



INCO-CT2004-510739

EPIC FORCE

Evidence-based Policy for Integrated Control of Forested River Catchments in Extreme rainfall and Snowmelt

Instrument: Specific Targeted Research Project

Thematic Priority: Specific Measures in Support of International Cooperation, Developing Countries, A.2 Rational Use of Natural resources, A.2.1 Managing humid and semi-humid ecosystems

Deliverable D18

Report on basin response for Argentina

Authors: Iturraspe Rodolfo, Urciuolo Adriana, Guerrero Borges Verónica, Gaviño Novillo Marcelo, Collado Leonardo, Sarandón Ramiro, Burns Sarah

Due date of deliverable: August 2007

Actual submission date: September 2007

Start date of project: 1 February 2005

Duration: 36 months

Organisation name of lead contractor for this deliverable: Subsecretaría de Recursos Naturales de Tierra del Fuego (SRNTDF) – Universidad Nacional de la Plata (UNLP)

Revision [Final]

Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006)		
Dissemination Level		
PU	Public	X
PP	Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	
RE	Restricted to a group specified by the consortium (including the Commission Services)	
CO	Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	

**EPIC FORCE
DELIVERABLE 18**
Report on basin response for Argentina

**ANALISIS DE RESPUESTA DE LAS AREAS FOCALES EN
ARGENTINA**

**FLOOD RESPONSE ANALYSIS FOR FOCUS AREAS IN
ARGENTINA**

EQUIPO EPIC FORCE ARGENTINA

**SUBSECRETARÍA DE RECURSOS NATURALES DE TIERRA DEL FUEGO
(ARGENTINA)**

Adriana Urciuolo
Rodolfo Iturraspe
Collado Leonardo
Iturraspe Rodrigo
Pacheco José
Villena Pablo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA (ARGENTINA)

Marcelo Gaviño
Ramiro Sarandón
Verónica Guerrero Borges
Sarah Burns

EXECUTIVE SUMMARY

The analysis of the hydrological response of river catchments and the impacts of forest and land use management are the central theme of the EPIC FORCE project WP4 in Argentina. The aim is to contribute to the provision of scientific evidence for the development of policies for the integrated management of water and forest resources at the catchment scale, with an emphasis on the conditions of extreme rainfall and snowmelt events. The work was undertaken at two focus catchments in the Province of Tierra del Fuego: the Buena Esperanza and the Rancho Hambre. The first is subject to changes in land use and anthropogenic impacts; such influences are largely absent in the second, which in addition has a larger extent of forest cover. Both are representative of the focus area (catchments with native forest cover in the Andean-Patagonian region of Argentina), as much for their environmental and hydrological characteristics as for anthropogenic activities and impacts.

There is an emphasis in the analysis on extreme events. Consequently several cases have been identified and the conditions under which they occurred have been studied. Both catchments have been affected by major flood events, the first recorded being in the spring of 1954 and the second during the winters of 2000 and 2006.

On the basis of the work carried out to support the hydrological analysis, detailed information is presented on the physical, climatic and hydrological characteristics of the two catchments. This in turn serves as the basis for the generation of data sets for the hydrological simulation model SHETRAN. It also allows conceptual analysis of the hydrological response of the catchments in both extreme and more moderate events as input to the model set-up and calibration.

The hydrological analysis includes the spatial variability of precipitation and the statistical distribution of extreme values, temperature as a significant variable for floods, the stream flow duration and flood frequency curves and the sediment transport characteristics (of particular importance in the Buena Esperanza catchment). Landslide, and more especially avalanche, activity is characterized using details of an event which occurred in the Buena Esperanza catchment in 1976.

Among the EPIC FORCE focus areas in Latin America, the Argentinean site is the only one with a mixed rain and snow regime. Forest has an important role in the development of the seasonal snow cover and in the melt process. These aspects are analyzed and discussed in the context of extreme events, noting that the largest floods are strongly linked to rain falling on snow in conditions of high temperatures and significant snow accumulation in the catchment.

The results show that, while the capacity of forest to reduce flood peak discharges does tend to diminish as precipitation event magnitude increases, in these types of catchment the forest has a more effective function than in other environments subjected to major events. This is because of the particular regional climatic conditions and the generally favourable effects of the forest in regulating the snow hydrology. The sediment transport characteristics highlight the effect of the forest in controlling erosion and in soil conservation: however, this function could be threatened by the increasing trend towards land use change under the pressures of tourism development and urban expansion.

RESUMEN

El análisis de la respuesta hidrológica de cuencas y su vinculación al manejo del bosque y uso del suelo, es el tema central del paquete de trabajo WP4 del proyecto EPIC FORCE en Argentina. Su finalidad en el contexto metodológico del proyecto es contribuir a la provisión de evidencia científica para el desarrollo de políticas para el manejo de aguas y bosque a nivel de cuencas. Para su desarrollo se trabajó sobre dos cuencas focales en Provincia de Tierra del Fuego: la cuenca del arroyo Buena Esperanza y la del río Hambre, la primera sujeta a cambios en el uso del suelo y a impactos antrópicos, aspectos que prácticamente no se verifican en la segunda, que además presente mayor cobertura forestal.

Ambas son representativas del área focal: las cuencas de la región andina-patagónica de Argentina con presencia de bosque nativo, tanto por las características ambientales e hidrológicas como por las principales actividades antrópicas existentes y sus impactos.

En el contexto formulado, el análisis tiene énfasis en situaciones de eventos extremos, para lo cual se han identificado casos de ocurrencia y estudiado las condiciones bajo las cuales éstos tuvieron lugar. Ambas cuencas fueron afectadas por importantes crecidas, la primera en la primavera de 1954 y la segunda durante el período invernal de los años 2000 y 2006.

Como resultado de las actividades realizadas para el análisis hidrológico de ambas cuencas, se presenta detallada información sobre las características físicas, climáticas e hidrológicas de las mismas. Esto ha servido de base para la generación de las series de datos depurados y organizados de acuerdo a los requerimientos del modelo hidrológico de simulación SHETRAN y para definir conceptos relativos a la respuesta hidrológica de las cuencas ante eventos extremos y crecidas ordinarias a ser tenidos en cuenta para la implementación y ajuste del modelo.

Se ha analizado la variabilidad espacial de las precipitaciones y la distribución estadística de valores extremos, la temperatura como variable significativa asociada a las crecidas, se determinaron las curvas de duración y frecuencia de caudales, las características del transporte de sedimentos, netamente más significativo en la cuenca del Buena Esperanza, y se ha caracterizado la dinámica de los deslizamientos, y en particular de las avalanchas, con detalles sobre un evento registrado en la cuenca del Buena Esperanza en 1976.

Entre las diferentes áreas focales estudiadas en América Latina, la de Argentina presenta características especiales debido al régimen pluvio-nival. Es importante el rol del bosque en relación al desarrollo del manto nival estacional y el proceso de deshielo. Estos aspectos han sido analizados y discutidos en el contexto de los eventos extremos, observándose que las crecidas extraordinarias tienen un vínculo muy estrecho con la ocurrencia de lluvia sobre nieve en condiciones de alta temperatura y acumulación nival significativa en la cuenca.

Los resultados indican que si bien se advierte la tendencia a que la capacidad del bosque para atenuar crecidas disminuya con el incremento de la magnitud de las precipitaciones que las originan, en este tipo de cuencas el bosque cumple una función más efectiva que en otro tipo de ambientes ante situaciones extraordinarias, debido a las particularidades de las condiciones climáticas regionales y a efectos generalmente favorables del bosque en la regulación de la hidrología nival. Las características del transporte de sedimentos ratifican la eficiencia del bosque en el control de procesos erosivos y conservación de suelos, función que podría verse afectada por la creciente tendencia al cambio de usos del suelo en la cuenca del Buena Esperanza ante el notable desarrollo turístico y poblacional.

INDICE GENERAL

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	6
2. DESCRIPCIÓN DEL AREA FOCAL	8
2.1. Contexto regional	8
2.1.1. La Patagonia y la eco-región de los bosques andino-patagónicos	8
2.1.2. Rasgos geomorfológicos	9
2.1.3. Clima	10
2.1.4. Suelos	11
2.1.5. Flora y fauna	12
2.1.6. Perfil socioeconómico	13
2.1.7. Población y actividades productivas	14
2.2. Recursos hídricos, inundaciones y cambio climático	15
2.2.1. Los recursos hídricos y las inundaciones	15
2.2.2. Cambio climático	18
2.2.3. Las principales vulnerabilidades	20
2.3. Referencias bibliográficas	22
3. DESCRIPCIÓN DE LAS CUENCAS FOCALES	23
3.1. Generalidades de Tierra del Fuego	23
3.1.1. Ubicación	23
3.1.2. Geología y Geomorfología	24
3.1.3. Clima	24
3.1.4. Bosques	25
3.2. Descripción de las cuencas de estudio	27
3.2.1. Cuenca del arroyo Buena Esperanza	30
3.2.2. Cuenca del Arroyo Hambre	40
3.3. Contrastes entre las cuencas focales	45
3.4. Referencias bibliográficas	46
4. RECOLECCIÓN DE DATOS	48
4.1. Fuentes de información:	48
4.2. Redes de observación	50
4.2.1.- Cuenca del Buena Esperanza	50
4.2.2.- Cuenca del Río Hambre	53
4.3. Temperatura	54
4.4. Precipitación	54
4.4.1. Ushuaia y Cuenca del Buena Esperanza	54
4.4.2.- Cuenca del Hambre	57
4.5. Evapotranspiración	58
4.6. Caudales	60
4.6.1. Arroyo Buena Esperanza	60
4.6.2.- Río Hambre	63
4.7. Deslizamientos	65
4.8. Uso de la Tierra	67
4.9. Características del bosque	68
4.10. Eventos Extremos	69
4.10.1. Cuenca del Buena Esperanza.	69
4.10.2. Cuenca del Río Hambre	70
4.11. Referencias bibliográficas	75

5. ANÁLISIS DE DATOS	77
5.1. Curvas de duración de caudales	78
5.2. Curvas de frecuencia de caudales	79
5.3. Características de los eventos extremos e influencia del bosque en la componente nival.	81
5.4. Fusión de la nieve.	83
5.5. Transporte de sedimentos	84
5.6. Incidencia de deslizamientos y avalanchas.	87
5.7. Análisis de la información climática de estaciones cercanas de registro extenso y su correspondencia con las cuencas piloto.	88
5.7.1.-Análisis de precipitaciones máximas diarias.	88
5.7.2.- Análisis de la variabilidad espacial de las precipitaciones	92
5.8. Referencias bibliográficas	95
6. IMPACTOS DE CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO DE LA CUENCA DEL A. BUENA ESPERANZA Y POTENCIALES CONSECUENCIAS SOBRE EVENTOS EXTREMOS.	96
6.1. Introducción	96
6.2. Análisis de los cambios en la cubierta y uso del suelo	97
6.2.1. Determinación de Cobertura y uso actual (2005)	99
6.2.2. Cambios temporales en la cobertura y uso	100
6.3. Discusión sobre cambios en el uso del suelo en la cuenca	106
6.3.1. Cambios históricos en el uso del suelo.	106
6.3.2. Relación eventos extremos – cambios en el uso del suelo.	107
6.4. Referencias bibliográficas	108
7. CONCLUSIONES	109

1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto EPIC FORCE tiene como objetivo contribuir a mejorar el manejo integrado de los recursos agua y bosque a escala de la cuenca hídrica a través del desarrollo de políticas basadas en evidencia científica. Para ello, uno de sus componentes se centra en el desarrollo de un modelo genérico para la respuesta de la cuenca bajo diferentes condiciones de manejo del bosque y usos del suelo, ante eventos extremos de lluvia/nieve.

Para el estudio de la respuesta de la cuenca al manejo del bosque y al uso del suelo en la República Argentina, se seleccionaron dos cuencas de la Provincia de Tierra del Fuego, la del Arroyo Buena Esperanza y la del Arroyo Hambre.

El criterio de selección de estas cuencas se basó en la disponibilidad de datos que permitan su modelación hidrológica, incluyendo situaciones de eventos extremos y la factibilidad de analizar contrastes entre la cuenca del Buena Esperanza, con importante afectación por la actividad humana y la cuenca del Hambre, prácticamente inalterada. Ambas son representativas del área focal: las cuencas de la región andina-patagónica de Argentina con presencia de bosque nativo, tanto por las características ambientales e hidrológicas como por las principales actividades antrópicas existentes y sus impactos.

Tanto el área focal como las cuencas piloto seleccionadas han sido analizadas y descriptas en relación a sus características ambientales y a la actividad antrópica que registran.

En el contexto formulado, el análisis de la respuesta hidrológica de las cuencas de estudio tiene énfasis en situaciones de eventos extremos, para lo cual se han identificado los mismos y estudiado las condiciones bajo las cuales éstos tuvieron lugar. Ambas cuencas fueron afectadas por importantes crecidas, la primera en la primavera de 1954 y la segunda durante el otoño de los años 2000 y 2006.

El ajuste del modelo requirió de detallada información física de estas cuencas, incluyendo aspectos tales como modelo digital del terreno, variables climáticas, hidrología, geomorfología, suelos, vegetación y usos del suelo. Además de recopilarse los datos hidroclimáticos preexistentes fue necesario mejorar y extender las redes de medición a través de aportes específicos del proyecto. Se adquirió equipamiento y se realizaron actividades de campo para su instalación, y mantenimiento, procediéndose luego al monitoreo hidrológico y climático en ambas cuencas en forma sistemática.

Estas tareas permitieron el análisis hidrológico por subcuencas, lo que facilitó la comprensión de la respuesta global y la evaluación y cuantificación de la variabilidad espacial de las precipitaciones. También fue posible establecer correlaciones entre las estaciones locales de corto registro con las estaciones climáticas próximas, externas a las cuencas que disponen de series extensas y con cobertura de las situaciones correspondientes a los eventos extremos.

Como resultado se obtuvo la generación de las series de datos depurados y organizados de acuerdo a los requerimientos del modelo SHETRAN, para el desarrollo del modelo genérico de las cuencas focales.

Para la caracterización de la respuesta de la cuenca se determinaron resultados tales como el análisis de las precipitaciones extremas, la caracterización de la temperatura como variable significativa asociada a los eventos extremos, las curvas de duración y frecuencia de caudales, las características del transporte de sedimentos, netamente más significativo en la cuenca del Buena Esperanza, la evaluación de la dinámica de los deslizamientos, y en particular de las avalanchas, con detalles sobre un evento registrado en la cuenca del Buena Esperanza en 1976.

Los eventos extremos fueron tratados en detalle, para lo cual fue necesario reconstruir los caudales a partir de la información de niveles alcanzados por el agua y fueron además caracterizadas las condiciones climáticas que dieron lugar a los mismos, así como el estado de

los almacenamientos en las cuencas. Fueron además evaluadas las relaciones de ocurrencia de deslizamientos con estos eventos a partir de fotos aéreas, imágenes satelitales y relevamientos in situ para los casos más recientes.

Entre las diferentes áreas focales estudiadas en América Latina, la de Argentina presenta características especiales debido al régimen pluvio-nival. Es importante el rol del bosque en relación al desarrollo del manto nival estacional y el proceso de deshielo. Estos aspectos han sido analizados y discutidos en el contexto de los eventos extremos, observándose que las crecidas extraordinarias tienen la mayor factibilidad de ocurrencia cuando se presentan en forma conjunta lluvias de intensidad excepcional durante tiempo prolongado, con alta temperatura y acumulación significativa de nieve en la cuenca.

El presente Informe está organizado de la siguiente forma: la sección 2 presenta la descripción del área focal, considerando como tal a la eco-región de bosques andino-patagónicos; en la sección 3 se describen las cuencas de estudio consideradas en el análisis: la cuenca del Arroyo Buena Esperanza y la cuenca del Arroyo Hambre desde un punto de vista físico, de usos del suelo y de eventos extremos de significación; en la sección 4 se detallan las fuentes de datos utilizados tanto para la calibración del modelo como para caracterización de los eventos extremos, las redes de medición y series de datos obtenidas de ambas cuencas, distinguiendo entre aquellas existentes, de las adquiridas e instaladas mediante aportes específicos del Proyecto; la sección 5 presenta el análisis de los datos hidrológicos, de usos del suelo y la evaluación de los eventos extremos, definiendo información y pautas sobre respuesta de las cuencas de utilidad para su modelación; la sección 6 presenta el análisis de cambios en el uso del suelo de la cuenca del Arroyo Buena Esperanza teniendo en cuenta el desarrollo explosivo que tuvo en particular Ushuaia y en General Tierra del Fuego; en la sección 7 se muestran las conclusiones.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA FOCAL

2.1. Introducción

En el presente capítulo se presenta una descripción del área focal del proyecto EPIC FORCE en la República Argentina, la cual corresponde a la Eco-región del Bosque Andino Patagónico que se desarrolla a lo largo de la vertiente oriental de los Andes y presenta cierta uniformidad ecológica y de usos, estando sometida a eventos climáticos que generan episodios de inundación, avalanchas, etc, con consecuencias diversas sobre el ambiente, tanto del medio natural como socio-económico. La descripción incluye aspectos tales como ubicación, geomorfología general, rasgos climáticos, uso del suelo, actividades forestales, eventos extremos y sus impactos.

2.1. Contexto regional

2.1.1. La Patagonia y la eco-región de los bosques andino-patagónicos

La Patagonia es aquella porción del territorio argentino que se extiende al Sur del río Colorado, límite político entre las provincias de La Pampa y Río Negro, y delimitada al Oeste por la Cordillera de los Andes y al Este por el Océano Atlántico. Cubre aproximadamente un tercio de la superficie total de la Argentina continental, abarcando las provincias de Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego A.I.A.S. (Figura 2.1). La región está delimitada al Oeste por la cordillera de los Andes y al Este por el océano Atlántico, presentando una amplia variabilidad topográfica, desde los 4.000 msnm. hasta el nivel del mar, lo que ocasiona importantes contrastes climáticos y ecológicos. La densidad de población es baja y está primariamente concentrada en asentamientos urbanos ubicados en el cordón cordillerano y sobre la costa Atlántica (Tabla 2.1).

Provincia	Sup (Km ²)	Sup (%)
Neuquen	94.078	11,95
Río Negro	203.013	25,78
Chubut	224.686	28,54
Santa Cruz	243.943	31,00
Tierra del Fuego A.I.A.S.*	21.566	2,74
	787.286	100

Tabla 2.1. Superficie cubierta por las Provincias patagónicas

* Superficie provincial sin las Islas Malvinas, Antártida e Islas del Atlántico Sur

Datos: IGM, INDEC

La Eco-región de los bosques andino-patagónicos, por su parte, pertenece a la provincia biogeográfica Altoandina, dentro del dominio Andino Patagónico, que abarca las altas montañas de la Cordillera Andina desde Venezuela hasta Tierra del Fuego. Ocupa una delgada franja de vegetación boscosa en dirección Este-Oeste cuyo ancho máximo (en el sector argentino) es de 75 Km. acompañando a la Cordillera desde la Provincia del Neuquén, en los 37° de latitud sur, prolongándose a lo largo de unos 2.200 Km. en el extremo continental, para luego continuar a la Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur. La caracterizan bosques templado-fríos con especies de bosque perennes o caducifolias. (Figura 2.1).

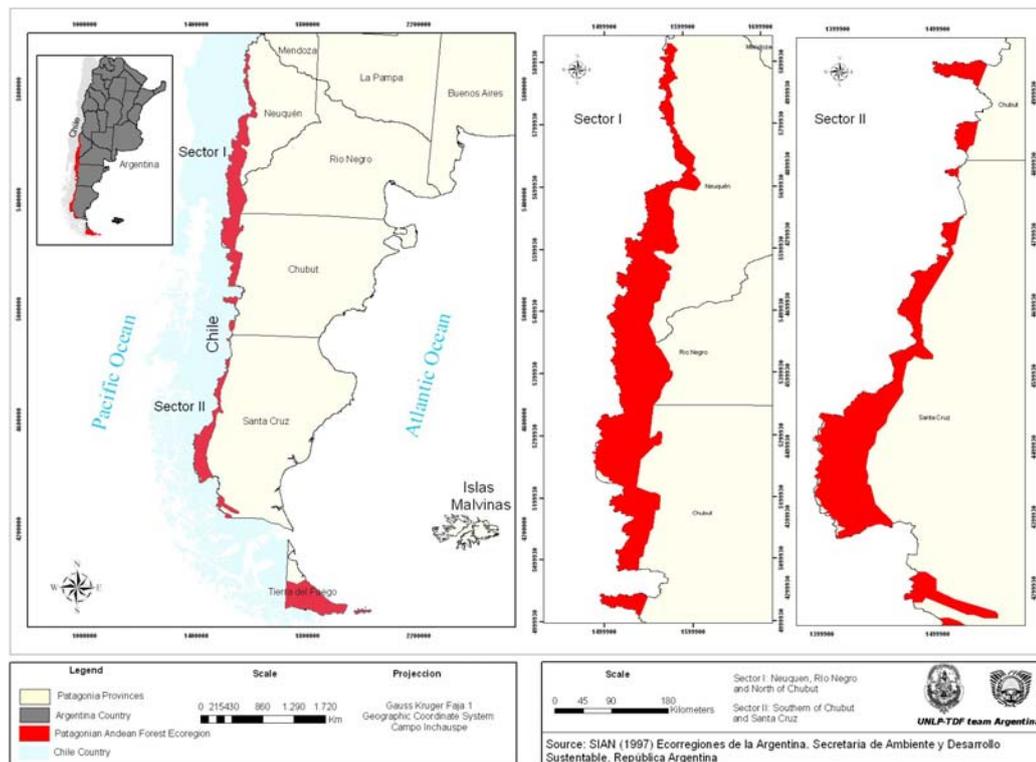


Figura 2.1. Patagonia y Ecoregión Andino Patagónica

2.1.2. Rasgos geomorfológicos

La geomorfología de la región está marcada por la presencia de la Cordillera de los Andes. Esta formación se produjo por elevación de la corteza terrestre a fines del periodo terciario, como consecuencia de la presión de la placa tectónica del Pacífico (SRNyDS, 2000). La evolución del paisaje ha sido determinada principalmente por la actividad glaciar, la acción fluvial, la remoción en masa y los procesos criogénicos.

El paisaje glaciar fue modificado por procesos fluviales que dieron lugar a la formación de terrazas, planicies y abanicos aluviales que en algunos casos llegan hasta los lagos formando fandelas. Así también, en toda el área focal se observa una intensa remoción en masa como consecuencia de las pendientes pronunciadas, el elevado relieve relativo y la potente cobertura detrítica que tapiza las laderas. El reptaje y la soliflucción son fenómenos ampliamente distribuidos, así como las caídas de rocas y detritos, siendo estos últimos más frecuentes en las nacientes de las artesas y en los circos glaciares, coincidiendo con las zonas de pendientes más abruptas.

Los flujos densos (debris y mudflows) se asocian generalmente a los abanicos aluviales y a los conos de deyección. En las zonas englazadas y sus aledaños, se producen avalanchas de roca, detritos y de nieve. El crioclastismo es también muy activo en los sectores topográficamente más altos. Fuera de la zona de bosque, las morenas y particularmente los niveles de terrazas glacifluviales poseen una cobertura de arenas eólicas que puede superar un metro de potencia. En estos sectores es común observar cenizas volcánicas intercaladas en los sedimentos eólicos.

Otro factor importante corresponde al vulcanismo, proceso de cuyo accionar se cubren vastas zonas con un manto de sedimentos formado por cenizas volcánicas sobre las que se desarrollaron suelos fértiles. En la zona boscosa los materiales detríticos gruesos que cubren las pendientes presentan intercalaciones de ceniza y lapilli volcánicos.

La Cordillera de los Andes se desarrolla a lo largo de tres regiones geológicas denominadas Cordillera Neuquina, Cordillera Patagónica Austral y Cordillera Fueguina. En la primera de ellas predominan elevados cordones montañosos con orientación N-S, separados por valles

paralelos y transversales, destacándose las cumbres de los volcanes Tronador (3554 m) y Lanín (3776 m). La Cordillera Patagónica Austral, por su parte, se extiende desde el lago Nahuel Huapi hasta el estrecho de Magallanes, con alturas variables entre 3000 m. y entre 600 m. y valles intermontanos. En Chubut se destacan los cerros Tres Picos, Chato y Cónico. En Santa Cruz se encuentran los cerros San Lorenzo, Fitz Roy, Huemul, Campana, Yole, Hatcher y los montes Zeballos y Belgrano.

La Cordillera Fueguina, en la que se ubican las cuencas de los arroyos Buena Esperanza y Hambre, corresponde a una continuación natural de los Andes Patagónicos. Alcanzan una altura variable entre 800 y 1.000 metros, destacándose las sierras de Alvear y de Valdivieso y los montes Lucio López, Martial y Olivia.

2.1.3. Clima

La eco-región de los bosques andino patagónicos está dominada por masas de aire provenientes del océano Pacífico. La región se encuentra entre los anticiclones semipermanentes de los océanos Pacífico y Atlántico aproximadamente a 30° latitud Sur y el cinturón de baja presión subpolar a los 60° latitud Sur (Prohaska 1976). Los fuertes vientos constantes del oeste son dominantes en la región. Los movimientos estacionales de los sistemas de alta y baja presión y las corrientes del océano hacia el ecuador determinan un patrón de precipitación. Durante el invierno, la baja subpolar es más intensa. Esta situación combinada con el desplazamiento ecuatorial de la alta del Pacífico y las temperaturas mayores del océano que del continente, llevan a un incremento en la precipitación durante esta estación. Los Andes juegan un rol crucial en la determinación del clima de la región. La distribución Norte-Sur de las montañas impone una barrera importante para las masas húmedas que vienen del océano Pacífico. La mayor parte del agua de estas masas de aire marítimas caen en el lado chileno, y el aire se hace más cálido y más seco a través del calentamiento adiabático mientras desciende por el lado argentino de los Andes.

Los patrones de circulación general, la influencia de las masas de aire del Pacífico y la barrera topográfica paralela a la costa del Pacífico resultan en un fuerte gradiente Oeste-Este de precipitación a través de la región (Barros et al 1979).

Desde los Andes en dirección Este la precipitación decrece exponencialmente. La distancia a los Andes explica un 94% de la variabilidad espacial de la precipitación anual (Jobbagy et al, 1995). La precipitación decrece casi 7 mm por km, en los primeros 60 km al Este de los Andes (Soriano 1983)

En la región la precipitación se concentra principalmente en el invierno. 46% de la precipitación anual ocurre en invierno, 27% en otoño, 16% en primavera y 11% en verano (Jobbagy et al, 1995). La mayoría de los eventos de precipitación no exceden los 5 mm (Beltrdn 197). La cantidad total de agua que cae en estos pequeños eventos permaneció constante a lo largo de los años. La diferencia entre años secos y húmedos está relacionada a la presencia de eventos mayores a 10 mm (Golluscio et al 1998). En el invierno, la precipitación generalmente ocurre en forma de nieve por encima de los 1000 m y 600 m en los sectores Norte y Sur respectivamente. Los valles altos y los pasos de montañas se vuelven inaccesibles durante el invierno debido nevadas fuertes sobre la Cordillera.

El clima en la región puede ser definido como templado, templado-cálido. Una característica del patrón de temperaturas es la distribución NO-SE de las isotermas, determinado principalmente por la presencia de los Andes. La temperatura media anual varía entre 12°C en el sector Norte de la región y 3°C en el sector Sur. La temperatura media del mes más frío (Julio) es mayor a 0°C en toda la región, aunque en el Sur la temperatura mínima absoluta es menor a -20°C. La amplitud térmica varía entre 16°C en la zona Norte y 5°C en el extremo Sur de la región.

El fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENSO) es uno de factores más importantes responsables de la variabilidad interanual de las variables meteorológicas, particularmente la precipitación. Por ejemplo, la precipitación en la primavera (Septiembre a Noviembre) tiende a ser menor a lo normal durante eventos de La Niña y mayor durante eventos de El Niño. De Diciembre a Febrero, el período del verano, se observa un patrón opuesto: mayor a lo normal durante La Niña y menor a la precipitación normal durante eventos de El Niño (Beltrán et al, 1998). El impacto de este fenómeno en la temperatura estacional no es tan claro como con la precipitación. Sin embargo, durante eventos de El Niño, la temperatura del verano tiende a ser mayor a lo normal (Aceituno 1988, Kiladis y Díaz 1989, Beltrán 1997).

La región de los bosques andino patagónicos contiene una de las coberturas glaciarias más grandes del mundo. Meier, (1984) consideró a la Patagonia como una de las tres regiones glaciarias, cuya pérdida de masa influye sobre el nivel global del mar. Contiene casi 3734 km³ de hielo (Glebova, 1984), esto es alrededor del 96% total de hielo de America de Sur.

2.1.4. Suelos

El gradiente pluviométrico, característico de la región andino-patagónica, determinó la distribución del hielo durante las glaciaciones, generando una secuencia de paisajes O-E expresada por diferentes geomorfologías, predominando las geoformas de erosión glaciaria hacia el oeste, y de acumulación hacia el este. Durante el Holoceno el paisaje fue cubierto por depósitos piroclásticos provenientes de volcanes situados en Chile. Estos depósitos piroclásticos postglaciales: cenizas volcánicas, capas de lapilli, o bien depósitos de origen glacial contaminados con arenas volcánicas constituyen los materiales originarios de la mayoría de los suelos de la región. Las cenizas volcánicas, rápidamente alterables, permitieron el desarrollo de suelos de alta fertilidad. Los principales suelos de la región andina, con mayores precipitaciones, son los Andisoles; caracterizados por la presencia de aluminosilicatos amorfos (alófano e imogolita), Inceptisoles, Molisoles y Entisoles; y en el área extrandina dominan los Aridisoles; Entisoles y Molisoles. En la zona de transición entre ambas se han reconocido principalmente Molisoles y Entisoles.

Los procesos pedogenéticos más importantes en la zona estudiada son: 1) andosolización 2) podsolización, 3) humificación y melanización, 4) carbonatación cálcica y 5) variado en el espacio y el tiempo.

Como resultado de la andosolización se han desarrollado, en el ámbito cordillerano, Andisoles y otros órdenes con intergrados ándicos. Este proceso requiere un elevado contenido de humedad la mayor parte del año y la presencia de materiales parentales ricos en cenizas volcánicas. Asimismo, existe una estrecha relación entre el bosque de *Nothofagus* y la aparición de Andisoles, extendiéndose éstos muy poco en la zona del ecotono bosque estepa arbustiva y apareciendo menos aún en las zonas de vegetación de pradera, que presentan Molisoles con propiedades ándicas. En los mallines (vegas) localizados en el ambiente cordillerano, la interacción del régimen ácuico con la depositación de cenizas volcánicas y sedimentos glaciogénicos ha resultado en varios ciclos alternados de pedogénesis-morfogénesis lo que se ha plasmado en la estrecha asociación espacial de Histosoles y Andisoles de régimen ácuico (Acuands). La podsolización es un proceso restringido a escasos sitios de la región cordillerana que se evidencia en la presencia de suelos con horizontes spódicos Bhs (Irisarri 2000)

En el ambiente cordillerano, la humificación y en consecuencia la melanización, se encuentran fuertemente condicionadas por el factor climático. Las bajas temperaturas y la elevada humedad favorecen la humificación en detrimento de la mineralización. En la zona extrandina, estos procesos están minimizados debido principalmente al fuerte déficit hídrico que influye directamente sobre el factor biota.

La existencia de acumulaciones calcáreas es un rasgo frecuente en suelos de Patagonia Extrandina (Aridisoles y Entisoles), cuya máxima expresión morfológica se materializa en el desarrollo de horizontes cálcicos y petrocálcicos en Aridisoles. Los suelos asociados a las posiciones más elevadas del paisaje presentan porcentajes de CO_3Ca apreciablemente superiores a los que se ubican en niveles topográficamente inferiores. En líneas generales la carbonatación cálcica predomina en los sectores más estables y antiguos del paisaje, principalmente en las terrazas estructurales y terrazas fluviales, en los cuales las propias características del relieve (subhorizontal) favorecen la iluviación. El proceso de argiluvación se halla evidenciado principalmente en los Argides del ambiente extrandino asociados a terrazas fluviales y estructurales. Si bien el predominio del régimen árido es manifiesto en casi todo el territorio provincial, algunos suelos muestran como indicio de haber experimentado momentos de mayor pedogénesis, horizontes enriquecidos en arcillas iluviales. La génesis estos Bt se remite a períodos de excedentes hídricos, al menos estacionales, incompatibles con las condiciones climáticas dominantes en la actualidad. Esta característica, sumada a la frecuente presencia de una discontinuidad litológica entre los horizontes argílicos y epipedones ócricos suprayacentes (de origen eólico) permiten suponer que este proceso alcanzó moderada intensidad en diferentes momentos del Holoceno medio. Tal situación estaría relacionada con los cambios climáticos vinculados a los avances glaciarios y a condiciones de más frías y húmedas del último máximo glacial. Por lo tanto, la argiluvación es prácticamente inactiva, salvo en un grado incipiente en la zona andina.

2.1.5. Flora y fauna

Los bosques están conformados por pocas especies pero con gran cantidad de endemismos con familias y géneros exclusivos. Estas especies, aún cuando cambian a lo largo de los diferentes sectores, cumplen un mismo rol ecológico, por lo que si bien la vegetación presenta variaciones, la fauna es bastante similar en toda la extensión de la región.

En el sector norte se distinguen los bosques de Pehuén o Araucaria (*Araucaria araucana*), esta conífera puede alcanzar los 45 m. de altura y 2 m. de ancho su tronco. Las concentraciones más densas parecen entre los 900 y 1800m s.n.m., en sitios húmedos y fríos. En ciertos lugares crecen entremezclados con la Lengua (*Nothofagus pumilio*) y un sotobosque de caña Colihue (*Chasquea culeou*) o bien ejemplares aislados en el paisaje. A lo largo de toda la región , marcando su borde oriental en el ecotono con la estepa y definiendo el límite de crecimiento del bosque, aparecen dos de las especies de mayor distribución, el Ñire (*Nothofagus antártica*), propio de orillas de mallines y turbales y de zonas de altura, y la Lengua (*Nothofagus pumilio*). Esta última, a partir de determinados niveles crece en forma achaparrada por la acción de los vientos y el peso de la nieve que se acumula en el invierno. El Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*) es una de las especies típicas del ecotono aunque limitada a la zona más seca del norte de la región. Esta especie suele aparecer acompañada por el Maitén (*Maytenus boaria*) en los sectores de transición, formando bosquecillos puros en algunos lugares húmedos. Junto con el maitén, el Chacal (*Chacaya trinervis*) desarrolla galerías que ingresan en la estepa a orilla de los ríos, mientras que en los lugares desmontados se forman matorrales del Espino Negro (*Colletia spinosissima*).

En los sitios donde las precipitaciones superan los 1500 mm. anuales, se encuentra la denominada selva Valdiviana, con su máxima expresión del lado chileno, donde supera en ciertos sitios los 4000 mm. de precipitación anuales, contribuyendo las temperaturas relativamente estables a su conservación. La especie dominante es el Cohiue (*Nothofagus dombeyi*), árbol que sobrepasa los 40 m. de altura y los 2 m. de diámetro. Crece desde el nivel de los lagos (500-700m s.n.m.) hasta los 900 m. donde comienza el lengal. Acompañado por otras numerosas especies, este bosque presenta un aspecto selvático, con enredaderas, cañaverales, multitud de musgos, líquenes y helechos que aumentan en las áreas más húmedas.

En sitios de suelos anegadizos, aparece el Alerce (*Fitzroya cupressoides*), quizá uno de los árboles más imponentes de la región, alcanzando los 60 m. de altura y 3 m. de diámetro, con edades que pueden llegar a los 3000 años; muchas de las veces acompañado por el Ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*).

En la zona norte de los bosques Andino-Patagónicos mezclándose con el Pehuén, el Cohiue o la Lengua y en ocasiones formando agrupaciones puras, aparecen dos especies, el Roble pellín (*N. oblicua*) y el Raulí (*N. procea*), la vertiente occidental de los Andes contiene sus concentraciones más importantes.

Las formaciones de Arrayanes (*Myrceugenella apiculata*), son un tipo muy definido de bosque, que se da puro en muy pocos sitios, normalmente prospera en lugares húmedos, frecuentemente a orillas de lagos y ríos.

En el sector sur de la eco-región, que comienza a partir del paralelo 47° aparece el Guindo (*Nothofagus betuloides*), especie perenne de hasta 35m de alto, acompañado por la Lengua, el Ñire y el Canelo (*Drymis winteri*), se presenta en sitio de clima más riguroso. No hay cañaverales y son frecuentes los turbales que crean numerosos claros en el bosque.

Respecto a la fauna, en la región abundan las especies endémicas pero la diversidad es baja. Dentro del bosque hay muy pocas aves, habitando el carpintero más grande del país. Muchas de las especies nidifican en huecos de árboles, siendo el porcentaje de aves migratorias muy alto, muchas de ellas con desplazamientos altitudinales. En el ecotono se encuentran especies de los ambientes de bosque y estepa. Los lagos de origen glaciario son muy poco productivos y por ello pobres en seres vivos. Hay numerosos anfibios y reptiles. Entre los mamíferos se destacan dos ciervos: el Pudú y el huemul, dos nutrias verdaderas; el huillín o lobito de río patagónico y el chungungo o nutri marina, y el gato uña. Todas estas especies son propias de esta eco-región. Se destacan varias especies introducidas como el Jabalí, el Conejo, el Castor, la Rata Almizclera, Ciervo Colorado y el Visón.

El nivel de degradación de estos bosques en la Argentina en general es bajo, con excepción de la zona de transición con la estepa patagónica, donde, por ejemplo el Ciprés de la Cordillera, ha perdido el 95% de superficie de su distribución geográfica original.

Es la región ecológica mejor protegida del país ya que la superficie bajo algún sistema de protección, ya sea federal y/o provincial, supera ampliamente el 10% de superficie de la región.

Los problemas de conservación en la eco-región están centrados en el uso no sustentable del bosque para la extracción de madera o leña, la producción de incendios forestales masivos, la introducción de especies exóticas, la pérdida del sistema ecotonal entre el bosque y la estepa, el sobrepastoreo en algunos sectores y la urbanización no planificada.

Los lagos encierran una considerable heterogeneidad biológica. La latitud y la altitud son sus controles abióticos más importantes, pero también la conductividad eléctrica es variable y puede afectar la distribución de los organismos. La heterogeneidad de los sistemas fluviales está fundamentalmente determinada por la posición a lo largo de su curso y tiene fuerte vinculación con la heterogeneidad de los ambientes terrestres. Así, las cabeceras y primeros tramos de la mayoría de los ríos patagónicos cruzan ambientes boscosos y por lo tanto están limitados por luz, por lo que la organización trófica es mayoritariamente heterotrófica, en cambio cuando los cursos ingresan a los ambientes de estepa, la luz deja de ser limitante y el aporte exógeno de materia orgánica se reduce, con lo cual la red trófica se hace mas autotrófica.

2.1.6. Perfil socioeconómico

La población nativa de la Patagonia extra-andina era de unos 5.000 cazadores –recolectores que desarrollaban sus actividades desde el río Negro hasta el Estrecho de Magallanes. La

movilidad de estas tribus aumentó mucho tras la aparición del caballo a partir del siglo XVII. En los últimos 200 años, a la población nativa se agregaron otras que pueden sistematizarse en seis grandes corrientes migratorias, que en muchos casos se superpusieron temporal y espacialmente: hispánica (1780); galesa (1865); cosmopolita (1880); boer (1902); chilena (1920) y argentina (1950). Las fechas entre paréntesis marcan el comienzo de cada etapa.

El aumento demográfico de la Patagonia en los últimos 40 años fue de 8,3 % anual, notándose desaceleración del crecimiento a partir de la década del 80 y un nuevo repunte a partir del nuevo milenio. El crecimiento demográfico regional es superior al nacional, lo cual se traduce en un aumento en forma constante, no obstante ello, la densidad media de las provincias patagónicas es baja. La tasa de urbanización de la región (93 %) supera al promedio nacional (85 %) y dos terceras partes de los 1.750.000 habitantes de la región se concentran en 10 núcleos urbanos de más de 30.000 habitantes. Tres de los más importantes concentraban el 30 % de la población regional en 1960, el 40 % en 1970, el 45 % en 1980, y el 43 % en 1991 y 2001. Además de estos grandes aglomerados urbanos de primer orden, existen otros siete núcleos de segundo orden donde en 1991 habitaba el 22,7 % de la población de la Patagonia y el 23,7 % en 2001.

El crecimiento de la participación demográfica de estos centros de segundo orden en el total regional y el estancamiento y descenso del peso demográfico de los 3 centros mayores, reflejan una tendencia hacia una distribución más homogénea de la población urbana dentro de la región. El crecimiento de los grandes núcleos parecería desacelerarse, mientras que los núcleos medios crecen a un ritmo más rápido (2,3 % versus 1,8 % anual). Sin embargo, en el interior, es decir la inmensa mayoría del territorio patagónico, la situación demográfica es completamente opuesta.

En el 2001 la población rural en las cinco provincias patagónicas era de 115.000 personas y había disminuido 21 % en 10 años. Esta cantidad de habitantes rurales incluye a la población de los oasis de riego de Neuquén, Río Negro y Chubut - que son áreas concentradas de agricultura intensiva- por lo que la situación del resto del territorio queda enmascarada por estas cifras. La población rural de las provincias de Santa Cruz y Tierra del Fuego, donde no existen estos núcleos agrícolas, refleja mucho mejor el cuadro demográfico del interior patagónico.

Así, si la densidad de población rural para toda la Patagonia es de 0,15 habitantes/Km², la de las dos provincias más australes es de 0,025 habitantes//km², es decir 1 persona cada 40 km². Este dramático desequilibrio tiende a acentuarse. La división departamental permite obtener bastante mayor detalle y observar que el despoblamiento rural que afecta a casi toda la región, se acentúa en el centro -norte (Río Negro y Chubut) y en el centro-sur (Santa Cruz) De hecho, se trata de un enorme vacío central que los límites provinciales disimulan.

2.1.7. Población y actividades productivas

Debido a la extrema aridez de casi todo el territorio patagónico, los asentamientos humanos en la meseta o la costa se hallan en las riberas de los ríos que lo surcan o cuentan con acueductos que se nutren de estos ríos. Estos asentamientos pueden ser potencialmente afectados en su desarrollo y crecimiento por una disminución de los caudales como consecuencia del cambio climático.

Este condicionamiento por la escasez de agua en la mayor parte del territorio puede explicar la tasa de urbanización de la región (93 %) que supera al promedio nacional (85 %) y porque las dos terceras partes de los 1.750.000 habitantes de la región se concentran en sólo 10 núcleos urbanos de más de 30.000 habitantes. Además, el aumento de la población en las últimas décadas sólo se produjo en unas pocas aglomeraciones y no se registró en la mayoría del espacio patagónico.

Dada su enorme extensión, la región es muy diversa en su economía, pero a grandes rasgos las principales actividades son la de la extracción de hidrocarburos, fundamentalmente petróleo y gas, la energía hidroeléctrica, el turismo, la producción frutihortícola en los valles del Colorado y el Negro, la actividad ganadera con alta incidencia bovina en el sur de la Pampa y de la provincia de Buenos Aires, y la ganadería ovina en casi toda la región. Algunas de estas actividades son potencialmente vulnerables a los cambios climáticos que se esperan.

2.2. Recursos hídricos, inundaciones y cambio climático

2.2.1. Los recursos hídricos y las inundaciones

Globalmente la Argentina dispone de una oferta hídrica media anual por habitante sumamente importante superior a los 22.500 m³/hab, muy por encima del umbral de stress hídrico adoptado por el PNUD equivalente a una disponibilidad de 1000 m³/hab. No obstante la distribución de la oferta es muy irregular, por lo que en varias provincias de la región árida la disponibilidad de agua se ubica bien por debajo de ese valor. Así, dos tercios de la superficie del País se encuentra bajo condiciones climáticas áridas o semiáridas (Tabla 2.2).

En el área de la Patagonia la Cordillera de los Andes actúa como divisoria de aguas y los ríos que nacen en ella pertenecen en su mayor parte a la pendiente del Océano Atlántico, aunque algunos con pequeñas cuencas orientan su desagüe hacia el Pacífico. El régimen de todos estos ríos, excepto el Deseado, es regulado por el deshielo estacional que tiene lugar en la cordillera.

SISTEMA	CAUDAL MEDIO		DERRAME	AREA APORTE	CAUDAL ESPECIFICO
	m ³ /seg.	%	Hm ³	Km ²	l/seg.km ²
VERTIENTE ATLÁNTICA					
Del Plata ^(a)	22.031	85.27	694.770	3.092.000	7.1
Pcia. de Buenos Aires	147	0.57	4.636	181.203	0.8
Del Colorado	319	1.24	10.060	92.840	3.4
Patagónicos	1941	7.52	61.211	356.033	5.5
Subtotal	24438	94.6	770.677	3.722.076	
Promedio					6.5
VERTIENTE PACIFICA					
Varios	1.212	4.69	38.222	33.455	36.2
ENDORREICAS					
Independientes ^(b)	42.	0.16	1.325	248.871	0.2
Mar Chiquita	114	0.44	3.595	22.030	5.2
Serrano	24	0.09	757	26555	0.9
Pampeano	6	0.02	189	600	10.0
Subtotal	186	0.71	5866	298.056	
Promedio					0.6
Total	25836	100	814.764	4.053.587	
Promedio					6.4

Tabla 2.2. Resumen de aportes por vertiente y sistema de Argentina

(a) El caudal medio incluye el 100% del caudal del río Uruguay y la superficie consignada es el total de la cuenca de aporte. En territorio nacional esta última es 918.00 km²

(b) No incluye arroyos de la Puna.

Fuente: Balance Hídrico de la República Argentina. INCYTH-CONAPHI, 1994.

SISTEMA	RIO	ESTACION	SUPERFICIE Km ²	PERIODO	CAUDAL m ³ /seg.				
					MEDIO	MEDIO MENSUAL		MEDIO DIARIO	
						MÁXIMO	MINIMO	MÁXIMO	MINIMO
Colorado	Colorado	Buta Ranquil	15.300	1940/1994	148	778	39,0	1.053	30,0
Río Negro	Neuquén	Paso de los Indios	30.843	1904/1994	313	1155	36,0	5.063	32,0
	Limay	Paso Limay	26.400	1904/1990	736	2.628	72,0	4.865	69,0
	Negro	Primera Angostura	95.000	1928/1994	858	2.892	90,0	3.405	75,0
Chubut	Chubut	Los Altares	16.400	1944/1994	47,4	226	4,10	496	3,99
Santa Cruz	Santa Cruz	Charles Fuhr	15.550	1956/1994	697	2.030	134	2.520	180
Pacífico	Futaleufú	Embalse	4.608	1977/1994	262	862	75,0	1.922	16,0

Tabla 2.3. Caudales característicos de algunos de los principales ríos de la Patagonia

En la forma de alimentación de los ríos tiene gran influencia la orografía, que determina la variabilidad de las precipitaciones en muy cortas distancias. Así, mientras al norte de los 42° E llueve de 400 a 2.500 mm anuales, al sur de dicha latitud las precipitaciones varían entre 200 y 800 mm.

Todos los ríos nacen en la Cordillera de los Andes y aumentan su caudal con el derretimiento de la nieve; en general, atraviesan gran parte de la zona árida y semiárida sin recibir aportes de importancia. Por la magnitud de sus derrames anuales, se destacan el río Negro, con 31.000 millones de m³ y el Santa Cruz, con 22.000 millones de m³. El primero es así el más importante de los que se desarrollan íntegramente en territorio argentino.

Dentro de la vertiente del Atlántico, son destacables también las cuencas de los ríos Chubut, el Senger-Río Chico, el Deseado, el Coyle, el Gallegos, el Grande y el Azopardo. Las cuencas que desaguan en el Océano Pacífico a pesar de su reducida superficie relativa, su riqueza hídrica es relevante, alcanzando 1.100 m³/seg., que representa algo menos del 5 % del escurrimiento total. Los ríos principales, que nacen en los valles transversales son: Manso, Puelo, Futaleufú, Carrenleufú y Pico. El más importante es el Futaleufú, con un derrame anual de 9.500 millones de m³ (Tabla 2.4).

En términos de riqueza hídrica relativa, los sistemas fluviales de la vertiente pacífica son los que exhiben el mayor caudal específico, que alcanza a unos 36,2 l/seg. Km², muy superior al promedio de 6,4 l/seg. Km² en el ámbito del País. Vastas regiones de la zona árida y semiárida, del orden del 15 % de la superficie total, corresponden a cuencas sin derrame al mar con una contribución menor al 1 %.

Las inundaciones en la región generan severos impactos de manera localizada, especialmente en las cercanías a las áreas urbanizadas debido al asentamiento sobre los valles de inundación de los diversos ríos (Figura 2.3 y Tabla 2.3)

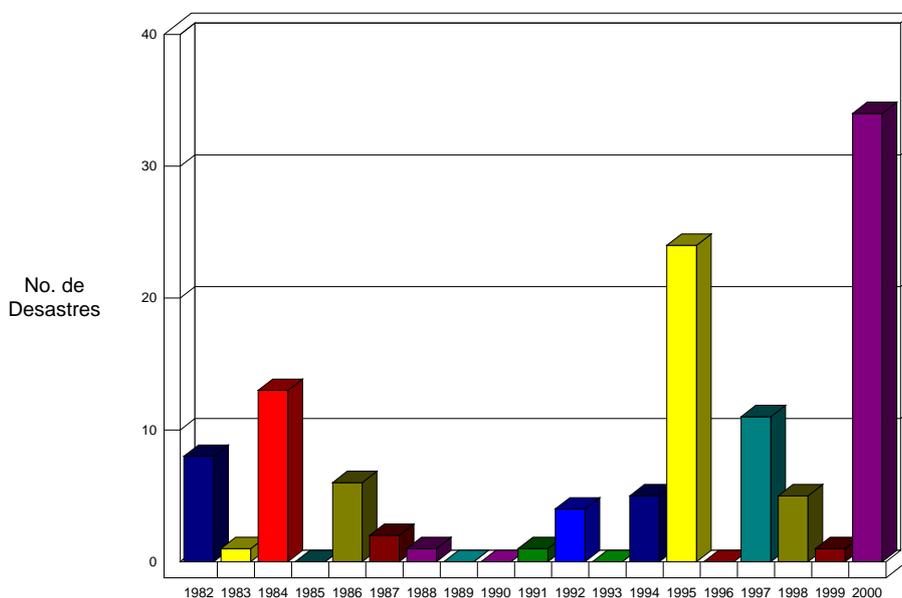


Figura 2.2.: Eventos extremos registrados en los últimos 25 años en la región patagónica
Fuente: Red Desinventar

Lugar	Año	Mes	Causa	Descripción
Bariloche	1984	3	LLuvias	70mm/12hs.
Bariloche	1984	9	Llu y desb	Desborde ríos por deshielo.
Bariloche	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.
Cerro Curruhuinca	2000	6	Llu y desb	Crecida Lago Lácar por lluvias.
Colan Conhué	2000	10	Llu y desb	Desborde arroyos por deshielo y lluvias.
Comallo	1984	9	Llu y desb	Desborde Río Comallo por deshielo.
Comuna de Alto Senguer	1996	8	Llu y desb	Lluvias, crecida ríos Mayo y Senguer
El Bolsón	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.
El Bolsón	2000	6	Llu y desb	Desborde arroyo Negro por lluvias y vientos (70km/h).
El Foyel	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.
El Hoyo	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.
El Maitén	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.
El Manso	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.
EpuYén	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.
Junín de los Andes	2000	7	Llu y desb	Desborde Río Chimehuín por lluvias y nieve.
Lago Puelo	1995	6	Llu y desb	Crecida Arroyo Quemquemtreu
Lago Puelo	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.
Ñorquinco	1995	6	LLuvias	Crecida arroyos
Pichi Traful	1995	6	Llu y desb	Crecida ríos
Pilcaniyeu	1984	3	LLuvias	70mm/12hs.
Puerto Patriada	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.
San Martín de los Andes	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.
San Martín de los Andes	2000	7	Llu y desb	Desborde arroyo Pichi Traful.
Trevelín	1997	7	LLuvias	Lluvias, altas temperaturas causan deshielos.

Tabla 2.3. Inundaciones en la Patagonia registrados en los últimos 25 años

Fuente: Red Desinventar

2.2.2. Cambio climático

La temperatura media anual en el sector norte de la región no muestra tendencias significativas para el intervalo 1930 – 1990. Durante el período 1950 a 1975 se observa un periodo de enfriamiento. A partir de 1976 se registraron temperaturas más cálidas. En las latitudes más al Sur, se observa una tendencia al calentamiento, esta tendencia es más pronunciada en verano donde se observa un calentamiento de 2.5°C desde 1931 a 1990. El calentamiento en latitudes altas durante los últimos años es causa del retroceso del hielo en la región (Doake and Vaughan, 1991). Estudios recientes han demostrado que las temperaturas en el siglo 20 fueron las mayores de los últimos 400 años.

Según la IPCC en el último siglo ha habido un aumento en las temperaturas máximas, mínimas y medias diarias de más de 1°C en la región. (IPCC, 1998). La tendencia a la deglaciación predomina en la región actualmente. Por ejemplo, un estudio en el glaciar De Los Tres, Santa Cruz demostró que el mismo continúa retrocediendo en la actualidad, con un retroceso medio anual de 20 metros.

Otro estudio demostró que en un periodo de 41 años, la mayoría de los glaciares en la región retrocedieron mientras que unos pocos se mantuvieron estables y sólo dos glaciares tuvieron un

avance neto. Se pudieron reconocer contrastes en las tasas de retroceso debidos a la ubicación de los glaciares. Por ejemplo, aquellos en el sector norte y este retrocedieron a tasas más altas que aquellos en los sectores sur y oeste respectivamente. Posibles causas para estos patrones de variación incluyen el calentamiento global, aunque débil, en este siglo en el área al sur 46° latitud sur (Aniya, 1997).

Los fenómenos de inundación en la región son en su mayoría causados por aumentos en la temperatura que ocasionan derretimiento de los hielos. El calentamiento global será causa de mayor frecuencia e intensidad de estos fenómenos en la región.

El predominio de eventos tipo El Niño (anomalías positivas de temperatura) que se registró casi en forma permanente desde mediados de 1970, está asociado en el Norte de Patagonia a situaciones climáticas caracterizadas por veranos cálidos y secos, las que a su vez están relacionadas con la falta de establecimiento de *Austrocedrus* en los ambientes ecotonales más secos. De esta manera las variaciones climáticas de alta frecuencia (de uno a dos años de duración) pueden tener influencias negativas sobre el bosque de *Austrocedrus* al reducir significativamente la sobrevivencia de las plántulas, aumentar la mortalidad de árboles adultos y favorecer la ocurrencia de fuego. Por el contrario, variaciones climáticas de baja frecuencia (de una década o más largas) son requeridas para la recuperación del bosque. Dada la tendencia a una mayor variabilidad climática en la región del norte de la Patagonia a partir de aproximadamente 1850 en comparación a los siglos anteriores, la recuperación de los bosques de *Austrocedrus* luego de fuegos y sequías intensas, podría ser menos efectiva.

La capacidad actual para predecir los cambios de la vegetación inducidos por el clima está limitada por el inadecuado conocimiento de los efectos que las variaciones climáticas tienen sobre la regeneración del bosque, su mortalidad y los regímenes de disturbio (Overpeck et al., 1990; Veblen, 1992). Es ampliamente aceptado que el clima influye fuertemente sobre los patrones de la vegetación a grandes escalas espaciales y temporales. Por el contrario, la influencia que las variaciones climáticas, en escalas temporales que van desde años a décadas, tienen sobre la dinámica forestal no ha sido claramente documentada. Esto es debido a la dificultad para separar, en forma precisa, los cambios en la sucesión vegetal inducidos por el clima, de aquellos relacionados con los disturbios naturales y antropogénicos (Archer et al., 1995; Prentice, 1992). Sin embargo, es precisamente a esta escala temporal, de décadas a centurias, donde se requiere un mayor entendimiento de los efectos que las variaciones climáticas tienen sobre la vegetación (Solomon, 1986).

El predominio de eventos tipo El Niño (anomalías positivas de temperatura) que se registró casi en forma permanente desde mediados de 1970, está asociado en el Norte de Patagonia a situaciones climáticas caracterizadas por veranos cálidos y secos, las que a su vez están relacionadas con la falta de establecimiento de *Austrocedrus* en los ambientes ecotonales más secos. De esta manera las variaciones climáticas de alta frecuencia (de uno a dos años de duración) pueden tener influencias negativas sobre el bosque de *Austrocedrus* al reducir significativamente la sobrevivencia de las plántulas, aumentar la mortalidad de árboles adultos y favorecer la ocurrencia de fuego. Por el contrario, variaciones climáticas de baja frecuencia (de una década o más largas) son requeridas para la recuperación del bosque. Dada la tendencia a una mayor variabilidad climática en la región del norte de la Patagonia a partir de aproximadamente 1850 en comparación a los siglos anteriores, la recuperación de los bosques de *Austrocedrus* luego de fuegos y sequías intensas, podría ser menos efectiva.

La capacidad actual para predecir los cambios de la vegetación inducidos por el clima está limitada por el inadecuado conocimiento de los efectos que las variaciones climáticas tienen sobre la regeneración del bosque, su mortalidad y los regímenes de disturbio (Overpeck et al.,

1990; Veblen, 1992). Es ampliamente aceptado que el clima influye fuertemente sobre los patrones de la vegetación a grandes escalas espaciales y temporales. Por el contrario, la influencia que las variaciones climáticas, en escalas temporales que van desde años a décadas, tienen sobre la dinámica forestal no ha sido claramente documentada. Esto es debido a la dificultad para separar, en forma precisa, los cambios en la sucesión vegetal inducidos por el clima, de aquellos relacionados con los disturbios naturales y antropogénicos (Archer et al., 1995; Prentice, 1992). Sin embargo, es precisamente a esta escala temporal, de décadas a centurias, donde se requiere un mayor entendimiento de los efectos que las variaciones climáticas tienen sobre la vegetación (Solomon, 1986).

Los resultados de los modelos climáticos indican que bajo condiciones climáticas más cálidas como las predichas, las sequías y las tormentas de tipo convectivo serán más frecuentes.

2.2.3. Las principales vulnerabilidades

Casi todos los glaciares de los Andes patagónicos han estado retrocediendo durante las últimas décadas como consecuencia del aumento de la temperatura y en algunas zonas por la menor precipitación. Las proyecciones de la temperatura para el corriente siglo hacen prever que la actual tendencia recesiva de los glaciares de la región continuará, probablemente en forma acelerada, acompañando las tendencias térmicas. Aunque no se cuenta con modelos predictivos del comportamiento de los glaciares de la región, es muy probable que se pierdan importantes valores paisajísticos en algunos de ellos. En cuanto a su aporte a los principales ríos, el retroceso de los glaciares no ha aportado significativamente al caudal de los ríos de la Patagonia norte y si lo ha hecho en un 10% del caudal del río Santa Cruz. En este sentido, la futura evolución de los glaciares no parece ser demasiado significativa par la evolución de los caudales medios anuales. No esta claro sin embargo como influirían esos cambios en la regulación intra e interanual de esos ríos.

Es probable que el cambio de ciertos paisajes asociados a los glaciares sea un elemento negativo para el turismo. Sin embargo, hasta ahora, la mayor atracción turística, el glaciar Perito Moreno no ha mostrado signos de retroceso y es difícil estimar cual será la reacción de la demanda turística ante una amenaza de perdida generalizada de estas maravillas del paisaje. La mayor tendencia decreciente de la precipitación en el noroeste de la Patagonia, donde se encuentran la mayoría de los campos de esquí, es en el invierno cuando se producen las nevadas . Adicionalmente, el aumento de la temperatura reduciría la fracción de precipitación nival. Todo ello, contribuiría a la desaparición progresiva de los campos de esquí de las zonas bajas desplazando estas actividades hacia zonas más altas.

La franja cordillerana húmeda cuenta con importante bosques naturales que están sometidos a diversas presiones antrópicas y a la reducción de las precipitaciones. Esto último se hace sentir en el ecotono entre el bosque y el monte y con la persistencia de las tendencias negativas en la precipitación, se puede esperar el avance del monte patagónico sobre el bosque. Este bosque está también bajo el estrés del fuego, generalmente de origen humano, el que bajo condiciones más secas y cálidas tendría mayor oportunidad de originarse y propagarse. Afortunadamente, las precipitaciones de verano que es la época del año más crítica para la ocurrencia de estos eventos, no está, ni estaría en el futuro, retrocediendo significativamente.

Las menores precipitaciones afectaran la producción de los bosques comerciales. Sin embargo debido a la escasa magnitud de esta actividad, las perdidas hacia la década del 2020 serían mínimas si no hubiera una expansión importante de la misma. Donde el daño económico puede ser significativo es en la generación de hidroelectricidad debida a la menor hidraulicidad de los ríos del Comahue donde se produce el 26 % de la hidroelectricidad del país y la perdida de la

misma en la década de 2020 sería del 32 %. Esto tendría impacto nacional, pues presupondría una reducción de la oferta nacional del orden del 8 % de la hidroelectricidad que seguramente deberá ser reemplazada por fuentes más costosas. A los costos internos actuales, esto representaría una pérdida de 200.000.000 \$ al año.

Aunque los caudales de los ríos se reducirían en porcentajes significativos, 30 % en promedio en las cuencas del Colorado y el Negro, y 20 % en el Chubut, el suministro de agua para el uso urbano y el riego no se vería comprometido, si el consumo se mantuviera dentro de los valores actuales. No se esperan reducciones de los caudales en los ríos más australes. Este panorama es muy favorable pues el agua en la Patagonia es un factor condicionante del desarrollo que solo se puede dar a partir de los ríos que nacen en la cordillera de los Andes.

Sobre la vulnerabilidad futura a las tormentas severas con inundaciones asociadas son pocos los elementos con que se cuenta debido a la falta de escenarios de estos eventos. Se han producido inundaciones urbanas en el valle inferior del río Chubut y en la zona cordillerana del noroeste. Los costos de las mismas, sin considerar su importancia local, no son significativos dentro del panorama nacional de este tipo de eventos. La frecuencia de los eventos de precipitaciones intensas ha sido positiva en la zona costera de Chubut y Río Negro y negativa en la zona cordillerana. A la luz de la expectativa global de que la frecuencia de precipitaciones extremas aumentará con el calentamiento global, sería importante extremar las medidas y acelerar la construcción de obras defensivas, principalmente en la región costera mencionada.

Los cambios en la generación de sedimentos que se producirían no son importantes salvo en algunas pocas regiones. Entre estas se destaca la cuenca del Río Negro en que el aumento sería del orden del 20 % para la década del 2020. Como en las cuencas de los afluentes de Negro, el Limay y el aumento de la generación de sedimentos sería menor al 5 %, la velocidad de colmatación de las más importantes presas de la región no se vería afectada.

2.3. Referencias Bibliográficas

- Aceituno, P, 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface Climate. *Mon. Weather Rev.*, 116: 505- 524
- Aniya, M.; Sato, H.; Naruse, R.; Skvarca, P.; Casassa, G. 1997. Recent Variations in the Southern Patagonia Icefield, South America. *Arctic and Alpine Research*, Vol. 29, p. 1-12.
- Archer, J. A.; R. M. Herd, P. F. Arthur Y P. F., 1998 Parnell: Correlated Responses in Rate of Maturation and Mature Size of Cows and Steers to Divergent Selection for Yearling Growth Rate in Angus Cattle, *Livest. Prod. Sci.*, 54: 183, 1998
- Doake, C. S. M., and D. G. Vaughan, 1991. Rapid disintegration of the Wordie Ice Shelf in response to atmospheric warming, *Nature*, 350, 328–330
- Golluscio Ra, Va Deregibus & Jm Paruelo (1998) Sustainability and range management in the Patagonian steppes. *Ecología Austral (Argentina)* 8: 265-284.
- Irisarri J. 2000. La propuesta de reclasificación de los Andepts de Argentina, de acuerdo al Orden Andisoles. *Workshop Soil Taxonomy*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AICET, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. p. 18-27.
- Jobbágy EG, JM Paruelo, RJC León. 1995. Estimación del régimen de precipitación a partir de la distancia a la cordillera en el noroeste de la Patagonia. *Ecología Austral* 5: 47-53.
- Kiladis, G. y H. Díaz, 1989. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *J. Climate*, 2: 1069-1090.
- Overpeck et al. 1990. Overpeck, J.T., D. Rind, and R. Goldberg, 1990: Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation. *Nature* , 343, 51-53,
- Prohaska, F.J., 1976. *Climates of Central and South America*, World Survey of Climatology, Elsevier Cientific Publishing Company, 57-69, Amsterdam.
- Veblen T. 1992. Regeneration dynamics. In Glenn-Lewin, DC, RK Peet, TT Veblen eds. *Plant Succession: theory and prediction*. Londres, Reino Unido. Chapman & Hall. p. 152-187.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS CUENCAS FOCALES

3.1. Generalidades de Tierra del Fuego

3.1.1. Ubicación

Las cuencas focales del Proyecto en Argentina se encuentran ubicadas en la zona Sur del sector argentino de la Isla Grande de Tierra de Fuego, (Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur), separada del continente por el Estrecho de Magallanes, en el extremo sur de Sudamérica.

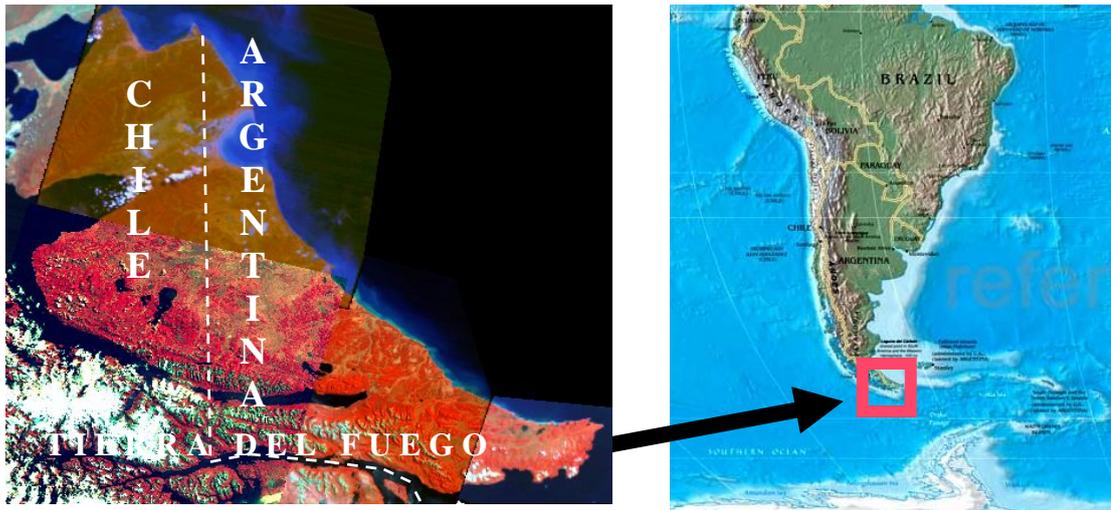


Figura 3.1: Ubicación del área de estudio

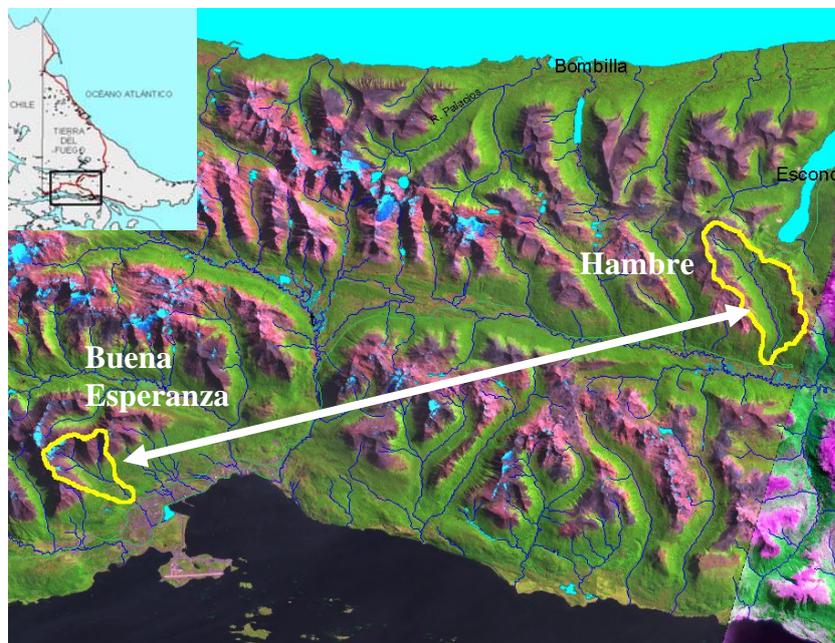


Figura 3.2: Ubicación de las cuencas focales Buena Esperanza y Hambre

3.1.2. Geología y Geomorfología

Tectónicamente, la Isla Grande de Tierra del Fuego está dividida por el sistema de falla Magallanes-Fagnano, que se extiende en dirección Este-Oeste, y que constituye el límite transcurrente entre las placas de Scotia y América del Sur.

La evolución geológica de los Andes Fueguinos argentinos dio lugar a siete unidades estratigráficas (Olivero et al., 2001) indicadas en la Tabla 3.1. De acuerdo al citado autor, el basamento está constituido por esquistos granatíferos, cuarzo-sericíticos y cloríticos así como por anfibolitas. Está cubierto en forma discordante por la formación Lemaire, (riolitas; basaltos; pizarras; brechas, tobas, conglomerados y turbiditas volcanoclásticas ácidas). La formación Yahgán, compuesta por depósitos marinos profundos de post-rift (fangolitas negras, tobas y turbiditas volcanoclásticas andesíticas) cubre discordantemente la anterior. El levantamiento inicial de los andes fueguinos se produjo en el Cretácico tardío. Durante el Eoceno los corrimientos montan en la faja andina central al basamento y a la Formación Lemaire sobre Cretácico Inferior y Paleogeno continental, respectivamente.

Formación	Origen
Basamento	Paleozoico–Jurásico
Formación Lemaire	Jurásico Superior
formaciones Yahgan-Beauvoir	Cretácico Inferior
Formación Cerro Matrero	Cretácico Superior
Formación Río Claro	Paleoceno
Grupo La Despedida	Eoceno
Formación Cabo Peña	Eoceno cuspidal–Oligoceno Inferior

Tabla 3.1. Formaciones geológicas de Tierra del Fuego, de acuerdo a Olivero et al.,2001.

El paisaje de Tierra del Fuego ha sido modelado por repetidas glaciaciones, estudiadas por diversos investigadores (Caldenius, 1932; Auer, 1956, Mercer 1976, Meglioli, 1992, Rabassa *et al*, 2000,). Durante el último período glacial los principales lóbulos glaciarios procedentes del macizo Darwin y cordones adyacentes, avanzaron por el Estrecho de Magallanes, la depresión Bahía Inútil-San Sebastián, el lago Fagnano y el canal Beagle. El drenaje del glaciar del Lago Fagnano en la etapa regresiva se presentaba hacia el Este, lo cual originó depósitos proglaciares muy visibles en imágenes satelitales. Todos los valles que dan al Beagle sufrieron el englasamiento, predominando la acción erosiva, por cuanto los depósitos se encuentran mayormente bajo el mar. Las geoformas más características propios de las cabeceras de valles menores son los circos y artesas glaciarias, en tanto que los valles principales muestran típica morfología en U, con suave pendiente longitudinal y marcada pendiente transversal, con depósitos de sedimentos de origen glaciario que dieron lugar a la formación de turberas en los ambientes húmedos.

3.1.3. Clima

Todo el Archipiélago Fueguino está dominado por la corriente de vientos del Oeste, por frentes fríos, vinculados a sistemas de baja presión que ingresan en forma muy frecuente y por ocasionales intrusiones de aire frío desde la Antártica (Tuhkanen, 1992). La orografía genera condiciones climáticas contrastantes: precipitaciones muy frecuentes y baja heliofanía en la cordillera; decrecimiento significativo de las precipitaciones, condiciones más estables del tiempo y mayor intensidad y frecuencia de vientos en las llanuras del Norte. Resulta así un

clima frío húmedo con influencia oceánica de moderada amplitud diaria y estacional; los vientos predominantes provienen del cuadrante W en general y del SW en particular para el área del Canal de Beagle. Según la clasificación de Thornthwaite, el tipo climático sería microtermal, húmedo(B1) en el Sur, hasta el Lago Fagnano, cambiando hacia el Norte a subhúmedo-húmedo(C1) y a subhúmedo-seco(C2). La temperatura media anual es 5.4 °C. La figura 3.3 muestra las variaciones de la temperatura media mensual de Ushuaia y Río Grande, en donde se aprecia menor amplitud en Ushuaia por la mayor influencia oceánica, aunque las medias anuales resultan similares.

La precipitación se distribuye en forma relativamente uniforme durante el año (Fig. 3.4) , con un promedio anual de 530 mm en Ushuaia, en la costa del Canal de Beagle de 800 a 1000 mm al nivel correspondiente al límite de la vegetación. En el Norte de Tierra del Fuego las lluvias disminuyen a 330 mm (Iturraspe et al., 2000). Esta condición y la mayor intensidad de vientos procedentes del W determinan un marcado déficit hídrico durante el verano, que da lugar al desarrollo del ambiente de estepa desde el río Grande hacia el Norte.

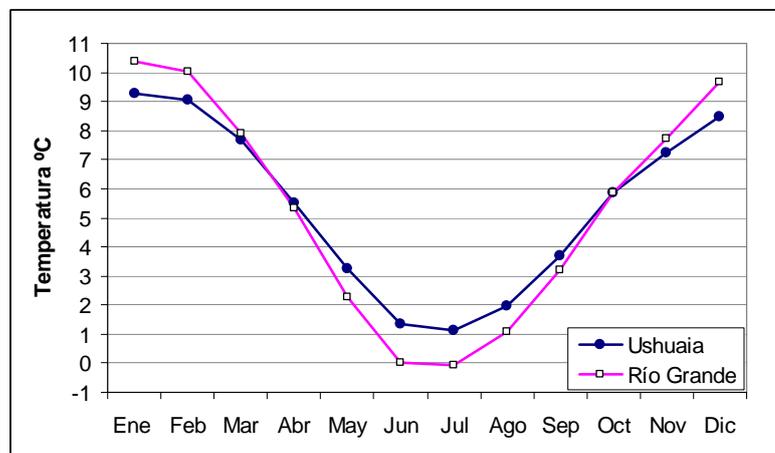


Figura 3.3 Temperatura media mensual en Ushuaia y Río Grande

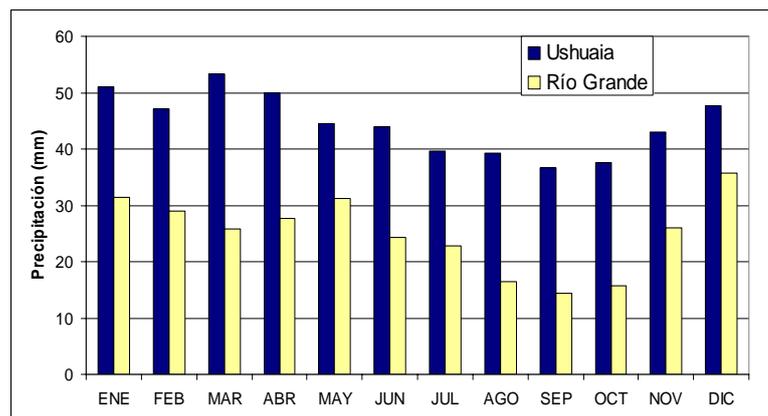


Fig. 3.4. Precipitación media mensual en Ushuaia y Río Grande.

3.1.4. Bosques

El bosque Sub-antártico de *Nothofagus* cubre el 35% del sector argentino de la isla Grande de Tierra del Fuego, al sur de los 54° de latitud, en una extensión de 712.000 Ha, (Collado, 2001). Las especies dominantes son: *Nothofagus pumilio* (lenga), *Nothofagus antarctica* (ñire), ambas caducifolias y la perennifolia *Nothofagus. betuloides* (guindo o coihue de Magallanes).

En el ambiente de cordillera, donde domina el *N. Pumilio*, conformando bosque puro y/o mezclado con otras especies, el límite superior del bosque se ubica entre los 550 y 600 m s.n.m., En los sectores más húmedos o donde los suelos se mantienen con más agua, la lenga se asocia en porcentajes variables con el guindo, llegando a formar bosques Mixtos (Hildebrand-Vogel et al. 1990; Pisano 1997; Roig 1998). En el ecotono, bajo condiciones de mayor estrés hídrico predomina *N. Antartica*.

Los bosques de *Nothofagus* de Tierra del Fuego constituyen ecosistemas relativamente recientes y han estado sujetos a sucesivas glaciaciones, así como a un extenso espectro de disturbios ambientales. Consecuentemente la tasa de formación de espacios vacíos es alta y la dinámica estructural del bosque revela una distribución en mosaico. Las especies de *Nothofagus* tienen una elevada capacidad de regeneración que corresponde a especies adaptadas a ambientes con altas tasas de disturbios.

Otra particularidad de estos bosques es la baja tasa de descomposición de materia orgánica, debido a las bajas temperaturas.

Las condiciones de tensión naturales crónicas y agudas limitan la riqueza de especies forestales dando como resultado bosques monoespecíficos o biespecíficos, y una sucesión integrada por pocas etapas aún en ausencia de factores agudos de disturbio. (Frangi, 1992).

Los bosques propios del ambiente de cordillera se presentan en mayor proporción como lengales puros.

Parte de la superficie de bosques de lenga no intervenidos se encuentra sometida a una dinámica de claros. Los claros se producen por la caída de árboles sobre maduros, generalmente la caída se ve acompañada por el desmoronamiento de dos o tres vecinos. Los claros son rápidamente ocupados por la regeneración preexistente. Este proceso conduce a una mezcla muy fina de edades, en la que es posible encontrar individuos de diferentes edades en una pequeña superficie (Bava & Rechene, 1998). Esta dinámica ha sido descrita como dinámica de parches (Fig. 6) (Veblen 1985a; Veblen 1985b; Veblen et al. 1987; Veblen et al. 1996).

En ocasiones disturbios de grandes dimensiones, -tales como derrumbes en las laderas o caídas masivas por viento generan áreas de mayor extensión (Rebertus y Veblen, 1993; Rebertus et al.,1997) en las que se establece una densa regeneración, aunque frecuentemente ésta es afectada por la actividad del guanaco – *Lamas guanacoe-*

La altura de los árboles disminuye con la altitud y con la exposición al viento. En los sitios de mayor pendiente donde hay acumulación de nieve significativa Los fustes están encorvados en la base como consecuencia del peso de la nieve y de suelos deslizantes y en la zona del límite de vegetación suelen conformar un matorral bajo y denso, donde apenas el extremo de los tallos adopta una posición vertical. Deformaciones de esta naturaleza han sido descriptos por varios autores (Veblen et al, 1977).

La actividad forestal tiene en la actualidad un gran dinamismo en la zona central de la Isla. Aproximadamente el 30% del bosque existente se considera maderable.

La figura 3.5 y la tabla 3.2 muestran detalles de la distribución de los bosques de Tierra del Fuego de acuerdo al Inventario Forestal (Collado, 2001)

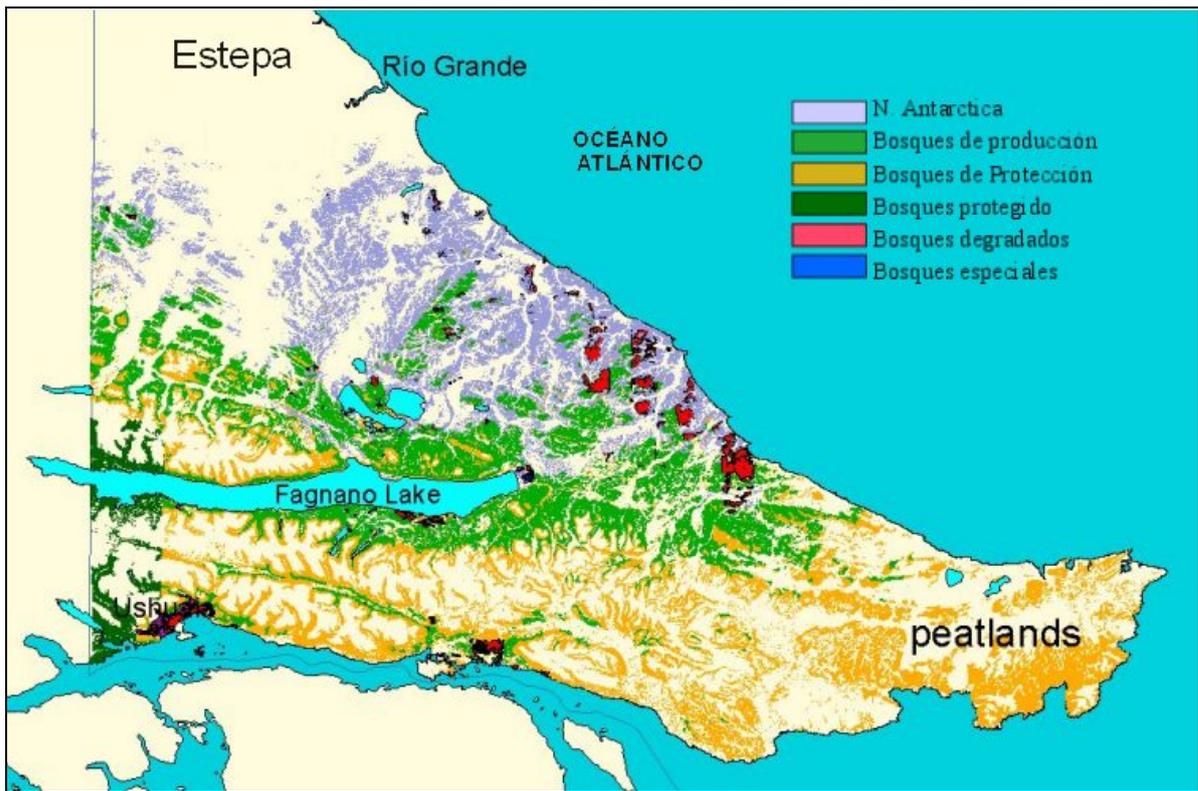


Fig. 3.5. Distribución de bosques de Tierra del Fuego de acuerdo al Inventario Forestal.

CLASIFICACION	Ha	%
N. Antartica (no clasif.)	181492.96	25.49
Producción	213715.18	30.01
Protección	267910.73	37.62
Degradados	21180.17	2.97
Especial	2253.74	0.32
Experimentales	197.99	0.03
Protegidos	25402.44	3.57
TOTAL	712153.21	100.00

Tabla 3.2. Extensión de bosques por categoría.

3.2. Descripción de las cuencas de estudio

Las cuencas de estudio pertenecen al tipo de Cuencas de Cordillera, de acuerdo la clasificación de cuencas de Tierra del Fuego (Iturraspe et al., 2000), que responde a un criterio hidrológico de zonificación de cuencas hídricas considerando aspectos tales como: geomorfología, clima, vegetación y el tipo de almacenamiento predominante en la regulación del escurrimiento. Se caracterizan por presentar una red de drenaje muy densa, de corto recorrido, pendientes fuertes,

rápida respuesta, caudales medios moderados pero con características torrenciales y buena capacidad de almacenamiento y regulación del escurrimiento.

En la costa del Beagle precipitan 530 mm anuales, que se incrementan por el efecto de la orografía desde el Canal Beagle hacia las cumbres interiores,. A nivel del mar la temperatura media es de 5.4 °C, pero hacia el interior decrece por gradiente altitudinal y se incrementa la amplitud diaria y estacional. La orografía protege la exposición al viento, siendo más frecuentes las calmas que en otras zonas de Tierra del Fuego.

El escurrimiento es regulado por la nieve estacional, los almacenamientos en el suelo y detrito de cordillera y los aportes glaciarios. La nieve estacional es el almacenamiento con mayor capacidad, apreciándose acumulación en toda el área de las cuencas, aunque con mayor desarrollo y estabilidad en los niveles altos.

Las turberas constituyen otra componente con gran capacidad de retención de humedad. En verano, en situaciones normales pueden interceptar el 100 % de las precipitaciones ordinarias (que normalmente son de baja intensidad). La mayor parte se pierde por evapotranspiración, retornando al escurrimiento superficial una mínima proporción.

El ciclo hidrológico comienza en abril, con almacenamiento de nieve en los niveles superiores y acumulación de agua en el subsuelo merced a la disminución de la evapotranspiración.

Durante el invierno la temperatura condiciona el escurrimiento (Iturraspe & Urciuolo, 1998). La evolución del manto nival comienza en abril-mayo en los niveles superiores y a partir de junio en el valle medio-inferior, aunque el manto nival suele desestabilizarse ante el ingreso de masas de aire templado y precipitaciones líquidas, lo que tiene mayor efecto en los niveles más bajos. La redistribución de la nieve por el viento es un proceso muy activo.

Períodos fríos prolongados producen la principal condición de estiaje en el ciclo hidrológico, no obstante el escurrimiento no se interrumpe en los niveles medio e inferior de los cursos.

El período de crecidas se extiende hasta diciembre, como consecuencia de la mayor persistencia de la nieve estacional, produciéndose los picos máximos en conjunción con precipitaciones líquidas, no obstante es factible que se produzcan avenidas en otras épocas del año.

Las aguas son hiposalinas, ligeramente bicarbonatadas y de gran transparencia fuera de los episodios de crecida. El PH fluctúa alrededor de 7 y el contenido de Fe es moderadamente alto. Los lagos tienen bajos valores de clorofila y producción primaria y presentan una situación de ultraoligotrofia (Mariazzi et al, 1987)

El análisis de la vegetación y de los suelos fue realizado teniendo en cuenta los requerimientos del modelo SHETRAN para la simulación e procesos hidrológicos en las cuencas de estudio. La vegetación presenta en ambas cuencas como unidad dominante el bosque de *Nothofagus* en sus diferentes variantes.

La diversidad específica presenta una variación fundamentalmente altitudinal, influenciada por una serie de factores, pudiendo distinguirse en el bosque los siguientes tipos de asociaciones vegetales, conforme se asciende en las laderas hasta el límite de vegetación:

- Bosque mixto: Dominado por Guindo o Coihue de Magallanes (*Nothofagus betuloides*) árbol siempreverde, monoico; frondoso, de copa angosta o redondeada. Tronco recto, con corteza de color gris claro delgada con grietas longitudinales y pequeñas escamas. Ramas principales tortuosas, erectas, las secundarias son plagiótropas. Hojas alternas, cortamente pecioladas, de 1 – 2,5 cm de largo. La otra especie dominante es *Nothofagus pumilio* (Lenga) especie arbórea, monoica, de tronco recto, cilíndrico, de hasta 1,5 m de diámetro;

corteza de color gris a oscura y agrietada longitudinalmente. Sus hojas son caducas, simples y alternas, de 2 – 4 cm de longitud, de márgenes groseramente almenados, de tal forma que 2 lóbulos están incluidos entre 2 nervios adyacentes. También pueden presentarse localmente Calafate ((*Berberies buxifolia*), Parrilla (*Ribes magellanicum*), Chaura (*Pernettya mucronata*), Notro (*Embothrium coccineum*, *Maytenus magellanica* (Leña dura)

- Bosque perennifolio o siempreverde: La especie forestal dominante es *Nothofagus betuloides*. Presenta un sotobosque muy oscuro con áreas de drenaje pobre, y suelo de muy escaso desarrollo y baja fertilidad, donde se encuentran arbustos como el Calafate ((*Berberies buxifolia*), Parrilla (*Ribes magellanicum*).
- Bosque caducifolio: La especie dominante es *Nothofagus pumilio* (Lenga) constituido por mosaicos de edad uniforme sobre suelos con buen drenaje. En micro sitios con extrema de humedad o sequía, aparece *Nothofagus Antarctica*. Hacia el límite altitudinal se presentan achaparrados, llegando a la forma de matorral puro, caracterizado por el crecimiento paralelo al terreno y con morfología aerodinámica. Esta forma de crecimiento se debe a las condiciones restrictivas del medio ambiente, derivadas de las bajas temperaturas, fuertes vientos, nieve y poco desarrollo del suelo. Este subtipo limita hacia menores altitudes con el bosque de Lenga normal, desarrollándose a veces una de transición entre ambos y, otras veces, el límite es brusco, presentándose una línea divisoria. (Donoso 1981). Esta franja de bosque achaparrado cumple una importante función en la prevención de avalanchas (Roig, 1998). En ocasiones el bosque achaparrado no se materializa en forma completa y el límite con la tundra andina se produce en forma casi abrupta.

Los demás tipos de vegetación clasificados son los siguientes:

Tundra andina. Sobre el límite superior del bosque se desarrollan especies de muy bajo porte adaptadas al viento y a las bajas temperaturas. Predominan los cojines de *Bolax gummifera* con presencia de *Empetrum rubrum* (Moore, 1975), acompañadas por diversas plantas vasculares, musgos y líquenes.

Turberas de *Sphagnum magellanicum*, de espesores que pueden alcanzar mas de 10 m en condiciones favorables como en el caso de fondos de valle y sectores mal drenados donde se desarrollan las turberas elevadas (raised bogs). También suelen ocupar faldeos en pendiente cuando las precipitaciones son abundantes y no hay períodos deficitarios frecuentes, aunque en este caso los espesores suelen ser del orden de 1m. Este musgo se presenta asociado con otras especies que se adaptan a las condiciones hidrófilas, que han sido descritas por diversos autores (Moore, 1975, Roig, 1988) Las turberas. Presentan gran capacidad de almacenamiento de humedad, y dan lugar a un medio ácido debido a la generación de ácidos húmicos. Las condiciones hidrológicas determinan variadas morfologías de las unidades, que suelen formar patrones incluyendo elementos lagunares que incrementan su capacidad de almacenaje. Las turberas minerotróficas de *Carex* también se presentan, aunque en menor proporción en áreas bajas que reciben contribución de vertientes procedentes de las laderas

Suelo desnudo: Corresponde a una proporción importante en cada caso de la superficie de la cuenca en el que encontramos roca desnuda metamórfica, coluvios y material detrítico. Es común la presencia de líquenes en ambientes estabilizados

Pastizales: Pueden ser de carácter natural, en ocasiones relacionados con deslizamientos y volteos por el viento, zonas de ribera y desmontes producidos por la actividad antrópica con diversos fines.

3.2.1. Cuenca del arroyo Buena Esperanza

Características físico-climáticas

El arroyo Buena Esperanza nace en los montes Martial (1340m), y desagua en el canal Beagle después de un recorrido de aproximadamente 7 km en el que atraviesa el ejido urbano de la ciudad de Ushuaia (Figura 3.6)

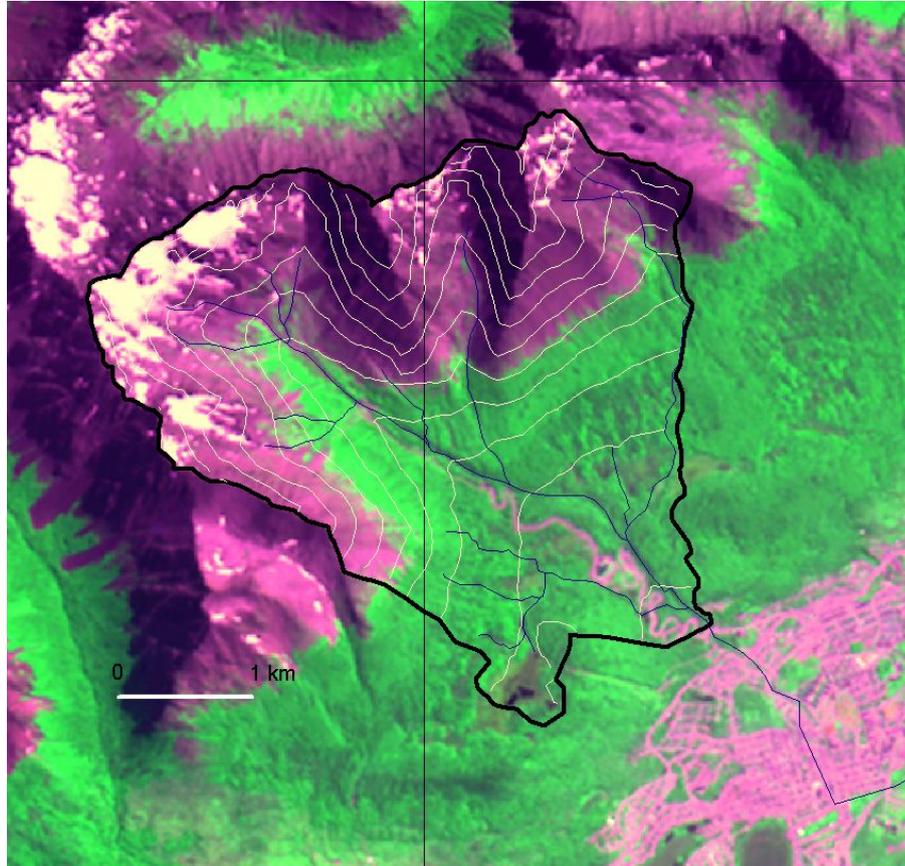


Figura 3.6. Cuenca del Arroyo Buena Esperanza con curvas de nivel. (Imagen Spot del año 1995)

La superficie de la cuenca hasta su desembocadura es de $14,6 \text{ km}^2$, aunque para la simulación hidrológica se ha establecido el cierre de la cuenca en cota 120m, quedando definida un área de aporte de $12,9 \text{ km}^2$. Está conformada en su parte media y superior sobre rocas marinas sedimentarias que datan del Cretácico inferior o Formación Yahgan. Los circos glaciares de la cabecera albergan pequeños glaciares en estado recesivo que en su conjunto reciben la denominación de Glaciar Martial, con una extensión de $0,33 \text{ km}^2$. En estas unidades tienen origen las redes de drenaje. Inmediatamente por abajo hay una zona periglacial con permafrost discontinuo y geformas asociadas. Los efectos de los procesos criogénicos son muy activos, observándose importantes acumulaciones de material detrítico formando conos en talud, y dinámica de soliflucción vinculada a contrastes diurnos de temperatura. Una zona fluvial proglacial alterna con arcos morénicos correspondientes a la Pequeña Edad del Hielo (Rabassa et al., 2000), y penetrando la zona de bosque se encuentran los bien depósitos morénicos más antiguos, no datados correspondientes al Holoceno medio o temprano (Strelin et al., 2002). El curso incrementa la pendiente al

sortear esta morena y se encajona (500-400m s.n.m.). Rodados y bloques de gran tamaño movilizados durante las crecidas indican el carácter torrencial del curso.

En proximidades de la base de la Aerosilla confluye uno de los afluentes principales, el arroyo Godoy, cuya cuenca presenta un valle bien definido, con nichos de nivación pero sin presencia de glaciares. Más abajo aporta el arroyo Rodríguez, que no es parte natural de la cuenca sino que fue desviado a comienzos de la década del 90 para incrementar la disponibilidad de agua en la planta Potabilizadora. El desarrollo del valle principal interrumpe la continuidad de la geoforma más antigua, la morena lateral del canal Beagle, cuyo nivel superior se encuentra a 250-300 m s.n.m. Esta morena alberga turberas de *Sphagnum*, determinando una amplia terraza que protege al área urbana de deslizamientos y otros fenómenos asociados a la dinámica de las laderas. Las turberas contribuyen también a moderar las crecidas al interceptar el drenaje procedente del faldeo.

A la altura de la Planta Potabilizadora, (110m s.n.m.) la pendiente disminuye, dando lugar a que el valle se abra más abajo en un abanico de deposición aluvial.

La cobertura de bosque que presenta la cuenca del Arroyo Buena Esperanza es del 33%, inferior al promedio que corresponde a las cuencas de Cordillera, debido a la distribución altitudinal de la superficie de la cuenca: el 50% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre el límite del bosque.

El bosque perenne se encuentra entre los 100 y los 250m en suelos que reciben humedad de los faldeos. Sobre el umbral morénico domina el bosque puro de lenga (Figura 3.7)

Las turberas ocupan la planicie de la terraza morénica y no están presentes en el fondo de valle como suele ser frecuente. Aparecen más abajo en la zona urbana correspondiente a la ciudad de Ushuaia, algunas de ellas fueron ocupadas por la urbanización.

En la cuenca del Buena Esperanza hay importantes depósitos de sedimentos generados por diferentes avances glaciares que tuvieron lugar en el proceso recesivo desde el último máximo glacial (Planas et al., 2002; Coronato, 1995; Strelin e Iturraspe, 2007). Los suelos desarrollados sobre estos depósitos y en otros casos sobre la roca basal, en el ambiente del bosque de *Nothofagus* están compuestos por detritos, estratificaciones de ceniza volcánica y un horizonte superior de alto contenido orgánico (podsoles e histosoles). En consecuencia, por debajo del área de afloramientos resultan espesores significativos de sedimentos de carácter heterogéneo, ya que coexiste el till compacto con detritos y material fluvial y fluvioglacial de mayor permeabilidad. Sobre este complejo, y sobre depósitos de ceniza volcánica, en la zona de bosque se desarrollan suelos podzólicos muy orgánicos en delgados estratos (10 – 30 cm)

En la figura 3.8 se han mapeado categorías de suelos. Estas no han sido definidas con criterio edafológico, sino definiendo tipologías que permitan determinar características hidrológicas del sustrato para la implementación del modelo de simulación.

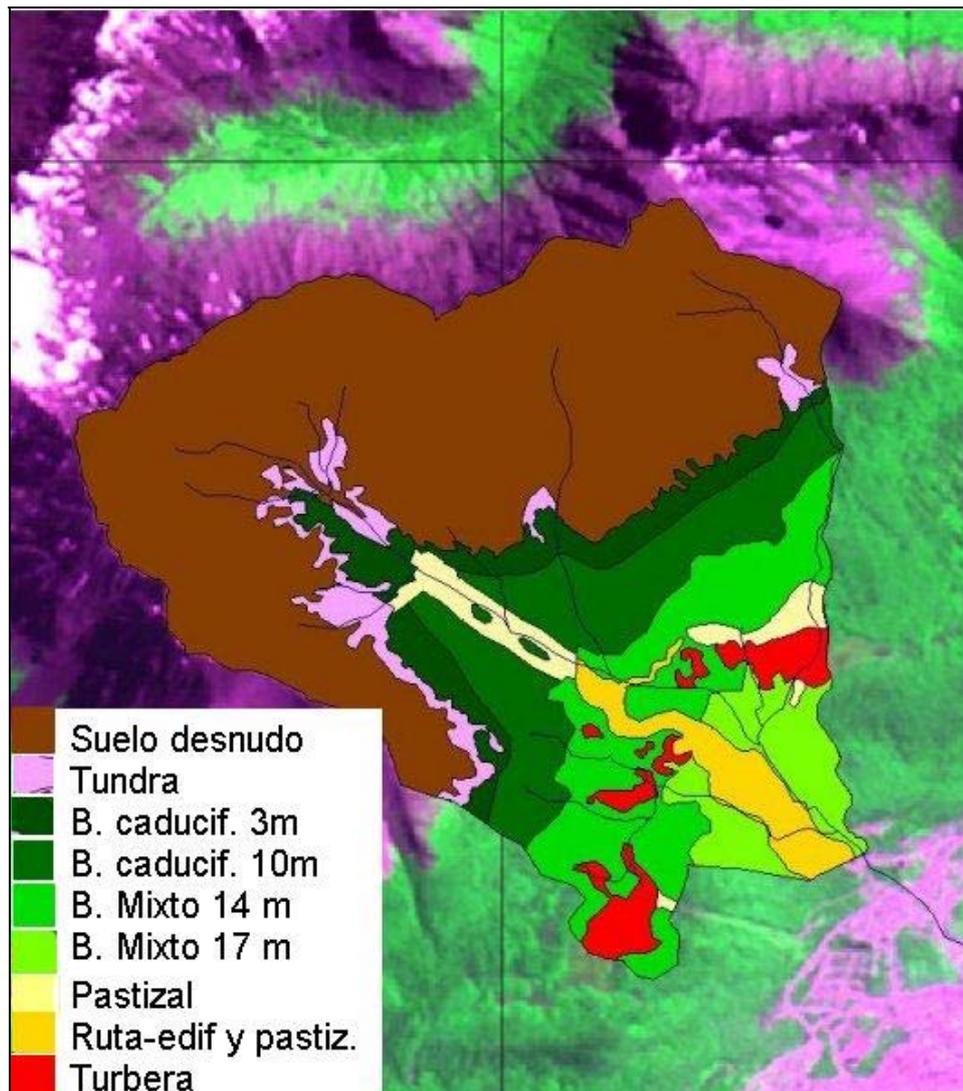


Figura 3.7. Mapa de Vegetación de la Cuenca del Arroyo Buena Esperanza. En el caso del bosque se indica la altura media de los árboles.

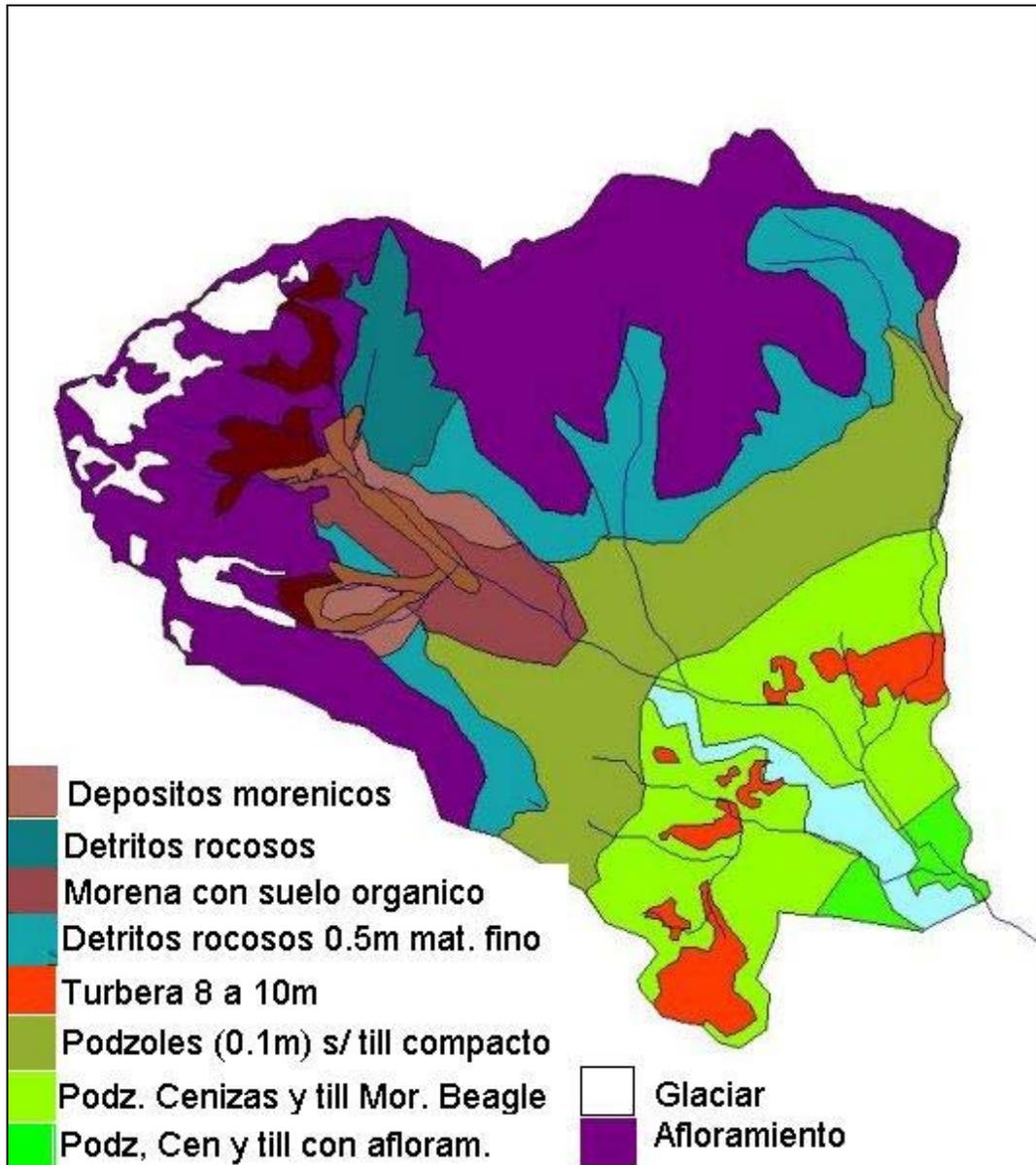


Fig. 3.8. Mapa de Suelos de la Cuenca del Arroyo Buena Esperanza

Curso Principal	Arroyo Buena Esperanza (Max elevación: 1350m. s.n.m)
Módulo	320 l/seg (200-2007)
Régimen Hidrológico	Pluvionival con aportes glaciarios
Regulación del escurrimiento	Nieve estacional, almacenamientos en detritos de cordillera y aportes glaciarios, turberas
Clima	Ambiente subantártico frío- húmedo, sin estación seca.
Temperatura	La media anual a nivel del mar es de 5.4 oC; hacia el interior Decrece por gradiente altitudinal y se incrementa la amplitud diaria y estacional
Precipitación	530 mm anuales nivel del mar Más de 1000 mm anuales en la cabecera
Vientos	Dirección dominante SW. Mayor intensidad en Septiembre-Marzo. La frecuencia de calmas aumenta en invierno y es más alta que en la zona Norte de la Isla.
Ubicación	Ubicada en la cordillera Fueguina con vertiente hacia el canal Beagle, desemboca en la bahía Encerrada luego de recorrer la zona urbana de Ushuaia.
Zonas	
Areas Dominantes	Cabecera de la cuenca: Aerosilla-Glaciario Martial
Areas Dominadas	Cuenca media: Zona Turística Norte ciudad de Ushuaia
Area de la cuenca	12,9 km ² hasta la sección de control (120m) y 14,6 km ² hasta la desembocadura.
Vegetación	El bosque nativo de <i>Nothofagus</i> se desarrolla hasta la cota de 550-600m, en función de la exposición al sol de la ladera (Puigdefábregas et al.,1988). Presenta sólo tres variedades: la caducifolia <i>Nothofagus pumilio</i> (lenga) y las perennifolias <i>Nothofagus betuloides</i> (guindo o coihue de Magallanes) y <i>Nothofagus antarctica</i> (Ñire), esta última en menor proporción. Presenta turbales de <i>Sphagnum</i> en el umbral morénico situado entre 200-300 m snm.
Calidad de aguas	Aguas hiposalinas, ligeramente bicarbonatadas y de gran transparencia. El PH fluctúa alrededor de 7 y el contenido de Fe es moderadamente alto. Elevada turbidez durante crecidas. Indicios de contaminación por presencia de bacterias coliformes.

Tabla 3.3. Descripción del complejo físico Cuenca del arroyo Buena Esperanza

Usos de la tierra

La cuenca del Arroyo Buena Esperanza constituye una de las principales fuentes de agua potable de la ciudad de Ushuaia, siendo el turismo la principal actividad económica en gran parte de su extensión. La situación de Ushuaia, ubicada en el sector inferior de esta cuenca de montaña, es típica de las ciudades de la eco-región. Se considera por lo tanto, desde el punto de vista de las actividades antrópicas, representativa asimismo de las cuencas andino-patagónicas, objeto de las recomendaciones de manejo que puedan obtenerse del Proyecto.

La cuenca de estudio se encuentra ubicada en sus tramos medio e inferior en el ejido municipal de la ciudad de Ushuaia. Por esta razón, las normativas correspondientes a la planificación y regulación de usos de la tierra surgen del Poder Ejecutivo Municipal y se aprueban en el ámbito del Concejo Deliberante.

La actividad predominante en la cuenca media, es la turística/recreativa (hoteles, cabañas, pistas de esquí, etc.). La Toma de agua potable para la ciudad de Ushuaia de la Dirección Provincial de Obras y Servicios Sanitarios (DPOSS) se encuentra ubicada a cota 105m., aguas abajo de la zona hotelera. Existen además tomas de agua correspondientes a la zona hotelera, así como el vertido y depuración de efluentes provenientes de asentamientos turísticos.

Los aprovechamientos forestales realizados en la zona datan de la primera mitad del siglo pasado. La figura 3.9 muestra la clasificación asignada a los bosques (Collado, 2001) en esta cuenca. Si bien hay un sector zonificado como de producción, en la actualidad no se llevan adelante actividades de explotación forestal con planes de manejo aprobados.

Los cambios en los usos de la tierra en un corto lapso de tiempo han afectado negativamente la calidad de las aguas. La construcción de caminos en las partes medias de la cuenca, la deforestación y corta de leña, el rápido incremento de las construcciones vinculadas a actividades turísticas, y la proliferación de vertidos clandestinos han favoreciendo el incremento del transporte de sedimentos en suspensión y provocaron claros indicios de contaminación bacteriana. Los resultados de estudios bacteriológicos realizados, demostraron aumento de la contaminación a través de la presencia de coliformes totales y fecales, motivando la necesidad de llevar a cabo el estudio de los usos del agua y de la tierra en estas cuencas. En tal sentido, la Dirección de Obras y Servicios Sanitarios informó que de continuarse esta tendencia de contaminación del agua, a corto plazo no será posible su potabilización, sino a través de procesos más sofisticados y costosos que el actual (Urciuolo & Iturraspe, 2005).

Morfológicamente, la cuenca presenta características que condicionan su ocupación y manejo. En el mapa de pendientes que se muestra en la Figura 3.10, se observa que, si se descarta el espacio ya ocupado por la ciudad de Ushuaia, las pendientes limitan todo tipo de uso de la tierra a sectores muy reducidos de la cuenca.

Dado que el Plan urbano define a la zona por encima de la cota 120 (donde se ubica la Toma de la DPOSS) como apta para asentamientos turísticos, sin limitar su capacidad de carga, se observa una tendencia creciente de solicitudes de tierra para el asentamiento de hoteles, complejos de cabañas y centros para actividades de recreación.

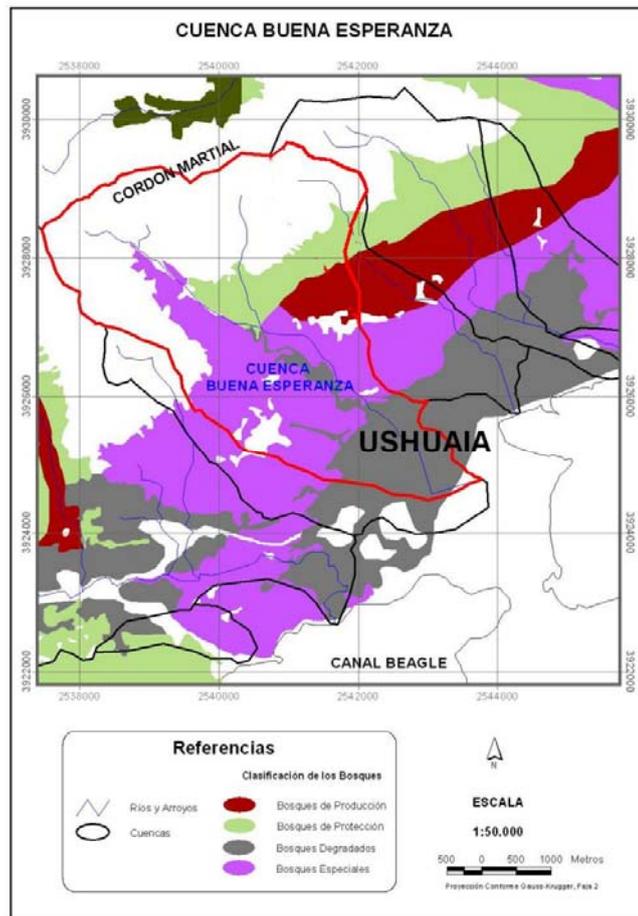


Figura 3.9. Clasificación de Bosques en la cuenca del Arroyo Buena Esperanza (Collado, 2005)

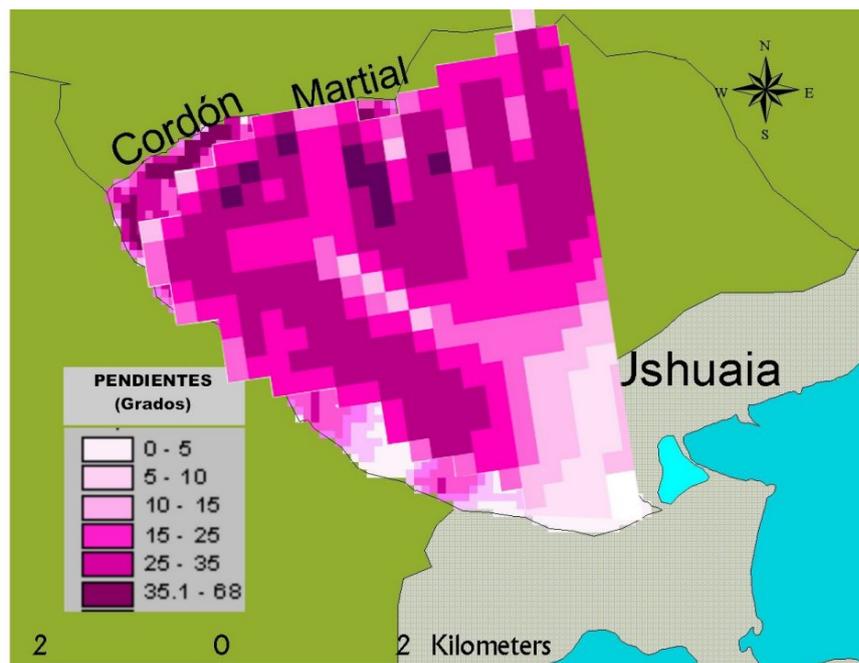


Figura 3.10. Mapa de Pendientes, cuenca del A. Buena Esperanza (Urciuolo *et al*, 2005)

Se observa asimismo una expansión de la ciudad hacia sectores más altos, afectando el bosque en los faldeos. Resulta sumamente importante en este caso, considerar el reducido tamaño de la cuenca y el caudal del curso principal (320 l/seg), así como las fuertes pendientes existentes, para inferir que las plantas de tratamiento de efluentes no serían suficiente solución al problema de calidad del agua del arroyo Buena Esperanza, en el caso de continuar el aumento de la afectación de la cuenca en zonas aguas arriba de la toma.

Eventos extremos y su significación

La cuenca presenta características físicas que permiten afirmar la factibilidad de ocurrencia de distintos fenómenos que conllevan riesgos ambientales. El estrato de suelo orgánico presenta escaso desarrollo en profundidad. Eventualmente se dan eventos asociados a problemas hídricos tales como avalanchas de nieve y deslizamientos que afectan sectores de los faldeos y el arroyo suele presentar una importante turbidez en las épocas de deshielo, lo mismo que los restantes cursos que drenan por la cuenca.

Eventualmente se presentan problemas asociados a fenómenos torrenciales, de origen pluvial o más frecuentemente pluvionival; en los últimos años no se han dado situaciones extraordinarias, sin embargo existen antecedentes que indican que en el pasado hubo serios problemas en la cuenca inferior por causa de eventos torrenciales extremos, como en el caso de las inundaciones ocurridas en la ciudad de Ushuaia causadas por el evento del 6 de noviembre de 1954, documentada en fotos históricas, donde se puede observar la afectación del área urbana y la importante presencia de material de arrastre de la cuenca alta durante la inundación (Figura 3.11).

El caudal máximo del evento fue estimado en 13 m³/s, magnitud que resulta significativa teniendo en cuenta el reducido tamaño de la cuenca y el carácter torrencial del curso. Más detalles sobre este evento se indican en el Capítulo 4.

Ese periodo coincide con el de las mayores afectaciones antrópicas sobre el bosque de las laderas de la cuenca del arroyo Buena Esperanza, aguas arriba de la ciudad.

Una fotografía aérea de 1943 (Figura 3.12) permite apreciar el desarrollo del cono de sedimentación del arroyo de Buena Esperanza en un área que actualmente ocupa la ciudad, que si bien puede haberse desarrollado bajo condiciones climáticas diferentes a las actuales, es una evidencia a tener en cuenta en la prevención del riesgo hídrico.



Figura 3.11.- Ushuaia, afectada por el evento de 1954



Figura 3.12. Cono de sedimentación en el ejido urbano de la ciudad de Ushuaia. Foto aérea Trimetrogón, diciembre de 1943.

3.2.2. Cuenca del Arroyo Hambre

Características físico-climáticas

El arroyo Hambre, que nace en la sierra de Alvear, es uno de los afluentes del río Lasifashaj, de vertiente al canal Beagle. Su cuenca está ubicada sobre un sustrato geológico del Jurásico superior, constituido por rocas marinas vulcanogénicas y sedimentarias de la Formación Lemaire. La orografía encajona el valle, que tiene dos aperturas: hacia la desembocadura (Sur) y por el Paso Garibaldi (Norte) que es un col abierto a una cota de 400 m s.n.m. (Figura.3.12) que permite el pasaje de las tormentas en ambas direcciones. La máxima elevación es de 1040 m, en las cumbres opuestas por el valle principal al paso Garibaldi

Tiene un régimen mixto pluvio-nival con algunos nichos de nivación en su cabecera, pero sin glaciares y con escaso desarrollo de permafrost y procesos asociados. Las partes altas del flanco oriental están cubiertas por coluvios, y en niveles más bajos con vegetación de tundra andina y el bosque.

La cuenca, de 18.9 km² tiene desarrollo longitudinal (Figura 3.13) sin valles tributarios bien definidos que den lugar a afluentes importantes. El valle principal, modelado por la actividad glaciaria es amplio y de moderada pendiente longitudinal. Hay una colonización muy significativa de la especie invasiva *Castor canadensis*, con presencia de numerosos diques, emplazados tanto en el valle principal como en tributarios de menor jerarquía.

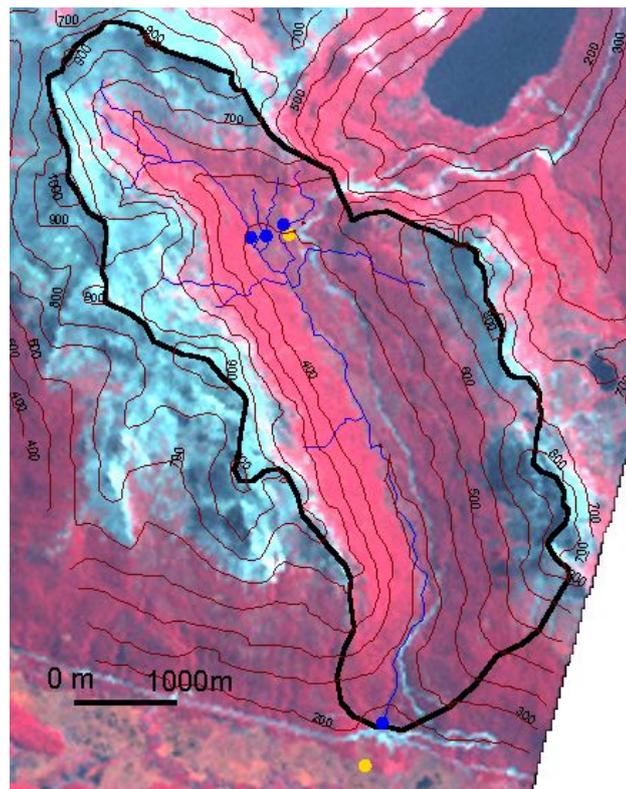


Figura 3.13. Cuenca del R. Hambre

El bosque ocupa una proporción importante de la cuenca y éste es en su mayor parte caducifolio, siendo muy reducida la participación del bosque perenne o mixto.

Hay presencia de turberas, tanto en el fondo de valle, en este caso alternadas con pastizales como en sectores de ladera, en proximidades de Paso Garibaldi (Figuras 3.14y 3.15).

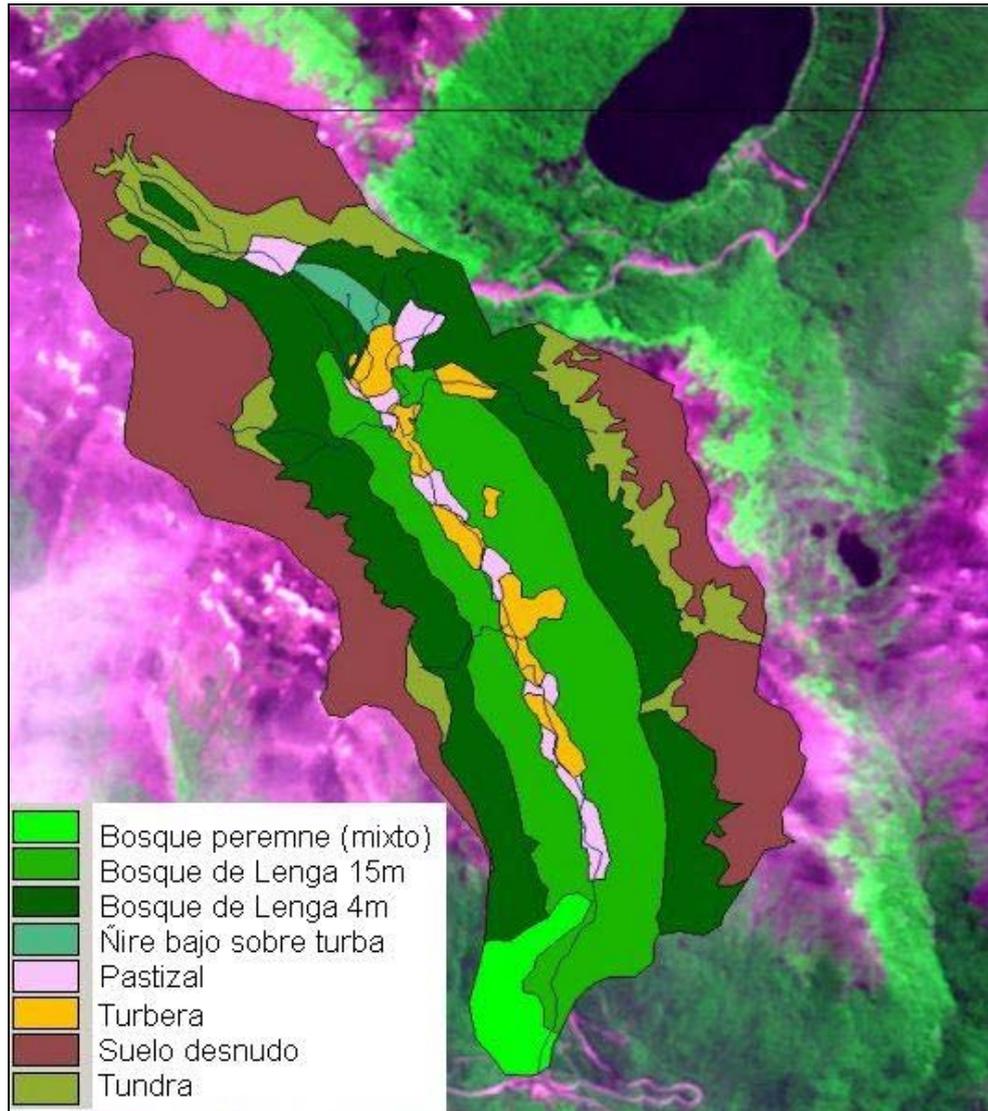


Figura 3.14. Unidades de vegetación en la cuenca del río Hambre.

Los suelos son muy someros y escasos los depósitos glaciares. La roca basal aflora en prácticamente todos los sectores de la cuenca, y en muchos sitios el bosque se desarrolla sobre afloramientos en un sustrato orgánico de no más de 10 cm de espesor.

El material litológico y los planos de esquistosidad paralelos a la superficie que se observan en el faldeo oriental dan lugar al desprendimiento de clastos por criogenia, que contribuyen a la formación de un precario sustrato sedimentario. En la cabecera hay acumulación de detritos rocosos y material coluvial (Figura 3.14).

En términos generales y comparativamente con la cuenca del Buena Esperanza, esta cuenca es pobre en sedimentos, cualquiera sea la granulometría.

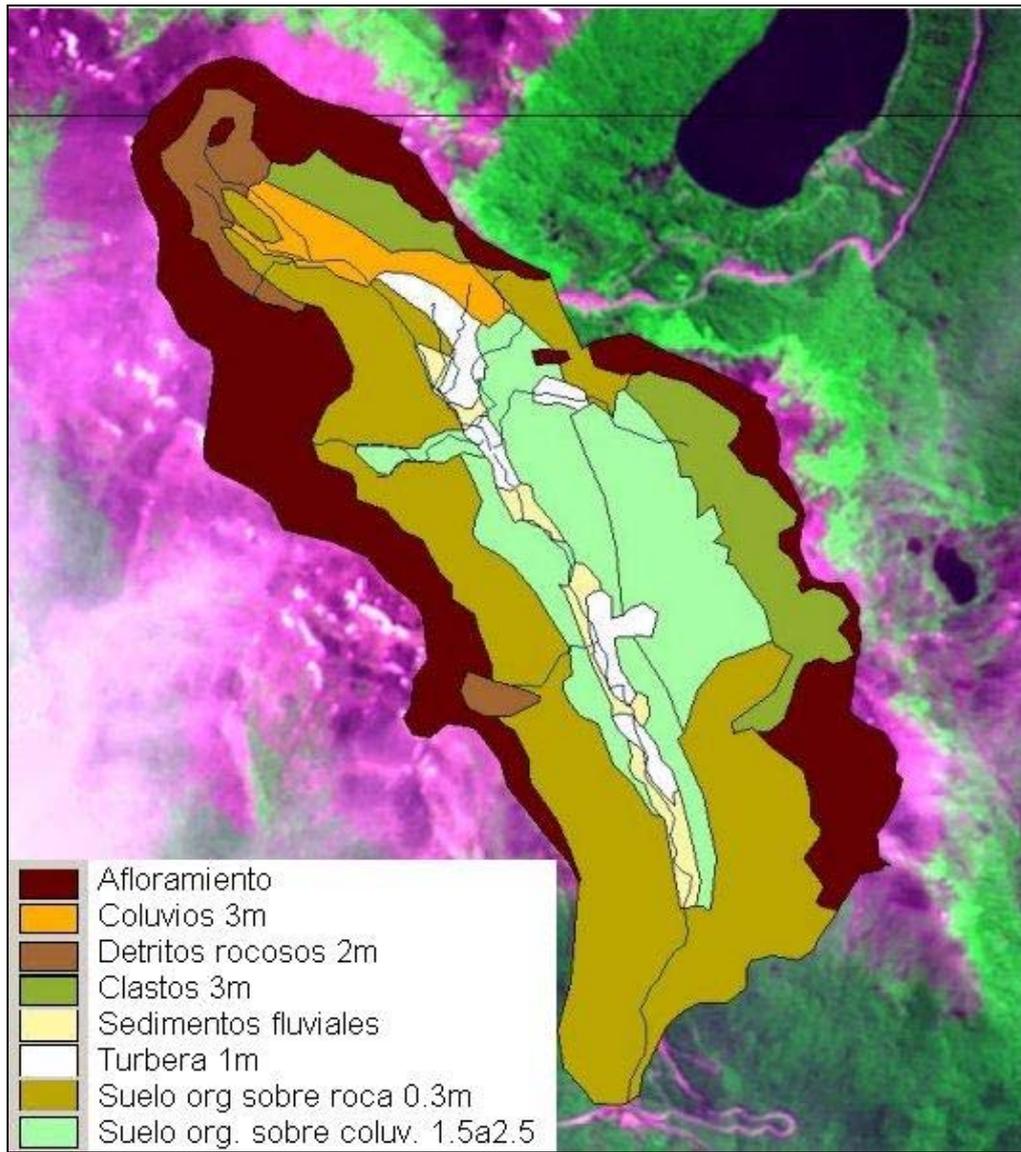


Figura 3.15. Suelos de la cuenca del río Hambre.

En la Tabla 3.4. se describen las principales características físicas de la cuenca del Arroyo Hambre.

Curso Principal	Arroyo Hambre
Módulo	600 l/seg (Estimado)
Precipitación	Los valores varían entre los 700 mm en la zona baja de la cuenca y 1400 mm. en la zona alta.
Ubicación	Ubicada en la cordillera Fueguina en proximidades del paso Garibaldi, con vertiente hacia el canal Beagle, a través del río Lasifashaj. Desemboca en este río después del cruce con la Ruta Nacional N° 3.
Zonas	Cuenca alta: Comprende el sector de la cuenca situada aguas arriba de Paso Garibaldi (400 m snm) . Las nacientes se ubican en la Sierra de Alvear. La máxima elevación alcanza los 1060 m. Cuenca baja: Comprende desde paso Garibaldi hasta la desembocadura en el río Lasiparshak., a 170 m s.n.m
Area de la cuenca	18 km ²
Vegetación	El bosque nativo de <i>Nothofagus pumilio</i> es la vegetación predominante en las laderas altas y fondos de valle mientras en las laderas medias de la cuenca se observan además algunas zonas con bosque puro o mixto de <i>Nothofagus betuloides</i> . En los fondos de valle y en ciertos sectores del faldeo próximos a Paso Garibaldi se observan turberas mixtas de <i>Sphagnum magellanicum</i> , juncáceas y ciperáceas.
Calidad de aguas	No presentan indicios de contaminación. Se observa importante acumulación de sedimentos ante la ocurrencia de eventos

Tabla 3.4. Resumen de las características físicas de la cuenca del río Hambre

Usos de la tierra

No existen usos antrópicos de la tierra en la cuenca, cuya condición es prácticamente inalterada, excepto por la traza de la Ruta nacional N° 3 que la recorre longitudinalmente en gran parte de su desarrollo por margen izquierda. La actividad turística en la zona se concentra antes y después de la cuenca, no siendo afectada más que por la existencia y el intenso uso de la Ruta y de la Dirección Nacional de Vialidad.

De acuerdo a la clasificación de la Ley Provincial N° 145, los bosques en esta cuenca corresponden en su totalidad a bosques fiscales de protección, razón por la cual el bosque nativo no se utiliza para el aprovechamiento forestal, como puede observarse en la Fig. 3.16

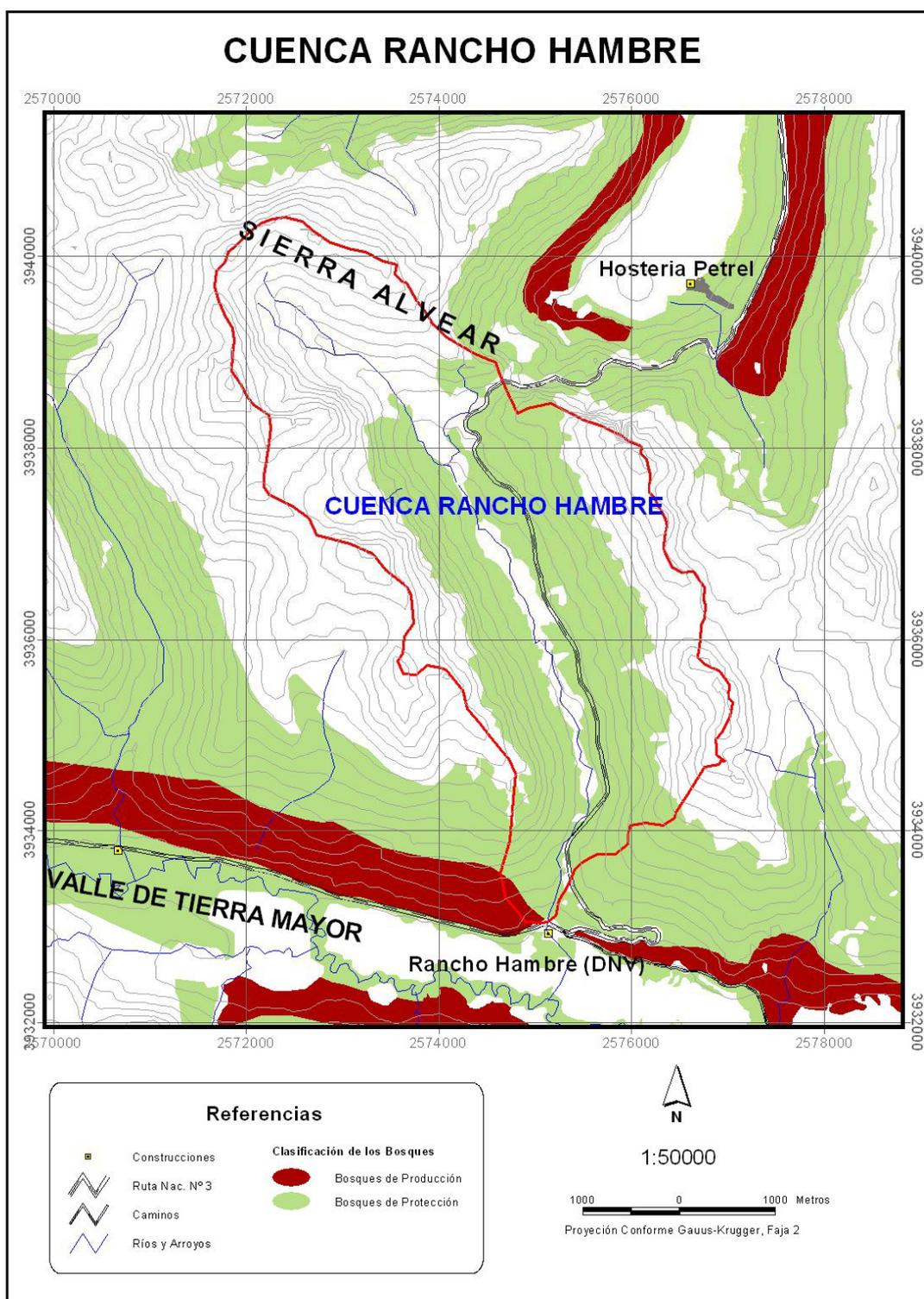


Figura 3.16. Clasificación de Bosques en la cuenca del río Hambre

Eventos extremos y su significación

En los últimos años se han presentado crecidas extraordinarias producidas por precipitaciones de gran intensidad y fusión de la nieve. Durante un evento extremo de lluvia en Junio del año 2000, cuando cayeron 91.5 mm en 17 hs en Paso Garibaldi, el arrastre de grandes desechos de madera produjo la rotura de la alcantarilla de la Ruta Nacional N° 3, provocando el corte de la ruta durante algunos días. En Junio de 2006, otro evento muy significativo se repitió por similares causas.

3.3. Contrastes entre las cuencas focales

Las cuencas de estudio presentan diferencias fundamentales desde el punto de vista de las actividades antrópicas que en ellas se desarrollan. Mientras la cuenca del Buena Esperanza se ve afectada en forma permanente en sus tramos medios y bajos por la actividad turística y la expansión urbana, lo cual ha significado una reducción considerable del bosque en esos sectores, la cuenca del Hambre presenta únicamente el impacto que produce la Ruta Nacional y la Dirección Nacional de Vialidad. No obstante, la actividad de castores es importante en esta última, en contraste con la del Buena Esperanza, una de las cuencas de montaña menos afectada por esta especie introducida. Desde el punto de vista físico-climático hay similitudes propias del ambiente semejante en que se encuentran pero se observan diferencias particulares. La cuenca del Buena Esperanza presenta mayor altitud, pendiente del cauce y disponibilidad de depósitos sedimentarios y menor proporción de cobertura de bosque, condiciones que en conjunto dan lugar a un mayor transporte de sedimentos en este curso que en el del río Hambre.

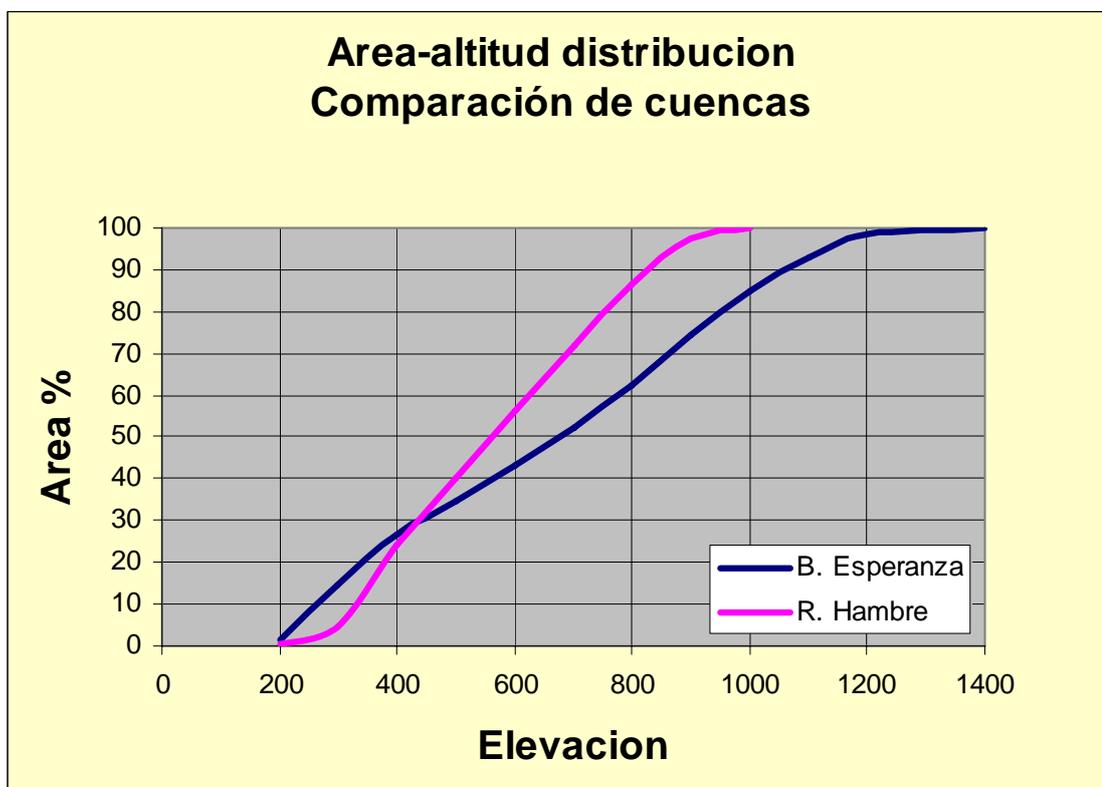


Figura 3.17. Comparación de curvas hipsométricas correspondientes a las cuencas de estudio.

3.4. Referencias Bibliográficas

- Auer V. (1956). The Pleistocene of Fuego-Patagonia, Part I: Ice and Interglacial Ages. *Annales Academie Scientiarum Fennicae, Series A III. Geologica-Geographica*, 45. Helsinki.
- Bava J. O., D. C. Rechene. (1998). Alternativas para el manejo de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) en base a la dinámica de su regeneración, en la provincia de Tierra del Fuego, Argentina. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia, Chile.
- Caldenius, C.C. 1932. Las glaciaciones cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego. *Geografiska Annaler* 14: 1-164. Stockolm. Colizza, E.,
- Collado L. (2001). “Los Bosques de Tierra del Fuego. Análisis de su estratificación mediante imágenes satelitales para el inventario forestal de la Provincia”. *Multequina* Vol 10, Ps. 1-16. ISSN 0327-9375.
- Donoso, C., 1981.- Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Corporación Nacional Forestal y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Documento de Trabajo N° 38
- Frangi J.; L. Richter (1992). Los ecosistemas forestales de la Tierra del Fuego. *Vida Silvestre (ICONA, España)* 72 2° sem.: 36-43.
- Hildebrand Vogel, R., R. Godoy, A. Vogel. (1990). Subantarctic-Andean *Nothofagus pumilio* forests. Distribution area and systematic overview; vegetation and soils as demonstrated by an example of a South Chilean stand, 1990. *Vegetatio*, vol. 89, p. 55-68.
- Iturraspe R., Urciuolo A. (1998). Análisis cuantitativo de los efectos de la temperatura sobre la variabilidad del escurrimiento en la época invernal en cursos de la cordillera fueguina. *Anales del XVII Congreso Nacional del Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur*. Santa Fe. Vol I, 137-146, 1998.
- Iturraspe R., Urciuolo A., (2000) Clasificación y Caracterización de las Cuencas Hídricas de Tierra del Fuego. *Anales del XVIII Congreso Nacional del Agua*, Santiago del Estero, Argentina.
- Iturraspe R.J. y Urciuolo A., (2002), Ciclos deficitarios en el régimen de sistemas lagunares de la estepa fueguina. *Actas XIX Congreso Nacional del Agua*. Córdoba, Argentina. CD-Rom, 10 pp.
- Mariazzi, A ; Conzonno V; Ulibarrena J.; Paggi J. y Donadelli J. (1987). Limnological investigation in Tierra del Fuego, Argentina. *Biol. Acuát.* No 10- Inst. Limn. R. Ringuelet. La Plata
- Meglioli, A. (1992). Tesis Doctoral. Univ. LEHIGH - Bethlehem – USA.
- Mercer J. H. (1976). Glacial history of southernmost South America. *Quat. Res.*, 6, 125-166.
- Moore DM. (1975). The alpine flora of Tierra del Fuego. *An Inst Bot Cavanilles* 32:419-440
- Olivero, E. & Martinioni, D. (2001). A review of the geology of the Argentinian Fuegian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* Vol 14, (2), 175-188
- Pisano E. (1997). Los bosques de Patagonia Austral y Tierra del Fuego chilenas. *Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Naturales* 25: 9-19.
- Puigdefábregas J., del Barrio G- e Iturraspe R. (1988). Régimen térmico estacional de un ambiente montañoso en la Tierra del Fuego, con especial atención al límite superior del

- bosque. Pirineos (132) Pp 37-48. Jaca - Inst. Pirenaico de Ecología- Consejo Sup. de Inv. Cient. España.
- Rabassa J., Coronato A., Bujalesky G., Salemme M., Roig, C., Meglioli A., Borromei A., Quatroccio M., Heusser C., Roig F., & Gordillo, S.. (2000): Quaternary of Tierra del Fuego, Shouthernmost South America: an updated review. *Quaternary International* 68, 71: 217-240
- Rebertus A. J , T. Kitzberger. T. Veblen & M. Roovers (1997).. Blowdown History and Landscape Patterns in the Andes of Tierra del Fuego, Argentina
Ecology, Vol. 78, No. 3 (Apr., 1997), Pp. 678-692
- Rebertus A. J., T. T. Veblen. 1993. "Structure and treefall gap dynamics of old-growth *Nothofagus* forest in Tierra del Fuego, Argentina", *Journal of Vegetation Science* 4: 641-654
- Roig F. (1998). La Vegetación de la Patagonia. En: Correa, M. Flora Patagónica. INTA Colección Científica VIII (I): 48-174.
- Schmidt H.; A. Urzúa (1982). Transformación y Manejo de los Bosques de Lengua en Magallanes. Universidad de Chile. Ciencias Agrícolas 11: 62 pp.
- Strelin J., Malagnino E., Sone T., Casassa G., Iturraspe R., Mori J. y TORIELLI C., 2002, Cronología neoglacial del extremo sur de Sudamérica, Arco de Scotia y Península Antártica. *Actas XV Congreso Geológico Argentino*, El Calafate, Argentina. Ed. CD-Room
- Tuhkanen S..(1992). The climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botanica Fennica*. 145: 1-64
- Urciuolo A., Iturraspe R. (2005). Ordenamiento hídrico de las cuencas de fuentes aptas para provisión de agua potable a la ciudad de Ushuaia. *Actas del Congreso Nacional del Agua 2005*, Mendoza, 2005.
- Veblen, T. 1985a. Forest development in tree fall gaps in the temperate rain forest of Chile. *National Geographic Research* 1:161-184.
- Veblen, T. 1985b. Stand dynamics in Chilean *Nothofagus* forest. In: Pickett, S.T.A. & White, P. (ed.): *The ecology of natural disturbances and patch dynamics*. New York. Academic Press. 35-52.

4. RECOLECCIÓN DE DATOS.

4.1. Fuentes de información

La información básica necesaria para el WP4 fue recopilada en organismos nacionales y provinciales, pero por otra parte los requerimientos particulares del Proyecto determinaron la necesidad de producir datos complementarios. En consecuencia se instalaron nuevas estaciones meteorológicas e hidrológicas para complementar la red de instrumental existente y se realizaron detallados trabajos de campo y muestreos con el fin de mejorar el conocimiento relativo a las características de la respuesta de las cuencas de estudio a los eventos climáticos.

Las tablas 4.1 y 4.2 detallan las fuentes de información por organismo y tipo de información respectivamente.

Organismo	Tipo de datos
SRN - Dirección de Recursos Hídricos (Datos disponibles antes del inicio del Proyecto)	Fotos aéreas Imágenes satélite Modelo Digital del Terreno Mapas Datos climáticos Datos Hidrológicos
SRN- Dirección de Recursos Hídricos (Información generada por el Proyecto)	Mapas de cuencas y subcuencas Georreferenciación Variabilidad especial del clima en las cuencas de estudio Caudales de las subcuencas Transporte de sedimentos Suelos Vegetación Uso del suelo y su evolución Nieve
SRN- Dirección de Bosques	Cobertura forestal y clasificación de bosques
CADIC	Datos climáticos de la Estación CADIC Fotos aéreas 1970 Datos climáticos de la cuenca del Buena Esperanza. Datos nivológicos y contribución del glaciar Martial al escurrimiento. Caudales del Arroyo Buena Esperanza Transporte de sedimentos Geomorfología
Servicio Meteorológico Nacional	Datos climáticos estación meteorológica Ushuaia (Aeropuerto)
Museo del Fin del Mundo	Fotos aéreas 1948
ESDI	Imágenes satélite LANDSAT 5 y 7 TM

Tabla 4.1. Fuentes de Información.

Resumen de la información ordenada según su tipo

Tipo de información	Detalle	Fecha-período	Cuenca	Fuente
Cartografía	Imagen satélite LANDSAT 7	Feb/2001	General	ESDI
	Imagen satélite SPOT	Dic/95		DRH
	DTM SRTM 2000 Shuttle Radar 90m	2000		NASA –Improved by DRH
	Fotos aéreas 1:40000	1970	B.E.	CADIC
	Fotos aéreas 1:20000	1988	B.E.	DRH
	Mapa de las cuencas de estudio		B.E.	DRH
	Mapa de cuencas de Tierra del Fuego		B.E & Hambre	DRH
	Mapa de suelos		General	DRH-EPIC FORCE
Mapa de uso del suelo		B.E & Hambre	DRH- EPIC FORCE	

Tipo de información	Detalle	Fecha-período	Cuenca	Fuente	
Clima	Temperatura Aeropuerto Ushuaia (H) Temperatura CADIC Ushuaia (D) Temp. Glaciar Martial 980 m a.s.l. (H) Temp. Godoy (H) Temp. Godoy em bosque (H)	1957-2005 1998-2007 1999-2007 2006-2007 2006-2007	B.Esperanza	CADIC - SMN CADIC – SMN CADIC – DRH DRH-EPIC FORCE DRH-EPIC FORCE	
	Temp. Rancho Hambre–Vialidad (H) Temp Paso Garibaldi Temp Paso Garibaldi en bosque Temperatura Hambre Cabecera. (H)	1999-2007 1999-2007 2006-2007 2006-2007	Hambre	DRH DRH DRH-EPIC FORCE DRH-EPIC FORCE	
	Humedad Aeropuerto Ushuaia (H) Humedad CADIC Ushuaia (H) Humedad Glaciar Martial a 980m (H)	1957-2005 2006-2007 2003-2007	B.Esperanza	CADIC - SMN CADIC CADIC – SMN	
	Humedad Hambre Sup. (H) Humedad P. Garibaldi (H)	2006-2007 2006-2007	Hambre	DRH-EPIC FORCE DRH-EPIC FORCE	
	Vel. y Dir del viento Aerop. Ushuaia (H) Vel.y Dir del viento Glaciar Martial (H)	2006-2007 2006-2007	B.Esperanza	CADIC - SMN DRH-EPIC FORCE	
	Vel.y Dir del viento Paso Garibaldi (H)	2005-2007 2005-2007	Hambre	DRH-EPIC FORCE DRH-EPIC FORCE	
	Precipitación Aeropuerto Ushuaia (D) Precip. CADIC Ushuaia (D) Precip. CADIC Ushuaia (H) Precip. CADIC Ushuaia (H) Precip. CADIC Ushuaia (H) Precip. CADIC Ushuaia (H) Precip. Aerosilla (D) Precip. Aerosilla (H) Precip. Glaciar Martial (H) Precip. Zona Hoteles totalizador Precip. Godoy totalizador	1957-1988 1985-2007 1986-1987 1989-1991 2001-2003 2006-2007 1984-1987 2005-2007 2006-2007 2006-2007 2006-2007	B.Esperanza	CADIC - SMN CADIC CADIC CADIC CADIC CADIC DRH-EPIC FORCE DRH-EPIC FORCE DRH-EPIC FORCE DRH -EPIC FORCE DRH -EPIC FORCE	
	Precip. Rancho Hambre – Vialidad (H) Precip P. Garibaldi (H) Precip. Castorera (H) Precip. Garibaldi Sup. Totalizador Precip. Hambre cabecera	1999-2002 1999-2007 2006-2007 2006-2007 2006-2007	Hambre	DRH DRH DRH -EPIC FORCE DRH -EPIC FORCE DRH -EPIC FORCE	
	Nubosidad Aeropuerto Ushuaia Heliofanía Aeropuerto Ushuaia Radiación solar glaciar Martial Radiación solar Paso Garibaldi	1957-2007 1957-2007 2006-2007 2006-2007		CADIC-SMN CADIC-SMN DRH- EPIC FORCE DRH- EPIC FORCE	
	Nivología y glaciología	Balances de masa glaciar Martial 2000-06 Mediciones de nieve glaciar Martial y valle principal	2000-2007 2000-2007	B.Esperanza	CADIC – DRH CADIC – DRH
		Mediciones de nieve P. Garibaldi	2002-2007	Hambre	DRH

Tabla 4.2.(Continuación) Resumen de la información ordenada según su tipo

Tipo de información	Detalle	Fecha-período	Cuenca	Fuente
Hidrología	Aforos.	1984-2007	B. Esperanza	CADIC- DRH
	Caudales B.E. (D)	2000-2007		CADIC- DRH
	Caudales B.E. (Intervalo 15 min)	2005-2007		DRH – EPIC FORCE
	Caudales A° Martial R. (Interval 15 min)	1984-2007		DRH – EPIC FORCE
	Caudales A° Godoy R. (Interval 15 min)	2005-2007		DRH – EPIC FORCE
	Transporte de sedimentos B.E	2000-2007		CADIC- DRH
	Transporte de sedimentos A. Martial	2005-2007		DRH – EPIC FORCE
	Transporte de sedimentos A. Godoy	2005-2007	DRH – EPIC FORCE	
	Aforos	1986-2007	Hambre	DRH-CADIC
	Caudales R. Hambre. (Interval 15 min)	2005-2007		DRH – EPIC FORCE
	Caudales R. Hambre Sup. (Interv 15 min)	2005-2007		DRH – EPIC FORCE
	Caudales A° Garibaldi (Interv 15 min)	2005-2007		DRH – EPIC FORCE
	Transporte de sedimentos R. Hambre	2006-2007		DRH – EPIC FORCE

Tabla 4.2.(Continuación) Resumen de la información ordenada según su tipo

H: frecuencia de observación horaria

D: frecuencia de observación diaria

DRH-EPIC FORCE: datos producidos por la Dirección de Recursos Hídricos con equipamiento adquirido por el Proyecto

4.2. Redes de observación

Las redes de observación de cada cuenca se muestran en las Figuras 4.1 y 4.2 incluyendo las estaciones externas de registro más extenso. Las estaciones hidrométricas en secciones intermedias dan lugar a la delimitación de subcuencas. El diseño fue completado con estaciones climáticas e hidrométricas instaladas en ambas cuencas.

4.2.1. Cuenca del Buena Esperanza

Red Climática

La Estación meteorológica del Aeropuerto de Ushuaia (SMN) tiene una extensa serie de registros climáticos que comienza en 1878. Para las primeras décadas los datos están disponibles a nivel de promedios mensuales, con algunas interrupciones. Desde 1957 se cuenta con datos diarios y horarios, sin interrupciones significativas. De esta manera se dispone de un registro de precipitaciones diarias de casi 50 años de extensión.

La estación meteorológica del CADIC comenzó a operar en 1985 y constituye un buen complemento de la estación del Aeropuerto. En el interior de la cuenca existía información pluviométrica en la terminal de la Aerosilla y datos de temperatura y en la base del glaciar Martial del cual se dispone datos glaciológicos y nivológicos. La red existente fue complementada con dos pluviómetros totalizadores, una estación automática que se instaló en la base del glaciar para complementar la adquisición de datos y termómetros digitales. (Tabla 4.3)

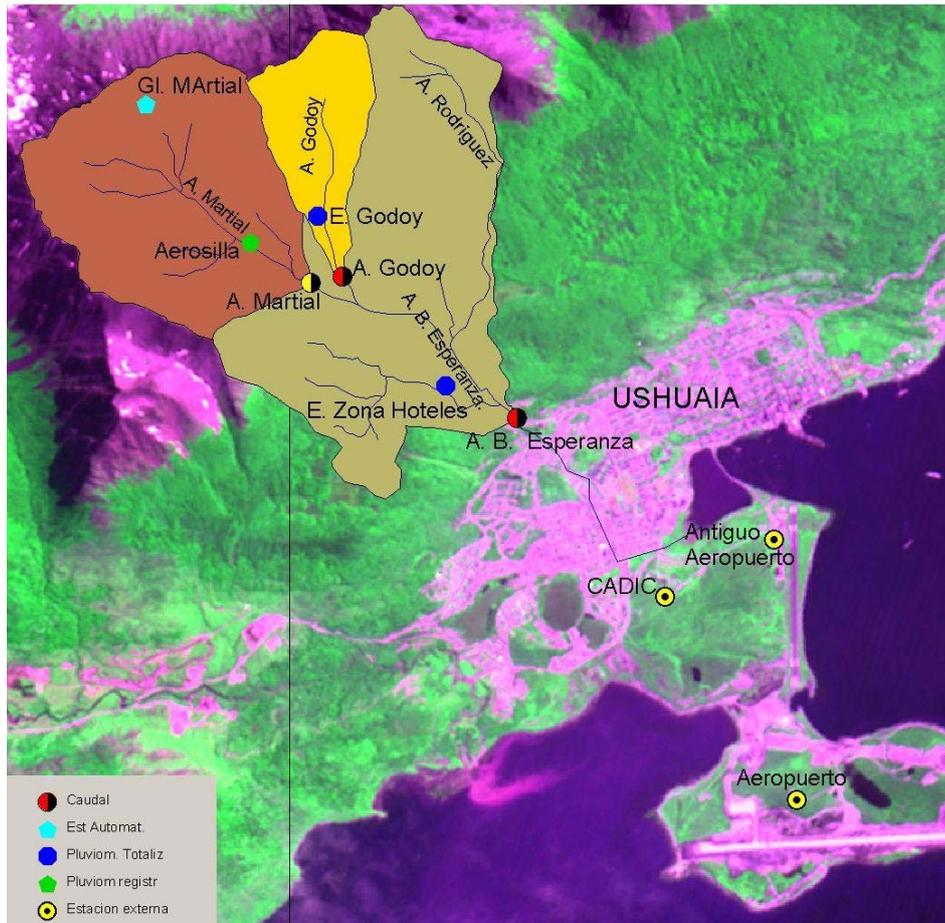


Figura 4.1. Instrumentación de la cuenca del Buena Esperanza

Estación	Ubicación	Coordenadas	Elevación (m s.n.m)	Variable	Record	Frec. de medición	Instrumento
Aeropuerto Ushuaia	Próxima a la cuenca inferior	54° 50' 28" S 68° 17' 51" W	25	Temp-Hum- Precip.- Vel. y Dir. del viento. Nubosidad	1957- 2007	6 horas	Instrumentos homologados por la OMM. Observación manual
CADIC	Ushuaia, cuenca inferior	54° 49' 22" S 68° 19' 24" W	24	Temp-RH- Precip-Nieve		Horaria	Hobo
Zona Hoteles	Cuenca media-inferior	54° 48' 20" S 68° 21' 20" W	220	Precipitación	2006-07	Quincenal	Pluvionivómetro tot. Obs. manual
Aerosilla	Cuenca intermedia	54° 47' 37" S 68° 23' 01" W	490	Precipitación		Horaria	Hobo
Martial	Cuenca superior	54° 46' 54" S 68° 23' 58" W	980	Temp-Hum- Precip.- Vel. y Dir. del viento. Radiación solar	2000-07	15 min y Horaria	Automática Global Water Data-logger Hobo
			1000-1250	Acumulación de nieve	2000-07	30 días	Cateos manuales
			1000-1250	Balace de masa		30 días	Balizas
Godoy	Cuenca sup. – Valle tributario	54° 47' 30" S 68° 22' 28" W	550	Precipitación Temperatura	2006-07	Quincenal Horaria	Pluvioniv. totalizador. Observación manual Data-logger Ondotori

Tabla 4.3. Red climática cuenca Buena Esperanza

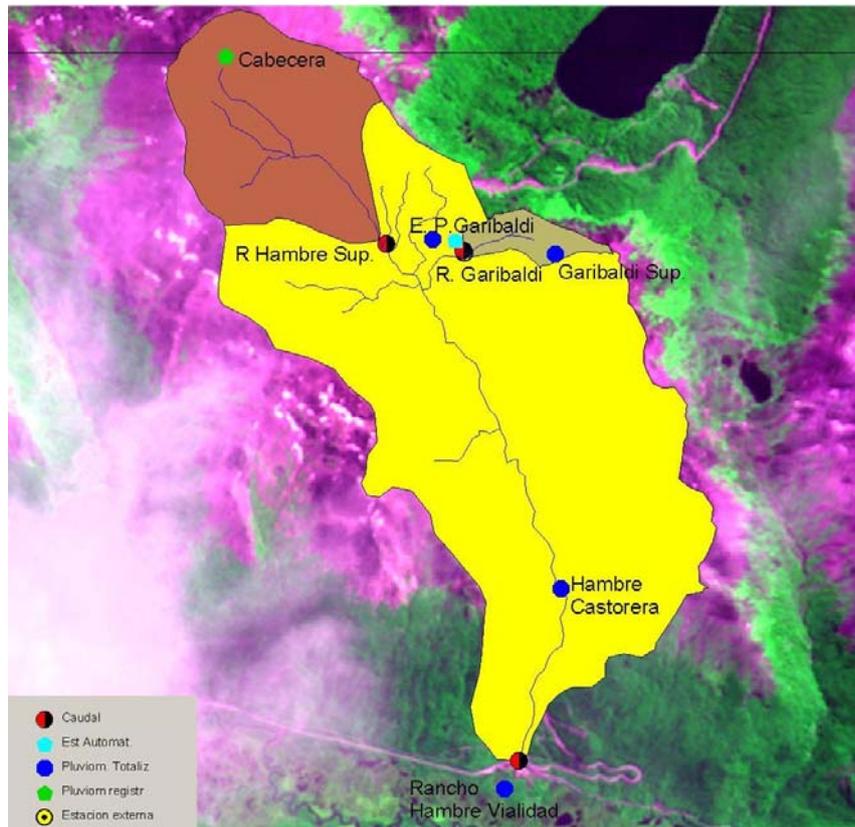


Figura 4.2. Instrumentación de la cuenca del río Hambre y delimitación de las subcuencas que aportan a las secciones hidrométricas de control

Red Hidrológica

La estación existente ubicada en cota 120 m, aguas arriba de la Planta Potabilizadora fue mejorada con la instalación de un vertedero metálico para estabilizar la sección, muy variable y se mejoró el equipamiento registrador. Dos nuevas secciones de control fueron instaladas para determinar los aportes de las subcuencas Martial y Godoy. En todas las secciones se realizaron aforos para ajustar la relación altura caudal y se tomaron muestras de sedimentos en suspensión. Detalles de las estaciones se indican en tabla 4.4.

Estación	Ubicación	Coordenadas	Elevación (m a.s.l.)	Variable	Record	Frecuencia de medición	Instrumento
Buena Esperanza	Cierre de cuenca	54° 48' 28"S 68° 20' 42"W	120	Nivel de río y caudal	2000-07	15 min	Sensor de presión con datalogger Global Water
Martial	Subcuenca superior	54° 47' 51"S 68° 22' 27"W	365	Nivel de río y caudal	2005-07	15 min	Sensor de presión con datalogger Global Water
Godoy	Afluente	54° 47' 53" S 68° 22' 10" W	317	Nivel de río y caudal	2005-07	15 min	Sensor de presión con datalogger Global Water

Tabla 4.4. Red hidrológica Cuenca Buena Esperanza

4.2.2. Cuenca del Río Hambre

Red Climática.

La información recopilada en la cuenca corresponde al puesto de Vialidad en Rancho Hambre, en el cierre de la cuenca, sobre el valle del Lasifashaj (termopluiométrica) y en paso Garibaldi, también termopluiométrica. La estación de paso Garibaldi fue mejorada con la instalación de una estación automática. Se agregaron dos pluviómetros, uno con registro digital en la cabecera y sensor de temperatura y humedad. Se instaló además un sensor de temperatura en el interior del bosque en proximidades de paso Garibaldi con el objeto de comparar condiciones. La tabla 4.5 muestra las características de las instalaciones.

Estación	Ubicación	Coordenadas	Elevación (m a.s.l.)	Variable	Record	Frecuencia de medición	Instrumento
Paso Garibaldi	Cuenca Intermedia	54° 41' 44" S 67° 50' 36" W	400	Temp-HR- Precip.-V y D Viento-Rad Sol Temperatura	2005-07	15 min	Estación Automática Global Water
				Acumulación de nieve	1999-07	1 hora	Data-logger Ondotori
					2002-07	15 días	Cateos
Rancho Hambre-Vialidad	Cierre de la cuenca	54° 44' 34" S 67° 50' 09" W	131	Temperatura del Aire	1999-07	1 hora	Data logger Ondotori
				Precipitación	1999-04 (c/interr)	1 hora	Pluviómetro
Castorera	Valle tramo inferior	54° 43' 31" S 67° 49' 39" W	280	Precipitación	2005-07	15 días	Pluvionivómetro tot. observación manual
Garibaldi Superior	Ladera, sobre el límite sup del bosque	54° 41' 44" S 67° 49' 46" W	655	Precipitación	2005-07	15 días	Pluvionivómetro totalizador – observación manual
Hambre cabecera	Cabecera de la cuenca	54° 40' 42" S 67° 52' 47" W	744	Precipitación	2006-07	1 hora	Sensor de presión datalogger G. Water
				Temp - HR	2006-07	1 hora	Hobo Datalogger

Tabla 4.5.- Red climática cuenca río Hambre

Red Hidrológica

Los datos anteriores al inicio de del proyecto consistían en aforos y observaciones discretas en la sección de la Ruta 3, incluyendo algunos episodios de crecidas. Al comenzar el Proyecto se instaló en dicha sección instrumental registrador, acondicionando la estación con un vertedero metálico. Adicionalmente se instalaron dos secciones de medición adicionales, uno en el en el tramo superior del curso principal y otro en el arroyo Garibaldi, un pequeño afluente, con la finalidad de evaluar los aportes laterales. La tabla 4.6 presenta un resumen de estas estaciones.

Estación	Ubicación	Coordenadas	Elevación (m a.s.l.)	Variable	Record	Frec.cia medición	Instrumento
R.Hambre Ruta 3	Cierre de cuenca	54° 44' 25" S 67° 50' 01" W	131	Nivel de río	2005-07	15 min	Sensor de presión datalogger G. Water
RíoHambre Superior	Subcuenca superior	54° 41' 42" S 67° 51' 18" W	364	Nivel de río	2005-07	15 min	Sensor de presión datalogger G. Water
A.Garibaldi	Afluente	54° 41' 43" S 67° 50' 36" W	420	Nivel de río	2005-07	15 min	Sensor de presión datalogger G. Water

Tabla 4.6. Red Hidrológica cuenca río Hambre

4.3. Temperatura

Fueron compilados valores medios, máximos y mínimos diarios para el período 1958-2007 y datos a nivel horario correspondientes a años más recientes en Ushuaia y en diferentes altitudes de las cuencas de estudio.

En ambas cuencas se instalaron dataloggers para medición de temperatura con paso de tiempo horario, según se indica en tablas 4.3 y 4.5. (Hay buena correlación entre los datos de temperatura de Ushuaia y del interior de la cuenca del Buena Esperanza). Las diferencias están bien explicadas por el gradiente altitudinal. Esta variación es de $1^{\circ}\text{C}/178\text{m}$ y la isoterma de cero grados varía entre 309 m a.s.l. en Julio y 1558 m en Enero (Puigdefabregas et al., 1988). Sin embargo ocurren con relativa frecuencia inversiones térmicas, especialmente en invierno durante días calmos y fríos. Este tipo de eventos alcanza mayor frecuencia e intensidad en los valles interiores, como en el caso de la cuenca del Hambre.

Los datos diarios y horarios de temperatura son importantes para el análisis de respuesta de la cuenca. Los períodos cálidos determinan procesos de fusión que generan crecidas aún sin lluvias, en tanto que precipitaciones intensas en una extensión significativa de la cuenca.

4.4. Precipitación

De acuerdo a Tuhkanen, 1992, el cinturón de los “westerlies”, el frecuente pasaje hacia el Este de ciclones extratropicales y ocasionales intrusiones de aire frío desde la Antártida son los principales sistemas que determinan las condiciones climáticas de la región. La influencia del anticiclón del Pacífico Sur, las corrientes marinas frías y la Cordillera Fueguina completan los factores que manejan este complejo modelo climático.

4.4.1. Ushuaia y Cuenca del Buena Esperanza

Se dispone de una extensa serie de datos a nivel diario en Ushuaia, que son representativos de la cuenca inferior. Una característica que distingue el régimen de precipitaciones es la baja intensidad y la alta frecuencia de los eventos lluviosos. Ushuaia presenta el 52% de días con precipitación pero en el 97 % de los casos los registros son menores o iguales a 3 mm. Son muy raras las tormentas convectivas pero suelen ocurrir precipitaciones intensas. El máximo valor diario observado en Ushuaia fue de 52.2 mm. (Figura 4.3)

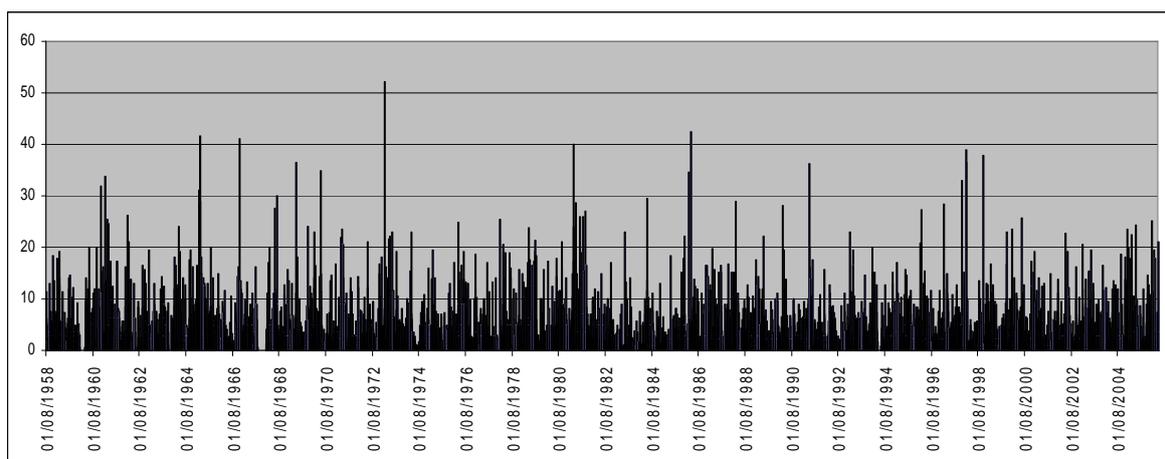


Figura 4.3. Precipitaciones diarias en Ushuaia. Período: 1958-2007

La disponibilidad de registros a nivel horario no conforma una serie histórica extensa. Los períodos recopilados para Ushuaia corresponden a observaciones del CADIC (Figura 4.4)

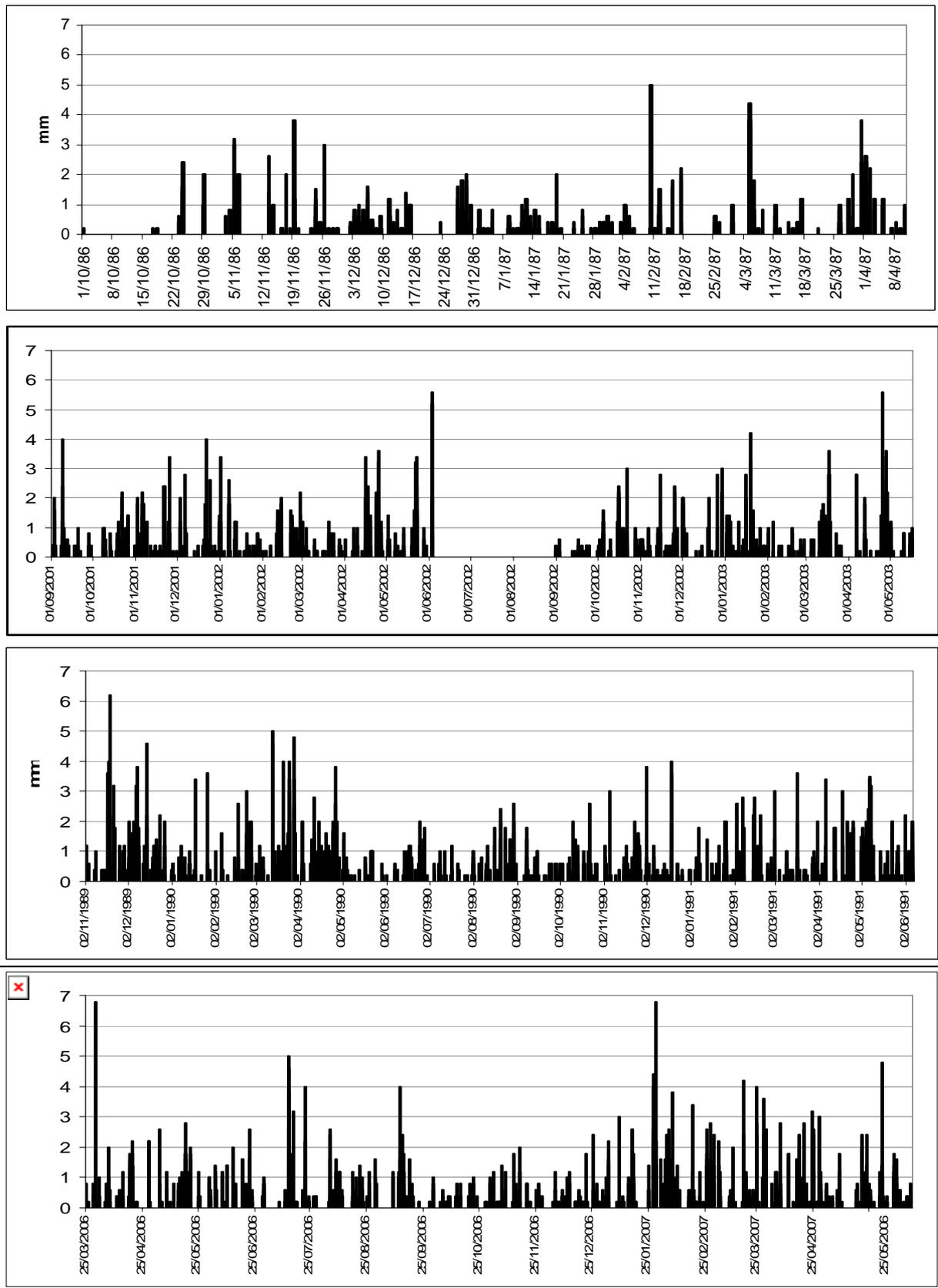


Figura 4.4. Precipitación horaria en Ushuaia, estación CADIC en varios períodos entre 1986 y 2007

A nivel del mar la precipitación n vea constituye el 30 % del total (Iturraspe et al, 1989), pero esta proporción crece sustancialmente en el interior de las cuencas de estudio, superando el 90% sobre los 1000 m a.s.l

La cordillera afecta notoriamente la distribución espacial de las precipitaciones, dando lugar a un gradiente positivo desde la costa hacia las cumbres. La media anual a nivel del mar, en Ushuaia es de 530 mm pero hay antecedentes que indican que este valor es más del doble en la estación de la Aerosilla, en la cuenca intermedia del Buena Esperanza (Iturraspe et al. 1989), como puede observarse en la figura 4.5. Un indicador del gradiente de precipitaciones es la lámina de escorrentía anual (790 mm), correspondiente al caudal medio, mayor que la precipitación observada en Ushuaia. Similar situación fue señalada por Iturraspe et al, 1989, en relación a la serie de caudales del arroyo Grande, cuya cuenca es contigua a la del Buena Esperanza también. En ese caso las láminas de escorrentía variaron entre 752 y 980 mm entre 1984 y 1987.

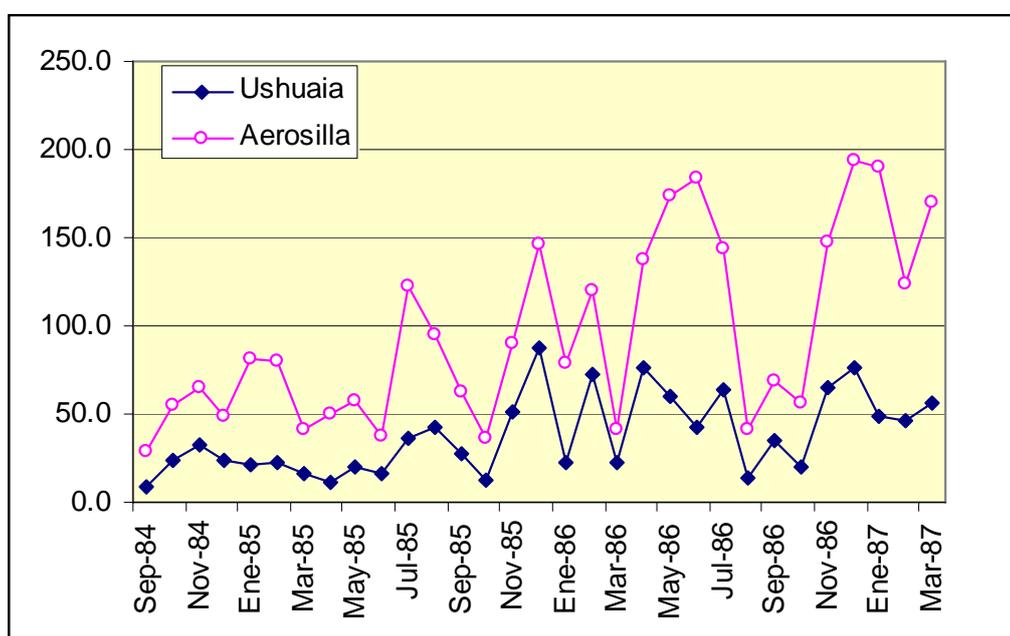


Figura 4.5. Precipitación en estaciones Aerosilla Martial (490m) y Ushuaia (24m). Perodo 1984-87 en el que el promedio anual fue de 1187 mm. La relación P. Aerosilla/P. Ushuaia correspondiente al perodo fue 2.4 (Iturraspe et al., 1989)

Durante el desarrollo del Proyecto se instalaron dos pluviómetros digitales registradores: Aerosilla (490 m s.n.m.) cuyos datos se muestran en la Figura 4.6, y Martial (980 m s.n.m.), este último integrado a una estación automática. Adicionalmente, a los fines de completar el perfil altitudinal y además garantizar correctas mediciones en la época invernal se agregaron dos pluvioniv metros totalizadores observados en forma quincenal: uno a 220 m s.n.m. (Zona hotelera) y otro a 550 m s.n.m. (Estación Godoy). El perfil se completa con las observaciones realizadas en CADIC, (24m s.n.m.). Los resultados de las mediciones son analizados en el Capítulo 5.

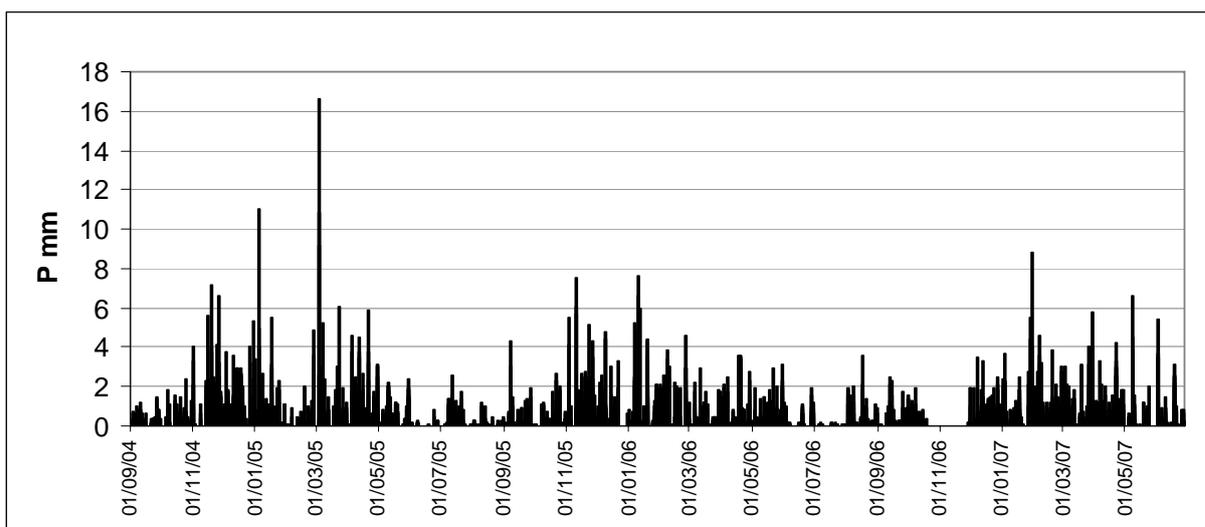


Figura 4.6. Precipitación horaria en la estación Aerosilla, cuenca del Buena Esperanza, en la que se advierten valores más elevados que en los registros de Ushuaia.

4.4.2. Cuenca del Hambre

La estación con mayor extensión de registros pluviométricos se encuentra en Paso Garibaldi, donde el total anual es de 1200 mm (Tabla 4.7). Las observaciones en Paso Garibaldi indican un valor muy cercano al máximo de la cuenca. En niveles más elevados de la misma sección transversal del valle (600 m s.n.m.) los valores del pluviómetro totalizador son inferiores. Las observaciones indican que la precipitación decrece moderadamente aguas abajo por el valle principal y hacia arriba por las laderas, en tanto que se mantienen los valores en la cabecera de la cuenca superior. Esto es desarrollado con mayor detalle en el Capítulo 5. La figura 4.7 muestra precipitaciones horarias comparadas en Paso Garibaldi y en Rancho Hambre, inmediatamente abajo del cierre de la cuenca en el Valle del Lasifashaj.

Si bien las precipitaciones medias anuales son comparables en ambas cuencas, se observa mayor frecuencia de eventos significativos y mayor variabilidad en la del Hambre. Lluvias excepcionales ocurridas en esta última en los años 2000 y 2006 no tuvieron correspondencia en la misma medida en el Buena Esperanza.

Año	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Total
2001-02	115.0	75.0	55.0	77.0	108.6	47.3	28.5	63.4	74.9	85.6	48.3	106.8	885.4
2002-03	115.6	88.0	79.4	60.3	53.3	110.4	139.6	56.3	88.6	161.6	84.0	77.5	1114.6
2003-04	94.9	99.0	212.3	91.8	68.6	116.7	75.0	100.0	76.6	98.1	119.8	83.8	1236.6
2004-05	60.9	130.2	140.2	107.8	65.9	87.9	60.7	118.5	100.0	86.0	61.0	103.5	1122.6
2005-06	105.5	87.1	61.0	123.9	41.9	66.4	70.0	204.1	104.3	142.5	121.0	39.9	1167.5
2006-07	156.1	211.2	240.6	205.9	120.4	112.6	96.6	76.3	95.9	106.3	95.7	132.2	1649.8
Prom	108.0	115.1	131.4	111.1	76.5	90.2	78.4	103.1	90.1	113.3	88.3	90.6	1196.1

Tabla 4.7. Precipitaciones mensuales en Paso Garibaldi, cuenca del río Hambre.

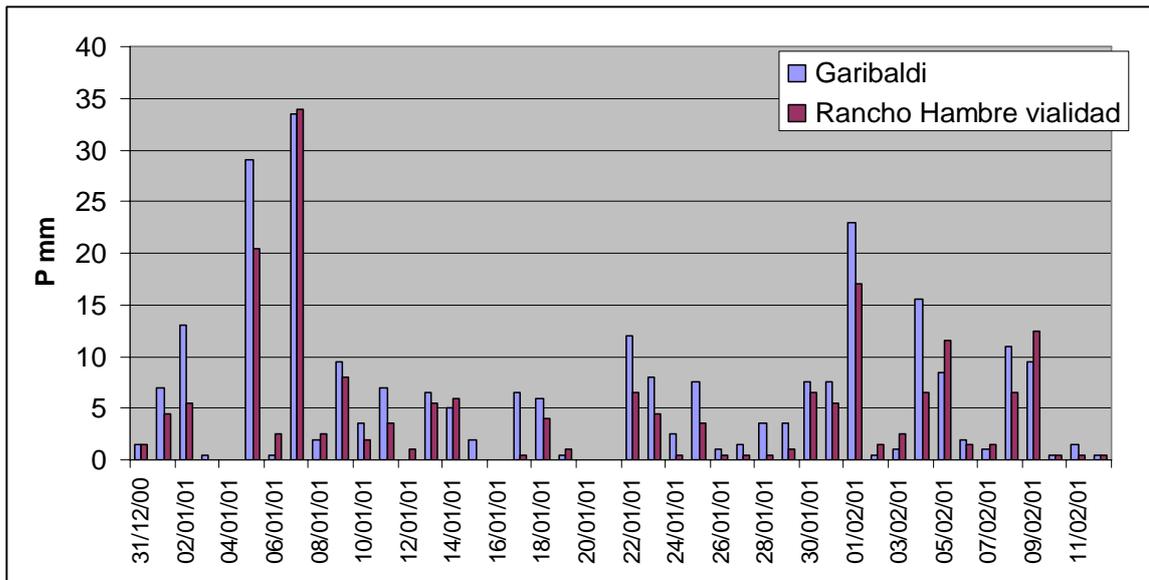


Figura 4.7. Comparación de precipitaciones horarias correspondientes a un período lluvioso entre paso Garibaldi (400m) y Rancho Hambre (130 m)

4.5. Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial (EVTP) diaria fue determinada mediante el método de Penman-Monteith (Penman, 1948) para dos niveles: 120m s.n.m. con cobertura de bosque de *Nothofagus* y 600 m s.n.m., inmediatamente sobre el límite superior del bosque. La serie de casi 50 años, correspondiente al período 1958-2007 fue calculada en base a valores diarios de las variables climáticas requeridas por la fórmula. El valor medio anual es de 467 mm a 120 m s.n.m. y de 360 mm para 600 m s.n.m. La mayor parte corresponde a la época de verano, existiendo situaciones de déficit que motivan que la evapotranspiración real sea inferior a la potencial. Sobre los 800 m s.n.m. la EVTR es poco significativa debido a la dominancia de los afloramientos de roca basal que no tienen capacidad de almacenamiento. Las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 muestran detalles de los valores determinados y su variabilidad temporal.

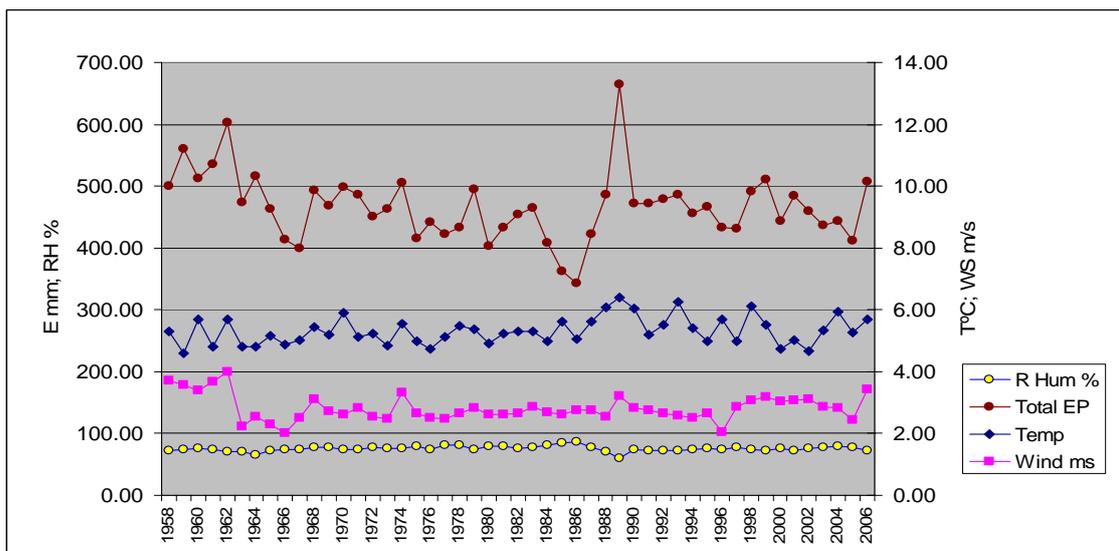


Figura 4.8. Variabilidad de la evapotranspiración potencial anual en la cuenca del Buena Esperanza a 120 m a.s.l. (1958-2007)

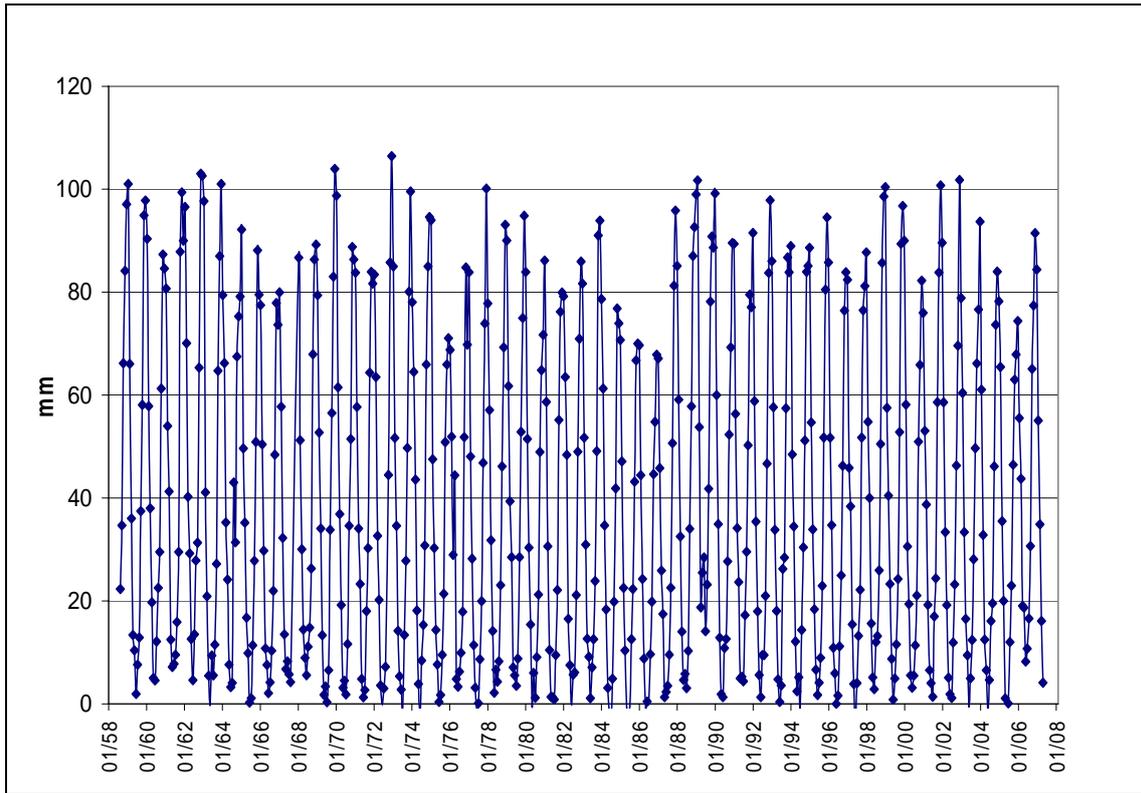


Figura 4.9. Evapotranspiración potencial mensual en la cuenca del Buena Esperanza a 120m s.n.m. (1958-2007)

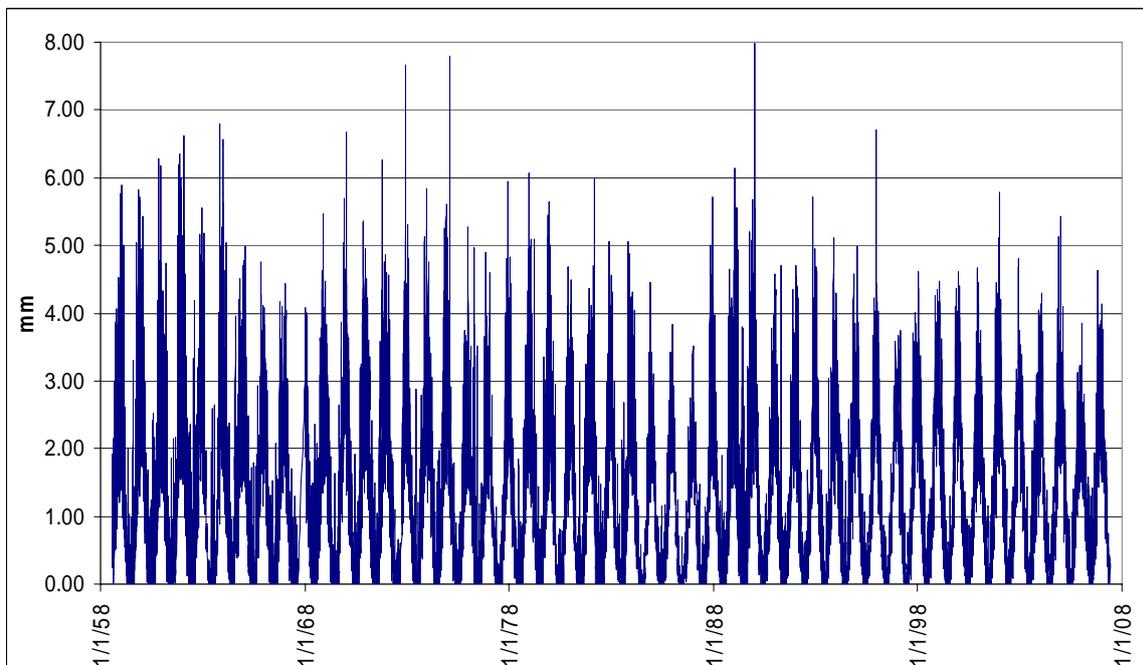


Figura 4.10.- Evapotranspiración diaria (1958-2007) en la cuenca del Buena Esperanza a 120m s.n.m.

4.6. Caudales

4.6.1. Arroyo Buena Esperanza

Las observaciones de caudales del arroyo Buena Esperanza comienzan en el año 2000. Previamente, hay disponibles aforos periódicos puntuales, muchos de ellos realizados durante episodios de crecidas. La sección de control está ubicada 50 m aguas arriba de un pequeño azud elevador donde está la toma de la Planta Potabilizadora que abastece de agua a la ciudad. El caudal medio correspondiente al período 2000 – 2007 es de 0.324 m³/s (Tabla 4.8) La figura 4.11 muestra los hidrogramas de caudales instantáneos del arroyo Buena Esperanza en los ciclos hidrológicos 2000-01 a 2004-05.

La cuenca tiene características torrenciales debido a la fuerte pendiente del curso principal y de los tributarios, lo que genera un tiempo de respuesta breve.

Si bien en la cuenca inferior el proceso de deshielo puede manifestarse en cualquier momento, las primeras crecidas resultantes de un proceso más generalizado en la cuenca se dan en septiembre, mes en el cual se aprecia el incremento de los caudales sobre el promedio, apreciándose variabilidad diurna por aportes de deshielo cuando la diferencia de temperaturas es marcada. Estas variaciones tienen su máximo hacia las 21 hs, retrasándose en la medida que se prolongan las horas de luz. No obstante, durante la primavera temprana se suceden procesos de pérdida y ganancia en el manto nival estacional, continuando la acumulación sobre los 900 m de elevación hasta avanzado octubre y en ocasiones hasta fines de noviembre. La nieve persistente tiene valores máximos de densidad ($>0.4 \text{ kg/dm}^3$), cero grados de temperatura y muy baja capacidad para retener precipitaciones líquidas. Estas son las condiciones más favorables para importantes crecidas en caso de lluvias intensas que afecten toda la superficie de la cuenca. El mayor caudal medio mensual se verifica en diciembre.

Los distintos cuerpos del glaciar Martial comprenden una superficie de 0.33 km² (Strelin e Iturraspe, 2007) lo que representa apenas el 2.6% del área de la cuenca, motivo por el cual los aportes glaciarios no tienen significación como componente de los eventos extremos ni tampoco en el balance anual del escurrimiento. Sin embargo este aporte es importante durante el estiaje de verano, una vez agotado el manto nival estacional, durante períodos cálidos y secos, representando hasta un 30 % del escurrimiento en los períodos más críticos.

Caudales aportados por las subcuencas

Dos secciones adicionales de medición de caudales fueron instaladas en la cuenca: en el Arroyo Martial, en cota 365 m y en el arroyo Godoy, tributario del A° Martial, a 317 m s.n.m, quedando definidas dos subcuencas correspondientes a las condiciones de la alta cuenca del Buena Esperanza, con muy escasa cobertura forestal, mayores pendientes y mayor permanencia y desarrollo del manto nival estacional. Entre estas secciones y la de cota 120 m queda definida una subcuenca intermedia que contrasta con las otras por su mayor cobertura forestal. Las secciones fueron equipadas con vertederos metálicos y sensores de nivel, habiéndose ajustado su calibración con aforos. Estas mediciones permitieron discriminar los aportes procedentes de la cuenca superior y del arroyo Godoy, y por diferencia, los aportes de la cuenca intermedia, facilitando además la validación de la consistencia de los datos obtenidos.

La figura 4.12 muestra los hidrogramas de caudales instantáneos de la cuenca total y de las subcuencas durante los años hidrológicos con inicio en 2005 y 2006. Los promedios mensuales para el mismo período se aprecian en la figura 4.13.

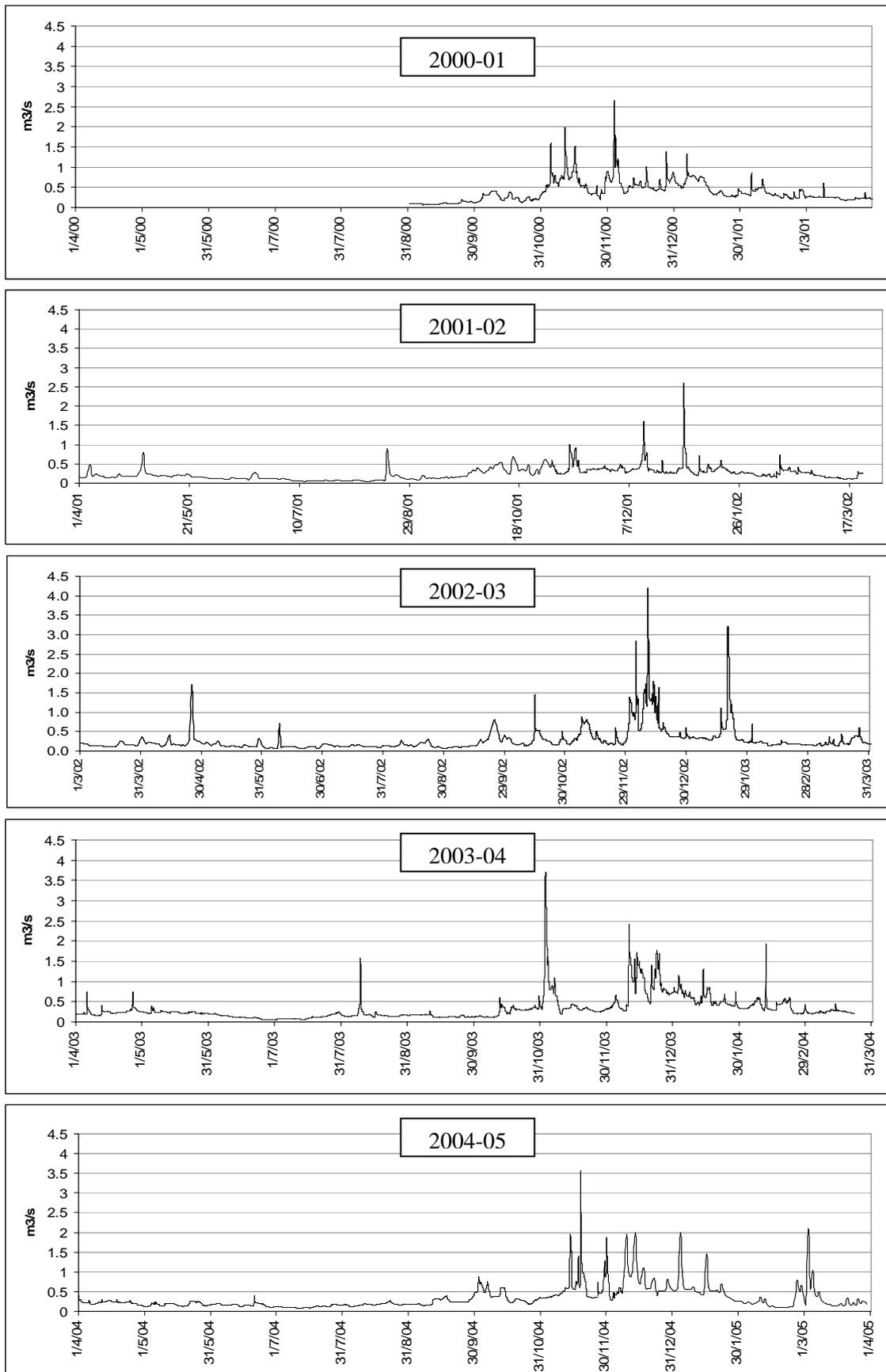


Figura 4.11. Caudales instantáneos del B. Esperanza en los ciclos hidrológicos 2000/01-2004/05

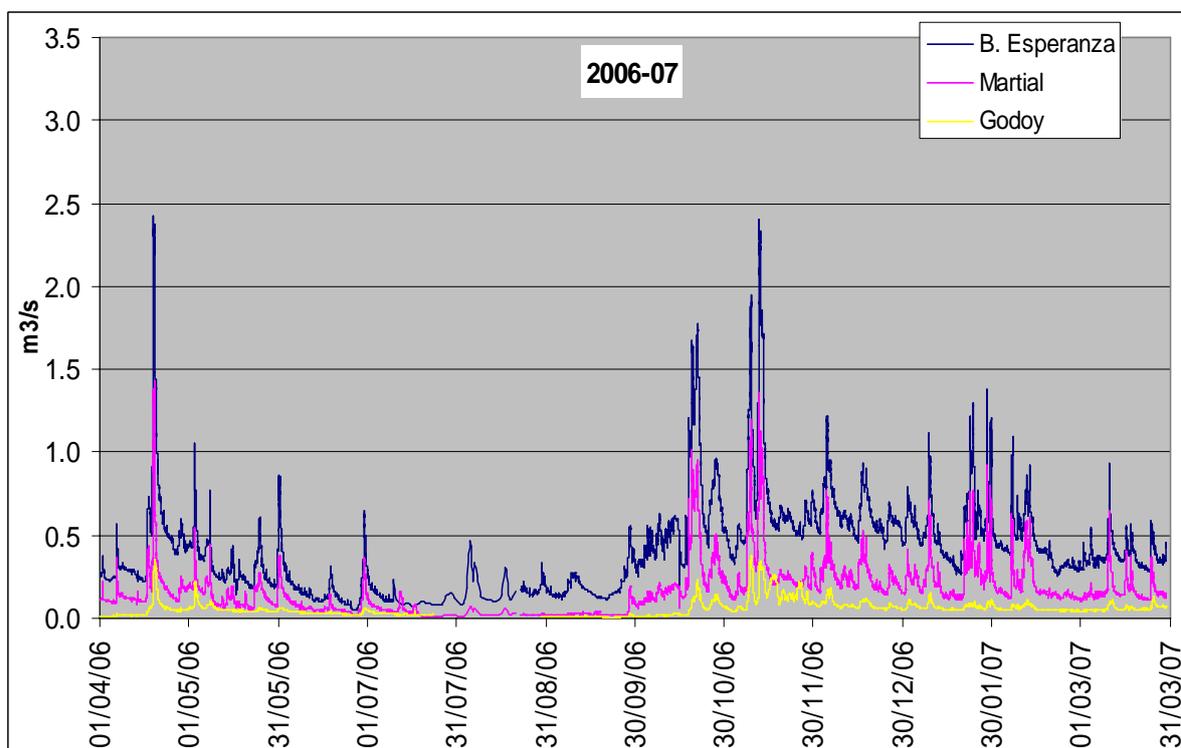
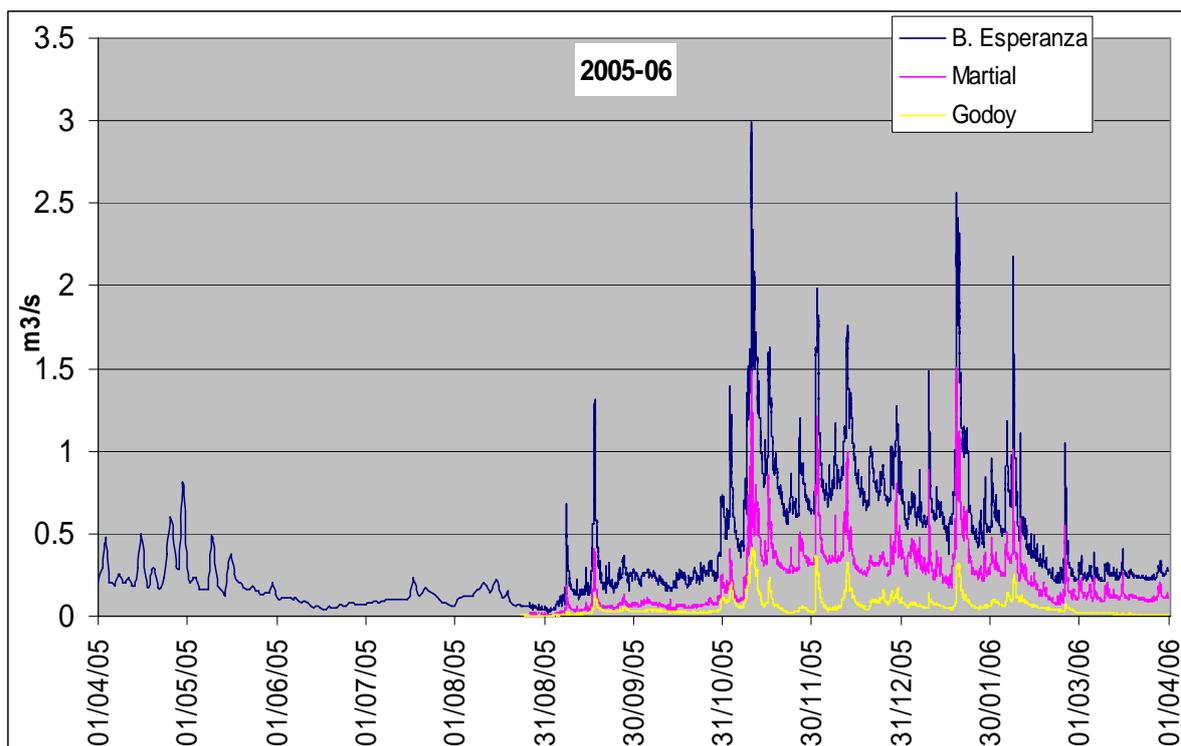


Figura 4.12. Caudales instantáneos del arroyo Buena Esperanza y subcuencas en los ciclos hidrológicos 2005-06 y 2006-07.

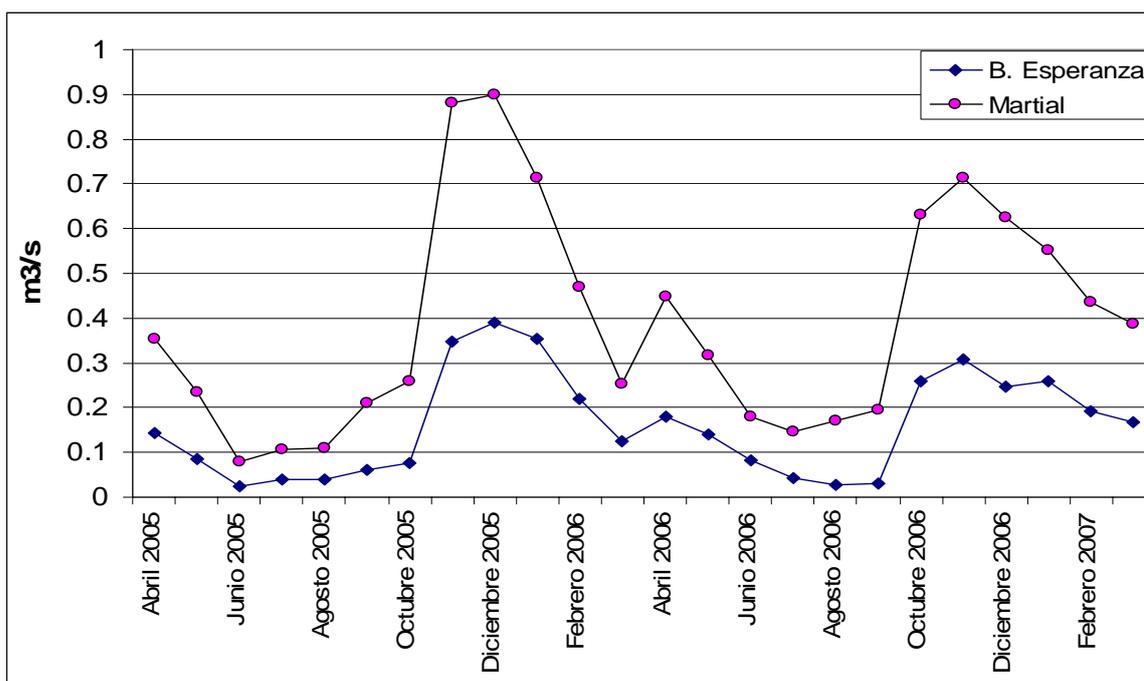


Figura 4.13. Caudales medios mensuales del Buena Esperanza en el cierre de la cuenca (120m) y en la sección Martial (365 m)

Año	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Prom
2000-01	0.310	0.230	0.120	0.130	0.190	0.102	0.250	0.627	0.632	0.501	0.350	0.240	0.307
2001-02	0.214	0.187	0.127	0.066	0.127	0.175	0.385	0.385	0.399	0.336	0.261	0.160	0.235
2002-03	0.281	0.152	0.112	0.134	0.155	0.245	0.267	0.348	0.824	0.490	0.193	0.226	0.287
2003-04	0.239	0.239	0.118	0.114	0.183	0.146	0.255	0.516	0.813	0.559	0.405	0.245	0.318
2004-05	0.219	0.173	0.159	0.116	0.171	0.244	0.386	0.598	0.757	0.571	0.215	0.342	0.331
2005-06	0.292	0.218	0.078	0.108	0.110	0.211	0.259	0.880	0.901	0.714	0.468	0.252	0.374
2006-07	0.447	0.316	0.179	0.112	0.171	0.194	0.630	0.713	0.625	0.552	0.434	0.389	0.397
Promedio	0.282	0.214	0.129	0.108	0.153	0.203	0.364	0.573	0.720	0.537	0.329	0.269	0.324

Tabla 4.8. Caudales mensuales del Buena Esperanza en cota 120m. Diciembre es claramente el mes con mayor escurrimiento. El caudal específico correspondiente a la media es de 0.025 m³/km². Los valores en tipos reducidos corresponden a estimación de períodos sin datos.

4.6.2. Río Hambre

Los registros de caudales en la cuenca del Hambre corresponden al período abril de 2005 a abril de 2007, más limitado en extensión pero con información detallada sobre importantes crecidas ocurridas en 2006 (figura 4.14). Ese año presentó características atípicas durante el período invernal que determinaron caudales medios mensuales hasta 10 veces superiores a los ordinarios como en el caso de mes de Junio.(Tabla 4.9). La figura 4.15 muestra la distribución de caudales en 2005 y 2006 que resalta esta condición atípica, resultando el primer año más representativo. Por tal motivo se considerará como caudal medio el correspondiente a 2005 y no el promedio de ambos años

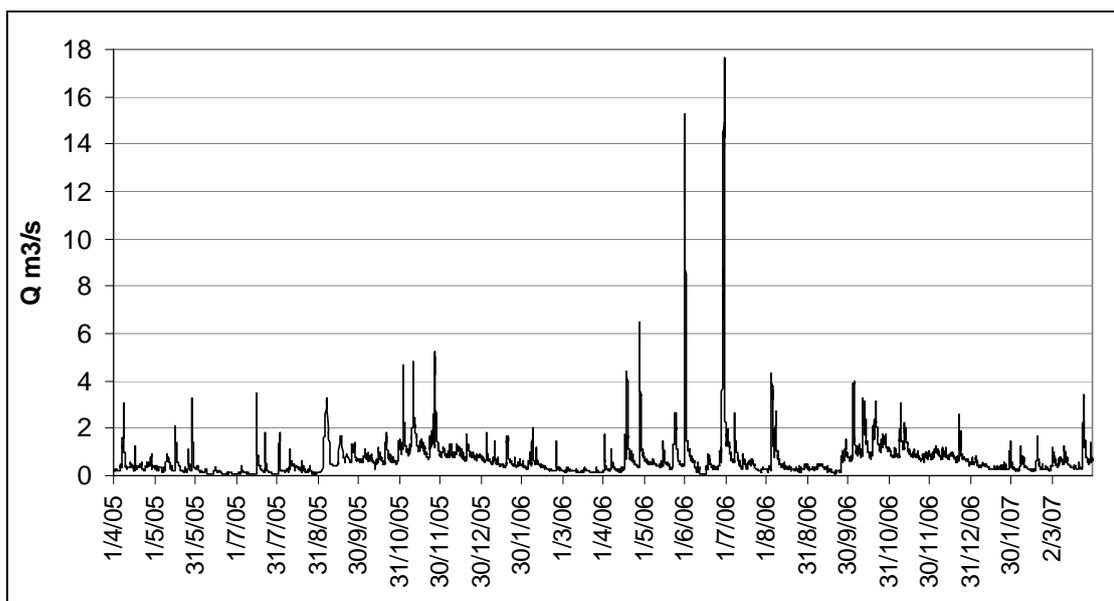


Figura 4.14. Caudales instantáneos río Hambre en Ruta 3. Años 2005-06 y 2006-07

Año	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Año	Qs (*)
2005-06	0.442	0.452	0.135	0.221	0.263	0.894	0.741	1.531	0.926	0.611	0.415	0.191	0.568	0.032
2006-07	0.732	0.673	1.324	0.667	0.573	0.377	1.363	1.022	0.842	0.415	0.375	0.621	0.750	0.042

Tabla 4.9. Caudales medios mensuales río Hambre

(*) Qs= Caudal específico en m^3/km^2

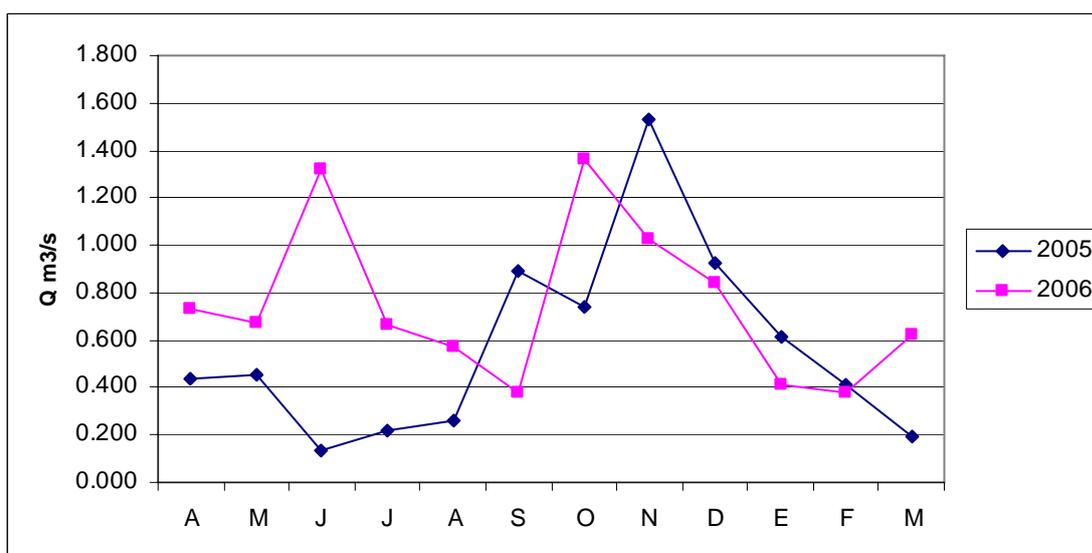


Figura 4.15. Caudales medios mensuales río Hambre correspondientes a los años hidrológicos 2005-06 y 2006-07. Se aprecia el comportamiento anómalo en el invierno del 2006

4.7. Deslizamientos

Como es usual en cuencas de montaña, los deslizamientos están relacionados con excedentes de humedad en suelos sedimentarios bajo condiciones de estabilidad deficientes. Cabe destacar que los movimientos sísmicos constituyen un factor desencadenante independiente de los eventos climáticos (Veblen, 2004), pero aún en estos casos la condición de saturación de suelos al momento del sismo tiene relación con la magnitud del evento. De acuerdo a lo indicado en el Capítulo 3, en la cuenca del Buena Esperanza existen importantes depósitos de sedimentos glaciares. Estos se encuentran relativamente estabilizados, particularmente los más antiguos. Los suelos desarrollados sobre estos depósitos y en otros casos sobre la roca basal, en el ambiente del bosque de *Nothofagus* están compuestos por detritos, estratificaciones de ceniza volcánica y un horizonte superior de alto contenido orgánico (podsoles e histosoles). Estos estratos superiores tienen escaso espesor y poca estabilidad, y se desarrollan generalmente sobre significativas pendientes. Estas condiciones, comunes en la mayoría de este tipo de cuencas, dan lugar a deslizamientos que tienen lugar con relativa frecuencia pero el reducido espesor de los suelos es en alguna medida una limitante a la magnitud de estos eventos. Sin embargo, la vulnerabilidad de Ushuaia, emplazada al pie de de la ladera, tiende al incremento, ante el cambio de uso de la tierra, con aumento de la urbanización en zonas con pendiente abrupta.

En general en todas las cuencas la estabilidad del límite superior del bosque es afectada por avalanchas de diversa magnitud, además de otros procesos como reptación de la nieve, procesos criogénicos y deslizamientos que tienen lugar durante el período de deshielo. Estos procesos son menos frecuentes en la cuenca inferior.

Las avalanchas de nieve ocurren en los faldeos de los sectores superiores o intermedios de las cuencas cuando la acumulación es significativa y se dan especiales condiciones en la estructura del manto nival. La principal avalancha identificada en la cuenca del Buena Esperanza tuvo lugar en 1976 (Mundo et al, 2007), y afectó la margen derecha de la cuenca superior, desde 900m a.s.l. hasta el fondo del valle, a 530 m a.s.l. Las nevadas registradas durante ese invierno fueron las mayores de la segunda mitad del siglo pasado.

La figura 4.16 muestra los totales de precipitación en el período invernal desde 1928, observándose que el valor de 1976 sólo es superado en los últimos 50 años en 1981. Sin embargo este último año hay mayor temperatura a lo largo de todo el período, por lo que en 1976 se habría producido mayor acumulación.

La mayor frecuencia de valores significativos se aprecia entre 1928 y 1954: en siete oportunidades fue superado el valor de 300 mm en 27 años en tanto que en los 52 años siguientes esto sólo ocurrió en dos oportunidades.

La magnitud de la avalancha destruyó el bosque, alcanzó el fondo de valle y el cauce, arrasando un refugio del Club Andino (Figura 4.17). Sin embargo no hay registros de daños producidos por el endicamiento y posterior ruptura debido al reducido escurrimiento durante la época invernal en este tramo (del orden de 20 a 30 l/s), que al drenar bajo una capa superficial de hielo y nieve probablemente no haya sufrido alteraciones en el momento del evento.

Los sectores adyacentes del faldeo valle arriba presentan evidencias de avalanchas de nieve, y gran irregularidad del límite superior del bosque (Figura 4.18).

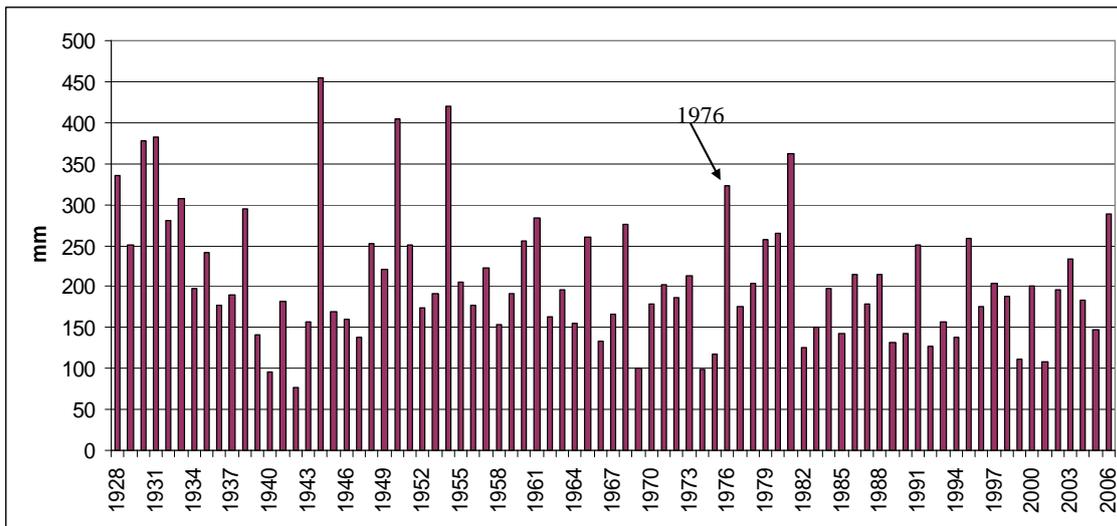


Figura 4.16. Precipitaciones en Ushuaia en el período invernal (Mayo-Septiembre) 1928-2006.



Figura 4.17. Vista del sector de la ladera Sur del valle principal del Martial donde se aprecian los efectos de la avalancha ocurrida en el Año 1976. Se advierte la regeneración natural del bosque en el sitio afectado



Figura 4.18. Fotografía que muestra la misma ladera que la imagen anterior, inmediatamente aguas arriba. Se aprecia la actividad de avalanchas, deslizamientos y procesos de soliflucción que afectan marcadamente el límite superior del bosque. Al fondo, parte del glaciar Martial y sus morenas de la Pequeña Edad del Hielo que datan de los siglos XVI-XIX.

En la cuenca del Hambre, el corte sobre la ladera norte producido por la traza de la ruta N° 3 da lugar a condiciones de inestabilidad. Fuertes lluvias ocurridas en 2000 y 2006 provocaron pequeños deslizamientos que obstruyeron totalmente la calzada (Figura 4.19). No hay antecedentes de deslizamientos recientes que alcanzaran en su desarrollo el fondo de valle.

4.8. Uso de la Tierra

La cuenca del río Hambre fue seleccionada como modelo de mínimos impactos antrópicos. El único uso actual de la tierra está restringido a la traza de la Ruta N° 3 y el gasoducto. En consecuencia será la cuenca del Buena Esperanza el principal objeto de este análisis.

La cuenca del Buena Esperanza comprende parte de la ciudad de Ushuaia, aunque para los estudios hidrológicos se haya cerrado la misma en cota 120, aguas arriba del casco urbano.

Ushuaia experimentó un extraordinario desarrollo en las últimas décadas: su población creció de 6000 habitantes en 1970 a aproximadamente 60000 habitantes en la actualidad. Este hecho produjo sustanciales cambios en el uso de la tierra, principalmente por expansión urbana y nuevos usos turísticos.

Un análisis de este desarrollo y los consecuentes cambios en el uso de la tierra durante el transcurso del siglo XX se tratan en el Capítulo 6.



Figura 4.19. Deslizamientos ocurridos en la cuenca del Hambre el 30 de Junio de 2006. Similares situaciones se repitieron a lo largo de la Ruta 3. Las fotografías fueron tomadas después de que fuera limpiada la Ruta para restablecer el tránsito.

4.9. Características del bosque

El bosque, junto con las demás unidades de vegetación fue descrito a nivel de Tierra del Fuego y de cada cuenca en el Capítulo 3. El mapa de vegetación fue elaborado en base al Inventario Forestal (Collado, 2001) pero fue necesario recabar información adicional tal como detalles sobre las demás unidades de vegetación y la altura media de los árboles, tarea que se llevó a cabo mediante observaciones en los sectores accesibles y con fotografías aéreas y oblicuas como complemento. Resultados de investigaciones realizadas a nivel local también aportaron datos de utilidad (Moore, 1983; Frangi et al, 1992, 1994; Brancaloni et al, 2003, etc)

La cobertura foliar es un factor importante a los fines de determinar intercepción, para ello un parámetro de interés es el tamaño de hoja. Autores como Barrera et al (2000) han estudiado la estructura y propiedades del bosque de *Nothofagus pumilio*. Puntieri et al, (2001) describen la variabilidad de las dimensiones foliares en un mismo árbol, decreciente desde las ubicaciones proximales a las distales; asimismo hay variaciones en el tamaño de los brotes según se trate de ramas cortas o largas.

La dimensión de las celdas de análisis que utiliza el modelo SHETRAN sugiere la conveniencia de considerar un tamaño de hoja uniforme. En función de las consideraciones previas se determinaron los siguientes valores: longitud: 28 mm; relación long/ancho= 14 mm; superficie: 350 mm²

Las turberas de *Sphagnum* constituyen unidades asociadas al bosque de *Nothofagus*, de alta capacidad de retención de humedad, especialmente en el estrato superior o catotelm (Ivanov,1981). Iturraspe, et al.(2000) determinaron una capacidad de asimilación de 240 mm en una turbera elevada de *Sphagnum* en condiciones de relativo déficit de humedad precedente, más la retención en superficie en charcas y microrelieve. Esta magnitud equivale al total de precipitación mensual de un mes excepcionalmente húmedo.

4.10. Eventos Extremos

4.10.1. Cuenca del Buena Esperanza.

La inundación del 6 de noviembre de 1954 constituye para la cuenca del Buena Esperanza el principal evento conocido, en tanto que en la cuenca del Hambre los eventos identificados son de carácter más reciente, con ocurrencia en 2000. En 2006 se repitió otra situación similar, que si bien no fue de máxima magnitud en la cuenca del Hambre, fue el episodio más severo conocido en la zona Norte y Centro de Tierra del Fuego.

Crecida de Noviembre de 1954 en la cuenca del A. Buena Esperanza.

Este evento presentó muy especiales condiciones previas. Durante los meses de Agosto y Septiembre ocurrieron nevadas excepcionales, sucedidas por bajas temperaturas hasta avanzado el mes de octubre que permitieron la estabilidad del manto de nieve y retrasaron el proceso de deshielo (Figuras 4.20 y 4.21)

La lluvia que generó la crecida fue importante (42 mm) pero no tanto como para producir un evento extremo en forma independiente. Lo mismo cabe decir para la temperatura, sin embargo la masa de aire húmedo fue lo suficientemente cálida para permitir precipitación líquida en toda la cuenca. La fusión de la nieve existente fue inducida en mayor medida por la lluvia que aportó energía adicional al proceso precedido por temperaturas de 15° a nivel del mar. Los aportes de la cuenca media-inferior fueron importantes bajo estas condiciones.

Los datos climáticos fueron suministrados por el SMN, disponibles a nivel diario (total de precipitación, temperatura máxima, media y mínima, etc). La distribución horaria de la lluvia fue estimada, en base a referencias de viejos pobladores sobre la duración de la tormenta, pudiéndose establecer que llovió durante la noche y la crecida se dio en las primeras horas de la mañana.

Los caudales debieron ser reconstruidos a partir de fotografías obtenidas ya pasado el pico pero en las mismas se puede apreciar el nivel máximo alcanzado. Los caudales fueron calculados determinando la sección transversal de escurrimiento en base a relevamientos in situ y considerando el nivel alcanzado por el agua. La velocidad fue determinada mediante la fórmula de Manning. El caudal máximo estimado fue de 13 m³/s +/- 1.5 m³/s. La crecida no sólo afectó al Buena Esperanza sino también a todos los cursos menores del área urbana.

Se determinaron las precipitaciones en diferentes niveles de la cuenca aplicando un coeficiente de acuerdo a la correlación observada con Ushuaia. La figura 4.22 muestra las condiciones climáticas del evento de acuerdo a las observaciones en Ushuaia y el hidrograma resultante. La figura 4.24 muestra la distribución de precipitaciones adoptada, resultante de aplicar el gradiente altitudinal.

La evapotranspiración fue calculada para el período precedente desde el 1/10/1954 hasta el final de la crecida.

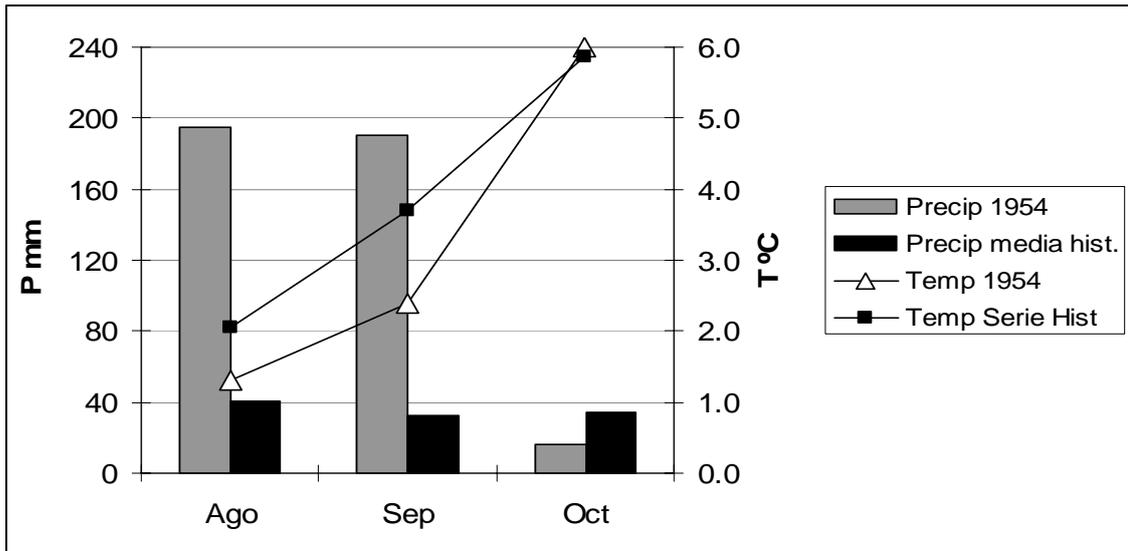


Figura 4.20. Precipitación y temperatura en Ushuaia en los meses precedentes a Noviembre de 1954. Se comparan los valores registrados con los promedios históricos.

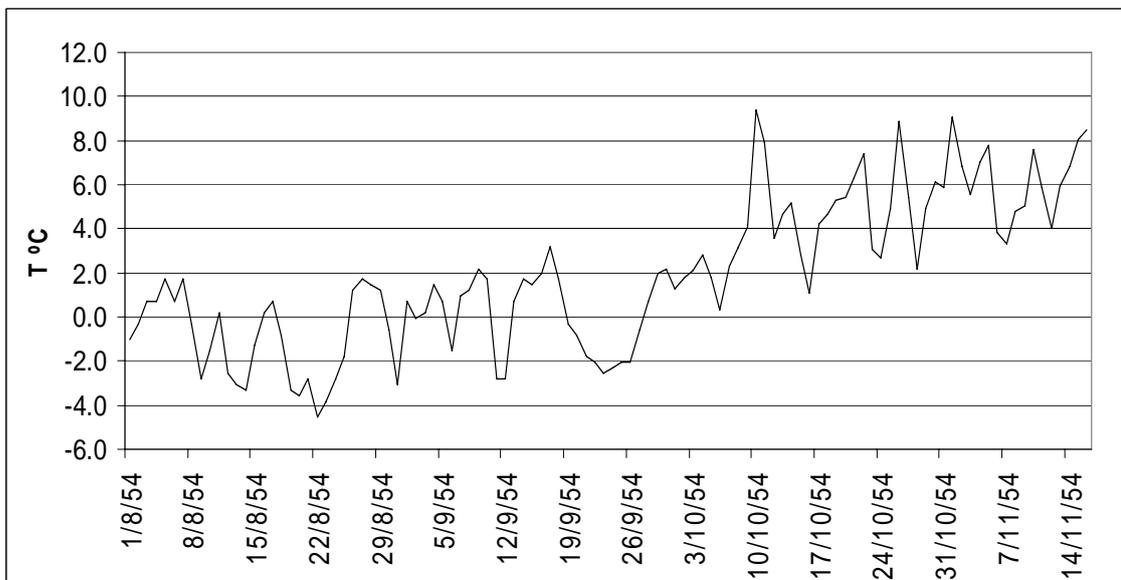


Figura 4.21. Temperatura media diaria en los dos meses previos a la crecida, a 450 m s.n.m., correspondiente al tramo medio-inferior del valle principal, a partir del cual se produce importante acumulación nival. El 70% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre esta cota.

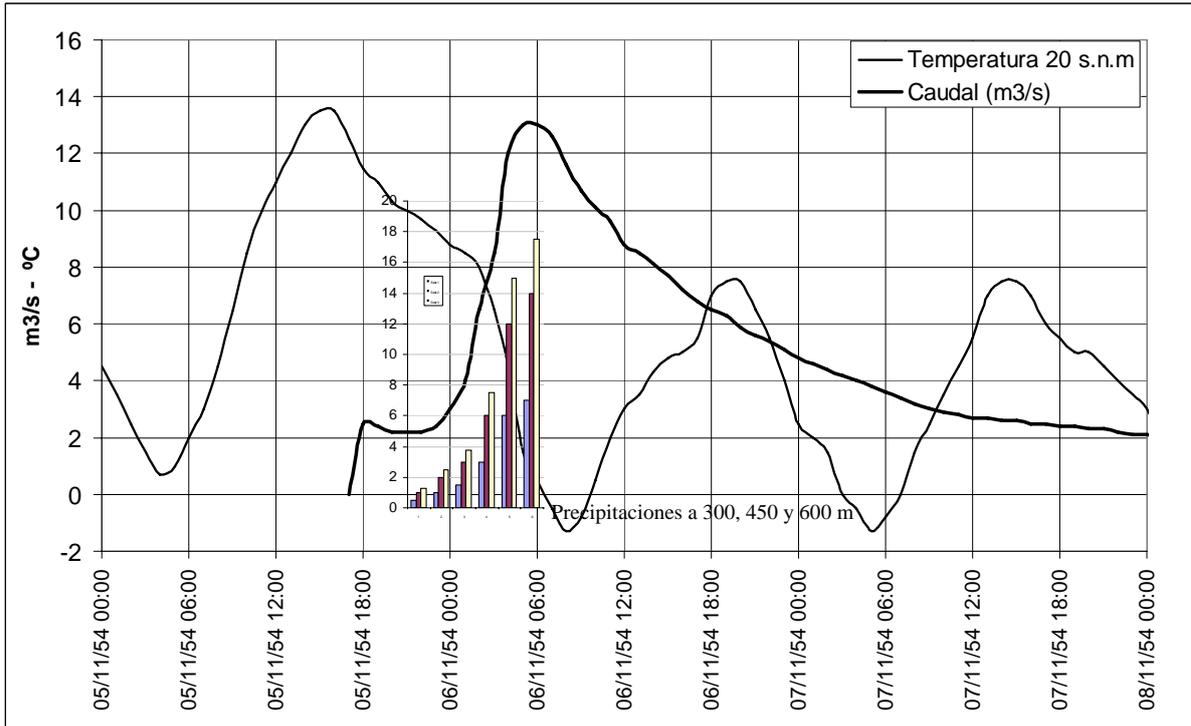


Figura 4.22. Crecida de 1954 en la cuenca del A. Buena Esperanza y datos climáticos correspondientes.

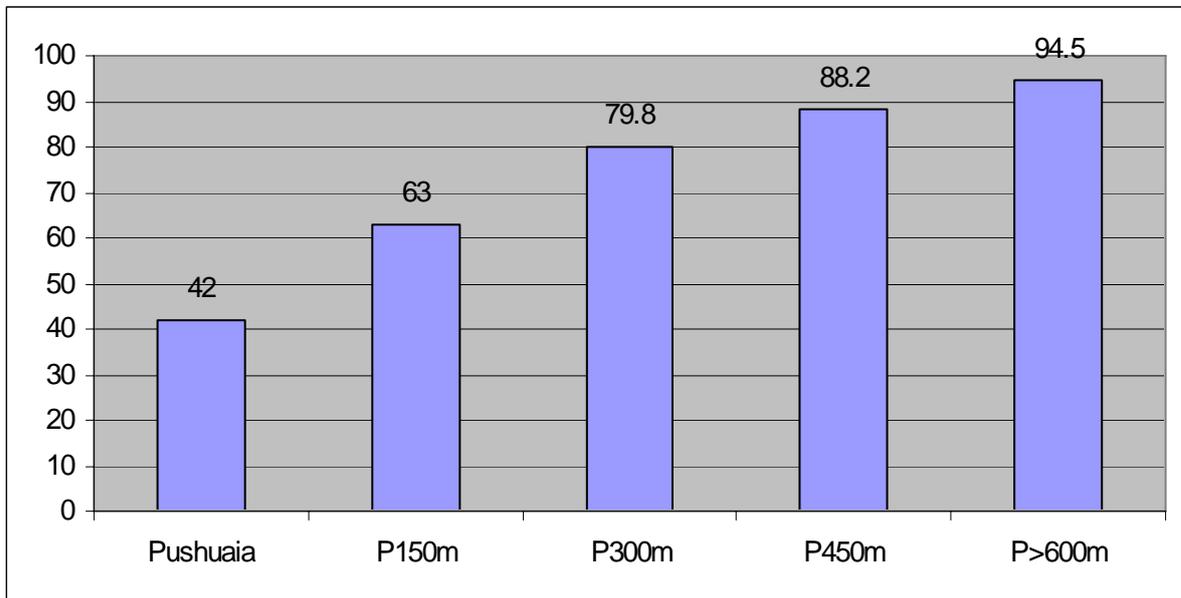


Figura 4.23. Distribución de las precipitaciones del evento de 1954 en función de la altitud.

Otros eventos.

Durante el período de observaciones de caudal no se manifestaron crecidas de la magnitud del año 1954; no obstante hay información detallada correspondiente a crecidas máximas anuales, algunas producidas por lluvias y otras exclusivamente por deshielo (diciembre 2002).

4.10.2. Cuenca del Río Hambre

Los eventos identificados en la cuenca del río Hambre corresponden a los años 2000 y 2006. En ambas situaciones se constataron en cada año dos crecidas muy significativas, una de ellas producida exclusivamente por lluvias, que no fue la más importante, y las restantes motivadas por combinación de lluvia y deshielo.

Crecida de Junio de 2000 (Figura 4.25)

Tipo de evento: lluvia intensa que aceleró la fusión de la nieve almacenada.

Total precipitación: 91.5 mm

Duración de la precipitación: 17 hs

Caudal máximo: 25 m³/s

Datos de precipitación: fueron registrados con instrumento electrónico registrador a cangilones en Paso Garibaldi,

Datos de temperatura: registrados con data logger Ondotori, paso de tiempo horario.

Datos de caudal: hidrograma reconstruido a partir de marcas de máximo nivel alcanzado y referencias dadas por personal de la Dirección Provincial de Vialidad que permitieron estimar niveles intermedios durante la crecida.

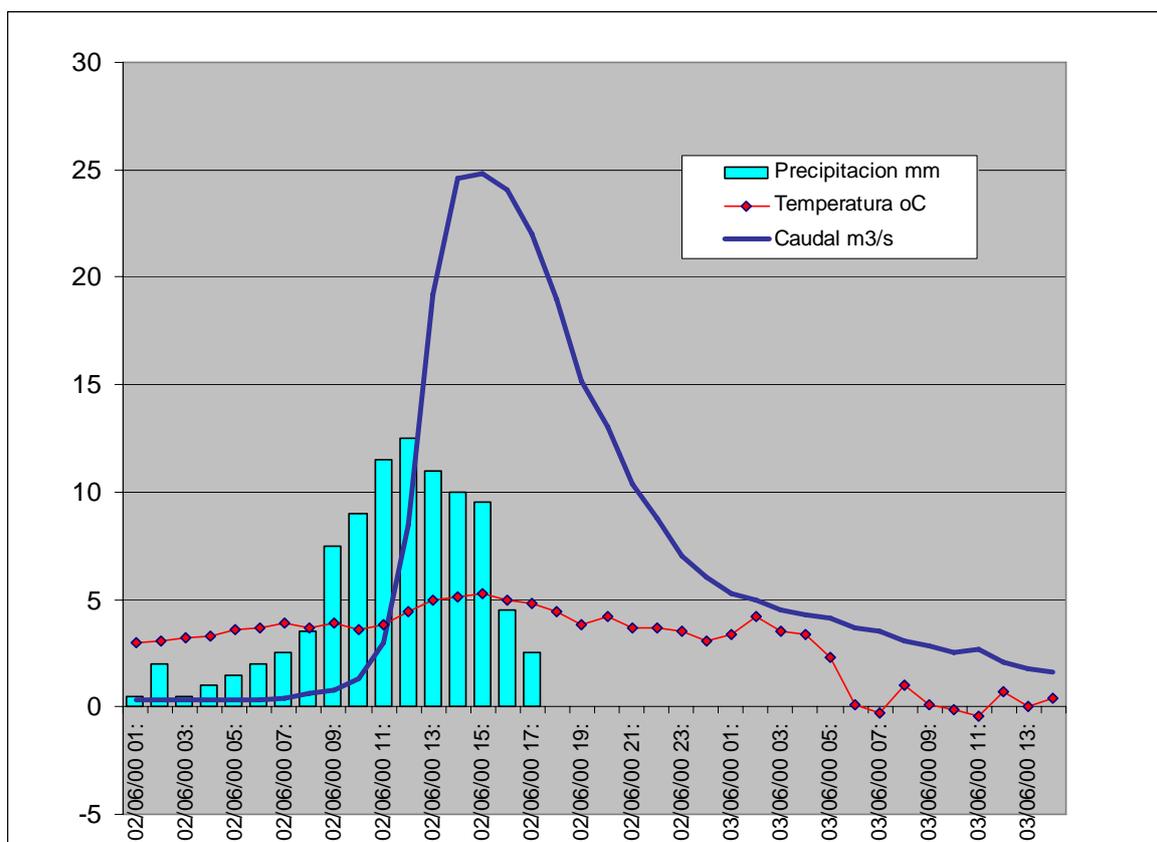


Figura 4.24. Datos correspondientes al evento de Junio de 2000 en el río Hambre

Crecida de Marzo de 2000 (Figura 4.25)

Tipo de evento: lluvia intensa exclusivamente.

Total precipitación: 99 mm

Duración de la precipitación: 43 hs

Caudal máximo: 16 m³/s

Datos de precipitación: fueron registrados con instrumento electrónico registrador a cangilones en Paso Garibaldi,

Datos de temperatura: registrados con data logger Ondotori, paso de tiempo horario.

Datos de caudal: hidrograma reconstruido a partir de marcas de máximo nivel alcanzado y referencias dadas por personal de la Dirección Provincial de Vialidad que permitieron estimar niveles intermedios durante la crecida.

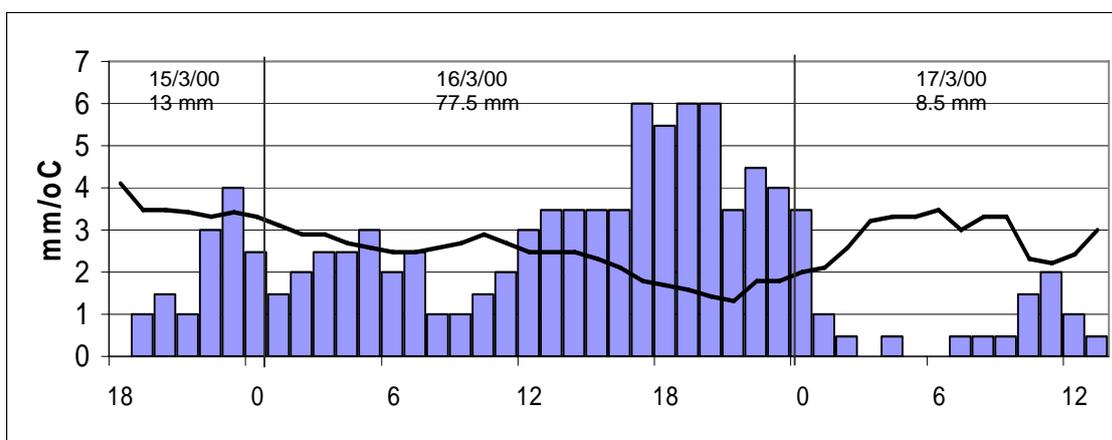


Figura 4.25. Precipitación y temperatura que dieron lugar al evento del 18 y 19 de marzo de 2000 en la cuenca del Hambre, el que tuvo origen pluvial.

Crecidas de 2006.

El principal evento de este año tuvo lugar el 30 de Junio de 2006 por el ingreso de aire cálido y húmedo procedente del Norte. La baja altura de la cordillera en la cuenca del Hambre permitió el ingreso de la tormenta por la cabecera de la cuenca. Las condiciones fueron similares a lo sucedido en Junio de 2000: precipitación líquida sobre nieve almacenada en toda la cuenca.

La Fig. 4.26 muestra el hidrograma correspondiente, que alcanzó un pico cercano a los 18 m³/s. Previamente, el 30 de Mayo tuvo lugar otro evento importante bajo similares condiciones. La crecida de mayo produjo el desalmacenamiento parcial de nieve de la cuenca, lo que mitigó la magnitud del evento de Junio.

La tormenta tuvo consecuencias catastróficas para toda la vertiente Norte de la cordillera produciendo inundaciones de magnitud sin precedentes y causando el colapso del sistema vial de la Provincia de Tierra del Fuego. La figura 4.27 muestra los hidrogramas de crecida de los ríos Grande, Herminita y Chico, ubicados al Norte de la cuenca del Hambre.

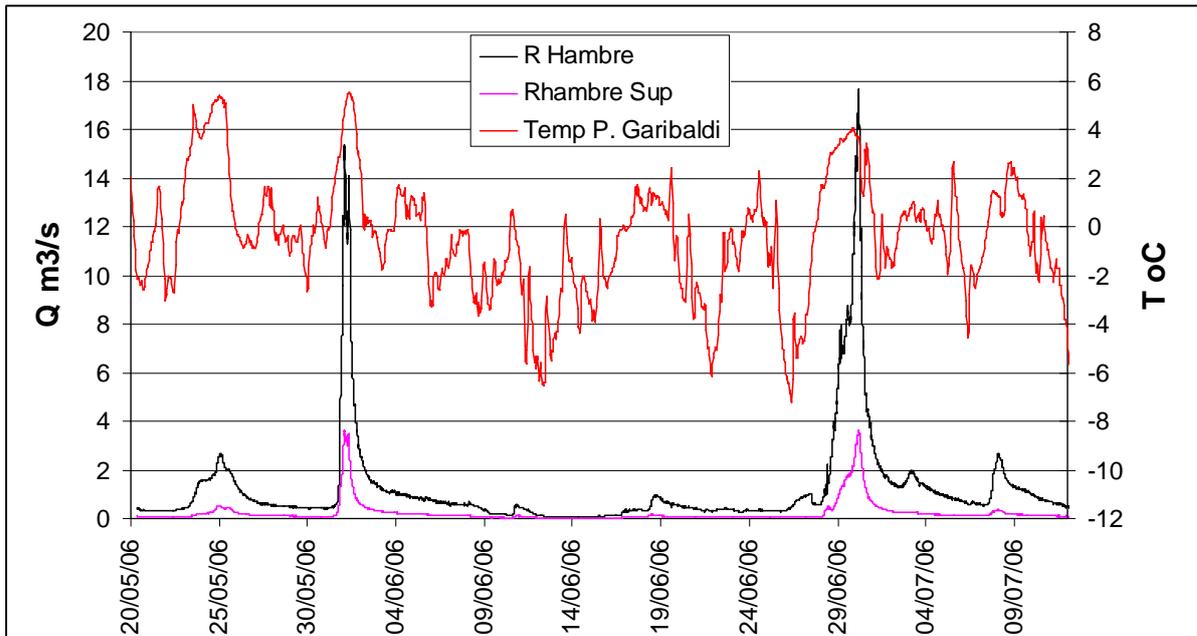


Figura 4.26. Hidrograma de las crecidas de Mayo y Junio de 2006.

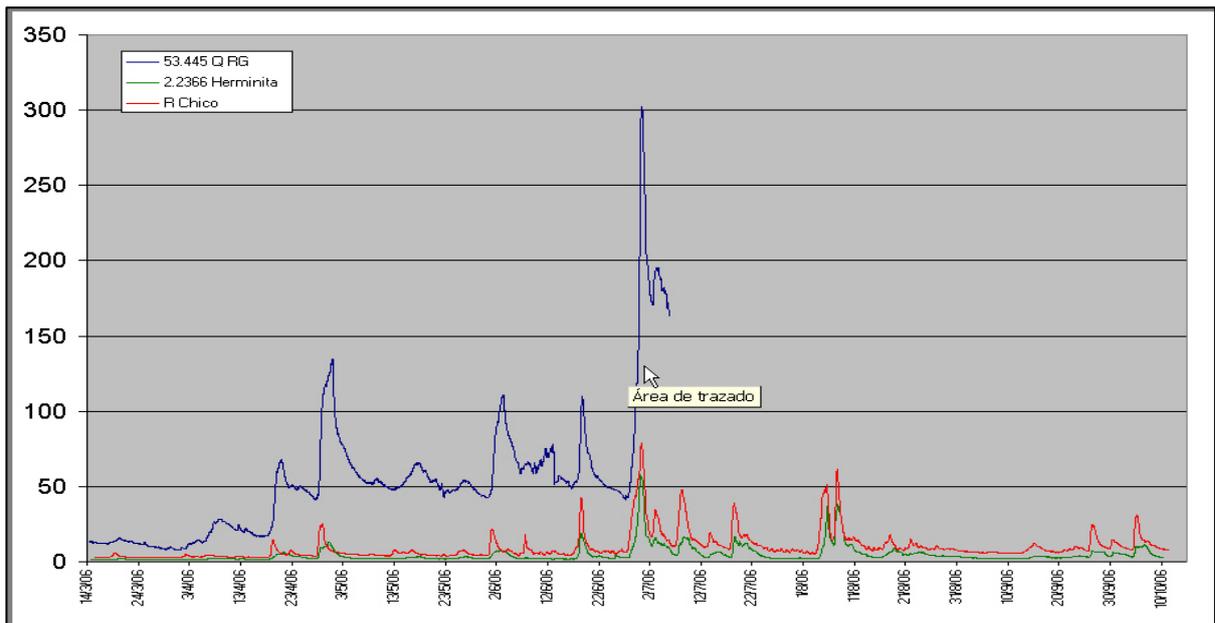


Figura 4.27. Evento extremo en las cuencas de los ríos Grande y Chico, en la vertiente Norte de la Cordillera Fuegoina.

La destrucción de numerosos diques de castores emplazados sobre el cauce principal del río Hambre es un indicador del carácter extraordinario de los eventos mencionados. Los sistemas de diques escalonados fueron destruidos completamente en ambas avenidas, hecho que no se verifica como consecuencia de las crecidas máximas ordinarias.

4.11. Referencias bibliográficas

- Barrera, M. D., Frangi, J. L., Richter, L. L., Perdomo, M. H., & Pinedo, L., B., 2000. Structural and functional changes in *Nothofagus pumilio* forests along an altitudinal gradient in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Vegetation Science* 11: 179-188 :Opulus Press, Uppsala. Sweden
- Brancaleoni Lisa, L ; Strelin, J.A., y Gerdol, R., 2003. Relationships between geomorphology and vegetation in subantarctic Andean tundra of Tierra del Fuego. *Polar Biol* (2003) 26: 404–410. DOI 10.1007/s00300-003-0499-7
- Collado L. (2001) Los bosques de Tierra del Fuego: Análisis de su estratificación mediante imágenes satelitales para el inventario forestal de la provincia. *Multequina* 10: 1-15.
- Coronato, A., 1995. The last Pleistocene Glaciation in tributary Valleys of the Beagle Channel, Southernmost South America. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 9,173–182.
- Frangi J.; L. Richter (1992). Los ecosistemas forestales de la Tierra del Fuego. *Vida Silvestre* (ICONA, España) 72 2° sem.: 36-43.
- Frangi, J. L. y Richter, L. L. 1994. Balances hídricos de bosques de *Nothofagus* de Tierra del Fuego, Argentina. *Rev. Fac. de Agron. La Plata*. Tomo 70, 65-79.
- Iturraspe R. J.; Sottini R.; Schroder C. & Escobar J.,1989. Generación de información hidroclimática en Tierra del Fuego. *Contrib. Cient. 7, CADIC*: 4-170. Ushuaia, Argentina.
- Iturraspe R., Gaviño M. y Urciuolo A., 1998. Caracterización hidrológica de los valles de Tierra Mayor y Carbajal, Tierra del Fuego. *Anales del XVII Congreso Nac. del Agua y II Simposio de Rec. Hídricos del Cono Sur. S. Fe. Vol I*, 147-156
- Ivanov, K.E. (1981) . *Water Movement in Mirelands*. Academic Press. Londres.
- Moore, D. M. 1983. *Flora of Tierra del Fuego*. Anthony Nelson and Missouri Botanical Garden. eds., USA. 396 p.
- Mundo, I. A., Barrera, M. D. y Roig, F. A., 2006. Testing the utility of *Nothofagus pumilio* for dating a snow avalanche in Tierra del Fuego, Argentina. *Dendrochronologia* 25 (2007) 19–28. doi:10.1016/j.dendro.2007.01.001
- Penman, H. L. ,1948 . Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London A*, Vol 193, 120-146.
- Planas, X., Aurea Ponsa, A., Coronato A., Rabassa, J., 2002. Geomorphological evidence of different glacial stages in the Martial cirque, Fuegian Andes, southernmost South America. *Quaternary International* 87 (2002) 19–27-
- Puigdefábregas, J., Del Barrio, G. & Iturraspe, R. J. 1988: Régimen térmico estacional de un ambiente montañoso en la Tierra del Fuego, con especial atención al límite superior del bosque. *Pirineos* (132) 37-48.
- Puntieri, J., Damascos, M., Souza, M., 2001. Tendencias ontogenéticas en el tamaño y la forma de hojas de *Nothofagus pumilio* (Poep. Et Ende.) Krasser (Fagaceae. *Ecología Austral* 11:105-114. As. Arg. de Ecología.
- Strelin, J. y R.J. Iturraspe, 2002. La cuenca glacionival del glaciar Martial. En: *Actas Conf. Transcontinental High Summit 2002*, Mendoza, 6-10/5/2002. Pub. en CD.

- Strelin, J. & Iturraspe, R. J., 2007 Recent evolution and mass balance of Cordón Martial glaciers, Cordillera Fueguina Oriental. *Global & Planetary Change*, doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.11.019
- Tuhkanen, S. 1992 The climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botanica Fennica*. 145: 1-64.
- Veblen, T.T. (2004). Natural hazards and forest resources in the Andes of south-central Chile. *Geojournal*. Springer, Netherlands: 141-150

5. ANÁLISIS DE DATOS

5.1. Curvas de duración de caudales

Las curvas de duración de caudales correspondientes a los ríos Buena Esperanza y Hambre (Figura 5.1. y Tabla 5.1.) fueron determinadas en base a datos horarios de las correspondientes series históricas a la altura del cierre de las cuencas respectivas. En el caso del primero el período corresponde a los años hidrológicos 2001 a 2006 en tanto que en el segundo la serie se reduce a dos años.

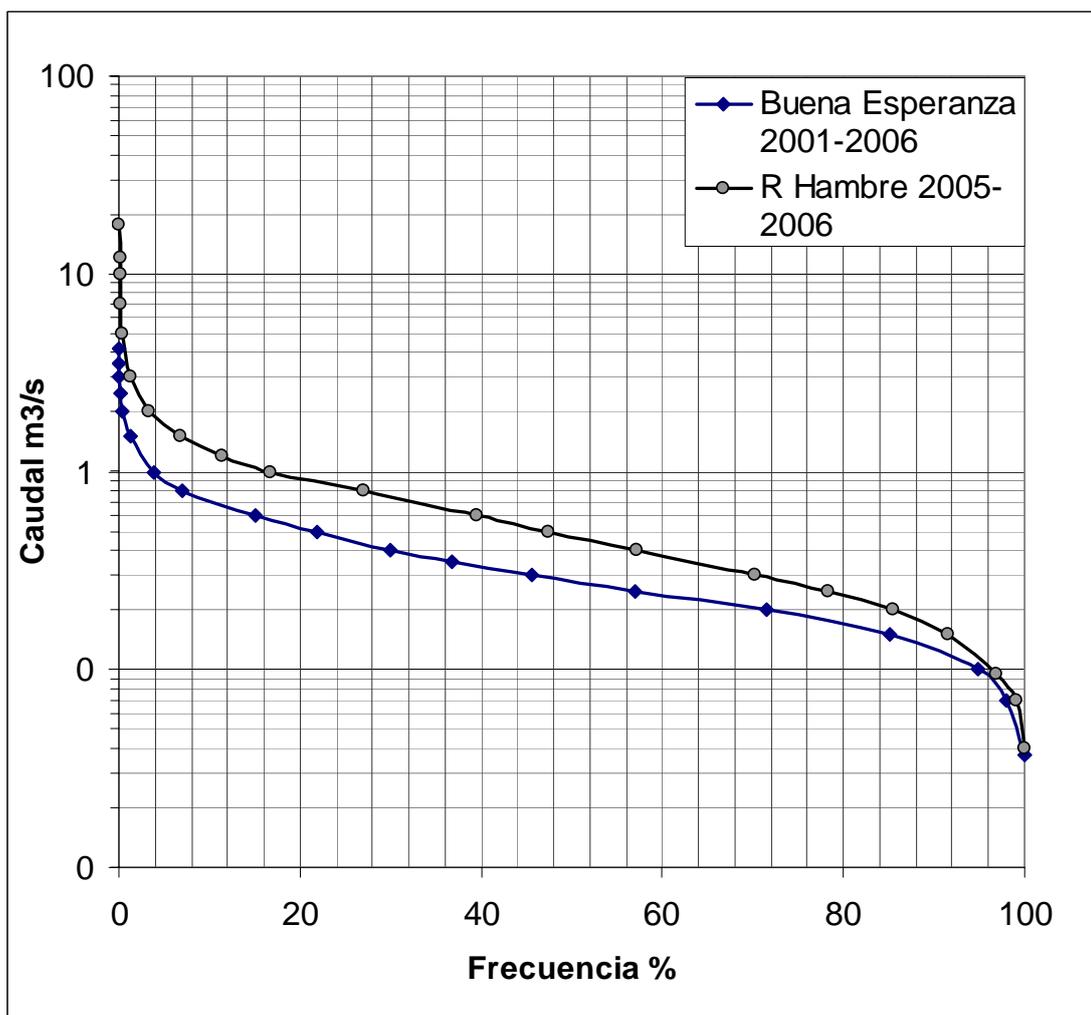


Figura 5.1. Curvas de duración de caudales de los ríos Buena Esperanza y Hambre

Duración caudales B. Esperanza		Duración caudales R. Hambre	
Caudal m3/s	% tiempo superado	Caudal m3/s	% tiempo superado
0.037	100.000	0.040	100.000
0.070	97.929	0.070	99.103
0.100	94.886	0.095	96.875
0.150	85.182	0.150	91.500
0.200	71.450	0.200	85.444
0.250	56.936	0.250	78.378
0.300	45.663	0.300	70.288
0.350	36.817	0.400	57.235
0.400	29.903	0.500	47.415
0.500	21.874	0.600	39.526
0.600	15.001	0.800	27.038
0.800	7.007	1.000	16.658
1.000	3.779	1.200	11.357
1.500	1.295	1.500	6.735
2.000	0.374	2.000	3.228
2.500	0.152	3.000	1.308
3.000	0.070	5.000	0.383
3.500	0.035	7.000	0.234
4.200	0.002	10.000	0.126
		12.000	0.097
		17.700	0.006

Tabla 5.1. Duración de caudales correspondiente a las cuencas focales

Las curvas de duración de ambas cuencas en términos de caudal específico en litros/segundo por km² constituyen un instrumento de comparación de la respuesta hidrológica. (Figura 5.2). Se aprecia que la descarga del Hambre presenta más variabilidad que la del Buena Esperanza, es decir, hay mayor ocurrencia de caudales bajos y de caudales altos. Hay que tener en cuenta que la distribución de la curva del Hambre está influenciada en su parte superior por las crecidas extraordinarias de 2006, que no fueron evidenciadas en el Buena Esperanza, en tanto que la escasa frecuencia de caudales muy bajos en este último estaría relacionada con los aportes glaciarios, que en verano, durante períodos secos y calidos tienen importancia significativa en relación al caudal base (Strelin e Iturraspe, 2005). También contribuye a la regulación del Buena Esperanza la mayor capacidad de almacenaje de agua en depósitos sedimentarios. Sin embargo, en el invierno la cuenca del Buena Esperanza muestra condiciones más desfavorables para el escurrimiento debido a la mayor altitud media de la cuenca. Conclusiones más precisas en relación a la comparación del escurrimiento en ambas cuencas serán posibles cuando se disponga de un registro más extenso en la cuenca del Hambre.

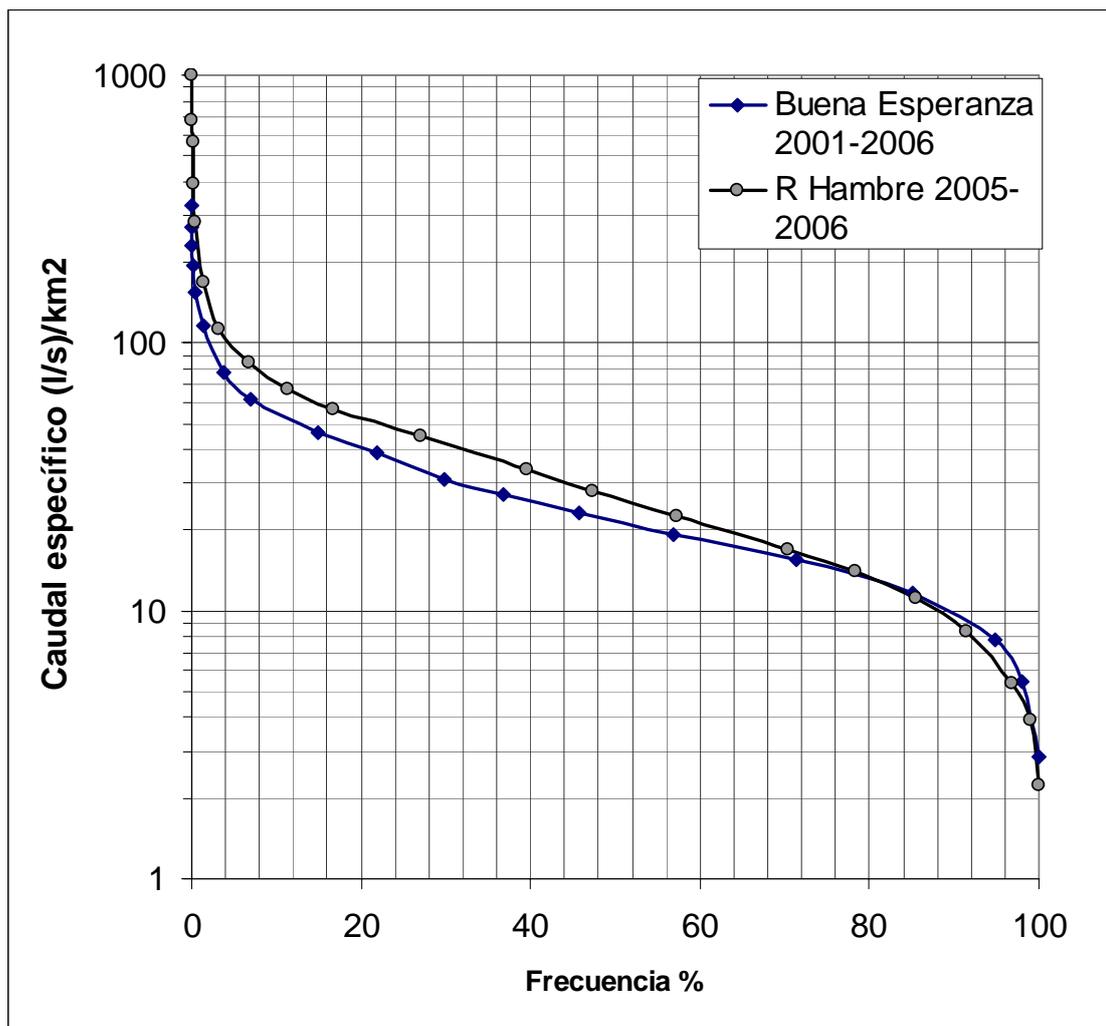


Figura 5.2. Comparación de curvas de duración de caudales específicos para ambas cuencas. La mediana es de 21 l/s/km² en el caso del B. Esperanza y de 25 l/s/km² en el del Hambre.

5.2. Curvas de frecuencia de caudales

La curva de frecuencia correspondiente al Buena Esperanza fue obtenida a partir de los caudales máximos por año hidrológico. Si bien no hay registros continuos previos al año 2000 hay observaciones de niveles máximos que permitieron determinar las situaciones máximas de los últimos 12 años. El mejor ajuste fue obtenido con la función de Weibull de 3 parámetros (Figura 5.3 y Tabla 5.3)

La serie no es suficientemente extensa para una apropiada estimación de caudales extremos, no obstante el resultado puede considerarse indicativo y es posible ratificar la excepcionalidad de la crecida de 1954, de 13 m³/s, que de acuerdo a la función de distribución supera el período de retorno de 100 años.

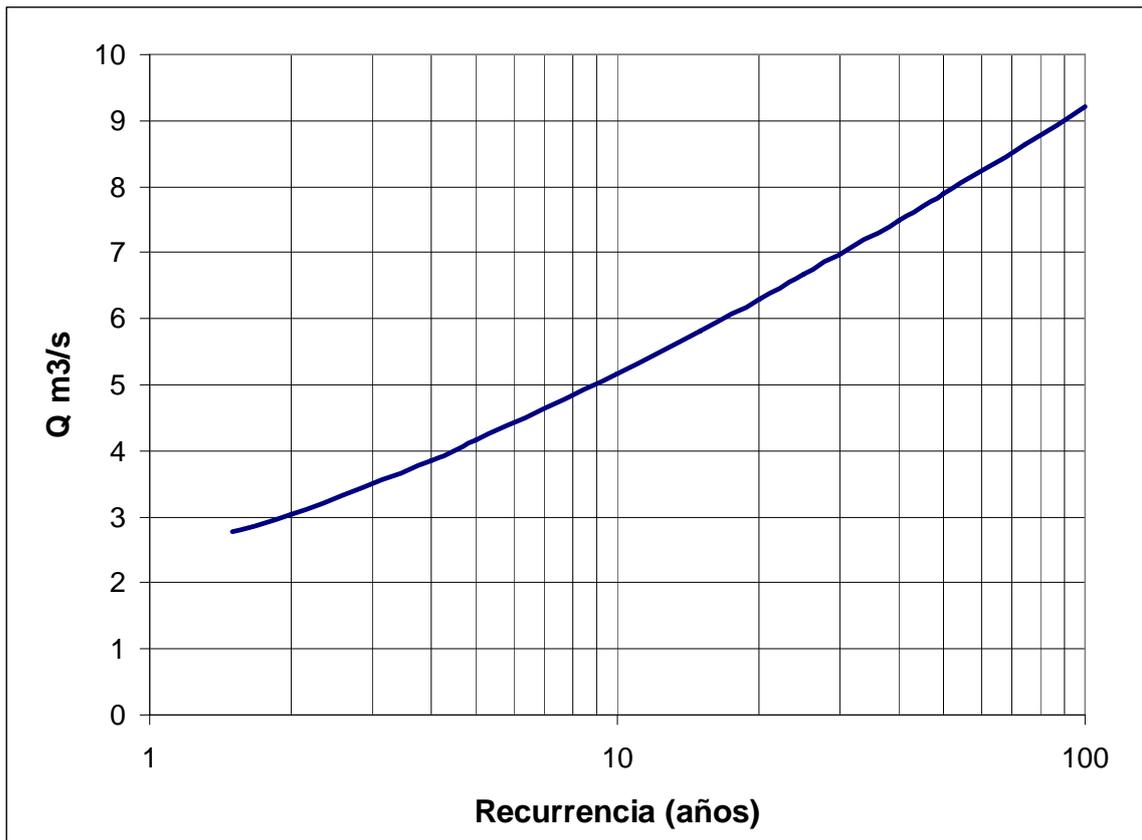


Figura 5.3. Curva de frecuencia de caudales máximos anuales, ajustada mediante la función de distribución de Weibull para valores extremos.

Recurrencia (años)	Caudal (m³/s)
1.5	2.77
2.0	3.04
4.0	3.86
5.0	4.16
10.0	5.17
15.0	5.82
20.0	6.29
25.0	6.67
40.0	7.50
50.0	7.90
75.0	8.7
100.0	9.21

Estadística descriptiva		Parámetros de Weibull
Tamaño de la muestra	12	$\alpha = 0.75272$
Media	3.4758	$\beta = 0.88251$
Varianza	0.71619	$\gamma = 2.5$
Desviación estandar	0.84628	
Asimetría	0.99915	
Curtosis	0.94091	
Min	2.5	
Max	5.4	

Tabla 5.2. Detalle de caudales para distintas recurrencias y estadísticos de la muestra.

5.3. Características de los eventos extremos e influencia del bosque en la componente nival.

Los casos analizados involucran diferentes tipos de crecidas significativas: a) las generadas exclusivamente por lluvias, b) las debidas a deshielo y c) las que son provocadas por la combinación de lluvias y fusión de la nieve.

Situaciones correspondientes a cada tipo indicado están presentes en los registros disponibles en ambas cuencas. Debido a valores moderados de radiación, temperatura y de intensidad de precipitaciones, es menos probable que los tipos a y b den lugar a eventos realmente extremos; las situaciones más severas tienen lugar ante la combinación de causas. En ambientes similares del Hemisferio Norte, como en el Sur de Alemania (Sui et al. 2001) los máximos picos de crecidas se presentan en invierno por deshielo inducido por lluvias, aún cuando en verano es mayor la probabilidad de ocurrencia de lluvias intensas.

Los eventos extremos locales responden a condiciones previas de presencia de nieve en una importante extensión de la cuenca y a características propias de la tormenta como la intensidad sostenida durante un período significativamente mayor al tiempo de concentración y la temperatura de la masa de aire asociada a la tormenta que posibilite precipitación líquida en toda la cuenca. La lluvia acelera el proceso de fusión de la nieve por transferencia de calor. La intensidad y magnitud de este proceso depende de la cantidad de precipitación y de la temperatura del aire, pero también del espesor, estructura, densidad y temperatura del manto nival. Precipitaciones previas de baja intensidad retenidas en la nieve, que alteran la estructura de la acumulación y la capacidad para asimilar agua en situaciones posteriores, facilitan el posterior proceso de fusión. Otro aspecto a tener en cuenta es el estado del suelo, ya que si éste se encuentra congelado por heladas precedentes, se materializa una superficie impermeable que favorece el rápido escurrimiento.

Resumiendo, las condiciones críticas para el desarrollo de grandes crecidas están asociadas a la concurrencia de varios factores: lluvias intensas, temperatura del aire relativamente alta y considerable disponibilidad de nieve en la cuenca, particularmente en los niveles medio e inferior, donde el deshielo es más rápido.

El rol del bosque en la componente nival de crecidas extremas, es importante ya que tiene influencia sobre la acumulación, el transporte por el viento, la estructura y la celeridad de la fusión de la nieve. Por otra parte, el congelamiento del suelo es menos frecuente en el bosque, debido a temperaturas mínimas más moderadas y a la protección térmica adicional que brinda el mantillo de hojarasca.

La acumulación en el bosque es menor que en áreas abiertas. Una causa determinante es la capacidad de intercepción de la nieve en los árboles, mucho más alta para la lluvia, aún en el bosque caducifolio, por el cerrado dosel conformado por las ramas. Una proporción significativa de una nevada puede ser retenida por los árboles si ésta se produce con poco viento (Figura 5.4). Tal intercepción no implica pérdida eficaz en su totalidad, ya que expuesta la nieve interceptada al sol, el agua de fusión cae sobre el manto nival subyacente, afecta su estructura y percola. Este proceso contribuye a la inestabilidad de la nieve acumulada bajo el bosque y por lo tanto a la reducción de su espesor y permanencia.

El transporte por el viento da lugar a un activo proceso de redistribución, aún horas después de la precipitación, y muy especialmente en las laderas, donde la nieve es transportada desde los niveles superiores a los inferiores. El límite superior del bosque materializa un obstáculo al viento provocando la deposición de la nieve en una banda de acumulación en la que el contenido de agua equivalente es varias veces mayor que en la periferia. Desde el punto de

vista de la atenuación de eventos extremos es favorable que la nieve de laderas no llegue al valle, donde el proceso de fusión es más activo.



Figura 5.4. Intercepción de la nieve en el bosque. Cuenca del río Hambre.

El dosel forestal reduce la amplitud térmica, la radiación solar incidente y la intensidad del viento, limitando la energía disponible para la fusión. La presencia de claros en el bosque da lugar a mayor acumulación, y a un proceso de fusión más activo, resultando un factor grado-día más elevado (Whitaker et al, 2002; Troendle et al, 1987; Koivusalo et al, 2006). Resultados de mediciones comparativas de temperatura en paso Garibaldi, en el bosque y en el claro se muestran en la figura 5.5

El efecto del bosque, contribuyendo a la retención de la nieve en niveles altos, y determinando menos acumulación y celeridad en el deshielo contribuye a la atenuación de los picos de crecida en la mayoría e los casos. No obstante existe la posibilidad de que los efectos sean opuestos: si el bosque da lugar a la mayor permanencia de la nieve en áreas donde la fusión es menos activa, esto modera los eventos en la mayoría de los casos, pero lluvias intensas en la primavera tardía producen crecidas con componente de fusión de la nieve que perdura debido al bosque. Estas situaciones fueron identificadas en la simulación con el modelo, sin embargo corresponden a eventos de bajo y mediano período de retorno. Estadísticamente es favorable para la mitigación de crecidas evitar la formación de un sobre-stock de nieve en áreas bajas, a lo cual el bosque contribuye, en momentos en que la cuenca está en su máximo estado de acumulación, o sea entre agosto y septiembre.

Las crecidas observadas en la cuenca del Hambre responden más frecuentemente a situaciones de lluvia sobre nieve que en el caso del Buena Esperanza debido a la menor altitud de la primera. El área sobre el percentil 50% se extiende entre las cotas 674 a 1340 en el Buena Esperanza y entre cotas 560 a 1040 en el Hambre.

El Buena Esperanza, aunque presenta mayor pendiente, menor porcentaje de vegetación y mayor impacto antrópico, muestra menor frecuencia de crecidas extraordinarias. Esto se debe a dos factores: a) La menor probabilidad de ocurrencia de precipitaciones líquidas en la alta cuenca por la mayor altitud y b) la mayor capacidad de regulación dada por los depósitos glaciarios y los conos de detritos rocosos. Adicionalmente se verifica mayor intensidad de precipitaciones sobre la cuenca del Hambre por la baja altitud de la cordillera que permite el pasaje de las tormentas procedentes del Norte, que han demostrado mayor intensidad y frecuencia en los últimos años.

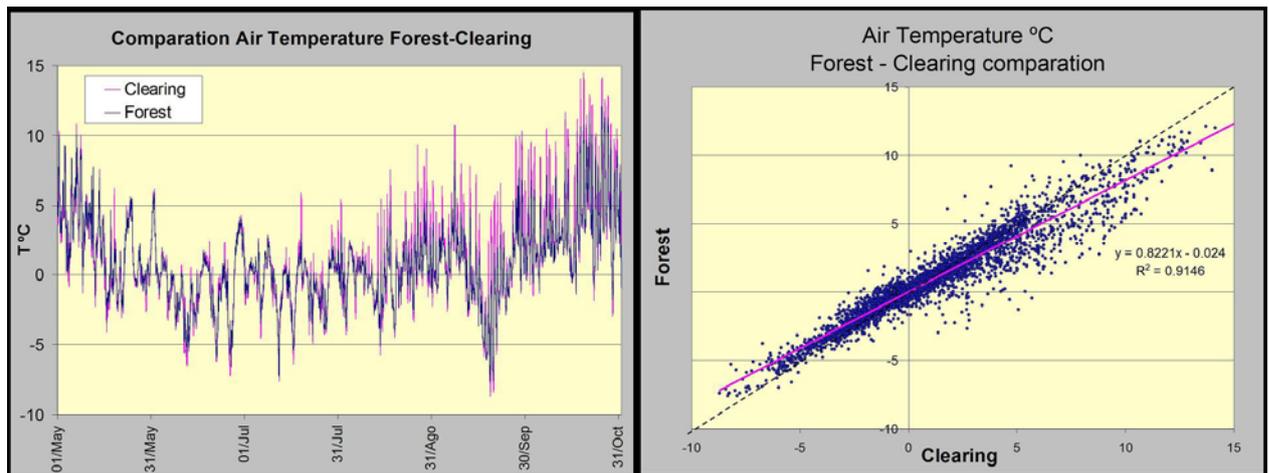


Figura 5.5. Régimen térmico en paso Garibaldi (400 m) en el el bosque y en el claro. Se advierte menor amplitud en el bosque y valores significativamente más bajos de máximas diarias en final de invierno y primavera.

5.4. Fusión de la nieve.

Resultados preliminares relativos al monitoreo de las variaciones del contenido de agua equivalente en nieve acumulada sobre el glaciar Martial han permitido estimar el coeficiente grado-día en 5.7 mm agua equivalente x grado-día⁻¹ (Iturraspe et al, 2004), definido por la pendiente de la recta de regresión (Figura 5.6). Este valor corresponde a la media correspondiente a primavera y verano. Bajo el dosel forestal este valor se reduce.

La estimación del factor grado-día es importante para la simulación de la fusión ya que el modelo grado-día es una herramienta de sencilla aplicación, el que aunque a que está sujeto a variabilidad espacial y temporal (Hock, 2003), tiene amplia utilización, y presenta mayor eficiencia en cuencas como las de estudio, de bajos valores de radiación y elevada humedad relativa.

La simulación realizada por la Universidad de Newcastle para el Buena Esperanza indica, de acuerdo al Documento D16 que el bosque reduciría en aproximadamente 10% el caudal pico en el caso del evento extremo de 1954. Este efecto sería más significativo en cuencas con mayor proporción de cobertura de bosque, como la del río Hambre.

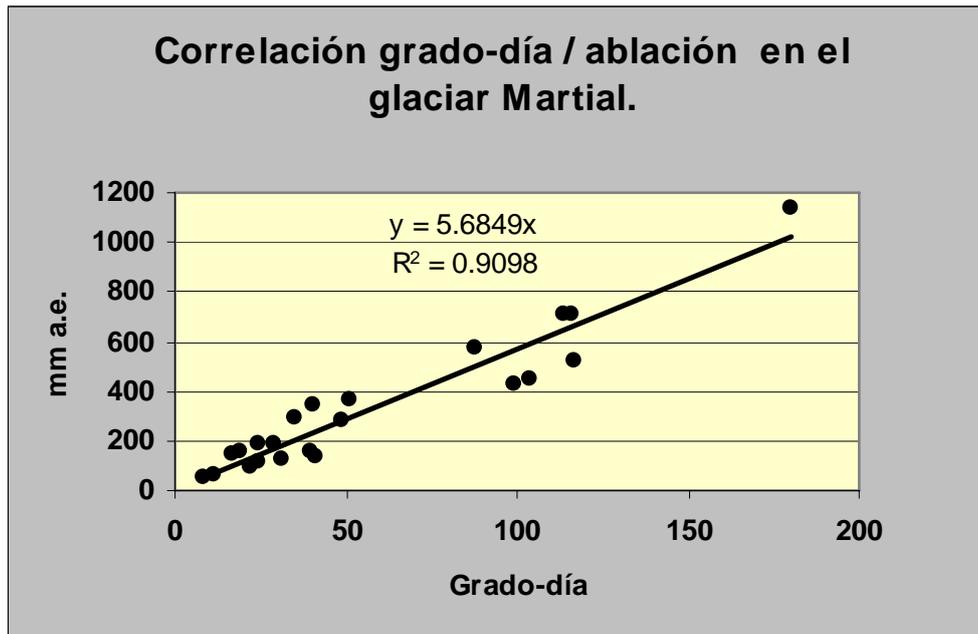


Figura 5.6. Ajuste del factor grado día (Iturraspe et al, 2004) correspondiente a nieve y hielo en el glaciar Martial, entre 1000 y 1200 m a.s.l.

5.5. Transporte de sedimentos

El transporte de sedimentos está estrictamente vinculado a los eventos de crecidas. En aguas medias y bajas, o sea para caudales menores o iguales al módulo anual las aguas son muy claras y el transporte es de 0.86 ton/día.

La cuenca del Arroyo Buena Esperanza transporta mayor caudal sólido que la del Hambre. La disponibilidad de depósitos glaciares en gran parte del valle fluvial y la mayor pendiente del cauce principal y la inferior cobertura forestal son razones que explican la diferencia. Adicionalmente, el control de la erosión en la cuenca del Hambre se ve favorecido por la presencia de turberas, tanto en el valle principal como en sectores del faldeo oriental, y por el mayor desarrollo de pastizales y musgos sobre el límite del bosque.

El mayor aporte de sedimento se verifica en la cabecera del Martial. Se advierte la existencia de activos procesos de carácter criogénico que desestabilizan las laderas y dan lugar a transporte de material hacia el valle. Por su parte el valle principal es rico en material susceptible de ser transportado. Presenta pendiente relativamente suave entre cotas 600 y 520 pero hacia abajo adquiere un mayor gradiente al sortear los depósitos de la antigua morena frontal, adquiriendo allí el río mayor energía para movilizar durante las crecidas ordinarias el material de gran diámetro que conforma el lecho y las márgenes. Este tramo coincide en parte con la traza de la aerosilla. La sección de control Martial es probablemente el sector donde es más activo el transporte de fondo. Se observan bancos de grava gruesa, fina y arena y cambios de sección a lo largo de todo el cauce.

Si bien no hay disponible un monitoreo sistemático del transporte en suspensión, se han realizado muestreos para diferentes niveles utilizando un extractor universal, realizándose las determinaciones correspondientes mediante el filtrado con bomba de vacío a través de una membrana y posterior secado a 105 °C y pesado con balanza de precisión.

Se pudo determinar la curva característica de sedimento en suspensión en función del caudal para cada una de las secciones de control en el Buena Esperanza, las que responden a la expresión general:

$$Q_s = a \cdot Q^b$$

Q_s: carga de material en suspensión en Ton/día

Q: Caudal en la sección de control en m³/s

Los parámetros a y b obtenidos se detallan en la tabla 5.3

	B Esperanza	Martial	Godoy
A	114.97	432.6	437.75
B	2.1067	2.174	2.86

Tabla 5.3. Parámetros ajustados para la determinación de las curvas características en las secciones de control de la cuenca del Buena Esperanza.

Estas expresiones permitieron determinar los aportes de sedimentos correspondientes a la serie de caudales 2000-2007 del Buena Esperanza y determinar para ese período la carga anual media, que es 685.5 ton/año, o sea una tasa de 53.14 ton año⁻¹ km⁻² (Tabla 5.4)

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	AÑO	Ton/ km ²
2000						2.634	18.69	137.9	144.4	84.27	33.19	15.6		
2001	16.63	9.426	4.31	1.116	11.18	9.383	46.64	46.99	65.5	40.9	17.75	7.07	276.9	21.47
2002	45.23	6.614	6.842	4.664	6.951	25.99	24.79	43.02	323.3	151.2	9.245	18.83	666.6	51.68
2003	15.93	15.35	3.837	3.914	15.14	5.395	20.79	174.3	261.1	99.38	60.39	16.25	691.7	53.62
2004	12.46	8.12	6.531	3.514	7.705	16.83	49.81	150.6	227.5	135	17.24	80.25	715.5	55.46
2005	29.06	15.78	1.544	3.163	3.649	20.09	20.91	284.8	267.5	192.1	79.63	17.19	935.5	72.52
2006	88.34	32.29	13.44	3.516	9.486	11.6	153	195.6	120.8	100.7	53.83	44.42	826.9	64.10
PROM	34.61	14.6	6.085	3.315	9.018	14.88	52.65	149.2	210.9	119.9	39.68	30.67	685.5	53.14

Tabla 5.4. Sedimento en suspensión transportado por el Arroyo Buena Esperanza.

La evaluación del transporte en suspensión en cada una de las secciones de control durante dos ciclos hidrológicos permitió cuantificar la contribución de sedimentos en suspensión aportados por las distintas subcuencas.

Las figuras 5.7 y 5.8 comparan los aportes del B. Esperanza y Martial como carga diaria y mensual respectivamente. La principal fuente de aporte de sedimentos es la subcuenca del Martial, que aporta el 66% de la carga total en suspensión observada en la sección del Buena Esperanza y que presenta una tasa por km² que casi duplica la del BE (Tabla 5.5) Esta proporción es mayor si se considera también el arrastre de fondo, dada la mayor pendiente que otorga al arroyo Martial mayor torrencialidad.

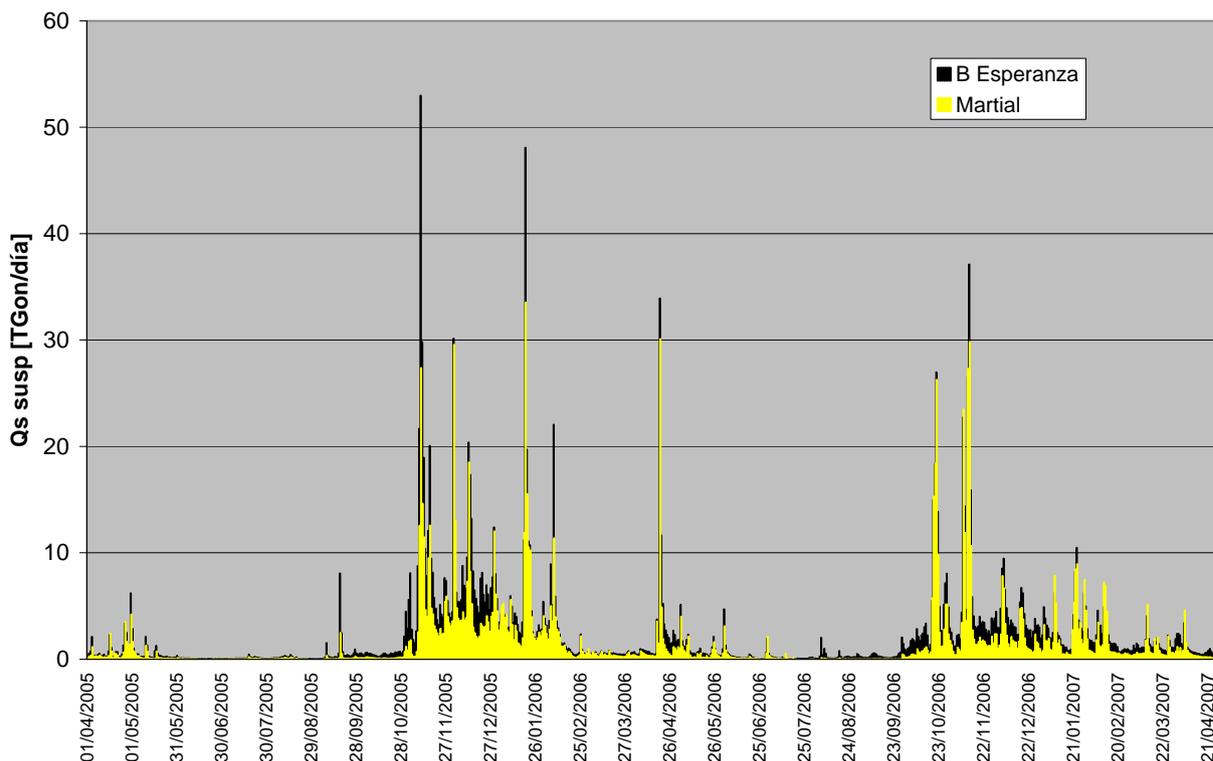


Figura 5.7. Caudal sólido en suspensión en las secciones Buena Esperanza (120m) y Martial (365m)

Buena Esperanza	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	AÑO	Ton/km2
2005	29.06	15.78	1.544	3.163	3.649	20.09	20.91	284.8	267.5	192.1	79.63	17.19	935.5	72.52
2006	88.34	32.29	13.44	3.516	9.486	11.6	153	195.6	120.8	100.7	53.83	44.42	826.9	64.10
	58.7	24.04	7.494	3.34	6.567	15.85	86.93	240.2	194.1	146.4	66.73	30.81	881.2	68.31

Martial

2005	22.57	8.238	0.487	1.17	1.436	5.07	5.284	154.2	178.8	157	53.09	13.25	600.6	125.66
2006	55.4	21.38	9.379	2.037	0.615	1.324	109.2	144.1	65.39	82.69	39.43	29.24	560.2	117.19
	38.98	14.81	4.933	1.604	1.026	3.197	57.23	149.1	122.1	119.9	46.26	21.25	580.4	121.42
													% 65.86	

Godoy

2005	0.390	0.090	0.000	0.000	0.000	0.100	0.070	5.890	3.610	2.180	1.140	0.000	13.47	8.8039
2006	1.540	0.590	0.050	0.010	0.010	0.000	0.930	7.950	1.090	0.700	0.400	0.520	13.79	9.0131
	0.965	0.34	0.025	0.005	0.005	0.05	0.5	6.92	2.35	1.44	0.77	0.26	13.63	8.9085
													% 1.55	

Tabla 5.5. Aportes de sedimento en suspensión en las distintas secciones de control de la cuenca del Buena Esperanza.

La contribución del A. Godoy es muy baja, sucediendo lo propio con el arrastre de fondo. La presencia de musgos sobre las rocas del cauce, aún en tramos de gran pendiente indica un muy escaso poder abrasivo del transporte de sedimentos, aunque la pendiente del cauce es significativa.

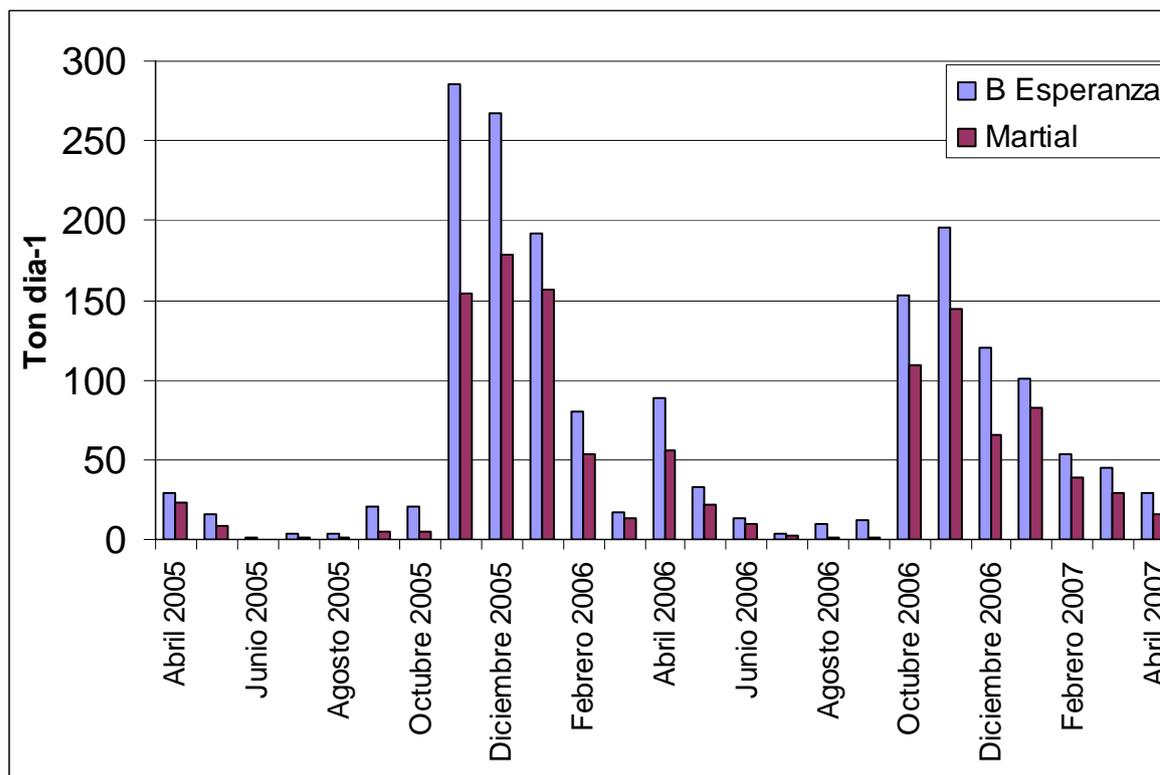


Figura 5.8. Caudal sólido en suspensión en la cuenca del Buena Esperanza en los años hidrológicos 2005 y 2006.

5.6. Incidencia de deslizamientos y avalanchas.

De la información disponible no surgen evidencias de que los deslizamientos determinen aportes extraordinarios de material sólido al escurrimiento, tal como ocurre en otras áreas focales. Si bien diversos eventos han sido identificados, la mayoría de éstos no han alcanzado el cauce principal, tanto en la cuenca del Buena Esperanza como en la del Hambre; no obstante hay potencialidad para que se verifique esta ocurrencia. El carácter localizado de los deslizamientos, el escaso desarrollo de los estratos inestables y la presencia de umbrales morénicos en el caso de la cuenca media-inferior del Buena Esperanza son factores que favorecen el control de la magnitud de estos procesos y de sus consecuencias. Existen situaciones localizadas en ambas cuencas donde el cauce se desarrolla encajonado entre laderas inclinadas en las que se producen deslizamientos de magnitud variables. El arrastre de árboles en estos procesos es una consecuencia adicional a tener en cuenta. En ciertas oportunidades el factor destabilizante suele ser el viento que produce la caída de árboles en forma masiva. Estos procesos tienen rara ocurrencia en las cuencas focales, pero hay mayor número de evidencias en las cuencas del río Lasifashaj y Almanza.

La severidad de los deslizamientos en estas cuencas y el rol de los mismos en el transporte sólido es variable dadas las diferencias geomorfológicas y ambientales que se verifican a nivel de Tierra del Fuego y más aún en la región andino-patagónica. En el extremo oriental de Tierra del Fuego y en Isla de los Estados se advierten deslizamientos más frecuentes y significativos, vinculados a bosques de *Nothofagus betuloides* en suelos turbosos y pendiente pronunciada (Gallard et al, 1994).

Ampliando el ámbito de observación, Hermanns et al (2004) describieron un histórico deslizamiento producido en 1914 que dio lugar a una crecida catastrófica del río Colorado, en Patagonia Norte.

A pesar de las características benignas de los inviernos de las últimas décadas, las avalanchas de nieve constituyen eventos importantes por su potencialidad destructiva y por la capacidad para transportar detritos leñosos hasta el valle principal.

Los castores (*Castor canadensis*) han modificado sustancialmente la ecología de los fondos de valle de los ríos de Tierra del Fuego (Lizarralde et al, 2004). Desde el punto de vista del transporte de sedimentos, los diques regulan la pendiente hidráulica y permiten la retención de sedimentos en el tramo de influencia, no obstante, a largo plazo, la rotura producida por abandono o gran crecida da lugar a la removilización del material depositado.

5.7. Análisis de la información climática de estaciones cercanas de registro extenso y su correspondencia con las cuencas piloto.

Las estaciones de Ushuaia (Aeropuerto y CADIC), próximas entre sí y representativas de las condiciones de la cuenca inferior del Buena Esperanza, han permitido disponer de registros de extensa duración que permiten inferir las condiciones en la cuenca de estudio. Sin embargo la orografía determina una variabilidad espacial muy significativa, tanto en materia de temperatura como de precipitaciones, estas últimas no sólo en su intensidad sino también en su forma de manifestación.

Las observaciones del Aeropuerto utilizadas para elaborar la serie de evapotranspiración potencial fueron corregidas de modo de representar las condiciones más típicas en las cuencas.

Los datos diarios históricos de heliofanía relativa se ajustaron considerando la mayor influencia en la cuenca de la sombra proyectada por los montes Martial, aplicando una función sinusoidal para tener en cuenta el cambio estacional de la altura orbital del sol.

La expresión aplicada es :

$$He = He_{Aerop} \cdot F(m)$$

$$F(m) = (0.7 - 0.1 \cos(\pi(1 - m/6)))$$

Donde:

He es la heliofanía efectiva corregida

He_{Aerop}: Heliofanía efectiva registrada en el Aeropuerto Ushuaia

F(T) factor de corrección por influencia orográfica variable entre 0.6 y 0.8.

m: Número de mes del año

La humedad relativa no muestra variaciones significativas en el ámbito de la cuenca, por lo que las observaciones en Ushuaia pueden ser aplicables directamente a la cuenca

5.7.1. Análisis de precipitaciones máximas diarias.

La serie de datos de precipitación diaria disponible comprende el período 1958-2006.

Debido a la habilitación de un nuevo aeropuerto en 1997, la estación cambió su ubicación original a un nuevo emplazamiento en condiciones más oceánicas y de mayor exposición al viento. La estación del CADIC está localizada en proximidades del original emplazamiento del aeropuerto, y las observaciones de precipitación se consideran más confiables por la alta exposición al viento del nuevo Aeropuerto; por tal motivo se ha trabajado con los datos del

SMN-Aeropuerto Ushuaia hasta la puesta en funcionamiento de la estación CADIC, utilizando posteriormente los registros de esta última estación.

Los máximos anuales se muestran ordenados en forma decreciente en la Tabla 5.6 en la que se detallan los cálculos para determinar el ajuste estadístico a la distribución de Gumbel para valores extremos, ampliamente utilizada para estos fines.

Sin embargo, la recurrencia de las precipitaciones difiere significativamente con la de las crecidas que éstas producen debido principalmente al efecto de la temperatura que tiene lugar durante el desarrollo de la tormenta.

La estación de referencia se encuentra a sólo 20 m s.n.m. y por lo tanto buena parte de las precipitaciones líquidas registradas en Ushuaia se manifiestan en forma de nieve en la cuenca intermedia y superior.

Bajo estas consideraciones, un segundo análisis fue realizado seleccionando sólo los máximos anuales que se manifestaron con temperaturas medias mayores o iguales a 6 °C (Tabla 5.7). En tales condiciones las precipitaciones se manifiestan en forma líquida en la mayor parte de la cuenca del Buena Esperanza y para el caso del Hambre en su totalidad.

En consecuencia los estadísticos de la muestra disminuyen y aumenta la recurrencia para un mismo valor de precipitación (Figura 5.9)

En función de lo expuesto, al evaluar la recurrencia de la lluvia correspondiente al evento de 1954, éste resulta de 17.4 años en la serie sin restricción por temperatura y de 70.8 años con la serie de lluvias con 6°C o más en Ushuaia.

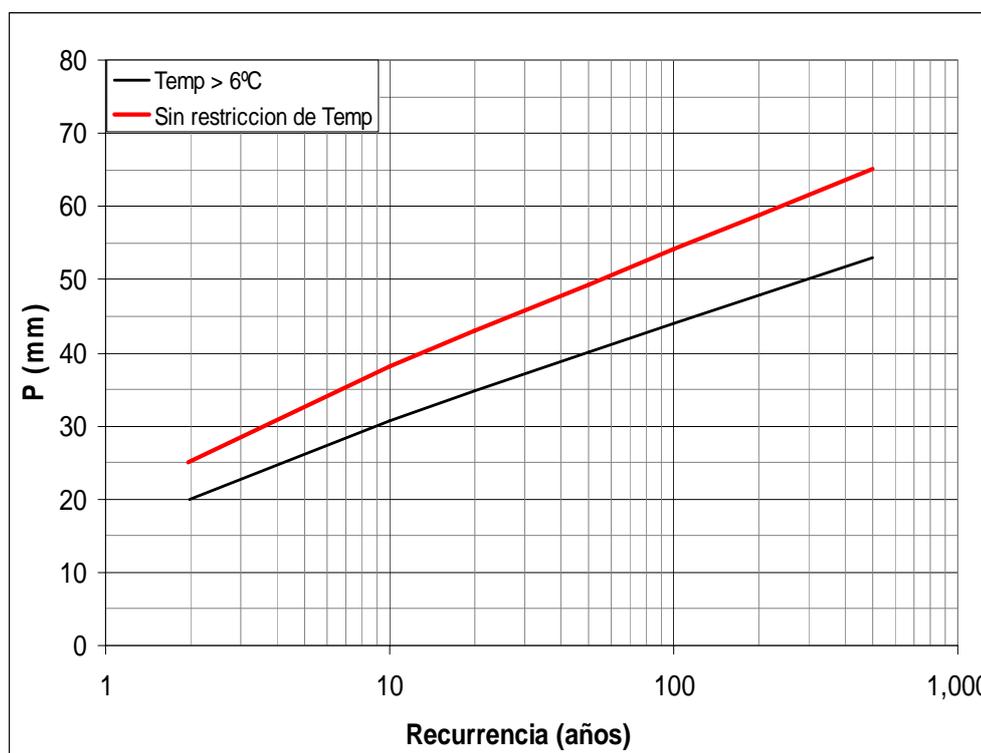


Figura 5.9. Análisis de valores extremos de la precipitación máxima diaria en Ushuaia según la distribución de Gumbel. La curva superior corresponde a precipitaciones en general en tanto que la inferior a precipitaciones líquidas en la mayor parte de la cuenca (con temperatura media diaria en Ushuaia ≥ 6 °C)

i	Max P mm	Frec.EMP. i / (n+1)	1-EMP Frec	(x-b)/a	p(X<=x)	R Años
1	52.2	0.021	0.979	-4.318	0.987	75.57
2	42.5	0.042	0.958	-2.898	0.946	18.65
3	41.6	0.063	0.938	-2.766	0.939	16.41
4	41.1	0.083	0.917	-2.693	0.935	15.28
5	40.1	0.104	0.896	-2.547	0.925	13.27
6	39	0.125	0.875	-2.386	0.912	11.37
7	37.9	0.146	0.854	-2.225	0.898	9.76
8	36.5	0.167	0.833	-2.020	0.876	8.05
9	36.2	0.188	0.813	-1.976	0.871	7.72
10	35	0.208	0.792	-1.800	0.848	6.56
11	34.6	0.229	0.771	-1.741	0.839	6.22
12	33.7	0.250	0.750	-1.610	0.819	5.52
13	29.9	0.271	0.729	-1.053	0.706	3.40
14	29.4	0.292	0.708	-0.980	0.687	3.20
15	28.9	0.313	0.688	-0.907	0.668	3.01
16	28.6	0.333	0.667	-0.863	0.656	2.91
17	28.4	0.354	0.646	-0.834	0.648	2.84
18	28	0.375	0.625	-0.775	0.631	2.71
19	27.3	0.396	0.604	-0.673	0.600	2.50
20	26.2	0.417	0.583	-0.512	0.549	2.22
21	25.8	0.438	0.563	-0.453	0.530	2.13
22	25.5	0.458	0.542	-0.409	0.515	2.06
23	25.2	0.479	0.521	-0.365	0.500	2.00
24	25	0.500	0.500	-0.336	0.489	1.96
25	23.7	0.521	0.479	-0.146	0.421	1.73
26	23.6	0.542	0.458	-0.131	0.416	1.71
27	23.6	0.563	0.438	-0.131	0.416	1.71
28	23.5	0.583	0.417	-0.116	0.411	1.70
29	23.1	0.604	0.396	-0.058	0.389	1.64
30	23.1	0.625	0.375	-0.058	0.389	1.64
31	23	0.646	0.354	-0.043	0.384	1.62
32	22.8	0.667	0.333	-0.014	0.373	1.59
33	20.1	0.688	0.313	0.382	0.231	1.30
34	20	0.708	0.292	0.396	0.226	1.29
35	20	0.729	0.271	0.396	0.226	1.29
36	19.5	0.750	0.250	0.469	0.202	1.25
37	19.5	0.771	0.229	0.469	0.202	1.25
38	19.4	0.792	0.208	0.484	0.197	1.25
39	19	0.813	0.188	0.543	0.179	1.22
40	18	0.833	0.167	0.689	0.136	1.16
41	17.6	0.854	0.146	0.748	0.121	1.14
42	17.1	0.875	0.125	0.821	0.103	1.11
43	17	0.896	0.104	0.835	0.100	1.11
44	17	0.917	0.083	0.835	0.100	1.11
45	14.8	0.938	0.063	1.158	0.041	1.04
46	14.7	0.958	0.042	1.172	0.040	1.04
47	13.7	0.979	0.021	1.319	0.024	1.02

Media=	26.647
S=	8.756
a=	6.830
b=	22.706
Gumbel:	
$P(X \leq x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-b}{a}\right)\right]$	

	P mm	Años de recurrencia (Gumbel)
	25.0	2.0
	38.1	10.0
	43.0	20.0
	49.4	50.0
	54.1	100.0
	58.9	200.0
	65.2	500.0
Evento 1954	42	17.4

Tabla 5.6. Análisis de valores extremos de la precipitación máxima diaria en Ushuaia aplicando la distribución de Gumbel.

i	Max P mm	Frec. Emp. i / (n+1)	1-Emp Frec	(x-b)/a	p(X<=x)	R Años
1	41.6	0.0208	0.9792	4.1816	0.9848	65.97
2	41.1	0.0417	0.9583	4.0929	0.9834	60.41
3	36.5	0.0625	0.9375	3.2769	0.9630	27.00
4	33.7	0.0833	0.9167	2.7803	0.9399	16.63
5	33.1	0.1042	0.8958	2.6739	0.9333	15.00
6	28.9	0.1250	0.8750	1.9289	0.8648	7.39
7	28.4	0.1458	0.8542	1.8402	0.8532	6.81
8	28.0	0.1667	0.8333	1.7692	0.8433	6.38
9	26.2	0.1875	0.8125	1.4499	0.7909	4.78
10	25.5	0.2083	0.7917	1.3258	0.7667	4.29
11	25.2	0.2292	0.7708	1.2726	0.7557	4.09
12	25.0	0.2500	0.7500	1.2371	0.7481	3.97
13	24.0	0.2708	0.7292	1.0597	0.7071	3.41
14	23.7	0.2917	0.7083	1.0065	0.6938	3.27
15	23.6	0.3125	0.6875	0.9887	0.6893	3.22
16	23.1	0.3333	0.6667	0.9001	0.6659	2.99
17	22.3	0.3542	0.6458	0.7582	0.6259	2.67
18	22.1	0.3750	0.6250	0.7227	0.6154	2.60
19	21.0	0.3958	0.6042	0.5276	0.5543	2.24
20	20.7	0.4167	0.5833	0.4743	0.5367	2.16
21	20.5	0.4375	0.5625	0.4389	0.5248	2.10
22	20.1	0.4583	0.5417	0.3679	0.5005	2.00
23	20.0	0.4792	0.5208	0.3502	0.4943	1.98
24	19.7	0.5000	0.5000	0.2970	0.4757	1.91
25	19.5	0.5208	0.4792	0.2615	0.4631	1.86
26	19.4	0.5417	0.4583	0.2438	0.4567	1.84
27	18.3	0.5625	0.4375	0.0486	0.3858	1.63
28	18.2	0.5833	0.4167	0.0309	0.3792	1.61
29	18.0	0.6042	0.3958	-0.0046	0.3662	1.58
30	17.6	0.6250	0.3750	-0.0755	0.3401	1.52
31	17.2	0.6458	0.3542	-0.1465	0.3142	1.46
32	17.1	0.6667	0.3333	-0.1642	0.3077	1.44
33	17.0	0.6875	0.3125	-0.1820	0.3013	1.43
34	17.0	0.7083	0.2917	-0.1820	0.3013	1.43
35	16.9	0.7292	0.2708	-0.1997	0.2949	1.42
36	16.8	0.7500	0.2500	-0.2174	0.2886	1.41
37	16.3	0.7708	0.2292	-0.3061	0.2571	1.35
38	16.0	0.7917	0.2083	-0.3593	0.2387	1.31
39	15.6	0.8125	0.1875	-0.4303	0.2149	1.27
40	15.5	0.8333	0.1667	-0.4480	0.2090	1.26
41	15.3	0.8542	0.1458	-0.4835	0.1976	1.25
42	15.1	0.8750	0.1250	-0.5190	0.1863	1.23
43	14.0	0.8958	0.1042	-0.7141	0.1297	1.15
44	13.7	0.9167	0.0833	-0.7673	0.1160	1.13
45	12.8	0.9375	0.0625	-0.9270	0.0799	1.09
46	9.5	0.9583	0.0417	-1.5123	0.0107	1.01
47	9.3	0.9792	0.0208	-1.5478	0.0091	1.01

Media= 21.279
 S= 7.228
 a= 5.638
 b= 18.026

Gumbel:

$$P(X \leq x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-b}{a}\right)\right]$$

P mm	Años de recurrencia (Gumbel)
20	2
30.7	10
34.8	20
40.1	50
44.0	100
47.9	200
53.1	500
Evento 1954	42
	70.8

Tabla 5.7. Análisis de valores extremos de la precipitación máxima diaria en Ushuaia con temperatura a nivel del mar $\geq 6^\circ\text{C}$. Se aplicó la distribución de Gumbel.

5.7.2. Análisis de la variabilidad espacial de las precipitaciones

Cuenca Buena Esperanza

Mediciones realizadas con pluviómetros totalizadores en cotas 220m y 550m durante el período 12/12/2005 a 31/7/2007 permitieron evaluar diferencias en la cuenca y adoptar criterios para extrapolar los datos correspondiente a la estación Ushuaia, de registro extenso.

Los resultados indican que la precipitación varía significativamente con la altitud, pero no en forma lineal. El principal incremento es observado entre la zona costera y los registros en cota 220 m. En el período observado resultan relaciones 1.81 y 1.96 entre las cotas 550m y 220m respectivamente, con la precipitación observada en Ushuaia a nivel del mar. La figura 5.10 muestra en forma comparativa los totales de precipitación en forma acumulada desde el comienzo de las observaciones en diciembre de 2005. La figura 5.11 muestra las curvas de doble masa acumulada entre cada estación con la de Ushuaia.

Al nivel de 980m, en la estación Martial hay mayor turbulencia producida por el viento durante las tormentas y mayor proporción de precipitación sólida, cuya medición implica mayor dificultad. Crece en consecuencia la variabilidad espacial de la distribución de las lluvias por efecto de la morfología del paisaje así como la magnitud del error en las mediciones, resultando una tendencia a subestimar los totales. Sobre los glaciares de circo y nichos de nivación, con condiciones aerodinámicas favorables para la deposición y de la nieve, la precipitación anual alcanza los valores más altos en la cuenca, del orden de 1500 mm anuales.

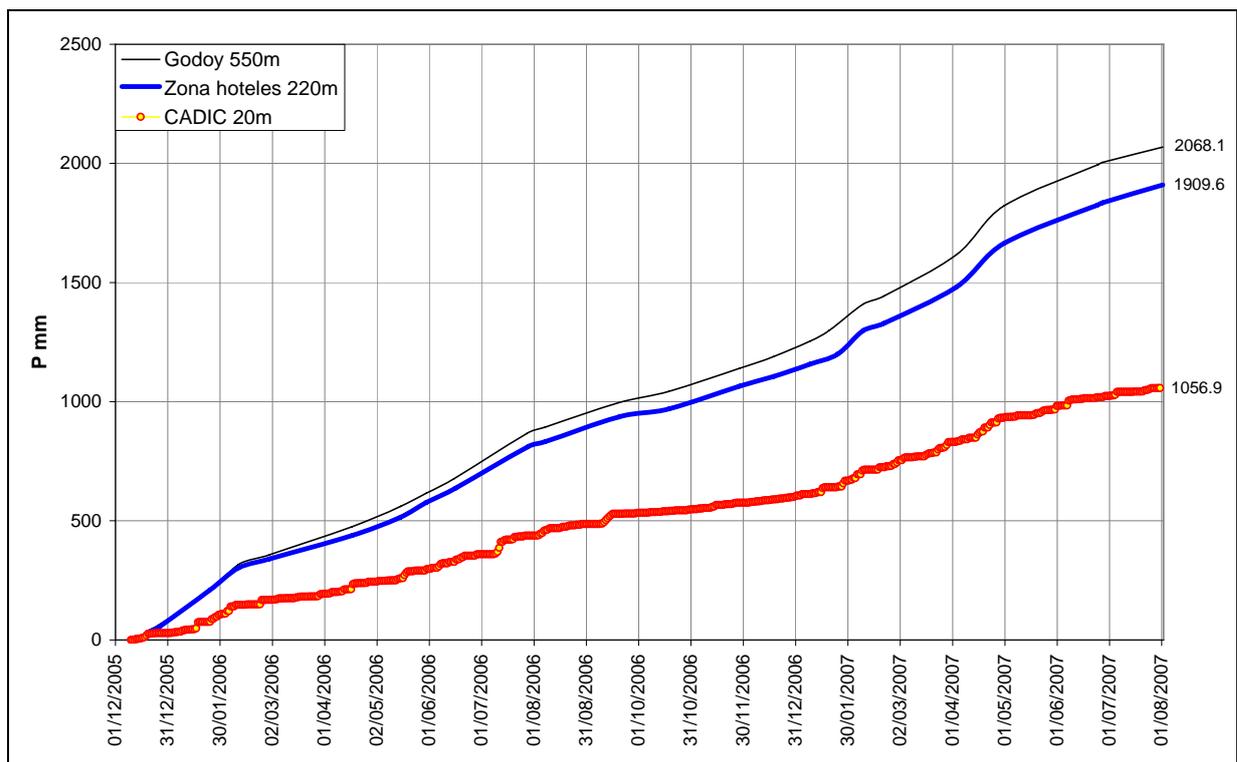


Figura 5.10. Valores acumulativos de precipitación en Ushuaia (CADIC) y totalizadores en la cuenca del Buena Esperanza correspondientes al período 10/12/2005 a 31/7/2007.

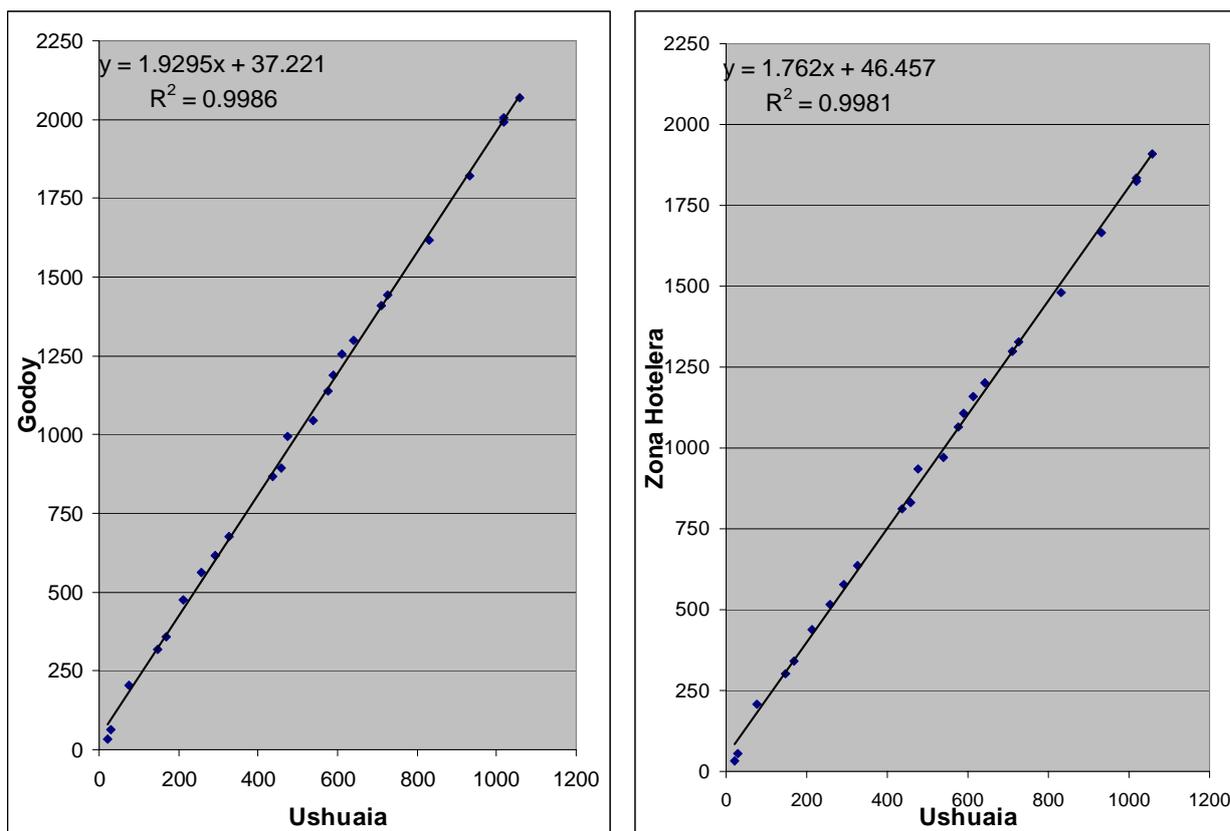


Figura 5.11. Curvas de doble masa acumuladas de precipitación en Ushuaia (Cadic) y totalizadores en la cuenca del Buena Esperanza.

Cuenca del río Hambre.

En la cuenca del Hambre la variabilidad espacial de la pluviosidad es menos pronunciada, debido a que no se manifiesta el contraste entre el litoral marino y la cordillera. La zona próxima a Paso Garibaldi es un lugar muy húmedo ya que la baja altitud del paso (400 m s.n.m.) permite el pasaje de las masas de aire húmedo en ambos sentidos dando lugar a una condición especial, resultando una precipitación media anual de 1200 mm. La estación de Paso Garibaldi, en cota 400 es la que registra valores de precipitación más elevados, comparables a los correspondientes a las altas cumbres de la cabecera. La figura 5.12 muestra la evolución de las precipitaciones acumuladas en la cuenca. Las intensidades disminuyen hacia aguas abajo pero también en la cota 650m, en la sección transversal correspondiente a la estación de paso Garibaldi. Finalmente, la figura 5.13 muestra la correlación entre valores horarios observados en Paso Garibaldi con los homólogos correspondientes al pluviómetro de Rancho Hambre, en el valle del río Lasifashaj en cota 130.

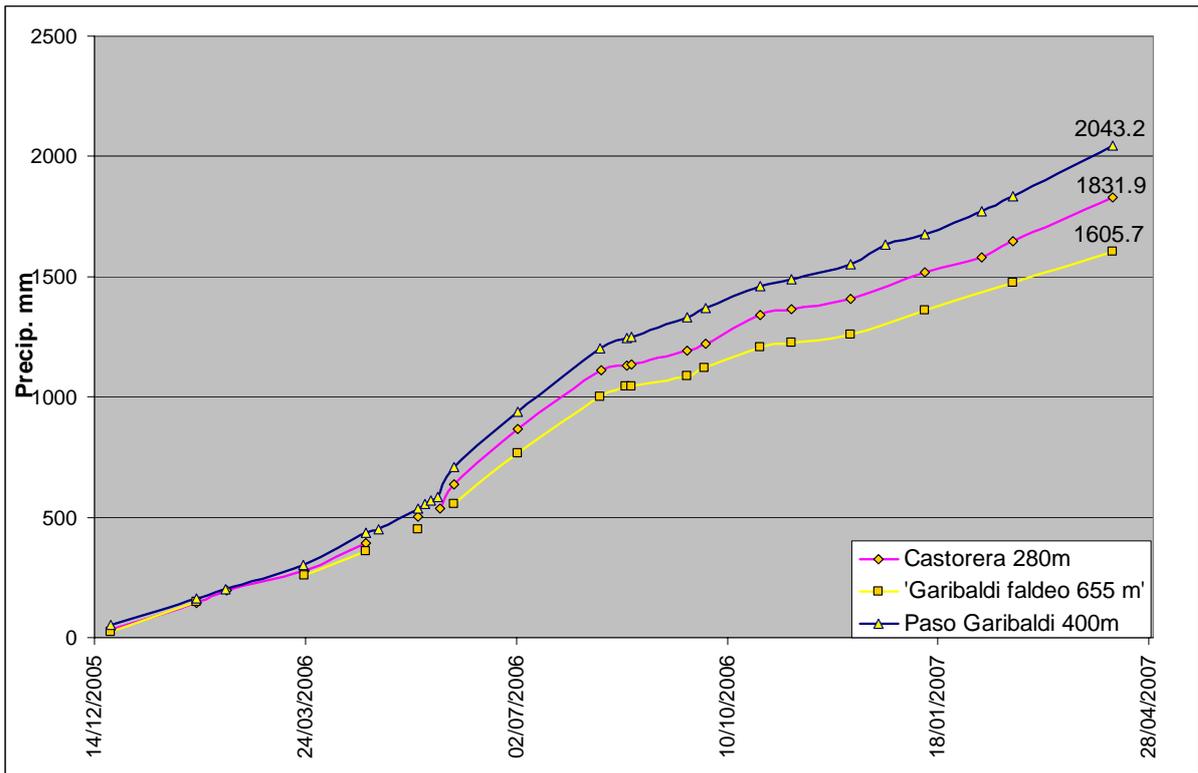


Figura 5.12. Curva de precipitaciones acumuladas correspondientes a pluviómetros en diferentes locaciones de la cuenca del río Hambre.

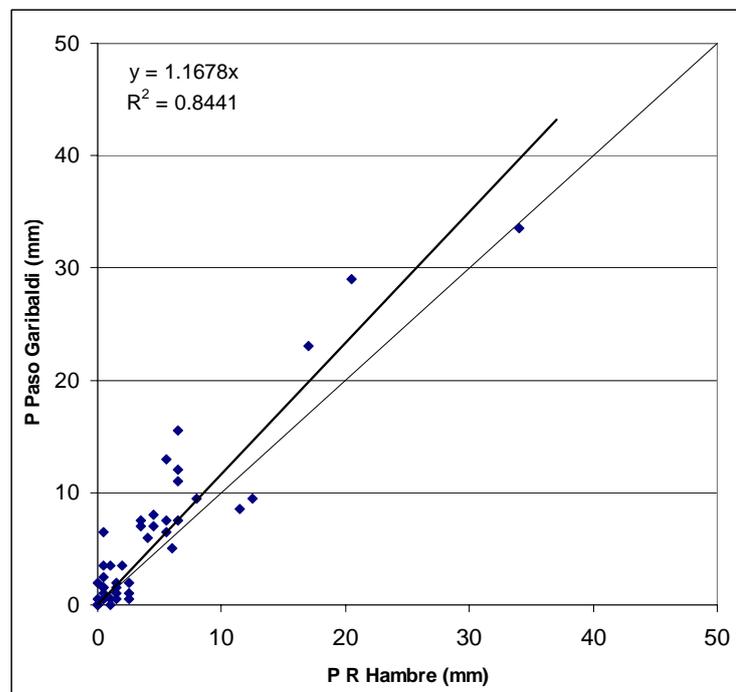


Figura 5.13. Correlación entre intensidades horarias registradas en Paso Garibaldi (400 m) y Rancho Hambre (130 m), en el límite inferior de la cuenca.

5.8. Referencias bibliográficas

- Hermanns R.L, Naumann R., Folguera A. y Pagenkopf A. (2004) "Sedimentologic analysis of deposits of an historic landslide dam failure in Barrancas valley causing a catastrophic 1914 Rio Colorado flood, northern Patagonia, Argentina". En: Lacerda, Ehrlich, Fontoura and Sayao, Eds. *Landslides: Evaluation and Stabilization*. ILS 2004. Vol. 2, pp. 1439-1445. Balkema.
- Hock, R., 2003. Temperature index melt modelling in mountain areas. *Journal of Hydrology* 282 (2003) 104–115
- Gallard, F. Clotet-Perarnau, N., Bianciotto, O. & Puigdefàbregas, J. 1994. Peat soil flows in Bahía del Buen Suceso, Tierra del Fuego, (Argentina). *Geomorphology*, 9: 235-241.
- Iturraspe R. J.; Sottini R.; Schroder C. & Escobar J. (1989). Generación de información hidroclimática en Tierra del Fuego. *Contrib. Cient. 7. CADIC* : 4-170. Ushuaia, Argentina.
- Iturraspe,R.J. y Strelin J., 2005. Resultados de estudios glaciológicos y nivológicos en el glaciar Martial, Tierra del Fuego. *Anales XX Cong Nac. del Agua*, Mendoza, Mayo 2005. Publicado en CD.
- Koivusalo H. , T. Kokkonen , A. Lauren, M. Ahtiainen, T. Karvonen ,H. Mannerkoski, S. Penttinen , P. Seuna , M. Starr, L. Fine´, 2006. Parameterisation and application of a hillslope hydrological model to assess impacts of a forest clear-cutting on runoff generation. *Environmental Modelling & Software* 21 (2006) 1324-1339
- Lizarralde, M., Escobar, J. & Deferrari, G. 2004: Invader species of Argentina: A review about beaver (*Castor canadensis*) population situation on Tierra del Fuego ecosystem. *Interciencia* 29 (7): 352-356
- Strelin, J. y R. Iturraspe, 2002. La cuenca glacionival del glaciar Martial. En: *Actas Conf. Transcontinental High Summit 2002*, Mendoza, 6 al 10/5/2002. Public. en CD.
- Strelin, J. & Iturraspe, R. J.,2007 Recent evolution and mass balance of Cordón Martial glaciers, Cordillera Fueguina Oriental. *Glob. Planet. Change*,doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.019
- Sui, J. & Koehler, G.; 2001. Rain-on-snow induced flood events in Southern Germany. *Journal of Hydrology*: 252 (2001) 205-220.
- Troendle, C.A., King, R.M., 1987. The effect of partial and`clearcutting on streamflow at Deadhorse Creek, Colorado. *J. of Hydrology* 90, 145-157.
- Whitaker, A., Alila, Y., Beckers, J., Toews, D., 2002. Evaluating peak flow sensitivity to clear-cutting in different elevation bands of a snowmelt-dominated mountainous catchment. *Water Resources Research* 38 (9), 1172, doi:10.1029/2001WR000514.

6. IMPACTOS DE CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO DE LA CUENCA DEL ARROYO BUENA ESPERANZA Y POTENCIALES CONSECUENCIAS SOBRE EVENTOS EXTREMOS.

6.1. Introducción

La problemática del uso del suelo está íntimamente relacionada con las necesidades humanas (Matteucci S. D, et al., 1999; Haffter G., et al., 1999). Las tierras planas fértiles se han utilizado para la producción de cultivos durante mucho tiempo, pero también muchas tierras ubicadas en zonas montañosas o de pendientes pronunciadas están siendo sometidas a cambios en el uso del suelo. En numerosos casos, dichas tierras son muy susceptibles a excesivas presiones y así a menudo no pueden resistir los impactos a los que son sometidas, tales como la reducción de la fertilidad del suelo y las poblaciones de flora y fauna y el aumento de la deforestación, la erosión y la degradación de los recursos naturales en general.

Las consecuencias de los cambios en el uso del suelo pueden ser perceptibles a diferentes escalas espacio temporales dentro del territorio. El incremento de áreas destinadas a cultivos y otras prácticas agropecuarias, así como los nuevos desarrollos urbanísticos y de infraestructura, alteran el funcionamiento hidrológico afectando consecuentemente, los regímenes de inundaciones a escala de cuencas hidrográficas. Por otro lado, existe suficiente evidencia respecto al aumento de escorrentía a nivel local como consecuencia del deterioro y degradación de los suelos en la cuenca hidrográfica. Estos escenarios se ven aún más complicados si, a las diferentes intervenciones del hombre sobre los paisajes, (ej.: obras de drenaje), se añaden las fluctuaciones en los regímenes de precipitaciones y temperaturas previstas en un escenario de cambio climático global.

El avance de la frontera urbana, como consecuencia del crecimiento de los espacios destinados a infraestructura de viviendas, comercio, carreteras, etc., implica un aumento de superficies impermeables dentro de las cuencas, hecho que produce un incremento del volumen de escorrentía superficial y un aumento de los picos de descargas responsables de inundaciones locales (Dunne and Leopold 1978, Walesh, 1989). En ocasiones el avance se produce en sitios de humedales, alterando la capacidad del sistema de retener agua, ya que estos actúan como grandes reservorios (Mitsch and Gosselink 1986; Burke et al. 1988; Quesada and Jiménez 1988). Otras consecuencias del cambio en el uso del suelo, especialmente importantes en relación a la expansión de la frontera urbana, se relacionan con la disminución del drenaje vertical del agua y reducción de la capacidad de recarga de los acuíferos, afectando directamente las fuentes de agua potable para los centros urbanos. A pesar del interés mundial en el mantenimiento de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos y la prevención de impactos adversos como las inundaciones, la alteración de los ciclos hidrológicos naturales, el mantenimiento de los humedales, etc., no se tiene aún un conocimiento acabado de la relación entre los cambios en la cobertura y el uso del suelo y los eventos de inundación y/o sequías extremos.

En este trabajo se analizan los cambios en los usos y coberturas del suelo y su potencial relación con eventos extremos en la cuenca del arroyo de Buena Esperanza, en la cual se sitúa la ciudad de Ushuaia (justamente en la parte baja de la cuenca, lo que se reconoce como el “área dominada” de la misma), constituyendo su curso principal la principal fuente de agua potable para su población. Esta situación determina su importancia ante eventuales afectaciones asociadas a los cambios en el uso del suelo en el tramo medio y bajo de la misma, permitiendo analizar los efectos de la urbanización en un territorio que, por sus características fisiográficas y climáticas, resulta fuertemente vulnerable a cualquier alteración antrópica. Este

análisis puede resultar un buen ejemplo para otras cuencas de la región de los Bosques Andino Patagónicos de la República Argentina, cuyas características físico-ambientales son similares a ésta, y que están sufriendo procesos de alteración antrópica similares a las de la ciudad de Ushuaia, causados por la expansión urbanística asociada al crecimiento turístico acontecido en las últimas décadas.

Se han planteado como objetivos particulares: i) identificar y cuantificar el cambio de usos/cobertura del suelo de la cuenca; y ii) examinar las relaciones entre uso/cobertura del suelo y la dinámica hídrica de la cuenca

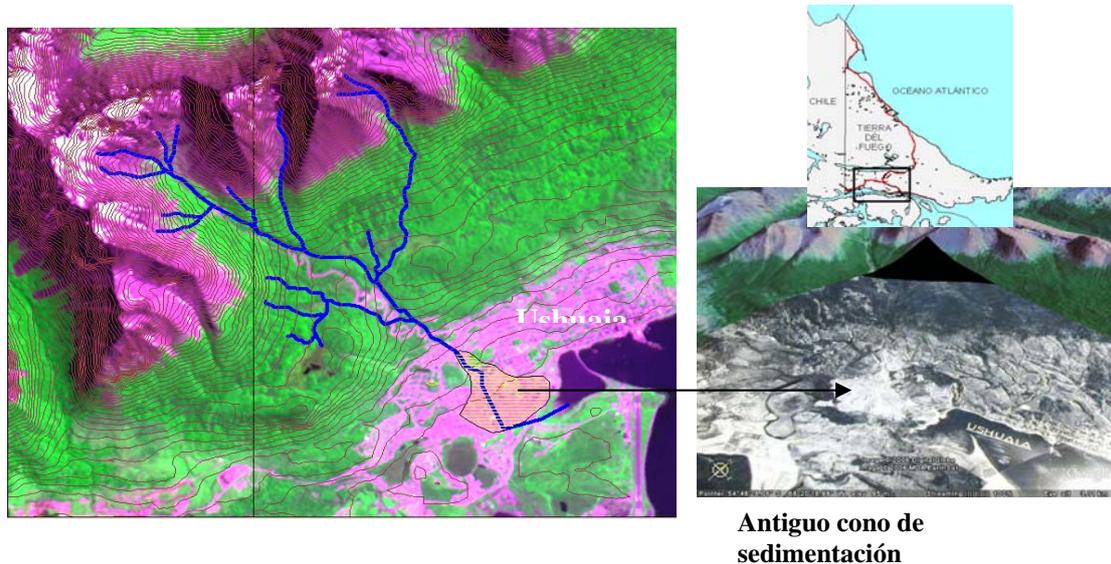


Figura 6.1. Cuenca del arroyo Buena Esperanza. Imagen Spot 1995, curvas de nivel y límite de la cuenca. En el sector inferior se observa la ciudad de Ushuaia y la delimitación del antiguo cono de sedimentación apreciada en la foto aérea del año 1947 (derecha).

Morfológicamente la cuenca del arroyo de Buena Esperanza tiene todas las señas de identidad de una cuenca torrencial (Mintegui et al, 2006). En los últimos años la cuenca ha experimentado importantes eventos por precipitaciones torrenciales (no extraordinarias) durante los otoños de los años 2000, 2001 y 2002; así como por el deshielo en el 2003. En el pasado tuvo serios problemas en sus áreas dominadas por causa de eventos nivo-torrenciales extremos, como en el caso de las inundaciones ocurridas en la propia ciudad de Ushuaia causadas por el evento extraordinario del 6 de noviembre de 1954.

6.2 Análisis de los cambios en la cubierta y uso del suelo.

Para analizar los cambios en la cubierta y uso del suelo en la cuenca del arroyo Buena Esperanza a lo largo de un período de aproximadamente cincuenta años, se trabajó con tres imágenes satelitales (dos imágenes Landsat ETM de los años 2000 y 2005; y una imagen Spot del año 1995) y dos juegos de fotografías aéreas de los años 1947-48 y 1970. A partir de las imágenes y fotografías, por interpretación visual y digital, se generaron tres mapas de cobertura y uso del suelo, para los años 1947-48, 1970 y 2005. El mapa del año 2005 fue verificado y validado a campo. A partir de la interpretación digital de imágenes satelitales Landsat ETM y Spot se identificaron las diferentes categorías de bosque en la cuenca (Collado, 2001). La interpretación de las imágenes, junto con la información generada en el marco del Proyecto EPIC FORCE (cita) referente a las características fisiográficas de la cuenca, sirvieron de apoyo a la interpretación visual de las fotografías aéreas. Por ejemplo, el modelo de elevación del terreno (MET) se utilizó para la interpretación y reconocimiento de las especies dominantes del

bosque según los pisos altitudinales. La historia de uso de la cuenca se reconstruyó a partir de información suministrada por gente local. Por último, a cada clase de cobertura se le asignó una categoría interpretativa de uso del suelo.

Las fotos aéreas e imágenes satelitales se analizaron por separado. Las fotografías aéreas se rectificaron y georreferenciaron en el sistema de proyección Gauss Kruger, faja 2 (Datum WGS 84) sistema nacional, utilizando puntos de control tomados en el campo con un sistema de geoposicionamiento satelital (GPS- Garmin 12). Posteriormente, se digitalizaron los polígonos para cada categoría de cobertura visualizada en la foto con el software ArcGis 9.0.

Las categorías de cobertura del suelo, incluyeron: i) **bosque caducifolio**; ii) **bosque perennifolio**; iii) **bosque mixto**; iv) **tundra**; v) **turberas**; vi) **suelo desnudo** (áreas de roca expuesta con escasa cobertura vegetal en sectores dominantes de la cuenca con cobertura de nieve estacional y glaciario), vii) **áreas abiertas** (áreas con pastizales y/o matorrales espaciados generados por reemplazo de la cobertura forestal nativa, como consecuencia del uso antrópico en sectores dominados de la cuenca), viii) **bosque degradado** (bosque con baja cobertura); ix) **áreas urbanas** (relacionada con el avance de la frontera urbana de la ciudad de Ushuaia, incluyen áreas comerciales, residenciales, caminos, espacios verdes, etc), x) **infraestructura** (relacionada a emprendimientos turísticos, como hoteles, caminos, pistas de esquí, etc.), xi) **áreas anegables** (no turberas); y xii) **pastizales**.

Las capas de información vectorial se transformaron a formatos raster para compatibilizar los mapas con la información utilizada por el modelo hidrológico-matemático. Se especificó una resolución espacial de 60 X 60m de tamaño de píxel, definiendo una extensión de 101 columnas por 101 filas de grilla. Esta resolución se consideró compatible con las distintas fuentes de información de los sensores utilizados. Tanto las imágenes Spot como las Landsat ETM se analizaron con técnicas de interpretación digital por clasificaciones mixtas supervisadas y no supervisadas.

Los límites de la cuenca fueron definidos utilizando las curvas de nivel con equidistancia de 25 m. A la cuenca natural del arroyo se le anexó un sector al oeste de la misma debido a obras de desvío por canalización de efluentes aledaños. Para el análisis del uso/cobertura del suelo se delimitó un área de influencia de la cuenca de aproximadamente 500 ha, la cual incluye los sectores más impactados de la cuenca por debajo de los 100 msnm, el cono de sedimentación y el canal de desagüe del Arroyo Buena Esperanza. (Figura 6.2).

Las clases de los usos/coberturas del suelo actuales fueron espacializados dentro de la cuenca en función de su pertenencia a los sectores definidos por la ordenación (Mintegui et al, 2006) de la cuenca hidrográfica definidos por altitud y pendiente. Se calcularon para cada área los porcentajes de cada cobertura y dentro de cada uno se destacaron las coberturas en áreas de mayor pendiente, este análisis fue realizado a partir de la superposición de las capas de información volcadas a un sistema de información geográfica y calculados los valores en hectáreas para cada una de las consultas realizadas.

Con el fin de analizar los cambios se calcularon las superficies en hectáreas de cada una de las coberturas para cada momento. Cuando se analizan los cambios o transformaciones del uso del suelo en forma de mapas, se pueden cuantificar no sólo que tipo de coberturas aumentaron y/o disminuyeron, sino también las trayectorias de cambio, además de la espacialización de los mismos. Para esto se combinaron las imágenes y se calculó la transición entre periodos a través de tabulaciones cruzadas. Los datos fueron registrados en forma de tablas y para la visualización se obtuvieron los mapas de cambios. Para las dos tablas generadas se calcularon la proporción de cambios en cada categoría y la superficie total en hectáreas para los mismos.

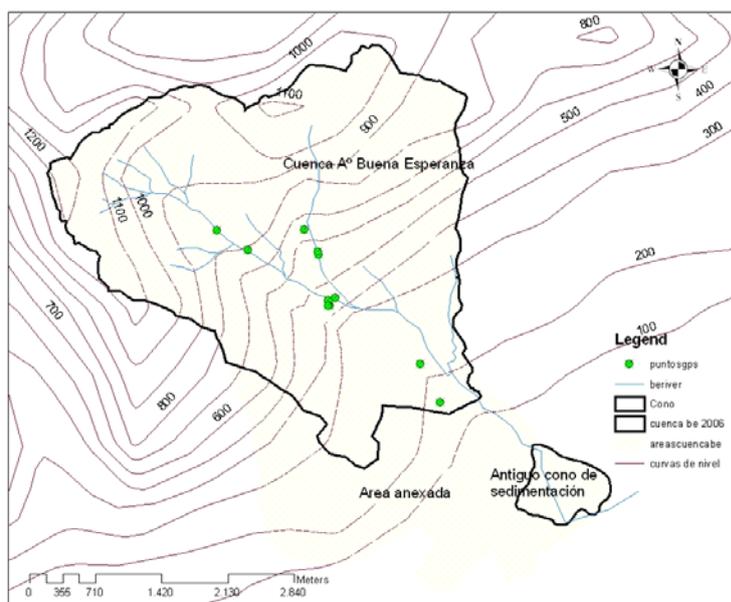


Figura 6.2. Limite de la cuenca más áreas de influencia delimitada para el estudio de los cambios en los usos y coberturas del suelo.

6.2.1. Determinación de Cobertura y uso actual (2005)

Siguiendo el esquema de zonificación definido en la propuesta para mejorar la ordenación hidrológica forestal de la cuenca del Arroyo Buena Esperanza (Mintegui et al, 2006), la cuenca está sectorizada en tres grandes áreas según su altitud, i) Cuenca alta (A1): área dominante a más de 550 msnm, representado por el tramo mas elevado de la cuenca, ocupa una superficie de 958 has (52% de la cuenca); ii) Cuenca media (A2): área dominante entre los 550 y 100 msnm, con una superficie de 623,9 has. (33.8 %); y iii) Cuenca baja (A3): área dominada a menos de 100 msnm, que sumada al área de influencia definida para el estudio, ocupa 250,0 has (14% de la cuenca).

La cuenca alta (A1), presenta actualmente una cobertura de 678 ha de suelo desnudo (70,8% del sector), 205,2 ha de bosque caducifolio (21,4%), 51,8 ha de tundra (5,4%), 20,5 ha de pastizales (2,1%) y 1,8 ha de bosque perenne (0,2%). La cuenca media (A2), presenta 213,1 ha de bosque mixto (34,2%), 201,6 ha de bosque perenne (32,3%), 61,2 ha de turberas (9,8%), 55,4 de infraestructura (8,9%), 39,2 ha de bosque caducifolio (6,3 %), 25,6 ha de bosque degradado (4,1%), 16,6 ha de pastizales (2,7%) y 11,2 ha urbanizadas (1,8%). Por último la cuenca baja (A3), presenta una superficie de 200,9 ha urbanizadas (77,3%), 40,7 ha de áreas anegables (20,3%), 9,7 ha de bosque degradado (4,8%), 6,5 ha de bosque mixto (3,2%) y 2,2 ha de infraestructura (1,1%).

Las superficies totales (hectáreas) de las coberturas por cada área y la distribución de los porcentajes por área se representan en la Tabla 6.1. Se destaca un 70,8 % de la cobertura dentro de la cuenca alta (A1) ocupada por suelo desnudo; en la cuenca media (A2), el 66,5 % la ocupan los bosques (perenne y caducifolio), mientras que en la cuenca baja (A3) la mayor cobertura (77,3%) está representada por urbanizaciones.

La cuenca alta (A1) presenta 340 ha (35,6%) con pendientes mayores al 60%, con cobertura de 2,7% de tundra y 4,75 % de bosque deciduo; mientras que el 92,5% es suelo desnudo sin cobertura vegetal, el resto del área presenta pendientes menores al 60%. En la cuenca media (A2), el 38,3% presenta pendientes de más de 30%, de las cuales el 54,7% esta cubierto por bosque caducifolio y el 33,3 % por bosque mixto, el 6,8 por bosque perenne, el 3% por

pastizales, el 0,9 % y 0,5 % por infraestructura y tundra respectivamente. La cuenca baja (A3) puede ser dividida en dos sub-áreas, una que presenta pendientes menores al 30% (hasta 12%), otra de pendientes menores al 12%. La primera ocupa un 16,2 % del área con cobertura de 68,4% urbano 12,8 % de bosque mixto, 11,1 % de áreas anegables, 5,1% de bosque degradado y 2,6% de infraestructura; mientras que la segunda ocupa el 88,6% del área y esta presenta por un 76,7% de urbano, 18% de áreas anegables, 3% de bosque degradado y 2,3% de bosque mixto. Dentro de esta última área se encuentra la zona de depósito del cauce, antiguo cono de eyección con una superficie de aproximadamente 56 ha, totalmente urbanizada (Figura 6.3).

CLASES	SUPERFICIE (HA)			PORCENTAJE (%)		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Turberas	0.0	61.2	0.0	0.0	9.8	0.0
Tundra	51.8	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0
Bosque caducifolio	205.2	39.2	0.0	21.4	6.3	0.0
Bosque mixto	0.0	213.1	6.5	0.0	34.2	2.5
Grassland	20.5	16.6	0.0	2.1	2.7	0.0
Route-Building and grass	0.0	55.4	2.2	0.0	8.9	0.8
Perennial Forest	1.8	201.6	0.0	0.2	32.3	0.0
Urban	0.0	11.2	200.9	0.0	1.8	77.3
Flood area	0.0	0.0	40.7	0.0	0.0	15.7
Bare soils snow	678.6	0.0	0.0	70.8	0.0	0.0
Open Mixed Forest	0.0	25.6	9.7	0.0	4.1	3.7
Total	958.0	623.9	259.9	100	100	100

Tabla 6.1: Superficies de las clases de cobertura por sectores dentro de la cuenca, expresadas en hectáreas y porcentaje del total de cada sector en 2005.

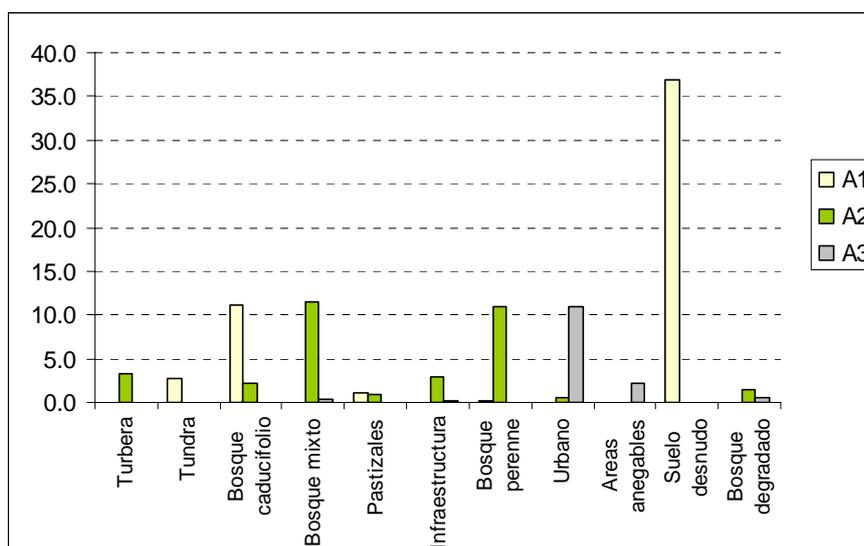


Figura 6.3. Distribución espacial de la cobertura expresada en porcentaje por área de ordenación de la cuenca. A1 (área dominante sobre los 550msnm), A2: áreas dominante con alturas entre 550 y 100 msnm y A3: área dominada por debajo de los 100 msnm.

6.2.2. Cambios temporales en la cobertura y uso

De las 12 grandes categorías en las que se ha dividido la cobertura de la cuenca del Arroyo Buena Esperanza, en 1947-48 el 37,9% estaba ocupado por bosques (entre bosque caducifolio 14,7%, perenne 12% y mixto 11,3%), un 17,4 % por áreas abiertas con uso predominantemente

ganadero, siendo el resto áreas naturales ocupadas por turberas, tundra y el sector de cuenca alta dominado por nieves estacionales, glaciares y roca expuesta con escasa cobertura vegetal (suelo desnudo; Tabla 6.2). El núcleo urbano de la ciudad de Ushuaia se encontraba fuera de los límites de la cuenca en su extremo sudeste. En este periodo se visualiza claramente el cono de sedimentación de la cuenca aguas abajo en lo que posteriormente se desarrollara parte de los asentamientos urbanos (Figura 6.1). En el año 1970 las áreas abiertas disminuyen de 321 ha a 224 ha, la cobertura de bosque aumenta y aparece el uso urbano (26 ha). En el año 2005 se observa una disminución de la cobertura de bosque respecto al periodo anterior pasando a ocupar de un 38 % a un 36,2 %; aumentando asimismo la categoría urbana de 1,4 % a 2 %, y apareciendo la infraestructura relacionada al uso turístico que ocupa un 1,9 % de la cuenca (Tabla 6.3).

CLASES	Hectáreas			%		
	1947/8	1970	2005	1947/8	1970	2005
Tundra	52	52	52	2.8	2.8	2.8
Suelo desnudo	676	679	679	36.7	36.8	36.8
Turbera	67	68	61	3.6	3.7	3.3
Áreas anegables	31	31	41	1.7	1.7	2.2
Áreas abiertas	321	224	0	17.4	12.1	0.0
Bosque caducifolio	270	265	244	14.7	14.4	13.3
Bosque perenne	220	224	203	12.0	12.2	11.0
Bosque mixto	207	239	220	11.3	13.0	11.9
Urbano	0	38	212	0.0	2.1	11.5
Pastizales	0	26	37	0.0	1.4	2.0
Infraestructura	0	0	58	0.0	0.0	3.1
Bosque degradado	0	0	35	0.0	0.0	1.9
Total	1843	1844	1842	100.0	100.0	100.0

Tabla 6.2. Superficie en hectáreas y porcentaje para cada categoría de cobertura en cada año analizado.

Los cambios más significativos para el primer periodo analizado, 1947-48 a 1970 fueron el aumento de la cobertura de bosque que pasa a ocupar un 39,5 % de la cuenca (de 697,68 ha a 727,6 ha, respectivamente). Este aumento de la cobertura de bosque disminuye a 667,4 ha en el segundo periodo representando un 36,2 % de la cuenca, mientras que el aumento del porcentaje de área urbana que pasa de un 2,1 % a 11,5 %. En este período se observan nuevas coberturas dadas por el desarrollo de infraestructura relacionada a la actividad turística, como nuevos caminos, pista de esquí, hoteles, áreas parquizadas, etc., abarcando un 3,1 % de la cuenca. Es de destacar el reemplazo de sectores donde predominaba el uso ganadero por cobertura de bosque, producto del abandono de las tierras y restauración natural (Figura 6.4)

Cuando la información es visualizada espacialmente (Figura 6.5), el mayor incremento de la cobertura boscosa en el primer periodo se da a expensas de tierras ganaderas abandonadas, restaurándose naturalmente 55,08 ha de bosque; mientras que al mismo tiempo se produce la deforestación de 21,96 ha en sectores bajos de la cuenca con fines urbanos. En el segundo período, predomina la pérdida de bosque a favor de áreas de infraestructura relacionada al uso turístico. Si bien se restauran 30,24 ha, son deforestadas 86,4 ha para infraestructura.

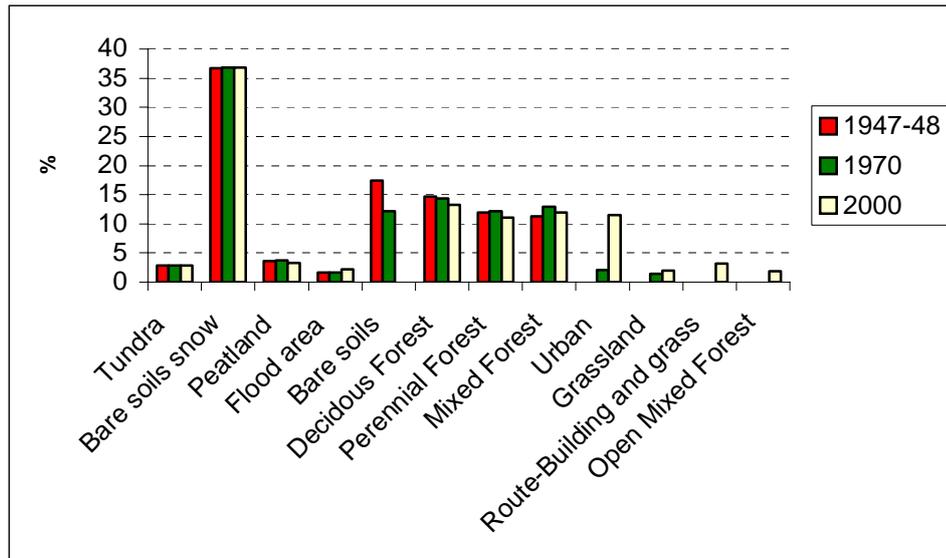


Figura 6.4. Superficie de cada cobertura expresada en porcentajes para cada año.

Respecto a otras coberturas, el primer periodo comienza con una superficie de 320,76 ha destinadas al uso ganadero y de explotación de madera del bosque para combustibles, de las cuales 55,08 ha pasan a ser bosque mixto por regeneración natural de las tierras ganaderas abandonadas; 25,56 ha permanecen como áreas abiertas con cobertura de pastizales, y unas 37,08 ha se desarrollan como áreas urbanas. Durante el segundo periodo, se regeneran 30,24 de bosque, y el resto se utiliza para desarrollo urbano e infraestructura turística (142,2 ha y 3,96 ha respectivamente). Si expresamos estos cambios en porcentaje del total de las superficies ganadera, en primer lugar el 55,9 % se transforma en áreas urbanas, el 37,26 % se regenera naturalmente como bosque mixto y bosque mixto degradado, y el 1,23 % se transforma en áreas de infraestructura, quedando el resto como pastizales y áreas anegables. Otro cambio importante ocurrido en este período en la cuenca, dada la importancia que representa en la dinámica del agua, es la reducción de la superficie de turberas por infraestructura relacionada al uso turístico (0.29 %).

Del total de la categoría urbana para el año 2005 dentro de la cuenca, el 84,44 % (unas 179,8 ha) eran áreas abiertas, 12,07 % correspondían a pastizales y solamente un 2,21 % a bosque mixto siendo las otras coberturas despreciables. En cuanto a la infraestructura que se observa durante el segundo periodo, un 84,38 % (48,6 ha) se desarrolla a partir de un bosque nativo; un 8,72 % sobre turberas y un 6,88% sobre áreas abiertas (ganaderas).

Si bien la superficie de bosque al final del periodo estudiado es similar al comienzo de éste, las diferencias radican en la localización espacial de los cambios y los factores causantes de los mismos. Para el primer periodo las áreas deforestadas se ubicaron predominantemente en el sector de la cuenca baja (área dominada), asociadas a un uso ganadero y a la explotación forestal para su uso como combustible. Por el contrario, en el segundo período, las “nuevas” deforestaciones se relacionan con un desarrollo turístico, y se encuentran localizadas en la cuenca media-media alta. En este caso, las áreas corresponden a sectores de pendiente, cercanos a los cursos de agua principales, por lo que esta nueva situación tiene implicancias potenciales mayores, en la respuesta de la cuenca ante eventos extremos.

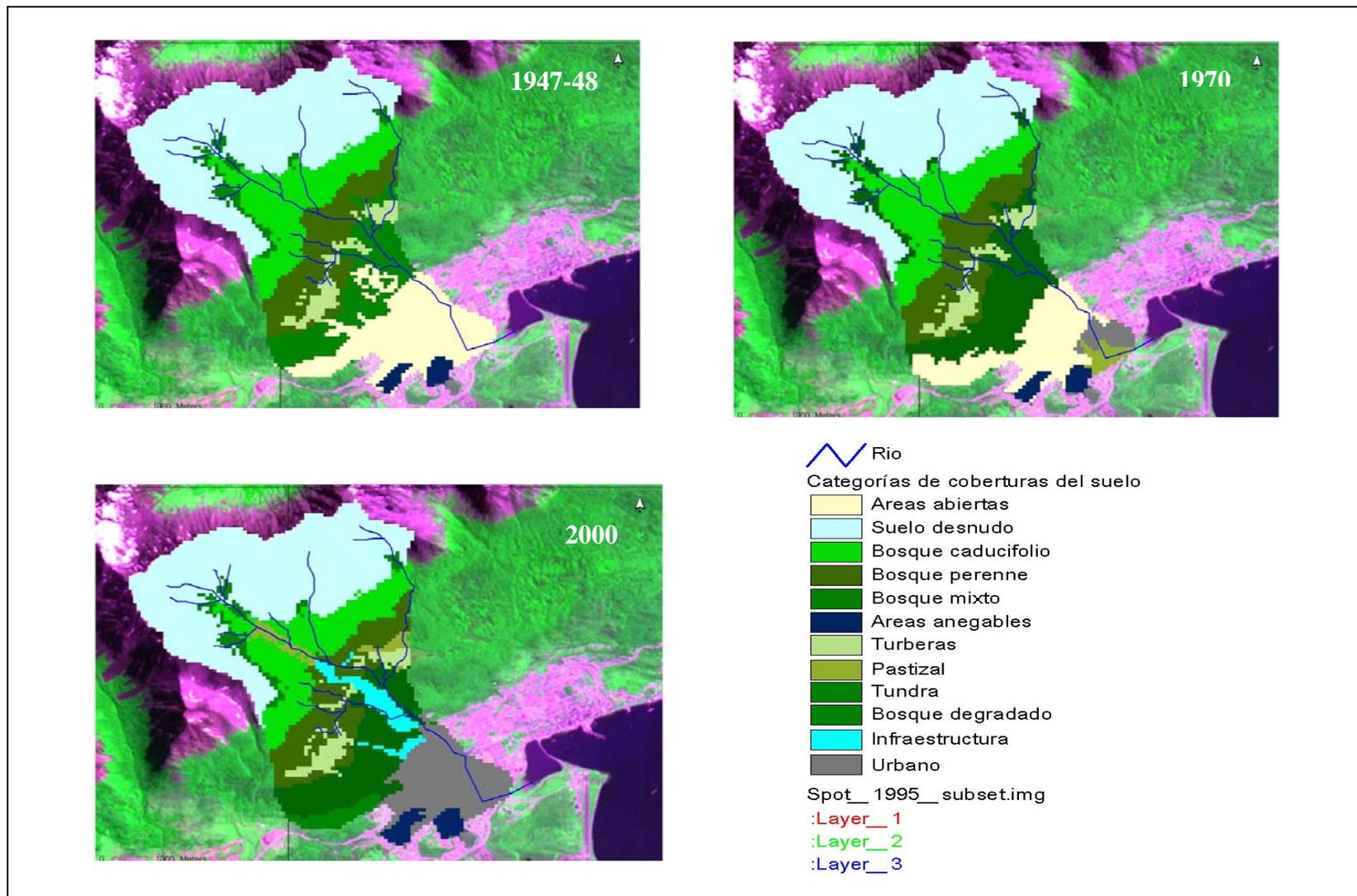


Figura 6.5. Mapas de coberturas del suelo para los tres periodos analizados (1947/8; 1970 y 2005).

CLASE	CLASE EN 1947/8								TOTAL
CLASE EN 1970	Suelo desnudo	Bosque caducifolio	Bosque perenne	Bosque mixto	Turberas	Tundra	Áreas abiertas	Áreas anegables	
Suelo desnudo	675.72	2.88	0	0	0	0	0	0	678.6
Bosque caducifolio	0	263.16	1.44	0	0	0	0	0	264.6
Bosque perenne	0	3.96	216.72	3.6	0	0	0	0	224.28
Bosque mixto	0	0	1.8	181.8	0	0	55.08	0	238.68
Turberas	0	0	0	0	66.6	0	0.72	0	67.68
Tundra	0	0	0	0	0	51.84	0	0	51.84
Áreas abiertas	0	0	0	21.96	0	0	201.6	0	0
Áreas anegables	0	0	0	0	0	0	0.72	29.88	30.6
Pastizales	0	0	0	0	0	0	25.56	0	25.92
Urbano	0	0	0	0	0	0	37.08	0.72	37.8
Infraestructura	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	675.72	270	220.32	207.36	66.6	51.84	320.76	30.6	1843.56

Tabla 6.3. Tabulación cruzada de los cambios de las coberturas en el periodo 1947-48 a 1970 expresado en Hectáreas (**Negrita:** cambios significativos).

CLASE	1970										
	Suelo desnudo	Bosque caducifolio	Bosque perenne	Bosque mixto	turberas	Tundra	Áreas abiertas	Áreas anegables	Pastizal	Urbano	TOTAL
Suelo desnudo	678.24	0.36	0	0	0	0	0	0	0	0	678.6
Bosque caducifolio	0.36	241.56	2.52	0	0	0	0	0	0	0	244.44
Bosque perenne	0	1.44	185.4	2.16	14.4	0	0	0	0	0	203.4
Bosque mixto	0	0	3.24	182.16	3.96	0	30.24	0	0	0	219.6
Turberas	0	0	16.2	1.8	43.2	0	0	0	0	0	61.2
Tundra	0	0	0	0	0	51.84	0	0	0	0	51.84
Áreas abiertas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Áreas anegables	0	0	0	0	0	0	12.24	27.36	0	1.08	40.68
Pastizales	0	21.24	2.88	11.88	1.08	0	0	0	0	0	37.08
Urbano	0	0	0	4.68	0	0	142.2	3.24	25.56	36.36	212.04
Infraestructura	0	0	14.04	34.56	5.04	0	3.96	0	0	0	57.6
Bosque degradado	0	0	0	1.08	0	0	34.2	0	0	0	35.28
TOTAL	678.6	264.6	224.28	238.68	67.68	51.84	222.84	30.6	25.92	37.8	1841.76

Tabla 6.4. Tabulación cruzada de los cambios de las coberturas en el periodo 1970 a 2005 expresado en Hectáreas (**Negrita:** cambios significativos).

6.3. Discusión sobre cambios en el uso del suelo en la cuenca

6.3.1. Cambios históricos en el uso del suelo.

Los resultados del análisis del uso/cobertura del suelo actual de la cuenca del Arroyo Buena Esperanza indican que el área con mayor impacto antrópico es la cuenca baja por debajo de los 100 msnm, si bien se ve una tendencia a la ocupación de la cuenca media (entre los 550 y 100 msnm) por la conversión del bosque a usos en infraestructura y urbano, durante el período 1970-2005.

Del análisis espacial de la información sobre las coberturas del suelo de la cuenca se puede observar que el sector con mayor heterogeneidad en cuanto a la diversidad de coberturas es el área dominante entre los 550 y 100msnm, la cuenca baja representa un sector homogéneo puesto que esta totalmente urbanizada, mientras que el área más elevada esta dominada por coberturas de suelo desnudo, roca y pastizales de altura, con presencia de nieves invernales y el glaciar. La heterogeneidad de la cuenca media esta dada por la presencia de bosque caducifolio y perenne, turberas ausentes en el resto de la cuenca, y los sectores de nueva infraestructura, en su mayoría relacionada con la expansión del uso turístico (hoteles, hosterías, caminos, pista de esquí, etc).

Del análisis comparativo efectuado para los tres periodos estudiados, se observa una tendencia al aumento de la cobertura del bosque en el primero (1947/9 a 1970), seguido por la disminución para el segundo periodo (1970-2005). Esto se puede explicar por los cambios en el uso del suelo que experimentó la cuenca durante los últimos cincuenta años, especialmente en la cuenca baja y media. La causa principal del desmonte en el primer periodo no fue la urbanización, como sería más tarde, sino el uso ganadero y la explotación de madera para uso como combustible. En los años '50 el bosque era explotado para la extracción de especies para uso como combustible y maderero; mientras que el área media-baja de la cuenca presentaba un uso predominantemente ganadero. El segundo periodo se caracteriza por la recuperación natural del bosque en la cuenca media por abandono de las prácticas agropecuarias y un incremento en el uso urbano y desarrollo de infraestructura en la cuenca baja.

Si bien la categoría infraestructura relacionada al uso turístico, tiene consecuencias sobre la dinámica hídrica similares al uso urbano (impermeabilización del suelo aumento de escorrentía superficial y disminución de infiltración vertical), la diferencia radica en la ubicación espacial de estas coberturas en la cuenca. Mientras que el desarrollo urbano residencial y comercial se da en el área dominada por debajo de la cota 100 msnm, el desarrollo de infraestructura turística predomina en el área dominante media y alta, cercano al cauce principal del arroyo, lo cual tiene su explicación por el alto valor escénico por la bella vista panorámica sobre la ciudad de Ushuaia y el Canal del Beagle, además de contar con las pendientes requeridas para el desarrollo de pistas de esquí. Estas transformaciones aumentan el riesgo de fenómenos asociados a eventos torrenciales o niveo-torrenciales, tales como, avalanchas de nieve y deslizamientos; erosión y transporte durante las crecidas (incluyendo los "large woody debris") y su posterior depósito en el área de sedimentación.

Una modificación en la cuenca media (área dominante entre 550 y 100msnm) que implique la conversión del bosque a infraestructura (tendencia que se observa como resultado del presente estudio), conduciría al aumento del riesgo ante eventos torrenciales, puesto que es en esta área donde se desarrolla el 99 % de bosque perenne que contribuye a la protección de la cuenca, disminuye la erosión y el riesgo de deslizamiento superficiales. Los cambios más relevantes durante el periodo estudiado fueron el aumento de infraestructura urbana y turística. Estos cambios ejercen presión en los sectores bajos, medios-medios altos de la cuenca por el desarrollo y reemplazo de la cubierta forestal nativa y de turberas por infraestructura. De

proseguir esta tendencia de conversión de la cobertura natural, fundamentalmente en la cuenca media, podría producir un incremento en el riesgo y vulnerabilidad de la cuenca ante eventos extremos.

6.3.2. Relación eventos extremos – cambios en el uso del suelo.

La cobertura del suelo afecta la dinámica hídrica. La presencia de bosque propicia mayor evapotranspiración, mayor infiltración y menor escorrentía superficial, mientras que lo opuesto ocurre cuando la cobertura predominante es de pastizal o (más extremo aún) suelo desnudo o urbanizado.

De acuerdo a lo indicado en el Capítulo 5, los eventos extremos en este tipo de cuencas de régimen pluvionival, están asociados a la ocurrencia en forma conjunta de lluvias intensas, con altas temperaturas y acumulación significativa de nieve en la cuenca. También se ha señalado que el bosque atenúa en la mayoría de los casos la componente de origen nival del escurrimiento durante eventos extremos.

La simulación de los procesos hidrológicos en esta cuenca, utilizando el modelo SHETRAN considerando la información física de la misma ha permitido simular las consecuencias para situaciones con y sin bosque.

En el caso del evento extremo de 1954 había una considerable afectación del bosque en la parta baja de la cuenca, donde se había acumulado una carga importante de nieve cuya rápida fusión constituyó una componente significativa en la crecida. La simulación realizada bajo condiciones actuales y sin cobertura forestal en la cuenca para dicho evento reflejan influencia favorable del bosque. Estos contrastes serían más importantes en cuencas donde la cobertura forestal adquiere mayor proporción, como en el caso de la cuenca del Hambre.

Los cambios del uso de la tierra en la cuenca del Buena Esperanza determinan impactos más definidos en áreas dominadas, aguas abajo de la sección de control (120 m s.n.m.), por pérdida de la capacidad de intercepción, pérdida o degradación de suelos, construcción de caminos que modifican el drenaje natural, incremento de áreas impermeables y por lo tanto del coeficiente de escorrentía y disminución del tiempo de concentración de la subcuenca, condiciones que en conjunto contribuyen al incremento del pico de crecida. Aguas arriba de la sección de control los cambios no son todavía suficientemente significativos.

Los eventos máximos anuales ordinarios, generan daños y costos operativos tales como la protección y restauración de márgenes, colmatación de obras de toma, etc. y la intensificación de los procesos de deforestación en su cuenca media y media-alta, durante las últimas décadas, y la urbanización progresiva incrementarán los impactos. Los resultados de la simulación, sumados al análisis de la respuesta de las cuencas y las evidencias de cambios en el uso del suelo de la cuenca en los últimos 50 años, permiten inferir que el actual proceso de deforestación en los sectores medios y medios altos de la cuenca, asociados a un incremento de infraestructura de turismo y áreas residenciales (que tiene un efecto similar a la deforestación pero aún más pronunciado sobre la dinámica hídrica local), puede generar un incremento de la frecuencia de eventos con capacidad de producir daños de consideración.

Es importante resaltar que la dinámica hídrica de la cuenca no solo estaría gobernada por el tipo cobertura, sino también por la posición y distribución espacial de las mismas en el paisaje. Teniendo esto presente, las decisiones a tomar sobre el manejo de la cuenca a una escala local, estarían gobernadas por la distribución espacial de las medidas a implementar, las cuales deberán tender a minimizar los riesgos y la vulnerabilidad de la cuenca ante eventos normales, y disminuir los posibles impactos de aquellos catastróficos.

6.4. Referencias Bibliográficas

- Burke D. E. Meyers, R. Tiner y H. Groman (1988), *Protecting nontidal wetlands*. America Planning Association Advisory Service, report No. 412/413. Chicago.
- Dunne, T. and L.B. Leopold, 1978. *Water in Environmental Planning*. W.H. Freeman, New York, 818p.
- Matteucci, S.D.; J. Morello; A. Rodríguez G.; Buzai y C. Baxendale. 1999. El crecimiento de las Metrópolis y los cambios de biodiversidad. En Matteucci, S. D.; O.T. Solbrig; J. Morello y G. Halffter (Ed.). *Biodiversidad y Uso de la Tierra: Conceptos y ejemplos de Latinoamérica*. UNESCO- EUDEBA. Buenos Aires: 549-580.
- Mintegui Aguirre J., Robledo Sánchez, J.C. y Leiva, C., 2006. Optimización de criterios y técnicas para su aplicación a la ordenación y restauración hidrológico-forestal de cuencas hidrográficas. Del. 10, Proyecto Epic Force.
- Mitsch, W.J. y J.G. Gosselink. 1986. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold. 539 pp. New Cork
- Quesada, C. A., and J. A. Jiménez Ramón. 1988. Watershed management and a wetlands conservation strategy: the need for a cross-sectorial approach. In: *The ecology and management of wetlands*. D. D. Hook, et al, eds. Pp.12-20. Portland: Timber Press
- Turner, M.G. 1987. Land use changes and net primary produc-. tion in the Georgia, USA, landscape: 1935-82. *Environ. Manage.* 11: 237-247.

7. CONCLUSIONES

Las cuencas del área focal presentan condiciones favorables para la regulación de la respuesta hidrológica ante situaciones climáticas ordinarias. Ello se debe a la variedad de sistemas de regulación propios de las características fitogeográficas y climáticas dominantes. Por otra parte, no obstante el crecimiento sostenido de los núcleos poblacionales es aún reducida la tasa de ocupación del espacio físico, tanto en Tierra del Fuego como en el resto de la región Andino Patagónica, siendo éste el principal factor para que las condiciones naturales presenten buenas condiciones de preservación en las zonas dominantes de las cuencas.

Tales condiciones conducen, si se realiza una apreciación apresurada, a subestimar los riesgos asociados a eventos extraordinarios, cuya ocurrencia pasada no está suficientemente documentada debido a la breve historia de la sociedad local. Sin embargo una evaluación más detenida, basada en la observación y en el análisis de la información indica que los mecanismos naturales de regulación, materializados por el suelo, los lagos y lagunas, el bosque, las turberas y otras unidades de vegetación, tienen límites en sus capacidades de regulación, reduciéndose notablemente su eficiencia ante eventos extraordinarios, y en contraste se evidencian las debilidades de un sistema ambiental de alta fragilidad, sujeto a una dinámica hidrológica torrencial.

Por primera vez en la región se han obtenido resultados que contribuyen al conocimiento del comportamiento de las cuencas desde la perspectiva de los eventos extremos considerando además las modificaciones introducidos por la actividad humana a través de cambios practicados en el uso de la tierra. El problema adquiere relevancia considerando que se da en un marco actual en el que todos los escenarios posibles se orientan a un incremento en la intervención antrópica.

La importancia en relación a este tema del bosque nativo de *Nothofagus* y de los procesos vinculados a la hidrología nival son tópicos distintivos de esta área focal y su análisis da lugar al principal aporte desde esta región al conocimiento, en el marco general de los objetivos del proyecto EPIC FORCE.

Las evidencias obtenidas indican que en los eventos provocados por lluvias excepcionales la influencia del bosque sobre la reducción del caudal máximo se atenúa. Las mayores pérdidas producidas por condiciones antecedentes de menor humedad en el suelo y por la intercepción en el follaje pierden importancia relativa ante lluvias extraordinarias. Sin embargo las intensidades de precipitación en la región no son demasiado elevadas aún bajo condiciones extraordinarias. El sistema climático actual pareciera limitar las intensidades, y de hecho no se han constatado eventos en donde la barrera de 100 mm en 24 hs haya sido sobrepasada con holgura, aún en las áreas de mayor precipitación de las cuencas de estudio. Por eso es que la importancia del bosque en la atenuación de crecidas, no sería totalmente despreciable, como sucedería ante lluvias de más de 200 mm diarios, magnitud que es ampliamente superada durante eventos extremos en otro tipo de ambientes.

Debido a esta limitación en la intensidad de precipitación los eventos extremos están vinculados a la caída de lluvia sobre nieve, situación en que la fusión es intensificada por transferencia de calor aportada por la lluvia al manto nival.

Esta situación es particular de esta área focal y entonces resulta importante considerar el efecto del bosque sobre la acumulación, redistribución y fusión de la nieve, que favorece la atenuación de caudales máximos con componente nival en eventos extremos. Los claros en el

bosque, naturales o provocados por la intervención humana determinan mayor acumulación y también un proceso de fusión más activo.

El bosque influye en la redistribución de la nieve, actuando como barrera al transporte por el viento desde los niveles altos a los más bajos de las laderas, en donde la temperatura más elevada produce un deshielo más activo. Este efecto es generalmente favorable pero en determinadas circunstancias puede contribuir al incremento del caudal de crecida, ya una lluvia intensa en la primavera tardía puede combinarse con la fusión de nieve remanente que perdura debido al bosque. Generalmente estos casos corresponden a períodos de retorno bajos o medios ya que son situaciones en las que ya no hay nieve en la cuenca inferior. Estas hipótesis concuerdan con resultados de simulación con el modelo SHETRAN, para el Buena Esperanza, en los que estos efectos se evidencian en forma moderada, debido en parte a que la cobertura forestal en la cuenca es de sólo el 33%. No obstante, la simulación con componentes de hidrología nival presenta cierta complejidad ya que el modelo grado día si bien es ampliamente utilizado por su practicidad, no explica plenamente procesos como la intercepción, y el transporte de la nieve, que requieren de estudios específicos en cada cuenca.

La importancia del bosque en relación a la hidrología nival es función de la época del año en que se produce el evento, ya que a partir de diciembre la nieve remanente sólo permanece en cantidades apreciables más arriba de su área de influencia.

En base a lo expuesto, es esperable que la hipótesis de convergencia de las rectas que relacionan caudal máximo con período de retorno para cobertura forestal y sin ella, presentan una convergencia menos definida en estos tipos de cuencas que en el resto de las áreas focales.

Con respecto a la carga de sedimentos y procesos erosivos, los contrastes entre cargas sólidas evaluadas para subcuencas del Buena Esperanza con diferentes características en cobertura de bosque confirman la presunción del efecto favorable del bosque ante los procesos erosivos y protección de suelos.