

## 5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

### 5.1 Lecho Granular Suelto

Para verificar la influencia de la forma de la sección transversal en el transporte de sedimentos, se realizaron experiencias con arena en forma similar a los experimentos de erosión, pero con tensiones tractoras mayores que los valores críticos. Se pudo observar un movimiento generalizado de las partículas del lecho. Para mantener un equilibrio de sedimentos en el lecho del canal, se alimentaba con arena del mismo tipo en una sección aguas arriba, mediante un cono vibrador.

Aunque la investigación estaba dirigida principalmente al estudio del inicio del movimiento de las partículas del lecho del canal, se pudo observar formaciones similares (ondulaciones y dunas) a las que se presentan en canales de sección rectangular, durante el transporte de sedimentos.

### 5.2 Lecho Rígido

Debido a que en la práctica se ha observado que los colectores de alcantarillado, en su mayoría contienen una base de sedimentos (Crabtree, 1988), se decidió llevar a cabo experimentos de transporte de sedimentos sobre un fondo fijo (a lo largo de todo el canal se tiene un fondo falso).

El criterio utilizado fue de determinar cual es la capacidad máxima de transporte de sedimentos de un escurrimiento sin que se observen formaciones de sedimentos sobre el fondo fijo. Esto se lograba en el laboratorio aumentando gradualmente la alimentación de arena a un escurrimiento uniforme. Es decir se empleó el criterio de la deposición límite, que como su nombre lo indica limita la tensión tractora mínima necesaria para evitar que las partículas se depositen sobre el lecho del canal.

Se usó el canal de 154 mm con 40.8 mm de fondo falso y los resultados indicaron que las tensiones tractoras mínimas son menores (Fig. 8) que aquellas correspondientes a canales rectangulares (Nalluri y Mayerle, 1989).

También se realizaron experimentos similares con sedimentos cohesivos. Para poder hacer esto fue necesario diseñar un alimentador de sedimentos cohesivos especial. El alimentador consistía en un cilindro de acero con un pistón, accionado por un motor eléctrico, un cortador de pasta y una excéntrica que hacía vibrar el cilindro para evitar que se atasara. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas con los resultados obtenidos con sedimentos no cohesivos, lo cual indica que los sedimentos cohesivos una vez en movimiento no se diferencian de los sedimentos granulares, pues el aditivo cohesivo es lavado y diluido en el agua.

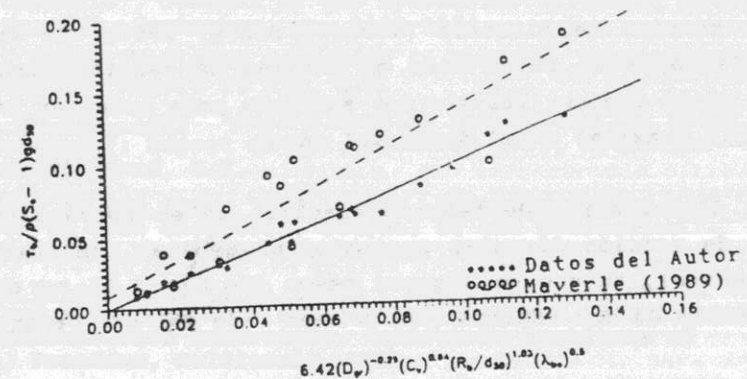


FIGURA 9: Transporte de Sedimentos (Límite de Deposición)

## 6. CONCLUSIONES

En el estudio (Alvarez, 1991) se determinaron, aunque en forma limitada, las características hidráulicas de los escurrimientos en colectores de alcantarillado de sección circular con fondo plano (lecho de sedimentos consolidados, con muchas probabilidades de formarse durante los períodos de caudales mínimos). Se determinaron las tensiones tractoras críticas de sedimentos granulares y de sedimentos cohesivos de diversos grados de cohesión. Además se obtuvieron relaciones para el transporte de sedimentos (cohesivos y no cohesivos) en este tipo de canales.

Las principales conclusiones del estudio se pueden enumerar como:

- 1) El criterio de Shields para el inicio del movimiento de partículas de sedimento granular, no es aplicable en un canal de sección circular con fondo plano, pues estas partículas comienzan a moverse para valores de la tensión tractora menores que los que predice la curva de Shields.
- 2) La técnica de Einstein (Vanoni, Brook, 1957), de separación del efecto de la pared lisa en canales de sección circular con fondo plano rugoso, resultó ser adecuada para calcular la tensión tractora (máxima) en el fondo del canal.
- 3) La distribución de tensión tractora en el fondo plano de un canal de sección circular presenta, en general, un máximo en el eje central, aunque en algunos casos ( $Y_0/D < 0,5$ ) se observó la existencia de dos máximos (uno a cada lado del eje central).
- 4) La intensidad de turbulencia es máxima cerca del fondo del canal y es proporcional a la rugosidad del lecho y a la altura relativa de aguas.

- 5) Los valores críticos de tensión tractora de sedimentos depositados en alcantarillados (británicos) alcanzan valores de  $2,5 \text{ N/m}^2$  para sedimentos muy frescos (deposición reciente), y de  $7 \text{ N/m}^2$  para sedimentos levemente consolidados.

## REFERENCIAS

- 1) Alvarez, E.M., 1991, "The Influence of Cohesion on Sediment Movement in Channels of Circular Cross-section", PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Newcastle upon Tyne, U.K.
- 2) Crabtree, R. W., 1988 "A Classification of Combined Sewer Sediment Types and Characteristics", WRC, Swindon, U.K.
- 3) Graf, W. H., 1971 "Hydraulics of Sediment Transport". McGraw Hill series in Water Resources and Environmental Engineering.
- 4) Nalluri, C. and Alvarez, E., 1987 "Erosion of Cohesive Sediment Beds in Open Channels", Euromech 215: Mechanics of Sed. Transp. in Fluvial and Marine Environment, Genoa, Italy.
- 5) Nalluri, C., Alvarez, E.M. and Kleijwegt, R., 1989 "Initiation of Sediment Movement in Sewers", IAHR XXIII Congress, Canada.
- 6) Nalluri, C. and Mayerle, R., 1989 "Sediment Transport with no Deposition in Rigid Boundary Channels", IAHR XXIII Congress, Ottawa, Canada.
- 7) Novak, P. and Nalluri, C., 1975 "Sediment Transport in Smooth Fixed Bed Channels", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 101, No. HY9, September, pp. 1139-1154.
- 8) May, R., 1982 "Sediment Transport in Sewers". Hydraulic Research Station, Report IT 222, U.K.
- 9) May, R. et al., 1989 "Self-cleansing Conditions for Sewer Carrying Sediment". Report SR 221, December 1989, Hydraulic Research, Wallingford, U.K.
- 10) Replogle, A. and Chow, V. T., 1966 "Tractive Force Distribution in Open Channels". Journal of the Hydraulics Division, Proc. of the ASCE, HY2, March, pp. 169-191.
- 11) Vanoni, V. and Brooks, N., 1957 "Laboratory Studies of the Roughness and Suspended Load of Alluvial Streams", Final Report No. E68, Sedimentation Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, USA.
- 12) Williams, D. J. A., Williams, P. R. and Crabtree R. W. 1989, "Preliminary Investigation into the Rheological Properties of Sewer Sediments and the Development of a Synthetic Sewer Sediment Material for Laboratory Studies". FR 0016, Foundation for Water Research, Medmeham U.K..

ESTUDIO SOBRE LA PENDIENTE DE COMPENSACION EN LOS TORRENTES  
INTERVENIDOS DEL CERRO DIVISADERO, COYHAIQUE, XI REGION

ANDRÉS IROUMÉ A.

RESUMEN

El establecimiento de una pendiente de equilibrio o de compensación mediante la construcción de una serie de diques, resulta fundamental en la corrección de un torrente ya que permite consolidar el fondo del cauce y el pie de las laderas. La localización de cada dique queda determinada, entre otros, por la pendiente de compensación esperada, ya que debe quedar emplazado en el punto donde termina el aterramiento del que se ubica inmediatamente aguas abajo. Por esto, una adecuada estimación de la pendiente que adquirirá el perfil del torrente luego de la intervención tiene una gran relevancia técnica y económica.

Se estudiaron las pendientes de los depósitos producidos por los diques de corrección construidos en los torrentes del Cerro Divisadero, Coyhaique, XI Región. Las pendientes de compensación resultaron superiores a la utilizada para diseñar los sistemas de corrección y localizar las estructuras. La pendiente de diseño fue estimada a partir de modelos empíricos.

Para los sectores estudiados, que corresponden a tramos de cauces ubicados aguas arriba de diques de corrección construidos en los torrentes Los Coigües y Los Saltos, se trató de establecer relaciones entre las pendientes de compensación y algunas características de las obras y de los cauces antes de la intervención.

La pendiente de los depósitos después de la intervención resultó significativamente relacionada con la pendiente original de los cauces. Las ecuaciones obtenidas pueden servir para estimar las pendientes de los aterramientos en otros proyectos de corrección del área. Sin embargo, estas ecuaciones deberán ser verificadas en el futuro.

## INTRODUCCION

En la corrección de torrentes, la construcción de diques transversales para la corrección de torrentes permite consolidar el perfil longitudinal del cauce y el pie de las laderas (García y de Ayerbes, 1962; Benini, 1981; Hattinger, 1981). Los materiales acarreados por las aguas son retenidos por los diques, formándose depósitos que elevan el perfil natural del cauce aguas arriba de las estructuras.

Estos depósitos adquieren una pendiente menor que la pendiente original del cauce, cuyo valor está ligado a la geometría del lecho torrencial, a la granulometría de los materiales, a las características hidráulicas de la corriente y a las condiciones de las obras (Ferro, 1986). La nueva pendiente, llamada pendiente de compensación, corresponde a un estado de equilibrio de modo que el volumen de material que deja una sección del cauce hacia aguas abajo es igual al que llega desde aguas arriba (García y de Ayerbes, 1962).

La localización de cada dique está determinada por la posibilidad de fundación existente en el cauce, la altura efectiva de la obra aguas abajo y la pendiente de compensación esperada (Heede, 1976). Puesto que cada dique debe quedar emplazado en el punto donde termina el aterramiento del que se ubica inmediatamente aguas abajo, una adecuada estimación de la pendiente que adquirirá el perfil del torrente luego de la intervención tiene una gran relevancia técnica y económica (Della Lucia et al., 1980; Della Lucia e Fattorelli, 1981).

Para estimar la pendiente de compensación se pueden emplear alguno de los numerosos modelos basados en supuestos teóri-

cos, o derivados de deducciones analíticas, observaciones empíricas o de experiencias sobre modelos. Entre éstos destacan los propuestos por Thierry (1891), Lelli (1928), Romiti e Romiti (1957), García y de Ayerbes (1962), Hampel (1977) y Ferro (1986), entre otros. Sin embargo, la mayoría de estos modelos requiere, para su aplicación, de la cuantificación de parámetros en forma experimental en laboratorios o en terreno, o de la estimación de variables que son difícilmente definibles en un curso de agua torrencial, como son por ejemplo el caudal máximo, el radio hidráulico y la cantidad y tipo de sedimentos arrastrados.

Por otra parte, es también posible utilizar modelos derivados de observaciones y mediciones en cauces intervenidos. Entre estos se pueden mencionar los desarrollados por Valentini (1895), Ferrell (1959), Heede (1960, 1976), Woolhiser and Lenz (1965), Ferrell and Barr (1963), Falciai et al. (1977, 1978), Della Lucia et al. (1980) y Della Lucia e Fattorelli (1981). Estos autores han encontrado relaciones entre la pendiente de compensación producida después de la intervención del torrente, como variable dependiente, y algunas características del lecho (pendiente original, ancho), de los materiales arrastrados (dimensiones del material), de la corriente (radio hidráulico, caudal máximo) o de las estructuras (altura útil, separación), como variables independientes.

Sin embargo, los modelos de este último grupo requieren, para su formulación, disponer de antecedentes sobre cauces torrenciales intervenidos. Esta situación no es común en Chile, donde tal vez el único sistema de diques de consolidación que se ha construido corresponde al del Proyecto de Corrección de Torrentes

del Cerro Divisadero, ubicado cerca de la ciudad de Coyhaique en la XI Región (CONAF, 1974; Griott, 1990).

El catastro y la evaluación de las obras de corrección construidas en los torrentes del cerro Divisadero, han proporcionado información respecto a características de las obras, del cauce y del sistema torrencial en general (Griott, 1990; Iroumé y Gayoso, 1991). Aprovechando esta información, ha sido posible cuantificar la pendiente de los aterramientos y establecer relaciones entre la pendiente de compensación y la pendiente natural del cauce, la altura útil de los diques y el ancho del cauce.

En este trabajo se presentan los resultados de este análisis y las relaciones obtenidas. Estas proporcionan un modelo confiable y de fácil aplicación para estimar las pendientes de compensación, que puede servir para diseñar las obras y sistemas de futuros proyectos de corrección de torrentes en el área.

#### AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se enmarca dentro de las 1779 ha que abarcó el proyecto de Corrección de Torrentes del Cerro Divisadero, las que se ubican en la ladera N.O. del cerro, a 72°4' Oeste y 45°36' Sur.

El clima en el área es del tipo continental transandino con degeneración esteparia (Casassa, 1985). La precipitación y la temperatura media anual son de 1133 mm y 9°C, respectivamente (Griott, 1990).

En los sectores de menor altitud del área aparece la formación geológica Coyhaique que corresponde a sedimentos marinos, mientras que en las cumbres se hace presente la Formación Divisadero que tiene carácter volcánico (CONAF, 1974; IREN, 1979). En

las terrazas donde se ubica la ciudad de Coyhaique los suelos son de tipo trumao, y en los sectores más elevados del cerro Divisadero se presentan principalmente regosoles y latisoles.

La red de drenaje la forman cuatro torrentes: en el sector más oriental del cerro está el torrente El Carbón con una cuenca de 1101 ha; en la parte central del cerro está el torrente Los Coigües con una cuenca de 105 ha; a continuación está el torrente Los Saltos con un área tributaria de 185 ha; finalmente, está el torrente Mackay que nace en la parte más occidental del cerro Divisadero y tiene un área tributaria de 293 ha. Los lechos de estos torrentes coinciden con las líneas de fallas geológicas, por lo que su poder erosivo es elevado (Espinoza, 1978).

Los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay han sido intervenidos desde el año 1975, después que una serie de aluviones ocurridos entre 1967 y 1974 afectaron zonas urbanas y rurales cercanas a la ciudad (Griott, 1990). De acuerdo a Iroumé y Gayoso (1991), entre 1975 y 1979 se construyeron 72 diques en los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay. De estos, 24 son de mampostería de gaviones, 13 de mampostería de trozas y 35 de trozas preaterrados. Entre 1987 y 1988 se construyeron en el torrente Los Coigües tres diques adicionales: dos de mampostería de gaviones y uno de retenida parcial.

#### MATERIAL Y METODO

Los tramos de lechos torrenciales seleccionados para el análisis corresponden a los ubicados aguas arriba de los diques construidos en los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay.

Durante el catastro y la evaluación de las obras realizados por Griott (1990) e Iroumé y Gayoso (1991), se midió directa-

mente las pendientes de compensación de los aterramientos, las alturas útiles de los diques y los anchos del cauce en los lugares de ubicación de estos últimos. Las pendientes originales de los cauces fueron definidas a partir de los perfiles longitudinales de los torrentes realizados por CONAF (1974), y corroboradas con mediciones en terreno.

Puesto que se pretendía encontrar una relación entre la pendiente de compensación y algunas características de los cauces y de los diques, se eliminó del análisis aquellos tramos que presentaban condiciones que pudieran alterar la pendiente de los aterramientos. Por esto, no se consideraron los tramos ubicados aguas arriba de diques construidos con posterioridad a 1979, de diques que presentaban fallas estructurales, y de los diques preaterrados. También se descartaron los sectores dónde los aterramientos aparecían afectados por deslizamientos de laderas.

En la Tabla 1 se presenta los datos de los 30 tramos seleccionados, que se ubican en los torrentes Los Coigües y Los Saltos.

La metodología empleada en este análisis está destinada a individualizar un modelo que permita expresar mediante una ecuación matemática, la relación entre la pendiente de compensación  $J$  (como variable dependiente) y una o más variables independientes. Como variables independientes se han seleccionado:

$I$  = pendiente original del cauce.

$H$  = altura útil del dique.

$W$  = ancho del cauce en el lugar de ubicación del dique, medido a la altura del umbral del vertedero.

La selección de  $I$ ,  $H$  y  $W$  se basó tanto en la calidad de

los datos obtenidos por el catastro de Griott (1990), como por los resultados de análisis similares realizados por otros autores (Della Lucia et al., 1981; Woolhiser and Lenz, 1965; Heede, 1960, 1976), que permiten concluir que son sin duda estas tres variables las que en mayor grado permiten predecir la pendiente de compensación.

Para adaptar el modelo, se utilizó en primer lugar la relación propuesta por Woolhiser and Lenz (1965):

$$J/I = \alpha + \sum_{i=1}^3 \beta(i) X(i) \quad (1)$$

Adicionalmente, se consideraron los siguientes dos modelos:

$$J = \alpha + \sum_{i=1}^3 \beta(i) X(i) \quad (2)$$

$$J = \alpha \prod_{i=1}^3 X(i)^{\beta(i)} \quad (3)$$

En las tres ecuaciones,  $J$  es la pendiente de compensación,  $I$  o  $X(1)$  la pendiente original del cauce,  $X(2)$  la altura útil del dique y  $X(3)$  el ancho del cauce en la ubicación del dique. Los modelos de las ecuaciones 1 y 2 son lineales, y el modelo geométrico de la ecuación 3 lo es intrínsecamente puesto que es linealizable utilizando logaritmos.

Para definir las expresiones de los modelos representados por las ecuaciones 2 y 3, se realizó un análisis de regresión paso a paso.

## RESULTADOS

Tal como se aprecia en el Cuadro 1, la pendiente de compensación en los tramos analizados varió entre 3.2 y 17%, con una

media de 9.8%. Estos valores son todos superiores al 2.2%, que fue la pendiente de compensación utilizada por CONAF (1974) durante el diseño de los sistemas de corrección para determinar la separación entre diques. Esta pendiente de diseño fue estimada a partir de la fórmula propuesta por García Nájera (García y de Ayerbes, 1961; López y Blanco, 1976).

Esta subestimación de la pendiente de compensación se debe sin duda a la gran dificultad de valorar en cauces torrenciales algunos de las variables requeridas por la fórmula de García Nájera, tales como caudal máximo y carga de sedimentos. Esta situación limita la utilización de este tipo de modelos.

La aplicación del modelo propuesto por Woolhiser and Lenz (1965), dio la siguiente relación para los 30 tramos considerados:

$$J/I = 0.5257 - 0.0396 H - 0.0012 W \quad (r^2=0.069) \quad (4)$$

Se aprecia en la ecuación 4 la escasa influencia de H y W sobre el cociente J/I, y el valor del coeficiente de determinación indica que el valor de J/I se reduce en la práctica a la constante  $\alpha$ .

Esta situación se confirma con los resultados del análisis de regresión paso a paso para definir los modelos lineal y geométrico de las ecuaciones 2 y 3. Considerando el modelo lineal de la ecuación 2, el resultado para los 30 tramos es el siguiente:

$$J = -3.954 + 0.586 I \quad (r^2=0.832) \quad (5)$$

mientras que para el modelo geométrico de la ecuación 3, la relación es:

$$J = 0.0966 I^{1.453} \quad (r^2=0.855) \quad (6)$$

En ambos casos, el valor de  $r^2$  es estadísticamente significativo a un nivel de confianza de 0.01.

Estos resultados confirman a Ferrel (1959), Ferrel and Barr (1963), Heede (1960, 1966, 1976), Iwao (s/f) y Della Lucia et al. (1980), quienes afirman que la variación de J se explica principalmente por la variación de I.

Adoptando el modelo lineal de ecuación 5 y forzándolo a pasar por el origen, la ecuación 5 se transforma en:

$$J = 0.427 I \quad \text{o} \quad J/I = 0.427 \quad (7)$$

El coeficiente de determinación de la ecuación 7 es 0.767, y también es estadísticamente significativo a un nivel de 0.01. Como primera aproximación, el cociente  $J/I = 0.427$  podría adoptarse para estimar las pendientes de compensación en el área.

Para torrentes de la vertiente oriental de las Rocky Mountains, Heede (1960) encontró valores entre 0.5 y 0.65 para la razón J/I. Este mismo autor (Heede, 1966) propone un valor de 0.7 para los torrentes de la vertiente oriental de las Rocky Mountains. Entre los servicios de corrección de torrentes, Los Angeles County Flood Control District (Ferrel 1959, Ferrel and Barr, 1963) utiliza un valor para el cociente J/I igual a 0.7, el Departamento de Corrección de Torrentes del Ministerio de Construcción del Japón (Iwao, s/f) entre 0.5 y 0.75, y la Azienda Speciale di Sistemazione Montana de Trento, Italia, entre 0.59 a 0.77 (Della Lucia et al., 1980).

De acuerdo a Della Lucia et al. (1980), los menores valores del cociente J/I se asocian a torrentes altamente erosionables. El valor encontrado en este estudio confirma la característica de extremadamente erosivo que representa la situación de los torrentes del Cerro Divisadero.

Estas ecuaciones deberán verificarse en el futuro, ya que

a pesar que las relaciones obtenidos entre pendientes de compensación y pendientes originales de los cauces son estadísticamente significativas, la edad de las obras al momento del catastro (12 años como máximo) es inferior a los 15 años recomendados por Heede (1976) para efectuar este tipo de análisis. Este autor propone este plazo como resultado de un estudio realizado en Texas, U.S.A., dónde para un sistema de corrección de 9 años de edad no obtuvo ninguna relación entre J e I.

#### CONCLUSIONES

Las pendientes de compensación medidas en los torrentes del Cerro Divisadero son mayores a las estimadas mediante modelos empíricos. Esto confirma la dificultad de estimar correctamente las pendientes de los aterramientos con este tipo de modelos, ya que requieren de antecedentes tales como forma de las secciones, tipo y cantidad de los materiales de arrastre, y caudales, entre otros, que son difícilmente obtenibles en cauces torrenciales.

Este estudio ha permitido encontrar relaciones simples entre las pendientes de los aterramientos y las pendientes originales de los cauces, que pueden servir para estimar las pendientes de compensación requeridas para el desarrollo de proyectos de corrección de torrentes en el área.

Las relaciones deberán verificarse en el futuro, puesto que la edad de las obras al momento del catastro es inferior a los 15 años recomendados para efectuar este tipo de análisis.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a don Sigfried Griott B. y a la Corporación Nacional Forestal, quienes hicieron posible la realización de este estudio.

#### REFERENCIAS

- Benini, G. 1981. Sistemazioni idraulico - forestali. Tercera Ed. Cooperative Libreria Editrice Degli Studenti dell'università di Padova, Padova, Italia, 217 p.
- Cassasa, G. 1985. Clasificación del clima en la Región Austral de Chile. *Trapananda*, 8(5): 174-175.
- CONAF. 1974. Proyecto corrección de torrentes Cerro Divisadero. Corporación Nacional Forestal, Santiago, Chile. 82 p.
- Della Lucia, D., S. Fattorelli, D. Nardin, C. Provasi e R. Tomasetti. 1980. Ricerca sulla determinazione della pendenza di compensazione nei torrenti del Trentino. Azienda Speciale di Sistemazione Montana, Provincia Autonoma di Trento, Trento. 25 pp.
- Della Lucia, D. e S. Fattorelli. 1981. Nuovo metodo per la stima della pendenza dopo la sistemazione nei torrenti del Trentino. In Proc. Convegno Internazionale su Problemi Idraulici nell'Assetto Territoriale della Montagna, Milano. 13 pp.
- Espinoza, G. 1978. Situación actual de los deslizamientos de tierras en el cerro Divisadero. Pontificia Universidad Católica de Chile, Centro de Capacitación para Ayudantes en Investigación, Santiago, Chile, 20 p.
- Falciai, M., A. Giacomini, G. Silvagni e G. Tonnetti. 1977. Sul pendio di stabilimento di alcuni alvei torrentizi. *Annali Accademia di Scienze Forestali*, 26:107-130.
- Falciai, M., G. Calamini e G. Silvagni. 1978. Ricerca sul pendio di stabilimento di alcuni torrenti della Val de Sieve e dell'alto Arno. *L'Italia Forestali e Montana*, 33(6):257-267.
- Ferrel, W.R. 1959. Report on debris reduction studies for mountain watersheds. Los Angeles County Flood Control District. Los



- Angeles. 164 p.
- Ferrel, W.R. and W.R. Barr. 1963. Criteria and methods for use of check dams in stabilizing channel banks and beds. In Proc. Federal Inter-Agency Sediment Conference, USDA Miscellaneous Publication 970. 376-286.
- Ferro, V. 1986. Sulla pendenza di equilibrio nel tratto montano di un corso d'acqua. Quaderni di Idronomia Montana, 6:39-68.
- García, J. y J. de Ayerbes. 1962. Principios de hidráulica torrencial y corrección de aludes. Instituto Forestal de Investigación y Experiencias, Madrid, España, 350 p.
- Griott, S. 1990. Evaluación técnica de las obras de corrección de torrentes del Cerro Divisadero. Tesis, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Chile. 131 p.
- Hampel, R. 1977. Geschiebewirtschaft in Wildbachen. Wildbach und Lawinenverbau, 41(1):3-34. 41(2):53-144.
- Hattinger, H. 1981. Corrección de torrentes. Manual II: Hidráulica torrencial y obras de ingeniería. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida, Venezuela. 50 p.
- Heede, B. 1960. Study of early gully-control structures in the Colorado Front Range. USDA Forest Service, Station Paper N°55, 42 p.
- Heede, B. 1966. Design, construction and cost of rock check dams. USDA Forest Service, Research Paper RM-20, 24 p.
- Heede, B. 1976. Gully development and control: The status of our knowledge. USDA Forest Service, Research Paper RM-169. 42 p.
- IREN. 1979. Perspectivas de desarrollo de los recursos de la Región Aysén. Corporación de Fomento de la Producción, Santiago, Chile, 507 p.
- Iroumé, A. y J. Gayoso. 1991. Evaluación de las obras y sistemas de corrección de torrentes del Cerro Divisadero, Coyhaique. XI Región. Bosque (en prensa).
- Iwao, I. s/f. Sabo hydraulics. Sabo Department, Ministry of Construction, Tokyo, 106 p.
- Lelli, M. 1928. La regolazione dei corsi d'acqua naturali. Annali dei Lavori Pubblici, 66(2):150-158.
- López, F. y M. Blanco. 1976. Hidrología forestal. I Parte. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Sección de Publicaciones, Madrid, 387 p.
- Romiti, G. e A. Romiti. 1957. Sistemazione dei bacini montani UTET, Torino, 193 pp.
- Thierry, E. 1891. Restauration des montagnes, correction des torrents, reboisement. Baudry et C. Libraires Editeurs, Paris.
- Valentini, C. 1895. Del modo di determinare il profilo di compensazione e sua importanza nelle sistemazioni idrauliche. Il Politecnico, 43(4):217-224.
- Woolhiser, D.A. and A.T. Lenz. 1965. Channel gradients above gully-control structures. J. of the Hydraul. Div., Proc. of the ASCE, 91(HY 3):165-187.

Ingeniero Civil, Profesor Asociado del Cátedra de Hidráulica, Departamento de Ingeniería, Universidad de Chile.

Ingeniero Civil, Profesor Asociado del Cátedra de Hidráulica, Departamento de Ingeniería, Universidad de Chile.

Tabla 1 Características de los tramos seleccionados

Torrente Los Saltos					Torrente Los Coigües						
Dique N°	Tipo	J %	I %	H m	W m	Dique N°	Tipo	J %	I %	H m	W m
1	MT	3.2	9.5	3.0	15.0	1	MT	8.2	21.2	3.0	12.0
2	MT	6.2	19.6	3.5	22.5	3	MT	14.0	23.8	3.2	16.1
3	MT	4.4	15.3	3.2	11.0	5	MT	11.7	25.9	2.8	14.0
4	MT	5.3	17.0	3.2	7.2	6	MG	13.7	28.7	2.5	8.6
5	MT	4.2	17.0	3.2	11.8	7	MG	17.0	31.4	2.7	6.8
6	MT	8.5	22.5	3.2	7.3	8	MG	9.4	25.9	3.0	7.7
7	MT	8.9	21.6	3.0	12.5	9	MG	11.0	21.7	3.0	7.8
8	MG	9.3	25.2	2.5	8.5	10	MG	14.0	28.3	3.0	7.9
10	MG	11.6	25.9	2.0	7.5	12	MG	12.4	27.3	3.0	8.0
11	MG	14.0	28.9	3.0	7.0	13	MG	6.9	19.6	3.0	7.8
12	MG	7.9	25.5	2.8	7.5	14	MG	11.3	28.1	1.5	6.0
13	MG	11.0	23.7	2.0	8.5						
14	MG	12.0	26.0	2.5	6.0						
15	MT	4.6	12.9	2.5	11.7						
16	MG	4.8	18.3	3.0	9.3						
17	MG	8.5	20.4	3.0	10.8						
19	MG	15.9	37.2	2.1	4.8						
21	MG	14.7	31.3	2.2	3.1						
22	MG	10.2	25.8	2.0	3.4						

MT = Dique construido en mampostería de trozas.  
 MG = Dique construido en mampostería de gaviones.  
 Numeración de diques según Griott (1990)

ARRASTRE DE FONDO EN LECHOS DE ALTA PENDIENTE Y CON SEDIMENTO GRUESO. REVISION Y ANALISIS DE METODOLOGIAS RECIENTES DE CALCULO

Alejandro López Alvarado <sup>1</sup>  
 Luis Ayala Riquelme <sup>2</sup>  
 Alejandro Domeyko C. <sup>3</sup>

RESUMEN

Se presenta una revisión de metodologías recientes de estimación del arrastre de fondo, propuestas por sus autores para ser aplicadas a lechos de granulometría gruesa. Se indican los antecedentes en los cuales se apoyan y se efectúa una unificación de todas ellas en una expresión similar, que permitió compararla con un único patrón de interpretación.

De esta revisión y comparación se establecieron los alcances y limitaciones de estas metodologías de reciente difusión.

- 1 Ingeniero Civil, Profesor Asociado del Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Ingeniería, Universidad de Chile.
- 2 Ingeniero Civil, Profesor Titular del Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- 3 Ingeniero Civil, Ex Ayudante de Investigación del Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.