FOLIO Nº 150

Figura 20. Visón.

El castor (Castor canadensis) es originario de América del Norte. Se introdujo en Tierra del Fuego en el año 1946, estos animales se adaptaron perfectamente a su nuevo hábitat comenzando con una rápida expansión poblacional, que actualmente está considerada una plaga. Su cuerpo es tosco, robusto, mide aproximadamente 1,50 m incluyendo la cola. Su peso varía entre los 20 y 30 kg. El pelaje es de color castaño. La época de gestación es de 40 días y pueden nacer de 1 a 6 crías.

Figura 21. Castor.

Otros animales que habitan en la cuenca del río Grande y causantes de problemas en cuanto a la conservación de la vegetación son los introducidos para explotación ganadera, como el ganado ovino y bovino.

Existen actuales inconvenientes por los ataques al ganado ovino por parte de perros domésticos que se asilvestraron, se los conoce como perros salvajes o "cimarrones", y generan importantes pérdidas económicas a los establecimientos agropecuarios por la muerte de sus animales.

Fauna Íctica del río Grande

La cuenca binacional del río Grande, enfocándose en lo que a su curso principal respecta, se encuentra sujeta a diferentes usos recreativos, entre los cuales la pesca deportiva ocupa un lugar fundamental. Esta actividad se ve sustentada por la presencia de poblaciones de salmónidos exóticos, introducidas hacia principios del siglo pasado provenientes del Hemisferio Norte. Estos organismos se adaptaron al ambiente constituyendo al momento poblaciones estables. Las especies de salmónidos introducidas desde el Hemisferio Norte fueron la trucha de arroyo (Salvelinus fontinalis), la trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) y la trucha marrón (Salmo trutta), incluyendo la forma anádroma de esta última, cuyos individuos son los más apreciados por los pescadores deportivos en virtud de las tallas y/o pesos que alcanzan.

FOLIO
151

Por consiguiente la adaptación de los salmónidos a los ambientes fueguinos ha dado lugar a una creciente pesquería recreacional de un elevado valor económico potencial. Este movimiento económico se halla centrado por un lado en las poblaciones de trucha marrón anádroma, cuyos ejemplares alcanzan en algunos ríos tallas de clase mundial y por otro en poblaciones residentes en agua dulce únicamente.

Figura 22. Trucha marrón.

Poder Legislativo FOLIO 152

Bibliografía

Anchorena J., M.B. Collantes, R.B. Rauber y C. Escartín (2009). "Humedales de la Cuenca del Río Grande Tierra del Fuego, Argentina" Inédito. Proyecto GEF: "Estrategias de Ordenación de Recursos Hídricos para la Cuenca Binacional Río Grande de Tierra del Fuego." Dirección General de Recursos Hídricos – En: SDSyA Tierra del Fuego.

Brown Robert M., McClelland Nina I., Deininger Rolf A., and Tozer Ronald G. (1970). "A water quality index- do we dare?". Water and Sewage Works. October. p. 339-343.

Iturraspe R., Urciuolo A., (2000) "Clasificación y Caracterización de las Cuencas Hídricas de Tierra del Fuego". Publicado en Actas XVIII Congreso Nacional del Agua. Ed. UNSE; ISBN: 978-987-99083-4-1. pp 365-366.

Krenkel, P.A., and Novotny, V., (1980). "Water Quality Management", pp. 46-59, Academic Press, Inc.

Wilkes University Center for Environmental Quality Environmental Engineering and Earth Sciences, (2007). "Calculating NSF Water Quality Index". En: http: http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm

Iturraspe R. & Urciuolo A., 2006. Capítulo Los Recursos Hídricos de Tierra del Fuego; del libro "Patagonia Total, Antártida e Islas Malvinas. 2ª parte Naturaleza, ambiente y turismo"; PUBLICADO 2006, Ed. Barcel-Baires. ISBN:13:978-987-21397-7-3; pp 733-754.

V.Ferreiro, E.Nobile, J.Almada., 1983. "Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y de Calidad de Aguas de la Cuenca del Río Grande" realizado por el INCYTH.

Brice, J.C., 1984. "Plataform propieties of meandering rivers"

Shumm, S.S., 1981. "Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications"

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

FOLIO 152

ANEXO II

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 159

Informe de avance del Proyecto de CARACTERIZACIÓN DE AMENAZAS HIDROLÓGICAS DE CRECIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE, TIERRA DEL FUEGO.

1. Introducción

El Objetivo General del proyecto es el de contribuir a la caracterización de los principales riesgos hidro-ambientales existentes en el sector argentino de la cuenca del río Grande.

El Objetivo específico del Proyecto es caracterizar, a nivel preliminar, los parámetros físicos e hidrológicos más relevantes de la amenaza hidrológica como factor de riesgo de crecidas e inundaciones en el valle inferior del río Grande e implementar en forma preliminar un modelo matemático hidrológico que permita simular la propagación de crecidas estimando áreas inundables en la cuenca, cuyo funcionamiento sea factible de ser optimizado en el futuro, en la medida de que se dispongan de datos hidrológicos de mayor detalle y cobertura, incorporando también información y métodos que permitan estimar la transformación de lluvia escorrentía.

Considerando que tanto las playas de mar como los cauces de los ríos y sus aguas corresponden a la categoría de bienes del dominio público del estado y que es a partir de la demarcación de la línea de ribera, que será posible dicha delimitación. En el marco de dicho proyecto, que la Dirección General de Recursos Hídricos de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Ambiente se encuentra trabajando en la demarcación cartográfica de la línea de ribera correspondiente al río Grande en toda la extensión, desde el límite fronterizo con la Republica de Chile hasta su desembocadura en el Océano atlántico. Todos los trabajos se realizan sobre la base de estudios hidrológicos y topográficos serios, utilizados por todos los organismos avocados a la tarea de simular el comportamiento y los efectos del agua sobre el terreno.

El trabajo sobre el río Grande y sus afluentes se encuentra separado en dos etapas, actualmente se trabaja en la segunda, la cual comprende al estuario en su totalidad, área en donde se desarrollaron las últimas campañas de trabajo.

2. Tareas de relevamiento y medición

Las últimas campañas de trabajo, realizadas por el personal de la DGRH, consistieron en el relevamiento y levantamiento de datos topográficos medidos a través de un GPS diferencial, el cual es instrumental topográfico de gran precisión para la adquisición de datos.

La medición efectuada en el estuario se realizó a partir del punto fijo ubicado sobre el Cerro Águila, ubicado próximo al puente de la Ruta Nacional Nro. 3. Este punto fue trasladado a un sector más cercano de la zona de trabajo, para realizar los posicionamientos posteriores. La zona de trabajo abarcó una superficie total de unas 400 has., mas precisamente en la margen izquierda del río Grande incluyendo los sectores de Calle Sarmiento y Av. Perón y la superficie comprendida

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

entre el parque industrial y el puente de la Ruta Nacional Nro. 3., ver Figs. 1, 2, 3, 4 y 5.

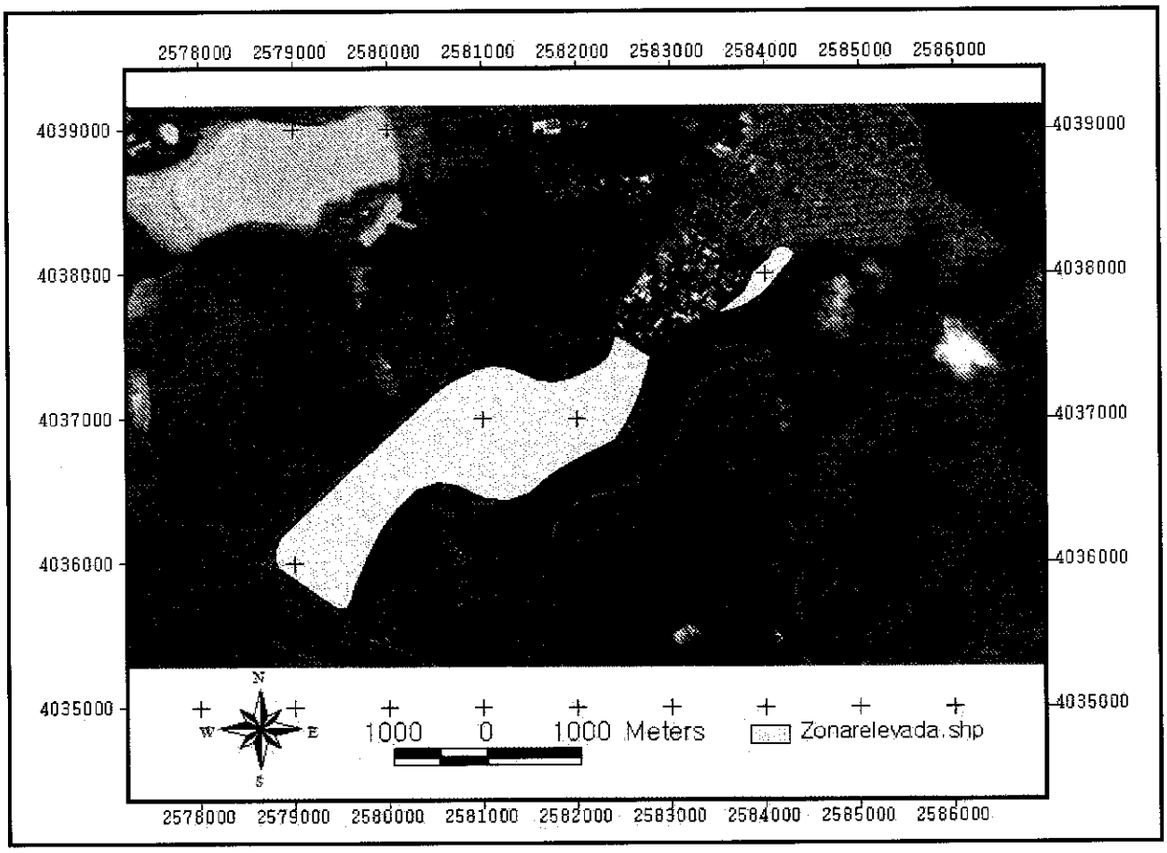


Fig. 1. Zona relevada topográficamente

Dentro de los trabajo se efectuaron tareas de relevamiento de las ocupaciones próximas al río, ver Figs. 5 y 6.

Fig. 2. Traslado del punto fijo.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 156

La información topográfica está ha sido procesada y digitalizada a fin de analizar el terreno, esto permitirá validar los datos con los que actualmente se cuenta y además permitirá generar nueva información para conocer con mayor precisión la dinámica del estuario en este sector.

Fig. 3. Zona relevada próxima a la planta potabilizadora

Fig. 4. Zona relevada próxima al puente de la ruta nacional Nro. 3

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

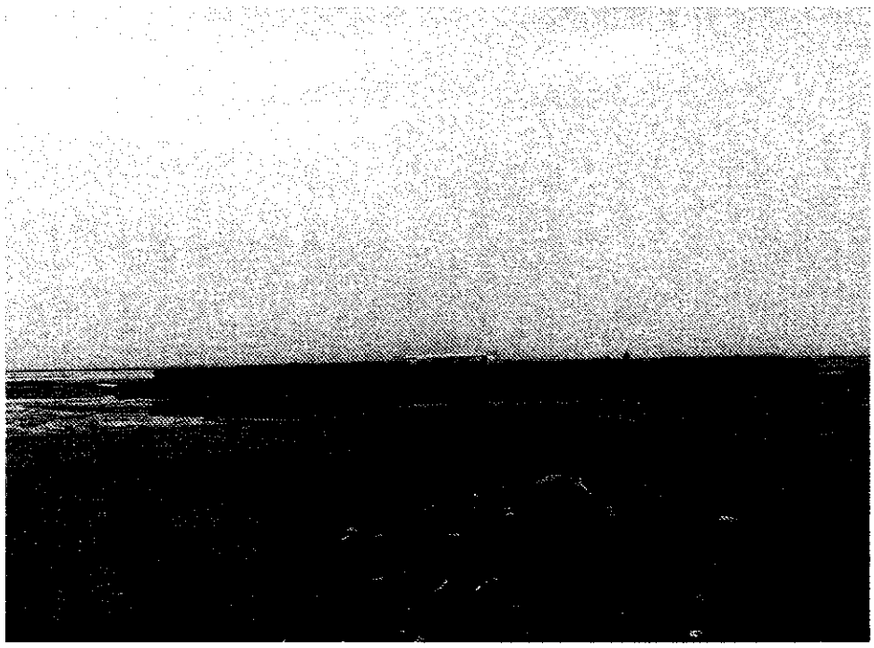


Fig. 5. Zona relevada próxima al parque industrial de la ciudad

En la Fig. 6 se observa claramente la línea de saturación generada sobre un relleno del sector relevado. Esto es causado por el contacto del material no saturado y el agua que ingresó por sobre la llanura de inundación al registrarse un nivel de máxima marea.

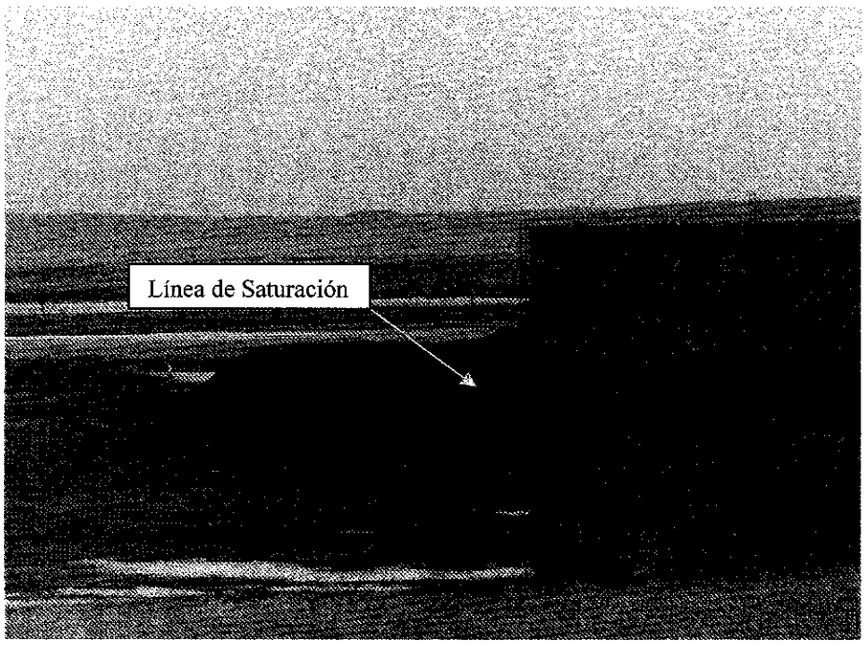


Fig. 6 Zona relevada próxima al parque industrial de la ciudad

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO
150

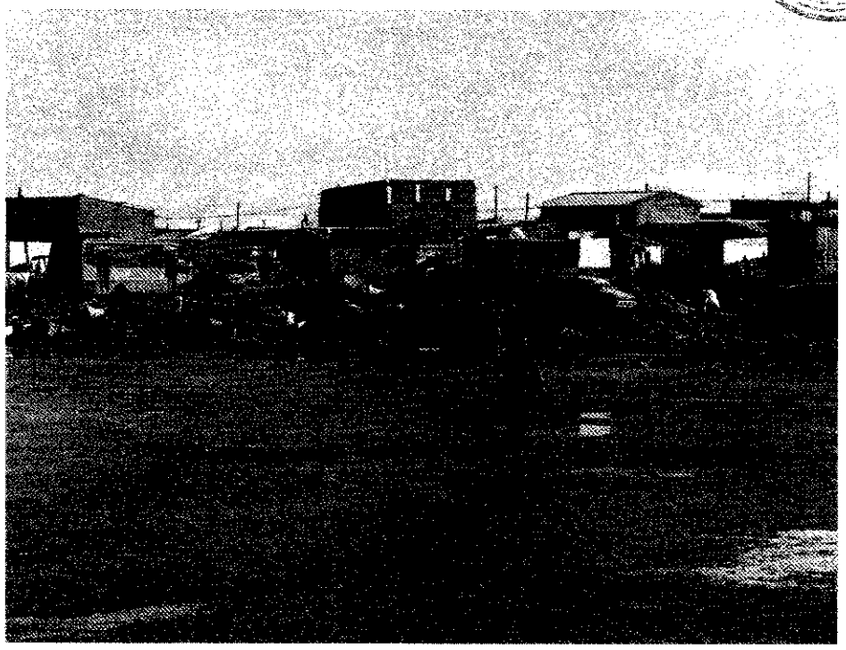


Fig. 7. Zona relevada Calle Sarmiento y Perón

Como resultado del trabajo de campo, también se espera obtener la digitalización del terreno para representar la poligonal que da forma a la línea de ribera. Esta poligonal es obtenida a partir de la modelación hidrodinámica del río, la cual será contrastada con la demarcación convencional a partir de la curva de nivel que se ajusta a la cota correspondiente a los 3,90m.

Durante el mes de Diciembre de 2013, desde la Dirección General de Recursos Hídricos hemos mantenido reuniones con autoridades de la Municipalidad de Río Grande, en donde se hizo entrega de un borrador con la Línea de Ribera del Estuario. Próximamente se hará entrega de la poligonal definitiva que define la Línea de Ribera con las correspondientes coordenadas geográficas.

3. Ocupación de la Ribera y vulnerabilidad

A lo largo de los años, la ribera norte del Estuario del río Grande ha sufrido importantes cambios en los sectores próximos a la ciudad. Aquí se produjeron continuas modificaciones a causa de rellenos en la ribera interna del río con el fin de generar superficies útiles para dar solución a problemas habitacionales.

Actualmente, esta actividad se da en menor medida, pero los propietarios instalados con anterioridad siguen con esta práctica a fin de ampliar su terreno, incorporando de manera sistemática superficie perteneciente a la llanura de inundación Fig. 8. Generalmente en los patios se instalan precarias viviendas que carecen de los servicios sanitarios básicos, vertiendo los efluentes directamente a la ribera Fig 9.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 182

Fig. 8 Relleno de la ribera con escombro y chatarra.

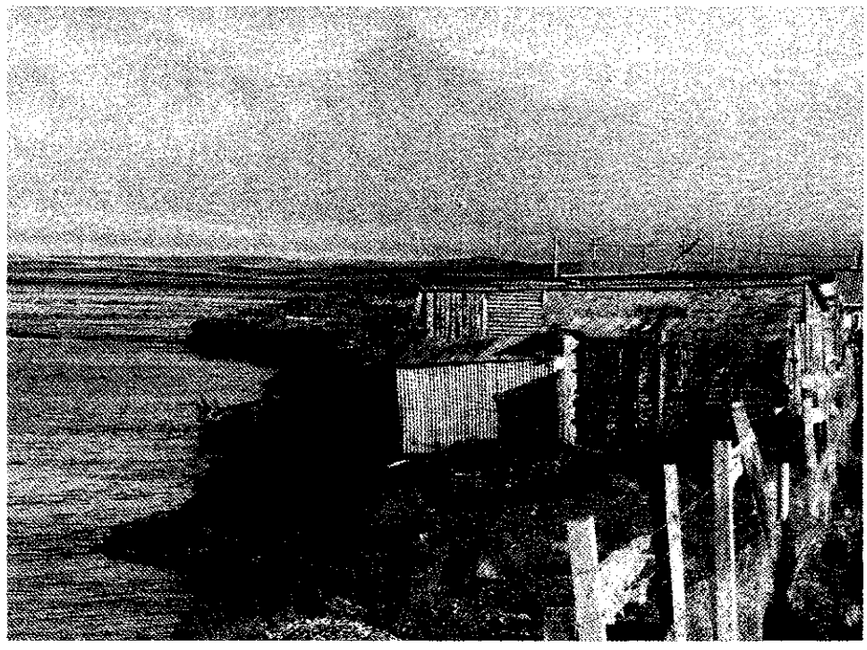


Fig. 9 Instalaciones precarias de viviendas

Lo mencionado en párrafos anteriores no es un tema menor cuando hablamos de línea de ribera y acceso al dominio público. Es grave la situación si consideramos el libre acceso que deben tener los ciudadanos al río para su uso y goce. Sectores críticos como el definido por la calle Sarmiento que costea la ribera norte, son un ejemplo de la falta de libre acceso al dominio público.

La vulnerabilidad de las ocupaciones ribereñas de la margen norte del río Grande es resultado de los propios procesos del desarrollo no sostenible y esto se ve reflejado en el grado de exposición a la ocurrencia o posible ocurrencia de un desastre natural como es la crecida extraordinaria de la marea, del río o una combinación de ambos en el peor de los escenarios.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 160

Estos escenarios serán representados en la modelación hidrodinámica del río Grande para distintos caudales y condiciones de borde dadas por la marea aguas abajo del estuario.

Es muy importante evitar la modificación de la dinámica del agua en el estuario, esto involucra la llanura de inundación, las depresiones y también los sistemas de canales intermareales que permiten el ingreso de agua y el drenaje de los sectores ocupados por agua cuando se registran niveles de marea considerables.

Las mareas máximas son la condición de borde dominante aguas abajo del estuario, principalmente cuando el río no transporta caudales importantes. En caso contrario, se genera una curva de remanso provocada por el choque del frente de marea y caudales de gran magnitud como el acontecido en el año 2006. El remanso será calculado a partir de los resultados del modelo hidrodinámico corrido en la segunda etapa del proyecto.

La disminución de la superficie ocupada por el agua genera un cambio importante en el comportamiento hidráulico del estuario, en particular cuando se presentan eventos extremos como la crecida registrada en el río Grande en el año 2006. Además del comportamiento hidráulico, debe tenerse en cuenta lo importante que es para el estuario la capacidad de auto depuración que se genera con el ingreso y egreso de grandes volúmenes de agua que se ven disminuidos por la ocupación de las superficies inundables..

Observamos en la Fig. 10 eventos de otoño-invierno de 2006 en las cuencas de los ríos Grande y Herminita en secciones de control próximas al límite fronterizo. El registro del Río Grande se interrumpió luego de que el data logger fuera cubierto por el agua. Se estima en 500 a 550 m3/s el máximo caudal en la desembocadura del Río Grande el 30/6/2006.

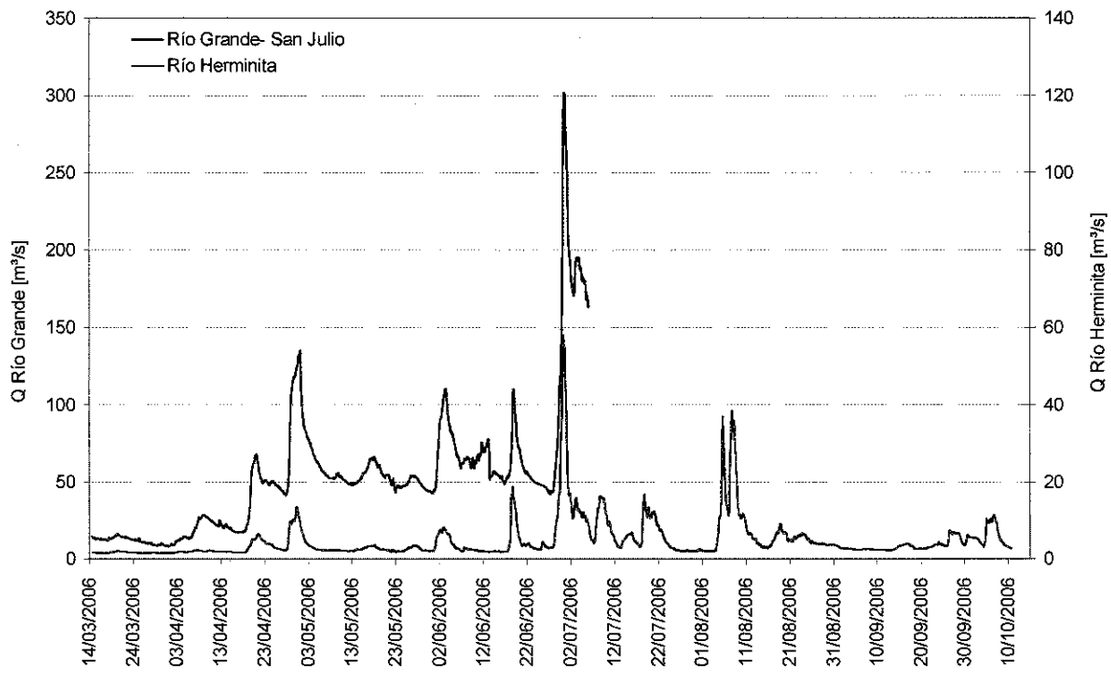


Fig. 10. Hidrogramas del Río Grande y Herminita.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 161

Durante los relevamientos se verificó la existencia de rellenos que cumplen la finalidad de aumentar la cota de fundación de las estructuras que luego serán construidas sobre el terreno. En la Fig. 5 se puede observar el comienzo de obra de lo que parece ser un galpón. El día en que fue sacada la fotografía, el nivel de la marea máxima alcanzó los 8.39m. Esta altura se corresponde a la cota I.G.M. 3.59m. con un plano de referencia ubicado a -4.50m. En las Figs. 5y 6 puede observarse claramente como el agua que ingresó en la llanura de inundación humedeció el relleno. Las fotografías fueron tomadas a las 3 horas de ser registrado el nivel máximo de marea y comenzado su retiro del sector cubierto por agua. Sin embargo se puede observar en las imágenes un suelo totalmente saturado, lo cual fue verificado en el terreno. El cambio en los niveles de saturación del suelo y la salinidad del agua son claros indicadores del alcance que tubo el agua.

Los resultados de las modelaciones son una herramienta de apoyo importante para el trabajo de delimitación de la línea de ribera que separa el dominio público del privado y para la definición de zonas de riesgo hídrico. La modelación llevada adelante por la Dirección General de Recursos Hídricos es la metodología utilizada por todos los organismos a nivel mundial para representar la hidrodinámica de un curso de agua.

A continuación se presenta un resumen del trabajo de modelación del río Grande y la desembocadura de sus afluentes con tramos de aproximadamente 1km a fin de representar sus comportamientos hidráulicos y determinar las zonas comprometidas por las crecidas de distintas recurrencias y el caudal medio ordinario que define la Línea de Ribera.

4. Resumen del trabajo de modelación de la Cuenca del Río Grande para la Caracterización de Amenazas Hidrológicas de Crecidas

El desarrollo de los estudios hidráulicos se centró en la implementación del modelo hidrodinámico, su calibración, verificación y explotación. Para ello se comenzó por definir el área de modelación en función de la información disponible y posible de ser generada en el marco del proyecto.

El área de modelación se definió como el tramo del río Grande comprendido entre el límite fronterizo con la Republica de Chile y su desembocadura en el Océano atlántico. De esta forma, el tramo modelado abarca una extensión aproximada de 105Km dividida en dos etapas de trabajo. Estas etapas de trabajo fueron definidas en función de las condiciones de borde utilizadas para la modelación.

Durante la etapa de recopilación de información, fue posible obtener información sobre algunas secciones transversales del río, de las cuales algunas corresponden a las estaciones de aforo, mientras que otras corresponden a secciones de estructuras hidráulicas como el puente ubicado sobre ruta 3 y las alcantarillas del terraplén de la ruta.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 162

Como información topográfica básica se cuenta con un modelo digital de terreno que cubre el tramo de 105km mencionado. En función de la información topográfica disponible, se definió la ubicación y el número de secciones a utilizar en el modelo y aquellas que debían ser relevadas para complementar la información existente.

Inicialmente se definió la necesidad de realizar el relevamiento topo-batimétrico de 15 secciones transversales, incluyendo la sección del río y la planicie de inundación hasta una cota apropiada para la modelación. La ubicación de estas secciones es variable, existiendo una mayor densidad en lugares donde es necesario obtener una mayor resolución.

Definida la ubicación de las secciones a utilizar en el modelo, se realizó la determinación de las secciones transversales en cada uno de los perfiles. Esta información junto a la información de secciones transversales ya relevadas, fue introducida en el modelo para poder definir la configuración del mismo.

Posteriormente, esta información fue complementada con la información topográfica obtenida de los relevamientos específicos realizados por la Dirección de General de Recursos Hídricos en el marco del Proyecto. Previo a su incorporación al modelo, se efectuó la depuración y un análisis de la información generada con la existente proveniente de diferentes fuentes. Dentro de la información validada durante el último relevamiento, se encuentran los puntos brindados por la Municipalidad de la Ciudad de Río Grande. Estos puntos solo corresponden a una parte de la información necesaria para modelar el Estuario esta segunda etapa del proyecto.

4.1. Objetivo del modelo hidrodinámico

Desde el punto de vista físico las crecientes en ríos son modeladas mediante ecuaciones hidrodinámicas que permiten evaluar el caudal y el nivel del agua a lo largo del curso y en cualquier instante de tiempo. De esta manera es posible predecir la evolución temporal de niveles y caudales resultantes de un evento de creciente determinado.

La herramienta numérica implementada reproduce adecuadamente las condiciones hidrodinámicas actuales del río Grande en toda su extensión, permitiendo por una parte definir la zona potencialmente inundable correspondiente a diferentes eventos extraordinarios de creciente, y por otra parte diagnosticar las principales causas de las inundaciones, como también la predicción del efecto que sobre los niveles y caudales tendrán diversas intervenciones y obras que se proyecten sobre la llanura de inundación del río Grande.

Es importante subrayar que en el marco de este Proyecto, el principal objetivo del modelo es la reproducción de situaciones de creciente para zonificar desde el punto de vista de niveles de inundación.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 163

4.2. Implementación

Se construyó un modelo hidrodinámico unidimensional que abarca el tramo del río Grande comprendido entre la frontera Argentina-Chile y su desembocadura en el Océano Atlántico.

Las secciones transversales del curso y su planicie de inundación se obtuvieron de tres fuentes principales: relevamientos de campo efectuados durante los primeros meses de desarrollo del Proyecto, en donde se efectuaron mediciones topográficas de la llanura de inundación y relevamientos de los cauces del río Grande y sus afluentes con las correspondientes mediciones hidrométricas. Para definir la geometría transversal de la red de drenaje de la cuenca del río Grande, se plantearon 15 secciones transversales, con 9 de ellas sobre el cauce del río Grande y las 6 restantes sobre los afluentes, ver Fig. 11.

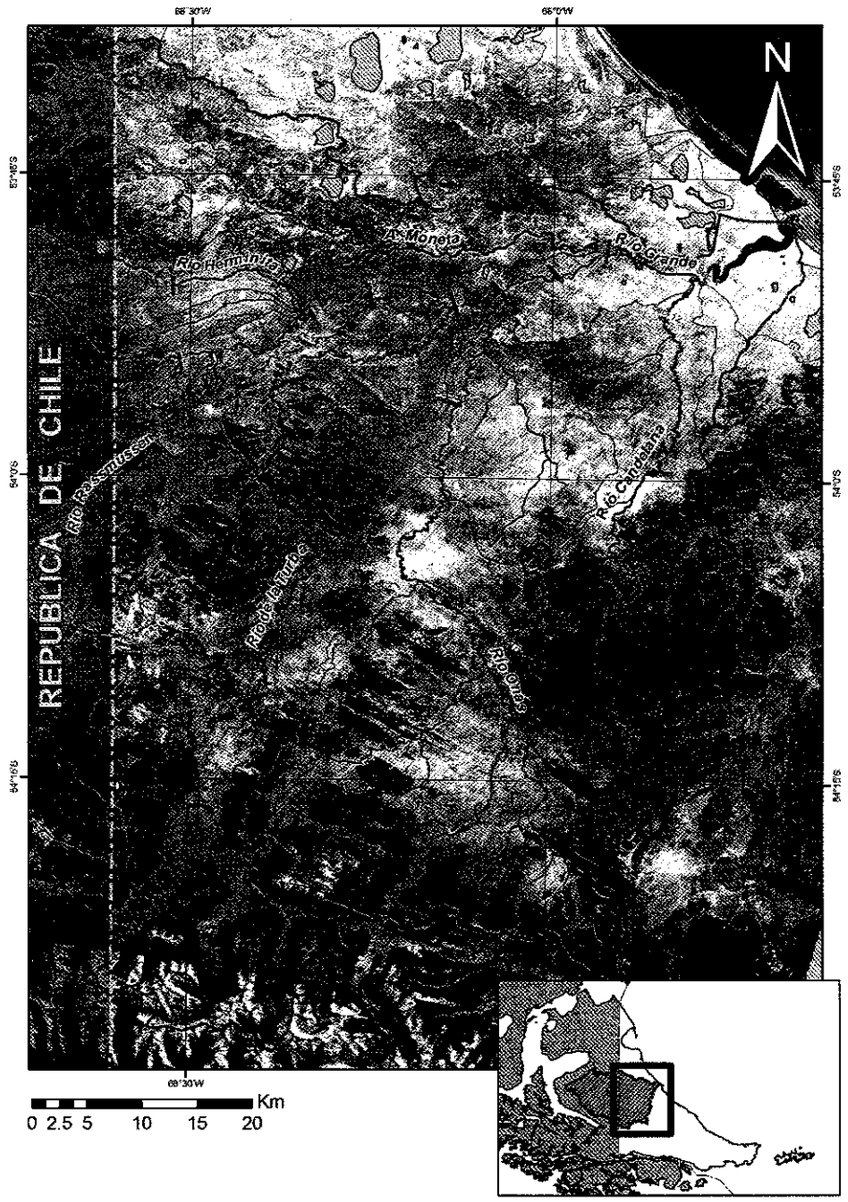


Figura 11. Ubicación de las secciones transversales sobre la cuenca.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 164

Una vez definidas las secciones se posicionó una red de puntos fijos lo mas cercano a las mismas y de está manera la metodología implementada resulta mas eficiente y con un menor margen de error altimétrico. Antes de realizar las tareas campo fue necesario el diseño de la red de trabajo y un análisis de disponibilidad y distribución de satélites con previo análisis de distintas imágenes satelitales

4.2.1. Técnicas de medición implementadas con GPS.

Las técnicas empleadas de medición con GPS son con posicionamiento relativo, es decir que requieren de dos receptores. Un receptor (la estación base) queda fija en un punto. El otro receptor (itinerante) es posicionado en cada uno de los puntos cuyas coordenadas se quieren determinar.

El método de medición GPS nos permitió reducir el tiempo de relevamiento prácticamente al tiempo que se demora en trasladar el receptor de un punto a otro.

El receptor que utilizado es un ProMark2, que adquiere y almacena datos de satélite GPS "crudos", en cada punto de medición. Los datos de cada ProMark2 han sido post-procesados para determinar la posición relativa de los puntos medidos.

El software de post-procesado empleado es el Ashtech Solutions 2.7, que es el que viene incluido con el equipo. El mismo proporcionó las herramientas requeridas para transferir y procesar datos GPS desde el receptor ProMark2, de esta forma producir posiciones relativas de todos los puntos medidos.

La antena GPS externa empleada es de Fase simple, marca Ashtech, modelo 110454. La misma es el punto físico de toma de datos para los datos "crudos" del satélite GPS.

La posición en planta de los perfiles transversales de los cauces de la red de escurrimiento definida, se volcó al SIG con el objeto de determinar con el apoyo de imágenes satelitales para la condición de inundación registrada el 30 de Junio de 2006, la posición y el ancho de los valles en correspondencia con cada cauce y cada progresiva. Se determinaron a continuación los perfiles transversales de la zona de desborde, los que serán incorporados al modelo Hec-RAS que se implementará como segunda etapa en el marco del proyecto "CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE AMENAZA HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE, TIERRA DEL FUEGO".

4.2.2. Aforos, Medición batimétrica.

Para calcular el caudal que escurría en cada una de las 15 secciones planteadas en los ríos, se realizaron aforos con molinete hidrométrico utilizando el método de relación sección-velocidad, que consintió en medir la sección con la batimetría, y subdividiendo en áreas parciales donde se midió la profundidad en tramos separados en un 10 % del ancho total, ver Fig. 11.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 165

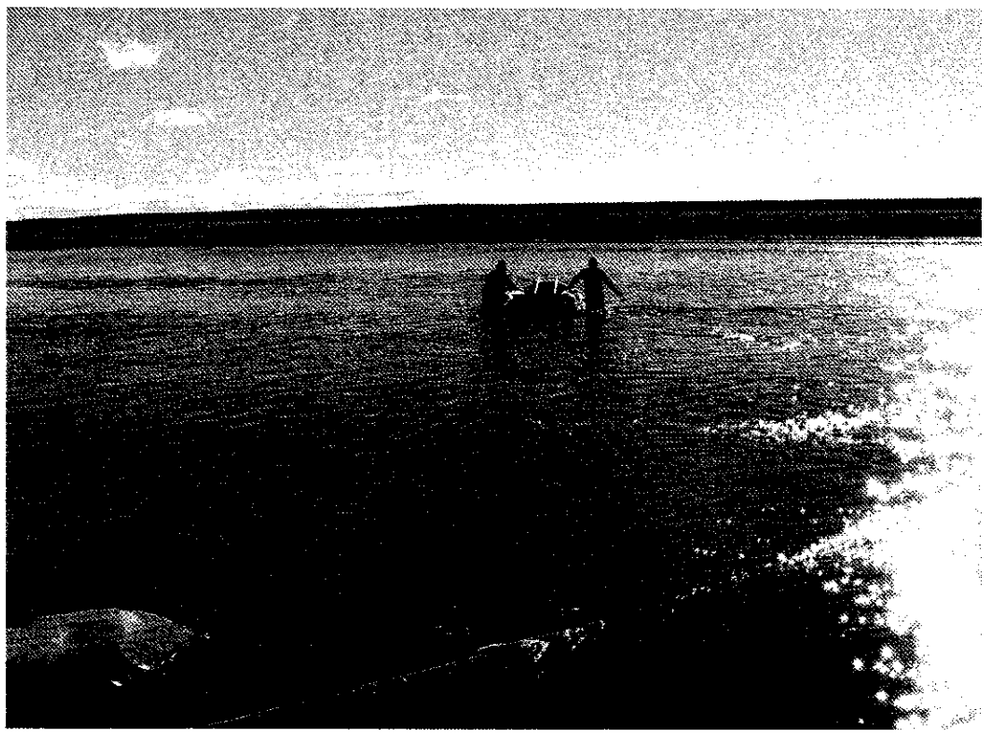


Fig. 11. Aforo y medición batimétrica en el río Grande.

4.2.3. Análisis del Terreno

Para la implementación del modelo numérico se necesita en principio el modelo digital del terreno en formato TIN, del mismo se obtendrán las secciones transversales y se complementará con trabajos topo-batimétricos de secciones transversales al río Grande como sus tributarios.

El MDT (modelo digital del terreno) en formato TIN (Trianguled Irregular Network) debe ser lo más detallado posible. El MDT es una modelación de la topografía compuesta por un mosaico de celdas de pequeñas dimensiones que cubren la totalidad de la zona de estudio y a las que se les asigna un valor de cota representativo. Del archivo en formato TIN se extraen los datos geométricos de las secciones transversales. Este modelo fue realizado por la nasa, tiene 3 segundos de resolución, celdas de 90 m x 90 m. La versión utilizada es la última (SRTM V3).

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO Nº 166

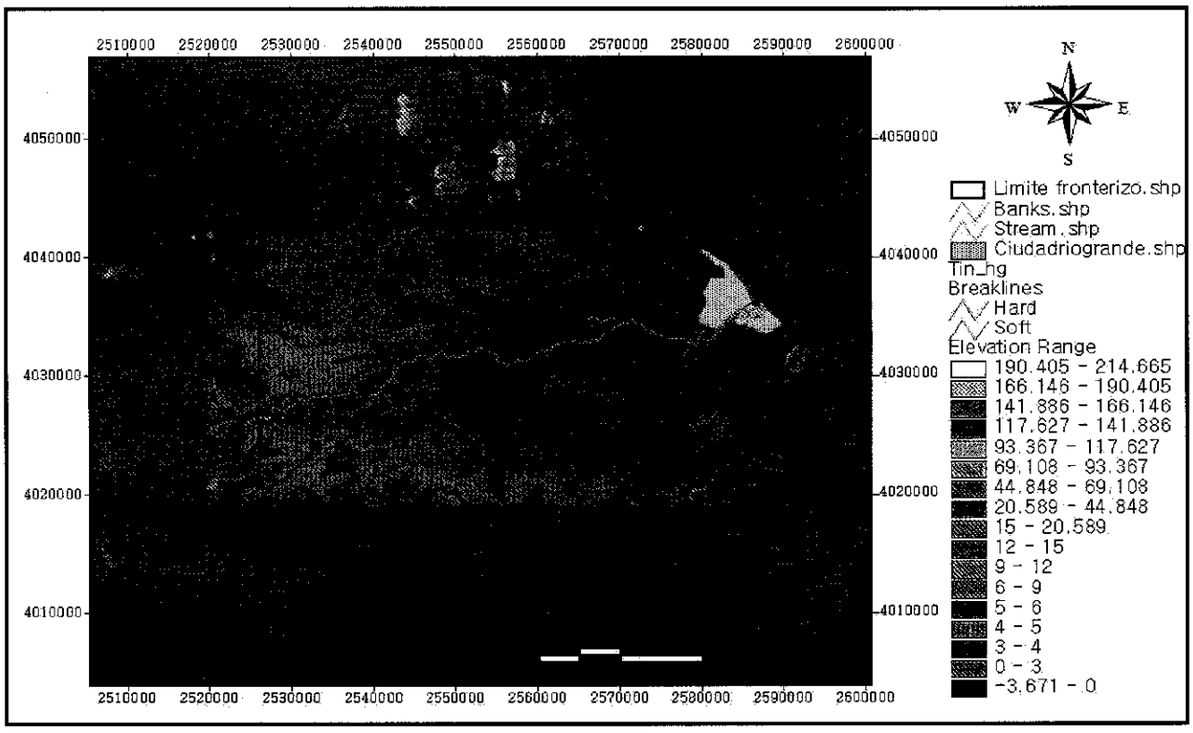


Fig. 12. Modelo Digital del Terreno SRTM V3 con un rango de elevación 0 a 214 metros.

4.3. Descripción del modelo hidrodinámico utilizado

El modelo implementado es un modelo de flujo no estacionario a superficie libre (modelo hidrodinámico) que se basa en la solución numérica de las ecuaciones completas de Saint Venant unidimensionales. Las ecuaciones de Saint Venant resultan de la aplicación de los principios de conservación de la masa y conservación de la cantidad de movimiento integrados en la sección transversal al escurrimiento, adoptando las hipótesis de fluido homogéneo incompresible, pendiente de fondo pequeña y longitudes de onda mucho mayores que la profundidad del flujo, de forma que el flujo pueda asumirse siempre con dirección paralela al fondo y por tanto puedan despreciarse las aceleraciones verticales y asumirse distribución hidrostática de presiones en la misma.

El sistema de ecuaciones de Saint Venant constituye un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales no lineales de tipo hiperbólico, cuya forma más clásica de resolución numérica es utilizando alguna variante de los métodos de diferencias finitas. Una expresión típica de este sistema es:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + g A \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g Q |Q|}{C^2 A R} = 0$$

Donde:

A es el área de la sección de flujo

q es el ingreso lateral de caudal

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 167

α es el coeficiente de distribución de la cantidad de movimiento

g es la aceleración gravitacional

C es el coeficiente de rugosidad de Chezy

R es el radio hidráulico de la sección

La modelación hidrodinámica unidimensional se realiza con el software HEC-RAS (River Analisys System) versión 3.1.1., desarrollado por U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center tomando como referencia HEC (2002a y 2002b) y la extensión HEC-GeoRAS en su versión 3.1.1 que es una extensión para ArcView 3.2 desarrollada conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center del United States Army Corps of enginneers y el Environmental System Research Institute (ESRI).

4.4. Descripción de resultados

El objetivo primordial del modelo es obtener la altura del agua en ríos con regímenes permanentes o de flujos discontinuos calculando el área mojada de las secciones transversales, también admite otras posibilidades relacionadas con la acción geomorfológica de la escorrentía (ej. denudación fluvial). La realización en el Hec-Ras del proyecto ordinario orientado al análisis de zonas inundables requiere información relacionada con la fisiografía del aparato fluvial y los registros foronómicos, debiéndose sistematizar en los siguientes apartados: datos geométricos del cauce, flujos de agua y especificaciones técnicas de la simulación. Los datos geométricos hacen referencia al aspecto de la sección transversal del cauce, pieza clave del modelo porque a partir de ella se realizan todos los cálculos.

Son aproximadamente 400 secciones configuradas para todos los tramos del modelo, ver Figs. 12 y 13, por la naturaleza de la información que contienen se las ubicó en lugares donde se producen variaciones significativas en las condiciones hidráulicas, siendo el caso de las zonas con pérdida de carga y espacios con importantes cambios en la pendiente, en el coeficiente de rugosidad de Manning o en el perfil, e incluso se debió considerar la presencia de obras civiles como la obstrucción generada por el terraplén de la ruta 3, a pesar de contar con alcantarillas. Otro nivel de información al que nos hemos referido con anterioridad son los flujos de agua, es decir, los caudales de descarga registrados en distintos puntos del cauce. Estos datos han sido obtenidos en base a una estimación de los niveles picos medidos en el río Grande para el día 30 de Junio de 2006.

Es utilizada para el trabajo, una extensión para SIG, el HEC-GeoRAS, que facilita la tarea de contar con las secciones transversales automáticamente sobre un Modelo Digital del Terreno (MDT), de esta forma se genera un archivo para importar a HEC-RAS datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río, secciones transversales, etc., ver Fig. 12 de la Etapa 2 perteneciente al estuario.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

Poder Legislativo
FOLIO
168
Secretaría Legislativa

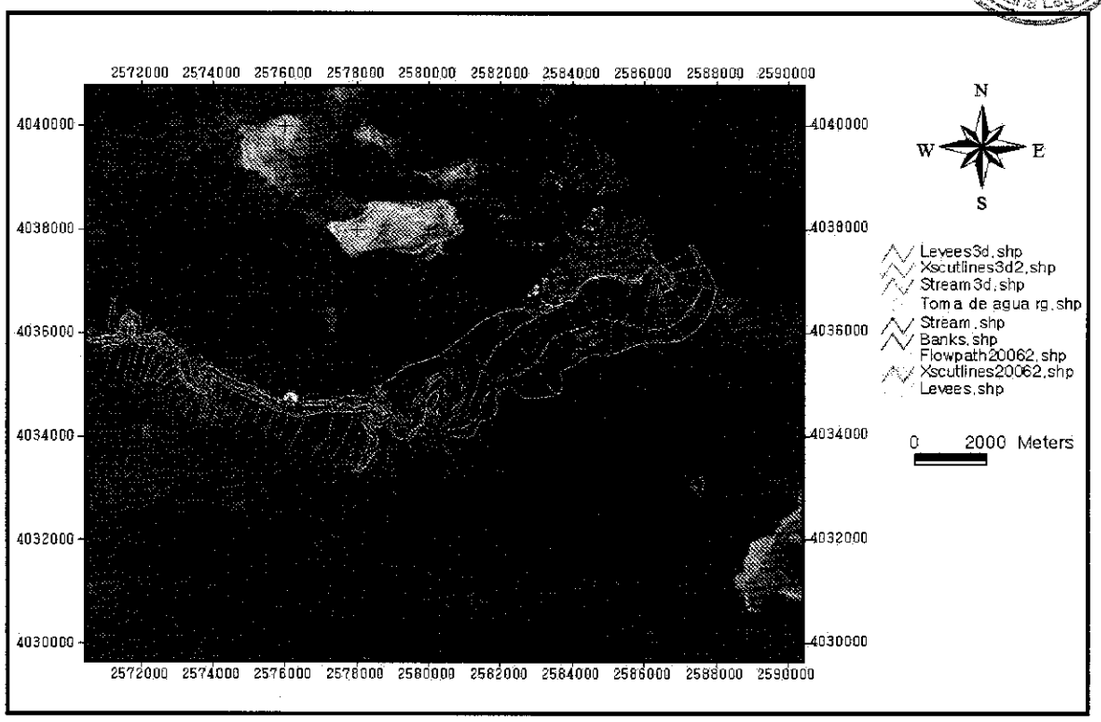


Fig. 12. Secciones trazadas en el modelo para la Etapa 2 del proyecto

Trabajando con el archivo en HEC-RAS, se obtiene la geometría del río con el trazo de las secciones transversales, observamos la forma de la sección del cauce y el resultado de la elevación del nivel de agua según los caudales estimados, ver Figs. 13 y 14.

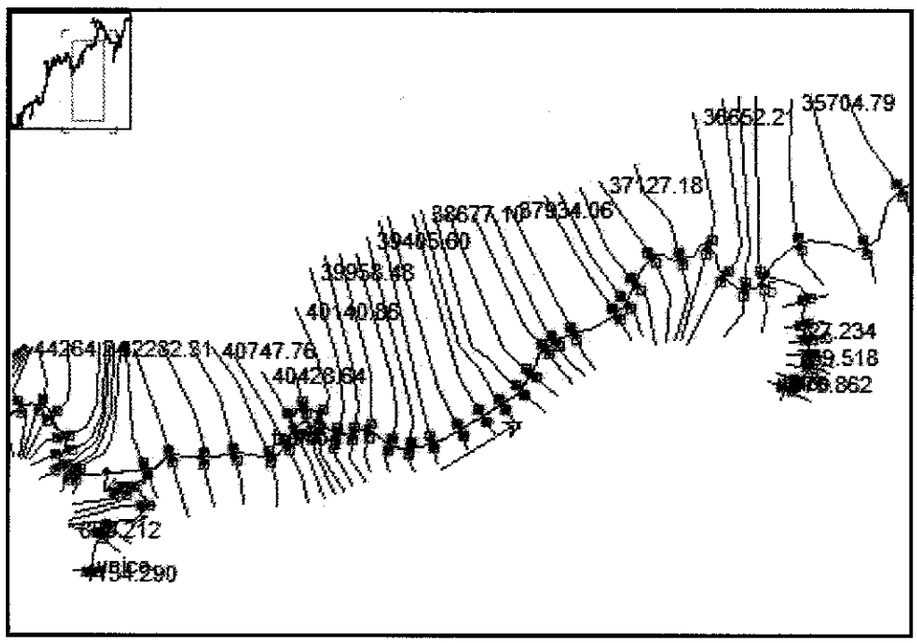


Fig. 13. modelo del tramo 4 importado por Hec Ras

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

Poder Legislativo
FOLIO
168
Secretaría Legislativa

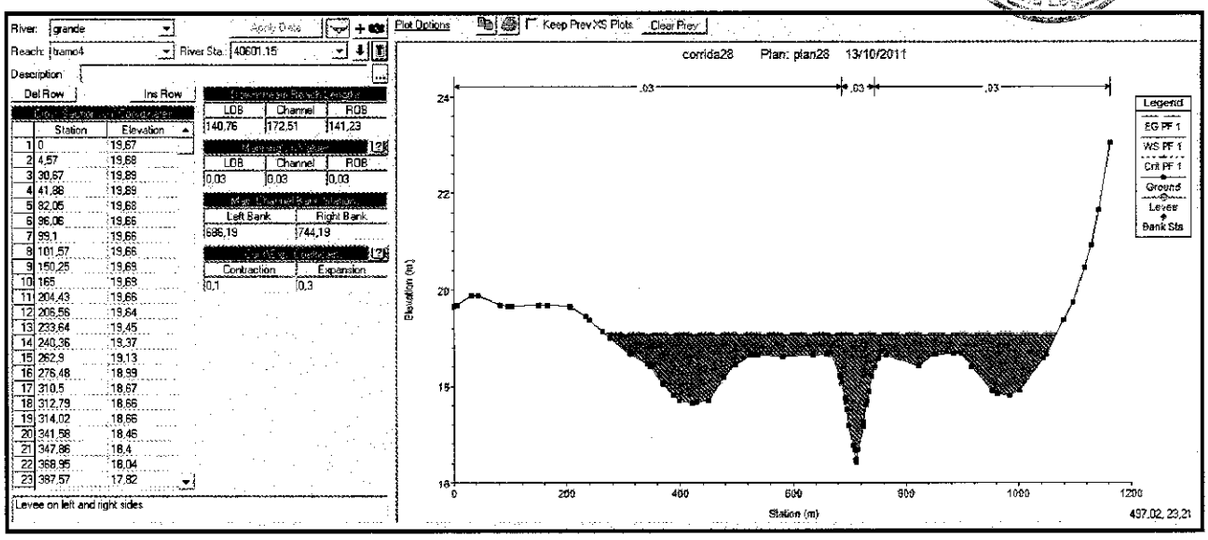


Fig. 14. Geometría de sección importada en el tramo 4 luego de la modelación

Los resultados obtenidos de calados y velocidades se exportan desde HEC-RAS a ArcView y son procesados para obtener mapas de inundación y riesgo. Básicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS 3.1.3. Este modelo permite estimar los niveles alcanzados por el agua en un canal, o sistema de canales (natural artificial), con flujo permanente o transitorio, gradualmente variado, en condiciones de flujo subcrítico, supercrítico o combinaciones de ambos. El procedimiento de cálculo utilizado es la solución unidimensional de la ecuación de energía y de continuidad y las pérdidas friccionales son evaluadas mediante la ecuación de Manning.

En las tablas 1 y 2 puede observarse la información hidráulica estimada por el modelo en las primeras corridas realizadas sobre el tramo 4 del río Grande.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 170

HEC-RAS Plan: plan28 River: grande Reach: tramo4 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
tramo4	41665.78	PF 1	462,00	17,17	20,35	19,88	20,41	0,000789	1,39	526,87	705,79	0,33
tramo4	41455.74	PF 1	462,00	17,09	20,08	19,69	20,18	0,001611	1,80	402,25	661,16	0,46
tramo4	41215.95	PF 1	462,00	17,00	19,43	19,27	19,59	0,003853	2,14	272,20	403,09	0,67
tramo4	40998.13	PF 1	462,00	16,79	19,31	19,06	19,33	0,000492	0,86	718,71	977,78	0,24
tramo4	40747.76	PF 1	462,00	16,56	19,16	18,83	19,19	0,000693	1,28	587,69	776,17	0,31
tramo4	40601.15	PF 1	462,00	16,42	19,05	18,72	19,09	0,000756	1,29	582,63	794,33	0,32
tramo4	40428.64	PF 1	462,00	16,25	18,94	18,43	18,99	0,000546	1,22	588,10	710,17	0,28
tramo4	40276.69	PF 1	462,00	16,11	18,72	18,38	18,85	0,001975	2,22	380,73	692,31	0,52
tramo4	40140.86	PF 1	462,00	15,94	18,50	18,29	18,63	0,001772	2,02	369,47	553,80	0,49
tramo4	39958.48	PF 1	462,00	15,70	18,31	17,95	18,40	0,001196	1,78	419,73	672,21	0,41
tramo4	39841.02	PF 1	462,00	15,54	18,27	17,77	18,30	0,000443	1,16	759,30	1099,62	0,25
tramo4	39725.25	PF 1	462,00	15,39	18,22	17,65	18,25	0,000477	1,19	711,40	1002,31	0,26
tramo4	39543.95	PF 1	462,00	15,15	18,13	17,42	18,16	0,000474	1,11	662,77	1002,46	0,26
tramo4	39405.60	PF 1	462,00	14,96	18,08	17,48	18,11	0,000378	1,07	803,85	1207,59	0,23
tramo4	39245.35	PF 1	462,00	14,77	17,97	17,44	18,04	0,000715	1,59	596,24	1132,06	0,33
tramo4	39028.15	PF 1	462,00	14,65	17,86	17,37	17,91	0,000558	1,34	616,83	1041,86	0,29
tramo4	38838.96	PF 1	462,00	14,59	17,77	17,23	17,81	0,000548	1,22	671,91	1085,04	0,28
tramo4	38677.10	PF 1	462,00	14,54	17,72	17,04	17,74	0,000288	0,89	937,44	1420,31	0,20
tramo4	38516.17	PF 1	462,00	14,49	17,65	17,13	17,69	0,000447	1,16	735,27	1209,88	0,25
tramo4	38372.66	PF 1	462,00	14,44	17,41	17,27	17,57	0,001322	2,27	405,60	874,50	0,45
tramo4	38165.57	PF 1	462,00	14,31	17,24	17,02	17,33	0,000893	1,76	483,12	870,16	0,37
tramo4	38073.62	PF 1	462,00	14,17	17,07	16,96	17,22	0,001326	2,27	425,98	888,68	0,45
tramo4	37934.06	PF 1	462,00	13,96	17,01	16,13	17,08	0,000630	1,59	523,96	753,14	0,31
tramo4	37600.98	PF 1	462,00	13,46	16,42	15,79	16,72	0,001899	2,52	213,12	163,42	0,53
tramo4	37497.01	PF 1	462,00	13,30	16,32	15,51	16,53	0,001304	2,25	278,01	291,28	0,45
tramo4	37339.85	PF 1	462,00	13,07	16,26	15,25	16,35	0,000652	1,65	445,03	498,07	0,32
tramo4	37127.18	PF 1	462,00	12,83	16,18	15,34	16,23	0,000402	1,34	646,45	851,45	0,25
tramo4	36897.51	PF 1	462,00	12,72	16,06	14,87	16,13	0,000477	1,49	591,38	926,27	0,28
tramo4	36652.21	PF 1	462,00	12,60	16,00	14,72	16,04	0,000338	1,32	732,43	1127,17	0,24
tramo4	36405.78	PF 1	462,00	12,48	15,80	14,60	15,92	0,000737	1,90	458,98	873,63	0,35
tramo4	36230.82	PF 1	462,00	12,40	15,72	14,51	15,81	0,000566	1,68	579,73	1301,98	0,31
tramo4	36086.56	PF 1	462,00	12,33	15,71	14,26	15,74	0,000222	1,05	891,63	1379,16	0,19

Tabla 1. Información hidráulica resultado de la modelación en HEC-RAS

River: grande Profile: PF 1
Reach: tramo4 RS: 40601.15 Plan: plan28

Plan: plan28 grande tramo4 RS: 40601.15 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	19,09	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0,04	Wt. n-Val.	0,030	0,030	0,030
W.S. Elev (m)	19,05	Reach Len. (m)	140,76	172,51	141,23
Crit W.S. (m)	18,72	Flow Area (m2)	276,91	96,57	209,15
E.G. Slope (m/m)	0,000756	Area (m2)	276,91	96,57	209,15
Q Total (m3/s)	462,00	Flow (m3/s)	193,76	124,20	144,04
Top Width (m)	794,33	Top Width (m)	415,16	58,00	321,16
Vel Total (m/s)	0,79	Avg. Vel. (m/s)	0,70	1,29	0,69
Max Chl Dpth (m)	2,63	Hydr. Depth (m)	0,67	1,67	0,65
Conv. Total (m3/s)	16799,5	Conv. (m3/s)	7045,7	4516,0	5237,7
Length Wtd. (m)	152,89	Wetted Per. (m)	415,21	58,12	321,19
Min Ch El (m)	16,42	Shear (N/m2)	4,95	12,32	4,83
Alpha	1,27	Stream Power (N/m s)	3,46	15,85	3,33
Frctn Loss (m)	0,10	Cum Volume (1000 m3)	1327,73	747,05	498,94
C & E Loss (m)	0,00	Cum SA (1000 m2)	2515,07	283,54	744,19

Tabla 2. Información hidráulica perteneciente al tramo 4

Una vez realizada la corrida del programa HEC-RAS procederemos a visualizar el mapa de inundación sobre el formato TIN. En la Fig. 15 puede observarse el resultado de la modelación con un caudal similar al ocurrido en la crecida del año 2006 para el tramo 4, representado sobre el modelo digital de terreno. También se observa la superficie mojada por el caudal medio ordinario correspondiente al tramo.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

Poder Legislativo FOLIO 171 Provincia Legislativa

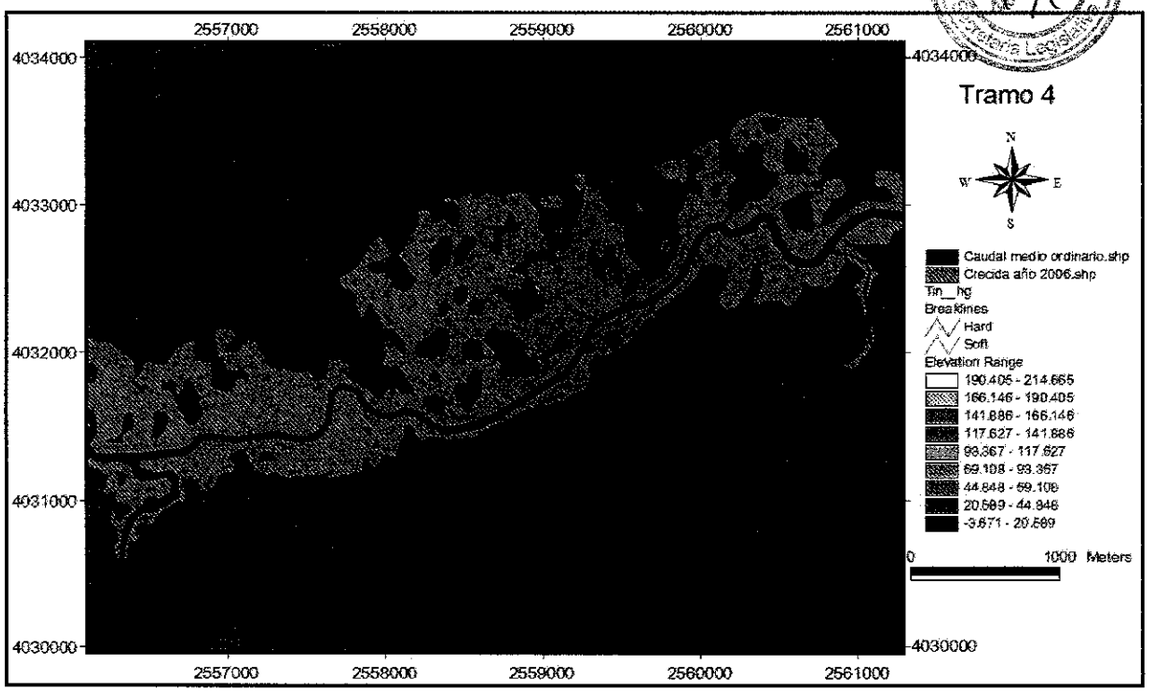


Fig. 15. Resultado de la modelación del tramo 4 del río Grande.

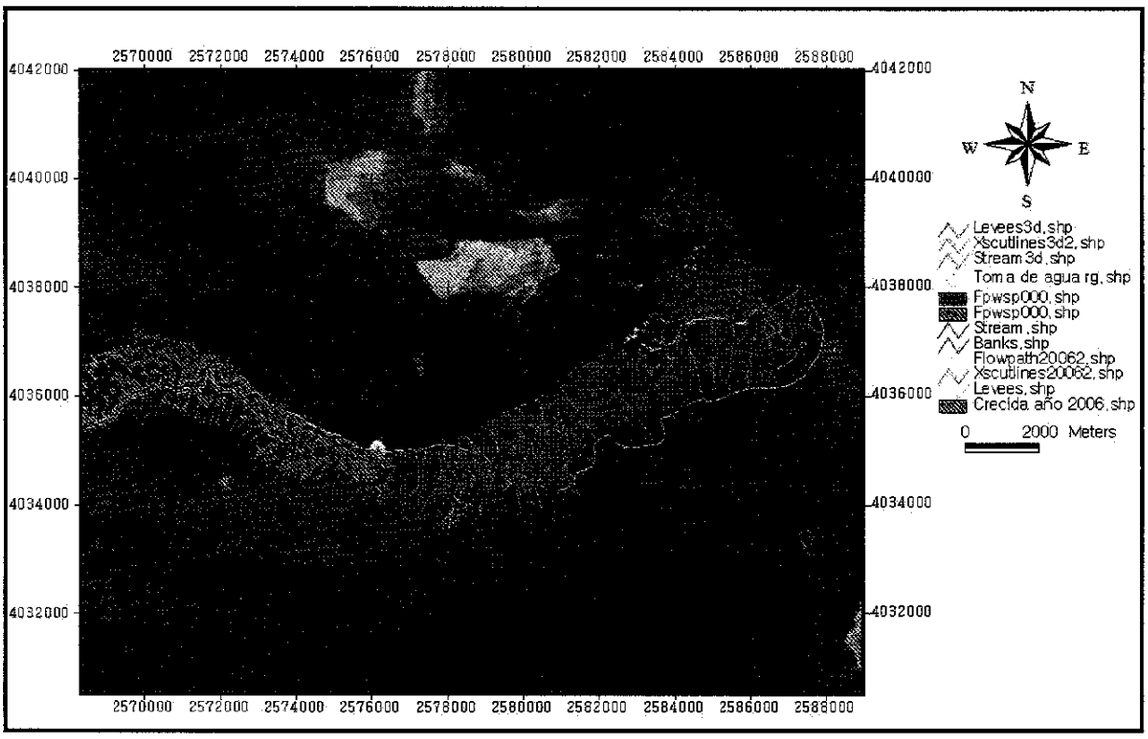


Fig. 16. Primera aproximación del modelo para crecidas extraordinarias en el estuario.

La superficie representada en color azul, ver Fig. 16, es el sector modelado en la segunda etapa y que involucra al estuario en su totalidad. El resultado de la modelación representado con este color es el correspondiente a la primera simulación del posible escenario que presentaría en caso de coincidir el caudal registrado en el evento extraordinario del año 2006 con un valor de marea máxima extraordinaria.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO
Secretaría Legislativa

Conclusión

La municipalidad de la ciudad de Río Grande ha sido notificada de la cota que define el límite entre el dominio público y el privado hace más de tres años, sin embargo recientemente se ha verificado la existencia de rellenos en terrenos próximos a la ribera interna del río, cercanos a los 3,60m de cota.

Cabe aclarar que los límites son necesarios para disminuir y acotar los posibles daños provocados por crecidas del río Grande y niveles de marea, ya sean daños reales o potenciales, de modo que se disminuyan y minimicen los efectos negativos de las posibles inundaciones, que generan enormes costos al estado y a los bienes particulares involucrados. Además es necesario proceder a dicha delimitación para continuar en forma adecuada con el ordenamiento ambiental del sector ribereño, y así disponer de una herramienta importante de planificación.

Lo mencionado en párrafos anteriores no es un tema menor cuando hablamos de línea de ribera y acceso al dominio público. Además de la situación ambiental, también es importante considerar el libre acceso que deben tener los ciudadanos al río para su uso y goce. Sectores críticos como el definido por la calle Sarmiento que costea la ribera norte, son un ejemplo de la falta de libre acceso al dominio público por parte de los ciudadanos. Actualmente se observa la misma tendencia en el parque industrial de la ciudad, en donde los terrenos otorgados a los emprendimientos privados posiblemente formen una barrera física para el libre acceso al río.

La vulnerabilidad de las ocupaciones ribereñas de la margen norte del río Grande es resultado de los propios procesos del desarrollo no sostenible y esto se ve reflejado en el grado de exposición a la ocurrencia o posible ocurrencia de un desastre natural como por ejemplo una crecida extraordinaria de la marea, del río o la combinación de ambos eventos presentado como el peor de los escenarios.

Es muy importante evitar modificar de la dinámica del agua en el estuario, esto involucra la llanura de inundación, depresiones y también sistemas de canales intermareales que permiten el ingreso de agua y el drenaje de los sectores bajos cuando se registran niveles de marea considerables. La disminución de la superficie ocupada por el agua genera un cambio importante en el comportamiento hidráulico del estuario, en particular cuando se presentan eventos extremos como la crecida registrada en el año 2006. Para conservar las características Hidro-Ambientales del estuario es muy importante mantener la capacidad de auto depuración generada por el ingreso y egreso de grandes volúmenes de agua que se vería disminuido por la ocupación de las superficies inundables.

A fin de calibrar y validar el modelo se espera contar próximamente con los resultados del relevamiento hechos durante el presente año, con lo que será posible ajustar el modelo digital de terreno, utilizado para las crecidas extraordinaria de diversas recurrencias y el caudal que junto al nivel de marea establecen los límites entre el dominio público y el privado.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO
Nº 173
Secretaría Legislativa

A corto plazo se pretende comenzar con la materialización de puntos fijos ubicados en la ribera del estuario, los cuales permitirán materializar la poligonal de la línea de ribera que posteriormente será validada con los resultados de la modelación hidrodinámica. Este trabajo deberá ser de manera coordinada con la municipalidad de Río Grande. Posteriormente se deberá efectuar el deslinde correspondiente del dominio público del privado.

Próximamente se comenzará con el trabajo de adquisición de datos de campo y análisis de información para realizar la modelación de la transformación de lluvia-escorrentía a fin de avanzar en la implementación de un sistema de alerta temprana para catástrofes hídricas y el correspondiente plan de contingencia elaborado coordinadamente con el resto de organismos involucrados.

Cabe aclarar que para la implementación de un sistema de alerta temprana, deberá instalarse instrumental que transfiera la información de manera remota. Este instrumental deberá ser instalado estratégicamente a partir de la información de la modelación hidrodinámica e hidrológica, su posterior análisis y la determinación de las áreas sensibles de la cuenca.

Poder Legislativo
FOLIO
174
Secretaría Legislativa

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE AMENAZA HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE, TIERRA DEL FUEGO.

1 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA 2

1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES 3
1.2 MARCO DE REFERENCIA 3
1.3 ANTECEDENTES: 4
1.4 CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO 5

2 RESULTADOS DE TRABAJOS DE RECONOCIMIENTO EN LA CUENCA 16

2.1 EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA AMENAZA HIDROLÓGICA 17
2.2 PRINCIPALES ACTIVIDADES DETECTADAS EN LA CUENCA 17
2.3 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA HIDROLÓGICA DEL RÍO GRANDE. 18

3 INFORMACIÓN RECOPILADA RELATIVA A LA CRECIDA DE 2006...21

3.1 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN 22
3.1.1 Patrones climáticos desencadenantes 23

4 PERFILES TRANSVERSALES. MAPAS TEMÁTICOS PRELIMINARES 29

4.1 INTRODUCCIÓN 30
4.2 TRABAJOS DE CAMPO 30
4.3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO HEC-GEORAS 35

BIBLIOGRAFÍA 44

Poder Legislativo
FOLIO
175
Cámara Legislativa

1 Recopilación de Información Básica

Poder Legislativo
FOLIO
176

1.1 Objetivos y Alcances

Objetivo General. Contrubuir a caracterzar los pricipales riesgos hidro-ambientales existentes en el sector argentino de la cuenca del río Grande.

Objetivo específico del Proyecto. Caracterizar, a nivel preliminar, los parámetros físicos e hidrológicos más relevantes de la amenenaza hidrológica como factor de riesgo de crecidas e inundaciones en el valle inferior del río Grande e implementar en forma preliminar un modelo matemático hidrológico que permita simular la propagación de crecidas y estimar áreas inundables en la cuenca, cuyo funcionamiento sea factible de ser optimizado en el futuro, en la medida de que se dispongan de datos hidrológicos de mayor detalle y cobertura.

1.2 Marco de Referencia

La Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Tierra del Fuego solicita Asistencia Técnica al Inginiero Civil Hidalgo Miguel Angel junto con la participación del personal del área de Recursos Hídricos. El profesional mencionado lleva a cabo el siguiente informe de investigación que tiene por título "Caracterización preliminar de amenaza hidrológica de crecidas en la cuenca del río Grande". La información necesaria para la elaboración de este informe, suministrada por las instituciones públicas de la provincia de Tierra del Fuego y fuente de información científica recopilada, se presentan a continuación:

- HECRAS (River Analisys System), versión 3.1.1., desarrollado por U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC, 2002).
- Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.
- Defensa Civil de TdF.

La finalidad del presente informe técnico consiste en integrar herramientas de última generación junto con el trabajo de campo llegando a simular la propagación de crecidas bajo diferentes situaciones determinando áreas inundables y su evolución en el tiempo.

Metodológicamente la combinación de herramientas numéricas, con el relieve dado por el modelo digital del terreno y el relevamiento de perfiles topobatimétricos mas los caudales registrados en el evento extremo del río Grande, permitirán brindar información necesaria para la elaboración de los lineamientos en lo que respecta a la planificación y delimitación del recurso en el cuenca del río Grande.

FOLIO
177

1.3 Antecedentes:

- En cuanto a las actividades relacionadas con la evaluación y administración de los recursos hídricos, puede observarse el carácter incipiente de las mismas: los primeros trabajos de estudio del recurso hídrico datan de 1980, llevandose a cabo el *"Estudio hidrológico, hidrogeológico y de calidad de aguas de la cuenca del río Grande"* (Bitesnik et al, 1983). Durante el mismo se instalaron una serie de estaciones que, aunque con interrupciones, continúan en funcionamiento hasta la fecha. El primer organismo provincial dedicado al tema en forma específica, la Dirección de Hidráulica, se creó en el año 1985.

- Aforos de la mayoría de los cursos de Tierra del Fuego (Iturraspe et al, 1989) y Dir. Gral. de Recursos Hídricos de T. del Fuego.

- La Municipalidad de la ciudad de Río Grande encargo a el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba, la elaboración de un proyecto de *"Protección de las Márgenes río Grande en Tierra del Fuego"*, en este se presenta un caso de estabilización costera en el tramo estuarino del río Grande. Los estudios realizados en la zona de desembocadura del río, consistieron en relevamientos topobatimétricos, análisis geomorfológico, estudios de suelo, modelación hidráulica del río y diseño de las defensas. Se realizaron modelaciones unidimensionales y bidimensionales empleado los programas HEC-RAS y RMA2 respectivamente.

1.4 Caracterización Del Recurso Hídrico

Tierra del Fuego dispone de una nutrida red de drenaje, cuyo régimen se ve favorecido por una distribución relativamente uniforme de las precipitaciones en el ciclo anual. Se pueden distinguir tres vertientes: al Atlántico, al Pacífico y al Canal de Beagle.

La dirección general del escurrimiento en las cuencas principales es W - E, según los lineamientos de las formaciones geológicas que definen los valles fluviales.

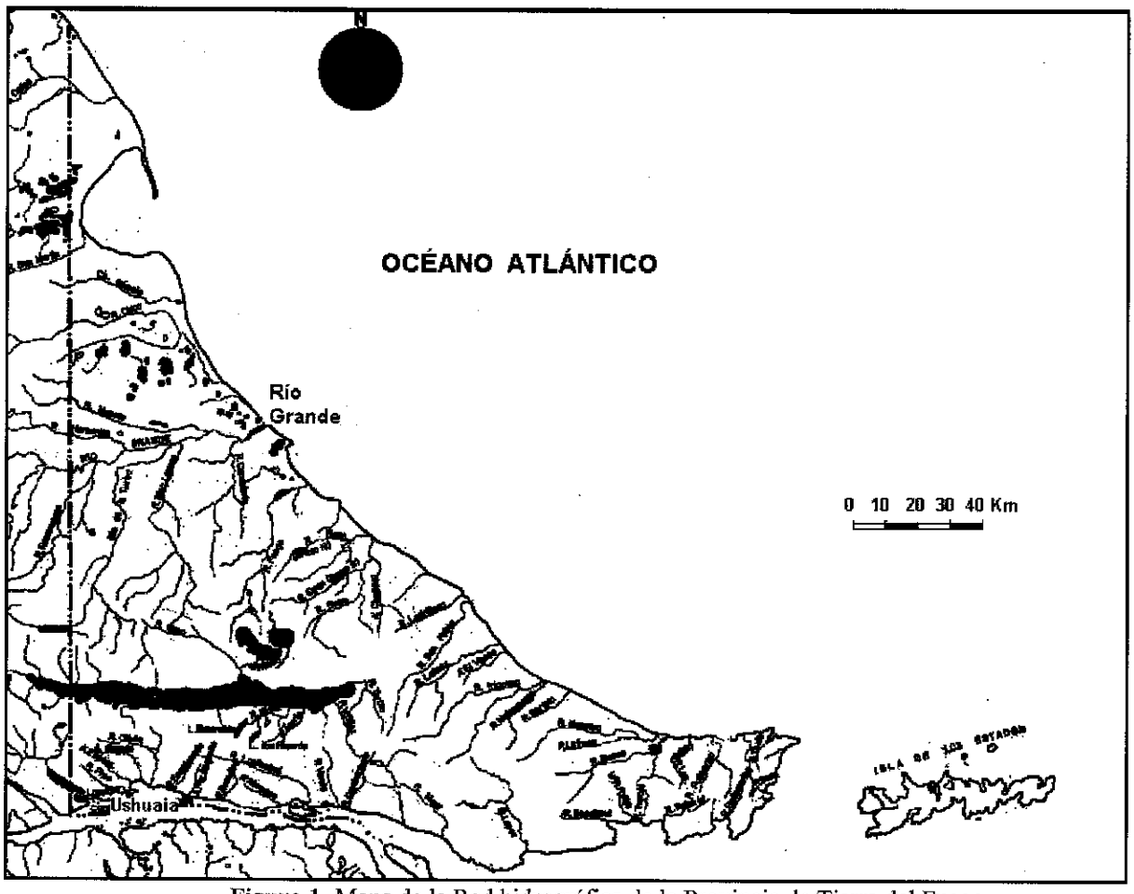


Figura 1. Mapa de la Red hidrográfica de la Provincia de Tierra del Fuego.

Es posible jerarquizar las unidades de escurrimiento, ya sea por la magnitud del caudal medio que escurre anualmente, o bien por el tamaño de la cuenca de aporte. Para cualquiera de los dos criterios, el Río Grande es el mayor de la Isla Grande de Tierra del Fuego, ver Figura 1. Tiene sus nacientes en Chile y desagua en el Atlántico, recibiendo importantes afluentes en el sector argentino de la Isla.

Poder Legislativo
FOLIO
179

Tipos de cuencas hídricas. Existen desde el punto de vista hidrológico tres regiones en el sector argentino de la Isla Grande:

- Cuencas de la Zona Norte (Estepa).
- Cuencas de la Zona Central (Transición).
- Cuencas de la Zona Sur (Cordillera).
- Cuencas de la Zona Este (Turbales).

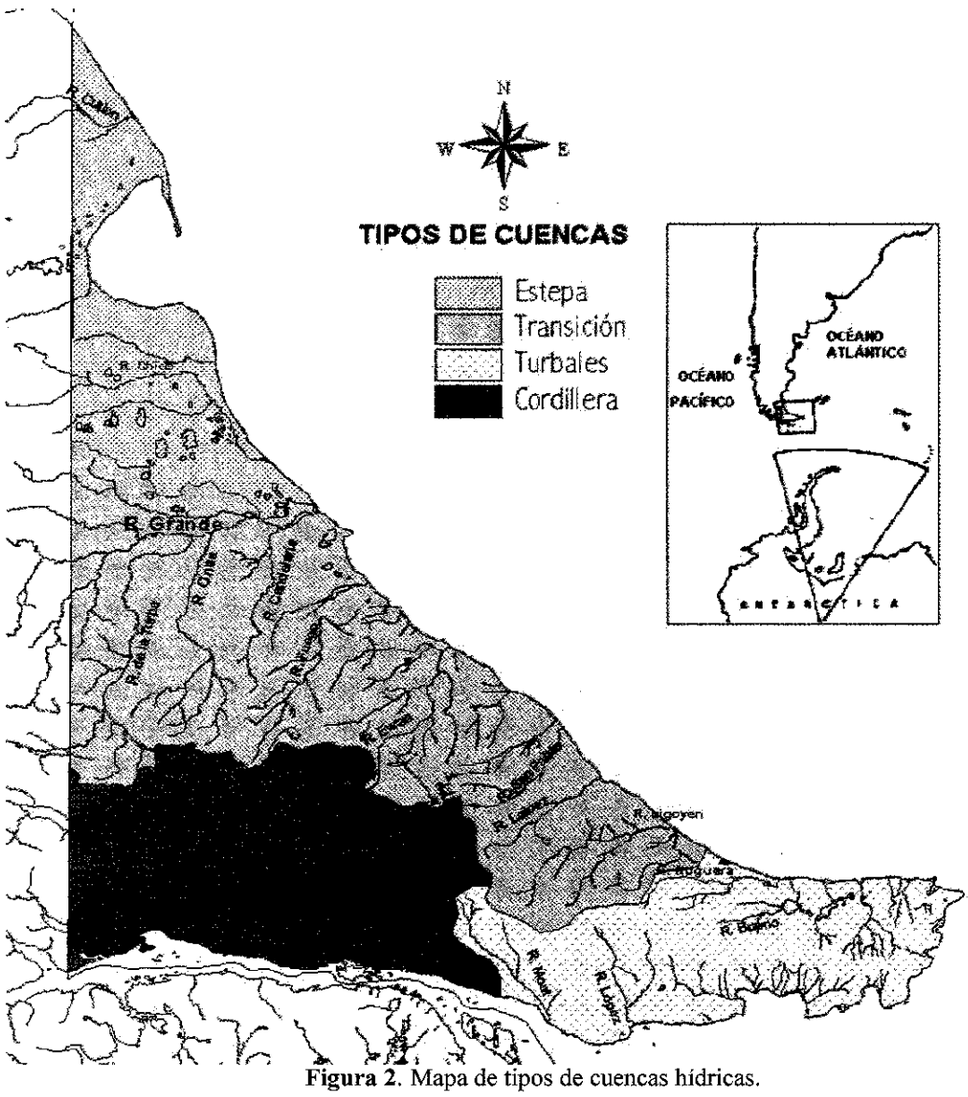


Figura 2. Mapa de tipos de cuencas hídricas.

Este agrupamiento de cuencas en cuatro ambientes, (ver Figura 2), es una clasificación planteada por (Iturraspe et al, 2000), separando la estepa de la transición y ajustando el límite de cada zona.

Poder Legislativo
FOLIO
180
Provincia de Tierra del Fuego

Cuencas de la zona Norte (estepa). Este grupo incluye todas las cuencas ubicadas al Norte de la cuenca del río Grande, sin la inclusión del mismo. Todas ellas son compartidas con Chile.

Desde el punto de vista climático, es la zona donde se dan las condiciones más deficitarias para el balance hídrico, con precipitaciones anuales que fluctúan entre 350 y 300 mm (decreciendo hacia el N), temperatura media anual de 5,6 °C y régimen de vientos de gran persistencia, predominando significativamente la dirección W.

El relieve, afectado por no menos de dos glaciaciones (Caldenius, 1932) adquiere la forma de lomadas y planicies, las primeras materializadas al N por las estribaciones de la sierras de Boquerón, y al Sur por las sierras de Carmen Silva. Arcos morénicos complementan las ondulaciones del paisaje. La planicie se da principalmente en correspondencia con el lóbulo glaciario que se alojó entre bahía Inútil y bahía San Sebastián. Predominó así en la zona la deposición de till glaciario.

La red de drenaje es poco densa, con pendientes suaves y escurrimiento de escaso caudal, con vertiente hacia el Atlántico.

La cobertura vegetal se caracteriza por la carencia de bosque y el predominio de la estepa graminosa de *festuca gracillima* que alterna con vegas en lugares de escurrimiento esporádico o permanente (Roig, 1998).

Los reservorios de agua son limitados. No existen glaciares y la cubierta de nieve estacional es poco significativa e inestable en el invierno. El almacenaje en el suelo es la principal unidad de reserva, aunque restringida. El congelamiento del suelo es un proceso que contribuye a la retención de humedad durante el período invernal.

No hay lagos de dimensión significativa, pero se distinguen dos conjuntos lagunares emplazados en áreas deprimidas mal drenadas. Son lagunas muy someras, que alcanzan una profundidad de 1 a 2 m luego del deshielo, secándose totalmente durante el verano, sometidas a la intensa acción eólica. Su lecho está conformado por limos que son erosionados por el viento. La mayoría tiene carácter endorreico. Un grupo está ubicado entre el río Chico y el río Grande, y otro frente a Bahía San Sebastián (Isla et al, 1990), este último sistema, está emplazado donde hace 8000 años existía una ingresión marina excavada por el lóbulo glaciar que en el pleistoceno generó la depresión bahía Inútil – bahía San Sebastián. Llegó al estado actual por consecuencia de fluctuaciones del nivel del mar y por la acumulación de sedimentos de origen glaciario transportados desde el N por las corrientes marinas y depositados por la dinámica de las mareas (en la zona tienen una amplitud de hasta 10 m) y por la constante acción del viento del W. Presentan elevado índice de salinidad y altísimos valores de fósforo (observaciones de 3,8 mg/l) y manganeso (obs. de 2 mg/l), baja transparencia y alta concentración de partículas en suspensión (Mariazzi et al, 1987). Mejor calidad presentan las aguas superficiales de la red de drenaje, ligeramente alcalinas.

Los cursos son de vertiente atlántica y de escaso caudal, siendo el más significativo el Río Chico. Hay disponibilidad de aguas subterráneas, aunque es frecuente que las napas inferiores tengan carácter salino. Hay una considerable práctica extractiva de agua subterránea por parte de las empresas petroleras para su uso en recuperación secundaria.

Poder Legislativo FOLIO 181

El viento es el factor más restrictivo para las actividades agrícola-ganaderas y se constituye en un activo agente de degradación del suelo, favorecido por el sobrepastoreo ovino y el pisoteo. No obstante, el proceso de degradación y desertificación es menos activo que lo que puede observarse en la zona central de la provincia de Santa Cruz.

Cuencas de la zona Sur (cordillera). Se encuentran en el área delimitada entre los cordones septentrionales de la cordillera fueguina y el canal Beagle, incluyendo la cuenca del Lago Fagnano, de vertiente al Pacífico y las cuencas comprendidas en la proyección del lago Fagnano hacia el Sur.

La orografía responde a lineamientos estructurales que han resistido la intensa actividad glaciaria fundamentalmente erosiva. Estos lineamientos presentan una orientación predominante WNW – ESE y están materializados por las sierras de Valdivieso, Alvear, Beauvoir, Martial, Vinciguerra, Sorondo, Lucio López, en donde los máximos picos no alcanzan los 1400 m, pero sobrepasan la cota de la línea de nevé, la que decreciendo hacia el W, se ubica en Ushuaia a la altura de aproximadamente 900 – 1000 m, (Rabassa et al, 1992), posibilitando la permanencia de pequeños glaciares de circo o colgantes, en franca regresión.

Las condiciones cambian hacia el W, en Chile, donde los glaciares procedentes de la cordillera Darwin y cordón Roncagli (así como los macizos de la Isla Höste), recargados por precipitaciones más intensas y favorecidos por mayores cotas de las altas cumbres, alcanzan niveles mucho más bajos, perdurando aún el englasamiento de importantes áreas.

El área de estudio fue afectada por repetidas glaciaciones. Las dos corrientes glaciarias principales fueron las del lago Fagnano y del canal Beagle, direccionadas hacia el E, procedentes del macizo Darwin y cordones adyacentes. El drenaje del glaciar del Fagnano en la etapa regresiva era hacia el Este, lo que 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 son los circos y artesas glaciarias, en las cabeceras de valles menores que tras recorrer distancias relativamente cortas desembocan en los grandes valles de origen glaciario.

Una diferencia significativa respecto de las cuencas de la zona central es que en la generalidad de los casos toda el área de aporte está incluida en el ambiente de cordillera. La red de drenaje es muy densa, de corto recorrido, pendientes fuertes y de caudal moderado. Los sistemas fluviales de escurrimiento más desarrollados en este grupo son los de los ríos Lasifashaj y Olivia. El lago Fagnano cuenta con la principal cuenca lacustre de la isla Grande, siendo la segunda cuenca hídrica en extensión luego de la del río Grande.

En la costa del Beagle precipitan 520 mm anuales, que se incrementan por el efecto de la orografía desde el Canal Beagle hacia las cumbres interiores, decreciendo más allá de la divisoria de aguas. 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 las demás zonas.

La vegetación predominante es el bosque mesófilo en tres variedades: las caducifolias *Nothofagus Pumilio* (lenga), y *Nothofagus Antártica* (ñire) y la perennifolia *Nothofagus. Betuloides* (guindo o coihue de magallanes) (Roig, 1998). El límite superior del bosque se

encuentra a 600 m, pudiendo variar en ± 100m en función de la exposición al sol de la ladera y de la cercanía del mar, que atenúa las oscilaciones térmicas, (Puigdefabregas et al, 1988).

La explotación forestal, cada vez adquiere más significación, estimándose que podría producir cambios desfavorables en la hidrología de áreas asociadas a pendientes, que son predominantes en estas cuencas.

En los fondos de valle hay turbales de *Sphagnum y de Carex,* que pueden alcanzar profundidades del orden de 10 m. Suelen encerrar pequeñas lagunas. Los suelos son poco desarrollados y podsólicos.

El escurrimiento es regulado por la nieve estacional, los almacenamientos en el detrito de cordillera y los aportes glaciarios. Existen además otros tipos de almacenamiento, como los cuerpos lacustres, que adquieren en esta zona mayor dimensión, tales como los lagos Fagnano, Yehuin y Cheppelmuth. y numerosos lagos y lagunas de menor magnitud. La génesis de todos ellos está asociada a procesos glaciales y periglaciales.

La nieve estacional es el almacenamiento con mayor capacidad de regulación, apreciándose acumulación en toda el área de la cuenca, aunque con mayor desarrollo y estabilidad en los niveles altos.

La importancia del aporte de los casquetes glaciarios se verifica entre enero y marzo, especialmente cuando hay agotamiento de los restantes elementos de almacenaje. En tales situaciones hay notables cambios en la coloración de las aguas superficiales, que adquieren una tonalidad verdosa dada por materiales coloidales en suspensión.

Es significativa también la regulación por parte del detrito cordillerano de carácter criogénico acumulado en los grandes conos de escombro que se generan en las laderas de las cumbres sin vegetación. El agua retenida en el detrito es liberada lentamente en el verano. Esto explica el motivo por el cual las cabeceras de valles altos, emplazadas por sobre la línea de vegetación y sin unidades glaciarias, mantienen un aporte permanente después del retiro de la nieve estacional y luego de períodos relativamente extendidos sin precipitaciones. Los mayores depósitos se encuentran por sobre los 700 m, siendo sometidos a procesos de hielo-deshielo de frecuencia diaria durante el verano. La isoterma de 0 ° pasa a 1021 m durante el mes más cálido (Puigdefabregas et al, 1988).

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. En la zona de cordillera las unidades más desarrolladas están emplazadas en los amplios valles de génesis glaciar, tales como en el caso del valle de Tierra Mayor, valle Carbajal, valle de Andorra, valle del río Lapataia, y valle del río Pipo. En ellos los turbales suelen alternarse con bosques desarrollados sobre afloramientos basales o depósitos fluvioglaciares no colonizados por la turba. En las laderas, también suelen darse formaciones asociadas a depósitos morénicos laterales mal drenados. Desde el punto de vista de los aportes al escurrimiento en períodos de estiaje, su significación es reducida por cuanto la superficie ocupada por turberas en este tipo de cuencas es inferior al 6%, o sea significativamente menor a las proporciones en que se dan en las cuencas de turbales y son más activos otros elementos reguladores. No

FOLIO 183

obstante, el aporte de los turbales se evidencia ocasionalmente en respuesta al lavado por parte de lluvias significativas en situación de saturación. Estos aportes se manifiestan por el incremento de la coloración en las aguas superficiales propia de los ácidos húmicos. Es más significativa su importancia como agente de intercepción dada la gran capacidad de retención ya aludida.

Las crecidas se prolongan hasta diciembre, como consecuencia de la mayor persistencia de la nieve estacional, produciéndose los picos máximos en conjunción con precipitaciones líquidas. No obstante, el régimen de lluvias, caracterizado por alta frecuencia y baja intensidad, motiva que sean raros los eventos torrenciales que ocasionen daños materiales. Contribuye a ello la gran cantidad de emisarios de primer orden que desaguan al mar (o al Fagnano) sin que conformen concentración de flujo.

Estas cuencas son la que mayor caudal específico producen (caudal medio anual por unidad de superficie). Para las cuencas de los ríos Olivia y Lasifashaj se han determinado valores de que oscilan entre 24 y 26 litros/seg/km2, (Iturraspe et al, 1998), que contrastan notablemente con cursos de la zona Central, como el río Grande, cuyo caudal específico es de 5 a 6 l/s./km2. Estos valores corresponden a la integridad de la cuenca y no a sectores parciales.

Eventualmente se dan eventos asociados a problemas hídricos tales como avalanchas de nieve y deslizamientos que afectan sectores de los faldeos.

Las aguas son hiposalinas, ligeramente bicarbonatadas y de gran transparencia. 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 ultraoligotrofía (Mariazzi et al, 1987).

Cuencas de la zona Este (turbales). Se ubican en Península Mitre, donde la cordillera, que pierde altura, define vertientes Norte y Sur. Las cuencas más occidentales son las de los ríos Moat (Sur) y Nogueras (Norte), aunque desde el río Irigoyen hacia el Este se verifica una situación de transición.

Las sierras que delimitan las cuencas interiores son las de Lucio López, Irigoyen, Nogueras, Montes Negros y Montes San Diego. Sus cumbres se encuentran por debajo de la línea de nevé, por lo cual no hay presencia de glaciares.

Esta zona, pese a estar apartada de las fuentes occidentales de recarga, no escapó a los severos efectos de las glaciaciones, (Rabassa et al, 1992), fija el límite del frente del glaciar del Beagle a la altura de Bahía Slogett, pero indudablemente todo el sector denominado Península Mitre sufrió un englasamiento de carácter local.

Resulta así un relieve de formas redondeadas, con presencia de turbales de altura y de bosque en las laderas cuando hay un buen drenaje. En muchas zonas la morfología postglacial original fue tapada por turbales que conforman extensas planicies, con muchas lagunas, adoptando características de verdaderos pantanos.

Las áreas altas de cabeceras de cuenca son muy reducidas. Los cursos pierden pendiente rápidamente y escurren por amplios valles y planicies ocupadas por turbales.

Los cauces están delimitados por la turba y el escurrimiento en los tramos medio e inferior se desarrolla con bajísima pendiente, observándose en la vertiente Norte el ingreso de la marea varios km. aguas arriba de las desembocaduras de los cursos. Los cauces suelen ser relativamente profundos y las velocidades muy bajas.

Se estima que las precipitaciones totalizan entre 500 y 550 mm al año, aunque hay escasa información disponible al respecto, así como sobre los caudales de los cursos superficiales, por cuanto la zona es de muy difícil acceso y se encuentra prácticamente despoblada.

Las bajas pendientes de escurrimiento que imposibilitan un buen drenaje, las características del sustrato, el régimen de precipitaciones frecuentes y las temperaturas moderadamente frías han favorecido el predominio de turbales de variados tipos como unidades vegetacionales. Las mismas presentan gran capacidad de retención de humedad e interrelacionan con el escurrimiento, conformando extensos reservorios subsuperficiales y encerrando cantidad de pequeñas lagunas. La proporción ocupada por las distintas variedades de turba, representa más del 50% del área total de estas cuencas en la mayoría de los casos.

Hay presencia de bosque de ñire y lenga en las zonas altas y bien drenadas. El ñire se observa también en forma arbustiva sobre los depósitos fluviales adyacentes a las líneas de drenaje que atraviesan los grandes turbales. Los castores han colonizado también este ambiente, construyendo diques aún sobre los cursos principales, favorecidos por las bajas velocidades de escurrimiento.

La turba es el almacenamiento netamente dominante, prueba de ello es el carácter diferencial de la calidad de agua superficial en esta zona, en donde las precipitaciones sobre las cuencas intermedia e inferior no llegan a los cauces por otra vía que no sea el cuerpo de los turbales o su superficie.

La superficie cubierta por los diferentes tipos de turberas supera en la mayoría de los casos el 50 % del área de este tipo de cuencas, constituyéndose esta zona en la principal reserva de turba de Sudamérica, dada su extensión y las condiciones naturales del medio, prácticamente inalteradas hasta el presente por la actividad humana.

Como almacenamiento de segundo orden cabe mencionar la nieve estacional, de débil estabilidad, debido a las escasas posibilidades de acumulación en altura y a la mayor exposición a los vientos respecto de las cuencas de cordillera.

Las crecidas significativas se producen con mayor frecuencia en primavera, época en la que coexisten situaciones de saturación en los turbales, luego del deshielo post-invernal y remanentes de nieve estacional en depósitos de las cabeceras. No obstante durante los veranos muy húmedos pueden darse crecidas significativas.

Se aprecia que los ríos más caudalosos son los más occidentales, Moat y López, ya que sus cuencas de aporte son más extendidas y presentan mayor proporción de áreas altas.

La calidad de las aguas, como ya se ha expresado, está significativamente influenciada por los ácidos húmicos que se generan en la turba, los que afectan fuertemente la coloración y

producen la caída del PH frecuentemente por debajo de 5. El contenido de sales disueltas es bajo, pero se detecta presencia de Fe en concentraciones variables. Se observaron en aguas altas (noviembre/87) valores entre 0.2 y 0.3 mg/l en tanto que en aguas bajas (febrero/84) las concentraciones en muchos casos superan 1 mg/l. (Iturraspe et al, 1989). Esta situación es razonable ya que en noviembre perduran aún otros aportes diluyentes de origen nival, (Kurki et al, 1982) hace referencia a la capacidad de la turba para retener hierro soluble, indicando que tal capacidad es mucho más alta en turba de Carex, variedad que no está ausente en estas formaciones. El mismo autor indica concentraciones de 5 a 8 veces más altas en Carex respecto de los detectados en Sphagnum. Asimismo, (Gardea-Torresdey, 1998) determinó que la adsorción de Cu II por parte del *Sphagnum* activo es PH dependiente, con muy buena capacidad para valores próximos a 5, por tal motivo, aunque no se dispone de determinaciones, se estima posible la presencia de rastros de cobre soluble en aguas superficiales.

Se describe en particular con mayor detalle, ***Cuencas de la Zona Central (Transición).*** De vertiente atlántica, guardan correspondencia con la precordillera, o desde el punto de vista biogeográfico con el ecotono. Este conjunto es el que abarca mayor superficie en el contexto de la isla Grande de Tierra del Fuego y en donde se aprecia mayor variabilidad, ya sea de índole paisajística, climática, geomorfológica o vegetacional, con un gradiente principal S-N, desde la región de cordillera hasta la estepa. Tal variabilidad transicional presenta similitudes en las distintas cuencas, con las excepciones propias de aquellas unidades de menor desarrollo que no alcanzan a abarcar nacientes en ámbitos próximos a la cordillera.

En términos generales, este grupo está comprendido entre las cuencas de la estepa, cuyo límite fue dado por la cuenca del río Chico y las cadenas de cordillera y precordillera emplazadas al Norte del Fagnano, que enunciadas de W a E son: sierra de Beauvoir, sierra de Apen, sierra Pinturas, y sierra de Lucio López. Completan el límite sur arcos morénicos que delimitan las cuencas de los lagos Yehuin y Cheppelmuth. Más hacia el Este esta zona finaliza en la cuenca del río Malengüena, la cual ya es transicional hacia las cuencas de turbales.

Geología. Desde el punto de vista geomorfológico, esta zona ha experimentado una intensa modelación glaciaria, pudiendo apreciarse las geoformas características en todas sus variedades, tanto erosivas como deposicionales. En relación a este último aspecto, predominan los depósitos de till en morenas de diversos tipos. Aún perduran bien conservados grandes arcos morénicos, que actualmente vegetados conforman las actuales divisorias de aguas. Esto es típico en las cabeceras de los más importantes lagos (Fagnano, Yehuin, Cheppelmuth).

Luego del retiro de los hielos, los ríos tuvieron un papel significativo en el modelado de los extensos valles, antes dominados por los escapes glaciarios. Estos valles actualmente alojan además de sus respectivos cauces, turberas, vegas, lagunas y lagos.

El terreno es predominantemente ondulado y con terrazas glacifluviales, con cursos de baja pendiente y muy meandrosos, significativo desarrollo longitudinal y dimensión de área de aporte. El río Grande es el típico representante de este conjunto, y el más significativo en extensión de cuenca y caudal.

FOLIO 1000

Las divisorias de aguas llegan excepcionalmente a los 900 m, como en el caso de la sierra de Apen, pero en general las sierras presentan cotas inferiores a 600 m.

✓ ***Clima.*** Es más húmedo y frío que en la estepa, manifestándose condiciones más favorables para el balance hídrico, aunque hay déficit entre noviembre y marzo (Koremblit et al, 1991).

La temperatura media anual es cercana a los 5,5 °C, y se encuentra una amplitud térmica de 10 a 5 °C en verano e invierno respectivamente. En cuanto a la temperatura de rocío, el valor promedio anual es de 1,2 °C con valores extremos mensuales de 4,9 a -2,4 entre enero a julio respectivamente. La humedad relativa media anual es igual a 76%, con valores mensuales en el rango de 60% a 86%. La nubosidad media anual es alta, casi 75% del cielo cubierto, registrándose con mayor frecuencia en el verano. El número de días con nevadas alcanza los 11 días/año, el granizo se presenta en escasas ocasiones (0,3 días promedio) y los días con precipitación llegan a sumar 120 por año. La precipitación media anual supera los 300 mm registrándose las máximas precipitaciones en otoño / verano y las mínimas en invierno / primavera. Las precipitaciones fluctúan entre 500 mm en el sur y 370 mm en el Norte, a la altura del curso principal del Río Grande.

Las direccion de viento predominante Oeste, Sudoeste y Noroeste que en conjunto suman en general alrededor del 60% del tiempo y un 80% si no se computan las calmas.

Los vientos medios mensuales son mayores en verano que en invierno. Ello se debe a la mayor intensidad de los vientos en altura pero también al efecto del calentamiento, lejos de la zona costera, de la superficie lo que contribuye a inestabilizar estáticamente la atmósfera, favoreciendo la mezcla vertical de la cantidad de movimiento y en consecuencia el transporte del mismo hacia la superficie desde capas altas. Las medias mensuales de verano oscilan entre 5 y 8 m/s. En invierno, en cambio, las medias mensuales están sólo entre 2 y 4 m/s, según el relieve de la localidad. A continuación se presenta la rosa de vientos, (ver Figura 3), en donde se observa una interesante variación estacional con un maximo de velociadad alcanzado en verano y direccion predominante del Sudoeste, ademas de un esquema en forma anual, siendo estas figuras una estimacion para toda la provincia de Tierra del Fuego.

FOLIO 187

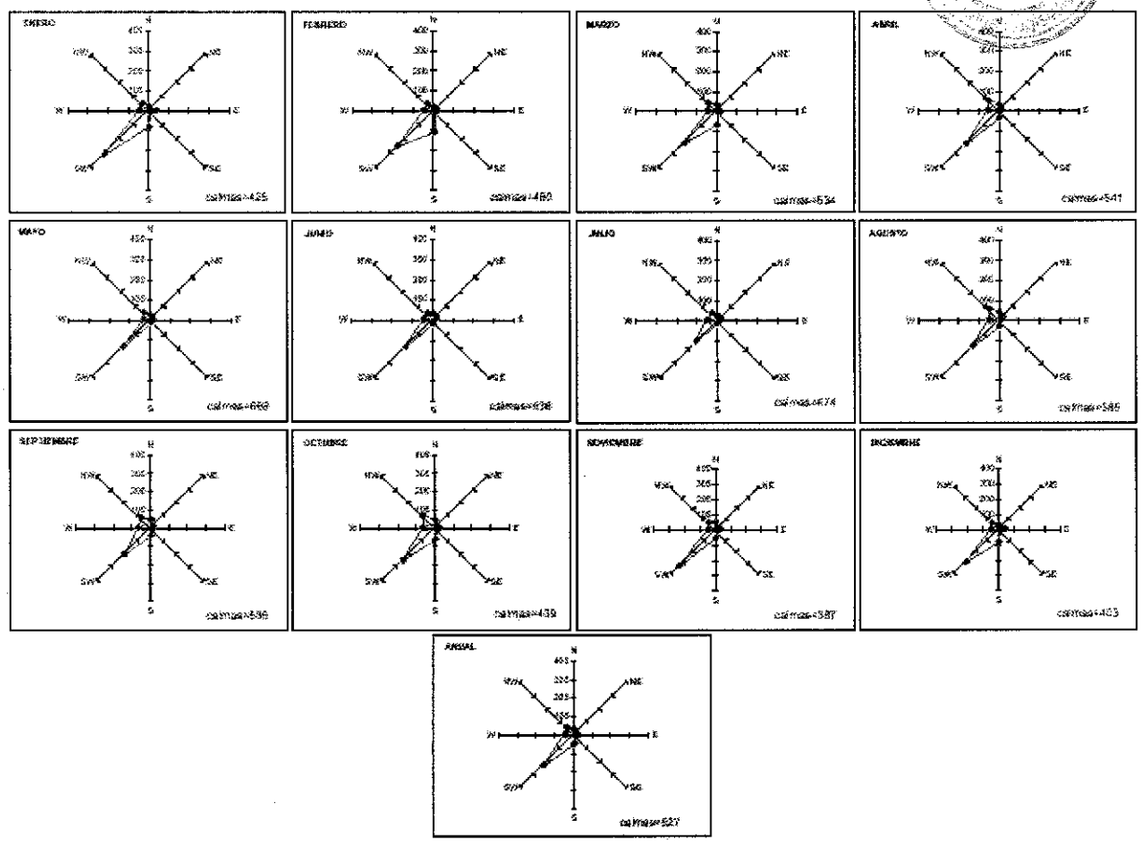


Figura 3. Rosa de vientos estimada para la Provincia de Tierra del Fuego.
Fuente (Secretaría de Minería de la Nación).

✓ ***Vegetación.*** Predominante está dada por el bosque de *Nothofagus*: la lenga o *Nothofagus Pumilio* en el Sur y el ñire o *Nothofagus Antarctica*, más al Norte, en la transición con la estepa. El bosque, que ocupa las zonas altas y pendientes bien drenadas cumple un rol importante en el control de los procesos erosivos de naturaleza pluvial o eólica. Alterna con extensiones significativas de humedales materializados por vegas muy apropiadas para pasturas y turbales, ambos en áreas bajas asociadas al escurrimiento. Las turberas más importantes ocupan los tramos superior y medio de amplios valles como los del río de la Turba (Menéndez), de los Onas (Mack Lennan) y Fuego.

✓ ***Hidrología.*** El escurrimiento recibe aportes de cordillera y precordillera. No hay cuerpos glaciarios, ya que las alturas máximas están por debajo de la línea de la nieve permanente, pero las precipitaciones son aquí más intensas, (500 mm) y el manto de nieve estacional tiene más potencia y persistencia que en las lomadas de cuenca inferior. Estas áreas de alimentación son relativamente reducidas en relación a la superficie total de estas cuencas, las que adquieren su mayor extensión más allá del sector cordillerano. Por tal motivo fuera del periodo de deshielo, que es breve, no alcanzan a constituirse en almacenamientos predominantes, (Iturraspe et al, 1985). Así la hidrología de la cuenca media e inferior (que ocupa la mayor porción del área de aportes) depende en gran medida de las precipitaciones locales, por lo menos durante verano y otoño. Bajo estas condiciones, fuera del período de deshielo, adquieren importancia como almacenamientos reguladores los humedales vinculados al escurrimiento, materializados por vegas y turbales, así como los depósitos

fluviales y fluvioglaciales, generalmente vinculados a los subálveos. El till glaciario predomina en extensión y espesor, pero debido a su contenido de sedimentos finos tiene una capacidad limitada de retención e intercambio de agua.

Las crecidas se manifiestan en la primavera temprana. A partir de noviembre-diciembre, el drenaje depende de las lluvias locales, pudiendo producirse estiajes pronunciados entre febrero y abril. Un segundo estiaje se verifica en junio-julio por consecuencia del congelamiento que afecta los niveles superiores del suelo y de los cauces. En abril y mayo hay recuperación del escurrimiento por disminución de la evapotranspiración potencial, recuperándose también el nivel de almacenaje en el suelo.

Durante la época invernal, particularmente lejos de la costa marina, las superficie de los cauces se congelan totalmente (sin que existe interrupción total del escurrimiento), pudiendo formarse en forma progresiva espesores de hielo de más de un metro. Suelen darse crecidas invernales ocasionadas por lluvias y deshielo que producen la rotura de la cubierta de hielo, formándose témpanos que son violentamente arrastrados por la corriente. Pueden así obstruir el escurrimiento llegando a superponerse y conformar endicamientos que incrementan el nivel. Los fragmentos de hielo, de grandes dimensiones suelen en consecuencia ser despedidos fuera del cauce principal, representando serios riesgos para las estructuras fijas que hubiera a su alcance. La Figura 4 muestra bloques de hielo sobre las márgenes, luego de la primer crecida de primavera.

Figura 4. Vista del Río Menéndez, en la Estepa Fueguina. En primer plano se aprecian bloques remanentes de una abrupta crecida por deshielo.

FOLIO
189

2 Resultados de Trabajos de Reconocimiento en la Cuenca

2.1 Evaluación Preliminar de la amenaza Hidrológica

Esta actividad se desarrollo principalmente en el valle principal del Río grande y tramos inferiores de los afluentes.

2.2 Principales Actividades Detectadas en la Cuenca

Agua potable: La ciudad de Río Grande utiliza como fuente de aprovisionamiento el río Grande, captandose aproximadamente 300 l/s.

Riego: Si bien no hay un uso generalizado y sistematizado, hay estancias, como Maria Behetty que están realizando riego para pasturas. Se estima que con el tiempo este uso del agua se incrementará e intensificará, constituyendo el principal tipo de uso consuntivo.

Consumo de ganado: La ganadería en esta zona involucra a ovinos y bovinos.

Industrial: El uso industrial es actualmente poco significativo y se circunscribe a la ciudad de Río Grande. No obstante se estudia la captación de agua del río Grande para abastecimiento de una futura planta petroquímica.

Con respecto a los usos *recreativos* del agua, principalmente en la cuenca del Río Grande, pueden citarse la pesca deportiva y el canotaje. Se han instalado cotos de pesca en esta cuenca, cuya concesión se rige según la Ley Provincial N° 244. En cuanto a la Provisión de Agua Potable, en la ciudad de Río Grande la única fuente de aprovisionamiento es el Río Grande, cuyo caudal satisface holgadamente las necesidades. La Provisión de Agua Potable, la realiza la Municipalidad de Río Grande, (Urciuolo, 1995, 1997).

FOLIO
Nº 191

2.3 Descripción de la cuenca hidrológica del Río Grande.

Es posible jerarquizar las unidades de escurrimiento, ya sea por su magnitud del caudal medio que escurre anualmente, o bien por el tamaño de la cuenca de aporte. Para cualquiera de los dos criterios, el río Grande es el mayor de la Isla Grande de Tierra del Fuego

Es el principal sistema de escurrimiento superficial, con aportes principales del sector chileno y afluentes de significación del sector argentino, procedentes de la vertiente Norte de la Sierra de Beauvoir. La cuenca total abarca 7000 km^2, correspondiendo a territorio argentino 3780 km2 (INCYTH, 1982).

Las nacientes se ubican en la vertiente nor-oriental de la cordillera fueguina que se desarrolla paralela al Seno del Almirantazgo (Chile). Pequeños cauces aportan al lago Blanco, Lago Lynch y Lago Chico, importantes cuerpos de agua cuyos emisarios forman el cauce principal del río Grande.

Sus afluentes tienen mayor caudal y desarrollo que muchos ríos de primer orden de la Isla. Los que aportan por la margen Norte se desarrollan en dirección W – E, en forma casi paralela al curso principal del río Grande, en tanto que los de la margen Sur se desarrollan en dirección S – N y son los más significativos, ver Figura 5.

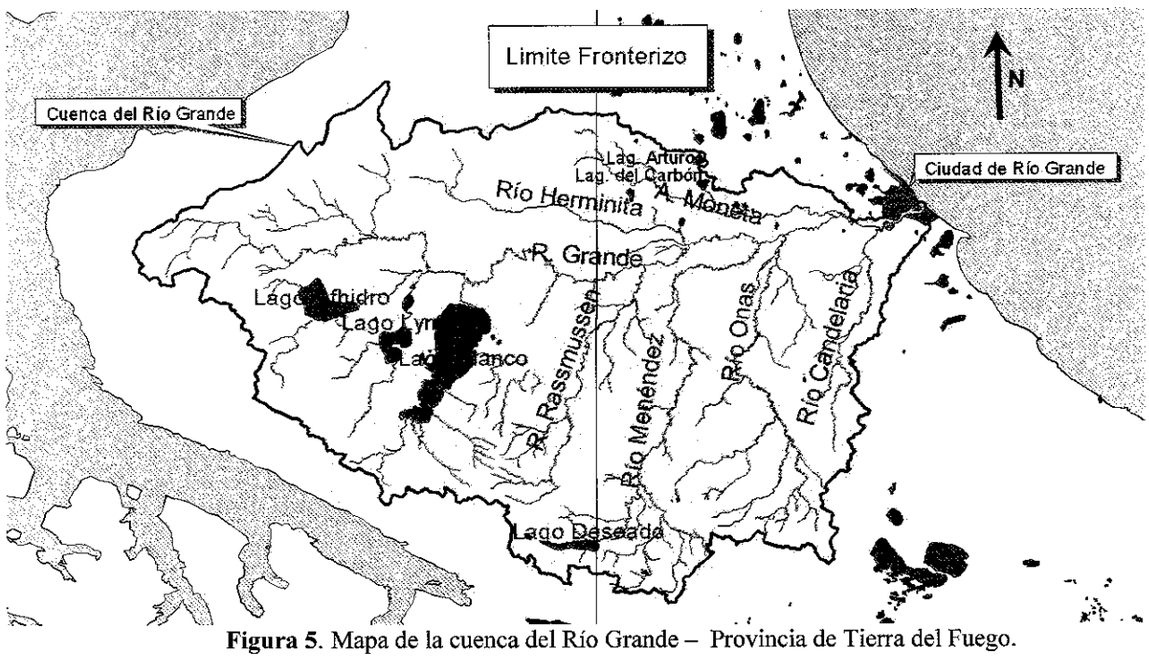


Figura 5. Mapa de la cuenca del Río Grande – Provincia de Tierra del Fuego.

El primer afluente importante por margen derecha es el **Rasmussen**, que proviene de las serranías ubicadas al SW, en el sector chileno. Confluye a 9 km del límite, medidos a lo largo el cauce.

El siguiente aporte, por margen izquierda lo constituye el río **Herminita**, que nace en el monte Cazuela, también en Chile, con el nombre de Río Munizaga.

FOLIO Nº 192

Más al Este, recibe por margen derecha el afluente más importante en territorio argentino: el del río **Menéndez** o de la Turba, que nace en las sierras de Beauvoir y del emisario del lago Deseado, ubicado en Chile, muy próximo al límite.

Aguas abajo y por margen derecha confluye el río de los **Onas**, denominado hasta hace poco tiempo Mc Lennan, que se forma a partir de varios tributarios menores procedentes de la sierra de Apen.

Por margen izquierda, a la altura de la estancia María Behetty aporta el río Moneta, cuyos caudales, de acuerdo a INCYTH (1982) proceden del drenaje del estero Uribe, en la Colina de Condell y el estero Covadonga, emisario del pequeño lago Pacheco. Ambos se unen al pasar el límite formando el Moneta. Su cauce suele secarse en algunos veranos.

El último tributario es el río **Candelaria**, que aporta desde el Sur. Sus nacientes se ubican en el cerro Chenen. Se presenta a continuación la Tabla 1, dividiendo los afluentes según el margen de procedencia.

Tabla 1. Afluentes del río Grande (Sector Argentino).

Afluentes Margen Sur	Afluentes Margen Norte
Rassmussen	Herminita
Menéndez o de la Turba	Moneta
Mac Lennan	
Candelaria	

El valle por el que se desarrolla el cauce principal está delimitado frecuentemente por terrazas de génesis glaciaria, disectadas en muchos sectores por la erosión hídrica. En muchos tramos, el valle aluvial supera un ancho de 1500 m, como en los tramos Herminita-Menéndez y R. de los Onas- Ea. M. Behetty, apreciándose la existencia de múltiples meandros abandonados.

El ancho del cauce en aguas medias, a la altura del casco de la Ea mencionada es de 100 m.

Hidroquímica. Las aguas de estos ambientes fluviales son hiposalinas, manteniéndose en general por debajo de 200 mg/l, ligeramente alcalinas, con PH entre 7 y 8, excepto en el caso del río Fuego que presenta valores inferiores a 7 por el aporte de los turbales en sus cabeceras. No se han detectado elementos tóxicos. Análisis bacteriológicos indican presencia de coliformes, presumiblemente por consecuencia de la actividad ganadera.

Zona más habitada de la cuenca Central. La ciudad de Río Grande se encuentra emplazada en la Provincia de Tierra del Fuego, Antartida e Islas del Atlántico Sur, sobre la margen norte del Río Grande en su desembocadura al Oceáno Atlántico, ver Figura 6. Desde su fundación en el año 1921, la ciudad se ha desarrollado urbanisticamente en forma ordenada. Sin emmbargo, a partir de los últimos años se ha observado un intenso crecimiento,

aproximándose a la costa del estuario y llanura de inundación del río que comprende el área cercana al puente General Mosconi, que presentan riesgos considerables de anegamiento.

El nivel máximo de crecida del río se encuentra condicionado en forma directa a los alcanzados por la marea, la cual presenta una amplitud en eventos extremos, de aproximadamente 9,0 metros (INA, 2001).

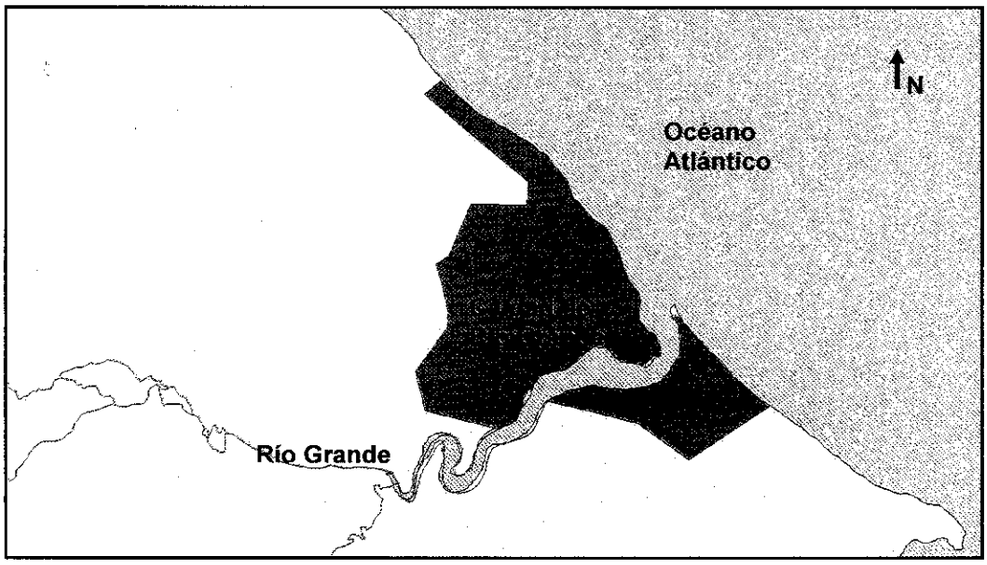


Figura 6. Ubicación y el área circunscripta de la Ciudad de Río Grande con respecto al río.

Poder Legislativo
FOLIO
No. 194
Asamblea Legislativa

3 Información Recopilada Relativa a la Crecida de 2006

Poder Legislativo
FOLIO
195

3.1 Recopilación de Información

Para la realización de una evaluación eficaz de la magnitud del evento extremo registrado el 30 de Junio de 2006 en el río Grande, como en sus tributarios, se presenta un resumen de la información cedida por la Dirección de Recursos Hídricos.

Como primera información antecedente se presenta en la Tabla 2, una serie histórica de recopilación de datos de precipitación, registrados por la estación metereológica de Río Grande, observamos en detalle para el mes de Junio del año 2006 un valor de lluvia atípico en comparación con datos registrados para el mismo mes en años anteriores.

Tabla 2. Datos de lluvia de la estación meteorológica de Río Grande (1979-2007)

	Lluvia mensual (mm)												Anual
Año	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	(mm)
1979	5,7	20,1	17,2	32,8	46,6	14,9	3,3	24,9	49,7	25	30,2	15,9	286,3
1980	17,5	19,9	13,7	14,2	24,6	103,7	73,3	2,7	33,2	8	27,3	25,3	363,4
1981	12,4	12,9	1,8	39,5	16,5	12,7	54,6	39,7	41	14,9	59,9	42,2	348,1
1982	19,7	13,8	23,5	17,4	23,4	29,9	10,6	9	45,9	19,2	14,7	5,2	232,3
1983	9,3	26,5	29,6	18	35,4	45,8	34,9	46,9	80,9	13,5	15,1	22,5	378,4
1984	16	28	10,5	20,3	34,5	27,5	16,5	13,1	17,9	14,7	24,9	7,8	231,7
1985	43,5	17,5	36,1	22,4	21,3	23,1	41,3	19,5	19	47,5	7,6	-	298,8
1986	6,2	1,5	62,1	51,2	22,5	17,3	19,2	23,6	61,6	26,7	11,5	127,5	430,9
1987	68	32,1	38,3	46,8	62,4	63	25,7	69,9	29,8	33,3	62,2	156	687,5
1988	6,1	23,8	37,1	31,9	30,9	21,5	30,9	29,8	27,4	45,4	8,2	33	326
1989	3,7	15,1	24,5	43,8	65,7	39,2	14,4	29,5	18,8	14,4	20,2	30,4	319,7
1990	33,6	3,9	11,6	32,7	22,5	14	23,8	31	63,9	21,3	s/l	32,2	290,5
1991	20,6	4,2	11,9	33,3	23,1	21,5	23,1	20,9	5,8	27,9	12,2	8,9	213,4
1992	12,9	19,7	11,4	23,8	14,4	10	53,6	21,5	19	21,1	6,8	9	223,2
1993	4,9	9,3	9,3	8,9	19,4	13	21,3	7,1	10,3	12,1	6,8	17,4	139,8
1994	3,6	0,6	14,3	8,8	9,1	4,9	18,6	11,3	13,2	15,6	3,8	8,1	111,9
1995	3,6	4	6,7	22,7	12,6	8,9	5,3	2,8	24,2	26,1	24,3	6,8	148
1996	16,5	8	4,4	20,7	38,3	50,7	7,7	57,4	16,6	11,5	16,2	18,4	266,4
1997	19,2	8,9	32,8	76,2	41	34,4	10,5	46,2	18,7	43,5	32,5	25,3	389,2
1998	0	21,8	29,4	30,4	26,5	10,1	7,3	2,4	10,8	10,8	17,3	11,3	178,1
1999	12,6	6,5	18,2	14,2	6,7	31,5	14,5	3,2	25,9	15	25,2	19,6	193,1
2000	8,8	15,1	34,6	92	39,9	55,3	48,8	18,4	37,8	34,5	40,2	10,2	435,6
2001	11,6	6,9	5,8	14,6	81,5	56,1	10,6	16,3	42,9	11,8	27,8	4,4	290,3
2002	34,9	72,1	10,5	70,9	13,4	34,5	15,7	53,3	10,2	1,4	23,2	22,4	362,5
2003	15,9	47,8	16,7	78,8	103,8	8	83,1	12,6	49,1	29,4	32,4	8,9	486,5
2004	12,6	20,5	33,2	27	23,4	45,8	20,6	16,5	9,2	75,6	5,4	9,8	299,6
2005	26	30,8	132,4	52,9	17,2	1	26,5	38,6	52	18,7	23,1	21,7	440,9
2006	30,4	24,8	18	32,8	107,6	52,9	13,3	59,4	19,8	***91,1***	33	39,3	522,4
2007	59,6	21,2	18,5		29,3	27,8	28,5	62,6	39,3	38,4	28,5	14,9	368,6
Media Mens.	18,46	18,53	24,62	34,96	34,95	30,31	26,12	27,24	30,82	26,50	22,88	26,94	Pma= 319.4

FOLIO 196

3.1.1 Patrones climáticos desencadenantes

Se produjo una inundación sin precedentes en registros históricos, por los niveles alcanzados por las aguas, por su permanencia y el área de afectación. Fue resultado de condiciones antecedentes particulares y una anomalía climática desencadenante.

En el mes de Junio de 2006, se registraron importantes nevadas y promediando el mes, un centro de alta presión se instaló en la región determinando condiciones muy frías y congelamiento del suelo (mínimas en Tolhuin de -18°C). Hacia fin de junio este anticiclón se desplazó a la altura de Islas Malvinas y un centro de baja presión se posicionó al Oeste de Tierra del Fuego, (ver Figura 7). Este cuadro indujo el ingreso de aire cálido y húmedo desde el Norte, provocando lluvias entre el 28 y el 30/6 (en algunas estaciones llovió también el día 27). En la zona costera no fueron éstas excepcionales (36 mm en Río Grande y 40,5 mm en Estancia Maria Behetty, ver Tabla 3) pero en cordillera estas cifras se multiplicaron (102 mm en Paso Garibaldi, 400 m s.n.m.) por elevación y enfriamiento del aire húmedo. La temperatura fue suficiente para que la precipitación se diera en forma líquida en cotas altas, acelerando la fusión de la nieve. Así, se conjugaron varias situaciones:

- Excepcional condición de humedad antecedente y con nieve almacenada en zonas altas.

- En las zonas bajas lluvias moderadas a intensas, sobre suelo congelado, sin capacidad de infiltración y humedales sobresaturados, dio lugar a elevado coeficiente de escorrentía.

- Lluvias muy intensas y acelerado proceso de fusión de la nieve en la Cordillera y en la transición, producido por la acción conjunta del ingreso de aire cálido y las lluvias.

Tabla 3. Precipitaciones (mm) registradas entre el 28 y el 30 de junio en diferentes puestos de observación.

Río Grande (B.A)	Ea. María Behety	Tolhuin	Ea San Julio	Paso Garibaldi (400m s.n.m.)	Ushuaia (CADIC)
36.2	40.5	35.0	28.0	102.0	5.6

La Figura 7 muestra las isohietas de la tormenta del 28 al 30/6/06. La línea punteada indica el límite sur del área en que la tormenta tuvo intensidad significativa. A la derecha se muestra el mapa de los sistemas de alta (al E) y baja presión (al W) que indujeron el desplazamiento de aire cálido y húmedo hacia TdF. Normalmente estos sistemas tienen un posicionamiento relativo opuesto.

FOLIO
No 184

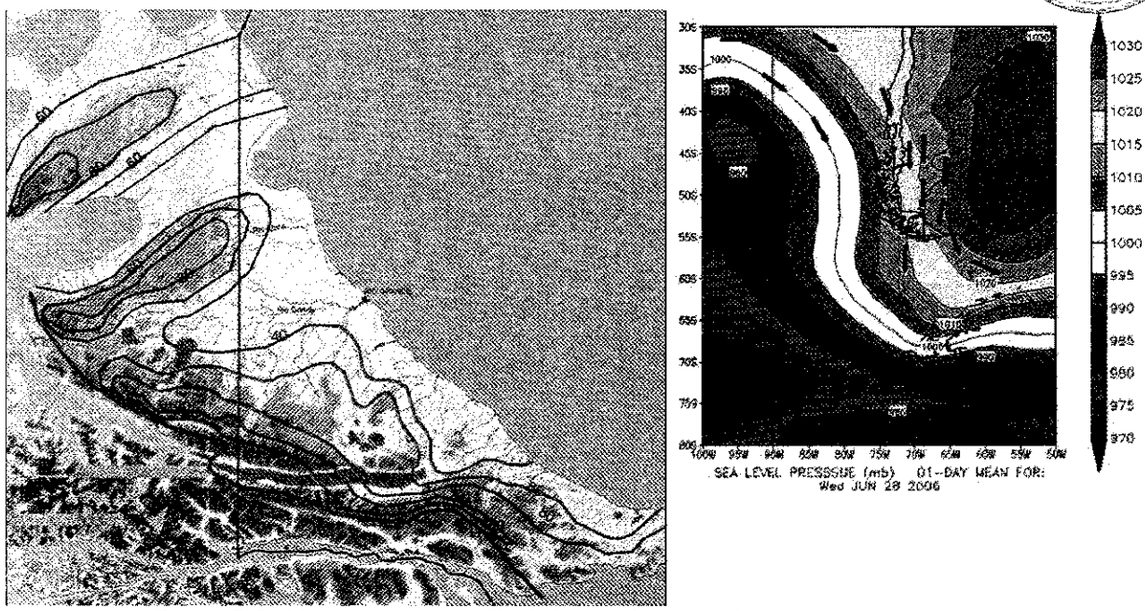


Figura 7. Isohietas y representación de la presión, estimadas para elevento extremo.

Observamos en la Figura 8 eventos de otoño-invierno de 2006 en las cuencas de los ríos Grande y Herminita en secciones de control próximas al límite fronterizo. El registro del Río Grande se interrumpió luego de que el data logger fuera cubierto por el agua. Se estima en 500 a 550 m3/s el máximo caudal en la desembocadura del R. Grande el 30/6/2006. Lluvias en Julio prolongaron el anegamiento de áreas rurales.

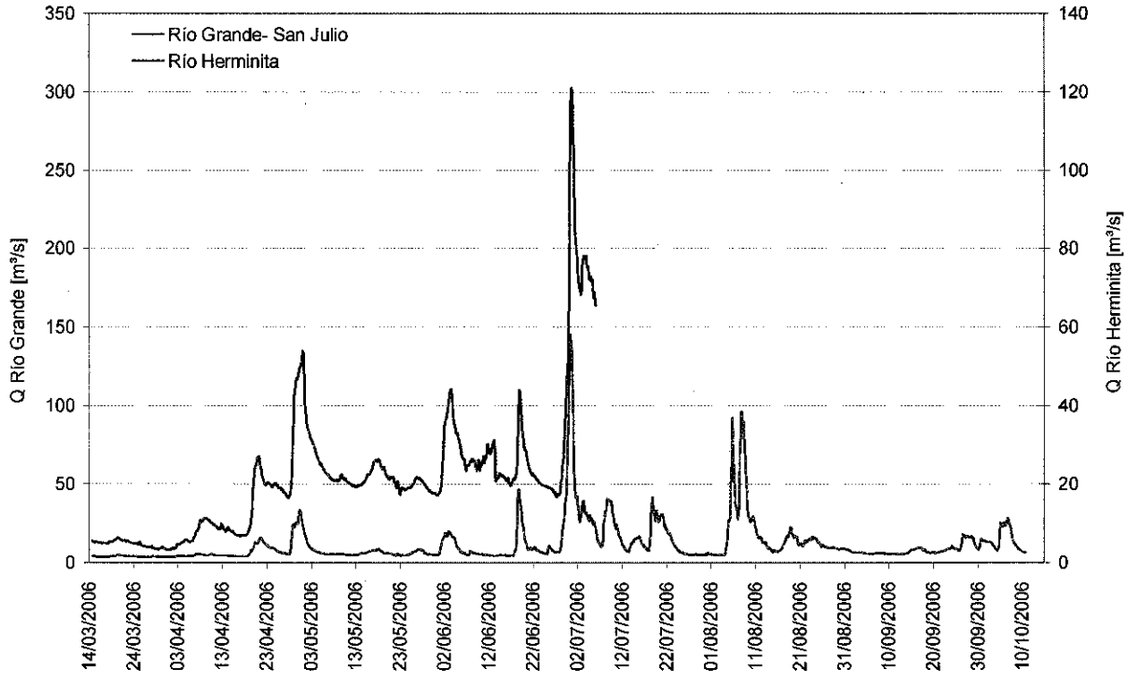


Figura 8. Caudales del Río Grande y Herminita.

FOLIO 18

Como conclusión y discusión del trabajo elaborado por Iturraspe et al., 2009 de título caracterización de crecidas extremas, se expresa: en las cuencas de transición y estepa (R. Chico y R. Grande respectivamente) hay menor cobertura relativa de bosque, se reduce el almacenamiento de nieve estacional y el estado de humedad antecedente determinado por precipitaciones en meses previos es un factor determinante para las grandes crecidas. Situaciones de congelamiento del suelo y de humedales generan condiciones previas también determinantes, como en el caso del invierno de 2006.

En tanto que imágenes de la inundación y sus efectos pueden visualizarse en la Figura 9: Tanto la Figura 9 *a) y b)* nos hace ver que en el amanecer y pasado el mismo, del día primero de Julio de 2006, aún se aprecia un nivel elevado del agua en la sección correspondiente al puente de la Ruta Nacional N° 3, que cruza el río Grande. Observamos de

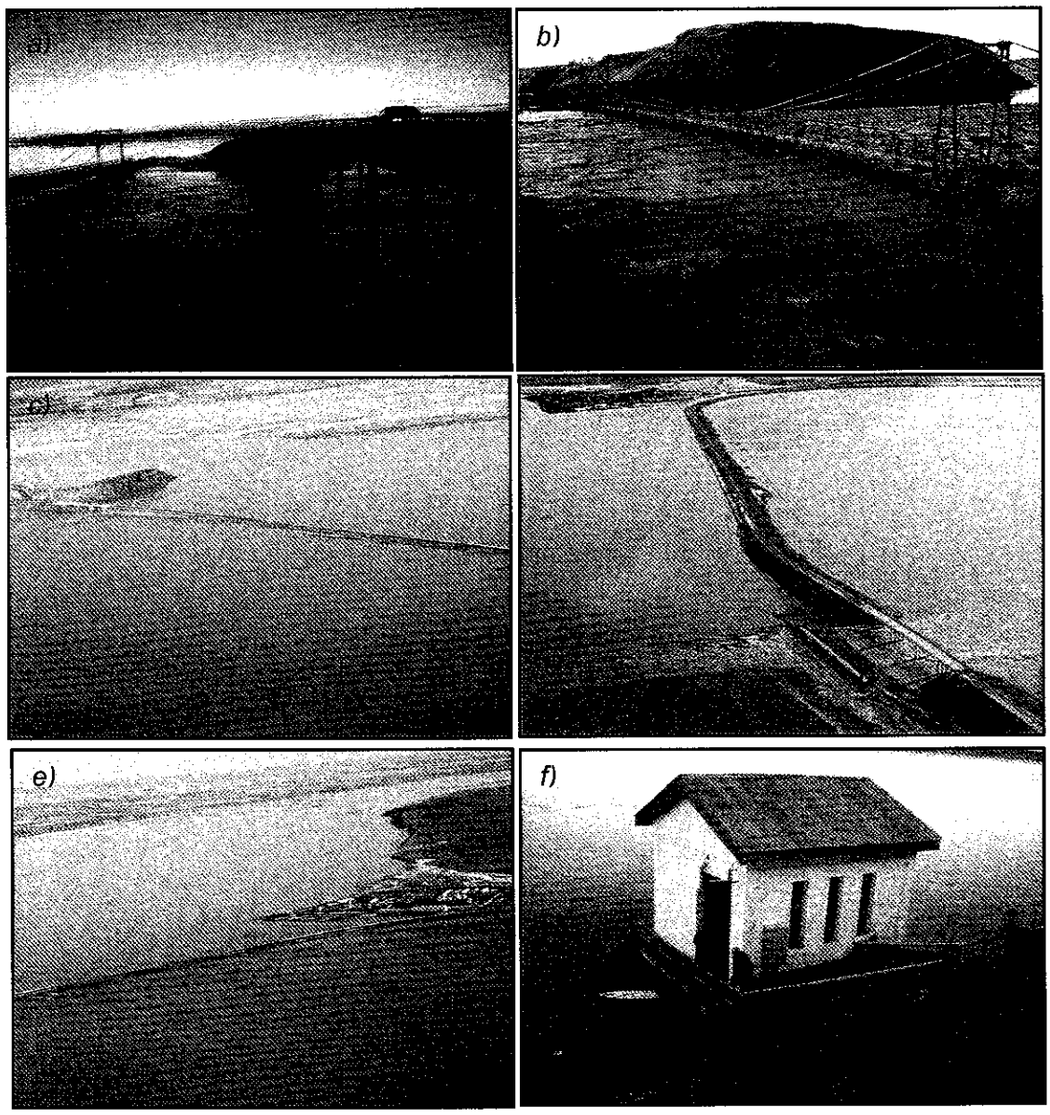


Figura 9. Imágenes de los niveles alcanzados.

FOLIO
Nº 199

imágenes aereas, el area de inundación del río Grande en la Figura *c)*, *d)* y *e)*, (Fuente Defensa Civil). Y por último notamos como afecto la crecida a la toma de agua de la planta potabilizadora que abastece a la ciudad de la estepa fueguina, en la Figura *f)*. Estas imágenes serviran para la etapa de validación del modelo numérico empleado, esto se consigue constrastando los niveles simulados con los niveles de resaca alcanzados.

La afectación de la Planta potabilizadora es un indicador de la excepcionalidad de los niveles alcanzados por el agua, con un máximo alcanzado en la noche del 30 de junio.

Extensión del evento. El extraordinario caudal del río Grande indica que la tormenta afectó significativamente el sector Chileno de Tierra del Fuego, ver Figura 10, considerando que el 60% del área de aporte a este curso se encuentra en Chile. El área afectada comprende desde el extremo occidental de la Isla Grande (Chile) hasta su extremo oriental, considerando la crecida excepcional de ríos como el Lainez, que destruyó el puente de la Ruta Complementaria A. Latitudinalmente la afectación fue también general. Considerando la procedencia de la tormenta, la mayor parte de la humedad quedó retenida en el flanco Norte de la cordillera. Las crecidas de los ríos que desaguan al Sur, tuvieron un carácter más moderado, particularmente en la zona de Ushuaia, donde la cordillera es más elevada que en sectores más orientales.

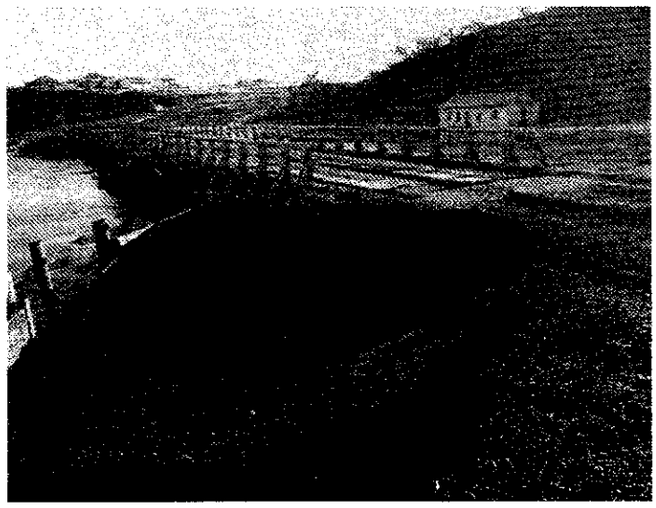


Figura 10. Puente Río Grande en Chile, 2/7/09

La ocurrencia de crecidas importantes en Junio y Julio es poco frecuente en Tierra del Fuego. En esta época las precipitaciones en los sectores altos son generalmente nivales, y los procesos de deshielo son lentos por la falta de sol y calor. Sin embargo ha quedado demostrado que en caso de producirse este tipo de situaciones, pueden desencadenarse eventos de mayor peligrosidad. En la Figuras 11, 12 y 13, observamos daños registrados en alcantarillas y puentes generados por los niveles excepcionales alcanzados en los tributarios del río Grande,

FOLIO
Nº 100

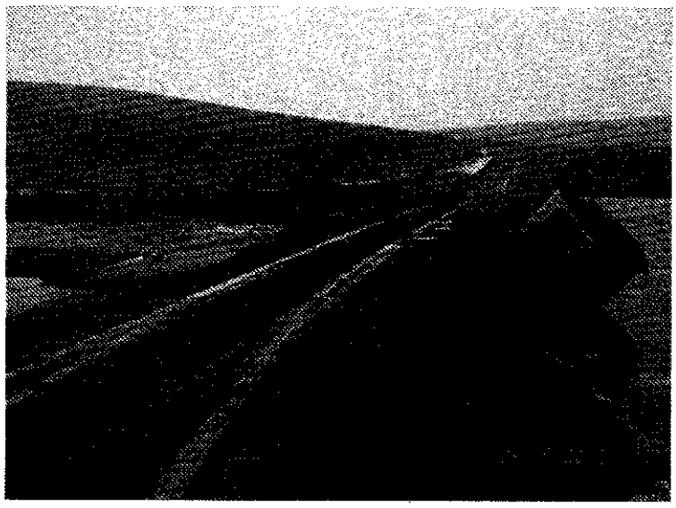


Figura 11. Alcantarilla Ruta D.

Figura 12. Puente Ruta E.

Figura 13. Puente Ruta E.

Además de la inundación se han registrado deslizamientos de medianas proporciones producidos por las lluvias y el descongelamiento del suelo. Si bien no se han registrado daños, en algunos casos éstos produjeron la obstrucción temporaria de la Ruta 3, particularmente en el tramo Rancho Hambre-Paso Garibaldi.

Como antecedente cercano al evento extremo, se produjo en el mes de mayo de 2006, un evento de similares características, aunque de menor intensidad, que provocó crecidas importantes, incluyendo un episodio de deshielo abrupto, aunque en ese momento el stock de nieve almacenada era de menor cuantía. Este deshielo parcial atenuó en cierta medida la dimensión de las inundaciones de junio ya que se redujo en buena medida la existencia de nieve acumulada, que posteriormente se restableció con las nevadas ocurridas en Junio.

Si bien existen diversas imágenes para días cercanos, de áreas que efecto el evento extremo, registrado el 30 de Junio de 2006 en la cuenca baja del río Grande, no se cuenta con un mapa de la zona de inundación, quedando zonas para las cuales no se tiene noción del grado de afectación que tuvo dicho evento.

Poder Legislativo
FOLIO
No 22
Secretaría Legislativa

4 Perfiles Transversales.

Mapas Temáticos Preliminares

FOLIO
Nº 63

4.1 Introducción

La tecnología del Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema que por medio de computadoras y datos geográficos ayuda a un mejor entendimiento del medio en que vivimos y nos permite resolver los problemas que diariamente afrontamos. El SIG es usado para diagnosticar sitios de posible desborde y planificar acciones para mitigar la ocurrencia de inundaciones, integrando modelos hidráulicos e hidrológicos así como fotografías aéreas e imágenes por satélite.

El presente trabajo consiste en la aplicación del Sistema de Información Geográfica como herramienta de análisis hidráulico y modelamiento espacial para evaluar el impacto de posibles inundaciones en el sector de la cuenca Argentina del río Grande. Para ello se integro el software de análisis hidráulico HEC-RAS 3.1.3 y la extensión HEC-GeoRAS en su versión 3.1.1 para ArcView 3.2, generando como resultado un mapa de inundación espacialmente georeferenciado, para un perfil de flujo similar al registrado el 30 de Junio de 2006, donde se puede cuantificar y visualizar la magnitud de la inundación numericamente.

Para la implementación del modelo numérico se necesita en principio el modelo digital del terreno en formato TIN, del mismo se obtendrán las secciones transversales, se complementará el con trabajos topograficos de secciones transversales al río Grande como a sus tributarios estas darán la batimetria más cercana a la realidad corrigiendo algunos errores de nivel.

Con el mapa de inundación se realizará un análisis de las áreas de impacto dado por la inundación. Como resultado buscaremos cuantificar y visualizar el área inundada

4.2 Trabajos de campo

Para definir la geometria transversal de la red de drenaje de la cuenca del río Grande, se plantearon 15 secciones transversales, con 9 de ellas sobre el cauce del río Grande y las 6 restantes sobre los afluentes, ver Figura 14.

Una vez definidas las secciones se hizo necesario posicionar una red de puntos fijos, cada unos de ellos lo mas cercano a las mismas y de está manera la metodologia implementada resulte mas eficiente y con un menor margen de error altimétrico. Antes de realizar las tareas campo fue necesario el diseño de la red de trabajo y una impresión del análisis de disponibilidad y distribución de satélites, analizar distintas imágenes satelitales, ubicando en ellas las rutas y caminos rurales de acceso, ademas en algunos casos posibles vadeos del río. Gestionar además permisos especiales para transitar por caminos rurales pertenecientes a las estancias.

Para el replanteo de estos puntos en campo se emplearon mojones de hormigón fabricados insitu, luego la posición de estos puntos fue cargada al SIG.

Medios técnicos. Para ello dispusimos de un vehículo 4x4. Dos sistemas receptor GPS. Tripode standar, con base nivelante y adaptador para base nivelante, Jalon para GPS, con un bípode, mas un bote, ampliamente usados en relevamientos rurales.

Tecnicas de medición implementas con GPS. Las técnicas empleadas de medición con GPS son con posicionamiento relativo, es decir que requieren de dos receptores. Un receptor (la estación base) queda fija en un punto. El otro receptor (itinerante) es posicionado en cada uno de los puntos cuyas coordenadas se quieren determinar. El método de medición GPS nos permitió reducir el tiempo de relevamiento prácticamente al tiempo que se demora en trasladar el receptor de un punto a otro.

El receptor que utilizado es un ProMark2, que adquiere y almacena datos de satélite GPS "crudos", en cada punto de medición. Los datos de cada ProMark2 han sido post-procesados para determinar la posición relativa de los puntos medidos.

El software de post-procesado empleado es el Ashtech Solutions 2.7, que es el que viene incluido con el equipo. El mismo proporcionó las herramientas requeridas para transferir y procesar datos GPS desde el receptor ProMark2, de esta forma producir posiciones relativas de todos los puntos medidos.

La antena GPS externa empleada es de Fase simple, marca Ashtech, modelo 110454. La misma es el punto físico de toma de datos para los datos "crudos" del satélite GPS. Por esta razón, debió ser ubicada en forma precisa sobre los puntos a medir, ya sea con trípode, jalón y bípode, o tan solo jalón, dependiendo de la metodología empleada para la medición.

La metodología para medir los primeros puntos fijos (4, 9 y 10) de base fue la estática, con distancia (longitud del vector) a puntos de base menores a 20 Km. En esta modalidad, los sistemas receptores GPS reúnen datos "crudos" simultáneamente desde todos los satélites disponibles, mientras permanecen estacionarios en sus respectivos puntos. La toma de datos continúa en estas ubicaciones por una duración de 2 horas que es función de la distancia entre los receptores, la geometría de satélites, y las condiciones de obstrucción en las ubicaciones de toma de datos. Cuando la toma de datos fue completa en estos puntos específicos, se pudo mover los sistemas receptores GPS a un nuevo punto, para comenzar otra sesión de toma de datos. Después de completar la toma de datos, los mismos son transferidos de los receptores GPS hacia el computador para realizar el postproceso utilizando el software Ashtech Solutions. En la actividad del post-proceso se calcularon los vectores (diferencias de posición) para así determinar la posición de todos los puntos observados, con relación a una o más posiciones de puntos fijos.

El método estático de toma de datos es el que produce los resultados más precisos y confiables que cualquier modalidad de toma de datos GPS. Esto se debe principalmente a los períodos extendidos de observación que hemos empleado en campaña para la toma de datos. Con estos períodos extendidos de observación se lograron precisiones en la medición (RMS) en el orden de magnitud para la dirección: horizontal (0,005 m + 1 ppm) y vertical (0,010 m + 2 ppm).

Para los puntos fijos posteriores la metodología fue la de Stop & Go, con inicialización en barra en todos los casos, con distancias a los puntos base inferiores a 10 Km y posicionamiento, como notamos vectores mucho más cortos que en el estático. La inicialización con la barra inicializadora de cada punto medido siempre fue de 5 minutos. Para la toma de datos "Stop-and-go", a fin de garantizar la estabilidad de la antena durante el intervalo se utilizó un jalón con dos patas de toma. Una vez que finalizamos la ocupación del

FOLIO 165

punto, nos trasladamos con el sistema hacia el próximo punto y el procedimiento de toma de datos se repitió.

Figura 14. Ubicación georefenciada de las secciones transversales sobre la cuenca del río Grande. Provincia Tierra del Fuego, Antartida e Islas del Atlántico Sur.

Finalizado con el posicionamiento de los puntos fijos y cargados los mismos en el SIG. Se continuó con la medición de las secciones en si, la metodología empleada fue la cinemática, inicializando la medición siempre en barra también, y con distancia máxima a los puntos fijos base inferiores a los 2 Km, para generar posiciones de alta precisión. En esta etapa ha implementamos como primer tarea el proceso de inicialización, para el ajuste fino del sistema receptor remoto.

En el proceso de toma de datos de modalidad cinemática se requirió también, de dos receptores tomando datos simultáneamente. Uno de los receptores es denominado base, y debió permanecer estacionario durante toda la toma de datos en cada uno de los puntos medidos y post-procesados con anterioridad. Como observamos en la Figura 15 un sistema receptor se encuentra correctamente posicionado sobre el punto fijo número 9.

Figura 15. Medición cinemática de la sección 15, en el cauce del río Rasmussen.

Durante la toma de datos en modalidad cinemática se tomó un punto cada vez que el receptor grabó un registro de datos. El intervalo de grabación de esta aplicación fue de 1 segundo, y la precisión lograda es de 0,04 metros.

El sistema rover es transportado y montado en un jalón, por un operario perteneciente a la Secretaria de Recursos Hídricos de la provincia de T.D.F. (ver Figura 15), especializado en el manejo de GPS.

Se debe aclarar que la toma de datos cinemáticos tiene la ventaja de ser altamente productiva, dado que reduce notablemente el levantamiento de puntos. Sin embargo la precisión no es tan buena como en los métodos estáticos.

En el cauce propiamente dicho se realizaron mediciones batimétricas para cada una de las secciones planteadas, con el GPS se relevo además el nivel del pelo de agua.

La posición en planta de los perfiles transversales de los cauces de la red de escurrimiento definida, se volcó al SIG con el objeto de determinar con el apoyo de imágenes satelitales para la condición de inundación registrada el 30 de Junio de 2006, la posición y el ancho de los valles en correspondencia con cada cauce y cada progresiva. Se determinaron a continuación los perfiles transversales de la zona de desborde, los que serán incorporados al modelo HecRAS que se implementará como segunda etapa en el marco del proyecto "CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE AMENAZA HIDROLÓGICA DE CRECIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE, TIERRA DEL FUEGO".

Aforos, Medición batimetrica. Para calcular el caudal que escurría en cada una de las 15 secciones planteadas en los ríos, se realizaron aforos. Utilizando el método relación sección-velocidad, que consitio en: medir la sección haciendo una batimetría, y subdividiendo la sección en áreas parciales donde se midió la profundidad en tramos separados en un 10 % del ancho total. De esta forma asignamos para cada profundidad la superficie de escurrimiento equidistante con las demás profundidades, y la suma de todas dio el area transversal de escurrimiento.

En los mismos sitios donde se realizó la medición de profundidades a través de un *molinete,* se midió la velocidad de escurrimiento del agua con el molinete paralelo al ecurrimiento y perpendicular a la sección de paso. En determinados casos en el que las velocidades de escurrimiento y profundidades eran importantes, requerió tensar una cuerda sujetando a la misma un bote y de esta manera realizar tanto el aforo como la batimetría. Se observa en la Figura 16 el traslado de la cuerda hacia la margen derecha en una sección del río grande. Y cuando las velocidades y tirantes se presentaban bajos, utilizamos un molinete que arroja directamente el dato de la velocidad media para la prefundidad relevada, (ver Figura 17)

Figura 16. Preparativos para el aforo y medición batimetrica, en el cauce del río Grande.

FOLIO 68

Figura 17. Aforo y medición batimetrica de la sección 12, en el cauce del río Candelaria.

4.3 Descripción del Modelo HEC-GeoRAS

La modelación hidrodinámica unidimensional se realizará con el software HEC-RAS (River Analisys System) versión 3.1.1., desarrollado por U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center tomando como referencia HEC (2002a y 2002b) y la extensión HEC-GeoRAS en su versión 3.1.1 que es una extensión para ArcView 3.2 desarrollada conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center del United States Army Corps of enginneers y el Environmental System Research Institute (ESRI).

El programa HEC-RAS aplicá y tiene en cuenta las siguientes consideraciones e hipótesis para flujo uniforme de perfiles de agua a superficie libre:

- El procedimiento de cálculo emplea la solución en una dimensión de la ecuación de energía, ver Ecuación 1.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \qquad (1)$$

- Las pérdidas de energía son evaluadas: para la fricción por la (Ecuación de Manning) y las de contracción / expansión por el (coeficiente multiplicado por el cambio en la carga de velocidad), ver Ecuación 2.

FOLIO
No 68

$$h_e = L\bar{S}_f + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right| \qquad (2)$$

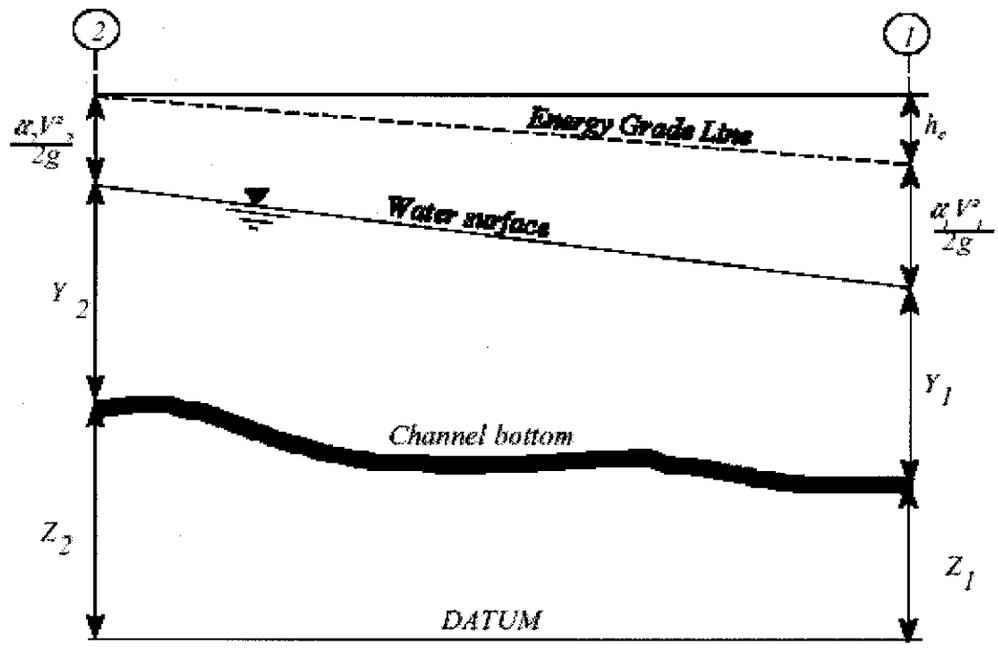


Figura 18. Gráfico discretizado del perfil de flujo a superficie libre.

- Ecuación de momento que se utiliza en situaciones donde el perfil de la superficie del agua es rápidamente variado (Por ejemplo, saltos hidráulicos, puentes, cruces de arroyo).

- Efectos de obstáculos, tales como puentes, alcantarillas, presas, y estructuras en la zona de inundación puede ser considerado.

- Diseñado para el uso en:
  - Estudio y gestión de zonas de inundación.
  - Evaluación de los cambios en los perfiles de la superficie del agua debido a mejoras de canales y diques.

- Las características especiales incluyen, análisis de múltiples: planes de cálculo, perfiles, puentes y / o alcantarilla.

HEC-RAS es un paquete informático que integra varios programas de análisis hidráulico en donde el usuario se comunica con el sistema a través de una interfaz gráfica. El objetivo primordial del modelo es obtener la altura del agua en ríos con regímenes permanentes o de flujos discontinuos calculando el área mojada de las secciones transversales, si bien su arquitectura abierta también admite otras posibilidades relacionadas con la acción geomorfológica de la escorrentía (p. ej. la denudación fluvial). La realización en el HEC-RAS de un proyecto ordinario orientado al análisis de zonas inundables, requiere información relacionada con la fisiografía del aparato fluvial y los registros foronómicos, debiendose sistematizar en los siguientes apartados: datos geométricos del cauce, flujos de agua y

FOLIO
Nº 210

especificaciones técnicas de la simulación. Los datos geométricos hacen referencia al aspecto de la sección transversal del cauce, pieza clave del modelo porque a partir de ella se realizan todos los cálculos.

En este modelo numérico las secciones transversales se introducen manualmente, interpretando la cartográfia topográfica o con mediciones directas en el campo con aparatos GPS, ubicandolas una tras otra a lo largo del eje del cauce, teniendo en cuenta que deben ser perpendiculares al mismo y estar poco distantes entre sí.

Las secciones, ver Figura 14, por la naturaleza de la información que contienen, se las ubicó en lugares donde se producen variaciones significativas en las condiciones hidráulicas, siendo el caso de las zonas con pérdida de carga y espacios con importantes cambios en la pendiente, en el coeficiente de rugosidad de Manning o en el perfil, e incluso se debió considerar la presencia de obras civiles. Otro nivel de información al que nos hemos referido con anterioridad son los flujos de agua, es decir, los caudales de descarga registrados en distintos puntos del cacuce. Estos datos han sido obtenidos en base a una estimación de los niveles picos medidos en el río Grande para el día 30 de Junio de 2006, ver Figura 8.

Utilizaremos en este trabajo una extensión para SIG, el HEC-GeoRAS, que facilita la tarea de contar con las secciones transversales automáticamente sobre un Modelo Digital del Terreno (MDT), de esta forma se genera un archivo para importar a HEC-RAS datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río, secciones transversales, etc. Posteriormente los resultados obtenidos de calados y velocidades se exportan desde HEC-RAS a ArcView y seran procesados para obtener mapas de inundación y riesgo. Basicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo entorno de los Sistemas de Información Geografica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS 3.1.3. Este modelo permite estimar los niveles alcanzados por el agua en un canal, o sistema de canales (natural artificial), con flujo permanente o transitorio, gradualmente variado, en condiciones de flujo subcrítico, supercrítico o combinaciones de ambos. El procedimiento de cálculo utilizado es la solución unidimensional de la ecuación de energía y de continuidad y las pérdidas friccionales son evaluadas mediante la ecuación de Manning.

Cartografía necesaria. Es necesario el MDT (modelo digital del terreno), en formato TIN (Trianguled Irregular Network) lo más detallado posibles. El MDT es una modelación de la topografía compuesta por un mosaico de celdas de pequeñas dimensiones que cubren la totalidad de la zona de estudio, y a las que se les asigna un valor de cota representativo. De archivo en formato TIN se extraerán los datos geométricos de las secciones transversales. Este modelo fué realizado por la nasa, tiene 3 segundos de resolucion, celdas de 90 m x 90 m. La version que vamos a usar es la última (SRTM V3). La dirección de la fuente citada es la siguiente: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/cbanddataproducts.html.

FOLIO
211

Esquema de trabajo. A continuación presentamos un esquema del trabajo que se lleva a cabo con el modelo numérico en la cuenca del río Grande, ver Figura 19. Este modelo de inundación ha sido empleado con éxito en otros lugares del mundo, como es el caso del río Waller Creek ubicado en Austin, Texas de Estados Unidos. Comenzamos con un PREPROCESO (trabajo previo con ArcView y HEC-GeoRAS), para generar un archivo de importación para HEC-RAS y que contiene información geométrica de las secciones transversales. La modelación del flujo con HEC-RAS que a su vez genera un archivo de exportación para ArcView y un POSTPROCESO que genera los resultados finales: superficies de inundación para la crecida simulada, grids de profundidad.

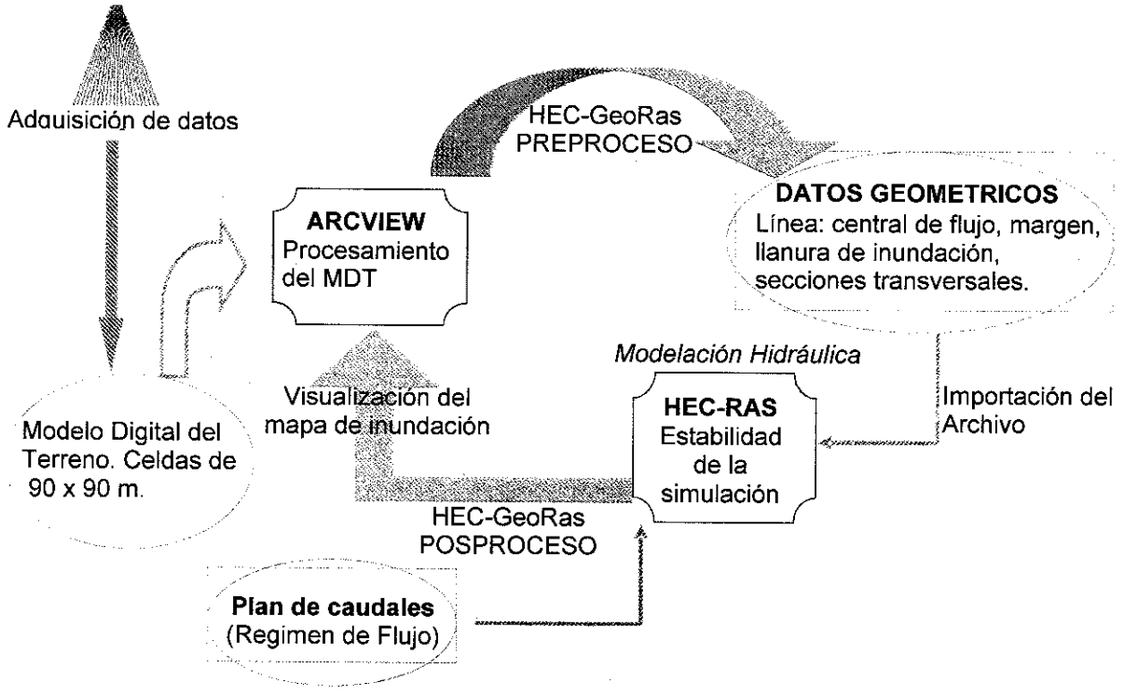


Figura 19. Procedimiento del modelo de inundación.

En HEC-RAS proporcionaremos datos adicionales como coeficiente de Manning, coeficientes de contracción y expansión, descripciones geométricas de cualquier estructura hidráulica (puentes, alcantarillas) en las secciones transversales, estaciones banco y longitudes de tramo.

FOLIO
212

Para la extracción de datos geométricos se necesita:

- El uso de la siguientes extensiones de ArcView:

  - 3D Analyst 1.0.

  - Spatial analyst 1.1 o superior, que nos permite aumentar la velocidad de post-proceso.

- Con el uso de la extensión HEC-GeoRas y la herramienta de digitalización en Arc View, generamos sobre el MDT, como ejemplo de aplicación de las tareas que debemos realizar sobre el río Grande, utilizamos el imágenes del trabajo realizado para el río Waller Creek:

  - La línea central del cauce, ver Figura 20.

  - Las lineas que definen las margenes del cauce, ver Figura 21.

  - Líneas que definen la llanura de inundación, ver Figura 22.

  - Demarcación de las secciones transversales, ver Figura 23.

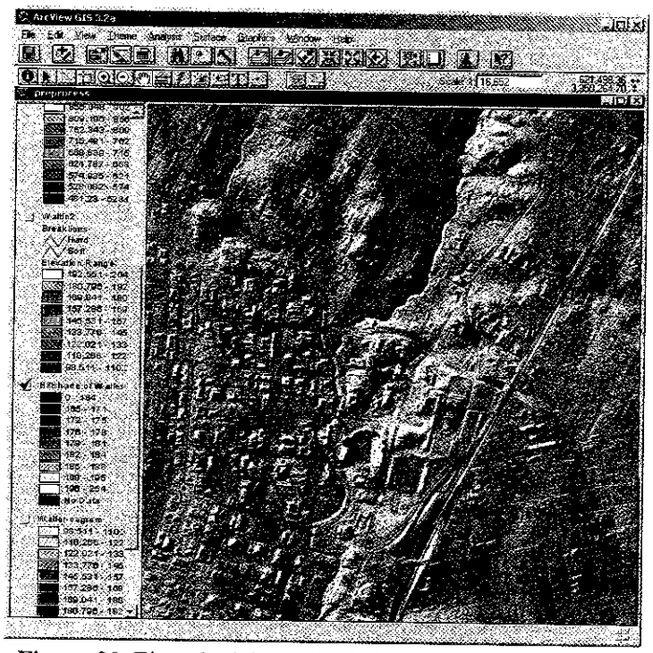


Figura 20. Ejemplo del trazado de la línea central del cauce.

FOLIO 213

Figura 21. Delimitación del cauce principal.

Figura 22. Delimitación de margen derecha e izquierda del río.

FOLIO 214

Figura 23. Definición de las secciones tranversales.

A continuación en la Figura 24 se observa un esquema del modelo digital del terreno y de cómo se generan las secciones transversales a partir del mismo.

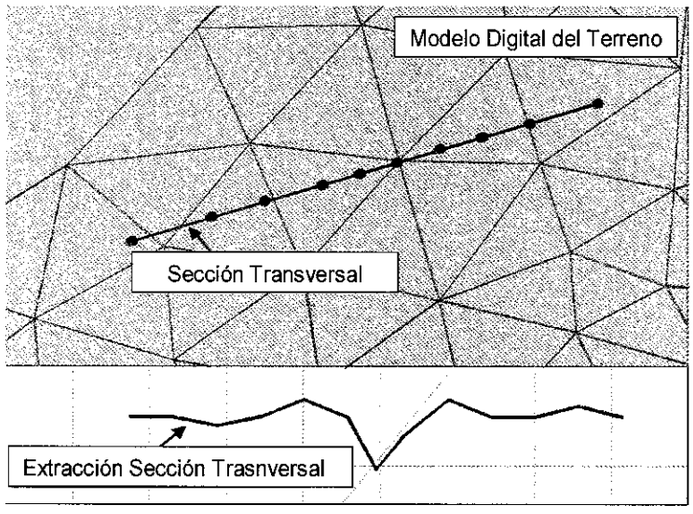


Figura 24. Extracción de secciones tranversales.

FOLIO Nro 25

En la Figura 25 observamos la preparación del archivo de importación para HEC-RAS.

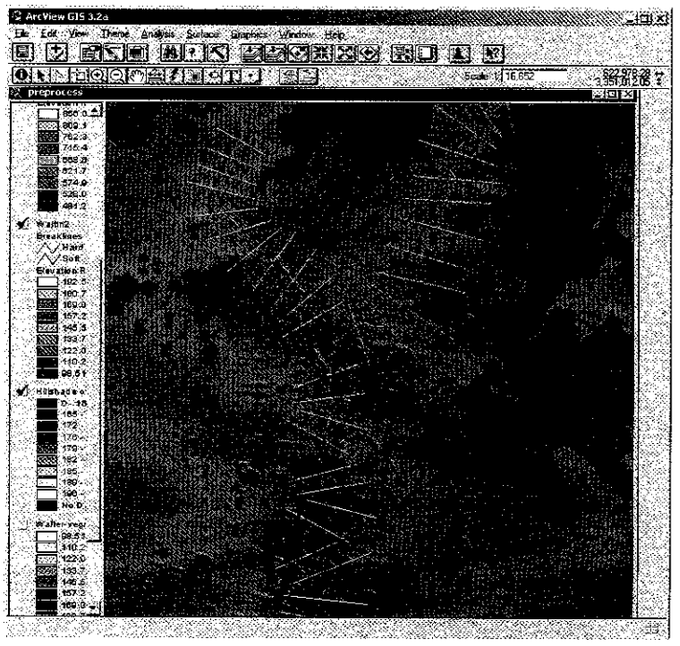
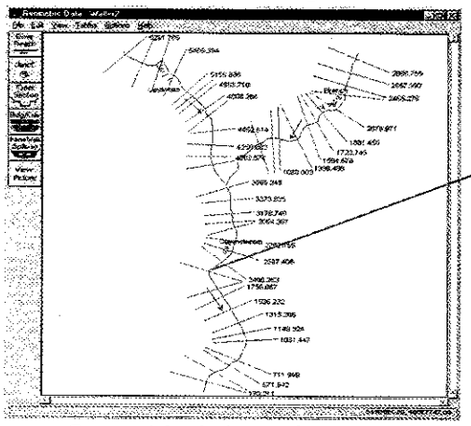
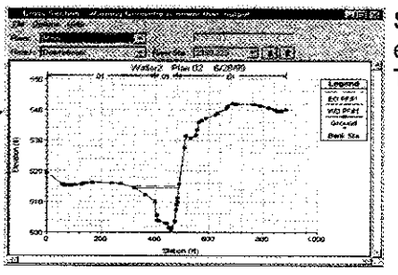


Figura 25. Preparación del archivo de importación para HEC-RAS.

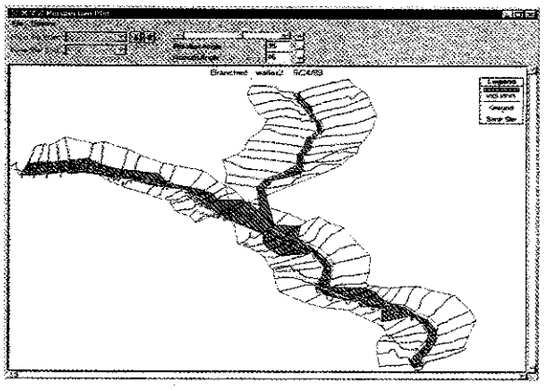
Trabajando con el archivo en HEC-RAS, se obtiene la geometría del río con el trazo de las secciones transversales, observamos la forma de la sección del cauce y el resultado de la elevación del nivel de agua según los caudales estimados, ver Figura 26.



Geometría de la corriente del sistema de analisis del río.



Sección transversal extraída del archivo TIN.



Resultado: elevación del nivel de agua.

Figura 26. Trabajo con HEC-RAS.

FOLIO
Nº 276

Una vez realizada la corrida del programa HEC-RAS procederemos a visualizar el mapa de inundación sobre el formato TIN, ver Figura 27.

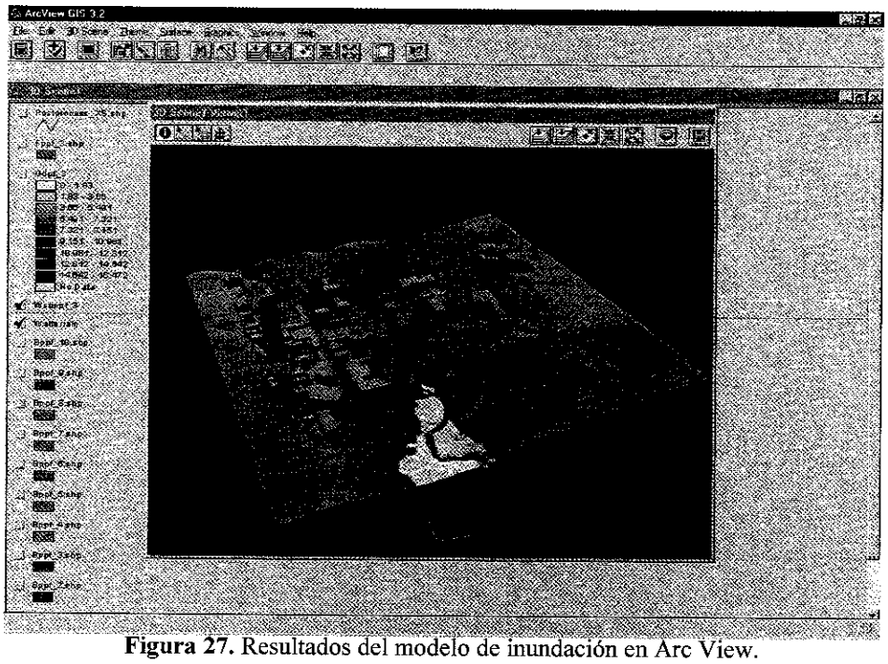


Figura 27. Resultados del modelo de inundación en Arc View.

Bibliografía

Bitesnik, H.O.; García, O.; Schroeder, C. E. (1983) "*Estudio hidrológico, hidrogeológico y de calidad de aguas de la cuenca del río Grande (Tierra del Fuego)*". Ezeiza, Centro de Hidrología Aplicada (INCYTH).

Environmental Systems Research Institute (1996). ArcView Gis: Using ArcView GIS, ESRI inc, Relands, California.

Guía del usuario para Medición. (2004). *"Sistema ProMark2"*. Fabricado por Thales Navigation.

Hydrologic Engineering Center (2002a) HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 3.1 CPD-69, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.

Hydrologic Engineering Center (2002b) HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Version 3.1 CPD-68, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.

Instituto Nacional del Agua INA. (2001): Proyecto de una defensa costera en la Ciudad del Río Grande, Tierra del Fuego – 1° Etapa.

INCYTH. (1982). *"Cuencas Hidrográficas Compartidas Argentino-Chilenas"*.Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica.

Instituto Nacional Del Agua INA. (2001). "*Proyecto de una defensa costera en la Ciudad del Río Grande 1° Etapa , Tierra del Fuego*". Argentina.

Isla, F. , F. Vilas, G. Bualesky, M. Ferrero, G. Gonzalez Bonorino y A. Arche Miralles (1991). Marine Geology, 97 (1991) 211-224. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam

Iturraspe R. J.; Sottini R.; Schroder C. & Escobar J.,(1989). "*Generación de información hidroclimática en TdF"*. Contrib. Cient. 7, CADIC: 4-170. Ushuaia, Argentina.

Iturraspe, R. y Schroder, C. (1985). *"Evaluación general de los recursos hídricos de Tierra del Fuego"*, Argentina. Congreso Nacional del Agua. Mendoza, 1985.

Iturraspe, R. Urciuolo, A. (2000*) "Clasificacion y caracterizacion de las cuencas hidricas de Tierra del Fuego"*. XVIII Congreso Nacional del Agua. Termas de Rio Hondo. Santiago del Estero.

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.

J.Puigdefábregas, G.del Barrio y R.Iturraspe. *"Régimen térmico estacional de un ambiente montañoso en la Tierra del Fuego, con especial atención al limite superior del bosque".* (1988) Pirineos (132) Pp 37-48. Jaca - Inst. Pirenaico de Ecología- Consejo Sup. de Inv. Cient. España.

Rabassa, J., G.Bujalesky, A. Meglioli, A. Coronato, S. Gordillo, C. Roig y M. Salemme (1992). The Quaternary of Tierra del Fuego, Argentina: the status of our knowledge.Sveriges Geologiska Undersökning, Ser. Ca 81, pp 249-256 ISBN 91-7158-518-4.

Roig, Fidel (1988). *"La vegetación de la Patagonia"*. Flora Patagónica, INTA. Colección Científ. T VIII Vol I.

URCIUOLO A., ITURRASPE R. (1997). "Los Recursos Hídricos en la Provincia de Tierra del Fuego", *Trabajo de Divulgación - Secretaría de Desarrollo y Planeamiento*, Ushuaia.

URCIUOLO A., ITURRASPE R. (1995). *"Propuesta para la Planificación de la Administración y Manejo de los Recursos Hídricos de Tierra Del Fuego"*, 1er Congreso Nacional de Gestión del Agua y Saneamiento, La Falda.

Koremblit G. y J. Forte Lay. (1991). "*Contribución al estudio agroclimático del Norte de Tierra del Fuego"*, Argentina. Anales Inst. de la Patagonia. Serr. Cs Nat Vol 20 (1) 1991 Punta Arenas. Chile.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
Dirección General de Recursos Hídricos

FOLIO 218

Informe: PROYECTO DE MONITOREO DE CRECIDAS EN RÍOS DE LA ISLA GRANDE DE TIERRA DEL FUEGO

Durante la última década se han producido en forma recurrente en Tierra del Fuego, crecidas extraordinarias en los cursos de agua de ríos de distintas zonas de la Provincia, debido a fenómenos climáticos tales como: precipitaciones extremas, fuertes deshielos, etc. Dichos fenómenos han provocado consecuencias tales como: rotura de puentes y vadenes, cortes de rutas, afectación de asentamientos poblacionales y otras afectaciones de menor magnitud.

Si bien estos fenómenos suceden en forma recurrente, en particular puede citarse como evento extraordinario, la ocurrencia de precipitaciones de gran intensidad en los meses de abril y mayo del año 2000, con las siguientes consecuencias:

- Rotura de puentes sobre el camino del Atlántico, único acceso al extremo oriental de la isla de Tierra del Fuego, que hasta el presente continúa cortado. Este fenómeno climático causó asimismo, la destrucción de asentamientos existentes en la zona y provoca que establecimientos próximos a Estancia Moat se encuentren sin posibilidad de acceso terrestre.

- Deterioro de la Ruta Nacional Nº 3 que conecta las ciudades de Ushuaia y Río Grande, por rotura de alcantarillas y socavación del terreno en distintas partes de la misma. En particular se vio afectada la Región de los Valles, donde las precipitaciones fueron de mayor intensidad; cabe destacar que esta zona reviste gran importancia por su carácter turístico y que la ruta mencionada es el único acceso a la misma.

FOLIO
Nº 29

- Destrucción de vadén sobre el río Rassmussen, en proximidades del paso fronterizo Radman, viéndose impedido el acceso a la República de Chile por este paso, durante varios meses; esta situación no constituye un hecho puntual, sino que por el contrario, se ha presentado en forma recurrente.

- Rotura del puente sobre el Arroyo Almanza, aislando la comunidad del mismo nombre, en la cual se desarrollan numerosos microemprendimientos productivos (acuícolas, agrícolas, etc.).

- Se han visto afectadas además otras rutas secundarias de la Provincia, que constituyen los únicos accesos a las Estancias y puestos de Gendarmería.

Cabe destacar la baja densidad de la red vial provincial, hecho que provoca que en situaciones como las mencionadas, la falta de accesos alternativos, produzca el aislamiento de asentamientos poblacionales.

El primer paso para la solución de las situaciones expuestas, sería contar con la información hidroclimática que, hasta el presente, es escasa en la Provincia. Cabe destacar el carácter incipiente de las actividades relacionadas con la evaluación y administración de los recursos hídricos. Esta situación, sumado a las restricciones presupuestarias vigentes que dificultaron el mantenimiento de redes automáticas, provoca que en la actualidad, no se cuente con la información necesaria para realizar los cálculos hidrológicos y predicciones necesarias para el proyecto de obras civiles.

En forma urgente por lo tanto, sería necesaria la puesta en marcha de trabajos relativos a un sistema de medición básico, consistente en la instalación de limnígrafos en los cursos de agua que presentan mayor riesgo para la integridad de rutas y asentamientos poblacionales y pluviómetros asociados.

FOLIO
Nº 120

Las zonas consideradas críticas corresponden a los siguientes ríos: Olivia, Tierra Mayor, Lashifashaj, Hambre, Cambaceres, Almanza y Moat. Para el monitoreo dichas zonas sería necesaria la instalación de siete (7) limnígrafos con pluviógrafo asociado en por lo menos una (1) sección de cada uno de los cursos mencionados.

FOLIO Nº 120

Las zonas consideradas críticas corresponden a los siguientes ríos: Olivia, Tierra Mayor, Lashifashaj, Hambre, Cambaceres, Almanza y Moat. Para el monitoreo dichas zonas sería necesaria la instalación de siete (7) limnígrafos con pluviógrafo asociado en por lo menos una (1) sección de cada uno de los cursos mencionados.

FOLIO
224

CARACTERIZACIÓN DE CRECIDAS EXTREMAS EN TDF.

Rodolfo Iturraspe [(1)(2)], Adriana Urciuolo [(1)(2)], James Bathurst [(3)]
[(1)] Dirección General de Recursos Hídricos de TdF
[(2)] Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
[(3)] Universidad de Newcastle, U.K.
San Martín 1401. (9410) Ushuaia. Tel 02901-431354 iturraspe@tdfuego.com;

RESUMEN

En base a diferentes estudios de casos se ha analizado la respuesta de las cuencas de régimen pluvio-nival de Tierra del Fuego a los eventos extremos. Para ello se han considerado los patrones climáticos desencadenantes, que no se reducen sólo a precipitaciones, sino que además cumplen un rol significante la temperatura y el almacenamiento nival antecedente. Se han reconstruido y analizado eventos históricos significativos y en mayor detalle los registrados entre los años 2000 a 2007 en base a dos cuencas piloto instrumentadas. Se analizó la respuesta de las mismas a los eventos climáticos para luego proceder a la modelación matemática implementada con el modelo SHETRAN en un trabajo conjunto con la Universidad de Newcastle (U.K.)

Se modelaron matemáticamente eventos que afectaron a una cuenca seleccionada y se evaluó el efecto de cambios de uso de la tierra sobre crecidas ordinarias y extremas. En el invierno de 2006 ocurrió un evento extremo que generó excepcionales inundaciones que provocaron daños en gran parte de la red vial de la Provincia de Tierra del Fuego, cuyas características han sido descriptas en el presente trabajo.

Se ha comprobado que los eventos más críticos se producen por ocurrencia de lluvia sobre nieve almacenada en la cuenca. En las cuencas de cordillera el transporte de troncos y fragmentos de madera durante las crecidas es un factor agravante del riesgo hídrico.

INTRODUCCIÓN

Si bien la mayor parte de las cuencas de Tierra del Fuego (TdF) tienen nacientes en sistemas montañosos de cordillera, existen notorias diferencias entre el ambiente húmedo propio de la cordillera en el Sur de la Provincia, donde domina el bosque nativo de *Nothofagus*, (Collado, 2001) y la zona Norte donde dominan las lomadas y el ambiente de estepa de coironales y vegas. Iturraspe y Urciuolo (2000) describieron los diferentes tipos de cuencas en los ambientes contratantes de la Isla que dan lugar a matices en el comportamiento hidrológico. La característica dominante propia de todas las cuencas es el régimen pluvionival y la ausencia de lluvias torrenciales producidas por sistemas convectivos, muy poco frecuentes en el clima local. Las precipitaciones frecuentes y de baja intensidad, favorecen el carácter moderado de las avenidas. No obstante las cuencas de cordillera tienen rápida respuesta y torrencialidad.

En las últimas décadas se han producido notables cambios en el uso de la tierra, afectando la cobertura del bosque nativo y en muchos casos la estabilidad de las turberas, que son humedales importantes como reguladores del escurrimiento (Ivanov, 1981, Iturraspe et al., 2000). No obstante son escasos los estudios tendientes a evaluar el impacto de tales cambios sobre el régimen hidrológico.

FOLIO Nº 222

Una de las limitaciones para la investigación en este tema es la falta de serie de datos hidrológicos con el suficiente detalle a nivel de cuenca y con la extensión temporal requerida para aplicar estudios estadísticos clásicos. La importante variabilidad espacial de las precipitaciones y de la temperatura resulta ser un factor adicional de complejidad.

Existen algunos antecedentes sobre estudios a nivel de cuenca, la mayoría de ellos realizados principalmente a partir de la década del 80': observaciones hidrométricas realizados por Agua y Energía en el río Olivia entre 1944 y 1948 y el posterior estudio hidrológico (Agua y Energía, 1987) para un aprovechamiento hidroeléctrico; el estudio para el diagnóstico preliminar de los recursos hídricos de la cuenca del río Grande (Bitesnik, 1983), series hidrológicas de los ríos Lapataia, Pipo y A. Grande (Iturraspe et al, 1989); estudios hidrológicos en las cuencas Olivia-Lasifashaj (Iturraspe et al, 1989) y aforos de la mayoría de los cursos de TdF (Iturraspe et al, 1989) y Dir. Gral. de Recursos Hídricos de T. del Fuego.

El objetivo del trabajo, realizado en el marco del proyecto EPIC FORCE, financiado por la Union Europea (INCO-CT2004-510739) es caracterizar las situaciones de crecidas extremas en TdF y la respuesta de las cuencas a los eventos climáticos, de modo de establecer bases y evidencias para la formulación de políticas y estrategias en materia de uso de la Tierra y de los recursos hídricos. En otro aspecto, es importante el cabal conocimiento de las condiciones bajo las cuales se generan las principales crecidas a los fines del diseño de tormentas de proyecto para la determinación de caudales de proyecto para obras hidráulicas.

METODOLOGÍA

La necesidad de información más detallada para el análisis de respuesta de las cuencas llevó a la instrumentación de dos cuencas piloto en el ambiente de cordillera: la cuenca del arroyo Buena Esperanza (12.9 km^2 a la sección de control), en proximidades de Ushuaia, y la del río Hambre(18.9 km^2), en la cuenca del río Lasifashaj (figuras 1 y 2). Ambas presentan diferencias en sus características morfológicas y en el nivel de afectación por la actividad antrópica: relativamente alterada la primera y con muy baja afectación la segunda. En ambas cuencas existía información previa desde 1984 en adelante, aunque discontinua. La elección de la cuenca del B. Esperanza se motiva también en la buena correlación que presentan allí los datos climáticos con los registros de la estación meteorológica de Ushuaia, que cuenta con un extenso registro. El objeto de los estudios en las cuencas piloto es analizar en detalle el mecanismo de las crecidas más importantes. El emplazamiento de las estaciones de medición está indicado en la figura 2; un mayor detalle sobre esta información puede ser consultado en el Deliverable 18 del proyecto EPIC FORCE (Iturraspe et al, 2007). Paralelamente se estudiaron y reconstruyeron en ambas cuencas, situaciones históricas observadas, identificando eventos extremos, con el objeto de estudiar la respuesta de las cuencas a este tipo de situaciones. La cuenca del Arroyo Esperanza fue modelada en la Universidad de Newcastle, aplicándose el modelo SHETRAN (Abott et al.,1986, Bathurst, 1986). El modelo fue utilizado para evaluar la respuesta de la cuenca a diferentes situaciones de usos de la tierra, en particular la reducción de la cobertura forestal, existiendo antecedentes documentados sobre su eficiencia para tales fines (Parkin et al, 1996; Bathurst et al, 2004)

En la zona Norte y Centro de TdF se focalizó el análisis en el evento del otoño-invierno de 2006, especialmente en la cuenca del río Grande, la mayor de la Isla (8680 km2) y en la del río Chico (1530 km^2) estaciones hidrométricas con equipamiento electrónico registraron en detalle la variación de niveles de agua. los caudales máximos en estos cursos no pudieron ser aforados, por lo

FOLIO
223

que fueron estimados utilizando el método de Manning, y pueden ser objeto de ajuste en el futuro. Se recopilaron datos de precipitación de 16 estaciones pluviométricas, 8 de ellas situadas en Chile y de temperatura del aire en diferentes ubicaciones.

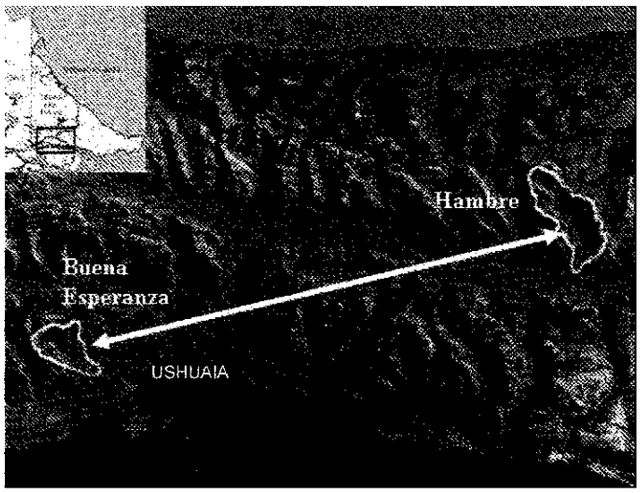


Figura 1. Ubicación de las cuencas piloto.

Figura 2. Detalle de la instrumentación de las cuencas.

RESULTADOS

La serie de precipitaciones diarias de la estación Ushuaia (20 m s.n.m.) representada en la figura 3, fue tratada estadísticamente y se aplicó el método de Gumbel para valores extremos, con el objeto inferir la frecuencia de los eventos observados. El análisis se realizó a dos niveles: uno en forma ordinaria, trabajando con los máximos anuales y otro con los máximos anuales de precipitación ocurrida con temperatura media diaria mayor o igual a 6 °C. Este último, teniendo en cuenta que precipitaciones observadas en Ushuaia con baja temperatura se presentan como nevadas

en cotas medias y altas y no ocasionan crecidas. Una media de seis grados a nivel del mar garantiza lluvias en la mayor parte de la cuenca.

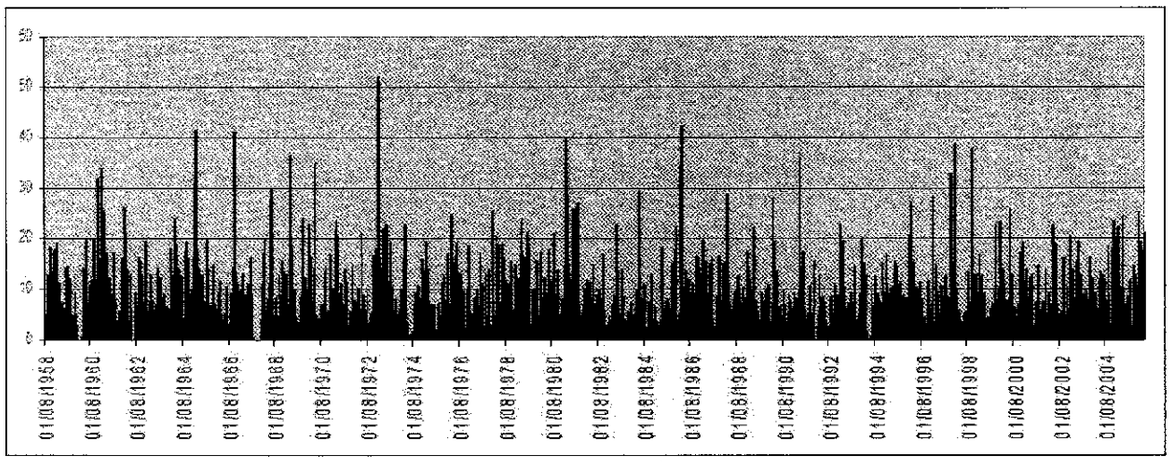


Figura 3. Precipitaciones diarias en Ushuaia (20 m s.n.m) 1958-2007

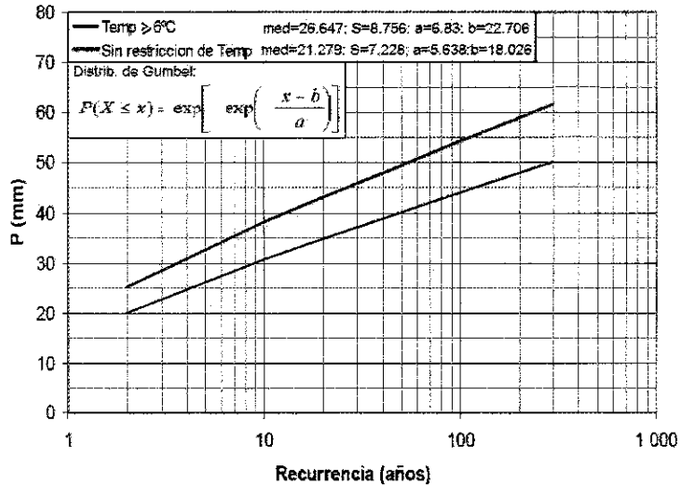


Figura 4. Análisis de valores extremos de la precipitación máxima diaria en Ushuaia aplicando la distribución de Gumbel en base a 47 años de datos.

Eventos Extremos en cuencas de Cordillera

La inundación del 6/11/1954 es el mayor evento conocido en la cuenca del Buena Esperanza, en tanto que en la cuenca del Hambre los casos identificados son de carácter más reciente, con ocurrencia en 2000 y 2006. Este último, si bien no fue localmente de máxima magnitud, fue el episodio más severo registrado a nivel regional en la zona Norte y Centro de TdF.

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

Tuvo lugar a partir de 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 estabilizaron el manto de nieve y retrasaron el proceso de deshielo (figura 5). La lluvia que desencadenó la crecida fue significativa para la escala local (42 mm) pero no tanto como para producir un evento extremo en forma independiente. Tampoco fue excepcional la temperatura, sin embargo la masa de aire húmedo fue suficientemente cálida para permitir

precipitación líquida en toda la cuenca. La lluvia aceleró la fusión de la nieve aportando energía adicional. La temperatura precedente fue 15° (a nivel del mar). Los datos climáticos fueron suministrados por el SMN, disponibles a nivel diario (precipitación, temp. máxima, media y mínima). La distribución horaria de la lluvia fue estimada por referencias de antiguos pobladores, que indicaron que llovió durante la noche y la crecida se dio en la mañana.

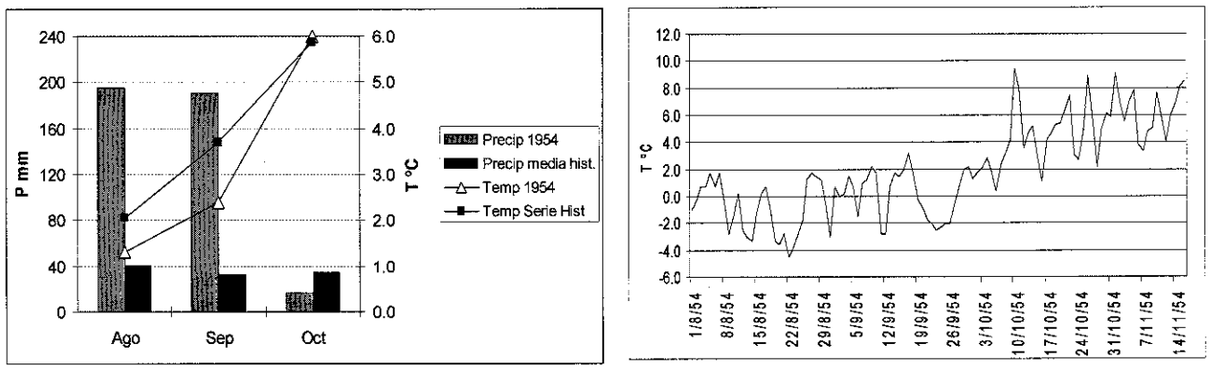


Figura 5. Precipitación y temperatura en Ushuaia en los meses precedentes a Nov/54. La comparación de la precipitación (mayormente nival) y la temperatura con los promedios históricos muestra el carácter excepcional que tuvo la acumulación nival. A la derecha, la temperatura media diaria en los dos meses previos a la crecida, al nivel de 450 m s.n.m., (correspondiente al tramo medio-inferior) a partir del cual se produce importante acumulación nival. El 70% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre esta cota.

El caudal máximo fue reconstruido a partir de fotografías obtenidas ya pasado el pico pero que muestran el nivel máximo alcanzado, en base al cual se determinó la sección transversal de escurrimiento. La velocidad media 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. (Figuras 6 y 7)

Figura 6. Crecida del Buena esperanza en la mañana del 5/11/1954

Figura 7. Zona céntrica de Ushuaia, afectada por el chorrillo Rodríguez en el mismo día.

Se determinaron las precipitaciones en diferentes niveles de la cuenca (figura 8) aplicando un coeficiente de acuerdo a la correlación entre Ushuaia y observaciones en diferentes niveles de la cuenca realizados entre 1985 y 2007 (Iturraspe et al., 1989, 2007). La figura 8 muestra el hidrograma y las condiciones climáticas del evento de acuerdo a las observaciones en Ushuaia.

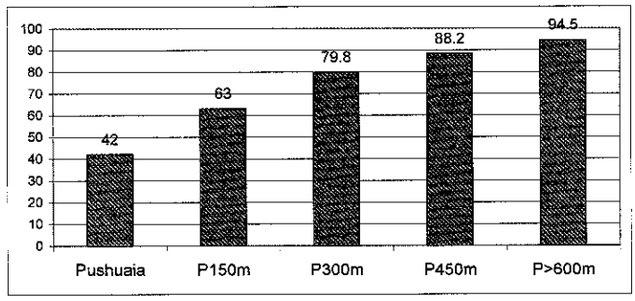


Figura 8. Distribución de las precipitaciones del evento de 1954 en función de la altitud.

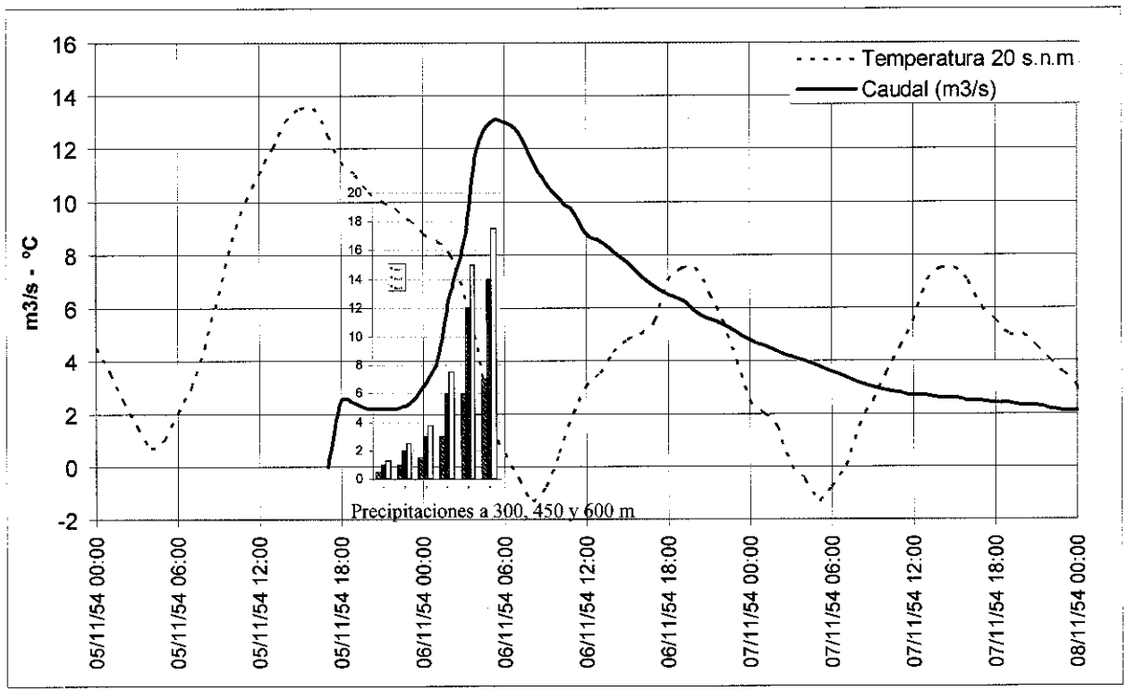


Figura 9. Crecida de 1954 en la cuenca del A. Buena Esperanza y datos climáticos desencadenantes.

Durante el período de observaciones de caudal 2000-2007 no se manifestaron crecidas de la magnitud del año 1954; no obstante se analizaron las características de las crecidas máximas anuales, algunas producidas por lluvias, otras exclusivamente por deshielo y casos combinados.

Cuenca del Río Hambre

Los eventos identificados en esta cuenca corresponden a los años 2000 y 2006. En cada año hubo 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 16 y 17 de Marzo de 2000 (Figuras 10 y 11)

Tipo de evento: lluvia intensa exclusivamente (99 mm en 43 hs). Caudal máximo: 16 m3/s
Datos de precipitación: registrados pluviómetro registrador 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 observaciones realizadas durante la crecida.

FOLIO 224

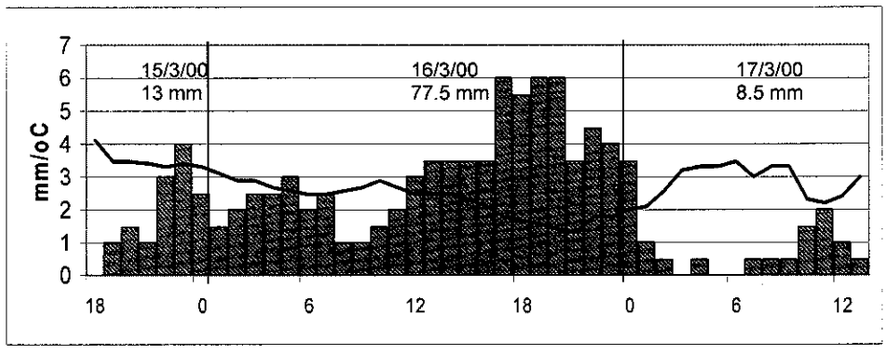


Figura 10. Precipitación y temperatura el 18 y 19/3/2000 en la cuenca del R. Hambre

Figura 11. Troncos acumulados por la crecida del 17/3/2000 del R. Cambaceres. Detrás, el puente de la ruta provincial.

Crecida del 2 de Junio de 2000 (Figura 12)

El evento fue producido por lluvia intensa sobre nieve. Precipitación: 91.5 mm en 17 hs. El caudal máximo fue 25 m3/s. Es el mayor conocido y provocó daños en el puente sobre la RN 3
Registros de precipitación: con instrumento electrónico a cangilones en Paso Garibaldi.
Registros Datos de temperatura: con data logger Ondotori, paso de tiempo horario. El hidrograma fue reconstruido a partir de marcas de máximo nivel alcanzado y referencias facilitadas por la DPV.

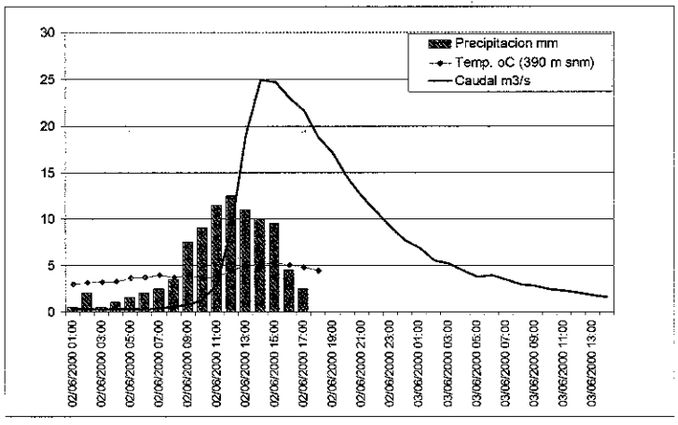


Figura 12. Datos correspondientes al evento de Junio de 2000 en el río Hambre

FOLIO 228

La destrucción de antiguos diques de castores en el cauce principal por consecuencia de las crecidas de 2000 es indicador de su carácter extraordinario.

Crecidas de Mayo-Junio 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, facilitado por la baja altura de la divisoria. Las condiciones fueron similares a las de Junio de 2000: precipitación líquida sobre nieve almacenada (102 mm en tres días). La figura 13 muestra el hidrograma correspondiente, que alcanzó un pico cercano a los 18 m3/s. El 30 de Mayo tuvo lugar una crecida previa 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. Los datos fueron adquiridos mediante una estación automática y registradores de nivel Global Water (figura13)

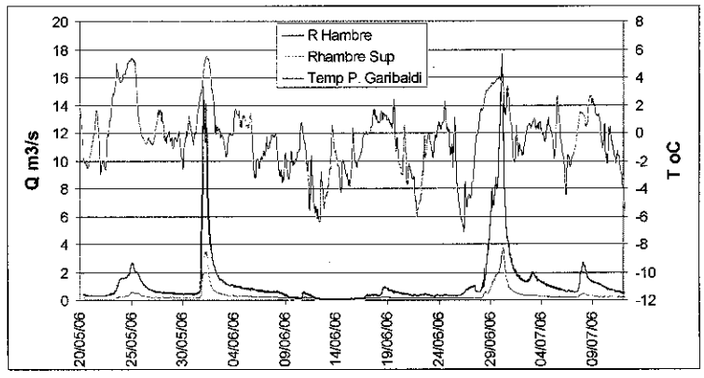


Figura 13. Hidrogramas de crecidas mayo-julio/2006 en cuenca del Hambre y temperatura del aire a 400 m s.n.m. . Se que en esa época del año la subcuenca superior contribuye en baja proporción al caudal total. Hay correspondencia de máximos caudales con picos de temperatura que determinaron precipitación líquida.

Eventos extremos en la estepa y transición. La inundación de 2006 como estudio de caso.

El 30/6/2006, se produjo una inundación sin precedentes en registros históricos, por los niveles alcanzados por las aguas, por su permanencia y el área de afectación. Fue resultado de condiciones antecedentes particulares y una anomalía climática desencadenante.

El primer semestre de 2006 presentó características húmedas en el centro y Norte de la Provincia, con precipitaciones próximas al total anual, duplicando las del mismo período del año 2005. El primero de mayo se produjo una crecida previa, superior a las máximas anuales ordinarias.

En este contexto, en junio se registraron importantes nevadas y promediando el mes, un centro de alta presión se instaló en la región determinando condiciones muy frías y congelamiento del suelo (mínimas en Tolhuin de -18°C). Hacia fin de junio este anticiclón se desplazó a la altura de Islas Malvinas y un centro de baja presión se posicionó al Oeste de TdF (figura 14). Este cuadro indujo el ingreso de aire cálido y húmedo desde el Norte, provocando lluvias entre el 28 y el 30/6 (en algunas estaciones llovió también el día 27). En la zona costera no fueron éstas excepcionales (36 mm en R. Grande y 40,5 mm en Ea. M. Behetty) pero en cordillera estas cifras se multiplicaron (102 mm en Paso Garibaldi, 400 m s.n.m.) por elevación y enfriamiento del aire húmedo. La temperatura fue suficiente para que la precipitación se diera en forma líquida en cotas altas, acelerando la fusión de la nieve. Así, se conjugaron varias situaciones:

- Excepcional condición de humedad antecedente y con nieve almacenada en zonas altas.
- En las zonas bajas lluvias moderadas a intensas, sobre suelo congelado, sin capacidad de infiltración y humedales sobresaturados, dio lugar a elevado coeficiente de escorrentía.

FOLIO
229

- Lluvias muy intensas y acelerado proceso de fusión de la nieve en la Cordillera y en la transición, producido por la acción conjunta del ingreso de aire cálido y las lluvias.

Las figuras 14 y 15 muestras las isohietas de la tormenta y los caudales de crecida en tanto que imágenes de la inundación y sus efectos pueden verse en la figura 16.

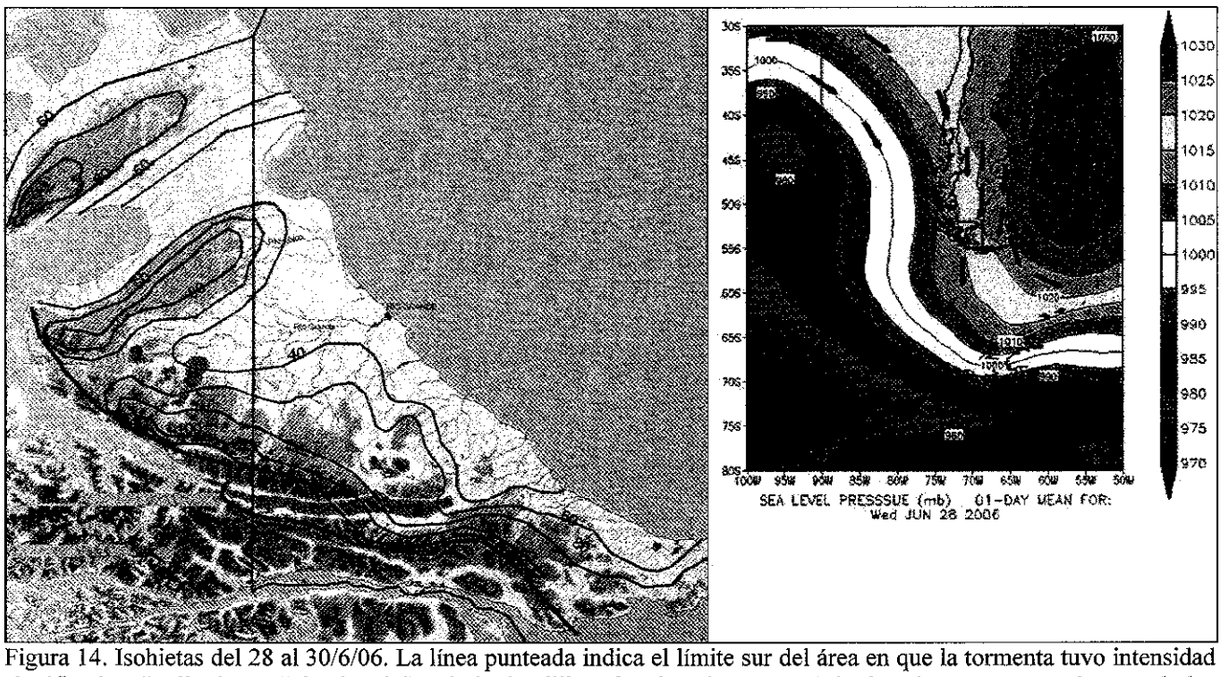


Figura 14. Isohietas del 28 al 30/6/06. La línea punteada indica el límite sur del área en que la tormenta tuvo intensidad significativa. La lluvia en Ushuaia, al Sur de la Cordillera fue de sólo 5 mm. A la derecha se muestra el mapa de los sistemas de alta (al E) y baja presión (al W) que indujeron el desplazamiento de aire cálido y húmedo hacia TdF. Normalmente estos sistemas tienen un posicionamiento relativo opuesto.

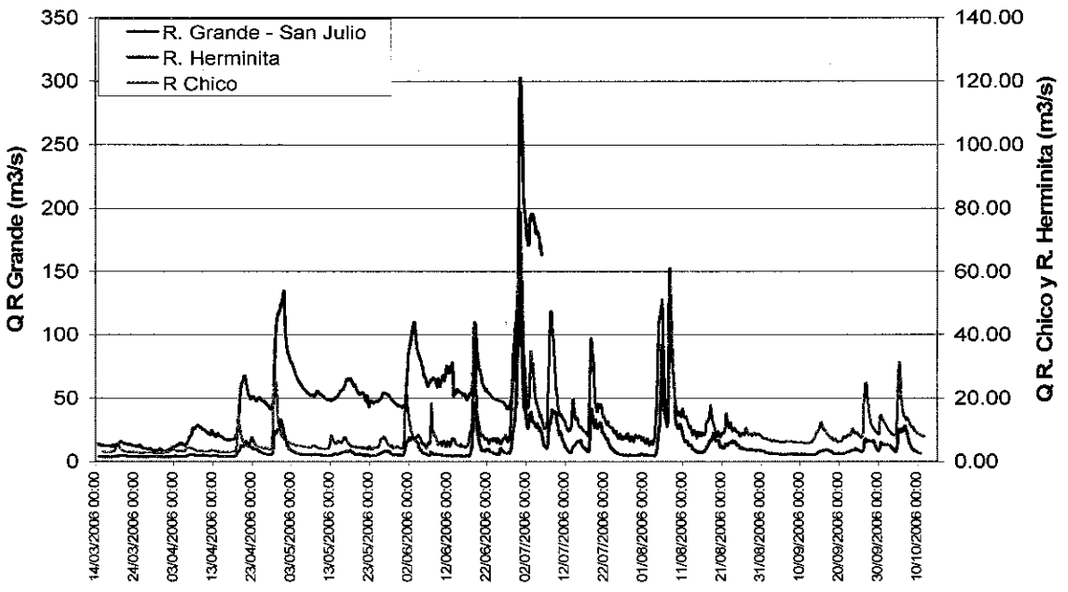
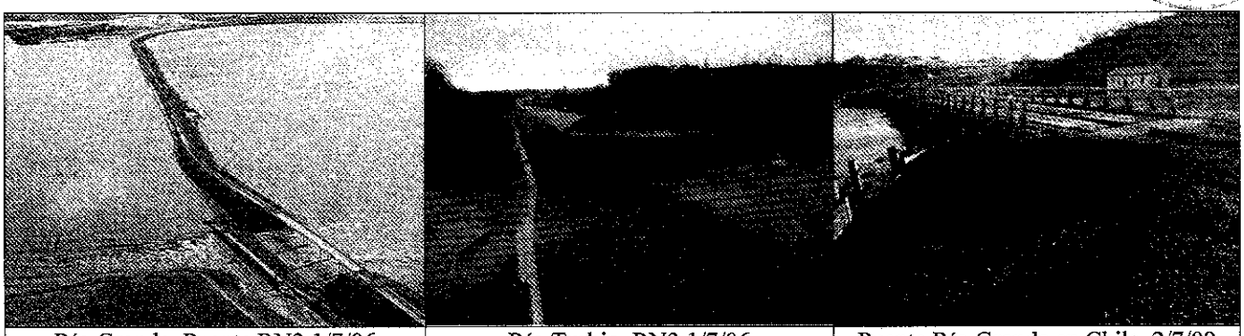


Figura 15. Eventos de otoño-invierno de 2006 en las cuencas de los ríos Grande, Herminita y Chico, en secciones de control próximas al límite fronterizo. La escala de referencia para los dos últimos es la de la derecha. El registro del Río Grande se interrumpió luego de que el data logger fuera cubierto por el agua. Se estima en 500 a 550 m3/s el máximo caudal en la desembocadura del R. Grande el 30/6/2006. Lluvias en Julio prolongaron el anegamiento de áreas rurales.

FOLIO 130



Río Grande, Puente RN3 1/7/06	Río Turbio, RN3 1/7/06	Puente Río Grande en Chile, 2/7/09

Figura 16. Vistas de la inundación y sus efectos en distintos lugares de Tierra del Fuego.

Respuestas a cambios en el uso de la tierra

La puesta a punto del modelo permitió simular avenidas de diferente intensidad y con distinta cobertura vegetal en la cuenca del Buena Esperanza, cuya parte inferior es coincidente con el ejido urbano de Ushuaia. Las figuras 17 y 18 muestran comparaciones de corridas bajo las condiciones actuales y sin la protección del bosque. En las crecidas ordinarias, que se producen frecuentemente el bosque es en cierta medida eficiente en la moderación de caudales máximos. Sería aún más efectivo en casos con mayor proporción de áreas boscosas, ya que en esta cuenca la misma es del 33%. En crecidas extraordinarias, disminuye la capacidad reguladora del bosque e incluso los detritos leñosos arrastrados por las grandes avenidas generan daños adicionales. La simulación comparada aplicada al evento extremo de noviembre de 1954 en Ushuaia determinó escasa diferencia entre máximos caudales.

En concordancia con Mintegui et al (2008), en eventos extremos el bosque puede no resultar eficiente para asegurar protección para otros usos de la cuenca, pero estos casos son muy poco frecuentes, en tanto que sí lo es para los eventos torrenciales ordinarios, que se dan con mucha mayor frecuencia, y allí radica la importancia de la cubierta arbolada, aunque en ocasiones no se perciban los beneficios deducibles de los daños que se evitan en la cuenca inferior.

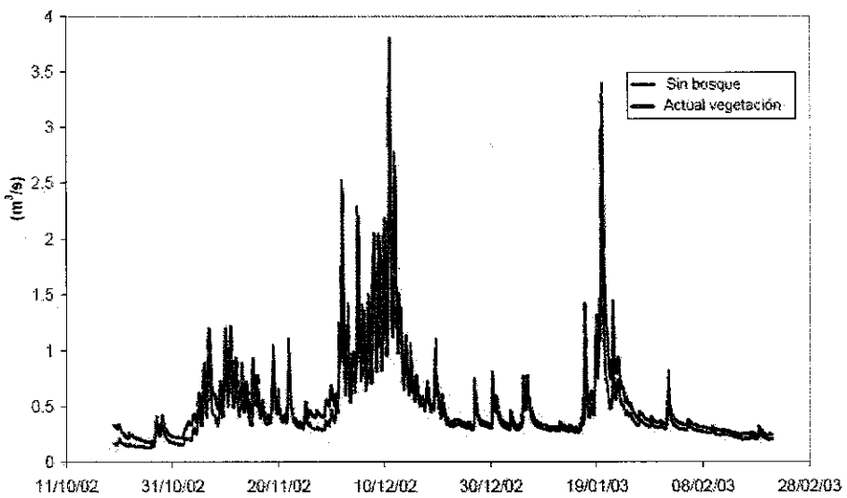


Figura 17. Simulación de la serie de caudales del A° Buena Esperanza (Oct/2002-Feb/2003) con la actual cobertura vegetal y sin el dosel de bosque. (Birkinshaw & Bathurst, 2007)

Poder Legislativo
FOLIO
231

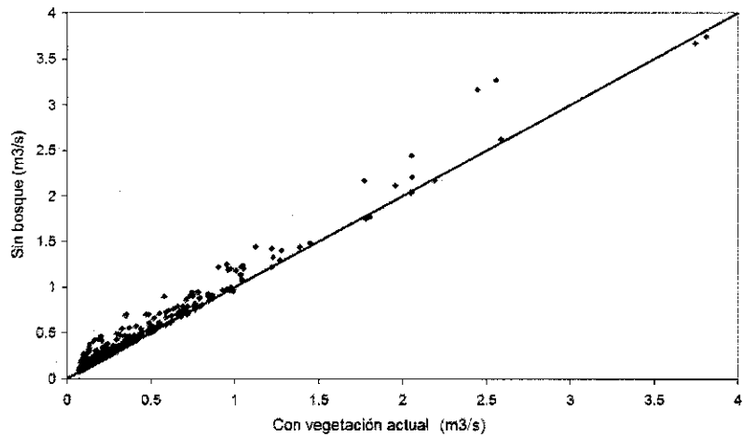


Figura 18.- Relación de máximas descargas diarias simuladas por el modelo SHETRAN para condiciones de vegetación actuales y sin el dosel del bosque para el período May/2001-May/2003 (Birkinshaw & Bathurst, 2007). Observar que la línea llena representa igualdad.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Naturalmente las cuencas de TdF presentan condiciones favorables para el control de la respuesta hidrológica ante situaciones climáticas ordinarias. Ello se debe a la variedad de sistemas de regulación y de las características geomorfológicas, fitogeográficas y climáticas. Por otra parte, no obstante el crecimiento de la población, es aún reducida la tasa de ocupación del espacio físico, por lo que las zonas dominantes de las cuencas están bien preservadas. Tales condiciones conducen 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, los mecanismos naturales de regulación, materializados por el suelo, lagos, bosque, turberas y otras unidades de vegetación, tienen limitada capacidad, perdiendo eficiencia ante eventos extraordinarios. En contraste surgen las debilidades de un sistema ambiental de alta fragilidad, sujeto a una dinámica hidrológica torrencial, especialmente en el caso de las cuencas de montaña.

La influencia del bosque sobre la reducción del caudal máximo se atenúa en eventos lluviosos extraordinarios. Sin embargo las intensidades de precipitación en la región son moderadas, aun en casos excepcionales. No se han constatado eventos que superen con holgura intensidades de 100 mm en 24 hs, aún en las áreas más lluviosas. En consecuencia la importancia del bosque en la atenuación de crecidas, es más significativa que en otros tipos de ambientes, en donde tal magnitud de precipitación es ampliamente superada en eventos extremos.

La limitada intensidad de precipitación restringe la magnitud de crecidas netamente pluviales. Tampoco hay energía suficiente durante la época de máxima acumulación nival para producir intensa fusión. En consecuencia si bien algunas crecidas máximas anuales son producidas sólo por fusión de la nieve, no tienen carácter extraordinario. Estas restricciones motivan que los eventos extremos estén ligados la caída de lluvia sobre nieve, situación en que la fusión es intensificada por transferencia de calor aportada por la lluvia al manto nival y sujeto a que la temperatura del aire permita precipitación líquida en toda la cuenca. Tales situaciones son potencialmente más críticas cuanto mayor es la cantidad de nieve acumulada. En cuencas donde dominan planicies y lomadas bajas la combinación lluvia-fusión de nieve es factible en pleno invierno, y aún en cuencas de montaña con desarrollo en áreas bajas (caso río Hambre), pero es rara en esa época del año en cuencas con gran desarrollo altitudinal, en las que la temperatura necesaria

para que se produzcan lluvias en altura se da hacia el fin de la primavera, en coincidencia con la máxima acumulación de nieve en cabeceras de valles.

El bosque cumple una función importante 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 determinan mayor acumulación y un proceso de fusión más activo (Whitaker et al, 2002; Troendle et al, 1987; Koivusalo et al, 2006).

En las cuencas de transición y estepa (R. Chico y R. Grande respectivamente)hay menor cobertura relativa de bosque, se reduce el almacenamiento de nieve estacional y el estado de humedad antecedente determinado por precipitaciones en meses previos es un factor determinante para las grandes crecidas. Situaciones de congelamiento del suelo y de humedales generan condiciones previas también determinantes, como en el caso del invierno de 2006.

BIBLIOGRAFÍA

Abbott, M., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E. and. Rasmussen, J., 1986. "*An introduction to the European hydrological system –Systeme hydrologique European (SHE). 2: Structure of a physically based, distributed modelling system.* J. of Hydrology 87, 61-77

Bathurst, J.C. (1986) " *Physically-based distributed modelling of an upland catchment using the Systeme Hydrologique European".* J. Hydrol., 87: 79-102.

Birkinshaw, S.J. & Bathurst, J.C. (2007) "*Model Analysis of Land-use Impact on Flood Response for the EPIC FORCE Focus Areas*". Deliverable 14 EPIC FORCE Project European Commission URL:www.ceg.ncl.ac.uk/epicforce/deliverables.htm

Bitesnik, H.O. ; García, O.; Schroeder, C. E. (1983) "*Estudio hidrológico, hidrogeológico y de calidad de aguas de la cuenca del río Grande (Tierra del Fuego)*". Ezeiza, Centro de Hidrología Aplicada INCYTH.

Collado, L. (2001): TdF Forest, analysis of their stratification through satellite images for the Province Forest Inventory - Multequina 10:01-16. Mendoza, Argentina.

Iturraspe R. J.; Sottini R.; Schroder C. & Escobar J.,(1989). "*Generación de información hidroclimática en TdF".* Contrib. Cient. 7, CADIC: 4-170. Ushuaia, Argentina.

Iturraspe, R.J. & Urciuolo, A.B. (2000): "*Clasificación y caracterización de las cuencas hídricas de TdF". Act. XVIII Cong. Nac. del Agua.* R. Hondo, S. del Estero- Jun/2000. Ed en CD.

Iturraspe, R.J. y Roig, C. (2000). Aspectos hidrológicos de turberas de *Sphagnum* de TdF - Argentina en: *Conservacion de ecosistemas a nivel mundial con énfasis en las turberas de TdF. Disertaciones y conclusiones.* A.Coronato y C. Roig(Eds) Ushuaia, Argentina. Marzo de 2000. pp 85-93.

Iturraspe R, Urciuolo A, Guerrero Borges V, Gaviño Novillo M, Collado L, Sarandón R, Burns S. (2007). "*Report on basin response for Argentina (D18)*" in: EPIC FORCE PROJECT Deliverables. Newcastle University. URL: http://www.ceg.ncl.ac.uk/epicforce/assets/D18.pdf

Ivanov, K.E. (1981) . *"Water Movement in Mirelands".* Academic Press. Londres.

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.

Mintegui Aguirre, J. y Robredo Sánchez, J.(2008)"*Estrategias para el control de los fenómenos torrenciales y la ordenación sustentable de las aguas, suelos y bosques de las cuencas de montaña*". PHI-LAC, UNESCO, Doc.Tec 13, 162 p

Parkin, G., O'Donnell, G., Ewen, J., Bathurst, J., O'Connell, P., Lavabre, J. (1996) "*Validation of catchment models for predicting land-use and climate change impacts. 2. Case study for a Mediterranean catchment"*J.Hydrol.175, 595–613.

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 clearcutting in different elevation bands of a snowmelt-dominated mountainous catchment". WaterResources Research* 38 (9), 1172.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS
NATURALES
DIRECCIÓN DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO 233

Informe: Inundaciones en la Provincia de Tierra del Fuego

La grave situación experimentada por la Provincia de Tierra del Fuego, sin precedentes en los registros históricos si se considera su intensidad y la extensión del área de afectación fue consecuencia de factores climáticos excepcionales, resultado de una situación sinóptica particular que afectó a toda la Isla Grande de Tierra del Fuego.

El primer semestre de 2006 presentó características húmedas especialmente en el centro y Norte de de la Provincia, donde las precipitaciones se aproximan al total anual y duplican los registros del mismo período del año 2005

En este contexto, el mes de Junio se caracterizó por la ocurrencia de significativas precipitaciones, buena parte de ellas de carácter nival, especialmente en la zona cordillerana. En la segunda mitad del mes, un centro de alta presión se instaló en la región determinando condiciones frías que dieron lugar al congelamiento del suelo, registrándose una mínima en Tolhuin de -18°C. En los últimos días de junio este anticiclón se desplazó hacia el Este, a la altura de Islas Malvinas en tanto que un centro de baja presión se posicionó al Oeste de Tierra del Fuego. Este cuadro indujo el ingreso de aire cálido y húmedo desde el Norte, que dio lugar a las lluvias que se registraron entre el 28 y el 30 de Junio, de máxima intensidad el día 30.

Si bien las lluvias fueron importantes en los centros poblados, totalizandoen tres días 36 mm en Río Grande, 40,5 mm en Ea. María Behety y 35mm en Tolhuin, el evento tuvo especial significación al alcanzar el ambiente de cordillera, triplicando su cuantía por enfriamiento del aire húmedo al elevarse (Ver Tabla) El aire fue lo suficientemente cálido como para que la precipitación se diera en forma líquida aún en niveles altos, contribuyendo muy eficazmente a acelerar la fusión del stock de nieve existente al momento del evento.

De esta manera se conjugaron dos procesos:

- lluvia muy intensa, que en las zonas bajas con escasa acumulación de nieve dio lugar a escurrimiento sobre suelo congelado, sin capacidad de infiltración . Esta lluvia triplicó su intensidad en las zonas altas.
- Acelerado proceso de fusión de la nieve en la Cordillera y en la transición, producido por la acción conjunta del ingreso de aire cálido y las lluvias.

Tabla. Precipitaciones (mm) registradas entre el 28 y el 30 de junio en diferentes puestos de observación.

Río Grande (B.A)	Ea. María Behety	Tolhuin	Ea San Julio	Paso Garibaldi (400m s.n.m.)	Ushuaia (CADIC)
36.2	40.5	35.0	28.0	102.0	5.6

Se aprecian notables diferencias entre Paso Garibaldi, representativo del ambiente de la montaña con el resto de los sitios emplazados a baja altura. Se advierte también la escasa significación de la tormenta en Ushuaia, por su ubicación al Sur de la Cordillera.

Extensión del evento

El extraordinario caudal del el río Grande indica que la tormenta afectó significativamente el sector Chileno de Tierra del Fuego, considerando que el 60% del área de aporte a este curso se encuentra en Chile. El área afectada comprende desde el extremo occidental de la Isla Grande(Chile) hasta su extremo oriental, considerando la crecida excepcional de ríos como el Lainez, que destruyó el puente de la Ruta Complementaria A. Latitudinalmente la afectación fue también general.

Considerando la procedencia de la tormenta, la mayor parte de la humedad quedó retenida en el flanco Norte de la cordillera. Las crecidas de los ríos que desaguan al Sur, tuvieron un carácter más moderado, particularmente en la zona de Ushuaia, donde la cordillera es más elevada que en sectores más orientales.

La afectación de la Planta potabilizadora es un indicador de la excepcionalidad de los niveles alcanzados por el agua, con un máximo alcanzado en la noche del 30 de junio.

La ocurrencia de crecidas importantes en Junio y Julio es poco frecuente en Tierra del Fuego. En esta época las precipitaciones en los sectores altos son generalmente nivales, y los procesos de deshielo son lentos por la falta de sol y calor. Sin embargo ha quedado demostrado que en caso de producirse este tipo de situaciones, pueden desencadenarse eventos de mayor peligrosidad.

Además de la inundación se han registrado deslizamientos de medianas proporciones producidos por las lluvias y el descongelamiento del suelo. Si bien no se han registrado daños, en algunos casos éstos produjeron la obstrucción temporaria de la Ruta 3, particularmente en el tramo Rancho Hambre-Paso Garibaldi.

Un antecedente reciente.

A fines del mes de mayo del corriente año se produjo un evento de similares características, aunque de menor intensidad, que provocó crecidas importantes, incluyendo un episodio de deshielo abrupto, aunque en ese momento el stock de nieve almacenada era de menor cuantía. Este deshielo parcial atenuó en cierta medida la dimensión de las inundaciones de junio ya que se redujo en buena medida la existencia de nieve acumulada, que posteriormente se restableció con las nevadas ocurridas en Junio.

Evolución y proyecciones

Con excepción del Río Grande y sus principales afluentes, que continuarán fuera de cauce durante algunos días, el resto de los cursos de agua tiende a normalizar sus condiciones de escurrimiento, lo cual favorecerá la ejecución de los trabajos necesarios.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS
NATURALES
DIRECCIÓN DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO
235

De acuerdo al Servicio Meteorológico se esperan condiciones de cielo parcialmente nublado para el jueves 6 y viernes 7 e inestable con probabilidad precipitaciones para . el sábado 8 con temperaturas moderadas, entre 2 y 4 oC en Río Grande y ligeramente más bajas en Tolhuin. Las bajas temperaturas son convenientes para la estabilización del régimen de los ríos desbordados. La dinámica climática regional no favorece las predicciones a más de 72 hs, motivo por el cual no puede conjeturarse más allá en el tiempo en relación a próximos eventos de magnitud. Si bien podrían producirse nuevas lluvias, el esquema sinóptico que dio lugar a la gran tormenta ha desaparecido y sería muy poco probable la reiteración de un fenómeno de similar magnitud, siendo más factible la ocurrencia de nevadas. Aún en caso de producirse nuevas lluvias de importancia, las crecidas resultantes dependerían casi exclusivamente de las mismas, sin posibilidad de ocurrencia de un deshielo significativo ya que prácticamente ha desaparecido la acumulación de nieve, quedando ésta restringida a las zonas elevadas. En síntesis, no se espera un recrudecimiento de la situación, sino por lo contrario su normalización.

Tareas en curso

Se está realizando aún la evaluación de la magnitud de la crecida en los diferentes cursos, así como los daños materiales producidos. La Dirección Provincial de Vialidad ha logrado restituir la transitabilidad de la Ruta 3, que fuera cortada por la rotura de una alcantarilla aliviadora del río Turbio, así como en el puente sobre la desembocadura de este río en el lago Fagnano. Hay muchos puentes deteriorados en las rutas complementarias y en caminos interiores de las estancias, existiendo inconvenientes para el acceso por vía terrestre. La evaluación de los caudales y niveles que se registraron es muy importante para mejorar el conocimiento sobre el comportamiento hidrológico de los ríos de Tierra del Fuego y poder optimizar el diseño de obras hidráulicas y viales.

El conocimiento de los efectos del clima sobre el comportamiento de los ríos implica medición de lluvias, temperatura, caudales y niveles en forma permanente, requiriendo de importantes insumos en materia de equipamiento y recursos humanos, en lo cual se espera avanzar paulatinamente ya que es la única manera de implementar medidas preventivas y diseñar obras en forma adecuada. En materia de estudios, la Dirección de Recursos Hídricos está desarrollando con financiamiento de la Unión Europea, que aporta fondos no retornables, el proyecto de investigación denominado EPIC FORCE, enfocado específicamente al problema de eventos extremos como el que afectó la Provincia.

Ushuaia 5 de Julio de 2006

FOLIO
736

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO SUSTENTABLE
Y AMBIENTE
Dirección General de Recursos Hídricos

Descripción del Proyecto EPIC FORCE

El objetivo del Proyecto es brindar estrategias de manejo integrado del agua y el bosque a la escala de la cuenca hídrica, a través del desarrollo de políticas basadas en evidencia científica. ***El foco principal está centrado en el impacto del manejo del bosque y del uso del suelo en la respuesta hídrica de la cuenca ante eventos extremos (lluvia/nieve).***

EPIC FORCE vincula equipos de trabajo europeos y latinoamericanos. Los equipos de trabajo de cada país latinoamericano fueron seleccionados por su actividad de investigación y por tener experiencia en cuestiones relativas al manejo de bosques y agua.

Las **áreas focales** del Proyecto son 4 países a lo largo de la Cordillera de los Andes: Costa Rica, Ecuador, Chile y Argentina. En Argentina el **área focal corresponde a cuencas de la Provincia de Tierra del Fuego.**

Los **socios europeos** del Proyecto son: la Universidad de Newcastle upon Tyne, Inglaterra (coordinadora del Proyecto), la Universidad degli Studi di Padova, Italia y la Universidad Politécnica de Madrid, España.

Los **socios latinoamericanos** son: la Universidad Nacional de Costa Rica, la Universidad de Cuenca, la Universidad Austral de Chile y por Argentina, la Universidad Nacional de la Plata y la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Tierra del Fuego, coordinado técnicamente por la Dirección General de Recursos Hídricos.

Relevancia del Proyecto

Permite la identificación de opciones de política y estrategias de manejo de los recursos agua y bosque.

Provee estrategias para el Manejo sustentable de ecosistemas vulnerables.

EPIC FORCE mejora nuestro conocimiento sobre la dinámica de los ecosistemas boscosos bajo presión humana (debido al aprovechamiento y cambios en el uso de la tierra), permitiendo un uso más sustentable de los recursos agua-bosque.

Impactos del Proyecto

Permite contar con propuestas de políticas de manejo integrado agua-bosque. Los resultados del Proyecto demuestran las fuertes vinculaciones en el manejo de estos dos recursos y la producción de sedimentos en la escala de cuenca hídrica, así como la importancia del manejo integrado para la sustentabilidad de ambos.

Permite ampliar las bases de datos relativas a régimen de lluvia y caudales, tipos de especies forestales, problemas de erosión en cuencas hídricas, etc.

Permite avanzar hacia el establecimiento de estándares relativos a la implementación de programas forestales para mitigar el impacto de crecidas e inundaciones.

Componentes del Proyecto

El Proyecto consta de tres **componentes principales** que vinculan información científica, de manejo y de política:

1) Desarrollo de un modelo genérico para evaluar el impacto de las prácticas de manejo en la respuesta de la cuenca a eventos extremos, basado en datos de cuencas focales de América Latina.
2) Revisión de las prácticas actuales de manejo y desarrollo de mejores prácticas y estrategias para el manejo integrado de aguas y bosques relevante a eventos extremos, incluyendo el impacto del arrastre de grandes desechos de madera (LWD) en cursos de agua.
3) Desarrollo de recomendaciones y guías de política basadas en evidencia para las agencias de manejo de aguas y bosques en las áreas focales.

Paquetes de Trabajo del Proyecto

WP1-4: Análisis de respuesta de la cuenca al manejo forestal para eventos extremos lluvia-nieve.

WR5: Desarrollo de un modelo genérico de respuesta de la cuenca

WP6: Desarrollo de una metodología para evaluación y procedimientos para el impacto de arrastre de grandes troncos y desecho de madera.

WP7: Desarrollo de estrategias mejoradas para el manejo de los recursos agua y bosque ante eventos extremos a la escala de la cuenca.

WP8: Desarrollo de guías de política basadas en evidencia y recomendaciones para el manejo de los recursos agua y bosque.

WP9: Diseminación de los productos del proyecto y construcción de capacidades a nivel nacional e internacional.

WP10: Actividades de Manejo y Administración del Proyecto.

Roles de los participantes

Los socios latinoamericanos son responsables directos de la ejecución de los paquetes WP1-4, en particular los socios argentinos son líderes del WP4.

Los socios europeos son responsables de los siguientes paquetes de trabajo:

Líder WP5, WP8, WP9, WP10: Universidad de Newcastle upon Tyne

Líder WP6: Universidad degli Studi di Padova

Líder WP7: Universidad Politécnica de Madrid.

Todos los participantes juegan además del rol de líder de ciertos paquetes, un rol mayor y uno menor en aquellos paquetes en los cuales no actúan como líderes.

En particular, **la SRNTDF participa en el Proyecto**: como Co-líder del WP4, juega un rol mayor los WP7,8 y 9 y un rol menor en los WP5, 6 y 10.

Metodología

Los WP1 a 4 proveen los datos hidrológicos, meteorológicos, de sedimentos y uso del suelo correspondientes a las áreas focales, como base para el desarrollo científico.

En estos paquetes de trabajo, los países latinoamericanos como líderes de los WP, realizan todo el trabajo de campo necesario para la obtención de los datos. Asimismo efectúan el análisis de respuesta de las subcuencas de diferente manejo forestal y uso del suelo, definidas en las áreas focales, incluyendo al menos un evento extremo.

El Paquete WP5, extiende el análisis a través del desarrollo de un modelo genérico y utiliza este modelo para cuantificar el impacto del uso del suelo en los picos de crecida y en la producción de sedimentos en cada área focal.

El Paquete WP6 utiliza los datos de WP4 y 5 con trabajos de campo adicionales para desarrollar una metodología de evaluación del impacto de LWD (arrastre de grandes troncos) en la hidráulica de cursos de agua y propone guías sobre buenas prácticas para el control de grandes detritos leñosos (LWD).

Las salidas de los WP1 a 6 alimentan el paquete WP7, conjuntamente con revisiones de las prácticas actuales de manejo de los recursos agua y bosque en cada país latinoamericano así como de las mejores prácticas, con el objeto de proponer estrategias mejoradas de manejo de dichos recursos relevantes a eventos extremos.

Se realiza una conexión similar con el paquete de trabajo WP8, para el desarrollo de recomendaciones de política basadas en evidencia.

Los paquetes de trabajo WP9 (diseminación) y WP10 (manejo) son abarcativos a todos los componentes del proyecto.

Descripción de actividades correspondiente al equipo de trabajo de la Subsecretaría de Recursos Naturales de Tierra del Fuego

1. Paquete de Trabajo WP4

Objetivo del Estudio en el área focal del Proyecto EPIC FORCE en Argentina:

- ✓ Análisis de la respuesta hidrológica de dos cuencas con diferente manejo forestal y usos del suelo en Tierra del Fuego, Argentina: Arroyos Buena Esperanza y Hambre.

Rol del análisis dentro del Proyecto EPIC FORCE:

- ✓ Desarrollo de estudios de campo y análisis de datos disponibles para mostrar impactos del uso del suelo en crecidas extraordinarias.
- ✓ Procesamiento de datos para el desarrollo del modelo de ambas cuencas, con el fin de proveer las bases científicas para mejorar las prácticas de manejo de aguas y bosques.

Actividades que se desarrollan

La SDSyA a través de la Dirección General de Recursos Hídricos, es co-líder de este paquete en forma conjunta con la UNLP.

Poder Legislativo
FOLIO
Nº 239

Para el estudio de la respuesta de la cuenca al manejo del bosque y al uso del suelo, se seleccionaron dos subcuencas de la Provincia, en función de la disponibilidad de datos existentes y de la posibilidad de generar nueva información: la cuenca del Arroyo Buena Esperanza y la del Arroyo Hambre. Ambas fueron afectadas por importantes eventos de precipitación en la primavera de 1954 y durante el otoño de los años 2000 y 2001 respectivamente. Se seleccionaron para su comparación, debido a que la cuenca del Buena Esperanza presenta importante afectación por la actividad humana mientras que la del Arroyo Hambre resulta prácticamente inalterada.

Cuenca del Arroyo Buena Esperanza

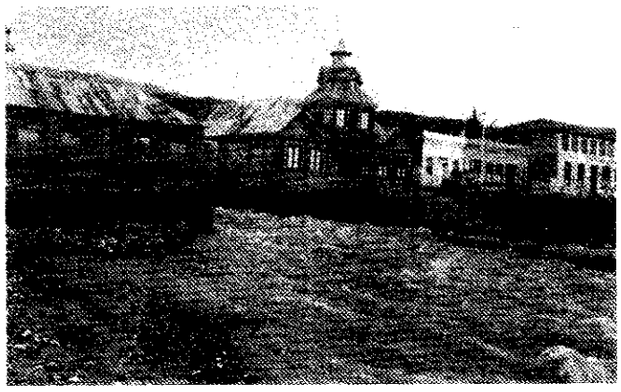
Cuenca del Arroyo Hambre

Una de las cuencas definidas como piloto para el estudio, la del Arroyo Buena Esperanza, corresponde a una de las principales fuentes de agua potable de la ciudad de Ushuaia. La otra cuenca, Arroyo Hambre, se encuentra ubicada en una zona donde las únicas actividades que se realizan son turísticas.

Se considera por lo tanto, que ambas cuencas son representativas de las principales actividades antrópicas existentes en la zona Sur de la Pcia. y en las demás cuencas andino-patagónicas, siendo por lo tanto, de gran utilidad las recomendaciones de manejo que puedan obtenerse del Proyecto.

A los fines de generar el modelo de ambas subcuencas en forma conjunta con el grupo de la Universidad de Newcastle, se recopiló y sistematizó la información de ambas subcuencas relativa a fotografías aéreas, modelo digital del terreno, usos de la tierra, clasificación de bosques, suelo y vegetación, geomorfología para la aplicación del Modelo hidrológico distribuido SHETRAN. En forma complementaria, se continuó recopilando información de campo relativa a las características físicas de las cuencas de estudio, a los efectos de ampliar y mejorar la existente.

Se procesó además la información correspondiente a series de tiempo precipitación-caudal en base a los datos existentes, con especial énfasis en los eventos extremos, donde fue necesario proceder a la reconstrucción de eventos pasados.



Inundaciones en Ushuaia, Noviembre de 1954

A los efectos de completar la información que permita generar el modelo para ambas subcuencas en la forma más ajustada posible, la misma se está completando mediante nuevas mediciones, para lo cual debió instalarse nuevo instrumental hidrometerorológico.

Sección de control en el Ao. Buena Esperanza

Pluviómetro en la cuenca del Buena Esperanza

Además de mediciones periódicas de precipitación, caudal y otras variables asociadas, se realizan mediciones nivológicas en los valles principales de ambas cuencas y se realizan estudios relativos al balance de masa del Glaciar Martial ubicado en la cabecera de la cuenca del Arroyo Buena Esperanza.

FOLIO
241

Mediciones glaciológicas en la Cuenca del Arroyo Buena Esperanza

Se definieron secciones de control a la salida de las dos cuencas y de sus principales subcuencas incluyendo vertederos y limnígrafos asociados, además de dos estaciones meteorológicas completas en cada una de ellas e instrumentos adicionales evaluar la variabilidad climática espacial.

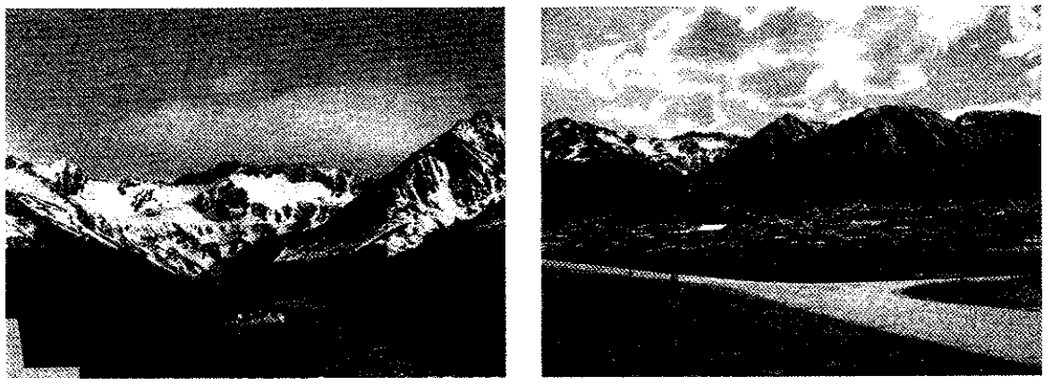
Se identificaron sitios para el estudio de la dinámica de arrastre de grandes detritos leñosos en la cuenca del Arroyo Buena Esperanza, la cual fue relevada en detalle en detalle en forma conjunta con el grupo de la UNLP bajo la dirección del grupo de la Universidad de Padova. Este fenómeno, de gran importancia en la Isla de Tierra del Fuego, ha provocado incluso rotura de infraestructura vial en algunas zonas de la Provincia, ante la ocurrencia de precipitaciones extraordinarias.

Arrastre de detritos leñosos en el puente del río Cambaceres durante el evento del 2000

Durante el presente año, se trabaja en el análisis de la respuesta de la cuenca al manejo del bosque y al uso del suelo, considerando distintos escenarios.

2. Paquete de Trabajo WP7

Durante la primera etapa del Proyecto (18 meses) se realizó la revisión de las prácticas de manejo de aguas-suelo y bosque en dos cuencas piloto detectando los principales problemas y áreas críticas, con el fin de establecer el escenario actual, definir en forma preliminar las mejores prácticas para el aprovechamiento del agua y el suelo en la cuenca, así como plantear los diferentes escenarios a simular mediante la aplicación del modelo SHETRAN en una segunda etapa.



Uso del suelo en la cuenca del Ao. Buena Esperanza: Uso turístico y uso urbano

Como metodología para la revisión de las prácticas de manejo del agua y el suelo en la cuenca de estudio, se utilizó el Cuadro de Ordenación Hidrológico-Forestal propuesto por el grupo de la Universidad Politécnica de como base para la Guía de Mejores Prácticas a ser obtenida como uno de los resultados del Proyecto. Para el análisis se toman en cuenta los dos objetivos fundamentales de la ordenación hidrológico-forestal para cualquier cuenca hidrográfica:

1. La protección de la cuenca vertiente, tratando para ello de amortiguar los fenómenos geo-torrenciales que se generan en la misma, ante eventos meteorológicos significativos, tanto de carácter ordinario como extraordinario.
2. El mejor aprovechamiento de los recursos agua y suelo en la cuenca hidrográfica; para lo que se actúa tanto en el ámbito de la cuenca vertiente como en los cauces de evacuación

Por otra parte, el grupo de la UNLP realizó un análisis de cambios en el uso del suelo en la cuenca del Arroyo Buena Esperanza y sus posibles impactos ante eventos extremos.

Durante la próxima etapa, se simularán los escenarios definidos para diferentes situaciones de uso y manejo de los recursos en las cuencas, mediante la aplicación del modelo SHETRAN (Universidad de Newcastle). De esta forma, en base a los resultados de las simulaciones realizadas, se realizarán recomendaciones relativas a mejores prácticas de manejo en las cuencas de la región, validando las conclusiones obtenidas en forma preliminar durante la primera etapa.

Paquete de Trabajo WP8

Como primera actividad, se constituyó el National Working Group (NWG), el cual está conformado por los organismos de manejo que serán destinatarios finales de los resultados del Proyecto. Dicho grupo contiene instituciones nacionales y provinciales de manejo del agua y el bosque. Se detaca que, dado el carácter federal de nuestro país, donde el dominio originario de los recursos naturales pertenece a las Provincias, se trabaja con un NWG a nivel de la Provincia de Tierra del Fuego y un grupo a nivel nacional coordinado por la UNLP.

FOLIO
263

Se revisaron las prácticas de manejo actuales, incluso con el NWG y se realizarán informes sobre las mismas a los fines de obtener las recomendaciones necesarias para propender a un manejo integrado de los recursos agua – bosque, así como estrategias ante eventos extremos.
Asimismo se revisaron las política marco existentes en materia de manejo agua – bosques, realizando un informe de política en materia de manejo de estos recursos en el país, coordinado por la UNLP.

FOLIO Nº 246

EVENTOS EXTREMOS EN CUENCAS DE MONTAÑA DE RÉGIMEN PLUVIONIVAL EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

Rodolfo Iturraspe [(1) (2)] **y Adriana Urciuolo**[(1) (2)]
(1) Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina
(2) Dirección General de Recursos Hídricos, Prov. de Tierra del Fuego, Argentina.
iturraspe@tdfuego.com

RESUMEN

La definición de parámetros hidrológicos requeridos para el diseño de obras hidráulicas y para el manejo de los recursos hídricos orientado a la prevención de riesgos requiere establecer presunciones confiables relativas a la ocurrencia de eventos extremos. El paradigma del cambio climático, hoy indiscutible, pero que sin embargo no era objeto de especial preocupación antes de la década del 80, ha dado lugar en los últimas años a la discusión en la materia dado el grado de incertidumbre en la previsión de valores extremos que se motiva en la identificación de tendencias definidas en series hidrológicas y climáticas. Atendiendo a este problema y considerando que la región austral de Argentina presenta características particulares en materia de tendencias climáticas, y que las cuencas con cabeceras en la Cordillera presentan contribuciones de origen nival, este artículo analiza las situaciones que dan lugar a crecidas extraordinarias en diferentes tipos de cuencas de régimen pluvionival de Tierra del Fuego, en base al análisis de casos. Paralelamente se presentan resultados sobre tendencias observadas en materia de precipitación y temperatura para finalmente discutir y formular consideraciones relativas a las implicancias del cambio y la variabilidad climática sobre la frecuencia de situaciones desencadenantes de eventos extremos y considerar recomendaciones tendientes al logro de previsiones más confiables.

ABSTRACT

The design of civil hydraulic projects and the planning of water management linked to risks prevention require to determine hydrological parameters in order to make secure previsions related to the extreme events occurrence. The climate change paradigm is nowadays out of discussion, but before the 80' decade it was not object of a special attention for planning and hydraulic projects design. As a consequence of identified trends of hydrological and climatic series, more clearly denoted in the last decades, and the better knowledge related to the human-induced climate change, classical methodologies based on the assumption of stationary conditions for extreme values estimation has been revised in the last years and the interest and discussion on this matter have raised.

From this focus, and considering that the southern region of Argentina presents particular features on climatic trends, as well as a rain-snow regime for the water basins with heads on the mountain range – different as that of the Argentinean basins of the large plains – this paper explains, on the basis of study cases, the typical situations that originates extraordinary floods in different kinds of basins of Tierra del Fuego. In other hand, we show results related to local precipitation and temperature trends, concluding on discussion and conclusions about the significance of the climate change and climate variability on the frequency and magnitude of extreme events. Final recommendations leading to achieve more reliable results are proposed.

Palabras clave: eventos extremos, cambio climático, Tierra del Fuego.

INTRODUCCIÓN

Las clásicas metodologías para el análisis de las crecidas de proyecto se basan en gran medida en el análisis de series históricas extensas - ya sea de caudales máximos o de precipitaciones- o bien de eventos extremos observados, bajo el supuesto de que en el futuro se mantendrá una similar distribución estadística a la observada en el pasado. No obstante, la identificación de tendencias en las variables climáticas definitorias de crecidas extraordinarias indica que en escenarios futuros es factible que se produzcan cambios en las características y en la frecuencia de este tipo de eventos, lo que genera incertidumbre al momento de establecer parámetros de diseño de obras hidráulicas y para la toma de decisiones vinculadas al manjo de los recursos hídricos. Milly (2008) en su artículo "*Stationariti is dead*", publicado en *Science*, es contundente en su conclusión sobre cómo el cambio climático desvirtúa la básica hipótesis de condición estacionaria para las variables hidrológicas, que históricamente ha dado sustento a las metodologías asumidas para el manejo de disponibilidad de agua, demandas y riesgos. Knox (2000) plantea, en base a estudios paleohidrológicos que pequeñas variaciones en las medias de variables climáticas producen grandes cambios en los extremos.

Las tendencias detectadas en el comportamiento hidrológico de los ríos del sur de Sudamérica no son homogéneas debido a que si bien el incremento de la temperatura responde a un patrón general relativamente homogéneo, en materia de precipitación se verifican contrastes entre diferentes regiones y difiere además la respuesta de las cuencas a la variabilidad climática, ya sea por diferencias en la naturaleza de los procesos dominantes en el contexto del ciclo hidrológico como por los distintos usos de la tierra en dichas cuencas.

En el caso de Tierra del Fuego, donde el escurrimiento responde a un régimen pluvionival, las precipitaciones, vinculadas a sistemas frontales y al pasaje de centros de baja presión, presentan baja intensidad, lo que mitiga la magnitud y la frecuencia de las grandes crecidas. Esta condición da lugar a que la ocurrencia de eventos extremos esté condicionada a la concurrencia de varios factores concomitantes.

El objetivo de este trabajo es identificar aspectos relevantes de las condiciones desencadenantes de eventos extremos en cuencas de la provincia más austral de la República Argentina, analizar aspectos locales de la variabilidad climática y tendencias detectadas para finalmente vincular ambos aspectos y considerar influencias de las tendencias climáticas sobre la frecuencia e intensidad de los eventos extremos.

METODOLOGÍA

El análisis de los factores que condicionan las crecidas extremas en cuencas de montaña de régimen pluvionival se desarrolla a partir de tres casos de estudio, que corresponden a cuencas de diferente escala y elevación (figura 1): la del Río Grande, la mayor de Tierra del Fuego (8680km2), con cabeceras en cordillera pero con gran desarrollo en el ambiente de transición y de estepa; en tanto que las restantes son propias del ambiente de cordillera: la cuenca del río Hambre (18,9 km^2), que es subcuenca del río Lasifashaj y la cuenca del A°. Buena Esperanza (12.9 km^2), situada en proximidades de la ciudad de Ushuaia. El objeto de los casos de estudio no es la formulación de un reporte exhaustivo de cada evento sino identificar evidencias de las condiciones más propicias que desencadenan las crecidas extraordinarias, en un medio donde, como ya se ha expresado, la intensidad de precipitación reviste siempre características moderadas, debido a la ausencia de situaciones meteorológicas convectivas.

FOLIO 246

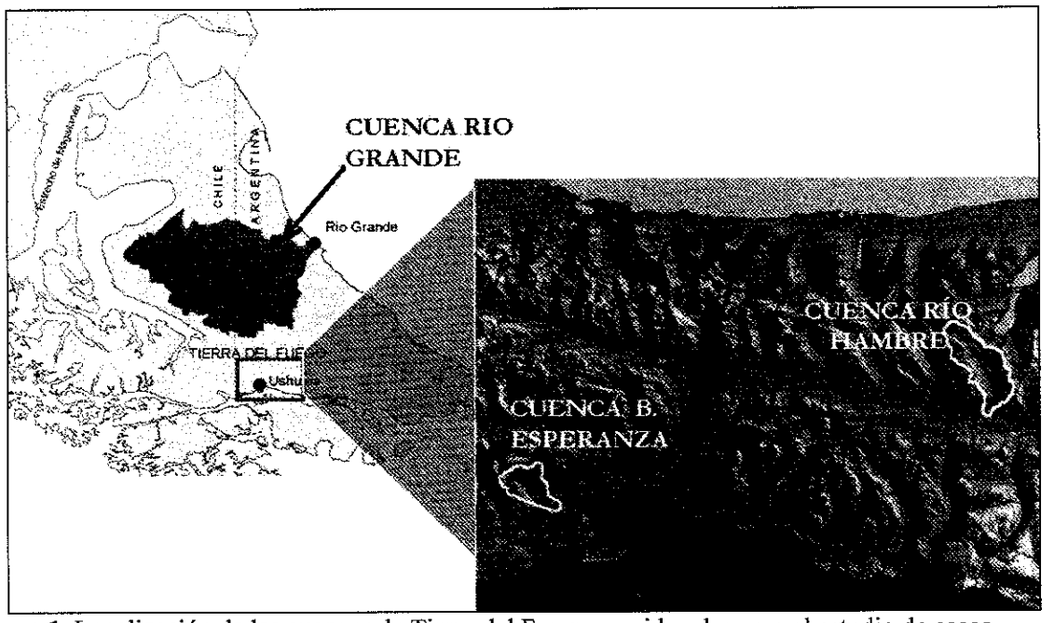


Figura 1. Localización de las cuencas de Tierra del Fuego consideradas para el estudio de casos.

Debido a que las series disponibles de datos de caudal presentan corta duración y discontinuidades, ha sido necesario enfocar el análisis en los eventos extremos observados. En la cuenca del Río Grande, el carácter reciente de la inundación del invierno de 2006 ha facilitado la obtención de información. Las situaciones en las otras cuencas fueron analizadas en detalle en el marco del proyecto EPIC FORCE (Unión Europea), por cuanto fueron unidades piloto sobre las que se trabajó en la identificación, reconstrucción y modelación de eventos extremos.

Iturraspe et al (2007) presentan información detallada sobre las cuencas representativas del ambiente de cordillera, así como de la reconstrucción y análisis de los eventos extremos, que en el caso del A°. Buena Esperanza fue modelado en la Universidad de Newcastle utilizando el modelo distribuido SHETRAN (Abbot, 1986; Bathurst, 2006)

El estudio de tendencias de temperatura y precipitación se ha efectuado a partir de la extensa serie de datos de la estación Ushuaia, considerando hasta 1997 observaciones de la estación del antiguo Aeropuerto, en tanto que para años posteriores se utilizaron datos de la estación meteorológica del CADIC, localizada en una situación muy próxima a la del antiguo Aeropuerto Ushuaia. El análisis involucra la variabilidad a nivel anual y estacional, y en el caso de la precipitación, los máximos anuales correspondientes a las observaciones diarias. Finalmente se evalúa, en base a las evidencias disponibles, el efecto de las tendencias y cambios observados en las variables climáticas más significativas sobre posibles cambios en la frecuencia de las condiciones desencadenantes de eventos extraordinarios.

RESULTADOS

Las crecidas en Tierra del Fuego pueden ser producidas por:

- Lluvias intensas (precipitación líquida en la mayor parte de la cuenca)
- Fusión de la nieve estacional
- Combinación de ambas situaciones (lluvia sobre nieve)

Según se describe a continuación y de acuerdo a lo que se puede apreciar en los diferentes casos de estudio, los tipos de eventos desencadenantes adquieren diferente relevancia según las

características de las cuencas. Uno de los factores determinantes es la altimetría de cada cuenca, que en los casos seleccionados presenta contrastes, según se puede apreciar en la figura 2. En cuencas en las que dominan cotas bajas, el manto de nieve estacional es inestable y predominan las precipitaciones líquidas sobre la mayor parte de la cuenca, aún en invierno. En la medida que las cuencas se desarrollan en mayor proporción sobre cotas elevadas, las lluvias de invierno sólo se manifiestan en los niveles inferiores, en tanto que predomina la acumulación de nieve en los niveles más altos. Otro factor a considerar es la extensión de las cuencas. Las de mayor dimensión, exceptuando la del Fagnano, se corresponden con la vertiente Norte y tienen desarrollo importante sobre tierras bajas del ambiente ecotonal de transición, por debajo de los 200 m.

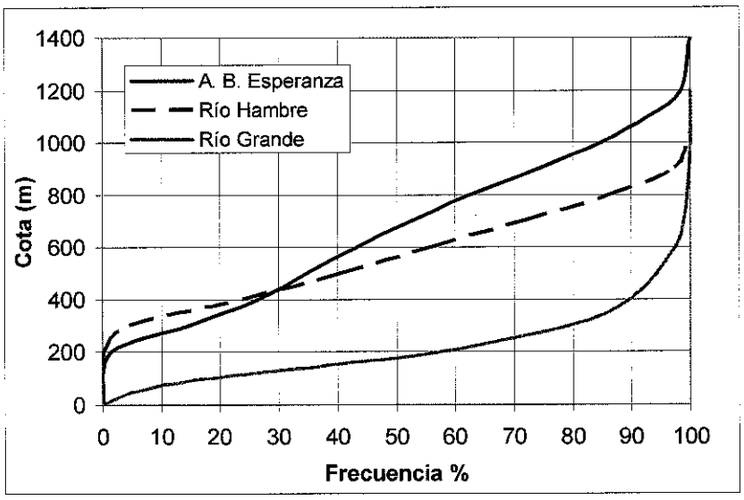


Figura 2. Curvas hipsométricas correspondientes a las cuencas analizadas. Se aprecia en el caso del río Grande que el 90% de la superficie se localiza debajo de los 400 m.

Estudio de caso 1: Cuenca del río Grande

El 30/6/2006, se produjo una inundación sin precedentes en registros históricos, por los niveles alcanzados por las aguas, por su permanencia y por la extensión del área de afectada. Fue resultado de condiciones antecedentes particulares y una anomalía climática desencadenante. El primer semestre de 2006 presentó características húmedas en el centro y Norte de la Provincia, con precipitaciones próximas al total anual que duplicaron las del mismo período del año 2005. Una crecida previa al evento, ocurrida 1/5/2006 que superó las máximas anuales ordinarias, es indicadora de las condiciones antecedentes.

En este contexto, en junio se registraron importantes nevadas y promediando el mes, un centro de alta presión se instaló en la región determinando condiciones muy frías y congelamiento del suelo (mínimas en Tolhuin de -18°C). Hacia fin de junio este anticiclón se desplazó a la altura de Islas Malvinas y un centro de baja presión se posicionó al Oeste de TdF (figura 3). Esta situación sinóptica indujo el ingreso de aire cálido y húmedo desde el Norte, provocando lluvias entre el 28 y el 30/6 (en algunas estaciones también el día 27). En la zona costera no fueron éstas excepcionales (36 mm en R. Grande y 40,5 mm en Ea. M. Behetty) pero en cordillera, por elevación y enfriamiento del aire húmedo estas cifras se multiplicaron (102 mm en Paso Garibaldi, 400 m s.n.m.). La temperatura permitió precipitación en forma líquida en cotas altas, acelerando la fusión de la nieve. Así, se conjugaron varias situaciones:

- Excepcional situación de humedad previa y presencia de nieve almacenada en zonas altas.
- En las zonas bajas lluvias moderadas a intensas, sobre suelo congelado, sin capacidad de infiltración y humedales sobresaturados, dio lugar a elevado coeficiente de escorrentía.

FOLIO 248

- Lluvias muy intensas y acelerado proceso de fusión de la nieve en la Cordillera y en la transición, producido por la acción conjunta del ingreso de aire cálido y las lluvias.

Debido a la dimensión de la cuenca, el factor que predispuso el evento fue la condición extraordinaria de humedad antecedente, que en las cuencas pequeñas de cordillera, de más rápida respuesta, es de menor significación. Las figuras 3 y 4 muestran las isohietas de la tormenta y los caudales de crecida en tanto que la figura 5 ilustra la magnitud de la inundación.

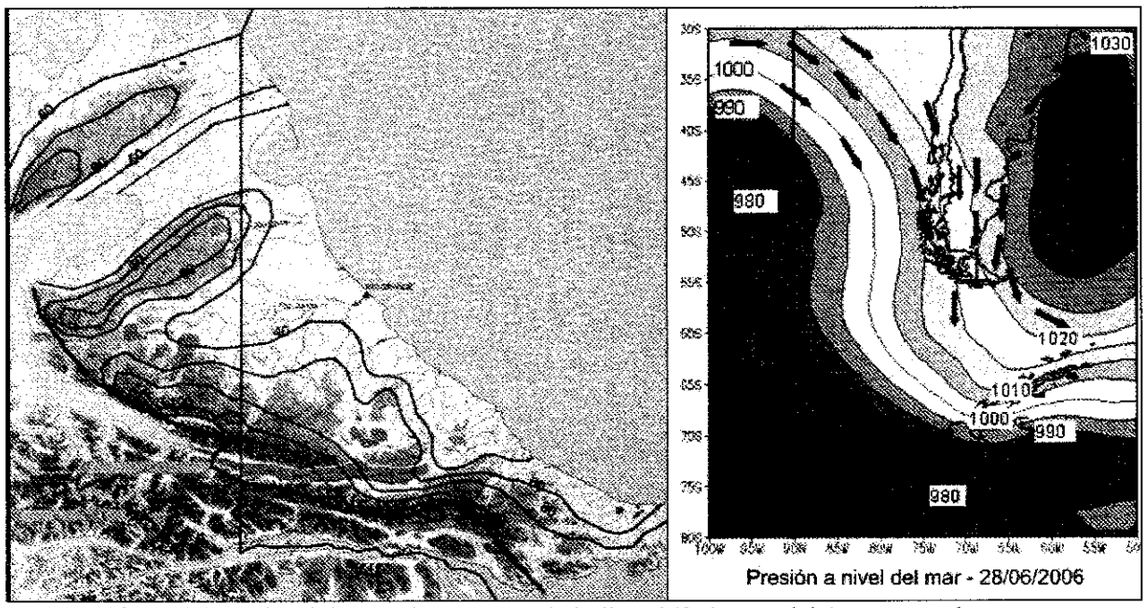


Figura 3. Isohietas del 28 al 30/6/06. La línea punteada indica el límite sur del área en que la tormenta tuvo intensidad significativa. El mapa de la derecha muestra los sistemas de alta (al E) y baja presión (al W) que indujeron el desplazamiento de aire cálido y húmedo hacia TdF. Normalmente estos sistemas tienen un posicionamiento relativo opuesto.

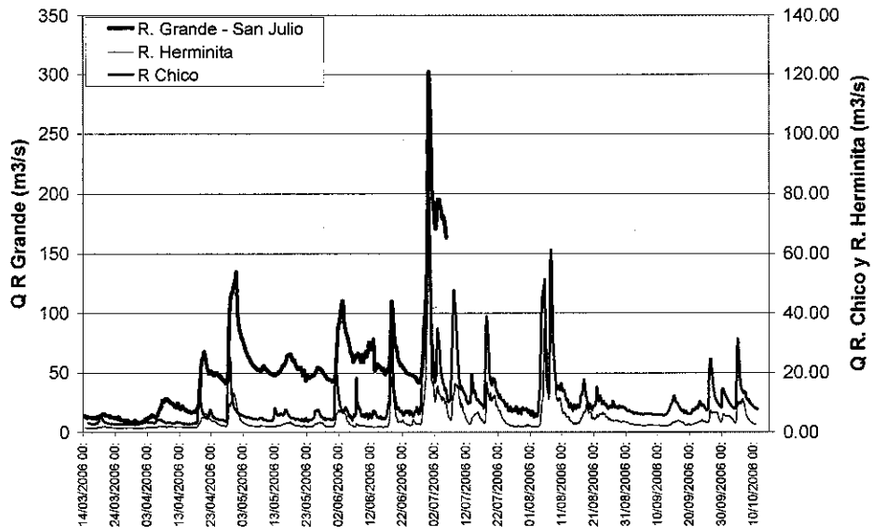


Figura 4. Crecidas de los ríos Grande, Herminita y Chico, en proximidades del límite. La escala de referencia para los dos últimos es la de la derecha. El registro del Río Grande se interrumpió luego de que el data logger fuera cubierto por el agua. Se estima en 500 a 550 m3/s el máximo caudal en la desembocadura del R. Grande el 30/6/2006. Lluvias en Julio prolongaron el anegamiento de áreas rurales. Tres picos previos a la máxima crecida superan 100 m3/s, cada uno es de la magnitud de una crecida máxima anual.

FOLIO 249

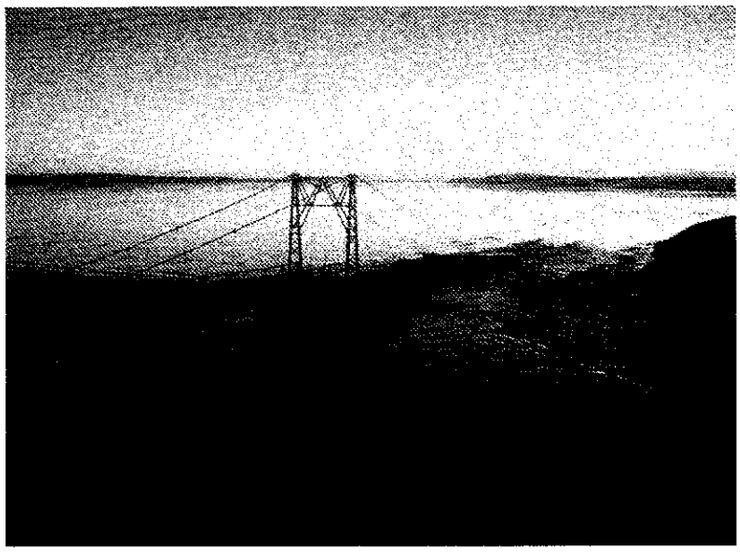


Figura 5. Río Grande, desde el Puente de la Rta N. 3, el 1/7/2006 a las a las 17 hs.

Estudio de caso 2: Cuenca del río Hambre

Las cuencas de montaña se caracterizan por su rápida respuesta a los eventos climáticos, por lo cual las precipitaciones intensas son determinantes de avenidas importantes. Sin embargo, debido al gradiente altitudinal de temperatura, sobre los 800-900 m las precipitaciones se producen en forma sólida durante la mayor parte del año, lo cual restringe las posibilidades de crecidas extraordinarias en cuencas con significativo desarrollo altitudinal.

La cuenca del río Hambre, afluente del río Lasifashaj, si bien corresponde al ambiente de cordillera, es relativamente baja, con un 85% de su superficie por debajo de los 800 m s.n.m. Tal condición da lugar a que en episodios cálidos de fines de otoño y comienzos de invierno se puedan producir eventos de lluvia sobre nieve, ya que la acumulación comienza en estas cuencas a partir de mayo, tal como ocurriera en el caso del máximo evento observado, ocurrido el 2/6/2000. Las características del evento se muestran a continuación la figura 6 y en la tabla 1

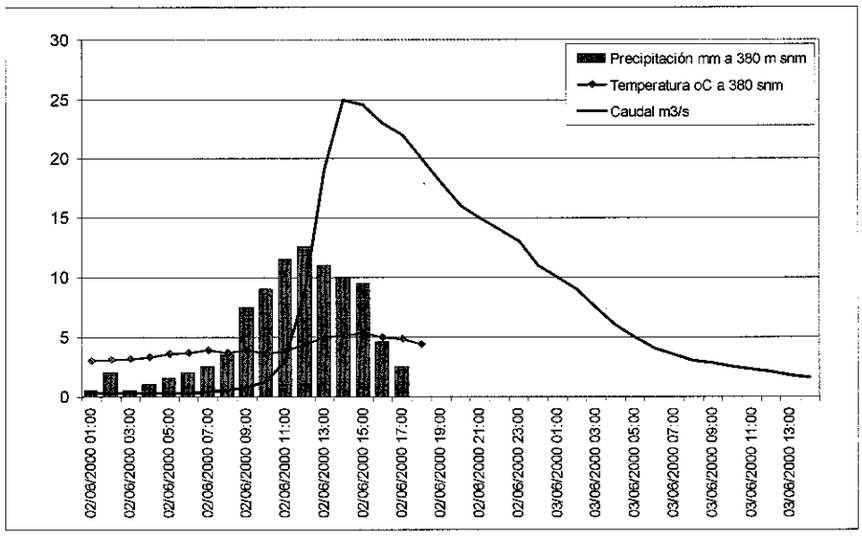


Figura 6. Precipitación, temperatura e hidrograma de crecida del 2/6/2009 en la cuenca del río Hambre

FOLIO
250

Precipitación total:	91.5 mm
Duración:	17 hs
Temperatura (a 380 m.s.n.m)	entre 3,5 y 5,2 oC
Q max	25 m3/s
Qmax/Qmed= 41	41.6
Tipo de evento:	Lluvia sobre nieve

Tabla 1. Características del evento del 2/6/2000 en la cuenca del río Hambre

La torrencialidad de estos cursos da lugar a consecuencias adicionales a las que ordinariamente se derivan de las grandes avenidas. Las crecidas anuales ordinarias tienden a producir acumulaciones de troncos sobre tramos de cauces, que son removilizadas por las crecidas extraordinarias, generando acarreos de mayor magnitud como ocurriera en el año 2000 en el río Cambaceres (figura 7), cuyas cabeceras se encuentran relativamente próximas a las del río Hambre.

Figura 7. Gran concentración de troncos transportados por el río Cambaceres que produjeron daños en el puente de la ruta Provincial en el año 2000.

El transporte de grandes volúmenes de fragmentos leñosos es un factor de riesgo muy importante para todo tipo de instalaciones ubicadas sobre el cauce y en el valle de inundación, en particular para los puentes, ya que generan obstrucción del escurrimiento, incremento de los niveles y fuertes solicitaciones sobre las estructuras. El riesgo potencial de este tipo de eventos depende de la cantidad de material leñoso existente en la cuenca con posibilidad de ser movilizado. Mao et al (2008), determinaron para la cuenca del Buena Esperanza una tasa de 120 m^3ha^{-1} en la cuenca y 76 m^3km^{-1} en el cauce, valores que son más elevados en cuencas con mayor proporción de bosque que en la del B. Esperanza (36%).

Estudio de caso 3: cuenca del A°. Buena Esperanza.

Esta cuenca, de importante desarrollo altitudinal presenta condición torrencial, propiciada por la fuerte pendiente general dada por un desnivel de 1200m en un tramo de 5300m. Su altitud mediana es de 680m (figura 2) y 1/3 de la superficie total se localiza sobre 800 m s.n.m. La orografía determina un fuerte incremento de la precipitación. Las observaciones en la zona urbana de Ushuaia a 250 m altura, duplican las correspondientes a las obtenidas al nivel del mar.

De acuerdo a registros hidrométricos disponibles desde el año 2000, en ningún caso la máxima crecida anual se produjo durante el período invernal. Tampoco se conocen antecedentes ocurridos en años precedentes al indicado. La mayor frecuencia de crecidas máximas anuales corresponde al período Noviembre-Diciembre, y en menor medida a Enero-Marzo. Esto es debido a que los

episodios lluviosos que se producen en invierno sólo afectan el tramo inferior de la cuenca, tomando la forma de nevadas en las cabeceras. El período de lluvias en la alta cuenca corresponde a Noviembre-Marzo, pudiendo excepcionalmente abarcar octubre y/o abril, pero el mayor potencial de ocurrencia de crecidas extremas está vinculado a eventos de lluvia sobre nieve (Iturraspe et al, 2009) lo que se produce en Noviembre-Diciembre, cuando en las cabeceras queda todavía una importante reserva de nieve estacional, cuya fusión puede ser inducida por lluvia.

El máximo evento en esta cuenca tuvo lugar el 5 de noviembre de 1954 (figura 8), luego de nevadas excepcionales en agosto-septiembre y de un posterior período frío en octubre, que estabilizó el manto de nieve y retrasó el proceso de fusión (Iturraspe et al, 2007, 2009). La lluvia que desencadenó la crecida fue importante (42 mm a nivel del mar) pero no tanto como para producir un evento extremo en forma independiente. La temperatura no fue tampoco excepcional pero posibilitó la ocurrencia de precipitación líquida en toda la cuenca, que aportó energía adicional y aceleró la fusión de la nieve.

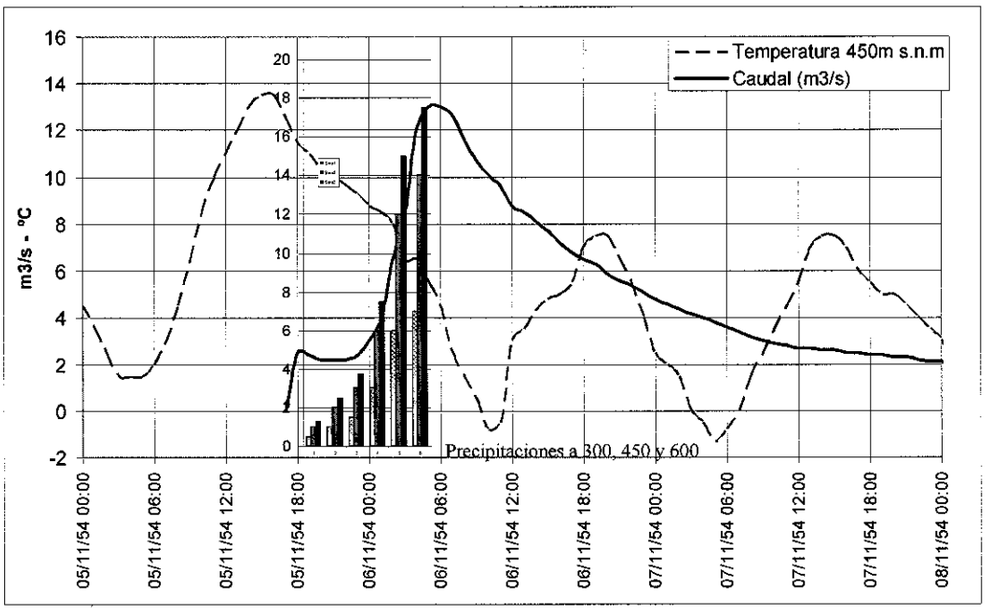


Figura 8. Información correspondiente al evento extremo correspondiente al A°. Buena Esperanza el 5/11/1954, según Iturraspe et al (2007, 2009)

Precipitación total:	42 mm en Ushuaia
Duración:	10 hs
Temperatura (a 450 m s.n.m)	5 a 14 oC
Q max:	13 m3/s
Qmax/Qmed:	36
Tipo de evento:	Lluvia sobre nieve
Condición antecente:	Gran acumulación de nieve en meses previos

Tabla 2. Características del evento del 5/11/1954 en la cuenca del A° Buena Esperanza.

FOLIO
Nº 252

Tendencias climáticas en Tierra del Fuego

La temperatura media anual se incrementó durante el siglo XX en aproximadamente 0.62 °C, es decir, en términos similares a los valores globales, (de 0,6 ± 0,02°C según IPCC, 2001). Sin embargo el mayor incremento se evidenció a partir de la década del 60, con una tendencia incremental de 0.22 °C/ década (figura 9).

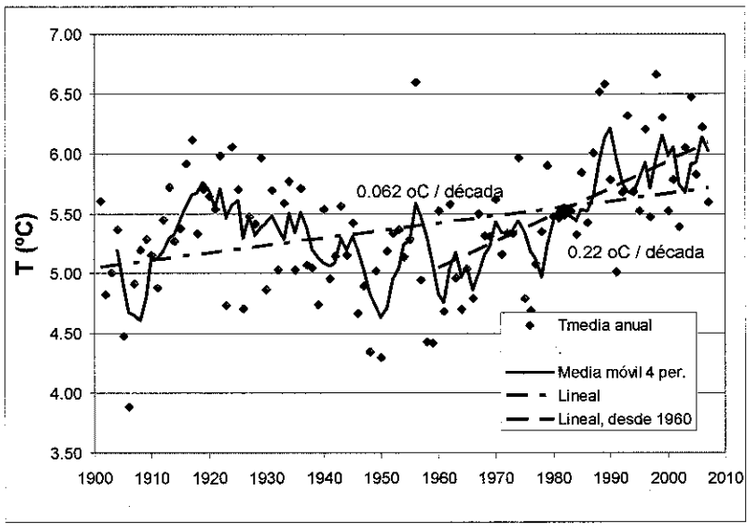


Figura 9. Evolución de la temperatura media anual en Ushuaia desde 1901. Se aprecia notable diferencia entre la pendiente de la recta de ajuste de la serie completa y la de las observaciones posteriores a 1960.

El análisis de tendencias de valores estacionales muestra contrastes entre verano (DEF) e invierno (JJA). En el primer caso se observa una tendencia positiva muy débil al considerar todo el período y un comportamiento no homogéneo, con una época fría hacia mediados del siglo pasado e incremento muy marcado desde la década del 60. Los registros invernales muestran un incremento uniforme y un buen ajuste lineal, con pendiente de 0,12 °C por década (figura 10). A nivel secular el incremento de la temperatura media anual es explicado en mayor medida por la tendencia invernal.

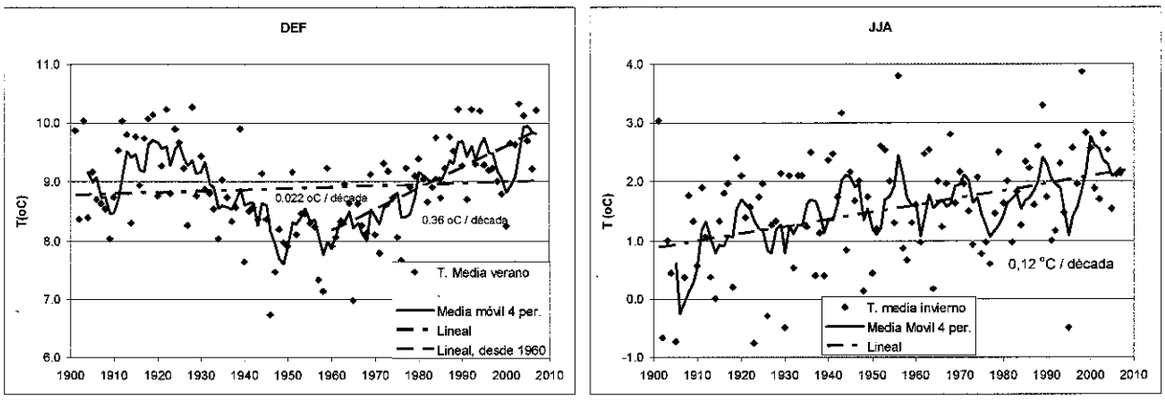


Figura 10. Evolución de medias de verano (DEF) e invierno (JJA) de temperatura en Ushuaia desde 1901.

En materia de precipitación, según los registros de Ushuaia la tendencia es netamente decreciente, aunque con un incipiente incremento en la última década (figura 11). Si bien no hay marcada estacionalidad en el régimen de precipitaciones, se advierten cambios en la distribución estacional al analizar diferentes períodos de la serie histórica, con una importante reducción en los valores

mensuales durante el invierno (figura 12), lo que complementado por el incremento de la temperatura implica una reducción en la acumulación de la nieve estacional.

A nivel de precipitaciones máximas anuales, se aprecia una tendencia decreciente (figura 13), en concordancia con el comportamiento de la serie anual.

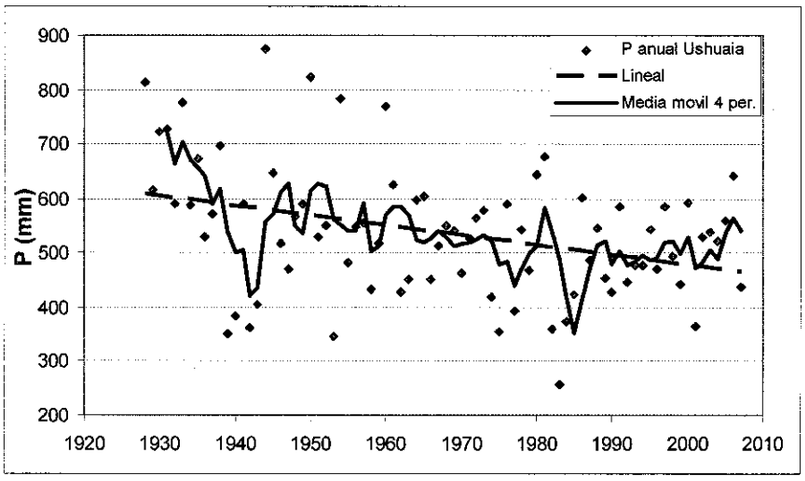


Figura 11. Precipitación anual en Ushuaia por año hidrológico (1927-2007)

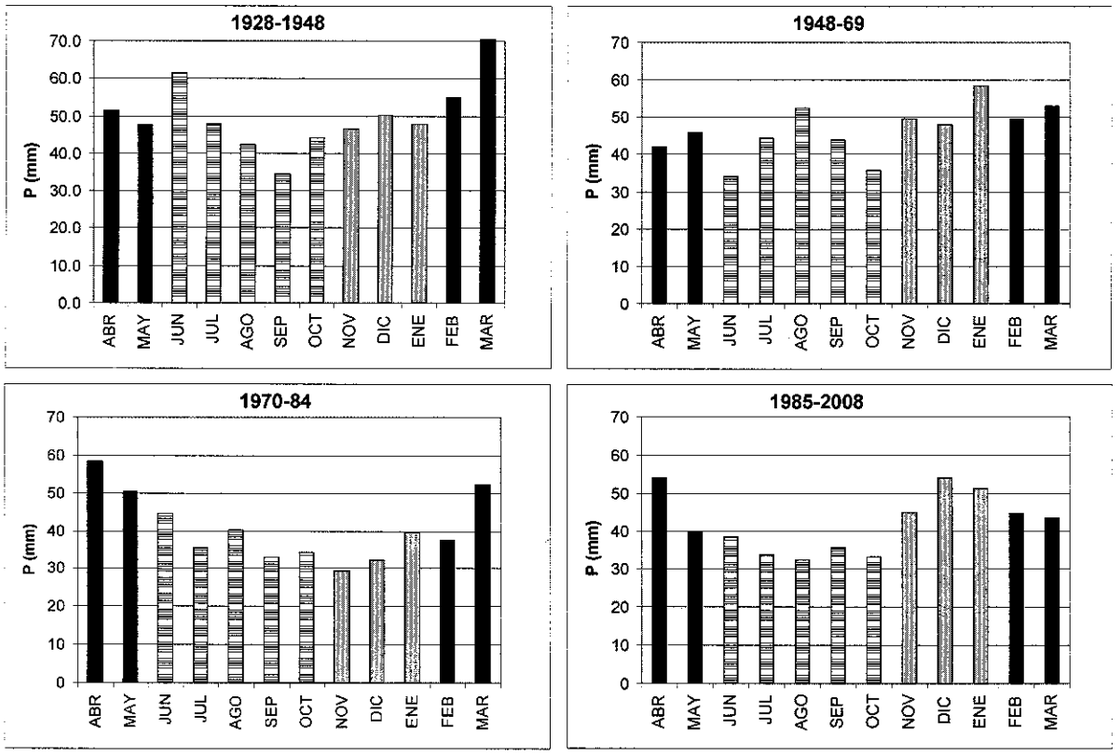


Figura 12. Cambios en la distribución de la precipitación mensual en Ushuaia. Se distinguen los períodos en que domina la factibilidad de situaciones de nevadas, lluvia sobre nieve y lluvias luego del agotamiento del stock de nieve estacional.

Predominio de nevadas (acumulación)

Episodios de lluvia sobre nieve

Precipitación pluvial dominante (sin nieve acumulada)

FOLIO
Nº 254

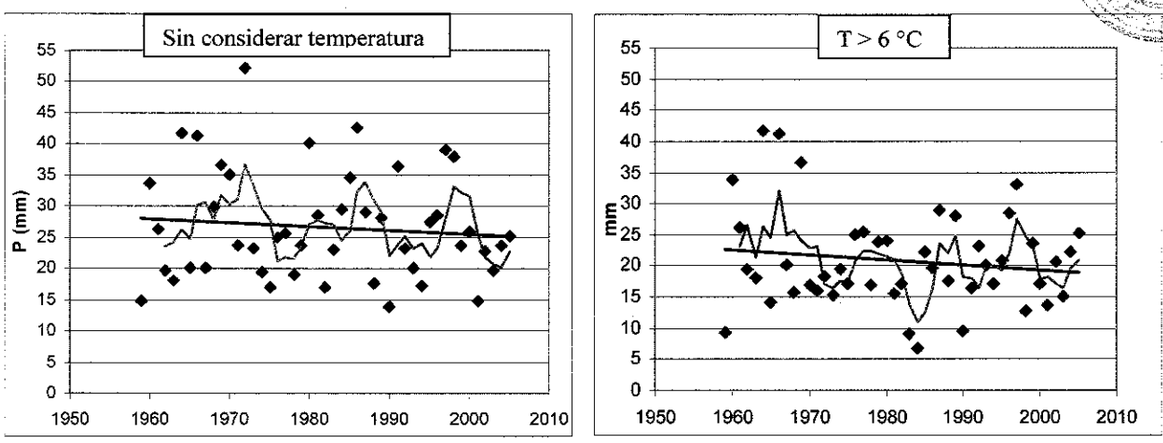


Figura 13. Tendencia decreciente en las precipitaciones máximas diarias en Ushuaia durante el período 1958-2007. La figura de la derecha muestra los casos con temperatura media diaria a nivel del mar > 6 °C, situación en la que se produce precipitación líquida en la mayor parte de la cuenca.

El comportamiento de los glaciares es un importante indicador del cambio climático. En la actualidad cuatro glaciares de Tierra del Fuego son monitoreados y se realiza en los mismos balance de masa. Durante el siglo XX el circo del glaciar Martial perdió 2/3 de la superficie englazada (Strelin e Iturraspe, 2007). Si bien la recesión glaciaria se ha manifestado durante todo el siglo XX, en muchos casos la mayor retracción se produjo desde 1970, en concordancia con el incremento de la temperatura y la disminución de la precipitación. Un caso típico es el del glaciar Vinciguerra que perdió desde 1970 el 46% de su extensión (Iturraspe et al, 2009)

Efectos de las tendencias climáticas sobre las máximas crecidas

Considerando temperatura y precipitación como las dos variables climáticas que influyen conjuntamente en la determinación de los eventos extremos, las series de datos indican la no estacionalidad en el comportamiento estadístico de estas variables, principalmente en relación a la temperatura, cuyo comportamiento está vinculado al calentamiento global. El resultado evidente es un régimen térmico invernal más templado que propicia precipitaciones líquidas más frecuentes en esta época del año alcanzando áreas más elevadas, donde el manto de nieve puede ser significativo luego de un período precedente frío y húmedo. Las cuencas bajas y de mediana altitud serían las más afectadas ya que al incrementarse la frecuencia de eventos de precipitación líquida, aumentaría la probabilidad de ocurrencia de eventos extraordinarios como los que han sido descriptos para las cuencas mencionadas como casos 1 y 2. Sin embargo este efecto se atenúa por dos factores: a) la tendencia decreciente de la precipitación anual, lo que también se evidencia en los máximos anuales en 24 hs. y b) por la reducción en la magnitud de la acumulación de nieve estacional en las cuencas, y en su permanencia. Esta combinación de condiciones que producen efectos contrapuestos genera incertidumbre en las predicciones relativas a crecidas extremas.

La observación de crecidas históricas indica una reducción de la frecuencia de eventos máximos en cuencas altas de cordillera como la del Buena Esperanza, muy cercana a la ciudad de Ushuaia, probablemente debido a que la disminución de la acumulación de nieve estacional da lugar a la desaparición temprana de este reservorio en relación a la temporada de ocurrencia de episodios pluviales en cabeceras. Por otra parte, la reincidencia de crecidas extraordinarias en cuencas de montaña de altitud moderada y la crecida extraordinaria de 2006 en cuencas de la estepa y transición serían consecuencia de inviernos más templados en combinación con el incremento en las precipitaciones que se advierte a partir del año 2000, mas allá de que en 2006 concurrieron anomalías cuya probabilidad de reiteración es desconocida.

FOLIO 255

DISCUSIÓN.

El IPCC, (2001, 2007) atendiendo a la opinión científica de mayor consenso, adjudica un peso importante a la componente antrópica del cambio climático y proyecta incrementos en la temperatura global entre 2 y 4 °C para el siglo XXI, de acuerdo a predicciones de diferentes modelos. Tales proyecciones indican aumentos tres a seis veces superiores a los que se produjeron durante el siglo XX. Un incremento de 4°C implicaría para la mayoría de las cuencas de la Provincia de Tierra del Fuego la transformación del actual régimen pluvionival en pluvial.

Por otra parte es muy difícil establecer conjeturas sobre el comportamiento de los sistemas climáticos regionales ante tal incremento en la energía de la atmósfera. Pequeños cambios en la localización dominante de los centros de alta y baja presión podrían producir importantes cambios en el régimen regional de precipitaciones.

De los resultados obtenidos a nivel regional surgen interrogantes:

a- ¿La tendencia negativa de la precipitación otorga condiciones de seguridad al extrapolar precipitaciones máximas aplicando leyes estadísticas para valores extremos?

b- Cómo considerar la influencia de los cambios en la distribución estacional de las precipitaciones sobre la frecuencia futura de eventos extraordinarios?

Seguramente la situación opuesta, a la expresada en **a-**, es decir una tendencia positiva induce la subestimación en la proyección probabilística de los eventos extremos bajo hipótesis de condición estacionaria, por lo cual podría esperarse que la estimación sobre un sesgo decreciente lleve a resultados con mayor margen de seguridad. No obstante, no existe certeza de que la tendencia negativa observada en las series no se revierta. Existen indicios en tal sentido en la última década, como ya ha sido indicado y por otra parte el IPCC (2007) considera un escenario con incremento moderado de precipitaciones en la región para el siglo XXI.

Como comentario a la segunda pregunta, puede decirse que los cambios observados en la distribución estacional de precipitaciones no indican tendencias extrapolables sino variabilidad. No es posible por lo tanto aseverar que se agudizará la reducción de precipitaciones invernales y/o el incremento en el período estival, o si por lo contrario, se restablecería la distribución típica de principios o mediados de siglo. Lo cierto es que tales cambios influyen en la definición de la modalidad más probable desencadenante de futuros eventos extraordinarios. Shaleen et al (2000) expresan que alteraciones estacionales en precipitación y temperatura derivados de pequeños cambios en el estado de la línea de base del clima pueden tener significantes impactos en la frecuencia y magnitud de las grandes crecidas.

El caso de cuencas con régimen pluvionival, dependiente de dos variables principales: precipitación y temperatura requiere de análisis bi-variado de frecuencias de los eventos extremos, a los que Benestad et al (2007) denominan eventos extremos complejos. En estos casos es evidente que la metodología tradicional de análisis de extremos de una variable, que generalmente es la precipitación no responde a la interpretación de este tipo de problema, y esto es independiente de la incidencia del cambio climático. Los problemas derivados del régimen pluvionival de las cuencas de Tierra del Fuego y de la sensibilidad de eventos extremos a la variabilidad climática se replican, con los matices propios de cada caso en gran parte de la eco-región Andino-Patagónica y si bien la bibliografía internacional muestra experiencias con aplicaciones innovadoras al análisis de valores extremos clásicamente estacionario, hay muy pocos trabajos a nivel regional o nacional con nuevos enfoques en este sentido. Asimismo es necesario trabajar en la continua actualización de los

escenarios climáticos factibles, así como en la escala de detalle, especialmente en los ambientes de montaña fuertemente transicionales, de notables contrastes, como ocurre en Tierra del Fuego.

CONCLUSIONES

Las evidencias a nivel regional ratifican el carácter no estacionario de variables climáticas determinantes de crecidas extremas que generan incertidumbre en la estimación de los valores extremos esperados. Es necesario en consecuencia incorporar nuevas metodologías al manejo de los recursos hídricos en materia de diseño de obras y prevención de riesgos que permitan considerar la sensibilidad del régimen hidrológico a las tendencias climáticas identificadas, evitando como base única el análisis estadístico clásico de series históricas.

Particularmente en el caso de cuencas con régimen de escurrimiento pluvionival, dependiente de dos variables principales, que además responden a un comportamiento no estacionario, el análisis de eventos extremos alcanza un mayor nivel de complejidad. Al momento de definir parámetros de diseño de obras hidráulicas, normalmente el objetivo es asegurar la durabilidad y operación de la obra con márgenes de probabilidad más o menos estrictos según el caso durante la vida útil de la misma. Pero en ciertos casos, como en el de las grandes presas asentadas aguas arriba de poblaciones, debe asegurarse que la estructura resista los eventos extremos sin probabilidad de falla, no sólo durante la vida útil de la misma sino durante el tiempo que la estructura permanezca en su emplazamiento. Por ello el caudal de diseño es el correspondiente a la crecida máxima probable, pero además debería agregarse que esta condición debe ser satisfecha para cualquier escenario climático probable, lo cual es un concepto que normalmente no es considerado.

Esta nueva pauta obliga a apelar a metodologías que reduzcan el nivel de incertidumbre en el diseño, tales como la incorporación de modelos no estacionarios al análisis de valores extremos (Xu-Feng, 1997, El Adlouni, 2008). La validación en estos casos, debe propender a realizarse utilizando herramientas modernas de modelación matemática y simulación en tiempo continuo con las que se compruebe la respuesta de la cuenca bajo los diferentes escenarios climáticos considerados, teniendo en cuenta además escenarios de desarrollo y cambios en el uso de la tierra.

Es evidente que se abre un nuevo paradigma para la ingeniería de proyecto y en general para el manejo de los recursos hídricos que implicará la necesidad de contar con información geográfica muy pormenorizada y con series de datos más extensas y detalladas, así como incorporar más variables, que alimentarán modelos matemáticos más complejos y precisos. Se requerirán nuevos insumos, basados en escenarios climáticos, que deberán atender a los requerimientos del caso: frecuente actualización, mejor resolución espacio-temporal y especial énfasis en eventos extremos a nivel diario. Se espera que con los avances en las ciencias de la atmósfera, tales escenarios tiendan a reducir incertidumbre y a mejorar en convergencia. La incorporación de proyecciones del desarrollo socioeconómico y el análisis de su impacto en el uso de la tierra y en el manejo de los recursos hídricos es el otro aspecto de gran importancia a ser considerado.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal técnico de la Dirección de Recursos Hídricos de Tierra del Fuego por el importante trabajo de campo realizado que ha permitido la obtención de información hidroclimática de base. El presente trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto EPIC FORCE, Unión Europea (Contrato INCO-CT2004-510739), los proyectos financiados por GEF-PNUMA denominados "Estudios Glaciológicos para la planificación de usos del agua en escenarios de cambio climático" y "Estrategias de ordenación de recursos hídricos para la cuenca binacional del Río Grande de Tierra del Fuego" y los proyectos de la UNPSJB "Monitoreo de glaciares

FOLIO 257

vinculados a las fuentes de agua de la ciudad de Ushuaia" y "Glaciología, Hidrología e Hidroinformática aplicadas a la investigación del impacto del cambio climático sobre los glaciares y el régimen de los cursos de montaña de Tierra del Fuego"

REFERENCIAS

Abbott, M., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E. and Rasmussen, J. (1986). An introduction to the European hydrological system –Systeme hydrologique European (SHE). 2: Structure of a physically based, distributed modelling system. J. of Hydrology 87, 61-77

Bathurst,. J. C &, P. E. O'Connell (2006) Future of distributed modelling: The Systeme Hydrologique Europeen, Hydrologica Processes (6)- 3, 265-2177

Benestad, R. E. and Haugen, J. E. (2007). On complex extremes: flood hazards and combined high spring-time precipitation and temperature in Norway. Climate Change: 85, pp381-486

El Adlouni, S. and Ouarda, T. B. M. J. (2008) Comparaison des mèthodes d'estimation des paramètres du modèle GEV non-stationnaire, Revue des Sciences de l'Eau, 21(1), 35–50, 2008.

IPCC (2001). Climate Change 2001: The Physical Science Basis. (eds.) J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu. Working Group 1 Contribution to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis Solomon, S, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Iturraspe R, Urciuolo A, Guerrero V, Gaviño M, Collado L, Sarandón R, Burns S. (2007). Report on basin response for Argentina (D18), in: EPIC FORCE PROJECT Deliverables. Newcastle Univ. URL: www.ceg.ncl.ac.uk/epicforce/assets/D18.pdf

Iturraspe, R., Urciuolo, A., Strelin, J., Iturraspe, R.(h), Camargo, S. y Pacheco, J. (2009). El retroceso del Glaciar Vinciguerra como respuesta al cambio climático en los Andes de Tierra del Fuego, Argentina. En: Glaciares, nieves y hielos de América Latina. Cambio climático y amenazas. López Arena y Ramírez Cadena (Compiladores). Ingeominas. Bogotá, Colombia.

Iturraspe, R., Urciuolo, A. and Bathurst, J. (2009). Caracterización de crecidas extremas en Tierra del Fuego. Actas del XXII Congreso Nacional del Agua, Puerto Madryn, 2009.

Knox, J.C. (2000) Sensitivity of modern and Holocene floods to climate change. Quaternary Science Rev. 19, 439-457.

Mao, L., Burns, S., Comiti, F., Andreoli, A., Urciolo, A., Marcelo Gaviño-Novillo, M., Iturraspe, R. y Lenzi, M.A. (2008). Acumulaciones de detritos leñosos en un cauce de montaña de Tierra del Fuego: análisis de la movilidad y de los efectos hidromorfológicos. Bosque 29(3), 2008.

Milly PC, Betancourt J, Falkenmark M, Hirsch RM, Kundzewicz ZW, Lettenmaier DP, Stouffer RJ. Climate change (2008). Stationarity is dead: whither water management? Science. 2008 Feb 1;319(5863), pp 573-574

Strelin, J., Iturraspe, R., 2007. Recent evolution and mass balance of Cordón Martial glaciers, Cordillera Fueguina Oriental. Glob. Planet. Change. (59) pp 17-26

Shaleen J. and Upmanu L. (2000). Magnitude and timing of annual maximum floods: Trends and large-scale climatic associations for the Blacksmith Fork River, Utah. Water Resources Research, Vol 36, 12, pp 3641–3651.

Xu-Feng N. (1997). Extreme value theory for a class of nonstationary time series with applications. The Annals of Applied Probability 1997, Vol. 7, 2, pp. 508-522

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

ANEXO III

FOLIO

FOLIO 259

Municipio de Río Grande

ACTA

--------En la ciudad de Río Grande, a los 12 días del mes de diciembre del año 2013, atento Nota Nº 29465/2013 de la Dirección de Aprovechamientos Hídricos de la Provincia de Tierra del Fuego AIAS, se procede a confeccionar la presente Acta en la Secretaría de la Obras y Servicios Públicos del Municipio de Río Grande con motivo de la reunión de trabajo realizada entre el Director General del Área Técnica de la Secretaría de Obras Públicas Arq. Pablo R. Driussi, el Director de Catastro del Municipio de Río Grande MMO Leonardo Rincón, la Subsecretaria de la Producción Sra. Sonia Castiglione, la Directora de Desarrollo Industrial Lic. Andrea Cardona y el Coordinador de la Dirección de Desarrollo Industrial Cr. Juan de Dios Fernández por el Municipio de Río Grande y el Director de Aprovechamientos Hídricos Ing. Hidalgo, Miguel Ángel, el Director General de Recursos Hídricos Ing. Gerardo Noir, Director General de Catastro el Agrim. Guillermo Vergara y la Subdirectora General de Ordenamiento Territorial Arq. Graciela Sorhanet por parte de la Provincia de Tierra del Fuego AIAS, en el marco de las acciones conjuntas tendientes a consensuar criterios sobre la delimitación de la línea de ribera a partir de la calle Juan José Paso y hacia el sur en forma paralela a los Macizos 1B de la Sección D y los Macizos 50, 51A y 51 B de la Sección F de la ciudad de Río Grande.----------

--------En la reunión de trabajo el Municipio de Río Grande hace entrega del Proyecto de Ampliación del Parque Industrial de Río Grande, en formato autocad, para que la Dirección General de Recursos Hídricos evalúe y se expida a la brevedad posible, para dar curso a lo elaborado en carácter de provisorio.----------

------Así mismo la Dirección General de Recursos Hídricos, hace entrega al Municipio de Río Grande borrador del plano Línea de Ribera del Río Grande, el Plano de Línea de Ribera del Río Grande Sector Industrial y el Plano de Línea de Ribera del Río Grande Sector Antena, comprometíndose a acercar los mismos en formato autocad, a la brevedad posible. ----------

--------Para constancia de lo actuado, se labra y firma la presente Acta en 3 (tres) ejemplares de un mismo tenor en el lugar y fecha arriba indicado.----------

Arq. Pablo R. Driussi
A/C Dirección General
del Área Técnica
Municipio de Río Grande

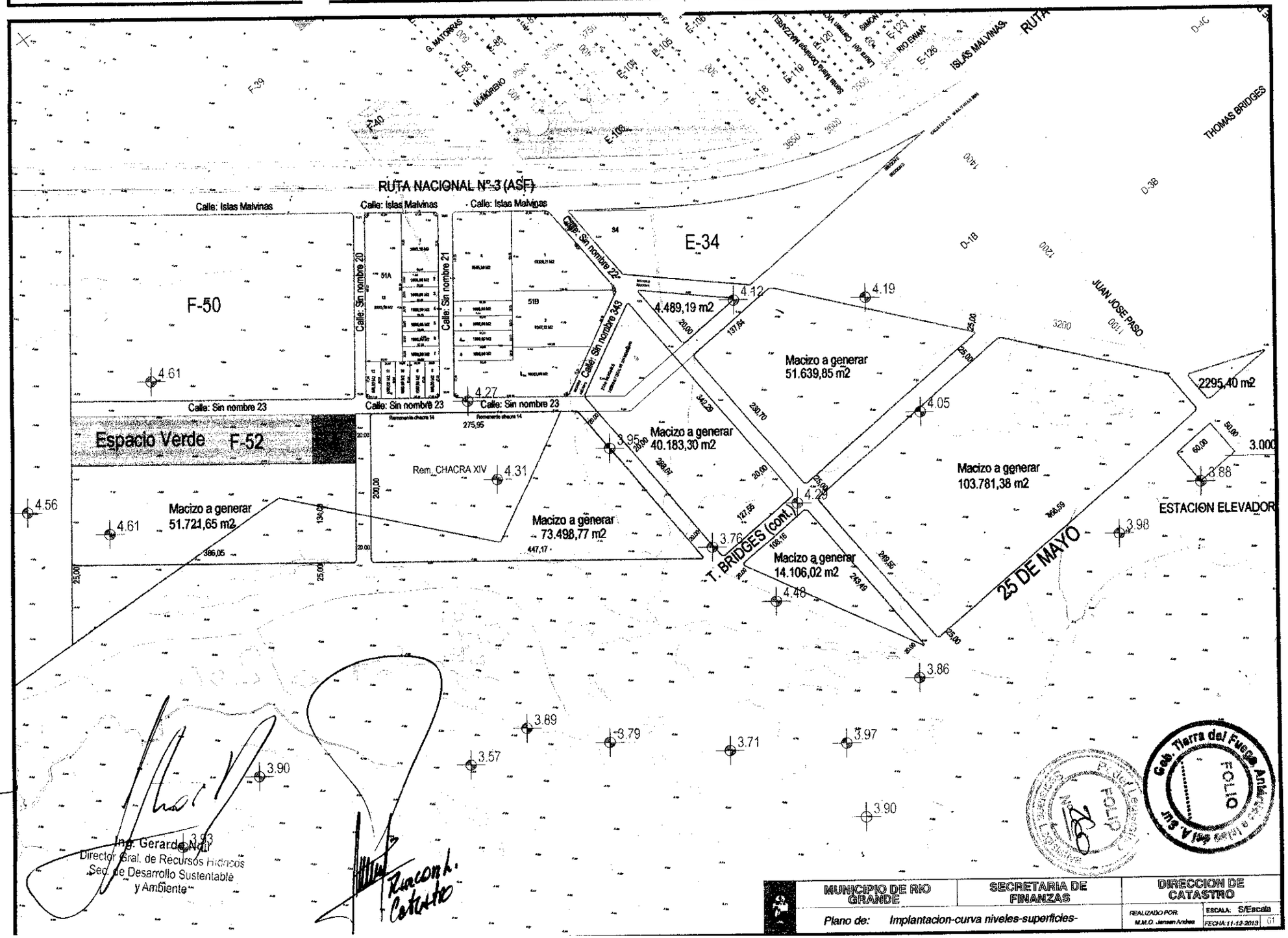
Ing. Gerardo Noir
Director Gral. de Recursos Hídricos
Sec. de Desarrollo Sustentable
y Ambiente

C.P. Juan de Dios Fernandez
A/C Coordinador
Dir. Des. Ind. M.R.G.

Lic. Cardona N. Andrea
Directora de Desarrollo
Industrial

"Las Islas Malvinas, Georgias y Sándwich del Sur, son y serán Argentinas"

Propuesta realizada por: Dirección de Catastro

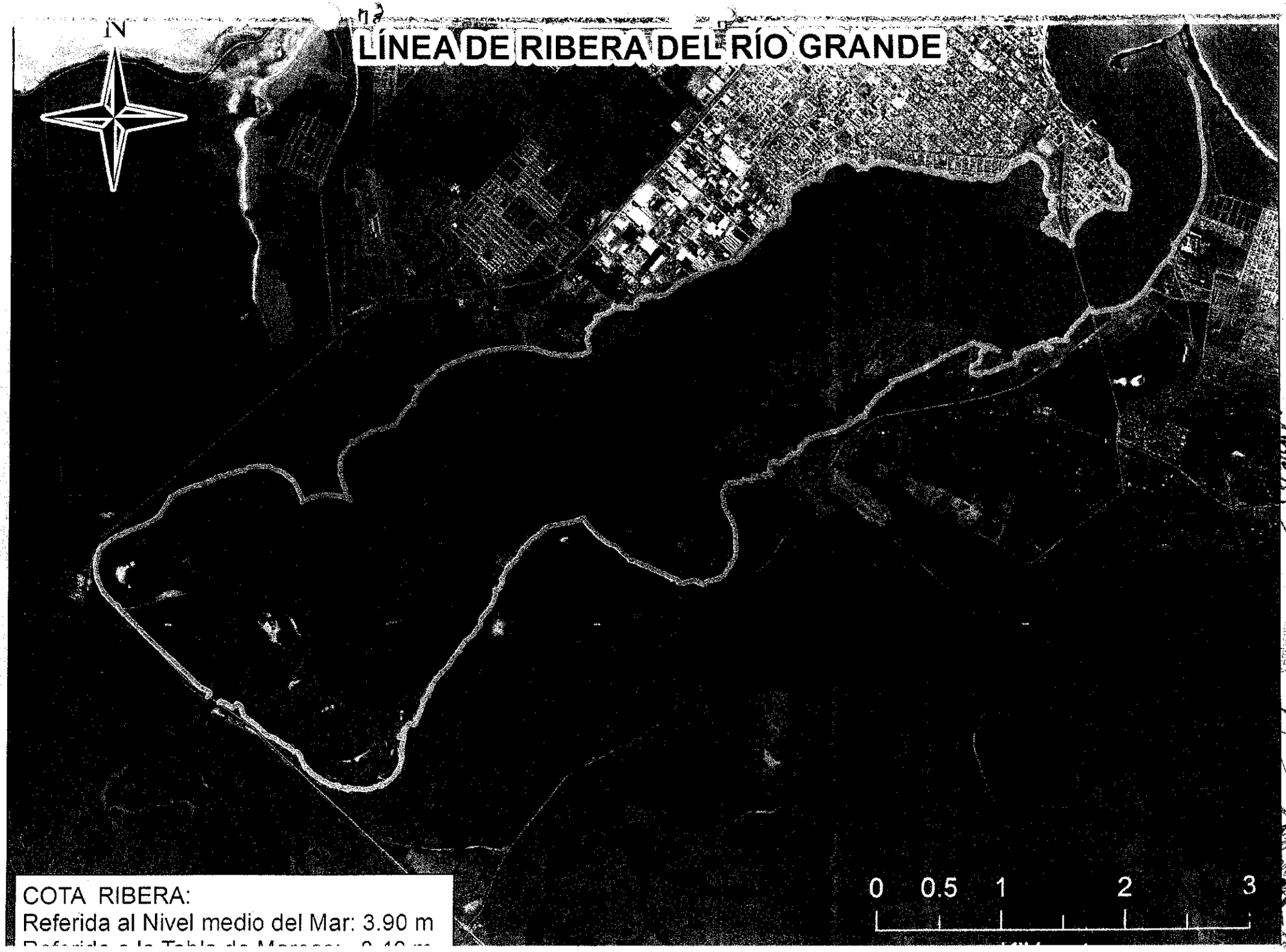


N
LÍNEA DE RIBERA DEL RÍO GRANDE
COTA RIBERA:
Referida al Nivel medio del Mar: 3.90 m
0 190 380 760 1,140

LINEA DE RIBERA DEL RIO GRANDE
SECTOR ANTENA

N
LÍNEA DE RIBERA DEL RÍO GRANDE
SECTOR INDUSTRIAL
COTA RIBERA:
Referida al Nivel medio del Mar: 3.90 m
Referida a la Tabla de Mareas: 8.40 m
0 50 100 200 300
Meters

LÍNEA DE RIBERA DEL RÍO GRANDE



COTA RIBERA:
Referida al Nivel medio del Mar: 3.90 m

Red EcoFluvial

PROYECTO EJECUTIVO

Agosto 2012

INSTITUCIONES Y GRUPOS FUNDADORES

- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (**CONICET**)
- The Nature Conservancy (**TNC**)
- Dirección General de Recursos Hídricos de Tierra del Fuego (**DGRH-TDF**), Secretaría de Desarrollo Sustentable y Ambiente de la Pcia. de Tierra del Fuego A.I.A.S.
- Centro Austral de Investigaciones Científicas (**CADIC**-CONICET)
    - Laboratorio de Ecología, Fisiología y Evolución (LEFE)
    - Estación Astronómica Río Grande (EARG-CONICET-UNLP)
- Dirección Provincial de Recursos Hídricos de Neuquén (**DPRH-NQN**)
- Dirección General de Biología Acuática de Neuquén (**DGBA-NQN**)
- Centro de Ecología Aplicada del Neuquén (**CEAN**)
- Instituto Provincial del Agua de Chubut (**IPA-CH**)
- Secretaría de Pesca de Chubut (**SP-CH**)
- Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medio Ambiente (**INIBIOMA**-CCTComahue-CONICET)
    - Laboratorio de Ecotoxicología Acuática (LEA)
    - Laboratorio de Fotobiología (LFB)
    - Laboratorio de Ictiología (LI)
- Laboratorio de Investigaciones en Ecología y Sistemática Animal (**LIESA**-UNPSJB)
- Centro Nacional Patagónico (**CENPAT**-CONICET)
    - Grupo de Estudios de Salmónidos Anádromos (GESA)
- Administración de Parques Nacionales (**APN**)
- Universidad Nacional de Tierra del Fuego (**UNTDF**)
- Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue (**CRUB**, UNComa)

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La Patagonia es naturalmente rica en recursos hídricos continentales. Contiene algunos de los glaciares continentales más grandes del mundo y cientos de lagos y ríos a lo largo de los Andes. Desde una perspectiva global y a la escala regional, la disponibilidad de agua podría no ser considerada un problema en sí misma (Oki & Kanae 2006). Un análisis más detallado de la temática del agua revela un escenario bastante más complejo. El crecimiento poblacional, el desarrollo urbano, la agricultura y las represas están transformando las cuencas fluviales de la Patagonia. Los proyectos mineros en cercanías de ríos se multiplican continuamente, generando reacciones públicas ante el temor por sus efectos sobre las aguas y el ambiente en general. Muchos ríos y lagos ya no son capaces de sustentar las famosas pesquerías del pasado. Recientemente se ha detectado en algunas cuencas la presencia de algas exóticas altamente invasivas, las cuales podrían colonizar nuevos ambientes con profundos efectos sobre su funcionamiento y productividad. El agua dulce se está transformando en un recurso limitante para distintos núcleos urbanos de la región, particularmente para aquellos ubicados en el árido litoral Atlántico. Se espera que el cambio climático modifique esta situación, agravándola en aquellas partes de la región donde los escenarios existentes contemplan disminuciones significativas en las precipitaciones.

A pesar de que el sustento y modo de vida de la gente en Patagonia está íntimamente ligado al capital natural de la región, la falta de respuestas integrales a problemas relacionados al agua denota que la conexión entre ríos saludables y bienestar humano en Patagonia no es evidente *per se*. El agua dulce de la Patagonia no ha tenido el papel que merece en las estrategias de desarrollo territorial o en las actividades de las principales ONGs abocadas a la conservación de la naturaleza en la región, las cuales han enfatizado la conservación terrestre y marina, especialmente al nivel de especies y poblaciones. Podría decirse que la sociedad regional y sus instituciones no están plenamente preparadas para enfrentar los impactos del desarrollo y el cambio climático sobre el suministro de agua y sobre los recursos acuáticos (Pascual et al. 2009).

Durante la última década los Gobiernos provinciales han aunado esfuerzos en pos de un manejo armónico y coordinado del agua en la región, conformando el COHIPA (Consejo Hídrico Patagónico), definiendo una matriz regional de problemas y acciones prioritarias. A través del mismo se participó en la elaboración del Plan Hídrico Nacional, siguiendo los Principios Rectores de la Política Hídrica de la República Argentina consensuados en el marco del Consejo Hídrico Federal. En estas instancias se enfatizó la importancia de la conservación del agua dulce bajo un criterio de manejo integrado de cuencas (por ej. GEF-Río Grande[1]). Tal enfoque demanda perspectivas sistémicas, de múltiples escalas, que

[1] http://gefriogrande.tierradelfuego.gov.ar

integren los usos del suelo con la provisión y calidad de las aguas, del hábitat fluvial y de los recursos acuáticos que los ríos sustentan. Requiere además visiones que contemplen los puntos de vista de múltiples usuarios. El desarrollo de enfoques basados en la provisión de servicios ecosistémicos (Daily 1997), reforzado por la generación de nuevas herramientas para apoyar los sistemas de decisión en el manejo ecosistémico (por ej. Kareiva et al. 2011), provee una oportunidad extraordinaria para establecer una nueva perspectiva en el análisis del uso y conservación de las aguas continentales. **Pero la capacidad técnica regional para conducir investigación de las cuencas fluviales de Patagonia enfocada a la provisión integral de servicios ecosistémicos no existe o es incipiente y debe ser creada o fortalecida.**

Esta propuesta está cimentada en la creencia de que es posible lograr grandes avances en la conservación de agua dulce en Patagonia a través de: 1) la evaluación y revelación de los reales costos y beneficios asociados a distintas prácticas en el uso del agua, 2) la identificación de condiciones habilitantes para el uso sostenible de los recursos acuáticos y 3) la transferencia de este conocimiento al público en general, a las autoridades políticas, a los administradores de recursos y a los técnicos de la región.

VINCULACIÓN CON *THE NATURE CONSERVANCY*

Este proyecto está sustentado en un consorcio entre el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET[2]) y *The Nature Conservancy* (TNC[3]). CONICET provee financiación para la constitución de una red de ambientes e instituciones, cuyas funciones y actividades se describen en este documento. TNC provee financiación, soporte técnico y apoyo logístico para establecer un laboratorio especializado en el ámbito del Centro Nacional Patagónico (CENPAT-CONICET[4]) para desarrollar investigación fluvial de escala ecosistémica. Las capacidades generadas por este laboratorio, las cuales se detallan más adelante, serán compartidas a través de la estructura y actividades de la red.

La Patagonia está mayormente cubierta por pastizales templados, los cuales representan uno de los grandes tipos de hábitat de la tierra con menor nivel de protección. Este hecho motivó el interés de *The Nature Conservancy* (TNC) de iniciar en 2008 el Proyecto de Conservación de los Pastizales Patagónicos. El proyecto tiene una vinculación fundacional con la conservación de las aguas continentales, teniendo como meta preservar la condición e integridad natural de los pastizales y los ecosistemas acuáticos asociados, su capacidad

[2] http://www.conicet.gov.ar

[3] http://www.nature.org

[4] http://www.cenpat.edu.ar

para sustentar una producción diversificada, mejorando la calidad de vida de la población regional.

En base a estas perspectivas, y en colaboración con la Dirección General de Biología Acuática de Neuquén y el Centro de Ecología Aplicada de Neuquén, TNC organizó en septiembre de 2011 un taller en la ciudad de Junín de los Andes para analizar a la cuenca del Río Chimehuin desde una perspectiva sistémica, integrando los problemas del agua con aquellos del manejo de la tierra. Esta actividad sirvió como disparador y motivador del actual proyecto. En forma paralela, junto con la Fundación para la Conservación de Tierras Patagónicas (FPCTP) y con el apoyo financiero de la Fundación Donner, TNC se encuentra aplicando un enfoque basado en la provisión de servicios ecosistémicos para promover un mejor manejo de la estepa patagónica dentro del área Caleufu-Collón Cura, en el sur de la Provincia de Neuquén. Clave para este esfuerzo es la identificación de los distintos servicios ecosistémicos asociados a la cuenca y de los distintos usuarios de los mismos en busca de distintos incentivos para apoyar esfuerzos de conservación acuática y terrestre y, eventualmente, para solventar los costos asociados a tales esfuerzos.

Esta propuesta se vincula además con varias iniciativas globales de TNC, las cuales partieron de un diagnóstico de áreas y perspectivas prioritarias para la conservación de la naturaleza alrededor del mundo, siendo además muy relevantes para la región patagónica. La iniciativa de "Agua dulce para la gente y la naturaleza" plantea la necesidad de preservar la viabilidad de los ríos del mundo para asegurar la provisión de agua limpia, para satisfacer las necesidades humanas y como soporte de la biodiversidad. La iniciativa "Abordando el cambio climático" plantea la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de los sistemas de las aguas continentales al cambio climático para prevenir y manejar sus impactos. La iniciativa "Valorando la Naturaleza" plantea la necesidad de poner en valor los distintos servicios ecosistémicos provistos por los sistemas naturales como estrategia para incentivar al público e instituciones privadas a invertir en la protección de la naturaleza. Por último, la iniciativa "Conservación de sistemas completos" plantea la necesidad de llevar la conservación más allá de sitios particulares hacia la preservación de las funciones y servicios ecosistémicos a partir de áreas núcleo (protegidas o no) con gran integridad ecológica y a través de la matriz de tierras y aguas bajo distintos tipos de desarrollo.

MISION DE LA RED

Fomentar la conservación y el manejo sustentable de los ecosistemas fluviales de Patagonia a través de la generación e integración de conocimientos y capacidades científico-técnicas regionales, y la difusión de la información generada a los distintos niveles de usuarios.

FUNCIONES DE LA RED

1. Promover una visión y concepción ecosistémica en el estudio y manejo de las cuencas fluviales de Patagonia.
2. Generar e intercambiar información y conocimiento científico técnico estandarizado y validado.
3. Establecer plataformas de información y análisis para el manejo integrado de cuencas fluviales.
4. Responder a solicitudes de apoyo técnico provenientes de los diferentes sectores vinculados a la conservación y manejo de cuencas de la región.
5. Contribuir a la formulación de políticas públicas en materia de conservación de cuencas fluviales en la región.

OBJETIVOS DE LA RED

Objetivo 1: Generar sistemas integrales de información que sirvan de apoyo a la toma de decisiones de manejo ecosistémico en tres cuencas hídricas consideradas representativas a nivel regional: Río Chimehuin, Río Chubut y Río Grande.

Objetivo 2: Generar modelos dinámicos del funcionamiento fluvial a escala de cuenca para los tres casos de estudio.

Objetivo 3: Construir escenarios de desarrollo de cada cuenca al año 2100 y evaluar sus consecuencias en cuanto a la provisión de servicios ecosistémicos.

Objetivo 4: Formular recomendaciones y documentar impactos del proyecto.

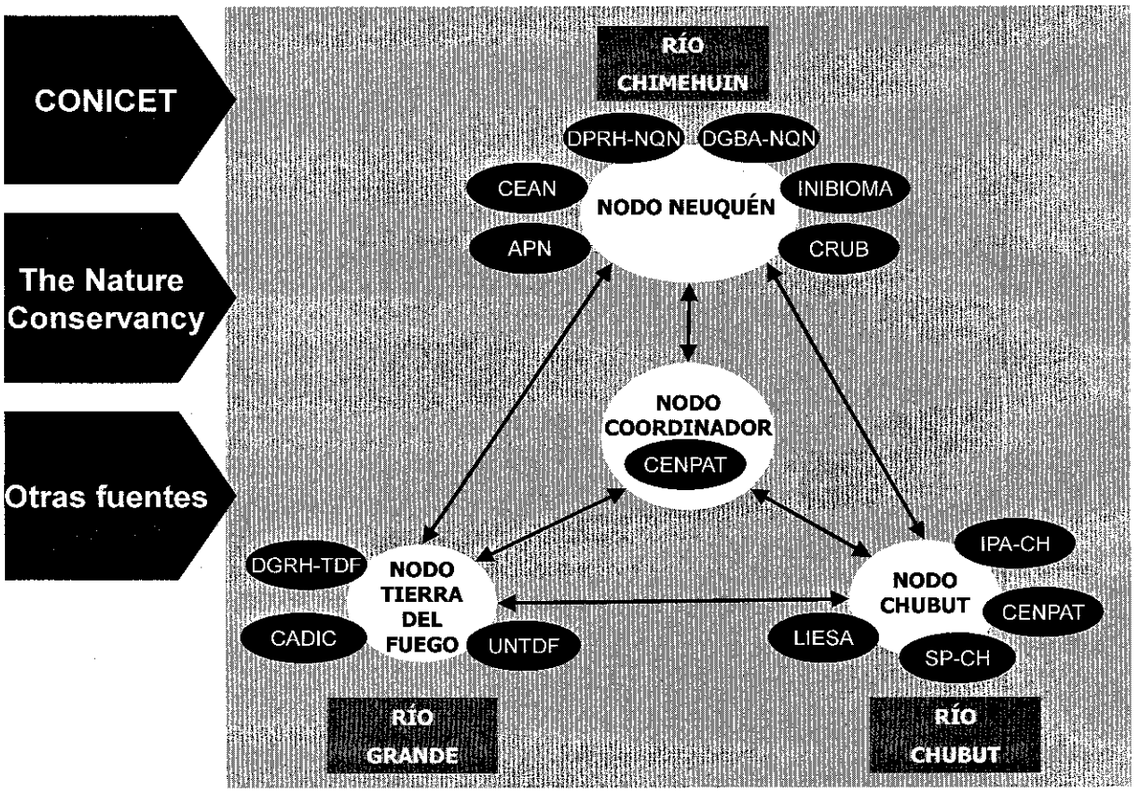
Objetivo 5: Estimular y apoyar la formación de recursos humanos mediante esfuerzos colaborativos de los distintos grupos e instituciones que componen la Red.

Objetivo 6: Desarrollar un plan de comunicación integral dirigido a instalar la temática de conservación de cuencas fluviales patagónicas, promover prácticas de uso sustentable de los recursos naturales y mantener la provisión de servicios ecosistémicos.

ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LA RED

Arquitectura de la red

La Red para la Conservación de los Ecosistemas Fluviales de la Patagonia (Red EcoFluvial) tendrá una estructura con un nodo coordinador localizado en el Centro Nacional Patagónico (CENPAT-CONICET) y tres nodos regionales, Neuquén, Tierra del Fuego y Chubut, a los cuales se asocian las diferentes instituciones participantes. A cada uno de los tres nodos regionales, se asocia una cuenca fluvial: Río Chimehuin (Nodo Neuquén), Río Chubut (Nodo Chubut) y Río Grande (Nodo Tierra del Fuego). Estas cuencas servirán como casos de estudio en los cuales se aplicarán las actividades propuestas. CONICET y TNC proveerán financiación específica y participarán de la Comisión Directiva.



Gobierno y Funciones

El **Nodo Coordinador** será presidido por un **Coordinador General** de la red y sus funciones serán:

- Promover y generar oportunidades para generar capacidad técnica específica.
- Centralizar el seguimiento de acciones de los nodos y coordinar acciones entre nodos
- Recibir demandas de los nodos.
- Administrar los recursos generales de la red.

FOLIO 272

- Representar a la red en reuniones, foros y eventos relacionados con la misión definida.
- Buscar financiación adicional.

Cada uno de los **Nodos Regionales** será presidido por un **Coordinador de Nodo** y sus funciones serán:

- Ser el nexo con las instituciones locales.
- Diseñar, implementar y seguir las acciones del plan de trabajo correspondientes a la cuenca focal.
- Identificar y gestionar fuentes adicionales de recursos en coordinación con el nodo coordinador.
- Informar avances del plan de trabajo al nodo coordinador y al resto de la red.
- Recomendar incorporación de nuevos actores locales.

La red tendrá una **Comisión Directiva** integrada por el coordinador general, los coordinadores de nodo, un representante de CONICET y un representante de TNC. Sus funciones serán:

- Asistir al coordinador general en la toma de decisiones.
- Velar por el cumplimiento del plan de trabajo.
- Evaluar y aprobar modificaciones del plan de trabajo.
- Definir asignaciones presupuestarias específicas.
- Designar al coordinador general.
- Definir los temas de investigación de los becarios.
- Aprobar la incorporación de nuevos socios centralizados y evaluar las recomendaciones de los nodos regionales.

Representantes iniciales

Los órganos constitutivos de la Red quedaron conformados de la siguiente manera:

Coordinador General: Dr. Miguel Pascual, Investigador Principal, CENPAT-CONICET.

Coordinador Nodo Neuquén Lic. Betina Laurenzano, Dirección Provincial de Recursos Hídricos, Provincia del Neuquén

Coordinador Nodo Tierra del Fuego: Mg. Ing. Adriana Urciuolo, Universidad Nacional de Tierra del Fuego.

Coordinador Nodo Chubut: Dra. María Laura Miserendino, Investigadora Adjunta, CONICET, Laboratorio de Investigaciones en Ecología y Sistemática Animal, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Esquel, Chubut.

Representante CONICET: MSc. Patricia Maccagno, Dirección de Convenios y Proyectos, Capital Federal.

Representante TNC: Dr. Carlos Fernández, Director Programa Patagonia, Bariloche, Río Negro.

MARCO METODOLÓGICO DEL TRABAJO

Se propone implementar investigaciones de escala ecosistémica a través de la combinación de dos estrategias de trabajo a fin de maximizar el impacto regional de la labor desarrollada. Ambas estrategias están sustentadas en la colaboración en red de técnicos y administradores asociados al manejo y la conservación de cuencas fluviales. El Apéndice provee una justificación y descripción técnica de las mismas.

CAPACIDADES A GENERAR CON FONDOS DE TNC

TNC proveerá fondos de contrapartida (U$S 90.000 por un año con posibilidades de renovación) para crear un laboratorio técnico con asiento en el CENPAT. Las capacidades generadas, las cuales permitirán conducir investigación de escala ecosistémica dirigida a la conservación del agua dulce, incluyen:

- Salario de dos investigadores de nivel postdoctoral con dedicación full-time al proyecto y con experiencia en temas específicos: Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a cuencas hídricas, modelado climático e hidrológico, ecología de ríos.
- Montado de laboratorio: adecuación edilicia, comunicaciones, adquisición de hardware y software para SIG, modelado dinámico, etc.
- Entrenamiento del personal del laboratorio en temas de hidrología, modelado de cambio climático, evaluación del capital natural, GIS y técnicas específicas de monitoreo de ríos, integrando conocimientos y capacidades técnicas disponibles globalmente en TNC y en otras organizaciones e instituciones.
- Financiamiento para funcionamiento, y fondos parciales para viajes a talleres y trabajo de campo.

FOLIO 279

El laboratorio técnico realizará la coordinación técnica del proyecto y proveerá a los Nodos Regionales con apoyo técnico, herramientas de análisis y entrenamiento para el diseño y ejecución del proyecto (ver Actividades).

ACTIVIDADES

Objetivo 1: Generar sistemas integrales de información para el soporte de decisiones de manejo ecosistémico en las tres cuencas hídricas				
Actividades	**Resultado esperado**	**Años**	**Presupuesto**	**Responsable**[5]
1.1. Generar ***diagnósticos de base*** por cuenca	Un informe por cuenca incluyendo: • Análisis de información existente (fuentes, validación, estandarización) • Diagnóstico de problemas, situación actual y potencial • Identificación de actores (instituciones e individuos)	1	**Total $ 12.000** **A1:** $ 4.000/cuenca (CORRIENTES)	**NQN**: B. Laurenzano **CHB**: L. Miserendino **TDF**: A. Urciolo, G. Noir
1.2. Confeccionar ***cartografía base*** para cada cuenca	SIG[6] para cada cuenca incluyendo: • Topografía, geología y geomorfología, cuenca y subcuencas • Información catastral y jurisdiccional • Mapas de uso actual de la tierra, tipo de suelo, tipo de vegetación	1-3	**Total $ 48.000. Incremental:** **A1:** $ 12.000; $ 4.000/cuenca (CORRIENTES) **A2:** $ 18.000; $ 6.000/cuenca (CORRIENTES) **A3:** $ 18.000; $ 6.000/nodo (1 computadora para análisis SIG/nodo, CAPITAL)	**NQN**: B. Laurenzano **CHB**: P. Rimoldi **TDF**: Rodrigo Iturraspe **NC**: M. Pascual
1.3. Confeccionar ***mapas de uso actual del agua*** para cada cuenca	SIG para cada cuenca incluyendo localización de puntos de toma de aguas, destino, y fuentes de descarga. Volumen estacional de toma y descarga.	1-2	**Total $ 21.000. Incremental:** **A1:** $ 12.000; $ 4.000/cuenca (CORRIENTES) **A2:** $ 9.000; $ 3.000/cuenca (CORRIENTES)	**NQN**: B. Laurenzano **CHB**: P. Rimoldi **TDF**: A. Urciuolo, G. Noir
1.4. Establecer ***base integrada de datos ambientales*** para cada cuenca	Base de datos para cada cuenca reuniendo información referida a sensores (tipos, posiciones y dependencia) y datos disponibles referidos a: • Meteorología • Hidrología • Calidad de agua	1-5	**Total $ 90.000. Incremental:** **A1:** $ 12.000 $ 4.000/cuenca (CORRIENTES) **A2:** $ 9.000; $ 3.000/cuenca (CORRIENTES) **A3:** $ 9.000; $ 3.000/cuenca (CORRIENTES) **A4-5:** $ 60.000; $10.000/año/cuenca; Construcción y emplazamiento de equipamiento de registro meteorológico e hidrológico (CAPITAL)	**NQN**: J. Muñiz Saavedra **CHB**: P. Rimoldi **TDF**: Rodolfo. Iturraspe **NC**: M. Pascual

[5] NQN: Nodo Neuquén; CHB: Nodo Chubut; TDF: Nodo Tierra del Fuego; NC: Nodo coordinador.

[6] SIG: Sistema de Información Geográfica. Cartografía digital, compuesta por capas de información georeferenciada (i.e., con ubicaciones en coordenadas geográficas).

1.5. Establecer ***base de datos de biodiversidad terrestre***	SIG para cada cuenca con datos de biodiversidad terrestre (insectos, reptiles, aves y mamíferos) Primer año en base a información existente y realización de censos complementarios en años 2-4.	1-4	**Total $ 36.000. Incremental:** **A2:** $ 6.000; $ 2.000/cuenca (CORRIENTES) **A3:** $ 9.000; $ 3.000/cuenca (CORRIENTES) **A4:** $ 21.000; $ 7.000/cuenca (CORRIENTES)	G. Iglesias (**TNC**) y L. Buria (**APN**) con: **NQN**: P. Hualde **CHB**: J. Lancelotti **TDF**: D. Fernández
1.6. Realizar ***censo integral de hábitat fluvial y biodiversidad acuática y riparia*** en cada cuenca	Inventario seriado a lo largo del cauce fluvial, incluyendo: • Hábitat acuático y ripario • Censos de especies acuáticas y riparia • Cartografía detallada del transcurso del cauce • Modelos hábitat/distribución ppales especies	1-3	**Total $ 113.000. Incremental:** **A1:** $ 15.000; Censo cuenca 1 (CORRIENTES) $20.000; Equip. monitoreo set 1 (CAPITAL) **A2:** $ 30.000; Censos cuencas 2 y 3 (CORRIENTES) $27.000; Equip. monitoreo set 2 (CAPITAL) **A3:** $ 21.000; Equip. monitoreo set 3 (CAPITAL)	**NQN**: J Muñiz Saavedra **CHB**: J. Lancelotti **TDF**: D. Fernández, M. Casalinuovo **NC**: M. Pascual
1.7. Establecer un ***sistema de información pesquera*** básica en cada cuenca	Sistema ad-hoc de recolección y base de datos estandarizada de información pesquera, incluyendo: • Composición de especies y tallas • Desarrollo estacional y geográfico de las capturas y del esfuerzo pesquero • Modalidades de pesca y composición de la población de pescadores	1-5	**Total $ 75.000** **A1-5:** $15.000/Año; $5.000/cuenca/año (CORRIENTES)	**NQN**: J. Kuroda **CHB**: M. García **TDF**: M. Casalinuovo, S. Lesta **NC**: M. Pascual

Objetivo 2: Generar modelos dinámicos del funcionamiento fluvial a escala de cuenca				
Actividades	**Resultado esperado**	**Años**	**Presupuesto**	**Responsable**
2.1. ***Generar modelos climáticos*** para cada cuenca	Un modelo climático espacialmente explícito para cada cuenca, que incluya: • Grilla espacial de precipitaciones medias • Grilla espacial de temperaturas medias • Variación estacional e interanual	2	**Total $ 30.000** **A2:** $10.000/cuenca (CORRIENTES)	**NC**: M. Pascual **NQN**: E. Hahn **CHB**: L. Miserendino **TDF**: Rodolfo Iturraspe

2.2. ***Generar modelos hidrológicos*** para cada cuenca	Modelos hidrológicos espacialmente explícitos para cada cuenca. Dependiendo de información disponible de variables controladoras (clima, terreno y usos del suelo), serán: • Modelos sencillos para predecir producción anual de agua en función de clima y suelo • Modelos dinámicos complejos para predicciones diarias de caudal	3-5	**Total $ 45.000** **A3-5:** $15.000/Año; $5.000/cuenca/año (CORRIENTES)	**NC**: M. Pascual **NQN**: E. Hahn **CHB**: P. Rimoldi **TDF**: G. Noir

Objetivo 3: Construir escenarios de desarrollo de cada cuenca al año 2100 y evaluar sus consecuencias en cuanto a la provisión de servicios ecosistémicos				
Actividades	**Resultado esperado**	**Años**	**Presupuesto**	**Responsable**
3.1. ***Generar escenarios futuros de uso de la tierra****, cambios en el suelo y en las prácticas en el uso y manejo de recursos de la cuenca*	Mapas representando distintos escenarios plausibles de desarrollo hacia el año 2100, incluyendo: • Uso de la tierra (urbano, rural, industrial, etc), tipo de suelo, estructura vegetal • Toma, tratamiento y descarga de agua • Uso pesquero	2-3	**Total $ 27.000. Incremental:** **A2:** $6.000/Año; $ 2.000/cuenca (CORRIENTES) **A3:** $21.000/Año (CORRIENTES)	**NQN**: B. Laurenzano **CHB**: L. Miserendino **TDF**: A. Urciuolo, Rodolfo Iturraspe **NC**: M. Pascual
3.2. ***Generar escenarios futuros de clima*** (precipitación y temperatura)	Predicciones para cada cuenca de escenarios plausibles hacia el año 2100 de ocurrencia: • Espacial y estacional de precipitaciones • Espacial y estacional de temperaturas	3-4	**Total $ 50.000. Incremental:** **A3-4:** $25.000/Año (CORRIENTES)	Comisión Directiva

6.4. Elaboración de ***partes de prensa***	Medio de difusión para amplificar las visiones, actividades y resultados de la red a través de los medios de prensa	1-5	No requiere fondos adicionales	Ídem anterior.
6.5. ***Charlas, encuentros, jornadas de divulgación***	Difusión de principios y resultados de la red hacia administradores de recursos, autoridades, legisladores y público en general	3-5	**Total $ 39.000. Incrementales:** **A3-4:** $12.000/Año; 3 act./año/nodo (CORRIENTES) **A5:** $15.000/Año; 3 act./año/nodo (CORRIENTES)	M. Alonso con: **NQN**: P. Hualde **CHB**: L. Miserendino **TDF**: D. Fernández, G. Noir

FOLIO 281

CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO

	ACTIVIDAD	Tipo	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
1.1	Elaboración diagnósticos de base	Corrientes	$ 12,000					$ 12,000
		Capital						$ 0
1.2	Confección cartografías de base	Corrientes	$ 12,000	$ 18,000				$ 30,000
		Capital			$ 18,000			$ 18,000
1.3	Confección mapas de uso del agua	Corrientes	$ 12,000	$ 9,000				$ 21,000
		Capital						$ 0
1.4	Establecimiento bases integradas datos ambientales	Corrientes	$ 12,000	$ 9,000	$ 9,000	$ 0	$ 0	$ 30,000
		Capital				$ 30,000	$ 30,000	$ 60,000
1.5	Bases de datos de biodiv. terrestre	Corrientes		$ 6,000	$ 9,000	$ 21,000		$ 36,000
		Capital						$ 0
1.6	Censos integral de hábitat y biodiv. fluvial	Corrientes	$ 15,000	$ 30,000				$ 45,000
		Capital	$ 20,000	$ 27,000	$ 21,000			$ 68,000
1.7	Sistemas de información pesquera	Corrientes	$ 15,000	$ 15,000	$ 15,000	$ 15,000	$ 15,000	$ 75,000
		Capital						$ 0
2.1	Generación de modelos climáticos	Corrientes		$ 30,000				$ 30,000
		Capital						$ 0
2.2	Generación de modelos hidrológicos	Corrientes			$ 15,000	$ 15,000	$ 15,000	$ 45,000
		Capital						$ 0
3.1	Generación de escenarios de uso del suelo	Corrientes		$ 6,000	$ 21,000			$ 27,000
		Capital						$ 0
3.2	Generación de escenarios climáticos	Corrientes			$ 25,000	$ 25,000		$ 50,000
		Capital						$ 0
3.3	Correr escenarios de servicios ecosistémicos	Corrientes			$ 5,000	$ 25,000	$ 25,000	$ 55,000
		Capital						$ 0
4.1	Formular acciones y recomendaciones mediano plazo	Corrientes						$ 0
		Capital						$ 0
4.2	Monitorear y evaluar modelo de trabajo	Corrientes				$ 7,000		$ 7,000
		Capital						$ 0
4.3	Formular acciones y recomendaciones largo plazo	Corrientes					$ 50,000	$ 50,000
		Capital						$ 0
4.4	Gestionar nuevos fondos	Corrientes						$ 0
		Capital						$ 0
5.1	Talleres técnicos de herramientas y análisis	Corrientes	$ 21,000	$ 30,000	$ 30,000	$ 30,000	$ 30,000	$ 141,000
		Capital						$ 0
5.2	Curso/taller modelado ecosistémico	Corrientes	$ 30,000					$ 30,000
		Capital	$ 6,000					$ 6,000
5.3	Formación de becarios	Corrientes						$ 0
		Capital						$ 0
5.4	Capacitación miembros de la red	Corrientes	$ 10,000	$ 10,000	$ 10,000	$ 10,000	$ 10,000	$ 50,000
		Capital						$ 0
6.1	Desarrollo página web	Corrientes	$ 20,000					$ 20,000
		Capital						$ 0
6.2	Diseño logo	Corrientes	$ 5,000					$ 5,000
		Capital						$ 0
6.3	Redacción gacetilla	Corrientes	$ 10,000	$ 10,000	$ 10,000	$ 10,000	$ 10,000	$ 50,000
		Capital						$ 0
6.4	Elaboración partes de prensa	Corrientes						$ 0
		Capital						$ 0
6.5	Divulgación: charlas, encuentros, jornadas	Corrientes			$ 12,000	$ 12,000	$ 15,000	$ 39,000
		Capital						$ 0
	TOTALES	Corrientes	$ 174,000	$ 173,000	$ 161,000	$ 170,000	$ 170,000	$ 848,000
		Capital	$ 26,000	$ 27,000	$ 39,000	$ 30,000	$ 30,000	$ 152,000
			$ 200,000	$ 200,000	$ 200,000	$ 200,000	$ 200,000	$ 1,000,000

REFERENCIAS

Christensen, N.L., A.M. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J.F. Franklin, J.A. MacMahon, R.F. Noss, D.J. Parsons, C.H. Peterson, M.G. Turner y R.G. Woodmansee. 1996. The Report of the Ecological Society of America Committee on the Scientific Basis for Ecosystem Management. Ecological Applications 6(3):665-691

Daily, GC, Ed. 1997. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems, Island Press, Washington, DC.

Daily, G.C., P.M. Kareiva, S. Polasky, T.H. Ricketts & H. Tallis. 2011. Mainstreaming Natural Capital into Decisions. In: [Eds] P. Kareiva, H.Tallis, T.Ricketts, G. Daily and S. Polasky. Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services. Chapter 1. Oxford Biology.

Kareiva, P., H.Tallis, T.Ricketts, G. Daily and S. Polasky. 2011. Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services. Oxford Biology.

MA. 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being. Synthesis. Island Press, Washington DC.

Oki, T. & S. Kanae. 2006. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. Science 313:1068-1072.

Pascual, M.A., J. Lancelotti, B. Ernst-Elizalde, J.E. Ciancio, E. Aedo-Marchant & M. García-Asorey. 2009. Scale, connectivity, and incentives in the introduction and management of non-native species: the case of exotic salmonids of Patagonia. Frontiers in Ecology and the Environment 7(10):533-540.

Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M. y Bernhardt, J. 2011. InVEST 2.2.2 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford.

FOLIO
283

APÉNDICE. MARCO METODOLOGICO DEL PROYECTO

Se propone implementar dos estrategias complementarias para el estudio y la conservación de las cuencas fluviales y los recursos que ellas sustentan, desde la perspectiva del **manejo de base ecosistémica**. En este Apéndice se describen las bases del manejo ecosistémico y las dos estrategias propuestas.

Los servicios ecosistémicos como foco de estudio y manejo de las cuencas fluviales.

El manejo de base ecosistémica (MBE; Christensen et al. 1996) propone la protección de la estructura, las funciones y los procesos ecosistémicos, reconociendo las interconexiones dentro de los ecosistemas e incorporando perspectivas ecológicas, sociales y económicas. Contempla el manejo integrado de los recursos y los efectos que dichas acciones tienen sobre múltiples procesos ecosistémicos, evitando así las consecuencias dañinas y no deseadas de manejar sectores individuales. Este proyecto propone analizar la multiplicidad de procesos que tienen lugar en las cuencas fluviales a través del análisis de múltiples **servicios ecosistémicos** (bienes y servicios que los ecosistemas producen y que son importantes para el bienestar humano; Daily 1997). Esta mirada busca integrar los imperativos éticos de preservar el valor intrínseco de la naturaleza con una medición del valor del capital natural, resaltando el papel que los bienes naturales cumplen en nuestras vidas y las razones para conservarlos. El análisis se basa entonces en medir la respuesta de las cuencas fluviales a las distintas actividades humanas en términos de múltiples ejes de análisis, incluyendo el flujo de bienes consumibles por el hombre (agua, peces, productos agrícolas, ganaderos y forestales, etc.), los procesos de los que el hombre se beneficia (regulación de las crecidas o de la carga de sedimentos), o los componentes de la naturaleza con valor intrínseco de existencia o por las opciones que podrían ofrecer en el futuro (biodiversidad terrestre, acuática y riparia).

Mientras que el impulso para visualizar el manejo ecosistémico desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos data de la década de los 1990's y sirvió como plataforma de lanzamiento para el influyente Millennium Ecosystem Assessment (MA 2005), los medios técnicos para la utilización práctica de estos enfoques a situaciones concretas se encuentran

en activo desarrollo. El Proyecto del Capital Natural[8] (*Natural Capital Project*; Kareiva et. al 2011) fue fundado en 2006 por un consorcio de instituciones académicas y no gubernamentales para generar herramientas especificas y proyectos demostrativos para promover la incorporación del concepto del **capital natural** -las tierras y las aguas del planeta y su biodiversidad- en las decisiones de manejo de las actividades humanas, con el objetivo último de alinear las fuerzas económicas con la conservación de la naturaleza.

Estrategia arriba-abajo: el flujo de diferentes servicios ecosistémicos en cuencas fluviales en función de escenarios futuros de manejo y cambio ambiental.

Se propone desarrollar análisis de escala ecosistémica en ríos, utilizando como base las técnicas y herramientas generadas por el Proyecto del Capital Natural (NatCap) y en base a los tres casos de estudio seleccionados. El enfoque NatCap tiene tres pasos/componentes (Daily et al. 2011): 1) un conjunto de funciones de producción ecológica, los cuales constituyen modelos biofísicos que relacionan a los componentes de los ecosistemas con los servicios que los ecosistemas proveen, 2) algún esquema de valuación que conecte esos servicios con costos y beneficios económicos y 3) un análisis de las distintas alternativas de manejo ecosistémico (análisis costo-beneficio). Los esfuerzos iniciales de este proyecto se concentrarán en 1), midiéndose los servicios ecosistémicos en unidades biofísicas. En esta etapa se podrá encarar el objetivo 3 parcialmente, a la vez que se generan las componentes para desarrollar futuros análisis completos de valuación económica (componente 2). Para estas actividades se utilizarán modelos provistos por el proyecto del Capital Natural (InVEST[9], Tallis et al., 2011) o se desarrollarán modelos propios cuando se considere necesario.

Los casos de estudio piloto han sido seleccionados en base a su valor demostrativo y de replicación en relación a problemas claves de la conservación de agua dulce en Patagonia, tales como:

1. El nexo entre cambio climático y la condición de los ambientes riparios, la calidad del agua y de las actividades recreativas

[8] http://www.naturalcapitalproject.org

[9] InVEST. *Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs*. http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html

2. La relación entre las demandas y producción energéticas y los patrones de regulación hidrológica en represas
3. La relación entre la regulación hidrológica y la calidad de hábitat para peces
4. El nexo entre desarrollo urbano y la calidad del agua, de la pesca y otras actividades recreativas
5. El nexo entre el desarrollo agrícola-ganadero, minero y petrolero y la condición de los ambientes riparios, la calidad del agua, la pesca y otras actividades recreativas
6. El nexo entre la invasión de plantas y la condición de ambientes riparios y cauces

En su conjunto, los ambientes focales propuestos para esta red proveen casos de estudios para las actividades planteadas:

- Río Chubut inferior, donde los temas 1 a 5 arriba son relevantes
- Río Grande de Tierra del Fuego, donde los temas 1, 4 y 5 arriba son relevantes
- Río Chimehuin, donde los temas 1 y 4-6 arriba son relevantes

La investigación en estos sistemas es concebida como un proyecto cooperativo entre los investigadores, los técnicos y los administradores participantes de la red. En estos casos de estudio se pretende mapear los diferentes usos del agua y del suelo e identificar a los diferentes usuarios del agua y los recursos asociados, cuantificándose los servicios ecosistémicos hidrológicos y de biodiversidad en base a funciones ecológicas de producción. Las actividades propuestas apuntan a caracterizar las sinergias y los conflictos entre sectores y entre servicios, identificando soluciones para las situaciones que se presenten y compatibilizando los usos a fin de propender al bienestar común. Durante este proceso, se espera acumular experiencia en el mapeo de servicios ecosistémicos mediante modelos biofísicos, a la vez que desarrollar modelos propios y adaptados a las realidades y necesidades de la región. El cambio climático y los distintos escenarios hidrológicos asociados serán considerados como un tema emergente a lo largo de todos estos análisis.

Estrategia abajo-arriba: pesquerías de salmónidos y conservación de agua dulce.

Las truchas y los salmónidos son especies exóticas en la Patagonia. La ciencia orientada a la conservación de las aguas continentales de la región ha estado dominada por estudios de impacto de los salmónidos sobre la biota nativa, prestándosele relativamente poca atención a otros temas de conservación tales como la pérdida de hábitat por actividades humanas,

cambio climático, sobreexplotación y contaminación. Existen algunas oportunidades en la región para controlar o incluso extirpar a las truchas exóticas en lugares donde está probado que constituyen una amenaza para la biota nativa. En general, sin embargo, la remoción o incluso el control de las poblaciones de trucha no es una opción, tanto por razones prácticas como sociales. Tal es el caso de las tres cuencas que constituyen los casos de estudio de este proyecto. El Río Chimehuin es un ambiente emblema para la pesca de salmónidos en Argentina. El Río Grande de Tierra del Fuego mantiene una de las pesquerías de truchas más afamadas del mundo. El Río Chubut es un destino de pesca en expansión que ofrece oportunidades de recreación a los habitantes de varias ciudades y pueblos de su valle inferior.

Este proyecto propone un enfoque completamente diferente en el cual las pesquerías de truchas, en lugar de ser consideradas exclusivamente como parte del problema son contempladas como un portal para la conservación de agua dulce. Esta estrategia de conservación busca promover la conservación del agua dulce a través de un grupo específico de usuarios: pescadores y operadores de la pesca recreativa. Se identifican las siguientes situaciones habilitantes para desarrollar acciones de conservación a través de las pesquerías de trucha:

Importancia de las pesquerías de trucha

- Ecológica: la salud de los peces y de las pesquerías depende de la calidad y la integridad del hábitat. En este sentido, los salmónidos son excelentes indicadores ambientales.
- Geográfica: las truchas y las pesquerías recreativas están a lo largo y ancho de la Patagonia.
- Social: la gente en Patagonia demuestra una gran preocupación por las truchas y sus pesquerías. Las truchas son especies valiosas, consideradas con gran estima por parte de los pobladores de la región.

Situación institucional

- Las administraciones pesqueras continentales están considerablemente organizadas, con líderes identificados y con regulaciones revisadas anualmente.
- Existe un panel regional (Mesa Consultiva Patagónica de Pesca) que reúne a los administradores pesqueros provinciales y a la Administración de Parques Nacionales, el cual se reúne anualmente para establecer las regulaciones pesqueras.

- Paralelamente, se creó recientemente la *Red Patagónica de Pesca Continental* (REPAPESCA[10]), una alianza de individuos e instituciones creada para promover el estudio y mejorar el manejo de las pesquerías continentales. Como parte de sus actividades, la *Red* está proponiendo la creación de una red de ambientes pesqueros emblema a lo largo de la región, los cuales serían monitoreados en base a protocolos estandarizados.

El principal objetivo de esta estrategia es revelar, a través de investigación específicamente diseñada en los tres casos de estudio, la conexión entre ambiente sano, incluyendo comunidades y hábitat, y la salud de las pesquerías. Se pretende inculcar una perspectiva ecosistémica en la visión de los distintos usuarios de los recursos pesqueros: pescadores independientes, asociaciones de pesca, lodges de pesca y guías de pesca. A este fin, se iniciará investigación específica dentro de los tres casos de estudio para identificar y cuantificar las variables que controlan el estatus de las comunidades y la calidad de pesca. Los conceptos, visiones y herramientas que emerjan de este proyecto se diseminarán a una audiencia regional más amplia a través de los participantes de la *Red Patagónica de Pesca Continental*, y grupos de usuarios antes mencionados.

[10] https://sites.google.com/site/repapesca/