

NOTAS

## Estudio de los procesos hidrológicos en una cuenca experimental forestal andina de la IX Región, Chile

Study of the hydrological processes in a forested Andean experimental catchment, IX Region, Chile

ANDRES IROUME

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

### SUMMARY

This paper presents information and the preliminary results of a research on the hydrological processes in a natural forested catchment in the Reserva Forestal Malalcahuello, in the IX Region of Chile.

The study is associated with the research requirements in assessing hydrological impacts of land use changes. This report presents the general framework of the research, the preliminary results of physical characterisation of the experimental catchment and the studies that will be carried during the next 3 years.

*Key words:* experimental catchment, hydrological processes, natural forests, Chile.

### RESUMEN

Este documento presenta algunos antecedentes y avances preliminares de una investigación sobre procesos hidrológicos en una cuenca forestal natural localizada dentro de la Reserva Forestal Malalcahuello, en la IX Región de Chile. El estudio se enmarca en los requerimientos de investigación sobre los impactos hidrológicos asociados a los cambios de uso de la tierra. En este informe se presentan el marco general de la investigación, los primeros resultados correspondientes a la caracterización de la cuenca experimental y las líneas de trabajo que se desarrollarán durante los próximos 3 años.

*Palabras claves:* cuenca experimental, procesos hidrológicos, bosques nativos, Chile.

### INTRODUCCION

A escala global, los cambios de uso de la tierra más significativos tanto en términos de superficie involucrada como en efectos hidrológicos son los procesos de deforestación y reforestación (Calder 1992). Sin embargo, las investigaciones realizadas en Chile respecto a la magnitud de los impactos hidrológicos asociados a los cambios de uso de la tierra son escasas.

La deforestación genera preocupación respecto a erosión, transporte y depósito de sedimentos en los cauces y pérdidas de nutrientes. La forestación crea inquietud respecto a que los árboles interceptan más precipitación y que, debido a un sistema de raíces más profundo, transpiran más agua durante los períodos secos, afectando las napas subterráneas y los recursos de aguas superficiales ubicados aguas abajo.

Estudios sobre la intercepción y evapotranspiración de diferentes cubiertas vegetales y masas boscosas pueden encontrarse en Huber y López (1993), Huber y Oyarzún (1983, 1984), Huber *et al.* (1985) y Oyarzún *et al.* (1985). Investigaciones sobre procesos hidrológicos y transporte de sedimentos en suspensión en cuencas experimentales bajo bosques de coníferas en el Sur de Chile han sido informadas por Iroumé (1990, 1992).

Dos investigaciones específicas están en desarrollo en cuencas experimentales, una de ellas localizada en el sector costero de la provincia de Osorno en la X Región<sup>1</sup>, y la otra en el área de Malalcahuello en la IX Región.

<sup>1</sup> Adriazola. H. CONAF X Región, comunicación personal.

La segunda de las investigaciones arriba mencionadas corresponde al proyecto "Cuenca Experimental Representativa Reserva Forestal Malalcahuello, Cuenca Río Imperial, IX Región de la Araucanía" que se está realizando a través de un Convenio entre la Dirección General de Aguas y la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile. Este proyecto consiste en la instrumentación, operación y desarrollo de diversos programas de investigación de los fenómenos relacionados con la interrelación agua-suelo-vegetación, en una cuenca experimental natural, sometida a condiciones especiales de instrumentación, control y operación. El objetivo general del proyecto es generar los medios para desarrollar investigaciones y estudios de los principales componentes del ciclo hidrológico y su interacción con el manejo forestal y protección del suelo en una cuenca natural.

Los objetivos específicos involucrados en este proyecto comprenden el desarrollo de estudios e investigaciones relacionadas a los siguientes temas y problemas: cuantificar el arrastre de sedimentos por erosión identificando las variables explicativas del fenómeno; cuantificar los fenómenos de remoción en masa en la cuenca, identificando factores causales y ensayando medidas de mitigación; evaluar y desarrollar relaciones y métodos para el cálculo y estimación de crecidas pluviales y nivales; evaluar métodos para la estimación de las pérdidas por evapotranspiración; estudiar las relaciones y evaluar métodos para el análisis y estimación de rendimientos hídricos; y evaluar las ventajas operativas de algunas técnicas e instrumentos de medición de variables hidrológicas y capacitar personal técnico y profesional en estas materias.

En este documento se presentan los primeros resultados de este estudio, que corresponden a la caracterización general de la cuenca experimental y en la precisión de las líneas de investigación que se desarrollarán durante la duración total del estudio.

## LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La cuenca experimental se ubica en la Reserva Forestal Malalcahuello, en la precordillera andina de la provincia de Malleco en la IX Región de la Araucanía, sobre la vertiente sur de los cerros que conforman el sistema del volcán Lonquimay. Esta

cuenca corresponde al estero Tres Arroyos, que cruza la Ruta R-89, entre las localidades de Curacautín y Lonquimay, a unos 2 kilómetros al este del poblado de Malalcahuello. El estero Tres Arroyos luego de cruzar la Ruta R-89 confluye sobre la ribera derecha (norte) del río Cautín.

La figura 1, a escala 1:50.000, muestra en mayor detalle tanto la cuenca experimental como la cuenca de control del estero Tres Arroyos, que se localiza geográficamente entre los 38°25.5' y 38°27' de latitud sur y los 71°32.5' y 71°35' de longitud oeste. La cuenca experimental corresponde a toda el área donde se realizarán las investigaciones, mientras que la cuenca de control corresponde a la superficie de aporte al estero Tres Arroyos en el punto donde se medirán en forma continua los caudales.

El sistema hidrográfico principal está conformado por el estero Tres Arroyos. Dentro del área de estudio, el estero sigue una dirección noroeste/sureste para en los últimos 800 metros cambiar a dirección norte/sur. El régimen hidrológico de la cuenca es pluvio-nival.

En el área se presenta un clima templado frío lluvioso con efecto de altura, cuyas características principales para el área son: temperatura media anual de 8°C, precipitación media anual entre 2.000 y 2.250 mm y evaporación media anual de 1.000 mm (Dirección General de Aguas 1987).

La cuenca de control está cubierta por bosques naturales en aproximadamente un 75% (unas 436 ha), correspondiendo el 25% restante al sector de las altas cumbres donde no hay vegetación. Estos terrenos descubiertos se ubican por sobre la línea altitudinal de la vegetación, que para el área está aproximadamente en la cota 1.650 m s.n.m., y es aquí donde además se concentra la mayor permanencia de la cubierta de nieve. Los bosques de la zona con cubierta vegetal corresponden, según Donoso (1993), principalmente a dos tipos forestales: Coigüe-Raulí-Tepa y Araucaria. Existe además una amplia zona transicional (ecotono) de menor a mayor altitud.

Fuera de la cuenca de control, pero sí dentro de los límites de la cuenca experimental, existen plantaciones con especies exóticas establecidas con fines de protección. Entre las especies destacan Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) y Pino Insigne (*Pinus radiata*), pero también hay plantaciones que incluyen *Pinus ponderosa*, *Pinus monticola*, *Pinus contorta* y una variedad de *Eucalyptus* spp.

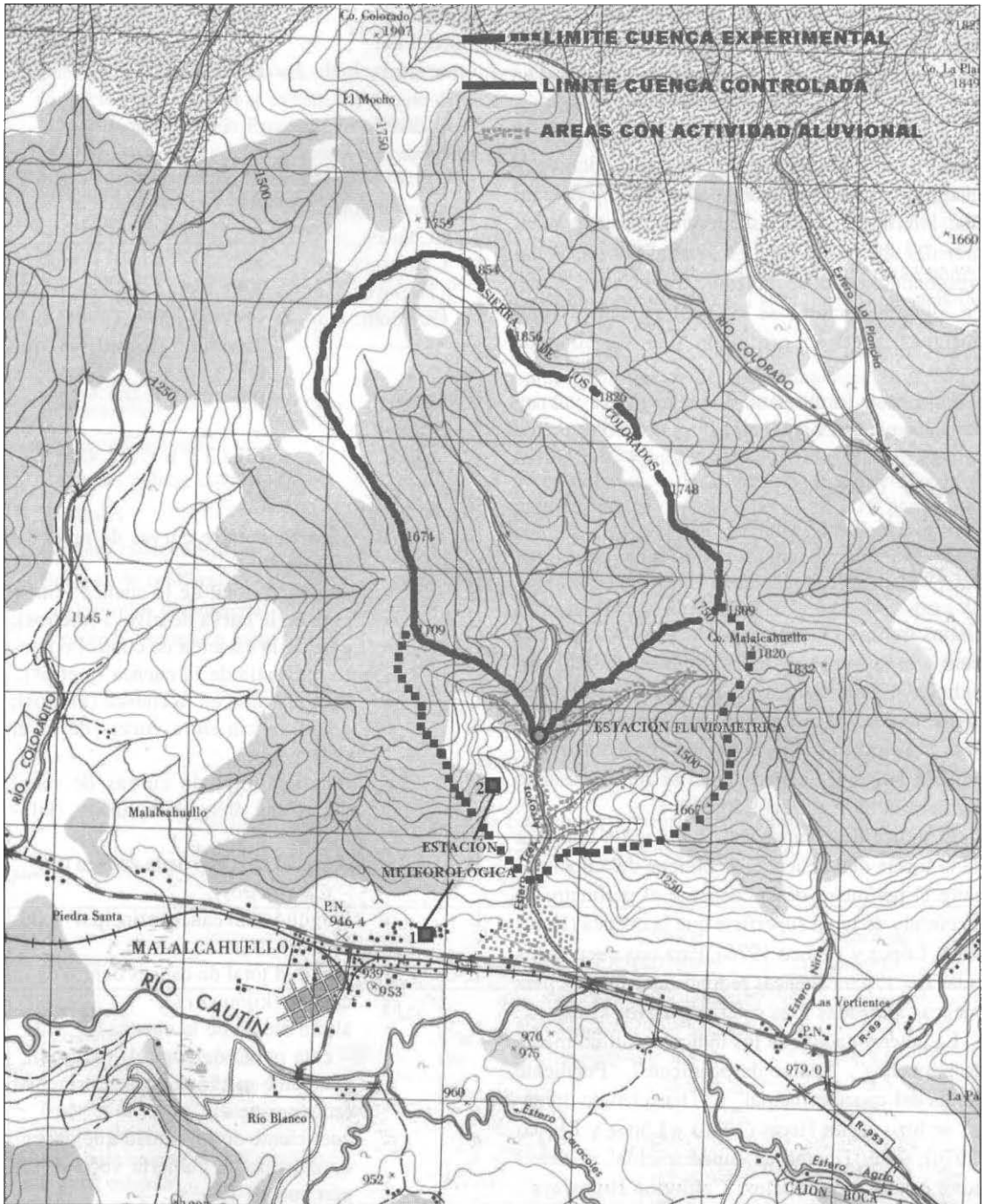


Figura 1. Area de estudio.

Study area.

Finalmente, los suelos del área se clasifican como grises pardo podzólicos (CONAF 1996) con una reducida capacidad de retención de agua y un bajo suministro de nutrientes porque sus minerales están poco intemperizados. En algunas partes se encuentra una capa de escoria volcánica de la cual ha derivado un suelo más delgado y de calidad inferior, que en las cumbres forma grandes arenas sin vegetación. En general los suelos corresponden a cenizas volcánicas recientes, y sólo en algunos sectores se encuentran cenizas más antiguas que han originado una variedad de trumaos.

La cuenca forma parte de los cordones inferiores del volcán Lonquimay, que está conformado principalmente por rocas basálticas y andesíticas (CONAF 1996).

**METODOLOGIA**

Los índices físicos seleccionados para caracterizar a la cuenca son: índice de compacidad, altitud media de la cuenca, índice de pendiente, pendiente media del cauce principal, densidad de drenaje y tiempo de concentración. La caracterización de la cuenca experimental se realizó usando cartografía base escala 1:50.000.

El índice de compacidad ( $I_c$ ), que da una idea de la forma de la cuenca, se obtiene del cociente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual superficie que la cuenca (Heras 1976, López y Blanco 1976). Para una cuenca circular  $I_c = 1$ , para cuencas redondeadas  $I > 1$  y para cuencas alargadas  $I_c$  es cada vez mayor al valor 1.

La determinación de los índices "Altitud media de la cuenca", "índice de pendiente", "Pendiente media del cauce principal" y "Densidad de drenaje" se hizo según Heras (1976) y López y Blanco (1976), y el "Tiempo de concentración" se determinó usando los modelos "California Highways", "Giandotti", "Témez" y "Bruce y Clark" descritos por Heras (1976), Rothwell (1978) y Témez (1978), a través de las siguientes expresiones:

Altitud media 
$$H_m = \sum_{i=2}^{i=nmax} S_i / S * [(C_i + C_{i-1}) / 2]$$

Índice de pendiente 
$$I_p = (D * L_c) / S$$

Pendiente media del cauce principal:  $J = H / (1000 * L)$

Densidad de drenaje:  $D_d = L_t / S$

Tiempo de concentración ( $t_c$  en horas):

California Highways:  $t_c = 0.95 * (L^3 / H)^{0.385}$

Giandotti:  $t_c = (4 * \sqrt{S} + 1.5 * L) / (0.8 * \sqrt{h_m})$  debiendo cumplirse que  $L / 3.6 \geq t_c > L / 5.4$

Témez:  $t_c = 0.3 * (L / J^{0.25})^{0.76}$

Bruce y Clark:  $t_c = (37.03 * n * L / \sqrt{J})^{0.467}$

- donde:
- $S_i$  = superficie entre curvas de nivel  $i$  e  $i-1$  ( $km^2$ );
  - $S$  = superficie total de la cuenca ( $km^2$ );
  - $C_i$  = cota de la curva de nivel  $i$  (metros);
  - $C_l$  = cota de la estación de control o punto más bajo de la cuenca (metros);
  - $C_{nmax}$  = cota más alta en la cuenca (metros);
  - $D$  = equidistancia entre curvas de nivel (kilómetros);
  - $L_c$  = longitud total de curvas de nivel dentro del área de la cuenca (kilómetros); .
  - $H$  = desnivel máximo de la cuenca ( $C - C_l$ ) (metros);
  - $L$  = longitud del cauce principal (kilómetros);
  - $L_t$  = longitud total de cauces dentro de la cuenca (kilómetros);
  - $h_m$  = altura media de la cuenca ( $h_m = H_m -$  cota punto de control) (metros);
  - $J$  = pendiente media del cauce principal (adimensional);
  - $n$  = coeficiente de rugosidad que depende del tipo de cubierta vegetal, según cuadro 1.

Adicionalmente, para analizar el relieve tanto de la cuenca experimental como de la cuenca de control se generaron las curvas hipsométricas, que representan gráficamente las cotas de terreno en función de las superficies sobre cada cota, y de distribución, que muestra la distribución de la superficie total de la cuenca por rango de cotas, según Heras (1976) y López y Blanco (1976).

CUADRO 1

Coefficiente de rugosidad para diferentes cubiertas de vegetación para usar en el cálculo del tiempo de concentración (según Bruce y Clark 1966).

Roughness coefficient for different vegetative covers to use in the calculation of time of concentration (after Bruce and Clark 1966).

Tipo de cubierta vegetal	Coefficiente de rugosidad
Impermeable	0.02
Suelos sin cubierta	0.1
Pastizales pobres, cultivos	0.2
Pastizales	0.4
Bosques caducifolios	0.6
Bosques de coníferas y caducifolios con materia orgánica profunda o pasto	0.8

## RESULTADOS PRELIMINARES Y DISCUSION

*Caracterización de las cuencas experimental y de control.* La cuenca experimental, aguas arriba de la cota 1.000 m s.n.m., posee una superficie de unas 909 hectáreas. El rango de altitud es desde los 1.000 hasta los 1.856 m s.n.m. La estación fluviométrica construida a cota aproximada de 1.080 m s.n.m. controla una superficie de unas 581 hectáreas. El rango de altitud de esta cuenca de control va desde los 1.080 hasta poco más de 1.850 m s.n.m.

El cuadro 2, siguiente, resume los principales parámetros físicos de ambas cuencas. Se aprecia que la forma y relieve de la cuenca experimental y de control son muy similares. Ambas cuencas tienen una forma redondeada, como se aprecia del valor del índice de compacidad, que es de 1.14 para la cuenca experimental y de 1.16 para la de control, que resultan cercanos al valor 1 correspondiente a una cuenca totalmente circular. El índice de pendiente o pendiente media es del 47% para la cuenca experimental y del 44% para la cuenca de control, situación que refleja una condición de topografía accidentada característica de las áreas de montaña.

CUADRO 2.

Principales parámetros físicos de las cuencas experimental y de control  
Main physical parameters of both the experimental and controlled catchments.

Parámetros	Unidad	Cuenca experimental	Cuenca de control
Superficie <sup>a</sup>	ha	909.4	581.3
Perímetro <sup>a</sup>	km	12.3	10.0
Longitud cauce principal <sup>a</sup>	km	4.5	3.5
Longitud total de cauces <sup>a</sup>	km	16.9	9.3
Número de orden <sup>b</sup>		3	3
Cauces de orden uno <sup>a</sup>		16	8
Índice de compacidad (Gravelius) <sup>c</sup>		1.14	1.16
Altitud mínima <sup>a</sup>	m s.n.m.	1.000.0	1.080.0
Altitud máxima <sup>a</sup>	m s.n.m.	1.856.0	1.856.0
Diferencia altitudinal (desnivel) <sup>a</sup>	m	856.0	776.0
Altitud media de la cuenca <sup>c</sup>	m s.n.m.	1.482.1	1.541.2
Índice de pendiente <sup>c</sup>		0.47	0.44
Pendiente media del cauce principal <sup>c</sup>		0.19	0.22
Densidad de drenaje <sup>c</sup>	km/km <sup>2</sup>	1.86	1.60

<sup>a</sup> Parámetros cuantificados a partir de cartografía base IGM escala 1:50.000.

<sup>b</sup> Número de orden de la cuenca según Horton (Heras 1976).

<sup>c</sup> Parámetros cuantificados con información obtenida de cartografía base IGM escala 1:50.000 y según ecuaciones detalladas en el texto.

Es posible notar la marcada diferencia existente entre la densidad de drenaje de ambas cuencas. La densidad de drenaje, o longitud total de la red de drenaje por unidad de superficie, es claramente mayor para la cuenca experimental. Esto se explica por la gran cantidad de cauces que caen al estero principal aguas abajo de la estación fluviométrica, y que además se caracterizan por su elevada actividad aluvional (ver figura 1). Los bosques nativos originales de las laderas de las cuencas de estas quebradas fueron explotados hace unas tres décadas y reemplazados posteriormente por bosques de plantaciones. Es posible que durante el tiempo en que estas laderas quedaron sin cubierta forestal y como efecto de las elevadas pendientes y condiciones de suelos y clima se haya generado un rejuvenecimiento de la red de drenaje, origen del nivel de inestabilidad de estos cauces.

Destaca también la diferencia entre los valores obtenidos al calcular los tiempos de concentración utilizando diferentes modelos. Se aprecia en el cuadro 3 que el tiempo de concentración según la fórmula de California Highways, sugerida para el cálculo de crecidas en cuencas sin información fluviométrica para la zona (Dirección General de Aguas 1995), resulta mucho menor al compararlo con el obtenido con otros modelos. Esta situación deberá ser considerada en las investigaciones sobre desarrollo de relaciones y métodos para la evaluación de crecidas pluviales y nivales contemplada en este proyecto. La adecuada estimación del tiempo de concentración es fundamental para decidir la intensidad de las lluvias de diseño.

Las similares características topográficas de las cuencas experimental y de control se pueden apreciar al comparar las curvas hipsométricas y de distribución de ambas, que se presentan en la figura 2. La forma de ambas curvas son características de cuencas de montaña y son muy parecidas entre sí.

*Estaciones de monitoreo y equipos disponibles y proyectados.* En la Reserva Forestal Malalcahuello existe la estación meteorológica de Malalcahuello, perteneciente a la red hidrometeorológica de la cuenca del río Imperial. Esta estación, que se considera como estación base de la cuenca experimental, está ubicada aproximadamente a 950 m s.n.m., identificándose como Estación Meteorológica 1 en la figura 1 anterior.

La estación cuenta, como instrumentos para registros diarios, con dos termómetros para medir

CUADRO 3

Tiempo de concentración (hora)  
según diferentes modelos.  
Time of concentration (hour) according  
to different models.

Modelo para el cálculo del tiempo de concentración <sup>a</sup>	Cuenca experimental	Cuenca de control
- California Highways	0.4	0.3
- Giandotti <sup>b</sup>	1.1	0.9
- Témez	1.3	1.0
- Bruce y Clarck <sup>c</sup>	1.3	1.1
Tiempo de concentración medio	1.0	0.8

<sup>a</sup> Calculados con información obtenida de cartografía base IGM escala 1:50.000.

<sup>b</sup> Tiempos de concentración para las cuencas experimental y control dentro de los límites de validez de la fórmula.

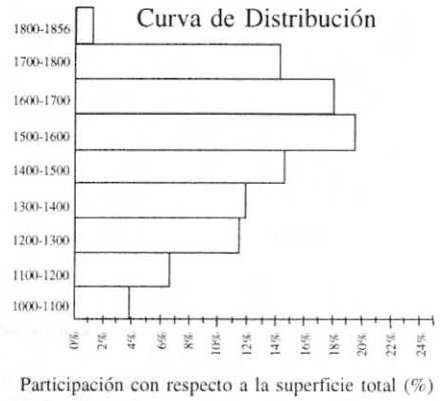
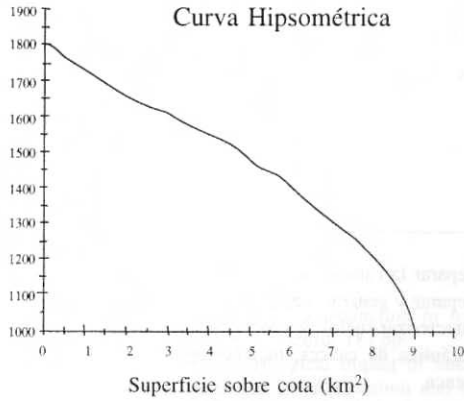
<sup>c</sup> Coeficiente de rugosidad ponderado de 0.488 para cuenca experimental y 0.475 para cuenca de control, según cuadro 1.

temperaturas máximas y mínimas, un par de psicrómetros para la medición de temperaturas seca y húmeda (a partir de estas últimas es posible calcular humedad relativa, humedad específica, humedad absoluta, tensión de vapor, déficit de saturación y entalpia), un pluviómetro y un evaporímetro de bandeja. También, instrumentos de registro continuo de temperatura (termohigrógrafo) y precipitación (pluviógrafo). Finalmente, un anemómetro para registrar el recorrido del viento, que permite el cálculo de la velocidad media del viento entre períodos consecutivos de lectura (normalmente cada 24 horas).

En realidad, esta estación base puede considerarse como pluviométrica, ya que el pluviógrafo sólo está en operación desde octubre de 1996. En estas condiciones, la validación o el cálculo de coeficientes que requieren de información de precipitación para períodos de tiempo inferiores a 24 horas deberá apoyarse en la estación pluviográfica de Curacautín.

La localización de la estación fluviométrica puede apreciarse en la figura 1. Esta estación está ubicada a cota aproximada 1.080 m s.n.m. y controla, tal como ya se mencionó, una cuenca de 581 hectáreas de superficie. La estación corresponde a

(A)



(B)

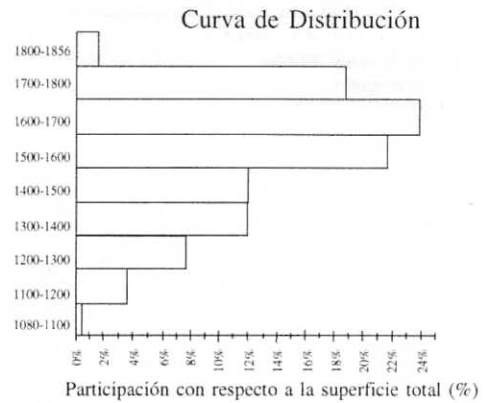
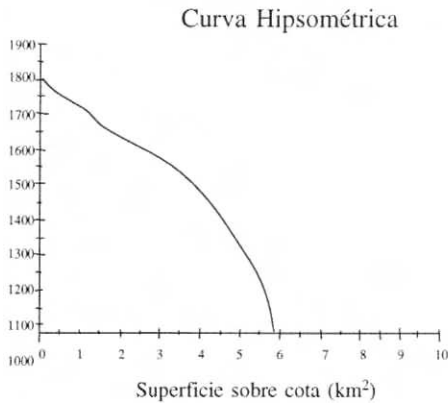


Figura 2. Curvas hipsométrica y de distribución de las cuencas experimental (A) y de control (B).  
Hypsometric and distribution curves of experimental (A) and controlled (B) catchments.

una sección natural del estero Tres Arroyos, y cuenta con dos reglas limnimétricas y un transductor de presión o presóstato para el registro continuo del nivel de las aguas. Los datos de nivel de aguas se guardan en una unidad de almacenamiento de información (o Data logger).

Además, en la localización de la estación pluviométrica se ha instalado un pluviógrafo, aprovechando la capacidad del Data logger.

En la estación de aforo está decidida la instalación de un sistema de registro continuo de turbiedad de las aguas, que estará compuesto por turbidímetros conectados a un Data logger. Los antecedentes de los registros continuos de turbiedad, transformados a concentración de sedimentos en suspensión, serán decisivos en el apoyo de las investigaciones asociados a cuantificar la producción y transporte de sedimentos.

*Líneas de investigación en desarrollo.* Las líneas de investigación propuestas para este proyecto sólo podrán ser completadas a medida que se avance en la obtención sistemática de información respecto a las diversas variables hidrometeorológicas, de suelos, vegetación y otros en la cuenca experimental.

En el cuadro 4, siguiente, se describen en forma genérica las líneas de investigación. Estas corresponden a las cinco grandes líneas de investigación contempladas en los objetivos del proyecto, y se ha incluido un programa de investigación adicional correspondiente a la determinación de la línea base de la cuenca, esto es, las condiciones topográficas, edáficas, geológicas, hidrogeológicas y de vegetación en la cuenca experimental y su entorno directo, de hidráulica de los cauces, y de la meteorología del área, entre otras (Iroumé 1997).

CUADRO 4

Líneas de investigación principales: estudios específicos y actividades para las primeras etapas del proyecto.

Main research lines: specific studies and activities for the first part of the project.

Línea de investigación	Estudio específico	Actividades
Línea de base actual	Topografía digital Caracterización física	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparar la cartografía digital a escala 1:20.000.</li> <li>- Preparar y generar mapas temáticos.</li> <li>- Caracterizar suelos, geología, hidrogeología, vegetación, hidráulica de cauces, meteorología e hidrología de la cuenca.</li> <li>- Preparar y generar mapas temáticos.</li> <li>- Analizar críticamente las variables meteorológicas.</li> <li>- Definir nuevas instalaciones y equipos.</li> </ul>
Cuantificación arrastre de sedimentos	Monitoreo de los procesos Modelación del fenómeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitorear la erosión de laderas mediante escorrentímetros operados por CONAF, sedimentos en suspensión con estación turbidimétrica y acarreo de fondo con muestreo en terreno.</li> <li>- Analizar, seleccionar y aplicar modelos de simulación y transporte de sedimentos.</li> </ul>
Cuantificación procesos de remoción en masa	Control de torrentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Recopilar antecedentes (informes, memorias, otros) sobre la ocurrencia histórica de fenómenos de remoción en masa en el país y el área.</li> <li>- Estudiar una subcuenca específica.</li> </ul>
Evaluación y desarrollo de relaciones y métodos para evaluar crecidas pluviales y nivales	Monitoreo de los procesos Modelación del fenómeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operar la estación fluviométrica en la sección de control.</li> <li>- Seleccionar crecidas características</li> <li>- Determinar los hidrogramas de crecida y hietogramas característicos.</li> <li>- Cuantificar los tiempos de concentración.</li> <li>- Analizar, seleccionar y aplicar modelos de generación de caudales del tipo precipitación-escorrentía</li> </ul>
Métodos para estimar la evapotranspiración en cuencas naturales	Estudios básicos Parcelas experimentales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar la información sobre evaporación, temperaturas y humedad de la estación base Malalcahuello.</li> <li>- Analizar los procesos de interceptación y transpiración desde masas boscosas en climas templados húmedos.</li> <li>- Estudiar y aplicar los modelos de Penman y Penman-Monteith.</li> <li>- Diseñar el establecimiento de parcelas de investigación sobre interceptación de masas boscosas.</li> </ul>
Evaluación del rendimiento hidrológico en cuencas naturales	Modelación del fenómeno Balance hídrico en cuencas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar, seleccionar y aplicar modelos para evaluar el rendimiento hídrico en cuencas naturales.</li> <li>- Diseñar la red mínima con la localización de tubos de acceso para el monitoreo y medición del contenido de humedad del suelo con sonda de neutrones.</li> </ul>



## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está siendo financiada por la Dirección General de Aguas, a través de un Convenio con la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile.

## BIBLIOGRAFIA

- BRUCE, J.P., R.H. CLARK. 1996. *Introduction to hydro-meteorology*. Pergamon Press, Oxford, 187 pp.
- CALDER, I.R. 1992. "The hydrological impact of land-use change with special reference to afforestation and deforestation", *Proceedings of the Conference on Priorities for Water Resources Allocation and Management, Natural Resources and Engineers Advisers Conference*. Southampton, July 1992, Overseas Development Administration, pp. 91-101.
- CONAF (CORPORACION NACIONAL FORESTAL). 1996. *Plan de manejo Reserva Forestal Malalcahuello*. Corporación Nacional Forestal IX Región, Temuco, p. irr.
- DONOSO, C. 1993. *Bosques templados de Chile y Argentina*. Editorial Universitaria, Chile, 484 pp.
- DIRECCION GENERAL DE AGUAS. 1987. *Balance hídrico de Chile*. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, p. irr.
- DIRECCION GENERAL DE AGUAS. 1995. *Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica*. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, p. irr.
- HERAS, R. 1976. *Hidrología y recursos hidráulicos*. Tomo I. Dirección General de Obras Hidráulicas, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid, España, 839 pp.
- HUBER, A., D. LOPEZ. 1993. "Cambios en el balance hídrico provocados por tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* (D. Don), Valdivia, Chile", *Bosque* 14 (2): 11-18.
- HUBER, A., C. OYARZUN. 1983. "Precipitación neta e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don)", *Bosque* 5 (1): 13-20.
- HUBER, A., C. OYARZUN. 1984. "Factores reguladores de la intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don)", *Bosque* 5 (2): 59-64.
- HUBER, A., C. OYARZUN, A. ELLIES. 1985. "Balance hídrico entre plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. II: Humedad del suelo y evapotranspiración", *Bosque* 6 (2): 74-82.
- IROUME, A. 1990. "Assessment of runoff and suspended sediment yield in a partially forested catchment in Southern Chile", *Water Resources Research* 26 (11): 2637-2642.
- IROUME, A. 1992. "Precipitación, escorrentía y producción de sedimentos en suspensión en una cuenca cercana a Valdivia, Chile", *Bosque* 13 (2): 15-23.
- IROUME, A. 1997. *Cuenca experimental representativa, Reserva Forestal Malalcahuello. Cuenca Río Imperial, IX Región de la Araucanía. Informe N° 1: Descripción General del Proyecto e Investigación de las Líneas de Investigación*. Dirección General de Aguas, Facultad de Ciencias Forestales, 36 pp.
- LOPEZ, F., M. BLANCO, 1976. *Hidrología Forestal, 1ª Parte*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid, España, 387 pp.
- OYARZUN, C., A. HUBER, S. VASQUEZ. 1985. "Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata*. I: Redistribución de precipitaciones", *Bosque* 6 (1): 1-14.
- ROTHWELL, R.L. 1978. *Watershed management guidelines for logging and road construction in Alberta*. Northern Forest Research Centre, Information Report NOR-X-208, Edmonton, Canada, 43 pp.
- TEMEZ, J.R. 1978. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General de Carreteras, Madrid, España, 113 pp.