

Corrección de los cauces torrenciales del Cerro Divisadero, Chile

Torrent control at Cerro Divisadero, Chile

ANDRES IROUME

Instituto de Manejo Forestal, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

SUMMARY

The results of the evaluation of works and proposals for building new check dams and channel dredgings at the Cerro Divisadero torrents, Coyhaique, XI Region, Chile, are presented. The success of stream works and channel dredgings to control torrential processes at Cerro Divisadero was confirmed. Slope treatment and longitudinal walls have proved less successful due to their short range effect.

A great number of severely damaged old wooden check dams, active torrential zones and channel cross sections whose discharge capacities are insufficient to evacuate peakflow were identified.

It is urgent to initiate a new stabilization phase to complete the consolidation of Los Coigües, Los Saltos and Mackay torrents. Building a total of 50 new check dams is proposed. Of these, 13 will replace severely damaged dams and the others will be located in active torrential zones. More than 2.000 meters of channel dredgings are projected at the alluvial fans of the main torrents. Almost US\$ 878.000 are needed to finance the complete project.

Key words: Cerro Divisadero torrents, evaluation, check dams, channel dredgings.

RESUMEN

Este estudio presenta los resultados de la evaluación de las obras existentes y la propuesta de construcción de nuevos diques y encauzamientos para la corrección de los torrentes del Cerro Divisadero, Coyhaique, XI Región, Chile. Se ha comprobado el éxito alcanzado por las obras en los cauces y los encauzamientos en los conos de deyección en la corrección de los procesos torrenciales del Cerro Divisadero. Los tratamientos de laderas y muros longitudinales han resultado de éxito relativo por su efecto puntual.

El estudio identificó una gran cantidad de diques antiguos de trozas en mal estado que deben ser reemplazados, zonas torrencialmente activas en los cauces principales y tramos en los conos de deyección de los cauces cuyas capacidades de porteo son insuficientes para evacuar los caudales de crecidas.

Es apremiante iniciar una nueva fase en la estabilización de los cauces para completar la consolidación del lecho de los torrentes, especialmente en Los Coigües, Los Saltos y Mackay. Se propone construir un total de 50 nuevos diques. De éstos, 13 serán para reemplazar a diques antiguos de mampostería de trozas severamente dañados y el resto se localizará en las zonas aún torrencialmente activas. En los conos de deyección de los torrentes se proyectan encauzamientos en 2.000 metros lineales de cauces. Los requerimientos para financiar los proyectos alcanzan a casi US\$ 878.000.

Palabras claves: Torrentes del Cerro Divisadero, evaluación, diques, encauzamientos.

INTRODUCCION

El área del Cerro Divisadero fue identificada por FAO (1974) como una de las zonas torrencialmente más activas del país. La explotación y destrucción de la cubierta vegetal, asociada a la colonización de la región de Aisén en la primera mitad de este siglo, fue la principal causa de la degradación del área (CONAF, 1974). Las características climáticas, topográficas, edáficas y

geológicas del Cerro Divisadero acentuaron la torrencialidad de los cauces.

El problema del desequilibrio del área del Cerro Divisadero fue motivo de preocupación tanto de las autoridades del gobierno local y de los habitantes de la ciudad de Coyhaique sólo luego de ocurrida la lava torrencial del 18 de mayo de 1966, que afectó seriamente el sector marginal sureste de la ciudad. Esto, a pesar que aluviones habían sido detectados anteriormente, al

menos en los años 1928, 1934 y 1956 (Hauser, 1994).

A partir del año 1966 comienzan a efectuarse en forma sistemática estudios e intervenciones en el Cerro Divisadero (Iroumé *et al.*, 1994). Con anterioridad a esa fecha algunas obras habían sido realizadas por particulares, sin que éstas formaran parte de una acción planificada.

De acuerdo a CONAF (1974), antes de 1966 propietarios de predios ubicados en la parte norte del Cerro Divisadero, en la zona marginal de la ciudad, habían construido 11 diques para evitar los daños que el torrente Los Saltos ocasionaba sobre terrenos dedicados al pastoreo y cultivos. Las obras, localizadas desde aproximadamente 1 kilómetro aguas arriba del puente alcantarilla del camino de Coyhaique a Balmaceda, estaban aterradas hacia 1973-74 y habían permitido establecer una pendiente de compensación en el tramo intervenido.

Vera (1992, 1993) indica que hacia 1965 propietarios de predios vecinos al cauce del torrente Los Coigües habrían construido un quincho o dique rústico bajo.

Luego del aluvión de mayo de 1966, el Ministerio de Obras Públicas construyó en 1967 un canal interceptor en el torrente Los Saltos con el propósito de reducir los peligros de desbordamientos sobre la ciudad (CONAF, 1974). Sin embargo, este sistema de derivación no está en condiciones de cumplir las funciones para las cuales se construyó, e incluso puede transformarse en un peligro adicional para la ciudad (CONAF, 1974; Iroumé *et al.*, 1994).

Entre los años 1968 y 1970, la Corporación Nacional Forestal reforestó aproximadamente 400 hectáreas en las laderas de exposición norte del Cerro Divisadero (CONAF, 1974; Barrientos, 1990; Vera, 1993). Las especies plantadas fueron *Pinus sylvestris*, *Pinus contorta*, *Pinus ponderosa*, *Pseudotsuga menziesii*, *Larix decidua* y *Betula verrucosa*. Además, se efectuó una siembra directa de *Acer saccharinum* en las riberas de los torrentes, pero debido a los deslizamientos de los taludes se perdió al menos el 90% de la siembra, a pesar de la buena germinación observada al año de efectuada (CONAF, 1974).

Entre 1975 y 1979 la Corporación Nacional Forestal abordó parte de los programas de corrección de torrentes y repoblación silvícola contemplados en el Proyecto Corrección de Torrentes del Cerro Divisadero preparado por CONAF (1974).

En este período se construyeron 72 diques de corrección, fajinas en los taludes de los torrentes, quinchos o diques rústicos en las torrenteras menores y se reforestaron las laderas de las cuencas (Griott, 1991; Iroumé y Gayoso, 1991a). No hay antecedentes que permitan estimar la superficie tratada con fajinas y el número de quinchos (Iroumé *et al.*, 1994). En relación a las reforestaciones, Vera (1993) menciona que se alcanzó una cifra algo superior a las 200 hectáreas.

Finalmente, entre los años 1985 a 1993 CONAF ha realizado una serie de acciones tendientes tanto a reparar daños en algunos de los diques como a completar el proyecto de corrección construyendo nuevas obras de consolidación de cauces y estabilización de taludes (Vera, 1993). Entre éstas destacan la construcción de 7 diques de corrección de torrentes, el tratamiento de 20 ha de taludes y la limpieza de al menos 300 metros de cauces (Vera, 1992, 1993; Iroumé *et al.*, 1994).

Como parte de un convenio entre la Corporación Nacional Forestal Undécima Región y la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile, se abordó entre octubre de 1993 y agosto del año 1994 el Estudio y Formulación del Plan de Desarrollo Cerro Divisadero. De acuerdo a los términos de referencia, el objetivo general del estudio fue el de elaborar un Plan de Desarrollo del Área de Influencia del Proyecto de Corrección de Torrentes del Cerro Divisadero en Coyhaique, Región de Aisén. Los objetivos específicos del estudio fueron: diagnosticar y evaluar la forestación y las obras de corrección de torrentes y otras obras o actividades ejecutadas; analizar la situación de tenencia de la tierra y proponer superficies necesarias para incorporarlas al Plan de Desarrollo del Área; proponer un nuevo plan maestro de desarrollo que contemple un programa de protección, recreación y manejo en el Cerro Divisadero, y estudiar y proponer encauzamientos aguas abajo de los torrentes hasta el límite del radio urbano de la ciudad de Coyhaique.

En este documento se presentan los resultados de la evaluación y diagnóstico de las obras existentes, y las propuestas para avanzar y completar la corrección torrencial de los cauces del área. En un documento siguiente se incluirá el Plan de Desarrollo, que corresponde a la propuesta de incorporación de los terrenos que rodean los cauces torrenciales en el proceso de corrección y estabilización del Cerro Divisadero.

AREA DE ESTUDIO

El Cerro Divisadero se encuentra ubicado al sureste de la ciudad de Coyhaique, provincia de Aisén, a 72°4' Longitud Oeste y a 45°36' Latitud Sur (CONAF, 1974; Novoa, 1990; Griott, 1991).

La ciudad de Coyhaique se dispone en su mayoría sobre una extensa planicie fluvio aluvial, en torno a la confluencia de los ríos Simpson y Coyhaique (Hauser, 1994). Hacia el sureste, las pendientes se hacen más pronunciadas, siendo los taludes de la cornisa superior prácticamente verticales en muchos sitios (CONAF, 1974; IREN, 1979). Se incorporan al relieve algunos quiebres morfológicos tales como terrazas, conos aluviales activos y formaciones rocosas (Hauser, 1994).

En realidad, lo que se conoce como Cerro Divisadero corresponde a una vertiente rocosa con una configuración de un amplio anfiteatro semicircular delimitado hacia el este por el Cerro Divisadero propiamente tal, y hacia el oeste por el Cerro Mackay (Hauser, 1994). Ambos cerros terminan en una cornisa relativamente plana, de 1.528 metros de altura en el Divisadero y de 1.208 en el Mackay (Fuente: cartografía del IGM).

Sobre la ladera exposición noroeste se ubica una serie de torrentes que fluyen en dirección a la ciudad (fig. 1). Los más importantes son, de este a oeste: El Carbón, La Cruz, Los Coigües, Los Saltos (o Las Lengas) y Fresia. Los tres primeros desaguan en el río Coyhaique y los otros dos, los más meridionales, en el río Simpson.



Figura 1. Vista aérea del área de estudio.
Aerial view of study area.

Los torrentes La Cruz y Los Coigües se unen dentro del límite urbano de la ciudad, poco antes de su desembocadura al río Coyhaique. El torrente Los Saltos (o Las Lengas) presenta un afluente de importancia conocido como torrente Mackay.

Entre los torrentes principales se ubica una serie de otros escurrimientos intermedios de menor importancia y desarrollo.

El relieve del área es plano a ondulado en los sectores adyacentes a la ciudad. A medida que se avanza hacia el sureste, las pendientes son más pronunciadas y los torrentes disectan profundamente las morrenas. Los taludes de las vertientes se hacen cada vez más pronunciadas, siendo los taludes de la cornisa superior prácticamente verticales en muchos sitios (CONAF, 1974; IREN, 1979).

En el flanco Norte de los cerros Divisadero y Mackay, aparecen depósitos de conos de deyección con su típica morfología de abanico (Hauser, 1994). En torno a los actuales cauces de los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay, inmediatamente al sur del casco urbano de Coyhaique, aparecen depósitos torrenciales históricos o modernos caracterizados por una carencia de suelo o cobertura de vegetación, también con una morfología de abanico (Hauser, 1994).

Gran parte de estos depósitos modernos están asociados a flujos torrenciales. De éstos, el más reciente y sin duda el de mayor importancia para la ciudad de Coyhaique, es el ocurrido el 18 de mayo de 1966. Sin embargo, estos depósitos probablemente corresponden también a otros aluviones registrados en los años 1928, 1934 y 1956 (Hauser, 1994).

La lava torrencial de mayo de 1966 afectó seriamente el sector marginal sureste de la ciudad, comprometiendo 15 casas y cubriendo de piedras y lodo gran parte de los escasos terrenos aptos para cultivo del área (CONAF, 1974; Astudillo, 1988). Parte de estos terrenos están actualmente ocupados por poblaciones y viviendas. Esta lava produjo además un embancamiento en el río Simpson que afectó los terrenos donde actualmente se encuentra la Estación Piscícola y la Planta Lechera.

En relación al nivel de riesgo para la ciudad de Coyhaique, los principales torrentes son, de éste a oeste: La Cruz, Los Coigües y Los Saltos, este último con su afluente Mackay (fig. 1).

Antecedentes sobre clima, geología, geomorfología, suelos y vegetación del área del Cerro Divisadero están en CONAF (1974), Espinoza

(1978), IREN (1979), Puente y Peñaloza (1979), Schlegel *et al.* (1979), Casassa (1985), Barrientes (1990), Novoa (1990), Griott (1991), Donoso (1993), Hauser (1994) e Iroumé *et al.* (1994).

MATERIAL Y METODOS

Material. Para la elaboración del estudio se recopilieron los antecedentes y materiales cartográficos y de fotografías aéreas existentes sobre el tema del estudio. Respecto a los informes específicos sobre la corrección de los torrentes del Cerro Divisadero destacan los de FAO (1972, 1974), que identifican al área como de alta prioridad por su torrencialidad, y CONAF (1974), que corresponde al proyecto de corrección de los torrentes del cerro y que fue preparado como consecuencia de los resultados y recomendaciones de los primeros citados.

Aspectos de la vegetación nativa, de introducción de especies arbóreas y de la flora en los cauces de los torrentes, se presentan en Schlegel *et al.* (1979), Puente y Peñaloza (1979), Barrientes (1990) y Donoso (1993).

En relación a la situación geológica, geomorfología y de áreas de riesgo se puede mencionar a Espinoza (1978), A y L (1987), Novoa (1990), Griott (1991) y Hauser (1994).

Evaluaciones del proyecto de corrección de torrentes del Cerro Divisadero son las de Astudillo (1988), Barrientes (1990) y Griott (1991). Estas corresponden a evaluaciones económicas, de la vegetación en los taludes de los torrentes y de los diques en los cauces de los mismos, respectivamente. Antecedentes sobre el estado de los diques y de las pendientes de los tramos de los cauces consolidados se presentan en Iroumé y Gayoso (1991 a, b).

Finalmente, resúmenes sobre las obras y actividades realizadas para mantener las estructuras existentes y avanzar en la corrección de los torrentes se encuentran en Vera (1992, 1993).

En cada una de estas publicaciones aparece una lista de bibliografía adicional que puede ser consultada respecto de aspectos generales de la zona y específicos del Cerro Divisadero.

Otros materiales disponibles fueron fundamentalmente fotografías aéreas recientes a diferentes escalas, cartografía también a diferentes escalas con curvas de nivel del Cerro Divisadero, perfiles longitudinales y transversales de los torrentes Los

Coigües y Los Saltos, planos con límite de los roles de las propiedades y avalúos de los predios y terrenos del área del estudio.

Durante la elaboración del estudio se realizaron campañas en terreno en octubre y noviembre de 1993 y en enero, febrero, marzo y julio de 1994. Esto para completar el diagnóstico del estado de los torrentes (cauces y laderas) y de las obras construidas, e identificar los tramos torrencialmente activos en los cauces principales donde será necesario intervenir.

Como resultado de estas campañas se definió la realización de trabajos complementarios para obtener la topografía de los cauces de los torrentes Los Coigües y Mackay.

Metodología general. Para diagnosticar el funcionamiento y estado de conservación de las estructuras de corrección existentes se utilizó la metodología desarrollada por Griott (1991) y explicada también por Iroumé y Gayoso (1991a).

La identificación de zonas torrencialmente activas se basó en las propuestas del informe de Novoa (1990) y la información de Griott (1991) e Iroumé y Gayoso (1991a), comprobadas y complementadas por las observaciones de los cauces realizadas durante las campañas de terreno. La caracterización de estas zonas se efectuó según Griott (1991) e Iroumé y Gayoso (1991a). La localización de los nuevos diques de corrección propuestos se basó en los resultados del diagnóstico de las obras existentes y en la identificación de tramos torrencialmente activos.

Para diseñar los diques proyectados se utilizó la metodología de AIDI (1988), Benini (1988) y López (1988). La forma de los diques finalmente se asimiló a la de los construidos por la Corporación Nacional Forestal en el Cerro Divisadero, para aprovechar la experiencia de los contratistas locales en este tipo de obras. La separación entre diques se determinó con los antecedentes de las pendientes de los aterramientos según Iroumé y Gayoso (1991b).

Para definir un programa de construcción de los diques proyectados se asignó diferente prioridad, dependiendo de las condiciones de las obras de corrección existentes que es necesario reemplazar y del nivel de agresividad de las zonas torrencialmente activas. Se asignó prioridad 1 a los diques proyectados para reemplazar a grandes diques existentes que presentaban fallas estructurales, y a algunos diseñados en sectores considerados críticos. Estos diques con prioridad 1 deberían

construirse en un plazo no superior a dos años, dada la velocidad con que los existentes están deteriorándose y al nivel de peligro de los tramos críticos. A los diques proyectados en zonas torrencialmente activas se les asignó prioridad 2. Estos nuevos diques proyectados con prioridad 2 deberían construirse en un plazo entre 2 a 4 años, de modo de evitar que se acentúe el nivel de actividad en parte de los cauces.

Finalmente, se asignó prioridad 3 a los diques que deberán reemplazar a diques bajos existentes, y a algunos que se localizan en sectores considerados menos críticos. Estos nuevos diques proyectados con prioridad 3 deberán construirse en un plazo no superior a cinco años.

Para localizar los requerimientos de encauzamientos en la parte baja de los torrentes se compararon los caudales de crecida con la capacidad de porteo en secciones representativas de los cauces en los conos de deyección. La estimación de caudales de crecida y de diseño se basó en el informe preparado por A y L (1987). La capacidad de porteo de las secciones representativas se calculó utilizando la fórmula de flujo de Manning, descrita, entre otros, por Espíldora *et al.* (1975) y FAO (1976). El radio hidráulico, la sección de escurrimiento y la pendiente longitudinal del lecho se determinaron por mediciones de terreno. Dadas las características granulométricas del lecho de los cauces torrenciales en los conos de deyección, se adoptó un valor único para el coeficiente de rugosidad de Manning igual a 0.05.

RESULTADOS

Diagnóstico de diques de corrección. Los diques construidos corresponden a cuatro tipos diferentes de diseño. Estos son: de mampostería de trozas, preaterrados de trozas, de mampostería de gaviones de malla y de retenida parcial de perfiles metálicos (dique peinetas).

La figura 2 muestra, en una fotografía tomada desde aguas abajo, un dique de mampostería de trozas localizado sobre el torrente Los Coigües.

Según Iroumé *et al.* (1994), en los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay se han construido 79 diques de corrección (cuadro 1). Para Griott (1991), Iroumé y Gayoso (1991a), Vera (1992, 1993) e Iroumé *et al.* (1994), 72 de estos diques se ejecutaron en el período 1975-1979 (15 en el torrente Los Coigües, 53 en Los Saltos y 5



Figura 2. Foto desde aguas abajo de un dique de mampostería de trozas en el torrente Los Coigües. Upstream picture of a rock-filled log crib dam at Los Coigües torrent.

en Mackay), y los siete restantes se construyeron entre 1988 y 1993 (6 en el torrente Los Coigües y 1 en Los Saltos).

Las figuras 3, 4 y 5 muestran, en forma esquemática, el perfil longitudinal de los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay, donde es posible apreciar la localización relativa de todos los diques construidos. Durante el estudio fue posible ubicar en terreno un total de 76 diques completos o sólo restos. De estos 69 fueron construidos en el período 1975-79 y los siete restantes en el período 1988-93 (cuadro 1). Los diques que no se ubicaron son: un dique de mampostería de gaviones en el sector alto del torrente Los Coigües, y dos diques preaterrados de trozas en el torrente Los Saltos.

El dique de gaviones que no se encontró en el torrente Los Coigües es el segundo construido desde aguas arriba, o dique 20 en figura 3. Era un dique relativamente bajo, con una altura útil de 1.5 metros. Hacia 1985, este dique estaba prácti-

CUADRO 1

Tipo y número de diques construidos (C) y localizados (I)

Type and number of built (C) and located (I) check dams

Tipo de dique	Número de diques por torrente							
	Los Coigües		Los Saltos		Mackay		Total	
	C	I	C	I	C	I	C	I
Período 1975-79:								
Mampostería trozas	5	5	8	8	0	0	13	13
Gaviones	10	9	14	14	0	0	24	23
Trozas preaterrados	0	0	30	28	5	5	35	33
Total período 75-79								
	15	14	52	50	5	5	72	69
Período 1988-93:								
Gaviones	5	5	1	1	0	0	6	6
Metálico	1	1	0	0	0	0	1	1
Total período 88-93								
	6	6	1	1	0	0	7	7
Total general								
	21	20	53	51	5	5	79	76

camente sepultado por los acarrees del cauce (Griott, 1991).

Los otros diques no localizados son dos preaterrados de trozas en el torrente Los Saltos. Este tipo de diques construidos no sólo en el to-

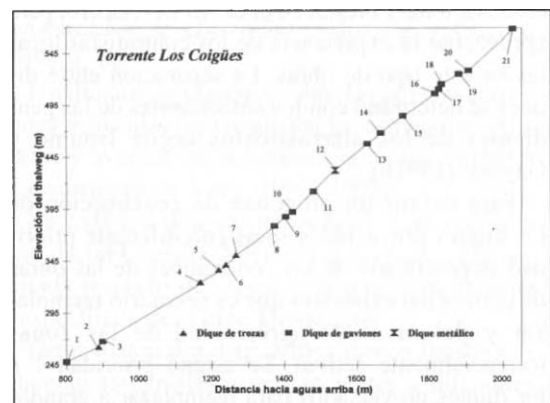


Figura 3. Perfil longitudinal con diques contruidos en torrente Los Coigües. Longitudinal profile with built dams at Los Coigües torrent.

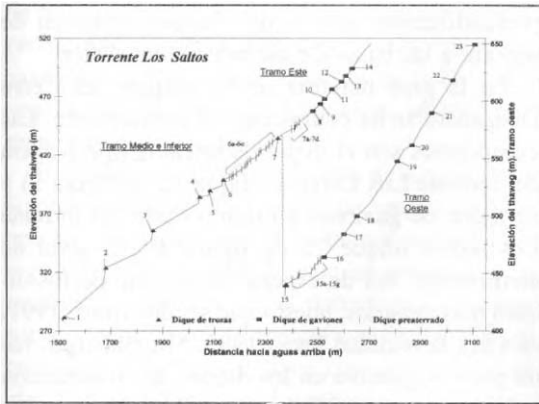


Figura 4. Perfil longitudinal con diques contruidos en torrente Los Saltos.
Longitudinal profile with built dams at Los Saltos torrent.

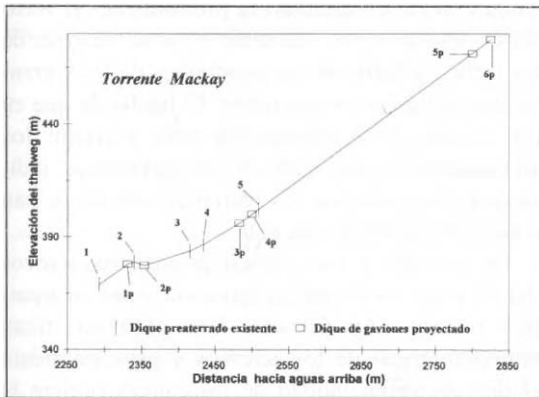


Figura 5. Perfil longitudinal con diques contruidos y proyectados en torrente Mackay.
Longitudinal profile with built and projected dams at Mackay torrent.

torrente Los Saltos, sino que también en el Mackay, han permitido la consolidación de los tramos del cauce donde están localizados. Sin embargo, actualmente, tras más de 15 años desde su construcción, la mayoría de ellos están casi totalmente sepultados por los acarrees, con las trozas en avanzado estado de pudrición y destrucción, y muchos de ellos afectados por derrumbes laterales desde las laderas.

Durante las campañas en terreno sólo se encontraron algunos restos de los diques N° 2, según figura 3, del torrente Los Coigües, y N° 1 en figura 4, del torrente Los Saltos. En el caso del dique del torrente Los Coigües, inmediatamente aguas arriba de sus restos, se construyó uno de mampostería de gaviones (dique 3 de figura 3). Respecto al dique del torrente Los Saltos, sólo se encontró el material granular de relleno.

En relación al estado estructural o de mantenimiento, las mayores dificultades se presentan en los diques de mampostería de trozas y preaterrados de trozas.

En el caso de los primeros, tal como ya se mencionó, se han destruido dos de estos diques y a pesar de los esfuerzos que ha realizado CONAF por mantenerlos (restauración y reemplazo de trozas, tratamiento con aplicaciones de carbonileo) los demás han seguido deteriorándose. Según Griott (1991), Iroumé y Gayoso (1991a) y Vera (1993), hacia 1985 dos tercios de estas obras presentaban algún tipo de daño. En la actualidad todos ellos están dañados.

En la mayoría de estos diques el tercio superior de la estructura está severamente inclinado hacia aguas abajo, por efecto del empuje de los aterramientos que en todos los casos han llegado hasta el nivel del umbral del vertedero. En muchos otros, las trozas muestran un elevado grado de pudrición. Finalmente, en otros faltan piezas de madera, especialmente en los vertederos o en el coronamiento.

El desplome hacia aguas abajo del tercio superior y el nivel de pudrición de las trozas puede producir en un plazo relativamente breve el volcamiento de estas estructuras. Estos diques son de grandes dimensiones, ya que la altura útil de los mismos varía entre 2.5 y 3.5 metros, con una altura media un poco inferior a los 3 metros (Griott, 1991; Iroumé y Gayoso 1991a). Debido a esto, el volcamiento y la destrucción de estos diques comprometerá seriamente la estabilidad de los cauces en general, ya que los grandes volúmenes de material sedimentado aguas arriba de ellos quedarán disponibles para ser acarreados por las aguas durante las crecidas. Bastaría el volcamiento de uno de ellos para generar un flujo torrencial de grandes dimensiones. Tomando en cuenta el estado en que se encuentran estas obras, debe proyectarse su reemplazo por diques de alturas similares para mantener el nivel de consolidación del cauce que se ha alcanzado, utilizando un diseño que considere materiales de mayor vida útil. Dadas las experiencias y las condiciones de accesibilidad y disponibilidad de materiales en los torrentes del Cerro Divisadero, los diques de mampostería de gaviones aparecen con la mejor solución. La figura 6 muestra una vista frontal de este tipo de dique propuesto.

Otros diques con problemas corresponden a los preaterrados de trozas. Sin embargo, dado que la



Figura 6. Foto desde aguas abajo de un dique tipo de mampostería de gaviones proyectado.
Upstream picture of a projected gabion type dam.

altura de estos diques es sensiblemente menor a los de mampostería, la falla de ellos en forma individual o colectiva no debería comprometer severamente la estabilidad de los cauces. Sin embargo, puesto que estos diques han resultado eficaces en la consolidación de los cauces debe también proyectarse su reemplazo. Aquí también deben considerarse diseños con materiales de mayor vida útil, y nuevamente los diques de mampostería de gaviones son la mejor solución. Estos diques se deberán proyectar con alturas superiores y una mayor separación que los de trozas preaterrados construidos. Estos últimos quedarán definitivamente sepultados por los aterramientos que generen los nuevos diseños. En varios diques de mampostería de gaviones construidos en el período 1975-1979 se aprecian daños menores en las mallas de alambre. Sin embargo, en ninguno de ellos está en peligro la estabilidad.

Todos los diques de construcción más reciente están en buen estado (Iroumé *et al.*, 1994). El único dique donde pueden presentarse potenciales problemas es uno de gaviones construido el año 1992 en el torrente Los Coigües (dique 11 en figura 3). Este dique se ubicó inmediatamente aguas arriba de un tramo con fuerte pendiente. Aun cuando el lecho del cauce en el tramo donde se localiza es de roca, ésta corresponde a lutitas negras que por estar tectonizadas hacen frágil el substrato y pueden incentivar incisiones del eje hidráulico (Hauser, 1994). Posibles socavaciones del lecho podrían comprometer la estabilidad de la obra, por lo que deberá proyectarse un sistema de diques de consolidación hacia aguas abajo, para generar aterramientos que ayuden a evitar la potencial

profundización vertical del thalweg y sirvan de soporte a las bases de las laderas del sector.

En la gran mayoría de los diques del Cerro Divisadero se ha completado el aterramiento. Las excepciones son el dique de retenida tipo peineta del torrente Los Coigües (dique 12 en figura 3) y un dique de gaviones en tramo oeste del torrente Los Saltos (dique 22 en figura 4). El nivel de aterramiento era de esperar, en el caso de los diques más antiguos, puesto que según Griott (1991) ésta era la realidad hacia 1985. Sin embargo, fue un poco sorpresiva en los diques de construcción más reciente.

Griott (1991), Iroumé y Gayoso (1991a), Novoa (1991) y Hauser (1994) han destacado la importancia de los diques en la estabilización de los cauces, al haber detenido la profundización vertical de los thalwegs, elevando el nivel de base de los lechos y reducido las pendientes de los torrentes en los tramos intervenidos. El hecho de que en los diques de construcción más reciente los aterramientos estén también completándose, indica que los cauces de los torrentes aún no se han consolidado definitivamente.

De acuerdo a esto, deben proyectarse nuevos diques para completar las intervenciones en aquellos tramos aún activos. Las características granulométricas de los acarrees y principalmente el tipo de torrencialidad de los cauces sugiere la necesidad de proyectar diques de consolidación y no de retenida, como lo es el tipo peineta construido en el torrente Los Coigües.

Diagnóstico de los cauces de los torrentes. Como parte de las campañas de terreno efectuadas durante el desarrollo del estudio se realizó un diagnóstico de los cauces de los torrentes Mackay, Los Saltos, Los Coigües y La Cruz. Esto, para identificar las zonas torrencialmente activas donde se requería la construcción de diques de corrección adicionales. También, para localizar en los conos de deyección los tramos donde la capacidad de evacuación de las secciones de los cauces pareciera insuficiente para conducir los caudales de crecida.

Resultó evidente la diferencia existente entre los cauces de tipo netamente torrencial como los del Mackay, Los Saltos y Los Coigües, con respecto a la situación de la quebrada La Cruz. Este hecho ya había sido mencionado por Novoa (1991).

La quebrada La Cruz presenta una situación casi ideal de protección vegetal nativa de sus laderas, lo cual permite asumir una mínima erosión

de ellas en épocas de lluvias. El cauce no presenta problemas de deslizamientos y salvo pequeñas excepciones todas sus laderas están cubiertas de vegetación, lo que dificulta incluso identificar el material del subsuelo.

En enero de 1994 el caudal de La Cruz era significativamente superior al de los otros torrentes. Esta situación refleja la mayor capacidad de regulación de su cuenca, que se encuentra casi totalmente forestada. En la parte baja los bosques son de plantaciones, mientras que en todo el sector alto son bosques nativos con diferentes especies y estratificaciones. La variada vegetación en la cuenca de la quebrada La Cruz sin duda contribuye a la fijación del suelo y la nieve, confirmándose con esto las ventajas de los bosques nativos para favorecer las infiltraciones en lugar de los escurrimientos superficiales, situación que ayuda

a mantener mayores flujos bases en los cauces en períodos de verano. El vínculo hidrogeológico entre los bosques y la estabilidad de cuencas de montaña es confirmada por Boso y Nardin (1994) y Nardin (1994).

Con estos antecedentes, el diagnóstico de los cauces se concentró en los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay, situación que confirma los comentarios de Griott (1991) y Novoa (1991). En cada caso, las abscisas que se indican están referidas a las figuras 3, 4 y 5.

En el torrente Los Coigües, aguas arriba del límite sur de la ciudad de Coyhaique, se identificaron 5 zonas torrencialmente activas que requieren diques de corrección adicionales a los existentes. Estas zonas se localizan entre las abscisas 1.165 y 1.980 (abscisas según figura 3), y sus características principales se resumen en el cuadro 2.

CUADRO 2

Zonas torrencialmente activas
Active torrential zones

Torrente	Zona N°	Ubicación (abscisas)	Característica y proceso torrencial
Los Coigües	1	1.165 - 1.263	Diques existentes han consolidado parcialmente el cauce. Sectores con laderas inestables y acarrees en el lecho.
	2	1.263 - 1.627	Diques existentes han consolidado parcialmente el cauce. Laderas inestables y torrencera activa en abscisa 1.615. Dique existente en abscisa 1.479 aguas arriba de tramo de fuerte pendiente en lecho de lutitas.
	3	1.627 - 1.725	Laderas con fuertes pendientes inestables, grandes bloques de acarrees en el lecho, curva pronunciada en abscisa 1.690.
	4	1.750 - 1.780	Fuertes pendientes del thalweg, grandes bloques de acarrees y laderas inestables.
	5	1.900 - 1.980	Dique construido en período 1975-79 no encontrado. Fuertes pendientes del lecho, bloques de acarrees y deslizamientos de laderas.
Los Saltos	1	1.681 - 1.863	Diques existentes han consolidado parcialmente el cauce. Laderas inestables, acarrees y fuertes pendientes.
	2	2.523 - 2.941 (tramo oeste)	Diques existentes han consolidado parcialmente el cauce. Sectores con laderas inestables, fuertes pendientes y acarrees en el lecho.
	3	2.633 - 2.800 (tramo este)	Diques existentes han consolidado parcialmente el cauce. Cerca de abscisa 2.700, sectores con laderas inestables, fuertes pendientes y acarrees en el lecho.
Mackay	1	2.336 - 2.500	Pendientes pronunciadas del lecho y grandes bloques de acarrees.
	2	2.500 - 2.863	Fuertes pendientes del lecho y grandes bloques de acarrees. Torrencera lateral en abscisa 2.863.

Hacia aguas abajo de la abscisa 1.165 el cauce está relativamente estabilizado por la presencia de varios diques construidos, por la regeneración natural de especies arbustivas y arbóreas que ha colonizado vigorosamente taludes y cauces, y a la cada vez menor pendiente del cauce mismo.

Hacia aguas arriba de la abscisa 1.980 el cauce presenta márgenes poco elevadas y un lecho estable.

Las zonas torrencialmente activas del torrente Los Coigües presentan fuertes pendientes en el cauce y laderas, taludes inestables y grandes bloques de acarreo sobre los lechos. Abarcan una longitud de 670 metros de cauce, y en ellas se proyecta la construcción de un total de 13 nuevos diques, cuyas características y localizaciones se presentarán más adelante.

Entre las abscisas 800 y 895 se han establecido experiencias de poca extensión de tratamientos de taludes. También, en algunas torrenteras menores en todo el recorrido de Los Coigües se construyeron quinchos o diques rústicos de madera, que en su mayoría están destruidos o severamente dañados. Finalmente, se han construido al menos 4 muros longitudinales, dos aguas abajo de la abscisa 1.479 y los otros dos en las cercanías de la 800, cuyo éxito es limitado por su efecto puntual.

En el caso del torrente Los Saltos se identificaron 3 zonas torrencialmente activas que requieren diques de corrección adicionales a los existentes. Estas zonas se localizan entre las abscisas 1.681 y 2.941 (en el tramo oeste) y hasta la abscisa 2.800 en el tramo este. Las abscisas son según figura 4, y las características principales de estas zonas torrencialmente activas se resumen en el cuadro 2.

Estas zonas presentan fuertes pendientes del cauce y laderas, taludes inestables y grandes bloques de acarreo sobre los lechos. La longitud total de estas zonas es de poco más de 760 metros de cauce, y se propone en ellas la construcción de 11 nuevos diques (los detalles de éstos se presentarán más adelante en este documento).

Hacia aguas abajo de la abscisa 1.681 el cauce está relativamente estable. Entre abscisas 1.520 y 1.681 el lecho es rocoso y con diversos saltos (que le dan el nombre al torrente), y en este tramo sólo deben reemplazarse antiguos diques de trozas en mal estado. A partir de la abscisa 1.520 el torrente entra a su cono de deyección donde las pendientes se reducen significativamente.

Aguas arriba de abscisa 2.941 (tramo oeste) y 2.800 (tramo este), el material que constituye las

márgenes y el lecho es de roca, presentando ambos cauces una adecuada estabilidad.

En el tramo oeste de Los Saltos (zona activa N°2 entre abscisas 2.523 a 2.941) y en el cauce principal (abscisa 2.325 hasta la confluencia de los cauces formadores) se concentraron los tratamientos de taludes mediante fajinas realizadas entre 1975-1979. El éxito de los tratamientos ha sido muy variable, ya que en algunos sectores han sido totalmente destruidas por los deslizamientos mientras que en otros han permitido que las laderas sean colonizadas por la vegetación. También se construyeron quinchos o diques rústicos de madera en torrenteras menores en todo el recorrido de Los Saltos, pero al igual que en el torrente Los Coigües en su mayoría están severamente dañados. Finalmente, en el período 1975-1979 se construyeron muros longitudinales y espigones de madera, asociados a los diques de manipostería de trozas.

En general, la estabilización de taludes y cauces es mayor en Los Saltos que en Los Coigües, asociada a la regeneración natural de especies arbustivas y arbóreas que ha colonizado vigorosamente las laderas y el thalweg.

Finalmente, en el torrente Mackay se identificaron 2 zonas torrencialmente activas que requieren diques adicionales. Estas zonas se localizan entre las abscisas 2.336 y 2.863 (abscisas según figura 5), y sus características principales se resumen también en el cuadro 2. En estas zonas la actividad torrencial es menor que en la de los torrentes Los Coigües y Los Saltos, pero también se presentan tramos con fuertes pendientes del cauce, taludes inestables y grandes bloques de acarreo sobre los lechos. Abarcan una longitud de casi 530 metros de cauce, y en ellas se propone la construcción de 6 nuevos diques cuyas características y localizaciones se presentarán más adelante.

En los tres torrentes estudiados es posible apreciar otros tramos con presencia de distintos procesos torrenciales. Sin embargo, los identificados en este estudio se consideran prioritarios en su intervención. El resultado de las obras propuestas permitirá decidir en el futuro requerimientos de corrección adicionales.

Diagnóstico en los conos de deyección de los torrentes. El diagnóstico se realizó estudiando la capacidad de evacuación de los caudales de crecida en secciones representativas de los cauces en los conos de deyección de los torrentes Mackay, Los Saltos y Los Coigües.

Los caudales de crecida se obtuvieron de A y L (1987), quienes los estimaron utilizando las fórmulas Racional y de Verni-King, para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años. Por tratarse de cauces cuyas crecidas pueden afectar vidas humanas, se adoptó como caudal de diseño a las mayores escorrentías para un período de retorno de 100 años.

Puesto que las crecidas torrenciales acarrearán importantes volúmenes de material sólido (García

y De Ayerbes, 1962; AIDI, 1988; Benini, 1988; López, 1988), se adopta en definitiva como crecida de diseño un caudal de 100 m³/s (Iroumé *et al*, 1994).

Para caracterizar la parte baja de los torrentes se seleccionaron 4 secciones transversales en Los Coigües, 4 en Los Saltos y 5 en el Mackay. En el cuadro 3 se resumen las características hidráulicas de las secciones utilizadas para el diagnóstico, con sus respectivas capacidades de porteo.

CUADRO 3

Capacidad de porteo e intervenciones de cauces en los conos de deyección
 Discharge capacity and channel interventions in the alluvial fans

Torrente	Características de la sección							
	Situación actual			Situación proyectada			Distancia entre secciones a intervenir (m)	Volumen movimiento tierras (m ³)
	Abscisa de la sección (m ²)	Area (m ²)	Caudal (l/s)	Area (m ²)	Caudal (l/s)			
Los Coigües	0.000	7.3	36.6	7.3	36.6	75	281	
	0.075	7.3	36.6	14.8	118.2	147	551	
	0.222	73.5	803.7	73.5	803.7	S/I	S/I	
	0.467	44.8	329.4	44.8	329.4			
	Intervención total en torrente						222	832
Los Saltos	0.218	97.2	1.412.6	97.2	1.412.6	S/I	S/I	
	0.410	28.4	136.1	28.4	136.1	740	1.634	
	1.150	8.1	56.9	12.5	117.7	150	333	
	1.300	52.2	694.9	52.2	694.9			
	Intervención total en torrente						890	1.967
Mackay	0.569	24.2	118.7	24.2	118.7	222	918	
	0.791	9.8	42.6	18.1	117.7	96	611	
	0.887	15.2	76.3	19.7	117.6	333	1.034	
	1.220	17.4	108.1	19.1	126.1	937	794	
	2.156	40.2	481.3	40.2	481.3			
	Intervención total en torrente						1.588	3.357
Total en los torrentes						2.700	6.156	

S/I = tramo sin intervención de cauce.

Se puede detectar en estos resultados que en la parte baja de los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay se presentan secciones cuya capacidad es inferior a los caudales de diseño. Estos tramos deberán ser corregidos aumentando su sección para evitar desbordes durante períodos de crecida.

Según los antecedentes del cuadro 3, existe en el torrente Los Coigües un tramo que presenta limitaciones para el escurrimiento de los caudales de crecida. Este se localiza entre las secciones transversales 1 y 3.

En el torrente Los Saltos se identifica un tramo que presenta limitaciones para el escurrimiento de las crecidas (cuadro 3). Este tramo está entre las secciones 2-4.

Finalmente, en el torrente Mackay el tramo enmarcado entre las secciones 1 y 4 presenta limitaciones para el escurrimiento de los caudales.

La situación en algunos tramos en los cauces de los torrentes dentro del límite urbano puede llegar a ser aún más crítica que hacia aguas arriba (Iroumé *et al.*, 1994). La capacidad de algunas secciones y de las alcantarillas bajo calle Simpson y bajo el camino a Coyhaique Alto en el torrente Los Coigües y bajo calle I. Serrano, en torrente Los Saltos, resultan insuficientes para un flujo torrencial con crecidas similares a los caudales de diseño definidos en este estudio. Esta situación es aún más delicada ya que algunas de las alcantarillas estaban parcialmente obstruidas con basura.

Diques proyectados. Dadas las condiciones de los diques existentes y la situación en los cauces torrenciales, se considera prioritario avanzar en completar la estabilización de los thalweg, en desmedro de las intervenciones sobre las laderas.

La estabilización del pie de las laderas con los aterramientos que generarán los diques proyectados permitirá que la vegetación acelere la colonización de los taludes, como ya está ocurriendo en muchos tramos. Por otra parte, la definición de áreas de protección a ambos lados de los cauces, y la transformación de la cubierta forestal desde plantaciones a bosques nativos ayudará a acelerar la revegetación natural de los taludes. La definición de estas áreas de protección es desarrollada en un documento siguiente.

Se proyectan diques para reemplazar a los de mampostería de trozas. Los nuevos diques se proyectan inmediatamente aguas abajo de los existentes, y de alturas similares. Esto último obliga a diseñar diques de mampostería de gaviones de volúmenes significativos, pero esta situación se

considera necesaria para evitar una reactivación de la torrencialidad de los cauces. Con este esquema, los diques de trozas quedarán sepultados por los aterramientos adicionales que se generen, y la destrucción definitiva de los elementos de madera no generará problemas en el entorno de los mismos.

También se proyectan nuevos diques en los emplazamientos de los preaterrados de trozas existentes. Los nuevos diques serán de mayor altura que los existentes, los que quedarán definitivamente sepultados por los nuevos depósitos a generarse.

Finalmente, se proyectan nuevos diques en los tramos de los cauces donde se han identificado zonas torrencialmente activas.

Para el diseño de los diques proyectados de mampostería gavionada, se definieron 4 alturas tipo. Estas alturas son: 1, 2, 2.5 y 3 metros. En la figura 6 se muestra una vista frontal de tipo de dique de gaviones propuesto.

CUADRO 4

Características de los diques proyectados
en el torrente Los Coigües
Characteristics of projected dams at Los Coigües torrent

Dique proyectado N°	Abscisa ¹ (km)	Cota ¹ (m)	Altura efectiva (m)	Volumen estructura (m ³)	Nivel de prioridad
1	1.163	322.3	3.0	146.0	1
2	1.198	331.0	2.5	92.5	2
3	1.213	333.8	3.0	146.0	1
4	1.233	338.7	3.0	155.5	1
5	1.261	347.9	3.0	155.5	1
6	1.318	363.4	2.5	82.0	2
7	1.443	399.7	2.0	71.0	1
8	1.458	404.9	2.0	71.0	1
9	1.518	426.6	2.5	73.0	2
10	1.600	450.0	2.5	73.0	2
11	1.648	463.5	2.5	64.0	2
12	1.690	476.0	2.5	64.0	1
13	1.752	491.0	2.0	59.0	2
14	1.784	499.2	2.0	59.0	2
15	1.900	529.0	2.5	87.0	2
16	1.926	536.8	2.5	83.0	2
17	1.959	546.7	2.5	83.0	1
18	1.991	556.2	2.5	83.0	1

¹ Abscisa y cota según figura 3.

CUADRO 5

Características de los diques proyectados en el torrente Los Saltos

Characteristics of projected dams at Los Saltos torrent

Dique proyectado ¹ Nº	Abscisa ² (km)	Cota ² (m)	Altura efectiva (m)	Volumen estructura (m ³)	Nivel de prioridad
1	1.512	278.4	3.0	134.5	1
2	1.672	311.0	3.0	246.0	1
3	1.800	336.0	2.5	96.5	3
4	1.829	342.1	2.5	96.5	2
5	1.857	347.7	3.0	142.5	1
6	2.039	379.1	3.0	144.5	1
7	2.078	385.6	3.0	195.5	1
8	2.130	394.1	3.0	186.5	1
9	2.184	404.3	2.5	125.0	3
10	2.216	410.0	2.0	89.5	3
11	2.271	420.0	2.5	115.0	3
12	2.336	432.9	3.0	132.0	1
13	2.370	439.0	2.5	140.0	3
14	2.428	447.0	2.5	116.0	3
15	2.663	494.2	2.5	100.0	1
16	2.683	510.0	2.5	100.0	1
17	2.708	516.0	2.5	100.0	1
18	2.371	440.6	3.0	132.0	1
19	2.420	446.0	2.5	117.5	3
20	2.472	450.0	2.5	105.0	3
21	2.566	476.1	2.5	94.5	1
22	2.700	511.0	2.5	80.0	2
23	2.766	533.7	2.5	89.5	2
24	2.832	558.1	2.5	88.5	2
25	2.900	577.0	2.5	82.0	1
26	3.057	632.6	2.5	81.0	2

¹ Diques 1 a 12 en cauce principal, 13 a 17 en tramo este, 18 a 26 en tramo oeste.

² Abscisa y cota según figura 4.

Los diques de 3 metros de altura se proyectan para el reemplazo de los diques de manipostería de trozas. Las alturas del resto de los diques se ajustó a las alturas tipo según las características de las secciones de los cauces en los lugares de emplazamientos proyectados.

El resumen de los diques proyectados para los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay, con los antecedentes de localización (en abscisa y cota), altura efectiva (entre nivel del thalweg y umbral

del vertedero), volumen de la estructura y prioridad, se presenta en los cuadros 4, 5 y 6. Aquí, los diques proyectados se enumeraron en forma correlativa desde aguas abajo hacia aguas arriba.

De acuerdo al resumen del cuadro 4, en el torrente Los Coigües se proyecta un total de 18 diques nuevos.

Según los antecedentes del cuadro 5, en el torrente Los Saltos, incluyendo sus tramos medio, este y oeste, se proyecta un total de 26 nuevos diques.

Finalmente, en el caso del torrente Mackay se proyecta un total de 6 diques nuevos (cuadro 6). La situación propuesta para este torrente, en cuanto a diques existentes y proyectados, se puede apreciar en la figura 5.

Tal como se indicó en el punto "Metodología general", la prioridad está relacionada con las condiciones de los diques a reemplazar y del nivel de agresividad de las zonas torrencialmente activas.

Se asignó prioridad 1 a los diques que deberán reemplazar a los de manipostería de trozas y a algunos que se localizan en sectores considerados críticos. Estos nuevos diques proyectados con primera prioridad deberían construirse en un plazo no superior a dos años, dada la velocidad con que los de manipostería están deteriorándose y al nivel de peligro de los tramos críticos.

A los diques proyectados en zonas torrencialmente activas se les asignó prioridad 2. Estos nuevos diques proyectados con prioridad secunda-

CUADRO 6

Características de los diques proyectados en el torrente Mackay

Characteristics of projected dams at Mackay torrent

Dique proyectado Nº	Abscisa ¹ (km)	Cota ¹ (m)	Altura efectiva (m)	Volumen estructura (m ³)	Nivel de prioridad
1	2.336	377.9	1.0	87.0	1
2	2.354	377.3	1.0	87.0	1
3	2.484	396.2	2.5	106.5	3
4	2.500	400.2	2.5	106.5	3
5	2.809	471.2	2.5	65.0	2
6	2.825	477.3	2.5	65.0	2

¹ Abscisa y cota según figura 5.

ria deberían construirse en un plazo entre 2 a 4 años, de modo de evitar que se acentúe el nivel de actividad en parte de los cauces.

Finalmente, se asignó prioridad 3 a los diques que deberán reemplazar a los preaterrados de trozas y a algunos que se localizan en sectores

considerados menos críticos. Estos diques deberían construirse en un plazo no superior a cinco años.

El cuadro 7 resume el número y volumen de las obras proyectadas por torrente y nivel de prioridad.

CUADRO 7

Número de diques proyectados por torrente y nivel de prioridad
Number of projected dams per torrent and priority level

Nivel de prioridad	Torrente						Total	
	Los Coigües		Los Saltos		Mackay			
	Nº	Vol. (m ³)	Nº	Vol. (m ³)	Nº	Vol. (m ³)	Nº	Vol. (m ³)
Prioridad 1	9	975.0	13	1.790.0	2	174.0	24	2.939.0
Prioridad 2	9	672.5	5	435.5	2	213.0	16	1.321.0
Prioridad 3	0	0.0	8	904.5	2	130.0	10	1.034.5
Total	18	1.647.5	26	3.130.0	6	517.0	50	5.294.5

Encauzamientos proyectados. En los tramos de los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay, cuyas capacidades de porteo son inferiores a los caudales máximos de crecida, se proyectan intervenciones de modo de profundizar ligeramente el cauce y ampliar la sección disponible para los escurrimientos.

Las intervenciones proyectadas corresponden a movimientos de tierra y afinado de taludes a realizar con tractor nivelador u otro tipo de maquinaria pesada con capacidad para esta clase de obras. Los movimientos de tierra proyectados se realizan de modo de proporcionar a los cauces una capacidad de porteo mínima de 100 m³/s, que corresponde a la crecida de diseño adoptada.

En la parte baja del torrente Los Coigües se proyectan encauzamientos en el tramo enmarcado entre las secciones 1 y 3 (cuadro 3). Puesto que el corte transversal 1 está sobre el límite urbano actual, no se proyectan encauzamientos desde su localización hacia aguas abajo.

En el torrente Los Saltos, los encauzamientos se proyectan entre las secciones 1-3 y 4-6. Las secciones 1 a 3 en Los Saltos están dentro del límite urbano actual. Aquí, no se proyectan intervenciones puesto que la proposición de solucio-

nes a potenciales problemas torrenciales dentro del límite urbano no está contemplada en el estudio. Sin embargo, esta situación debe servir como un llamado de alerta para diseñar una solución definitiva de encauzamiento de los torrentes en el sector urbano de Coyhaique.

Para el torrente Mackay se proyectan encauzamientos en el tramo crítico entre secciones 1 y 4. Puesto que aguas arriba de este tramo existe una curva que el torrente hace de oeste a este, se decide finalmente proyectar una intervención entre las secciones 1 a 5.

En el cuadro 3 se resumen las características de las secciones actuales y proyectadas y los volúmenes del movimiento de tierras en los torrentes.

Se proyectan intervenciones por un total de 2.700 metros lineales en los cauces torrenciales, que corresponden a un volumen de movimiento de tierra algo superior a 6.100 m³. Las intervenciones se consideran como la prioridad 1, es decir, que deberían efectuarse en un plazo no superior a dos años. Esto, por los riesgos de inundación dado que la capacidad de los tramos estudiados no permite evacuar los caudales de crecida.

Presupuesto de las obras proyectadas. Para la estimación del presupuesto de las obras se ha con-

siderado la construcción de diques de gaviones rellenos con material granular obtenido localmente. Se ha incluido el suministro en obra de los materiales, la mano de obra para preparar y armar los gaviones, y los movimientos de tierra para las fundaciones y empotramientos laterales de los diques. Se adoptó un valor unitario de US\$ 150 por m³ de dique terminado en los torrentes (Iroumé *et al.*, 1994).

Se ha considerado para cada etapa de construcción, asociadas a los niveles de prioridad, una inversión adicional al presupuesto de construcción de nuevos diques, destinada a la mantención de los diques existentes de acuerdo al detalle de los capítulos anteriores. Esta corresponde fundamentalmente a la reparación de las mallas deterioradas de parte de los diques de gaviones existentes. El

presupuesto por etapa se ha estimado en un 10% de los requerimientos para construir nuevos diques.

Para las intervenciones en los cauces, se adopta un valor unitario de US\$ 0,7 por m³ de movimiento de tierras y afinado de taludes (Iroumé *et al.*, 1994). En el precio unitario se ha considerado un rendimiento de tractor nivelador equivalente a 100 m³/hora, por considerar que la máquina deberá dedicar un tiempo importante a afinar los taludes de los cauces intervenidos.

En el cuadro 8 se resume el requerimiento presupuestario por torrente y nivel de prioridad. Tal como se aprecia, las inversiones proyectadas alcanzan un valor total de US\$ 877.902 (valor del cambio a octubre 1994, 1 US\$ = \$ 416).

CUADRO 8

Presupuesto de las obras proyectadas
Budget of projected works

Nivel de prioridad	Designación	Unidad	Cantidad	Precio unitario US\$	Precio total US\$
1	Construcción de diques	m ³	2.939.0	150.0	440.850
	Mantención de diques existentes	Gl	1.0	44.085.0	44.085
	Encauzamientos	m ³	6.156.0	0.7	4.309
	Total obras proyectadas con prioridad 1				489.244
2	Construcción de diques	m ³	1.321.0	150.0	198.150
	Mantención de diques existentes	Gl	1.0	19.815.0	19.815
	Total obras proyectadas con prioridad 2				217.965
3	Construcción de diques existentes	m ³	1.034.5	150.0	155.175
	Mantención de diques existentes	Gl	1.0	15.518.0	15.518
	Total obras proyectadas con prioridad 3				170.693
	Total obras proyectadas				877.902

Considerando que las obras incluidas en el nivel de primera prioridad deberían construirse en un período no superior a dos años, en el corto plazo se requieren US\$ 489.237, es decir, poco más del 55.7% de la inversión total. Esto es consecuencia del gran número de diques que deben ser reemplazados. Tal como se mencionó éstos corresponden a los de mampostería de trozas que

fueron los de mayor altura y volumen entre los construidos originalmente.

En el mismo cuadro 8 se aprecia que las inversiones requeridas para los encauzamientos en los torrentes son de mucha menor cuantía que las necesarias para la construcción de los diques proyectados. A pesar de esto, los encauzamientos deben seguir considerándose prioritarios.

Las obras incluidas en los niveles de prioridad 2 y 3, requieren inversiones de US\$ 217.965 y 170.693. Esto es del orden del 24.8 y 19.4%, respectivamente, de la inversión total.

Sin embargo, puesto que los diques proyectados con prioridades secundarias deberían construirse en un plazo no superior a cinco años, en definitiva la inversión total proyectada se requiere en un plazo muy breve de tiempo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio ha permitido comprobar el éxito alcanzado por las obras en los cauces y los encauzamientos en los conos de deyección en la corrección de los procesos torrenciales del Cerro Divisadero.

El éxito de los tratamientos de laderas (fajinas y quinchos o diques rústicos) ha sido reducido como método de revegetación artificial de taludes. Los muros longitudinales también han resultado de efectividad relativa por su efecto puntual.

En los torrentes, los diques han estabilizado el perfil del thalweg, elevando el nivel del cauce y disminuyendo las pendientes longitudinales de los mismos con los aterramientos que han generado. Los aterramientos están sirviendo además de cuña al pie de las laderas ayudando a su estabilidad general.

Los encauzamientos efectuados en algunos tramos de los conos de deyección de los torrentes Los Coigües y Mackay han ayudado a definir los cauces y aumentar la capacidad de porteo en algunos tramos.

Sin embargo, el estudio también identificó una gran cantidad de diques antiguos de trozas en mal estado que deben ser reemplazados. Su falla desencadenará una reactivación de la torrencialidad y un aumento en el nivel de riesgo a la ciudad de Coyhaique.

Asimismo se identificaron tramos torrencialmente activos en los cauces de los torrentes Los Coigües, Los Saltos y Mackay, con presencia de acarreo en los lechos y deslizamientos de laderas.

Al mismo tiempo, en algunos tramos en los cauces en los conos de deyección, las capacidades de porteo de los torrentes son suficientes para evacuar los caudales de crecidas.

Es apremiante iniciar una nueva fase en la estabilización de los cauces para completar la consolidación del lecho de los torrentes, especialmente

en Los Coigües, Los Saltos y Mackay. En esta fase debe favorecerse la construcción de nuevos diques, dejando para futuras etapas la posibilidad de proyectar fajinas o quinchos en las laderas y muros longitudinales de defensas de márgenes. El establecimiento de fajinas resulta económicamente rentable para estabilizar taludes de cortes de caminos o carreteras, y en el caso del Cerro Divisadero se requerirían grandes inversiones y esfuerzos para obtener resultados que en forma natural están lográndose. Los muros longitudinales han producido en los torrentes del Cerro impactos puntuales y no claramente superiores a los logrados con los diques.

En los cauces de los tres torrentes principales, el estudio identificó la necesidad de construir 50 nuevos diques. De éstos, 18 se emplazarán en el torrente Los Coigües, 26 en Los Saltos y 6 en el Mackay. Del total de diques, 13 serán para reemplazar a diques antiguos de manipostería de trozas que están severamente dañados.

En los conos de deyección de los torrentes se requiere proyectar encauzamientos por un total de 2.001 metros lineales. De este total, 222 metros serán en el torrente Los Coigües, 890 en Los Saltos y 889 en el Mackay.

Los requerimientos para financiar los proyectos considerados como de primera prioridad (24 diques nuevos, mantención general en diques antiguos y 2.001 metros lineales de encauzamientos) alcanzan a US\$ 489.237. Los requerimientos para abordar la construcción de nuevos diques y la mantención de diques antiguos en segunda y tercera prioridad alcanzan a US\$ 217.965 y US\$ 170.693, respectivamente. Puesto que las obras consideradas como de tercera prioridad deben completarse en un plazo no superior a 5 años, la inversión total se requiere en un muy breve plazo de tiempo.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a la Corporación Nacional Forestal Undécima Región, quien financió el estudio. También a R. Gayoso, J. Oltremari, M. Pino, H. Palacios y S. Griott quienes participaron en el equipo de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- AIDI (ASSOCIAZIONE ITALIANA DI IDRONOMIA). 1988. *Manual para el diseño de diques de corrección de torrentes*. Instituto Italo-Latino Americano, Roma, Italia, 127 pp.

- ASTUDILLO, C. 1988. Evaluación económica y financiera de un proyecto de corrección de torrentes en la Décimo Primera Región. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, 57 pp.
- A y L (Sociedad de Profesionales A y L Ltda.). 1987. *Estudio de áreas de riesgo en la XI Región. Estudio N° 1: Diagnóstico de Areas de Riesgo en Coyhaique*. Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo, XI Región, Coyhaique, Chile, 40 pp.
- BARRANTOS, J. 1990. Evaluación de los tratamientos biológicos del Cerro Divisadero. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, 68 pp.
- BENINI, G. 1988. *Sistemazioni idraulico-forestali*. Cooperativa Libreria Editrice Degli Studenti dell'Università di Padova, 3° edic, Padua, Italia, 217 pp.
- BOSO, R., D. NARDIN. 1994. "Cien años de experiencia Trentina en el manejo de cuencas", *Segundo Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas*, Mérida, Venezuela, 6-11 de noviembre 1994, 13 pp.
- CASASSA, G. 1985. "Clasificación del clima de la Región Austral de Chile", *Trapananda* 8: 174-175.
- CONAF (CORPORACION NACIONAL FORESTAL). 1974. *Proyecto de corrección de torrentes Cerro Divisadero*. FAO-CONAF, Santiago, Chile, 82 pp.
- DONOSO, C. 1993. *Bosques templados de Chile y Argentina*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 494 pp.
- ES PILDORA B., E. BROWN, G. CABRERA, P. ISENSEE. 1975. *Elementos de hidrología*. Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile, Santiago, Chile, p. irr.
- ESPINOZA., G. 1978. *Situación actual de los deslizamientos de tierras en el Cerro Divisadero*. Universidad Católica de Chile-CONAF, Santiago, Chile, 20 pp.
- FAO (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION). 1972. *Pautas para la ordenación de cuencas, la corrección de torrentes y la lucha contra la erosión en Chile*. PNUD-FAO-CONAF, Santiago, Chile, p. irr.
- FAO (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION) 1974. *Fortalecimiento del Programa Nacional Forestal Chile. Pautas para la ordenación de cuencas, la corrección de torrentes y la lucha contra la erosión en Chile*. FAO: SF/CHI 26, Informe Técnico 6, Roma, Italia, 81 pp.
- FAO (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION). 1976. *Hydrological techniques for upstream conservation*. Guía FAO Conservación 2, Roma, Italia, 134 pp.
- GARCIA, J.M., J.M. DE AYERBES. 1962. *Principios de hidráulica torrencial*. Instituto Forestal de Investigación y Experiencias, Ministerio de Agricultura, Madrid, España, 350 pp.
- GRIOTT, S. 1991. Evaluación técnica de las obras de corrección del Cerro Divisadero. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, 125 pp.
- HAUSER, A. 1994. *Evaluación de riesgos en la zona urbana de Coyhaique, Región XI*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile, 59 pp.
- IREN (INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES). 1979. *Perspectivas de desarrollo de los recursos de la Región de Aisén*. Informe final. Intendencia Región de Aisén-CORFO, Santiago, Chile, 507 pp.
- IROUME, A., J. GAYOSO. 1991a. "Evaluación de las obras y sistemas de corrección de torrentes del Cerro Divisadero, Coyhaique, Chile", *Bosque* 12(1): 27-35.
- IROUME, A., J. GAYOSO. 1991b. "La pendiente de los depósitos en los torrentes del Cerro Divisadero, Coyhaique, Chile", *Bosque* 12(1): 37-42.
- IROUME, A., J. GAYOSO, H. PALACIOS. 1994. Estudio y formulación plan de desarrollo Cerro Divisadero. Informe de Convenio N° 218, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, p. irr.
- LOPEZ, F. 1988. Corrección de torrentes y estabilización de cauces. Colección FAO Fomento de Tierras y Aguas N° 9, Roma, Italia, 182 pp.
- NARDIN, D. 1994. "Silvicultura y extensionismo en el manejo de cuencas altas: estrategia para el desarrollo sustentable", *Segundo Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas*, Mérida, Venezuela, 6-11 de noviembre 1994, 7 pp.
- NOVOA, J. 1990. *Geomorfología aplicada, riesgos naturales Cerro Divisadero-Coyhaique, XI Región*. Universidad de La Serena, La Serena, Chile, 22 pp.
- PUENTE, M., R. PEÑALOZA. 1979. Resultado del establecimiento de un área de ensayo para tratamiento silvicultural de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Coyhaique, XI Región. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 85 pp.
- SCHLEGEL F., T. VEBLEN, B. ESCOBAR. 1979. Estudio ecológico de la estructura, composición, semillación y regeneración del bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) en la XI Región. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 40 pp.
- VERA, G. 1992. Informe gestión 1992. Proyecto construcción y mejoramiento de obras de corrección de torrentes en Cerro Divisadero, BIP 20031724, Ministerio de Agricultura, CONAF, Coyhaique, Chile, 17 pp.
- VERA, G. 1993. Informe gestión 1993 complementado. Proyecto construcción y mejoramiento de obras de corrección de torrentes en Cerro Divisadero. Ministerio de Agricultura, CONAF, Coyhaique, Chile, 21 pp.