



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS**

ANÁLISIS DE METODOLOGÍA Y DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE RESERVA TURÍSTICOS

RESUMEN EJECUTIVO

REALIZADO POR:

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

S.I.T. N° 206

SANTIAGO, MARZO DE 2010

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Sr. Hernán de Solminihac Tampier

Director General de Aguas
Abogado Sr. Matías Desmadryl Lira

Jefa División de Hidrología
Ingeniera Civil María Angélica Alegría Calvo

Inspector Fiscal
Ingeniero Civil Adrián Lillo Zenteno
Ingeniera Civil Judith Pagani Soto

AQUATERRA INGENIEROS LTDA.

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Jaime Vargas Paysen

Profesionales

Ingeniero Civil Juan Carlos Cuchacovich Rider
Ingeniero Civil Jorge Baechler Rojas
Ingeniero Civil Joel Provoste Barrientos
Ingeniero Civil en Geografía Juan Atán Díaz
Ecóloga Paisajística Galit Navarro Bello
Geógrafo Víctor Leiva Romero
Biólogo Jorge T. Sebastián Teillier Arredondo
Sociólogo Germán Bäuerle Rivera
Dibujante Cristian Ahrend Labbé

ÍNDICE RESUMEN EJECUTIVO

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo General.....	2
1.2.2	Objetivos Específicos.....	2
2	ÁREA DE ESTUDIO	2
3	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	3
4	DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE CONSULTA SOBRE USOS ACTUALES Y POTENCIALES DE RIOS EN TURISMO	3
5	SELECCIÓN DE CAUCES	5
6	HIDROLOGÍA DE CAUCES SELECCIONADOS	5
7	MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN	9
8	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A CUENCAS SELECCIONADAS	10
8.1	Lineamiento Metodológico.....	10
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	13

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Con fecha 16 de junio del año 2005, entró en vigencia la Ley N° 20.017, Ley que modifica el Código de Aguas.

El artículo 147 bis, inciso 3 de la Ley N° 20.017 de 2005, que modifica el Código de Aguas, señala que cuando sea necesario reservar el recurso para el abastecimiento de la población por no existir otros medios para obtener el agua, o bien, tratándose de solicitudes de derechos no consuntivos y por circunstancias excepcionales y de interés nacional, el Presidente de la República podrá, mediante decreto fundado, con informe de la Dirección General de Aguas, disponer la denegación parcial de una petición de derecho de aprovechamiento. Este decreto se publicará por una sola vez en el Diario Oficial, el día primero o quince de cada mes, o el primer día hábil inmediatamente siguiente si aquellos fueran feriados.

La figura de la Reserva de Caudales para ciertos usos, consiste en denegar en parte determinadas solicitudes, de modo que exista disponibilidad de recursos para la constitución de solicitudes que se encuadren dentro de las hipótesis que señala la norma.

La denegación parcial de una solicitud, de acuerdo con la ley, procede cuando sea necesario reservar el recurso hídricos para el abastecimiento de la población, por no existir otros medios para obtener el agua, o bien, tratándose de solicitudes de derechos no consuntivos y por circunstancias excepcionales y de interés nacional. Lo anterior significa que la ley permite la denegación parcial de una petición de derecho de aprovechamiento en las siguientes circunstancias:

- Cuando se solicite un derecho de aprovechamiento de cualquier naturaleza (consuntivo o no consuntivo) que sea necesario reservar para el abastecimiento de la población por no existir otros medios para obtener el agua.
- Cuando se solicite un derecho de aprovechamiento no consuntivo y concurren circunstancias excepcionales y de interés nacional.

Para contextualizar lo anterior, es del caso señalar lo que se entiende de lo establecido en la norma:

Abastecimiento de la población se refiere específicamente a poder contar con el recurso para dotar de condiciones dignas de vida, salud e higiene a las y los habitantes de la Nación.

En cuanto a las situaciones de circunstancias excepcionales y de interés nacional que pueden ser calificadas por el Presidente de la República, ésta es una facultad discrecional, que no está normada pero que debe ajustarse a criterios de oportunidad, mérito o conveniencia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo principal del estudio es formular una metodología que logre determinar (cuantificar) los caudales asociados al uso turístico, a fin de reservar caudales de interés nacional relacionado con dicho uso.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir una metodología para determinar los caudales de reserva asociados al uso turístico, en base a ciencias académicas como la hidrología, biología, medioambiente y economía entre otras, y en base a información recopilada, entrevistas y talleres, aplicando una técnica de “planificación participativa”.
- Aplicar la metodología propuesta a cuencas seleccionadas, de modo de validar los resultados que se obtengan.
- Realizar un seminario de difusión con los resultados del estudio.

2 ÁREA DE ESTUDIO

El estudio es de alcance nacional, pero está centrado para su posterior aplicación en las regiones IV, X, XI y XII. En las regiones X y XI se seleccionaron 2 cuencas, en las cuales será aplicada la metodología desarrollada, mientras que en las regiones IV y XII se seleccionó una cuenca en cada una.

3 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

Se recopilaron y analizaron un gran número de estudios y trabajos nacionales e internacionales.

La recopilación de información fue de mucha utilidad, permitiendo conocer las líneas de trabajo que existen en Estados Unidos principalmente, a través de los trabajos de los Investigadores Whittaker y Shelby, quienes en la década de los 90 desarrollaron diversos estudios de caudales requeridos para realizar actividades recreativas en ríos. Esta información y desarrollo metodológico ha sido recogida por varios autores y en particular por la empresa Hydro Québec de Canadá, quienes recopilaron diversas metodologías para determinar caudales de interés turístico.

Estas fuentes fueron consideradas para el desarrollo metodológico del presente trabajo. Útil fue el acercamiento a una aplicación de caudales de reserva turísticos que esta Consultora realizó el año 2007, aplicación que se llevó a cabo en el río Futaleufú. Otra referencia a considerar son los estudios realizados por la Universidad Austral y la DGA en relación a los usos no extractivos del agua.

4 DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE CONSULTA SOBRE USOS ACTUALES Y POTENCIALES DE RÍOS EN TURISMO

Con el objetivo de poder recoger información primaria de actores públicos y privados sobre los usos actuales y futuros en las regiones seleccionadas para el estudio, se desarrollaron actividades en distintos formatos para cumplir con ese propósito, que permita ser empleadas en la selección de los ríos donde aplicar la metodología de caudales de reserva.

Las actividades desarrolladas fueron:

1. Taller con actores públicos y privados de la IV región, llevado a cabo en la ciudad de La Serena el día 5 de septiembre de 2008.
2. Entrevistas con actores públicos de la Región de los Lagos los días 3 y 4 de Noviembre de 2008 en Puerto Montt y reunión con empresarios turísticos el día 4 de Noviembre de 2008 en Puerto Varas.
3. Entrevistas con actores públicos de la Región de Aysén los días 6 y 7 de Noviembre de 2008 en Coyhaique y reunión con investigadores y representantes de organizaciones ciudadanas el 7 de Noviembre de 2008.

En un principio se había considerado realizar talleres en todas las regiones, pero el resultado no completamente satisfactorio del primer taller llevado a cabo en La Serena, condujo a reemplazarlos por entrevistas directas y reuniones en grupos pequeños y homogéneos, del cual se obtuvieron resultados satisfactorios.

Efectuado el Taller en La Serena y las entrevistas y reuniones en la Región de Los Lagos y de Aysén, se pudo determinar aquellos ríos prioritarios que debieran considerarse para ser estudiados, a saber:

IV Región: río Cochiguaz (cuenca del río Elqui) y río Hurtado (cuenca del río Limarí).

X REGIÓN

INSTITUCIÓN	RÍO PROPUESTO ESTUDIAR
DGA	Puelo, Futaleufú
SERNATUR	Futaleufú, Puelo y Petrohué.
CONAF	Petrohué, Correntoso
Planificación GORE	Cuenca Llanquihue, Maullín, río Cordillera Costa, Palena
CORFO	Futaleufú, Palena, Puelo
CONAMA	Maullín, Puelo
EMPRESARIOS	Petrohué, Puelo, Futaleufú

XI REGIÓN

INSTITUCIÓN	RÍO PROPUESTO ESTUDIAR
DGA	Simpson
SERNATUR	Simpson, Baker y Palena
CONAF	Simpson y Baker
SECPLAC	Simpson
CORFO	Simpson, Baker y Palena
CIEP Y ONG	Simpson y Baker
EMPRESARIOS	Simpson y Baker

5 SELECCIÓN DE CAUCES

Luego de efectuadas todas las labores de entrevistas a los distintos actores, públicos y privados, relacionados con el área turística, se efectuaron reuniones con la DGA Nivel Central, y a su vez, comunicaciones telefónicas y vía mail con los Directores Regionales. En definitiva, los ríos y tramos que fueron estudiados y en los cuales se aplicó la metodología de caudales de reserva turísticos son los que se incluyen en el Cuadro 5-1.

**CUADRO 5-1
RÍOS SELECCIONADOS**

Río	Región	Tramo Estudiado	Longitud del Tramo (km)
Cochiguaz	IV	Entre Sol Naciente y Montegrande	20
			20
Puelo	X	Entre Primer Corral y 7 km Aguas Arriba Desembocadura Lago Tagua Tagua	44
Futaleufú	X	Entre Frontera y Desembocadura Lago Yelcho	65
Baker	XI	Entre Desembocadura Lago Bertrand y Confluencia Río Neef	13,5
Simpson	XI	Entre Villa Simpson y Junta con Río Mañihuales	86
Serrano	XII	Entre Desembocadura Lago Toro y Seno Última Esperanza	17

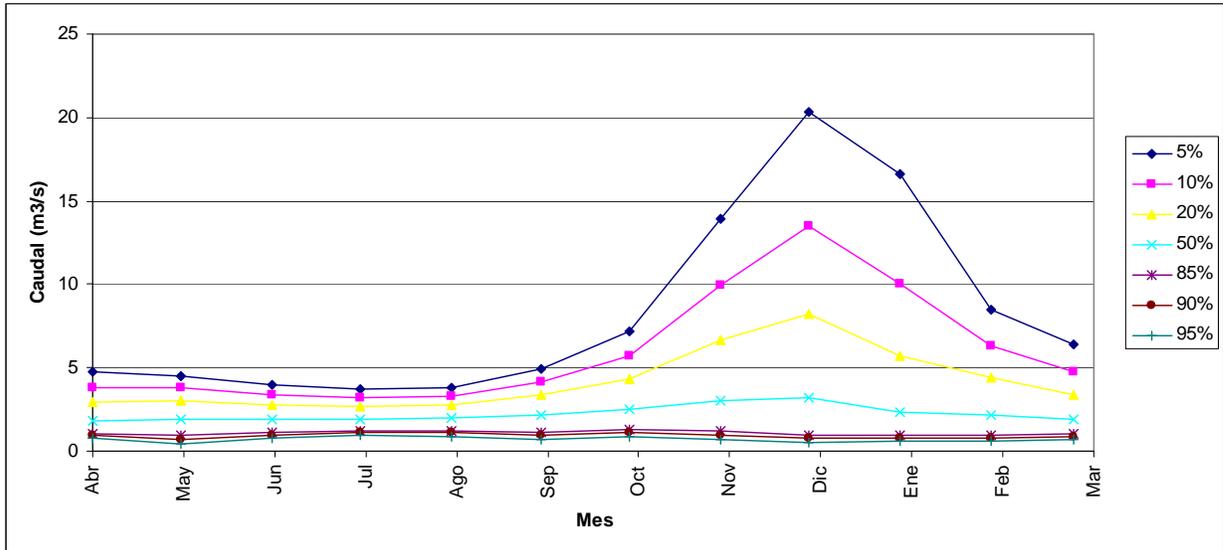
En el Plano 5-1 se muestran los ríos seleccionados.

6 HIDROLOGÍA DE CAUCES SELECCIONADOS

Se desarrolló un estudio hidrológico en cada uno de los ríos de interés, calculando los caudales medios mensuales para diferentes probabilidades de excedencia en 3 puntos del tramo en estudio que es analizado en cada río: al comienzo, en la mitad del tramo y al final. Además, se determinaron los caudales ecológicos correspondientes.

Los caudales medios mensuales en las estaciones de control, para diferentes probabilidades de excedencia, se muestran en los siguientes gráficos.

**FIGURA 6-1
RÍO COCHIGUAZ EN EL PEÑÓN**



**FIGURA 6-2
RÍO PUELO ANTES JUNTA RÍO MANSO**

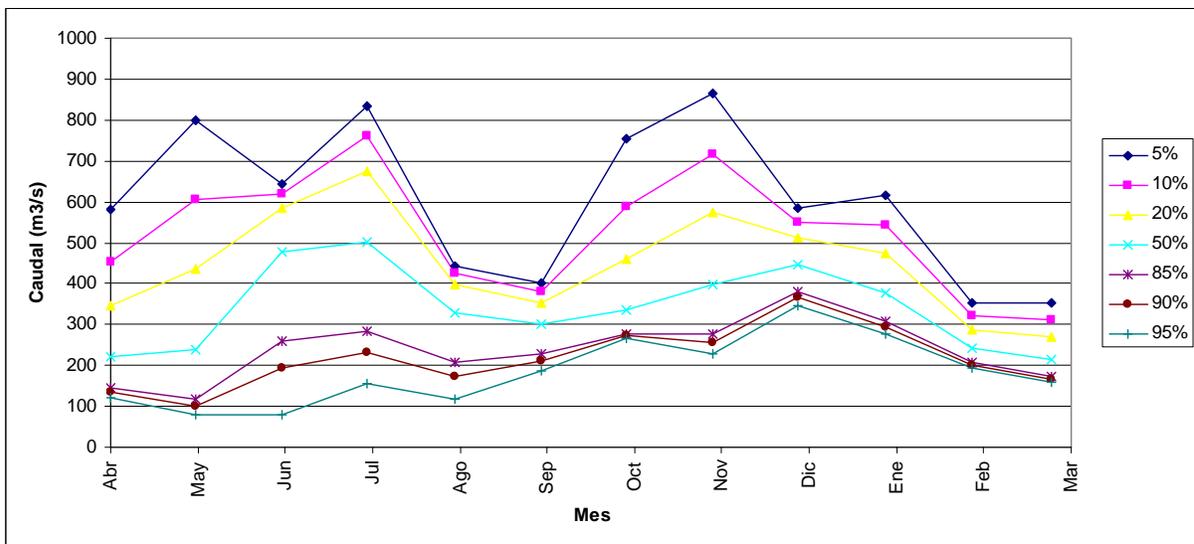


FIGURA 6-3
RÍO FUTALEUFÚ ANTES JUNTA RÍO MALITO

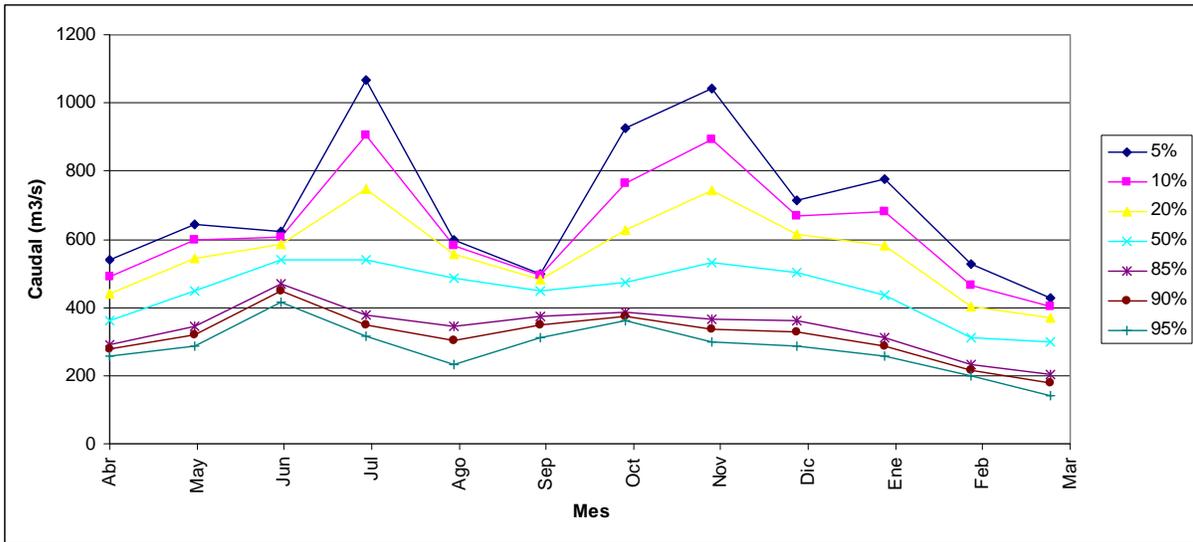
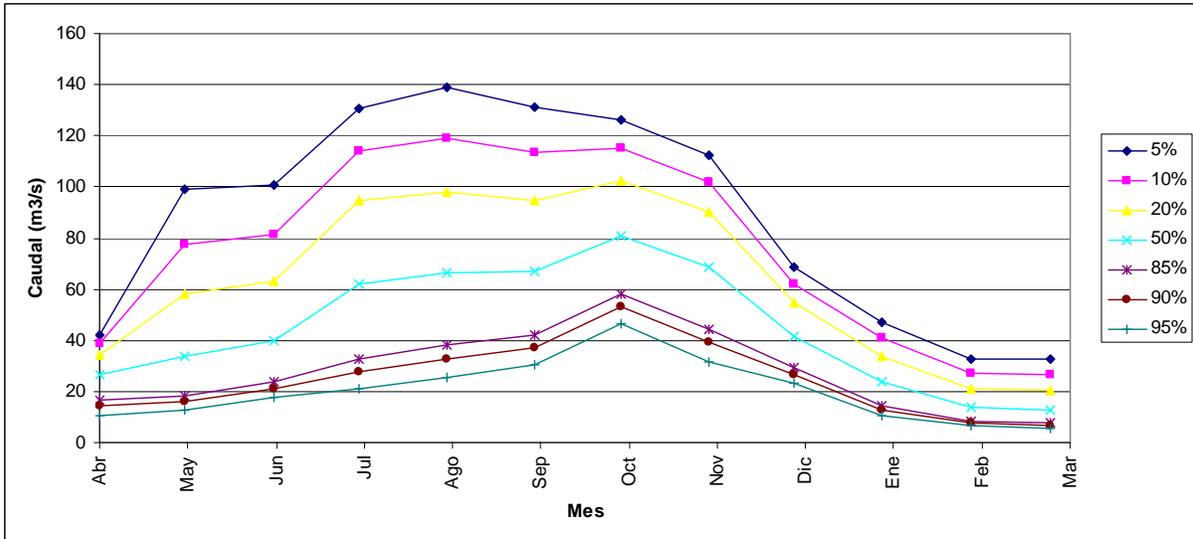
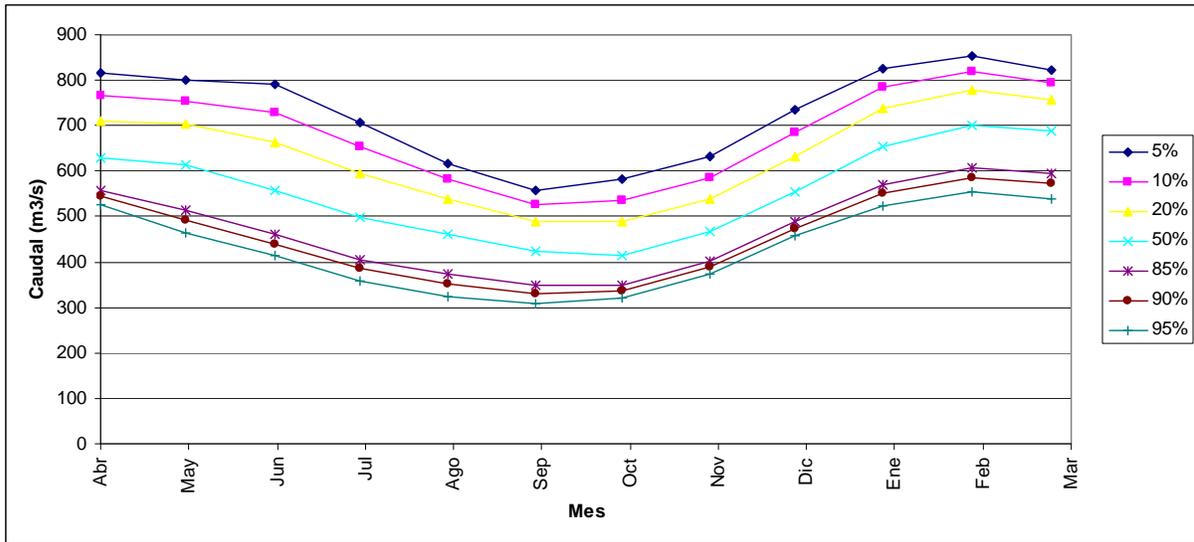


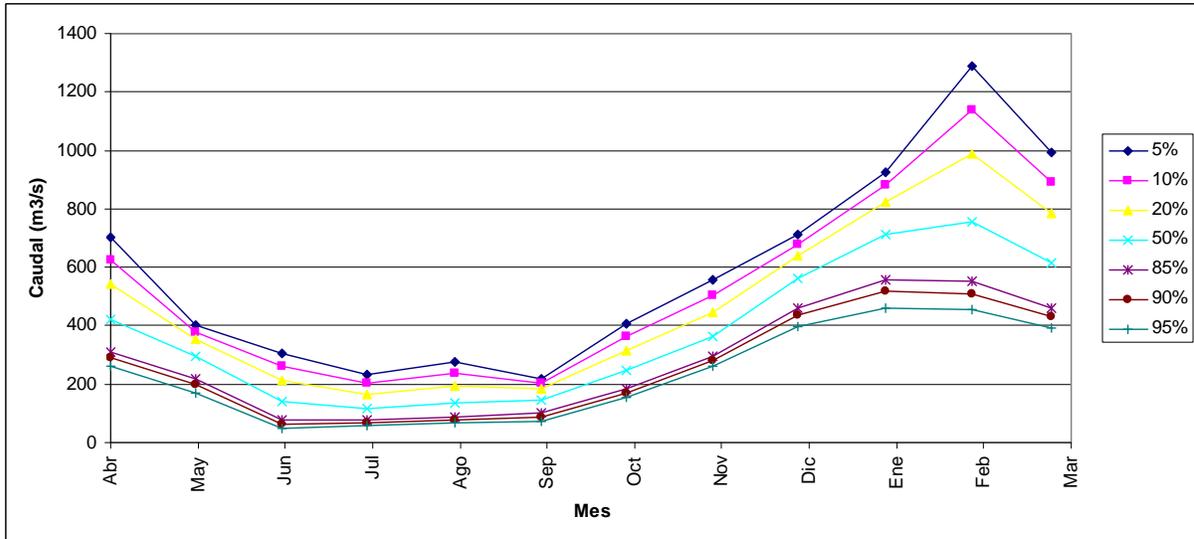
FIGURA 6-4
RÍO SIMPSON BAJO JUNTA RÍO COYHAIQUE



**FIGURA 6-5
RÍO BAKER EN DESAGÜE LAGO BERTRAND**



**FIGURA 6-6
RÍO SERRANO EN DESEMBOCADURA**



7 MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

Con el objetivo de construir modelos hidráulicos (Hec Ras) en cada uno de los tramos de ríos que serán analizados, se desarrollaron modelos digitales de elevación (DEM, del inglés *Digital Elevation Model*) mediante la utilización combinada de datos satelitales ópticos ASTER y de radar SRTM (Shuttle RADAR Topography Mission), con el objetivo de obtener curvas de nivel cada 5 m en tramos de los ríos analizados.

Dada la imposibilidad de estimar directamente la profundidad de los lechos fluviales a partir de la metodología presentada, es que se podría mejorar la información a través de los siguientes posibles procedimientos:

- Efectuar levantamientos topográficos (topobatimetría) locales en secciones del río donde se produzcan cambios de dirección importante. Dichos levantamientos debieran ser con el mismo Datum que el modelo digital generado, y hecho con GPS en modo diferencial.
- Medir la profundidad del río con ecosonda (georeferenciada) en secciones transversales del mismo; ligar esas mediciones a las curvas de nivel obtenidas con los modelos digitales. Este procedimiento fue el que se hizo en el presente trabajo.

Por otro lado, se recomienda la utilización de pares estereoscópicos a partir de datos IKONOS o QUICKBIRD con el objeto de incrementar la resolución espacial de los modelos digitales de elevación. Además, se debería complementar el proceso de obtención de dichos modelos mediante la toma de puntos de control en terreno mediante GPS en modo diferencial.

Otra fuente de datos para la generación de Modelos de Elevación Digital (DEM) es el LiDAR (Light Detection And Ranging). Éste tipo especial de sensor láser permite generar modelos de precisión submétrica (grados de error menores a los 10 cm en la vertical), permitiendo capturar hasta los mínimos detalles del relieve de una escena determinada.

Es importante destacar que los Modelos de Elevación Digital (DEM) fueron utilizados para generar los ejes hidráulicos en cada uno de los ríos en estudio. En efecto, utilizando la extensión HEC GeoRas para ArcGIS 9.2, se genera un archivo que contiene la geometría del terreno que se utiliza como input para la modelación con HecRAS. En términos simples, a partir de las curvas de nivel y el modelo digital de elevaciones (DEM), utilizando

la extensión Hec GeoRAS, se digitaliza en ArcGIS 9.2 el cauce principal de cada uno de los ríos, los "banks" (delimitación del cauce principal), el "flowpath" (zonas donde se supone que circulará preferentemente el agua, incluyendo llanuras de inundación) y las secciones transversales.

Una vez que se han digitalizadas estas capas, se atributa cada una de ellas con su respectivo valor de altura, extraído del DEM, para finalmente generar un único archivo que contiene toda la geometría georreferenciada (perfiles transversales) de cada uno de los ríos, la cual se exporta a HecRAS para su modelación hidráulica.

8 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A CUENCAS SELECCIONADAS

8.1 LINEAMIENTOS METODOLÓGICOS

Se desarrolló una metodología cuyas principales componentes dicen relación con:

- Determinación de los usos o actividades turísticas actuales y futuras. Identificación de los diversos actores claves y usuarios. Determinación de los períodos de desarrollo de las actividades turísticas.
- Análisis hidrológico.
- Caracterización del río o tramo de río en estudio, identificación y localización de los usos turísticos y sectorización del río según categorías de usos. Determinación de condiciones estructurantes del paisaje río y su relación con la variación de caudal.
- Identificación de los caudales requeridos para asegurar los usos turísticos y definición de aspectos críticos. Establecimiento de relaciones calidad de las actividades versus caudales del río, análisis de variables estadísticas.
- Propuesta de caudales de reserva, recomendación de caudales necesarios para asegurar una calidad turística elevada.

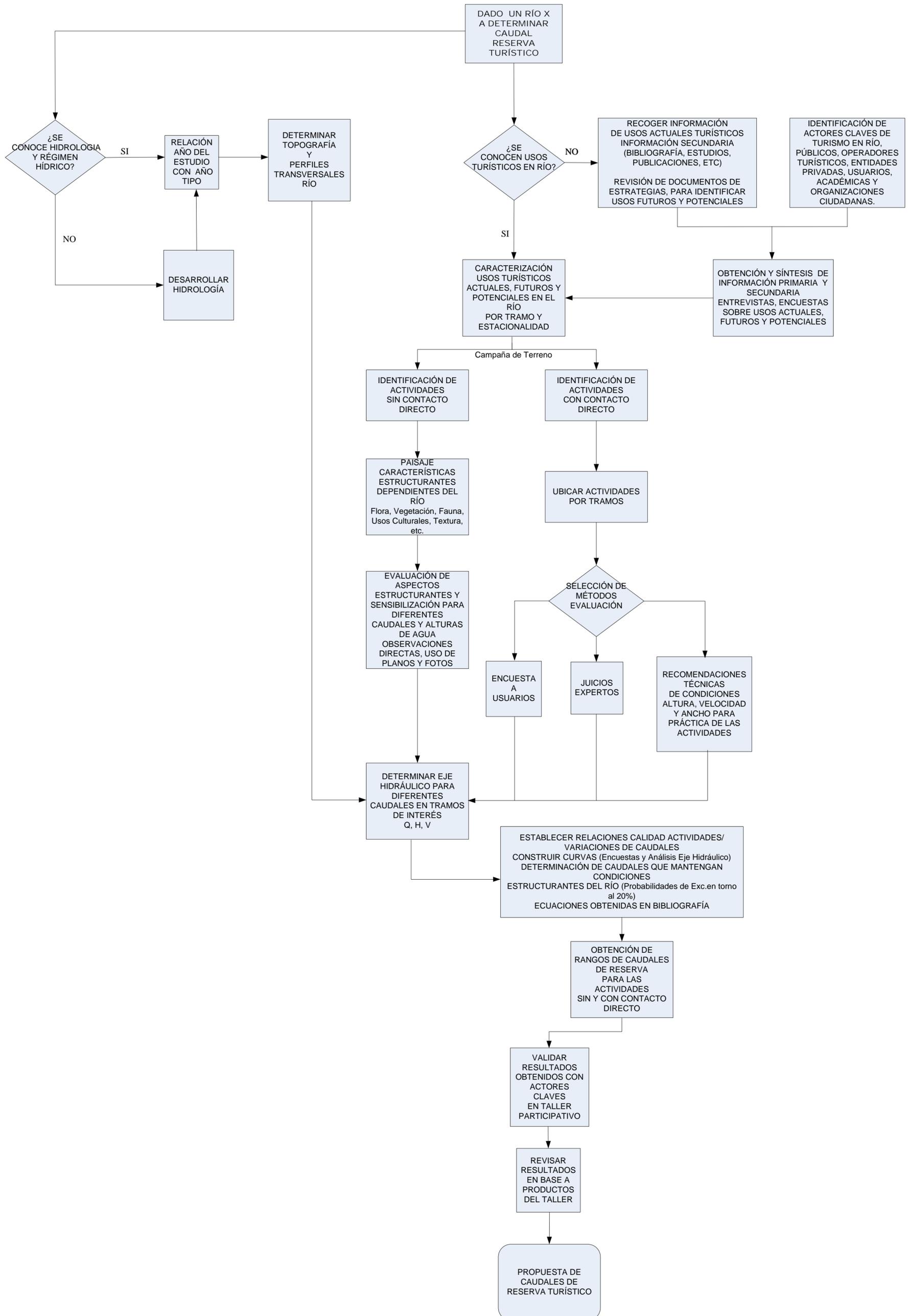
Un resumen de los diferentes métodos que pueden emplearse en función de los usos turísticos son los siguientes:

**CUADRO 8-1
RESUMEN MÉTODOS FACTIBLES DE APLICAR**

Componente	Método
Navegabilidad	Encuesta a los usuarios. Juicios de expertos. Modelación a partir de secciones transversales en sectores críticos. Encuesta con caudales controlados. Encuentros tipo Focus Group
Bajada en aguas blancas (Rafting)	Encuesta a los usuarios (con uno o más caudales conocidos). Juicios de expertos. Modelación a partir de secciones transversales en sectores críticos. Encuesta con caudales controlados. Encuentros tipo Focus Group. Utilización de fotos o videos. Modelo físico a escala reducida. Clasificación de rápidos en función de diferentes caudales.
Pesca deportiva	Encuesta a los usuarios. Juicios de expertos. Modelación de habitat de peces Encuentros tipo Focus Group.
Actividades de baño	Encuesta a los usuarios. Juicios de expertos (morfología del lecho del río favorable a la creación de playas de arena).
Estética y paisaje	Encuesta a los usuarios. Juicios de expertos. Encuentros tipo Focus Group. Consideración de la gama más amplia de caudales posibles a través de fotos o videos. Simulaciones visuales (imágenes de síntesis, videos).
Actividades tradicionales	Revisión de la problemática ligada al uso y ocupación de las comunidades autóctonas del río (transportes, sitios de camping, sitios de ocupación histórica, caza, pesca) con los responsables de las comunidades autóctonas respectivas y los usuarios. Preconizar el empleo de medios visuales como fotografías, videos o imágenes de síntesis.
Ambiente acústico	Utilización de un sonómetro para medir el nivel de ruido con diferentes caudales. Encuesta de usuarios (utilización de un video con un nivel de ruido equivalente, calibrado con un sonómetro, para distancias comparables desde el origen del ruido. Utilización de imágenes tomadas con distintos caudales.

En la Figura 8-1 se incluye un diagrama general de la metodología desarrollada.

FIGURA 8-1
 DIAGRAMA GENERAL METODOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE RESERVA TURÍSTICOS



Se llevó a cabo la aplicación de la metodología desarrollada en cada uno de los 6 ríos antes señalados. En el Cuadro 8-2 se incluyen los resultados obtenidos.

**CUADRO 8-2
CAUDALES PROPUESTOS RESERVAR**

RIO	TRAMO ESTUDIADO	Longitud del Tramo (km)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Cochiguaz	Entre Sol Naciente y Montegrande (1)	20	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	5	6
	Entre Sol Naciente y Montegrande (2)	20	5,5	5,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5,5	6,5	7,5
Puelo	Entre Primer Corral y 7 km Aguas Arriba	44	450	250	250	350	450	600	650	400	350	400	500	500
	Desembocadura Lago Tagua Tagua (1)													
Futaleufú	Entre Frontera y Desembocadura	65	500	400	400	450	550	550	700	550	450	550	600	550
	Lago Yelcho (1)													
Baker	Entre Desembocadura Lago Bertrand	13,5	750	775	775	700	700	650	575	550	500	500	550	650
	y Confluencia Río Neef (3)													
Simpson	Entre Villa Simpson y Junta con	86	35	25	25	35	55	65	90	90	100	110	100	60
	Río Mañihuales (3)													
Serrano	Entre Desembocadura Lago Toro	17	900	1000	850	550	400	200	150	200	175	300	450	700
	y Seno Última Esperanza (3)													

Notas

- 1 El caudal de reserva propuesto no considera los derechos de agua superf. const. y en trámite. Los ríos Puelo y Futaleufú en el tramo analizado estarían agotados
- 2 El caudal de reserva propuesto considera los derechos de agua constituidos (río Cochiguaz)
- 3 Los derechos de aguas superficiales constituidos y en trámite no afectan el caudal propuesto reservar, debido a que son marginales frente a los segundos

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las principales conclusiones y recomendaciones que se pueden recabar del trabajo efectuado son las siguientes:

- a) Más allá del tipo de metodología que se aplique para determinar caudales de reserva para uso turístico, siempre será fundamental contar con información sobre satisfacción de las actividades turísticas desarrolladas por usuarios y expertos. A través de las encuestas es factible desarrollar relaciones estadísticas entre los caudales de un determinado río y la calidad de las actividades turísticas (curva de evaluación de caudales); en Chile no existen antecedentes de realización de encuestas. Se recomienda que la DGA implemente un sistema regional de desarrollo de encuestas de satisfacción de actividades turísticas, principalmente orientado a obtener información de operadores turísticos y sus clientes, generando las necesarias coordinaciones con organismos públicos y privados del ámbito hidro-turístico. La encuesta puede ser respondida a través de la web, por turistas (nacionales y extranjeros) quienes deben ser informados a través de un tríptico que el operador turístico debiera repartir a cada uno de ellos,

(disponible en la página web de la DGA) para ser respondida una vez que realiza determinada actividad turística.

- b) Se recomienda que se cuente con un equipo asesor en materias de turismo con contacto y sin contacto directo, que puede evaluar los resultados que las encuestas vayan proporcionando.
- c) Con relación a la generación de modelos digitales de elevación, esta información será útil siempre y cuando se complemente y se georeferencie con mediciones de profundidad del río con ecosonda en secciones transversales del mismo (los modelos digitales no determinan cotas de fondo del río). Una alternativa conveniente que reemplaza la actividad anterior, es efectuar una topografía de detalle (batimetría) en un tramo (o tramos) específicos no muy extensos. También se pueden topografiar secciones específicas de interés de modo que se pueda calcular velocidades y alturas de agua.
- d) En general, caudales mensuales con probabilidad de excedencia cercanos al 20 %, son los adecuados para mantener el río en condiciones de poder efectuar actividades con y sin contacto directo. Por debajo de esos valores, comienza a desdibujarse el patrón de comportamiento natural del río y por tanto la lectura de los usuarios, del paisaje natural.
- e) La determinación de los caudales de reserva debieran contemplar las actividades potenciales que los ríos presentan, y que por diversas circunstancias no se han desarrollado aún, pero que demandan condiciones hídricas especiales.
- f) Se recomienda el estudio de marcos regulatorios que permitan preservar ríos que son considerados prioritarios. Existe legislación internacional en esta materia. Algunos instrumentos de planificación regional ya han introducido el concepto de ríos prioritarios orientando estrategias para su preservación.