



Diseño de obras de control de aluviones basada en simulación de procesos hidrológicos torrenciales en cuencas de la Patagonia



Ana Cecilia Dufilho¹, Federico Horne², Rodrigo Navedo³ & Gabriela Polla⁴

¹ Docente de Hidráulica e Hidrología Agrícola - Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue (UNC). CC85 - 8303 Cinco Saltos, Río Negro, Argentina. Fone: +54 299 4424867. Fax: +54 299 4982200. E-mail: cdufilho@uncoma.edu.ar, curileo@infovia.com.ar

² Ph.D. Docente en la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC

³ Colaborador Facultad de Ciencias Agrarias - UNC

⁴ Docente Facultad de Ciencias Agrarias - UNC

Protocolo 050 - 11/05/2000

Resumen: Fenómenos climáticos torrenciales que producen aluviones y grandes movimientos de sedimentos (bajo distintas formas) son muy frecuentes en la Patagonia Argentina. Los estudios para el diseño de obras de control se realizan en general, a través de fórmulas empíricas sin verificar su aptitud a las condiciones patagónicas. En el presente trabajo se utilizan modelos matemáticos sencillos para la simulación hidrológica de crecidas en cuencas con escasa información hidrometeorológica y nula instrumentación. Esta metodología requiere estimar la lluvia de diseño asumiendo un nivel de riesgo, evaluar la eficiencia de distintos planes de control mediante simulaciones de distintas alternativas de obras y seleccionar aquella de menor costo.

Palabras clave: control aluvional, lluvia de diseño, protección de áreas irrigadas

Design of alluvium control structures based on flash flood simulation in the Patagonia basins

Abstract: Climatic processes leading to flash flood and large sediment movements (under different forms) are very frequent in Patagonia, Argentina. Often, projects of small reservoirs and levees are based on empirical formulations without a verification of their aptitude to the local conditions. In the present work, simple flood mathematical models are used for hydrological simulation in basins with scarce precipitation and flood data. This methodology requires estimation of the design storm associated with a risk level. It allows simulation and evaluation of alternative control projects, facilitating the selection of the least cost control scheme.

Key words: flash flood control, storm design, irrigated area protection

INTRODUCCIÓN

En la Patagonia existen dos ambientes claramente diferenciados por su clima y su geomorfología. Por un lado la meseta extrandina de clima árido y relieve moderado y por otro la cordillera con mayores precipitaciones y relieve pronunciado. La respuesta de estos ambientes a precipitaciones extremas es pues, muy distinta. Mientras que la cordillera es susceptible a fenómenos de tipo "movimiento en masa" dado por el alto contenido de humedad de los suelos y las elevadas pendientes, en la zona de meseta predominan fenómenos de tipo "aluvional" en cauces secos que esporádicamente transportan agua y gran cantidad de sedimentos.

El objetivo principal de este trabajo es aplicar una metodología de estudio de cuencas áridas mediante modelos matemáticos que permiten el diseño de obras de control de aluviones. Se trata en general de pequeñas y medianas cuencas

(menores a 50 km²) de meseta que desaguan en la llanura aluvial de los valles productivos. El clima desértico condiciona la existencia de escasa vegetación lo cual facilita el transporte de grandes volúmenes de material durante las tormentas convectivas de verano.

Dado que este trabajo es metodológico, síntesis de la experiencia adquirida en la región, es que se describen cuencas "tipo" a través de sus características físicas más relevantes y representativas de la zona. Respecto a las estructuras de control diseñadas - que resultan variables de una cuenca a otra- se presentan criterios de selección de obras y se resumen los costos promedios estimados teniendo en cuenta el tipo de estructura y altura. Para obtener información más detallada de cada una de las 17 cuencas estudiadas en dos regiones de la provincia de Neuquén, las obras de control realizadas y el costo de cada una de ellas, el lector debe remitirse a los estudios específicos citados en las referencias bibliográficas (Dufilho et al., 1998; Horne et al., 1998; Dufilho & Horne, 1999).

La metodología está basada en el reconocimiento cartográfico-fotográfico de las cuencas, medición de parámetros in situ, análisis y elección de la lluvia de diseño, modelación matemática y optimización de la relación efecto-costos para obras de control con distintos materiales. Es una metodología adaptada a la escasez de información meteorológica y ausencia de datos de aforos de crecidas en pequeños cauces.

El control propuesto se basa en medidas estructurales pero, debe tenerse en cuenta futuras medidas de forestación en alta cuenca - cuando existan condiciones de humedad favorable - ya que son medidas correctoras más eficientes, de menor costo y más duraderas.

MATERIAL Y MÉTODOS

La Patagonia Exrandina se caracteriza por tener paisaje mesetiforme cortado por valles (O-E) de ríos alóctonos que nacen en la Cordillera de los Andes. Las terrazas -con niveles desde 50 a 400 m.s.n.m - están surcadas por cauces -solamente activos durante tormentas - que desembocan en los valles fluviales o en cuencas endorreicas. De acuerdo a la frecuencia y duración de las crecidas pueden compararse con los «uadi» del Magreb y Arabia. Tienen alguna similitud con los «arroyos» norteamericanos y con las «ramblas» del País Valenciano (Segura Beltrán, 1990). La ausencia de escorrentía superficial se debe casi exclusivamente a condiciones climáticas y poco a cuestiones litológicas o estructurales como sucede en otros ambientes.

La precipitación media anual oscila entre 200 a 500 mm, con lluvias distribuidas en invierno y en verano. La zona se caracteriza por fuertes vientos, especialmente en primavera, del sector Oeste - Sur Oeste. El desarrollo de la vegetación es xerófila, característica de la Región fitogeográfica de monte.

En los valles predominan Entisoles de distintas texturas aptos para la realización de la actividad agrícola con suministro de riego. En la meseta se encuentran Aridisoles con suelos de poco espesor, pedregosos y alto porcentaje de calcáreo y yeso; tienen alta permeabilidad en algunos sectores y en otros disminuye por presencia de horizontes endurecidos (petrocálcico).

La morfología de los cursos fluviales efímeros es de tipo *braided* (sinuosidad < 1,5 de acuerdo a la clasificación de Leopold et al. (1964), típicos de climas áridos, con descargas extremas y de rápida variación y vegetación escasa. Transportan gran cantidad de materiales como carga de fondo que junto con la falta de competencia local de la corriente - por pérdida de caudal y fluctuación de la descarga - serían los factores principales en la formación de las típicas barras de arenas o gravas (Fahnestock, 1963). Las barras caracterizadas en los cauces son de tipo longitudinal, transversal y de punta (point bar); la ausencia de barras diagonales indica que se trata de lechos inestables que se modifican en cada crecida (Smith, 1974).

En estos cauces se distinguen dos zonas bien diferenciadas unidas por una de transición:

- Cabecera con pendiente mayor al 10%, baja relación ancho/profundidad y con tendencia erosiva.

- Zona baja con pendiente menor al 10%, alta relación ancho/profundidad - favorecida localmente por márgenes fácilmente erosionables -, con tendencia al aluvionamiento generalizado.

Información base y relevamientos.

Analizando fotografías aéreas, cartas topográficas e imágenes satelitales se delimitan las cuencas y se reconocen las características fisiográficas e hidrográficas. Mediante Autocad o GIS se cuantifican las variables de mayor interés - en la determinación de parámetros empleados por el modelo matemático: superficie de las cuencas, longitud a la divisoria de aguas, longitud de cauces, densidad de drenaje superficial, vegetación y suelos. Con pares estereoscópicos se miden pendientes, altura de taludes y ancho de cauces. Toda esta información es, posteriormente, chequeada en el campo.

Como se mencionó, la ausencia de instrumentación en las cuencas, obliga a reconstruir las características de las crecidas - volumen, caudal, cotas -. De los diversos métodos existentes para reconstruir paleocrecidas (Salas et al, 1992), se utilizaron dos, en forma complementaria, que son adecuados para eventos extremos: indicadores de cotas y datos históricos. Los indicadores de altura alcanzada que se relevan en el campo son estructuras de erosión (sobretudo líneas de corriente) y de deposición (depósitos finos de aguas quietas son los más conspicuos). El análisis histórico se realiza mediante información de los pobladores del lugar, principalmente de altura alcanzada por el agua y duración e intensidad de tormentas. Esta información se complementa con medidas hidráulica de los canales (dimensiones, pendiente) y de sedimentos del cauce (métodos de competencia del flujo), a efecto de estimar caudales circulantes y velocidades de flujo. Es necesario recordar los problemas de muestreo que se presentan debido a la granulometría y su variabilidad. En ríos perennes, la evolución de la granulometría de los materiales de los cauces con abundante carga de fondo, tiene una forma exponencial - decreciendo hacia la desembocadura - según Leopold (1964). Aunque no existen muchos estudios en ríos efímeros, en general se acepta que esta relación no se cumple y tampoco que la distancia recorrida mejora la clasificación. Por lo tanto no parece relevante realizar determinaciones granulométricas.

La estructura en terrazas permite realizar trasvases a cuencas - que disponen de elementos de conducción adecuadas para evacuar las crecidas - con pequeñas obras y con poco movimiento de suelos para conformar canales de conducción. La factibilidad técnica de trasvasar parte de las crecidas se verifica mediante topografía de detalle y perfiles en el área de interés. Esta topografía debe servir además para el cálculo de movimiento de suelos y para la estimación de tiempos de las tareas implicadas y sus costos. Es necesario evaluar el impacto ambiental de estos diques y canales.

En aquellas zonas productivas que están protegidas por canales periféricos (canalizaciones) se evalúa el caudal máximo transitable a fin de incluirlos en la simulación de planes de control como restricción en el caudal erogado por los diques. La capacidad máxima del canal se estima a través de medición de secciones de flujo en varios puntos, pendiente (S) y calculando velocidad del flujo mediante través de Manning:

$$V = \left(\frac{1}{n} \right) R^{2/3} S^{1/2} \quad (1)$$

donde n: coeficiente de fricción de Manning y R: radio hidráulico (m).

Lluvia de diseño

La elección de la tormenta de diseño tiene por objetivo asumir una probabilidad de ocurrencia que minimice los riesgos que esta puede provocar sobre la cuenca. Un criterio puede ser tomar como tormenta de diseño la precipitación máxima probable (PMP) y en ese caso la inversión necesaria para el control aluvional superaría los valores económicos para que la actividad productiva sea rentable.

Teniendo en cuenta los bienes a proteger se estima suficiente asumir que el riesgo oscile en un 20% para un periodo de 20 años en el caso de la producción agrícola.

El periodo de retorno de la tormenta de diseño se establece en función de dicho margen de seguridad utilizando la función binomial (Bedient & Hubert, 1948):

$$S = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (2)$$

donde S: seguridad, T: tiempo de retorno, n: período de años para el cual se quiere seguridad

A partir de esta fórmula se determina que para tener el 80% de seguridad durante un periodo de 20 años se debe tomar una tormenta con una recurrencia de 90 años.

En estudios realizados en la región por Fernández et al. (1980) se determinó que el 81% de las tormentas tienen una duración menor a 6 h. La Figura 1 muestra las curvas -generalizadas para la provincia de Neuquén y cuencas menores a 400 km² - de láminas totales de lluvia en relación con la duración y el período de retorno. La lluvia del 11-12 de marzo de 1975 produjo un caudal pico de 2300 m³ s⁻¹ en una cuenca de unos 1000 km². Utilizando estas curvas, se estima que para un tiempo de recurrencia de 90 años y una duración de 6 h, la lluvia de diseño es la que produce una lámina total de 80 mm.

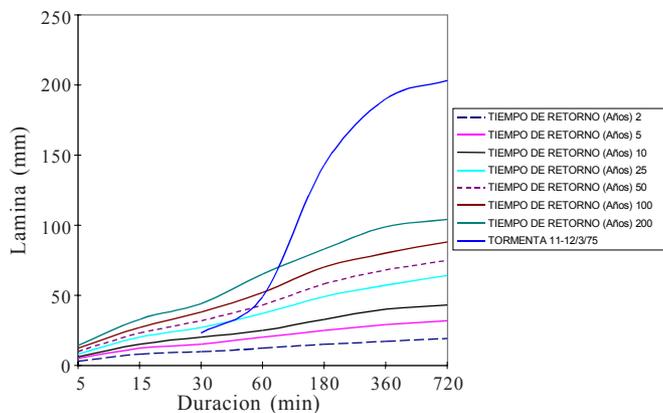


Figura 1. Curvas lámina-duración-período de retorno

La distribución temporal (hietograma) se estima de acuerdo a la de la mayor tormenta convectiva registrada en el área de influencia de la cuenca estudiada. El intervalo de tiempo elegido - y por consiguiente la altura de lámina caída en la cuenca en ese periodo - hace variar el caudal pico del hidrograma resultante. Es conveniente realizar un análisis de sensibilidad del caudal pico respecto al tiempo de discretización para estimar el error que se está cometiendo en el cálculo del hidrograma. En la

Figura 2 se observa que el hietograma se considera homogéneo en intervalos de una hora y está discretizado cada 10 min a efecto del cálculo. Aunque esta configuración del hietograma provoca atenuación de caudales pico, la información disponible no permitió realizar una discretización en intervalos menores.

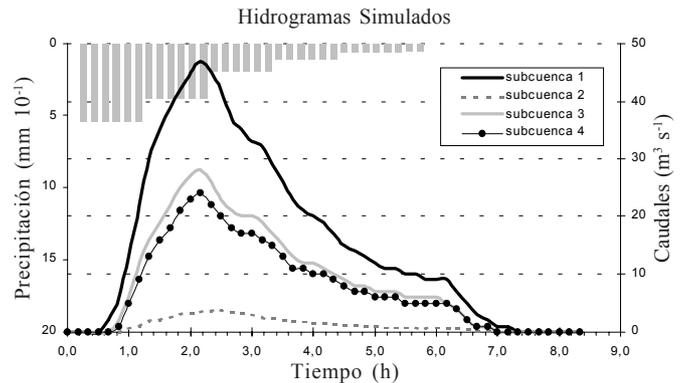


Figura 2. Hidrogramas modelados. Hietograma de diseño

Simulación hidrológica de cuencas

Para la simulación del proceso de escorrentía superficial se utiliza el modelo de eventos HEC-1 (HEC, 1990), que representa el proceso lluvia-escorrentía dentro de cada subcuenca. Los resultados finales del proceso de modelación son los hidrogramas de escorrentía directa para las distintas subcuencas definidas y en cualquier punto deseado, dato fundamental para el dimensionamiento de las obras de control.

Uno de los mayores inconvenientes al realizar estudios para el control aluvional es la ausencia de información meteorológica y de características propias de la cuenca, por lo que la metodología propuesta se basa en aquellos métodos de cálculo que tienen pocos parámetros. A medida que se avance en el conocimiento de la dinámica de los procesos en las cuencas se podrán utilizar métodos más precisos.

Para la determinación de la precipitación efectiva se utiliza el Método de Curva Número (CN) (del Servicio de Conservación de Suelos de EEUU), que cuantifica las pérdidas según las características del suelo (medidas en calicatas y ensayos de infiltración), uso de la tierra (mediante fotografías aéreas y visitas al lugar) y humedad antecedente (valor difícil de obtener debido a la falta de mediciones).

La transformación de lluvia en escorrentía directa se realiza mediante el Hidrograma Unitario Adimensional (SCS) - que incluye fórmulas empíricas que relacionan las características de la cuenca y de la precipitación aplicada - cuyo parámetro tiempo de retardo (TI) se ajusta a través de mediciones de campo. El hidrograma de la cuenca puede considerarse triangular dada la pequeña dimensión de las cuencas, con lo que solo se mide en el campo el caudal pico y el tiempo base. La elección del intervalo de tiempo del hidrograma resultante es importante para no generar problemas numéricos y resultados erróneos (en general se toma 1 a 5 min).

La calibración de los parámetros CN y TI, se realiza con información de campo de algunos eventos en el que se disponga de datos de precipitación y sus caudales resultantes. Luego se corre el modelo hasta ajustar el hidrograma calculado con el observado en el campo. Es un proceso de prueba error en donde se ajustan los parámetros hasta obtener coincidencia

entre ambos hidrogramas. Es necesario recordar que el comportamiento de la cuenca (y sus parámetros) no será igual para precipitaciones de mayor período de retorno.

Los tiempos de retardo ajustados por calibración se comparan con los valores obtenidos con fórmulas propuestas por distintos autores para otras regiones.

Bedient:

$$Tl = \frac{D^{0.8} \times (S+1)^{0.7}}{1900 \times \sqrt{y}} \quad S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3)$$

Kirpich:

$$Tl = 0.6 \times tc \quad (4)$$

$$tc = 0.066 \times \left(\frac{L}{i^{0.5}} \right)^{0.77} \quad (5)$$

Temez:

$$Tl = 0.35 \times tc \quad (6)$$

$$tc = 0.3 \times \left(\frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (7)$$

donde Tl: tiempo de retardo (h); D: distancia a la divisoria de aguas (pies); S: retención máxima potencial; y: pendiente (%); CN: curva número; tc: tiempo de concentración (h); L: longitud del cauce principal (km); i: pendiente media del cauce principal (mm⁻³).

La laminación en embalses se realiza por el método de Puls modificado ya que solo requiere estimar la curva cota-volumen del embalse, que se obtiene midiendo ancho, pendientes laterales y pendiente de fondo del cauce. El agua no almacenada en el embalse es erogada a través de vertederos u orificios, cuyos coeficientes se toman en 1,45 y 0,8, respectivamente.

El método de Muskingum para transitar caudales no es el más apropiado para cauces aluvionales pero tiene la ventaja de requerir pocos parámetros. Estos parámetros son K (constante de almacenamiento), que representa el tiempo promedio del viaje de la onda en el tramo, y X (coeficiente adimensional, varía entre 0 y 0,5), representa la difusión en el tramo, no tiene relación directa con las características físicas del cauce sino con la resolución numérica de la ecuación.

Luego de ajustar los parámetros para cada una de las subcuencas junto con sus características fisiográficas se obtiene un hidrograma de salida - caudal pico y volumen - producto de la tormenta de diseño elegida.

Obras de control

Los diversos tipos de obras de control admiten diferentes alturas máximas y consecuentemente diferentes volúmenes de almacenamiento. La atenuación del caudal pico con grandes embalses implica obras con materiales costosos. Por otro lado la misma atenuación del hidrograma natural puede lograrse con un gran número de obras pequeñas de bajo costo. El análisis realizado busca obtener la configuración de obras de mínimo costo para igual efectividad en el control.

Con el modelo HEC-1 calibrado se simulan distintos planes de control combinando obras de ubicación y dimensiones distintas. Las obras transversales y sus desagües y las derivaciones se diseñan siguiendo lineamientos que pueden encontrarse en la bibliografía del tema - tales como AIDI (1983), TRAGSA et al. (1994) -, en cuanto a tipo de obras, cálculo de estabilidad, empujes, materiales, etc.

Todas las alternativas son evaluadas económicamente en base a costos regionales de mano de obra y materiales y se selecciona la que tiene mejor relación efecto-costo.

Con este modelo de simulación se obtienen los hidrogramas completos, en cualquier punto de la red, resultantes de las alternativas planteadas. La información más relevante que se obtiene es: caudal pico saliente (entrante al dique), caudal pico saliente del dique (por derivación o por vertedero y orificios de desagüe), volumen de la crecida.

Por último se realiza un plan de intervención por etapas en las cuencas de acuerdo a los recursos disponibles, priorizando aquellas obras de mayor impacto en el control. Las obras de derivación son de bajo costo y alta eficiencia de control, por lo que se realizan en primera etapa; luego se construyen los diques de almacenamiento en el cauce y por último se realizan los laboreos para disminuir el escurrimiento superficial de la cuenca. Como efecto positivo secundario obtenido con diques de almacenamiento en cauces, es que se brinda un recurso de agua casi permanente para los animales de los crianceros del lugar que no disponen de otra fuente de agua superficial cercana.

El mantenimiento de las obras durante su funcionamiento debe ser tenido en cuenta, tanto en las tareas a realizar como en el costo implicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las distintas zonas estudiadas se obtuvieron valores promedios de CN entre 72 y 85 que se corresponden con el valor de 80 sugerido por Fernández et al. (1980) en el área oriental de la Provincia de Neuquén (Patagonia Norte). En esta región los tiempos de retardo calibrados pueden observarse en la Tabla 1, donde figura el cálculo realizado con las fórmulas mencionadas anteriormente.

Los valores de laminación en cauce calibrados en las zonas de mayor pendiente dan un valor X = 0,4 y 0,35 en las restantes. De acuerdo a la bibliografía, estos valores son apropiados dado el carácter aluvional de la cuenca. Respecto al valor de K no se han encontrado referencias bibliográficas para estimarlo de manera mas precisa en tramos cortos. De todas formas los valores utilizados (0,08 a 0,15 h) dan un margen de seguridad y una posición conservadora, ya que el hidrograma de salida tiene un retraso muy chico respecto del hidrograma de entrada en cada tramo.

Con el modelo HEC-1 calibrado se obtienen hidrogramas a la salida de cada subcuenca, como los que se observan en la Figura 2, producto de una tormenta de diseño de 80 mm en 6 h sobre toda el área, unos 65 km². La distribución de la lluvia está estimada de acuerdo a los antecedentes registrados en la zona.

El esquema de control más adecuado - que se obtiene por simulación de distintas obras - para el área de estudio es una combinación de:

Tabla 1. Valores de curva número y tiempo de retardo

Características Cuenca		Calibración HEC-1		Fórmulas de cálculo para TI		
Superficie (km ²)	Pendiente Cauce Principal (m m ⁻³)	CN	TI	Bedient	Kirpich	Temez
			(h)			
1,0	0,0140	85	0,47	1,69	0,47	0,50
3,2	0,0015	78	1,04	2,29	1,27	0,94
6,6	0,0110	80	0,93	3,80	0,89	0,95
27,0	0,0018	72	2,10	13,40	2,85	2,07

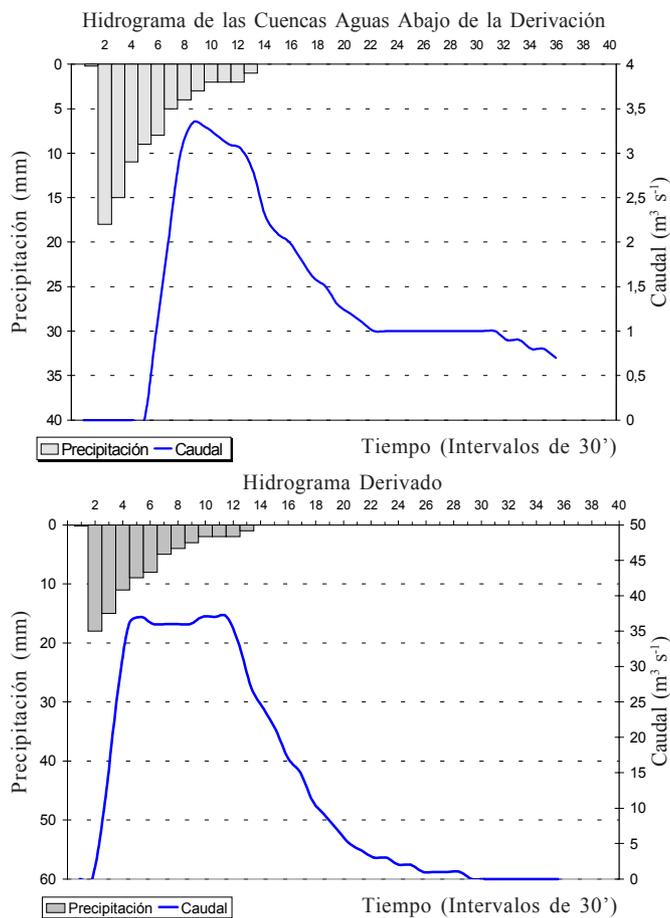


Figura 3. Hidrogramas resultantes de obra de derivación

Tabla 2. Costo estimado por metro lineal de diques de 3 y 4 m de altura

Tipo de Material	Costo (US\$)	
	3	4
	m	
Hormigón simple	934	1714
Gaviones y colchonetas llenados a mano	447	858
Gaviones y colchonetas llenados con máquina	427	822
Gaviones con mínima colchoneta llenado a mano	337	460
Gaviones con mínima colchoneta llenado a máquina	321	433
Gaviones sin colchoneta	284	366
Tierra + gaviones	114	152
Tierra compactada con caños desagüe y polietileno	87	125
Tierra compactada con vertedero lateral	88	127
Tierra compactada con polietileno de 200 μ	102	144
Tierra sin compactar con polietileno de 500 μ	42	62

- terraplenes de tierra de 0,60 a 0,80 m de altura en las áreas de meseta - pendiente de 0.15% -, perpendiculares a la dirección

de flujo y espaciados cada 1000 m.

- dique de tierra de contención más canal de derivación en cuencas topográficamente favorables hacia cauce mayores y controlados.

- diques de tierra para almacenamiento, con vertedero lateral y/o desagüe en los cauces principales.

Existen subcuencas que no son necesarias tratar debido al desfase entre los picos de crecidas con tormentas convectivas. Esto puede analizarse para cualquier período de retorno, aunque para períodos grandes y duraciones prolongadas los picos se sumarán.

La Figura 3, representa el resultado de simular un dique derivador a la salida de la subcuenca 1 (Fig. 2) que produce un caudal pico $Q_p = 47 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para la lluvia de diseño elegida. Se obtiene un hidrograma derivado - hacia otra cuenca - de $Q_p = 36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y otro pasante - por vertedero y desagüe - de $Q_p = 3,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Este hidrograma erogado por el dique es contenido por una canalización (capacidad máxima estimada en $Q_p = 6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) que protege el área cultivada de las aguas de lluvia. En este caso, el funcionamiento de la derivación fue verificada para una tormenta el 21 enero de 1999, donde para una precipitación de 25 mm en 1 h, el Q_p estimado en la derivación fue de $11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y la salida de canal de guarda fue de $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Tal como se indicó en la parte metodológica los costos de obra se estimaron considerando precios de la región y teniendo en cuenta distintos tipos de materiales. En la Tabla 2, se indican los costos estimados por metro lineal de dique para distintos materiales y altura 3 y 4 m. Los más económicos resultan los de tierra y dentro de estos, los más convenientes (por seguridad y vida útil) son los de tierra compactados con vertedero y/o desagüe.

Debe tenerse en cuenta que no se ha considerado costos de mantenimiento, con lo que los de tierra se vuelven menos ventajosos.

CONCLUSIONES

1. La utilización de modelos matemáticos representa un avance en las metodologías aplicadas actualmente al estudio de cuencas aluvionales en Patagonia.

2. Los valores de CN característicos representan suelos con bajo umbral de escorrentía, con valores próximos a los estimados por Fernández et al (1980). Las fórmulas de cálculo de tiempo de retardo que más se ajustan a las condiciones patagónicas áridas son las de Temez y Kirpich.

3. Mediante simulaciones con el modelo se obtienen hidrogramas de crecida para distintas alternativas de obras de control. La selección del mejor plan de control se realiza con criterios de eficiencia en el control y economía del conjunto de obras.

4. Las obras realizadas de acuerdo a esta metodología, han dado buenos resultados en el control de aluviones, aunque se estima que aún no han trabajado bajo condiciones de diseño.

5. La ausencia de información espacial de tormentas y aforos, característica de estas regiones poco pobladas, impide el uso de modelos distribuidos y técnicas más precisas que requieren mayor información. Se está trabajando en medición de parámetros y en la aplicación de modelos distribuidos sencillos, tipo TOPMODEL.

LITERATURA CITADA

- AIDI - Associazione Italiana di Idronomia. Manual para el diseño de diques de corrección de torrentes. Instituto Italo-Latino Americano. 1983. 228p.
- Bedient, P.; Huber, W. Hidrology and floodplain analysis. 2° ed. Massachusetts Addison-Wesley Publishing Company, 1948. 367p.
- Dufilho, A.C.; Horne, F. Red de riego y drenaje en Rincón de los Sauces. Estudio de cuencas aluvionales y diseño de obras. Neuquén, Argentina, 1999. 55p.
- Dufilho, A.C.; Horne, F.; Navedo, R. Estudio y proyecto de defensa aluvional. Establecimiento Nicolás S.R.L. Neuquén, Argentina, 1998. 42p.
- Fahnestock, R.K. Morphology and hydrology of a glacial stream – White River, Mount Rainier, Washington: US Geological Survey, 1963. Prof. Paper, 442-A, 1. 70p.
- Fernández, P.; Segerer, C.; Fernández, J.M.; Segerer, E.C. de; Delgado, S.C.; Buk, E.M. Estudio hidrológico de cuencas aluvionales en la Provincia de Neuquén y curvas generalizadas para el cálculo hidráulico de estructuras viales. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCyTH) - Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia del Neuquén, 1980. 48p.
- HEC - Hydrologic Engineering Center. Flood hydrograph package. User's manual. US Army Corps of Engineer, 1990. 423p.
- Hickok, R.B.; Keppel, R.V.; Rafferty, B.R. Hydrograph synthesis for small aridland watershed. In: Schumm, S.A. Drainage basin morphology. Stroudsburg, Dowden, 1959. p.330-334.
- Horne, F.; Polla, G.; Pedersen, F. Control aluvional Chañar III Etapa. Facultad de Ciencias Agrarias, U.N. del Comahue, Cinco Saltos, 1998. 280p.
- Leopold, L.B.; Wolman, M.G.; Miller, J.P. Fluvial processes in geomorphology. San Francisco: Freeman Comp., 1964. 522p.
- Salas, J.D.; Wohl, E.; Jarret, R. Determination of flood characteristics using systematic, historical and paleoflood data. In: Rossi, G.; Harmancioglu, N.; Vujica, Y. Coping with flood. NATO ASI Series. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1992. p.111-134.
- Segura Beltran, Francesca S. Las ramblas valencianas. Algunos aspectos de hidrología, geomorfología y sedimentología. Valencia: Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Valencia, 1990. 229p.
- Smith, N.D. Sedimentology and bar formation in the Upper Kicking Horse River, a braided outwash stream. Journal of Geology, v.82, p.205-223, 1974.
- TRAGSA, TRAGSATEC Y EDICIONES MUNDI PRENSA. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de erosión. Castelló, 37. Madrid. 1994. 902p.