



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-285

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
**ISBN 978-84-941695-2-6**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Cálculo por comparación de la fuerza límite de arrastre de un torrente

PÉREZ-SOBA DIEZ DEL CORRAL, I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Doctor Ingeniero de Montes. Gobierno de Aragón. Servicio Provincial de Desarrollo Rural y Sostenibilidad de Zaragoza.

### Resumen

Las pendientes realmente obtenidas en las cuñas de sedimentos retenidas por diques de corrección u otros represamientos naturales o artificiales no sólo ofrecen una excepcional oportunidad de verificación de los modelos y fórmulas de cálculo de las características hidráulicas de un torrente, sino que permiten también calcular dichas características a partir del resultado comprobado de la acción de la naturaleza sobre las obras de corrección; en particular, ya se ha propuesto en la literatura un método para el cálculo por comparación de la pendiente de compensación. La comunicación presenta otro método comparativo que permite calcular de manera aproximada, pero rápida y sencilla, la fuerza límite de arrastre en un punto de un torrente, a partir de la medición de las pendientes de compensación realmente obtenidas en ese cauce u otros análogos. Se usan métodos y fórmulas de hidráulica general, y en particular las hipótesis de García Nájera sobre las condiciones de la pendiente de equilibrio. Este método es independiente de la granulometría del lecho, por lo que resulta más sencillo y basado en la evidencia que las fórmulas basadas en experimentos de laboratorio o datos de cursos fluviales.

### Palabras clave

Diques hidrológico-forestales, Torrencialidad, Sedimentos, Hidráulica, Erosión.

### 1. Introducción

Para proyectar la corrección de un curso torrencial de agua, el estudio de cada tramo del cauce debe incluir el cálculo de las magnitudes hidráulicas fundamentales, que permitirán, junto con los datos topográficos de la zona y los derivados del estudio hidrológico, determinar las condiciones en que las aguas circulantes causan la ablación, transporte y depósito de los materiales sólidos tanto del cauce como de las laderas inmediatas a él. En particular, la magnitud cuyo conocimiento resulta básico es la fuerza o la tensión límite de arrastre (o bien, de su magnitud correlativa, la velocidad límite del flujo), que se define como aquella que inicia el movimiento de los materiales en la solera del cauce. Conocer la fuerza o la velocidad límites permite a su vez saber las condiciones en que (en general) la circulación del agua en el tramo abandonará el régimen hidráulico normal para seguir uno torrencial: cuando la corriente tenga una fuerza de arrastre que supere los valores límites, se producirá erosión y transporte; si tiene una fuerza inferior, se producirá deposición de los materiales acarreados, según el esquema clásico de HJULSTROM (1935) (Figura 1).

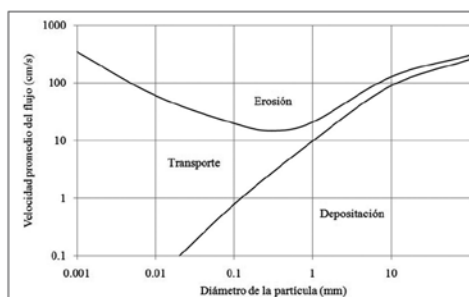


Figura 1. Diagrama de HJULSTROM (1935), que correlaciona la velocidad límite para desprender, transportar o depositar partículas de suelo o del lecho, según su diámetro, para flujos de agua

Para dicho cálculo del límite, se han desarrollado desde antiguo fórmulas muy variadas (la primera es de DU BOYS, 1879), que pueden agruparse en cuatro tipos (WOHL, 2013) según la magnitud que usen para el cálculo: la tensión de arrastre sobre el lecho (por ejemplo, la propia de Du Boys); el caudal (la típica es la de SCHOKLITSCH, 1934); una función estocástica (p.ej., EINSTEIN, 1950) o la potencia hidráulica (como BAGNOLD, 1980). Se han realizado muchos estudios para valorar la capacidad de predicción de estas fórmulas; en particular, BETTESS (2002) y LAUCLAN y MAY (2002) han revisado las ventajas y limitaciones de las metodologías de uso más extendido, concluyendo que todas incluyen parámetros de estimación subjetiva y además no tienen en cuenta muchos aspectos de la dinámica fluvial, de modo que sus predicciones no resultan fiables, y menos en cursos torrenciales.

Como señalan GARCÍA y SALA (1998), las dificultades técnicas para obtener mediciones reales y continuas del transporte de fondo en diferentes cursos, que abarquen un amplio rango de condiciones hidráulicas y sedimentológicas, han limitado los trabajos de calibración y el desarrollo de nuevas fórmulas o modelos. Y esto es aún más acusado en los cursos torrenciales, pues son especialmente difíciles de estudiar de forma cuantitativa (sobre todo los de caudal líquido sólo temporal), y lo que de ellos se conoce procede esencialmente de la descripción de fenómenos excepcionales (LÓPEZ CADENAS DE LLANO, dir., 1998).

Ahora bien, como ya indicamos en otro trabajo (PÉREZ-SOBA, 2002a), la Administración Forestal española, desde la creación de las Divisiones Hidrológico-Forestales en 1901, construyó miles de hidrotecnias de todo tipo (especialmente diques transversales) en los cursos torrenciales, algunas de las cuales llevan más de un siglo funcionando de manera continuada en situaciones reales de torrencialidad. Y por tanto, su estudio y análisis ofrecen grandes potencialidades para el avance de la hidrología forestal, en especial en cuanto a la comprensión del fenómeno torrencial y en cuanto a la mejora de la redacción de proyectos de corrección. Cada vez más autores están explorando esa vía de investigación: ROMERO (2008) y HERNÁNDEZ et al. (2004) destacan cómo los sedimentos retenidos por los diques forestales constituyen una muy valiosa fuente de información para cuantificar la erosión en las cuencas vertientes; y MARTÍNEZ DE AZAGRA et al. (2002) y RAMOS et al. (2013) subrayan la necesidad de evaluar los efectos hidrológicos reales de los diques. En esa línea, propusimos en su día (PÉREZ-SOBA, 2002b) una metodología para el cálculo de la pendiente de compensación por comparación a partir de datos de pendientes alcanzadas en la realidad en diques ya aterrados. Pretendemos ahora, por tanto, hallar una metodología similar para el cálculo de la fuerza límite de arrastre, que supere las limitaciones de las fórmulas clásicas.

## 2. Objetivo

El objetivo de esta comunicación es hallar, mediante el desarrollo matemático de la teoría de la pendiente de compensación de García Nájera, un método de cálculo que permita hallar, de manera aproximada, la fuerza límite de arrastre en un punto de un torrente, a partir de la medición de las pendientes de compensación realmente obtenidas en diques previamente construidos en ese mismo cauce, u otros análogos. Se busca un método que sea sencillo y práctico para aplicar, en proyectos de corrección, las conclusiones que se puedan obtener del estudio del funcionamiento de las hidrotecnias de corrección sometidas durante años a los fenómenos torrenciales.

## 3. Metodología

Las hipótesis básicas en las que se basa el método son: i) que en la pendiente de equilibrio que realmente se ha producido se dan las circunstancias descritas por GARCÍA NÁJERA (1962); y ii) que nos hallamos en un cauce de gran anchura, en el que podamos aceptar con escaso error que el calado y el radio hidráulico se igualan. Asumir la primera hipótesis conlleva también aceptar la relación descrita por STRICKLER (1923) entre el radio hidráulico y el coeficiente C de Manning.

Cuando se desea hallar la pendiente de compensación según la teoría de García Nájera, se calcula el valor de la tensión límite de arrastre mediante la fórmula de Schoklistch, usando distintas características de los materiales del lecho: coeficiente de forma, volumen medio y volumen de los materiales mayores (GARCÍA NÁJERA, 1962). Nuestro propósito es aplicar dicho método a la inversa: partiendo como dato de la pendiente de compensación realmente alcanzada, calcularemos la tensión límite (y por tanto la fuerza límite) que la ha producido, mediante la metodología que se expresa gráficamente en la Figura 2.

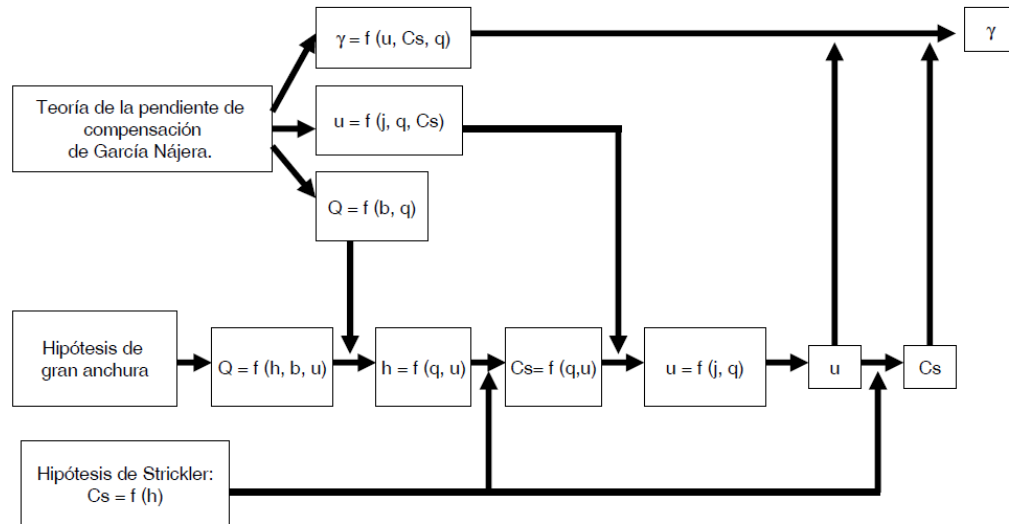


Figura 2. Metodología propuesta para el cálculo de la fuerza límite a partir de una pendiente de compensación realmente alcanzada en un dique aterrado

En dicho esquema, el significado de las variables es:

$\gamma$ : tensión límite de arrastre (m).

$b$ : ancho medio del cauce (m).

$h$ : calado del agua en la sección considerada (m).

$u$ : velocidad de las aguas con materiales en suspensión (m/s).

$j$ : pendiente de compensación realmente alcanzada en un dique aterrado.

$q = gQ/2 \cdot b$  (según la teoría de García Nájera), en donde  $Q$  es el caudal (que para nosotros será el generador del lecho),  $g$  la aceleración de la gravedad y  $b$  el ancho medio del cauce, como se ha indicado antes. De ahí se deduce que  $Q = 2qb/g$ .

$C$  (coeficiente de Manning basado en la fórmula de Strickler) =  $n \cdot h^{1/6}$ . Se usa la simplificación, antes comentada, de que el calado y el radio hidráulico se igualan, es decir,  $h = R$ . En esta expresión,  $n$  es el coeficiente de Strickler, que está tabulado para distintas situaciones (HAGER, 2010), siendo frecuente el uso de  $n=30$  para cauces de gran rugosidad, como suelen ser los torrenciales.

$C_s$  (coeficiente modificado de Manning) =  $C \cdot \alpha$ , siendo a su vez  $\alpha$  el coeficiente de reducción del rozamiento de las aguas con suspensiones con respecto a las limpias, cuyo valor es dado por GARCÍA NÁJERA (1962) en función del peso específico del agua limpia ( $\omega_0$ ), de la proporción de sedimentos

incorporados a la corriente ( $\chi$ ; el propio autor recomienda usar el valor de  $\chi=0,10$ ), y del peso específico de dichos sedimentos ( $\delta$ ), según la siguiente expresión:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega_0^3}{(1 + \chi) \cdot (\omega_0 + \chi\delta)^3}}$$

#### 4. Resultados

Como es sabido, la pendiente de compensación según García Nájera se calcula con la siguiente fórmula ( $g$  es la aceleración de la gravedad):

$$j = \frac{g \cdot u^3}{2C_s^2 q} \quad (1)$$

Esta expresión deriva a su vez de que se cumpla la siguiente ecuación:

$$u^7 + qu^4 - 3\xi^2 q = 0 \quad (2)$$

El valor de  $\xi$  en la fórmula (2) se relaciona con el coeficiente modificado de Manning de la siguiente forma (siendo  $\gamma$  la tensión límite de arrastre):

$$\xi = C_s^2 \gamma \quad (3)$$

Comenzamos introduciendo el valor de  $\xi$  que figura en (3) dentro de la expresión (2), y despejando la incógnita buscada, esto es, la tensión límite, que nos quedará en función de un valor que podemos calcular con los datos disponibles ( $q$ ), y de dos que desconocemos aún ( $u$  y  $C_s$ , que depende del calado):

$$u^7 + qu^4 - 3C_s^4 \gamma^2 q = 0 \Rightarrow u^4(u^3 + q) = 3C_s^4 \gamma^2 q \Rightarrow \gamma = \left(\frac{u}{C_s}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{u^3 + q}{3q}} \quad (4)$$

Para el cálculo de  $u$ , y tal como hemos expresado en la Figura 2, despejaremos en primer lugar su valor en la fórmula de García Nájera (1):

$$j = \frac{g \cdot u^3}{2C_s^2 q} \Rightarrow u = \left(\frac{2 \cdot j \cdot C_s^2 \cdot q}{g}\right)^{1/3} = \left(\frac{2 \cdot j \cdot q}{g}\right)^{1/3} \cdot C_s^{2/3} \quad (5)$$

Para poder resolver la expresión (5), es preciso que la expresión para el cálculo de  $C_s$  no esté en función del calado, sino de la velocidad, de modo que tengamos una sola incógnita en la ecuación. Para ello, comenzaremos por relacionar dos expresiones matemáticas del caudal aplicables al caso analizado: la que se deriva de la teoría de García Nájera ( $Q = 2qb/g$ ) y la que resulta de la hipótesis que hemos aceptado de un caudal ancho ( $Q = b \cdot h \cdot u$ ). De este modo:

$$Q = b \cdot h \cdot u \Rightarrow h = \frac{Q}{b \cdot u} = \frac{\left(\frac{2qb}{g}\right)}{b \cdot u} = \frac{2q}{g \cdot u} \quad (6)$$

Introducimos ahora, en la fórmula de Strickler para el coeficiente de Manning, el valor del calado que acabamos de obtener en (6):

$$C = n \cdot h^{1/6} = n \cdot \left( \frac{2q}{g \cdot u} \right)^{1/6} \Rightarrow C_s = \alpha \cdot n \cdot \left( \frac{2q}{g \cdot u} \right)^{1/6} \quad (7)$$

Por otro lado, si despejamos la velocidad en la fórmula de la pendiente de compensación (1) resulta lo siguiente:

$$j = \frac{g \cdot u^3}{2C_s^2 q} \Rightarrow u = \left( \frac{2 \cdot j \cdot C_s^2 \cdot q}{g} \right)^{1/3} = \left( \frac{2 \cdot j \cdot q}{g} \right)^{1/3} \cdot C_s^{2/3} \quad (8)$$

Introduciendo ahora en la expresión (8) el valor de  $C_s$  en función de  $q$  y de  $u$  obtenido en (7), resulta ya una ecuación con una sola incógnita ( $u$ ):

$$u = \left( \frac{2 \cdot j \cdot q}{g} \right)^{1/3} \cdot C_s^{2/3} = \frac{2^{1/3} \cdot j^{1/3} \cdot q^{1/3} \cdot \alpha^{2/3} \cdot n^{2/3} \cdot 2^{1/9} \cdot q^{1/9}}{g^{1/3} \cdot u^{1/9}} \Rightarrow u = \left( \frac{2^{4/9} \cdot j^{1/3} \cdot q^{4/9} \cdot \alpha^{2/3} \cdot n^{2/3}}{g^{4/9}} \right)^{9/10}$$

Por tanto:

$$u = \frac{2^{2/5}}{g^{2/5}} n^{3/5} \cdot j^{3/10} \cdot \alpha^{3/5} = 0,5294 n^{0,6} \cdot j^{0,3} \cdot \alpha^{0,6} \quad (9)$$

Para el valor de  $n = 30$  (usado frecuentemente, como hemos dicho, para cauces rugosos), la expresión anterior quedaría:

$$u = 4,074 j^{0,3} \cdot \alpha^{0,6} \quad (10)$$

Con las expresiones (9) o (10) ya podemos calcular la velocidad límite en función de valores conocidos, y posteriormente calcular  $C_s$  mediante la expresión (7), y con ambos valores ( $u$  y  $C_s$ ), calcular la tensión (y, de manera inmediata, la fuerza) límite mediante la expresión (4).

## 5. Discusión

Este método presenta, para el cálculo de la fuerza límite, las siguientes ventajas con respecto a las fórmulas clásicas basadas en datos experimentales:

1) Todas las fórmulas clásicas necesitan en mayor o menor medida del conocimiento de las características de los materiales transportados, y ello (al menos en los torrentes de tipo pirenaico o alpino) no es sencillo, por la dificultad para determinar, de entre los materiales de mayor tamaño que se hallan en el cauce, cuáles son los que han sido movilizados y transportados por las aguas y cuáles tienen otra procedencia: desplomes de las laderas, aportaciones de barrancos tributarios, o simplemente materiales del propio cauce que han sido puestos al descubierto por la erosión progresiva. La metodología que proponemos en este trabajo es independiente de la granulometría del lecho, ya que parte de un valor real de pendiente de compensación ya alcanzada, y por tanto evita usar las características de los materiales sólidos.

2) La mayoría de las fórmulas clásicas se han desarrollado a partir de experimentos de laboratorio, sobre la base de unas relaciones concretas entre las variables hidráulicas, las condiciones del lecho y

las tasas de transporte de material, y bajo condiciones de flujo uniformes. De hecho, algunas de estas fórmulas tienen su aplicación limitada incluso por sus autores: así, el propio Schoklistch señala que su fórmula sólo es válida para materiales con tamaños máximos comprendidos entre 0,15 y 0,30 m<sup>3</sup>, volúmenes que con mucha frecuencia se superan en los torrentes pirenaicos. En este sentido, la bibliografía ha subrayado los problemas que causa aplicar fórmulas muy antiguas, que se han repetido de generación en generación, sin comprobar cuáles fueron sus hipótesis y limitaciones originales, o sin distinguir entre sus diferentes versiones (CARSON y GRIFFITHS, 1987). En el caso de las fórmulas que sí se basan en mediciones reales (como la de PARKER et al., 1982), se refieren a cursos de agua de tipo fluvial, cuya hidrología presenta diferencias muy marcadas con la de los torrentes. En cambio, el método que aquí se propone parte de datos medidos tras la actuación durante años de los caudales, soslayando además los ya comentados problemas que existen para la medición continua de los fenómenos torrenciales.

Debe señalarse también, y no obstante, que este método debe aplicarse dentro de la validez de las hipótesis en las que se basa:

1) Se trata de un simple desarrollo numérico de la teoría de García Nájera sobre la pendiente de compensación, que se asume en su integridad en esta comunicación, salvo la mínima corrección de usar el coeficiente de Manning en lugar del de Bazin, modificación muy frecuente en la actualidad, y que se justifica por el mejor conocimiento del significado físico y el rango de variación de su coeficiente "n" (MINTEGUI, 1993). Esta teoría, a pesar de los años transcurridos desde que se formuló, y de que sin duda presenta ligeras imprecisiones y algunos aspectos mejorables (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1993) continúa siendo muy usada, incluso para las aplicaciones informáticas actuales (TARIFA et al., 2010). Ello se debe en gran parte a que cuenta con unas sólidas bases físico-matemáticas, a que huye del empirismo, y a que es sencilla y práctica, puesto que se basa en coeficientes y fórmulas de hidráulica general muy conocidas y aceptadas, disponibles en la bibliografía de referencia. Ello está muy acorde con los objetivos planteados para esta comunicación de ofrecer un método de cálculo aproximado, sencillo y práctico.

2) La hipótesis de cauces anchos no resulta aplicable a todos los cursos torrenciales (presenta particulares dificultades en el caso de los cauces con una fuerte incisión lineal); ni a todos los tramos de estos cursos.

## 6. Conclusiones

Se proponen las siguientes conclusiones:

- El estudio de cuál ha sido el funcionamiento de las hidrotecnias de corrección (especialmente, de los diques transversales) que llevan años instaladas en los cursos torrenciales parece una interesante vía de investigación para avanzar en la comprensión del fenómeno torrencial y para mejorar la redacción de los proyectos de corrección de ese tipo de cauces.
- En particular, el desarrollo de metodologías que se basen en datos realmente obtenidos en dichos diques o hidrotecnias permitiría superar algunas de las limitaciones de las fórmulas basadas en condiciones experimentales, o en cauces fluviales, y es una buena alternativa para evitar las serias dificultades prácticas que presenta la medición del fenómeno torrencial.
- El método propuesto en esta comunicación permite el cálculo aproximado de la fuerza límite a partir del dato de la pendiente de compensación realmente alcanzada en un dique ya aterrado que esté situado en un cauce que tenga condiciones análogas o parecidas al que interese.
- Este método presenta la ventaja de ser independiente de las características de los materiales del lecho, lo que simplifica la redacción de los estudios y proyectos, y también evita los problemas que

hay, sobre todo en torrentes pirenaicos, para identificar el origen de los materiales que se hallen en los lechos, puesto que no todos ellos proceden de transporte por los caudales líquidos.

- La validez del método está ligada a la de la teoría de la formación de la pendiente de compensación propuesta por García Nájera, y es aplicable (al menos con la formulación aquí expuesta), sólo a cauces que puedan considerarse anchos.

## 7. Bibliografía

BAGNOLD, R.A.; 1980. An empirical correlation of bedload transport rates in flumes and natural rivers. *Proceedings of the Royal Society of London* 1751 : 453-473.

BETTES, R.; 2002. A review of predictive methods for general scour. En: First International Conference on Scour of Foundations, pp. 162-174. Texas A&M University. College Station, Texas, USA.

CARSON, M.A.; GRIFFITHS, G. A.; 1987. Bedload transport in gravel channels. *Journal of Hidrology New Zealand* 26(1), 1-151.

DU BOYS, M.P; 1879. Études du régime et l'action exercé par les eaux sur un lit à fond de graviers indefinimnet affouiable. *Annals des Ponts et Chaussées* 5 (18) : 141-195.

EINSTEIN, H.A.; 1950. The bed load function for sediment transportation in open channel flows. U. S. Department of Agriculture and Soil Conservation Service. Washington D.C.

GARCÍA, C.; SALA, M.; 1998. Aplicación de fórmulas de transporte de fondo a un río de gravas. Comparación con las tasas reales de transporte obtenidas en el río Tordera. *Ingeniería del agua*, 5 (1): 59-72.

GARCÍA NÁJERA, J.M.; 1962. Principios de hidráulica torrencial. Su aplicación a la corrección de torrentes. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 350 pp. Madrid.

HAGER, W. M., 2010. Wastewater Hydraulics. Theory and Practice. 2<sup>nd</sup> Edition. Springer-Verlag. 651 pp. Berlin-Heidelberg.

HERNÁNDEZ, E.; MARTÍNEZ, M. y ROMERO, A.; 2004. Método de determinación del volumen de sedimentos retenidos en diques de corrección hidrológica. En: BENITO, G.; DIEZ, A. (eds.). Riesgos naturales y antrópicos en Geomorfología, pp.201-210. Sociedad Española de Geomorfología y CSIC. Madrid.

HJULSTROM, F; 1935. The morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. *Bulletin of Geological Institute of Uppsala* 25: 221-527.

LAUCLAN, C.; MAY, R.; 2002. Comparison of general scour prediction equations for river crossings. En: First International Conference on Scour of Foundations, pp. 184-197. Texas A&M University. College Station, Texas, USA.

LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. (Dir.), 1998. Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión. Ministerio de Medio Ambiente, TRAGSA, TRAGASATEC y Mundi-Prensa. 945 pp. Madrid.

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; 1993. Revisión e informatización del modelo de García Nájera para estimar la pendiente de compensación y el caudal generador del lecho. En: SILVA-PANDO, F.J. ; VEGA, G. (Eds.): Congreso Forestal Español Lourizán 1993. Tomo III, 97-102. Xunta de Galicia y Sociedad Española de Ciencias Forestales. Vigo (Pontevedra).



MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; FERNÁNDEZ DE VILLARÁN, R.; SESEÑA, A.; MÉNDEZ, C.; DÍEZ, J.M.; NAVARRO, J.; VARELA, J.M.; 2002. Metodología para la inventariación de diques forestales gavionados. Aplicación en la provincia de Palencia. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 13: 171-181.

MINTEGUI, J.A; 1993. Homenaje al Dr. J. M. García Nájera. En: SILVA-PANDO, F.J. ; VEGA, G. (Eds.): Congreso Forestal Español Lourizán 1993. Tomo I, 23-44. Xunta de Galicia y Sociedad Española de Ciencias Forestales. Vigo (Pontevedra).

PARKER, G.; KLINGEMAN, P. C.; McLEAN, D.C.; 1982. Bedload and size distribution in paved, gravelbed streams. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division* 108: 544-571.

PÉREZ-SOBA, I.; 2002a. Conclusiones hidrológicas de la evaluación de diques de corrección hidrológico-forestal. *Ingeniería Civil* 126: 93-98.

PÉREZ-SOBA, I.; 2002b. Consideraciones sobre el cálculo por comparación de la pendiente de compensación en la corrección hidrológico-forestal. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 13: 153-158.

RAMOS, I; NAVARRO, J.; BARTOLOMÉ, D.; DÍAZ, V; MONGIL, J.; 2013. Control de sedimentos y erosión en la restauración hidrológico-forestal de Saldaña (Palencia). En MONTERO, G.; GUIJARRO, M. et alii (eds.): Actas del Sexto Congreso Forestal Español. CD-Rom. 6CFE01-269. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Pontevedra.

ROMERO, M.A.; 2008. Los diques de corrección hidrológica como instrumentos de cuantificación de la erosión. *Cuadernos de investigación geográfica* 34: 83-99.

SCHOKLITSCH, A; 1934. Der geschiebetrieb und die geschiebefracht. *Wasserkraft Wasserwirtschaft* 4: 1-7.

STRICKLER, A.; 1923. Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. Bern Sekretariat d. eidg. Amtes f. Wasserwirtschaft.

TARIFA, E.; FRANCO, S.; ROBREDO, J.C.; MINTEGUI, J.A.; 2010. Desarrollo de una aplicación informática para cálculos hidrológicos. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA2010*: 409-414.

WOHL, E.; 2013. Mountain rivers revisited. American Geophysical Union. 573 pp. Colorado, USA.