctuaciones de caudal con las oscilaciones de la carga sólida, a nivel estacional y diario y analizar cómo influyen algunas características de las vertientes en tales fluctuaciones de caudal y carga. Para ello se han seleccionado dos cuencas diferentes (ver el apartado de Métodos) con el fin de explicar las diferencias resultantes en función de la cubierta vegetal y de la altitud, por un lado, y del origen de la escorrentía por otro. A su vez, se aporta información sobre los sistemas de circulación hídrica en relación con la vegetación y el uso del suelo.

1. EL AREA DE ESTUDIO

El trabajo se desarrolla en la Sierra de La Demanda, macizo paleozóico que culmina a más de 2.000 m. de altitud situado en el extremo noroccidental del Sistema Ibérico. La línea de cumbres, con divisiones poco contrastadas, presentan restos de antiguas superficies de erosión; la acción de la red fluvial ha producido profundas incisiones jerarquizadas por los ríos Tirón, Oja y Najerilla. Las vertientes, con pendientes muy fuertes, aparecen regularizadas y con pocos ejemplos de incisión reciente; se hallan desigualmente recubiertas por un manto de derrubios de estructura abierta y gran capacidad para absorber agua. El sustrato en la Demanda es silíceo salvo estrechos afloramientos dolomíticos; en las cuencas seleccionadas (cabecera del Cárdenas, dentro de la cuenca del Najerilla) el sustrato es eminentemente cuarítico.

La vertiente norte de la Sierra se encuentra ampliamente abierta a las influencias oceánicas. En la base, a unos 700 m. de altitud recibe en torno a 800 l/m² de media anual y deben superarse los 1.500 l. a partir de 1500 m. de altitud. El régimen de precipitaciones muestra una marcada tendencia

ESCORRENTIA Y EVACUACION DE SEDIMENTOS

oceánica, con máximo invernal y mínimo estival poco profundo; la innivación es intensa de diciembre a abril si bien son frecuentes los períodos de fusión durante la estación fría (MARTIN RANZ y GARCIA-RUIZ, 1984). Todo ello permite el desarrollo de importantes hayedos en exposiciones umbrías, sustituidos por robles en las vertientes bajas y en las meridionales. Por encima de 1.700 m. dominan los canchales, campos de piedras y terracillas de gelifluxión, prueba de unas condiciones morfoclimáticas en las que la acción del hielo cobra especial importancia (ARNAEZ-VADILLO, 1984).

CARACTERISTICAS DE LAS CUENCAS SELECCIONADAS EN LA SIERRA DE LA DEMANDA

	Cuenca del Hayedo	Cuenca Deforestada
Superficie	0,504 km ²	0,198 Km ²
Altitud máx.	1.621 m.	2.000 m.
Altitud mín.	1.230 m.	1.420 m.
Punto de muestreo	1.240 m.	1.420 m.
Superficie forestal	0,382 km ² (76%)	0,067 km ² (33%)
Dinámica de vertientes	Reptación moderada Hundimiento de <i>pipes</i>	Rigolas no funcionales Pequeñas coladas en cabecera
Circulación hídrica dominante	Subsuperficial	Superficial

2. METODOS

La toma de datos se ha centrado en dos pequeñas cuencas de características sensiblemente diferentes. En la Tabla 1. se incluyen algunos de sus rasgos fundamentales. Convencionalmente las vamos a llamar Cuenca del Hayedo y Cuenca Deforestada.

La *Cuenca del Hayedo* culmina a 1621 m. de altitud. Posee, pues, escasa capacidad para almacenar nieve de forma duradera, por lo que la fusión es casi continua durante todo el invierno y termina, además, muy pronto. Se encuentra cubierta en un 76% de un denso bosque de hayas, lo que favorece la existencia de una importante red de drenaje subcortical (WHIPKEY, 1965; WHIPKEY y KIRBY, 1980; GAISER, 1952). Integra varios cauces que nacen de *pipes*.

La *Cuenca Deforestada* culmina a 2000 m. En ella la nieve persiste más durante el invierno, aunque la fusión también es permanente. Su cabecera aparece ocupada por una red de rigolas profundas, no funcionales. Conserva

un resto de bosque de hayas en el sector inferior, si bien la mayor parte de la cuenca está desprovista de vegetación arbórea.

Una tercera cuenca, en exposición sur, y a la que llamaremos Solana, ha sido utilizada parcialmente en el estudio. Todas ellas se encuentran muy próximas entre sí (fig. 1).

Con periodicidad aproximadamente semanal se han tomado datos de caudal de las cuencas a mediodía, mediante dilución de sal en el agua y medida de la concentración con un conductímetro. Con este último obteníamos además un orden de magnitud de la concentración de elementos disueltos en el agua. A la vez se tomaban muestras de agua que, tras filtrado, aportaban información sobre la carga en suspensión. A nivel diario, durante la fusión de la nieve se tomaron cada 2 horas datos de caudal y de carga sólida para poder establecer relaciones más estrechas entre las variables que intervienen en el funcionamiento hidrológico de vertientes.

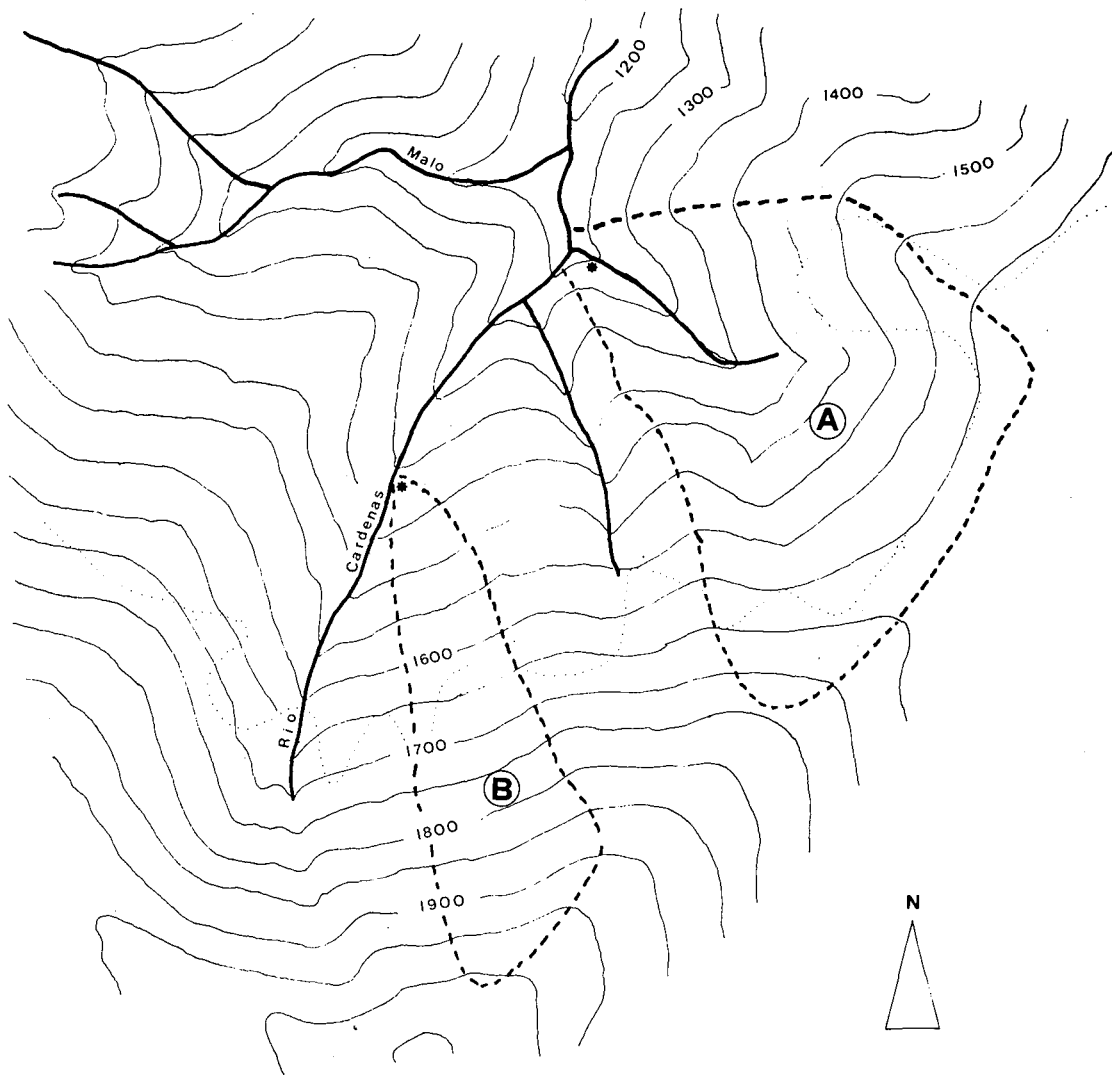
3. LAS OSCILACIONES ESTACIONALES DEL CAUDAL Y DE LA CARGA EN SUSPENSION

Durante el periodo estudiado (fin de 1982 hasta julio de 1984) son notables las oscilaciones de caudal en ambas cuencas, vinculadas las más de las veces al ritmo de fusión de la nieve y, en menor medida, a precipitaciones líquidas. En las dos cuencas –y también en la Solana– se da una casi perfecta correspondencia en ascensos y descensos de aportación. En las curvas de caudales –expresadas en $l/s/km^2$ (ver fig. 2)– puede apreciarse que durante el invierno son frecuentes las fluctuaciones de caudal, lo que demuestra que no hay creación constante de reserva de nieve; antes bien, a un período de acumulación nival que provoca la existencia de caudales escasos, sigue un período de fusión que origina una rápida elevación de las aportaciones. El fenómeno es constatable, a mayor escala, en todos los ríos que inscriben su cabecera en la Demanda (PEREZ RIPALTA, 1978; MARTIN RANZ y GARCIA RUIZ, 1984).

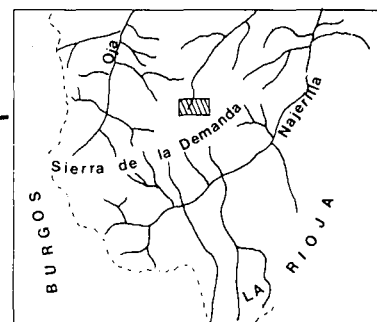
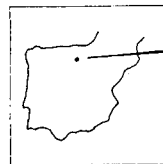
Tras el período de fusión, el descenso hasta los caudales de estiaje es muy rápido. En verano la aportación no llega habitualmente a 1 litro/s, salvo cuando una serie de tormentas permiten un ascenso brusco de caudal.

Al comparar las dos cuencas se obtienen algunas disparidades. En pleno invierno la Cuenca del Hayedo, aporta mayores caudales, como consecuencia de una más intensa fusión (influencia de la altitud); en primavera, cuando la fusión alcanza de lleno a los sectores más elevados de la Sierra, es la cuenca Deforestada la que aumenta más sus caudales. A la vez esta última es la que antes agota las reservas de agua, pues en verano soporta periodos más profundos de estiaje; las diferencias existentes en cuanto a cubierta forestal y a la función que desarrollan las raíces en la infiltración no son ajenas a este fenómeno.

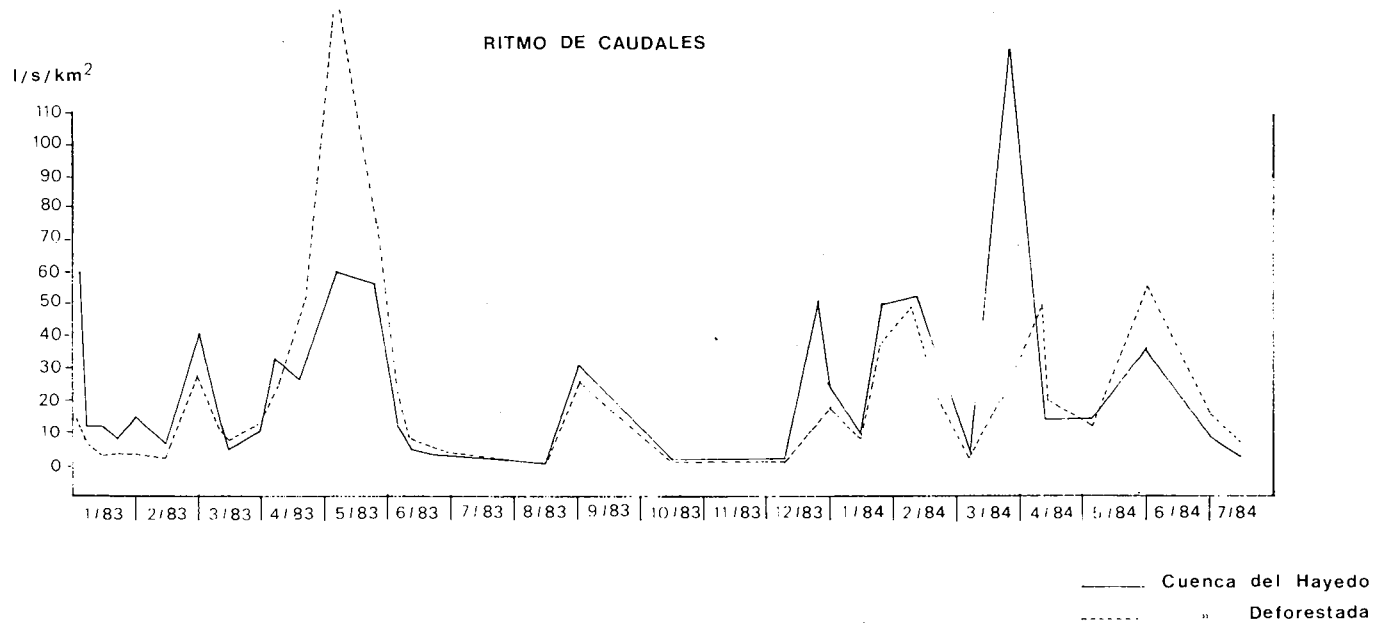
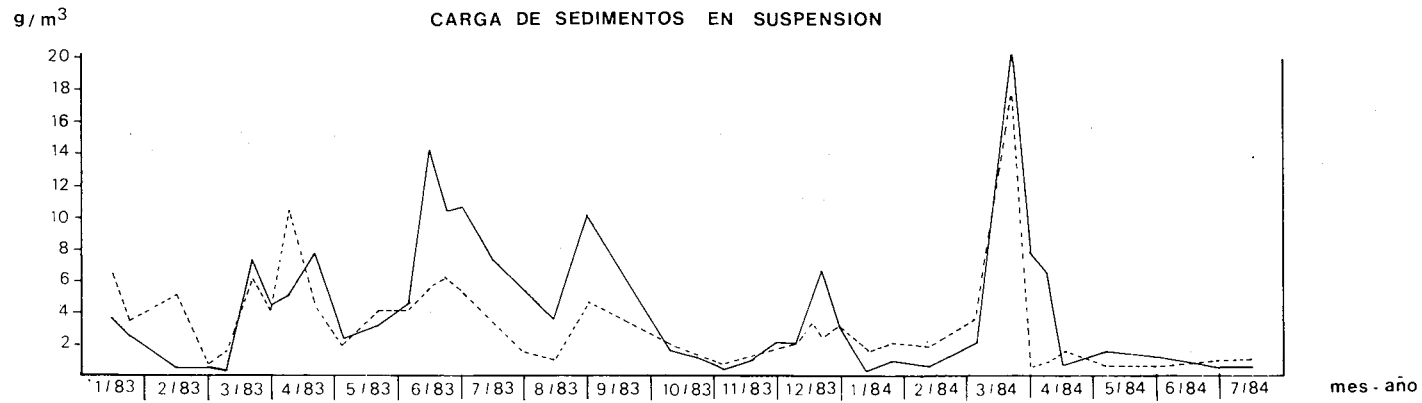
ESCORRENTIA Y EVACUACION DE SEDIMENTOS



- Ⓐ Cuenca Hayedo
 - Ⓑ Cuenca Deforestada
 - * Punto medición caudales
 - ⋯ Límite superior bosque
- Equidistancia C/N 50 mts
Escala 1:10.000



CUENCA ALTA DEL RIO CARDENAS



JOSE ARNAEZ VADILLO, JOSE M. GARCIA-RUIZ

ESCORRENTIA Y EVACUACION DE SEDIMENTOS

La carga en suspensión presenta también notables fluctuaciones, con máximos durante el período de fusión de nieve y mínimos estivales. De todas formas, incluso en pleno invierno, algunos picos de carga están relacionados más con lluvias intensas que con fusión de nieve, pues algunos datos obtenidos en plena fusión dan cargas bastantes modestas. La coordinación entre las cuencas no es tan buena como en el caso de los caudales, aunque en términos generales sí puede hablarse de cierto sincronismo. Es evidente que no puede haber una correspondencia absoluta, puesto que el arrastre de sólidos depende de su disponibilidad en el lecho (HAYWARD, 1980); por otra parte, en muchas ocasiones la carga sólida precede al caudal máximo en horas o en días.

Las cifras absolutas obtenidas tras secado de las muestras de agua han sido muy bajas en todos los casos, del orden de unos pocos gramos por metro cúbico de agua. En contra de lo que esperábamos, la Cuenca del Hayedo ha dado unas cifras de carga en suspensión más elevadas que la Cuenca Deforestada. Este hecho, que se repitió en casi todos los acontecimientos, es muy importante y se explica —como veremos más adelante— por la diferente altitud de las cuencas y por el tipo de escorrentía dominante en las vertientes.

Interesa también señalar que desde el punto de vista de los solutos la Cuenca del Hayedo registra datos muy superiores a los de la Deforestada, lo que se explica porque en la primera la circulación subcortical —a causa del papel de las raíces— es muy importante (de hecho los arroyos surgen de *pipes*), facilitando la disolución de elementos; en la segunda, con circulación más superficial, el agua no arrastra apenas materiales disueltos.

4. FLUCTUACIONES DE CAUDAL Y DE SEDIMENTOS A NIVEL DIARIO

La observación de los gráficos elaborados con datos de caudal y carga en suspensión a lo largo de un día demuestra que cada cuenca funciona de acuerdo con un modelo diferente. El más elemental corresponde a la cuenca solana, que sigue los esquemas clásicos de curva diaria de fusión (PUIGDE-FABREGAS y ALVERA, en prensa): un máximo a las 15 horas solares, tras un rápido ascenso del caudal a partir de las 12 horas; después de las 17 horas el caudal inicia el descenso vinculado a la disminución de temperatura y la disminución de la fusión. Existe, pues, un retraso normal entre la curva de temperaturas y la evolución de caudales (DUNNE and BLACK, 1971). La curva de los sólidos en suspensión se adelanta algo al pico de caudal y posee una forma groseramente parecida a la de los aportes líquidos. El desfase temporal entre ambas curvas es normal, por cuanto la carga en suspensión, de fácil arrastre, se pone en movimiento en cuanto comienza a aumentar el caudal, sin necesidad de que éste haya alcanzado el máximo.

Sin embargo, las curvas correspondientes a las cuencas del Hayedo y Deforestada se apartan mucho de este modelo. La primera de ellas presenta su pico de caudal más retrasado, hacia las 18,30. La curva de sólidos en suspensión posee dos máximos; el primero, de menor importancia se anticipa ligeramente al pico de caudal, pero el segundo, más destacado, se produce a la 1,30 horas, cuando ya el caudal se halla en los comienzos de la fase nocturna estable. Este hecho sería inexplicable si no fuera por la información aportada por los elementos disueltos.

En efecto, la curva de los solutos muestra su máximo a la 1,30 horas, coincidiendo con el pico de materiales en suspensión. A esa hora, pues, la escorrentía, que se mantiene todavía elevada, es esencialmente subcortical, lo cual no deja de ser normal, pues se trata de un flujo más lento y que, por lo tanto, presenta un retraso respecto al flujo superficial al que sustituye. Los datos disponibles permiten deducir que durante la noche el caudal disminuye –al limitarse la fusión– pero aumenta la carga disuelta y en suspensión. De ahí se concluye que el flujo subcortical es capaz de evacuar materiales con superior intensidad que el propio flujo superficial ligado a la fusión.

En la Cuenca Deforestada la curva de caudal presenta su máximo a las 13,30 horas, con un pequeño ascenso de nuevo a las 22,30 horas. La curva de materiales en suspensión es similar a la precedente y la de solutos –siempre con datos muy bajos– presenta a esa hora su mínimo, de donde se deduce que la aportación subcortical es muy pequeña, pues ni siquiera durante la noche aumentan los solutos.

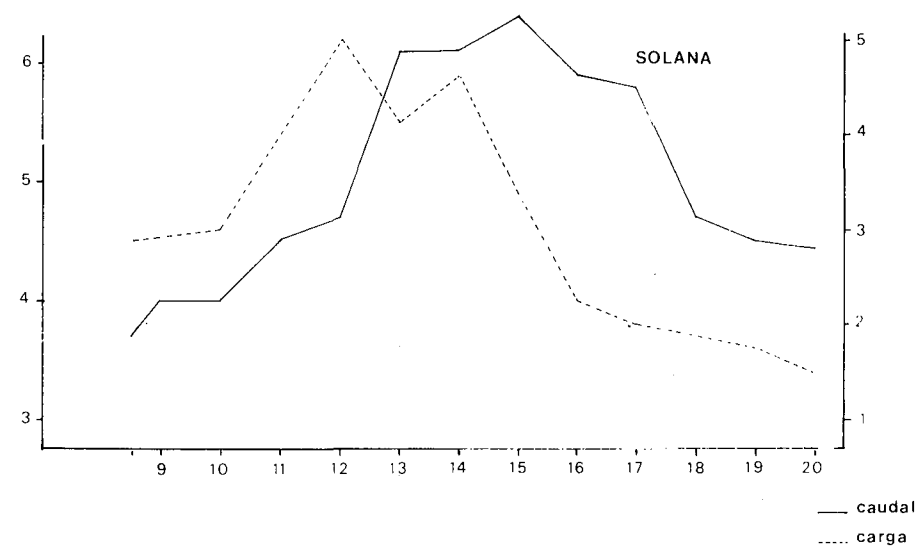
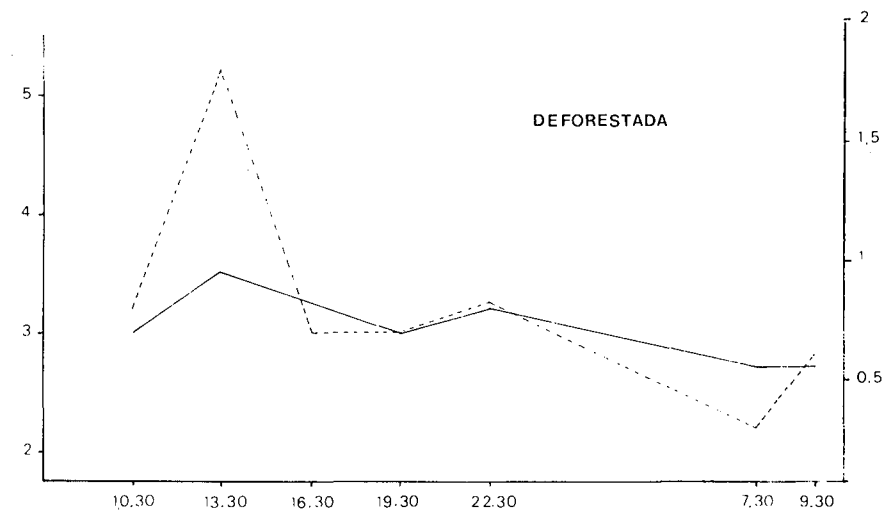
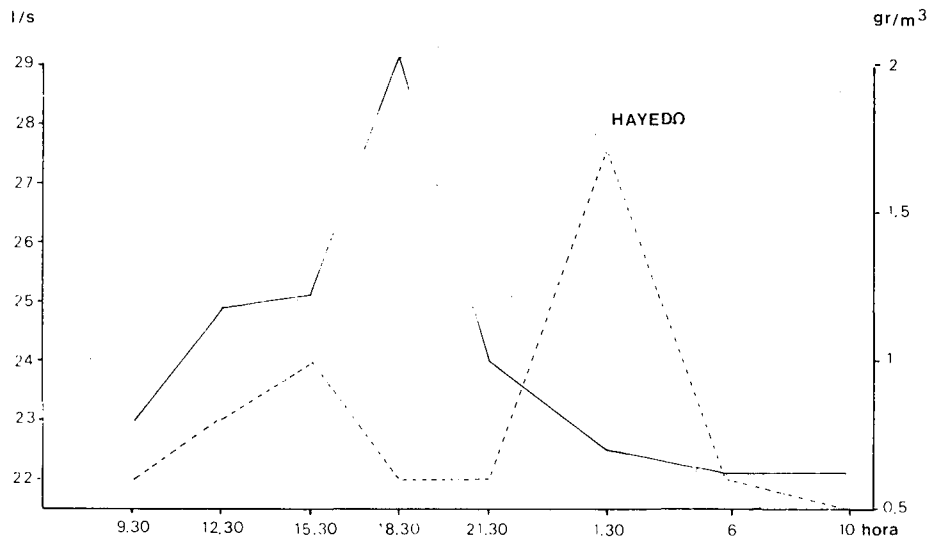
6. DISCUSION

De los resultados que se han presentado hasta ahora se deduce la existencia de dos factores fundamentales para explicar la dinámica hidrológica y de vertientes en la Sierra de la Demanda: el bosque y la altitud a que se encuentra la cuenca.

La existencia de bosques favorece la infiltración por medio de las raíces, de manera que ello explica el que la Cuenca del Hayedo posea una elevada escorrentía subcortical. Con el tiempo las raíces muertas han dado paso a conductos (*pipes*) por los que el agua circula entubada y a mayor velocidad, de forma que aunque se crea reserva de agua –sin duda más que en la Cuenca Deforestada, como lo demuestran los caudales de estiaje– se reduce muy pronto después de que cesen la fusión y las lluvias primaverales. Dentro del bosque, e incluso en las laderas que han sostenido un manto forestal hasta su destrucción reciente, la mayor parte de la circulación es subsuperficial y, en gran medida, a través de pipes (GARCIA-RUIZ y ARNAEZ VADILLO, 1984).

Esa escorrentía subcortical posee, en términos relativos, cierta impor-

ESCORRENTIA Y EVACUACION DE SEDIMENTOS



CAUDAL Y CARGA EN SUSPENSION, DIA 12/13-2-84

— caudal
 carga

tancia en la denudación de las vertientes. Durante la fusión de la nieve, y ante la ausencia notable de erosión superficial porque el agua se infiltra inmediatamente, las mayores aportaciones de sedimentos –en suspensión y solutos– vienen dadas por el flujo interno en los derrubios. De esta forma los *pipes* aumentan de diámetro por arrastre de partículas finas o incluso de piedrecitas de menos de 1 cm. hasta que se producen hundimientos parciales, que tienen su reflejo en superficie con la formación de aparentes líneas de drenaje. Lo cierto es que muchas de estas líneas carecen de escorrentía superficial y, sin embargo, poseen abundante flujo subcortical, que aflora al exterior en rupturas de pendiente.

Sin duda, no obstante, la erosión es mayor en condiciones de precipitación líquida intensa, como lo muestra la curva de sólidos en suspensión, aunque no cabe hablar de pérdidas importantes dada la gran capacidad de infiltración. Indirectamente, pues, el bosque limita la evacuación de sedimentos y dificulta la construcción de líneas de drenaje permanentes, aunque sorprendentemente la circulación subcortical –que se ve favorecida por el bosque– pueda arrastrar más sólidos que la propia escorrentía superficial. Pero ello no es sino una prueba más de las excelentes condiciones que los derrubios ofrecen a la infiltración y de las dificultades que crean al flujo erosivo superficial.

El segundo factor que hemos citado –la altitud de la cuenca– ejerce su influencia sobre todo en la Cuenca Deforestada. Esta cuenca se halla cubierta de nieve durante prácticamente toda la estación fría, con fusión paralela pero menos rápida que en la Cuenca del Hayedo. De esta manera, las precipitaciones líquidas que caen con frecuencia en la primera parte de la primavera –o incluso en invierno– lo hacen sobre un manto de nieve que absorbe la lluvia y reduce la escorrentía superficial; mientras, esas lluvias caen directamente sobre el suelo en la Cuenca del Hayedo. GARCIA-RUIZ, PUIGDEFABREGAS y CREUS (1980) señalaron la importancia del manto nival en la reducción del número de crecidas en el Pirineo Central.

Cuando la nieve ha desaparecido, las precipitaciones comienzan a declinar y tienen menor capacidad erosiva, aunque en ello influye también la pedregosidad de la parte superior de la cuenca, que disipa la energía del flujo superficial y limita la cantidad de material susceptible de ser arrastrado. Lo cierto es que la red de rigolas de cabecera no presenta rasgos de funcionalidad, lo que indica que las actuales condiciones climáticas no son las que han desencadenado su formación; es más, la nieve permanece en ellas durante más tiempo, prolongando así su papel protector.

La escasa eficacia erosiva de las aguas de escorrentía y la importancia de la infiltración son responsables de la actual dinámica de vertientes en la Sierra de la Demanda. En las vertientes están ausentes –salvo especiales características edáficas o de uso del suelo o en las inmediaciones de los cauces principales– las incisiones activas. Por el contrario, la infiltración favo-

ESCORRENTIA Y EVACUACION DE SEDIMENTOS

rece la existencia de movimientos en masa a diferentes escalas. Con un amplio período de retorno se originan grandes movimientos en masa con cicatrices de tamaño hectométrico. Pero lo normal son pequeñas coladas muy poco profundas, con nicho de arranque inferior a ½ metro cuadrado y que se originan en el manto de derrubios al pie de manchas de nieve en primavera; se limitan al tramo superior de las vertientes y, si llegan al bosque, se disipan fácilmente y carecen apenas de posibilidades de alcanzar alguna línea de drenaje. En este caso, pues, la aparente estabilidad de las laderas se ha visto confirmada con los datos aportados por caudales y carga sólida.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARNAEZ-VADILLO, J., 1985. Modelos de distribución de formas crionivales en la Sierra de San Lorenzo (Sierra de La Demanda, S. Ibérico). *Actas del I Coloquio sobre Geografía de La Rioja*, Logroño.
- COURTNEY, F.N., 1981. Developments in forest hydrology. *Progress in Physical Geography*, 5(2): 217-241.
- DUNNE, T. and BLACK, R.D., 1971. Runoff processes during snowmelt. *Water Resources Research*, 7(5): 1160-1171.
- GAISER, R.N., 1952. Root channels and roots in forest soils. *Soil Science Society Proceedings*, 16: 62-65.
- GARCIA-RUIZ, J.M.^a. y ARNAEZ-VADILLO, J., 1984. Infiltration, écoulement sous-superficiel et dynamique des versants dans la Sierra de la Demanda. *Ecologie et Biogéographie des milieux montagnards et de Haute Altitude*. Pau.
- GARCIA-RUIZ, J.M., PUIGDEFABREGAS, J. y CREUS, J., 1980. Influencia de la características físicas de las cuencas hidrográficas en la frecuencia e intensidad de crecidas. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 6(1-2): 19-36, Logroño.
- GREGORY, K.J., 1979. Hydrogeomorphology: how applied should we become? *Progress in Physical Geography*, 3(1), 84-101.
- HAYWARD, J.A., 1980. *Hidrology and stream sediment from Torlesse stream catchment*. Tussock Grasslands and Mountain Lands Institute, 236 pp., Canterbury, N.A.
- MARTIN-RANZ, M.C. y GARCIA-RUIZ, J.M., 1984. *Los ríos de la Rioja. Introducción al estudio de su régimen*. Instituto de Estudios Riojanos, 67 pp., Logroño.
- PEREZ RIPALTA, O., 1978. El régimen del río Najerilla (prov. de Logroño). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 4(2): 3-22, Logroño.
- PUIGDEFABREGAS, J. y ALVERA, B. (en prensa). Particulate and dissolved matter in snowmelt runoff from small watersheds. *Z Geomorph.*

JOSE ARNAEZ VADILLO, JOSE M. GARCIA-RUIZ

- SCHEIDEGGER, A.E., 1973. Hydrogeomorphology. *Journal of Hydrology*, 20, 193-215.
- WHIPKEY, R.Z., 1965. Subfarce stormflow from forested slopes. *Inst. Ass. Sci. Hydrol. Bull.*, 10(2): 74-85.
- WHIPKEY, R.Z. y KIRKBY, M.J., 1980. Flow within the soil. *Hillslope Hydrology*. Ed. M.J. Kirkby. Wiley and son, 121-143.