

Proyecto PNUD ARG/12/006

**PLAN DE APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE DE LOS
RECURSOS HÍDRICOS DE LA ALTA CUENCA DEL
RÍO BERMEJO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA**

Proyecto PNUD ARG/12/006

**PLAN DE APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE DE LOS
RECURSOS HÍDRICOS DE LA ALTA CUENCA DEL
RÍO BERMEJO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA**

CONSEJO DE GOBIERNO

Presidente:

Ministro de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios:

ARQ. JULIO DE VIDO

Vocales:

Gdor. Provincia de Chaco: **JUAN CARLOS BACILEFF IVANOFF**

Gdor. Provincia de Formosa: **GILDO INSFRAN**

Gdor. Provincia de Jujuy: **EDUARDO FELLNER**

Gdor. Provincia de Salta: **JUAN M. URTUBEY**

Gdor. Provincia de Santa Fe: **ANTONIO BONFATTI**

Gdor. Provincia de Santiago del Estero: **CLAUDIA LEDESMA ABDALA**

DIRECTORIO

Presidente: Ing. Edgardo Castellano

Vocales

Chaco: **Arq. María Cristina Magnano**

Formosa: **Ing. Horacio Zambon**

Jujuy: **Arq. Juan J. Boscarior**

Salta: **Ing. Martin Cornejo**

Santa Fe: **Ing. Ricardo Giacosa**

Santiago del Estero: **Ing. Abel Tevez**

Alternos: **Dr. Darío Moreno**

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Edgardo Castellano

COORDINADOR DEL PROYECTO

Ing. Marcelo J. Borsellino

EQUIPO DE TRABAJO DEL CONSULTOR

El estudio fue realizado por el equipo multidisciplinario de profesionales que se lista a continuación:

Ing. Fernando Zárate	Director de Estudio
Ing. Patricia Jaime	Coordinación Técnica y Especialista en Sedimentos
Ing. Pablo Cacik	Especialista en Hidrología
Geol. Eduardo Malagnino	Especialista en Geología y Geomorfología
Arq. Sofía Pasman	Especialista en Sistemas de Información Geográfica
Geog. Valeria Medina	Especialista en Sistemas de Información Geográfica
Ing. Patricio Ormazábal	Hidroenergía
Sr. Sebastián Santisi	Programación WEB
Ing. Guido Meloni	Asistente de Proyecto
Tec. Juan De Giorgis	Asistente de Proyecto



La consultora Halcrow ha preparado este documento en acuerdo con la Comisión Regional del Río Bermejo para su único y específico uso. Toda persona que haga uso de la información incluida en el documento lo hace bajo su propia responsabilidad. Los datos incluidos deben ser utilizados con adecuado criterio teniendo en cuenta el contexto en el que se ha desarrollado el estudio.

PRESENTACIÓN

El objetivo general del Proyecto es establecer una base de información, que permita identificar y definir la ubicación y tipología de los aprovechamientos que mejores beneficios y mayor impacto generen en la Alta Cuenca del río Bermejo en el ámbito de la República Argentina, utilizando para ello bases de datos satelitales existentes sobre orografía, tipo y uso de suelos, variables hidrometeorológicas, y registros de mediciones, así como procedimientos modernos de computación, con la finalidad de actualizar la información sobre el potencial hidroeléctrico de la Alta Cuenca y de establecer un sistema que facilite la comprensión de la información, divulgación y toma de decisiones para el desarrollo de la cuenca en el marco del Plan de Aprovechamiento Múltiple.

Los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

- Formular un sistema de información, a través de la incorporación de tecnologías innovadoras sobre plataforma geográfica SIG, donde pueda sintetizarse la disponibilidad de datos climatológicos, hidrológicos y de caracterización de las formas del terreno
- Identificar los aprovechamientos múltiples más adecuados a las demandas que hoy se presentan en la Cuenca, compatibilizando los usos consuntivos con la generación de energía hidroeléctrica, utilizando bases de datos preexistentes, depurando los datos, y aplicando procedimientos modernos de computación, con la finalidad de definir a nivel preliminar el potencial hidroeléctrico teórico de la Alta Cuenca del río Bermejo, desarrollándolo sobre un contexto espacial, mediante un Sistema de Información Geográfico (SIG).

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1 Objetivos y alcance
- 1.2 Productos Obtenidos

2. ÁREA DE ESTUDIO

- 2.1 Características climáticas e hidrológicas generales de la Alta Cuenca del Río Bermejo
- 2.2 Cuencas hídricas superficiales de la Alta Cuenca del Río Bermejo y regiones hidrológicas

3. METODOLOGÍA

- 3.1 Metodología general y herramientas de trabajo
- 3.2 Sistema de Información Geográfica
- 3.3 Hidrología
- 3.4 Cálculo del Potencial Hidroeléctrico Teórico
- 3.5 Cálculo del Potencial Hidroeléctrico Técnico
- 3.6 Potencial hidroeléctrico en tramos del orden de 10km
- 3.7 Identificación de potenciales proyectos de pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas
- 3.8 Caracterización de las condiciones de regulación
- 3.9 Evaluación integrada: Selección de los mejores aprovechamientos de regulación y multipropósito

4. RESULTADOS

- 4.1 Priorización Energética
- 4.2 Priorización por condiciones de almacenamiento
- 4.3 Priorización por condiciones para usos múltiples

5. MAPAS

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos y alcance

El objetivo general del estudio ha sido establecer una base de información, que permita identificar y definir la ubicación y tipología de los aprovechamientos que mejores beneficios y mayor impacto generen en la Alta Cuenca del río Bermejo en el ámbito de la República Argentina, utilizando para ello bases de datos satelitales existentes y registro de mediciones, así como procedimientos modernos de computación, con la finalidad de actualizar la información sobre el potencial hidroeléctrico de la Alta Cuenca y de establecer un sistema que facilite la comprensión de la información, divulgación y toma de decisiones para el desarrollo de la cuenca en el marco del Plan de Aprovechamiento Múltiple.

En cumplimiento de lo establecido en el Contrato para Servicios de Consultoría Profesional entre el Proyecto PNUD ARG/12/006 y Sir William Halcrow & Partners Ltd. de fecha 7 de Febrero de 2013, el presente Atlas sintetiza e integra la totalidad de los trabajos realizados por El Consultor, en una estructura coherente, ajustada al esquema metodológico utilizado durante el proyecto, y que plasma los resultados alcanzados en las principales áreas temáticas: Sistema de Información Geográfica, Hidrología, Geomorfología y transporte de sedimentos e Hidroenergía. La inclusión de la selección de los 100 mejores aprovechamientos evaluados con análisis multicriterio acordados con el Cliente completa los aspectos salientes establecidos en el proyecto.

1.2 Productos obtenidos

El desarrollo integrado de las diversas etapas del estudio permitió la generación de diversos documentos que recopilan e integran la totalidad de los trabajos realizados.

Se desarrolló y depuró una extensa base de datos con información geográfica, climatológica e hidrológica de toda la Alta Cuenca del Río Bermejo.

La Geodatabase generada incluye información de numerosas estaciones de temperatura, pluviometría, escorrentía y transporte sólido, e información complementaria que se reúne en mapas temáticos. Se elaboró también de un Modelo Digital del Terreno (MDT)

a partir de datos satelitales, mediante el cual se calcularon las pendientes de los ríos y se definió la red hidrográfica a estudiar.

El potencial hidroenergético se calculó de acuerdo a dos métodos: uno teórico, que cuantifica el potencial máximo de cada zona, y uno técnico, que tiene en cuenta la factibilidad técnico-económica de cada aprovechamiento, incorporando además el Índice Costo Beneficio con el que se ponderan.

Asimismo, se evaluaron las oportunidades que la naturaleza brinda en el territorio de la cuenca para implantar obras dedicadas a la regulación, el control de crecientes y el uso del agua para consumo humano.

Como parte del estudio se seleccionaron también los 100 mejores proyectos en la Alta Cuenca, considerando criterios ambientales e incorporando las prioridades y demandas expresadas por los principales actores de la cuenca.

Entre los productos finales del Proyecto se encuentra el Atlas del Potencial Hidroeléctrico y Aprovechamientos de la Alta Cuenca en la República Argentina, que proporciona a modo de resumen ejecutivo los resultados e información generados en el estudio y un Visualizador on-line que permite a los usuarios recorrer virtualmente el territorio y revisar los resultados del estudio por cada tramo de río analizado.

El Atlas se organiza en diferentes secciones, la primera incluye la presentación general del proyecto, su marco legal e institucional y el equipo de trabajo. La segunda sección resume la caracterización del área de estudio. Se detalla la metodología de regionalización empleada para estimar los valores de caudales medios anuales en las cuencas no aforadas, el método de cálculo del potencial hidroeléctrico, así como el análisis de las condiciones para el emplazamiento de aprovechamientos de múltiples usos, presentando luego los tramos de ríos con mayor potencial y los mejores sitios de aprovechamiento para la Alta Cuenca del Río Bermejo de manera tabular. La última sección corresponde a la presentación de resultados de manera gráfica, en diversos mapas a nivel regional y de subcuenca de aporte.

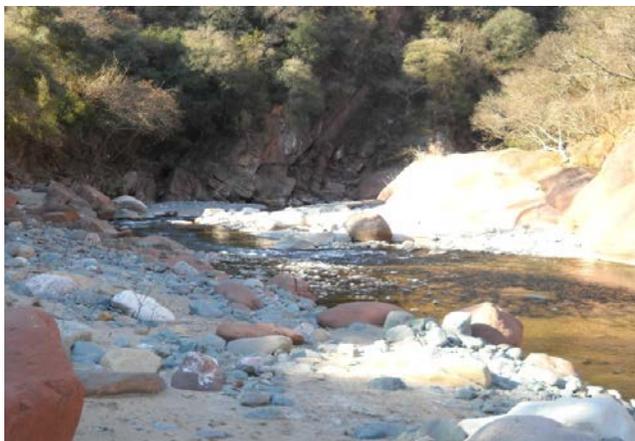
2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Características climáticas e hidrológicas generales de la Alta Cuenca del Río Bermejo

La Alta Cuenca del río Bermejo posee una importante variedad de climas y microclimas. Los centros de presión que actúan sobre el Noroeste Argentino son los anticiclones semiestacionarios del Pacífico y del Atlántico, que emiten vientos hacia el continente americano. Debido a las alturas de la cordillera de los Andes (superiores a los 4000m), el anticiclón del Pacífico ve disminuida su influencia en la cuenca.

En los meses de verano, se instala sobre la región un centro de baja presión y alta inestabilidad, como una extensión de la zona de convergencia intertropical, mientras que en el invierno la zona de convergencia intertropical se traslada hacia el norte, dando como resultado la supresión práctica de las lluvias en esa época del año.

El fuerte relieve andino y las cadenas antepuestas de las sierras subandinas, combinados con los procesos atmosféricos regionales, resulta en un importante efecto sobre el clima de la región y en particular de las precipitaciones. La orografía influye, tanto sobre la precipitación total anual, como en su distribución espacial.



Río Corral de Piedras

El patrón regional de las precipitaciones anuales disminuye de Este a Oeste pero es alterado por la presencia de los cordones montañosos, los cuales presentan una orientación básica Norte-Sur. Las masas de aire caliente y húmedo provenientes del Atlántico, que

han descargado parte de su humedad en el Chaco y Este de Salta, son obligadas a ascender por los faldeos orientales de los cordones montañosos, las que por enfriamiento se condensan y precipitan, dando lugar a una densa capa de nubes y a precipitaciones en forma de lluvia e incluso nieve en las mayores elevaciones. Al superar estos cordones montañosos, los vientos descienden, se calientan y generan escasas precipitaciones (menos de 200mm) en los sectores occidentales de los cordones montañosos (cuenca superior del Río Grande).

Se tienen entonces, incrementos de los montos precipitados con la altitud en los faldeos occidentales. Este incremento de precipitaciones llega hasta ciertas cotas a partir de la cual se invierte el gradiente pluviométrico, siendo esta cota variable entre los 2200 – 3000m. La variación de las precipitaciones es fuertemente dependiente de la altura de la barrera orográfica con la cual se enfrentan los vientos, y la ubicación geográfica de los valles respecto a éstos.

En términos globales, en la franja este de la región se tienen isohietas medias anuales de 600mm, que por efecto orográfico se incrementan a 1000 – 1200mm y hasta los 2000mm al norte de la zona estudiada (al noroeste de la localidad de Orán) para luego decrecer hasta un mínimo de unos 200mm anuales en la región de la puna y prepuna. Puntualmente, y por efecto orográfico, existen zonas con mayores montos anuales.

La distribución en el año muestra un patrón estacional bien diferenciado, con concentración de las precipitaciones en el período estival y principios de otoño, y los mínimos montos precipitados en el invierno, período en el cual los procesos convectivos se encuentran disminuidos.

La temperatura media del aire es variable, además de la época del año, en función de la altitud y la latitud fundamentalmente. Para alturas similares, la misma se incrementa hacia el Norte y disminuye en la medida que aumenta la altitud. La estacionalidad es muy manifiesta con los mayores valores medios en Enero (24° en S.S. de Jujuy y 26° en Orán) y los mínimos en Julio (12° en S.S. de Jujuy y 14° en Orán). Hacia las cabeceras del río Grande las temperaturas disminuyen considerablemente producto de los incrementos de altitud.

Estudios sobre la variabilidad climática en el sudeste de América del Sur mencionan que la isohieta de 800mm (considerada aproximadamente el límite oeste de las tierras aptas para agricultura de secano en el centro-norte del país) se desplazó más de 100Km al oeste, habiéndose expandido de esta manera las posibilidades para la agricultura (lo cual considerado junto con los avances tecnológicos y los precios relativos favoreció la extensión de la misma). En el mismo sentido, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) indica en la región de trabajo una tendencia creciente de la precipitación anual, variable entre 10 a 300mm/50 años en el extremo norte del área estudiada.

La estacionalidad de los caudales en la cuenca es claramente marcada, con el incremento notable de los valores en el período estival. El patrón estacional de estos flujos de agua sigue la secuencia temporal de precipitaciones, con muy leves retrasos a las mismas en función de las características topográficas y de suelos.

El río Bermejo superior nace en Bolivia, tiene un área de cuenca hasta Pozo Sarmiento de unos 23677Km², mientras el río San Francisco nace en la prepuna de la Provincia de Jujuy y presenta el nombre de río Grande hasta su confluencia con el río Lavayén donde cambia el nombre a San Francisco, descargando sus aguas en el río Bermejo (aguas abajo de la estación Pozo Sarmiento). El cauce del río principal atraviesa sectores de climas muy diferenciados, con precipitaciones anuales que apenas llegan a los 200mm en los sectores de prepuna hasta más de 1200mm en las serranías que flanquean este río. Los caudales mensuales máximos se producen en los meses de Febrero – Marzo.

En el período común de datos (1947/48-2010/11), el caudal anual en el Bermejo Superior (Pozo Sarmiento) es de 393m³/s mientras en el río Caimancito es de 107 m³/s, con lo cual la suma de caudales arroja un valor de 500m³/s para el río Bermejo. Teniendo en cuenta las áreas de aportes a cada sitio de medición, el caudal específico de la subcuenca del Bermejo Superior es casi cuatro veces el caudal específico del río San Francisco (16.6lts/s/Km² vs 4.8lts/s/Km²).

El análisis de las medias anuales cronológicas advierte sobre una posible tendencia en la serie de caudales medios anuales, en particular en Pozo Sarmiento, donde se observa un incremento paulatino en los caudales medios a partir de la década del 70'; mientras se comporta relativamente estable en el mismo período en

Caimancito. En esta comparación debe tenerse en cuenta que el río San Francisco está sometido a un mayor uso, sobretodo debido al riego agrícola.



Río Iruya en El Portillo

En términos de derrame anual, la subcuenca del Bermejo Superior tiene un volumen de 12293Hm³, mientras el río San Francisco alcanza los 3320Hm³. Entre diciembre y abril se produce el 84% del escurrimiento anual en el río Bermejo Superior y el 81% en el río San Francisco.

El caudal líquido medio anual del Río Bermejo, aguas abajo de la unión con el Río San Francisco, representa aproximadamente el 2,5% del módulo del río Paraná en la sección Corrientes. Sin embargo, el análisis de sus aportes de caudal sólido indica que el aporte de sedimentos del Bermejo al Paraná constituye cerca del 75% del total de dicho río. Estos guarismos han permitido señalar que la alta producción de sedimentos en su Cuenca resulta su rasgo característico, que aporta 100 millones de toneladas anuales de sedimentos al sistema Paraguay – Paraná - Delta y Río de la Plata mereciendo especial mención el río Pescado, cuyo afluente principal es el río Iruya, de elevada tasa de producción de sedimentos (10.000tn/km²/año).

La importante cantidad de sedimentos generados en la Alta Cuenca del Río Bermejo señalan el área como una con las más altas tasas de sedimento producido por unidad de área en el mundo y numerosos estudios antecedentes consignan que aproximadamente el 80% de la carga en suspensión aportada al Bermejo Superior en la Junta de San Francisco proviene de la subcuenca Bermejo Superior y el 20% restante de la subcuenca San Francisco.

La envergadura de los problemas relacionados con la producción y transporte de sólidos en la cuenca se expresa no sólo en el balance sedimentológico del Delta y Río de la Plata, sino también en diferentes

manifestaciones y con diferentes grados de intensidad resaltándose la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa y degradación superficial que afectan la dinámica morfológica de los cauces.

2.2 Cuencas hídricas superficiales de la Alta Cuenca del Río Bermejo y regiones hidrológicas

Se ha tomado como unidad básica de trabajo a las cuencas y agrupaciones de cuencas, denominadas como Regiones Hidrográficas; a efectos de practicidad para el tratamiento de la información para disponer de ecuaciones de regresión que permitan obtener caudales en función de características físicas e hidrometeorológicas de las mismas, de acuerdo al objetivo del trabajo.

Dentro de los factores que tienen influencia en el escurrimiento de una cuenca se encuentran los denominados físicos, donde se incluyen factores edáficos y geológicos, factores relativos a la cobertura vegetal, al tamaño de cuenca, relieve, densidad de drenaje y capacidad de almacenamiento, entre otros.

La caracterización física de las cuencas es utilizada dentro de los criterios para definir regiones hidrológicamente homogéneas, donde el comportamiento de las variables hidrológicas de mayor interés para este estudio, caudales medios y caudales correspondientes a la curva de duración, tienen un comportamiento semejante o proporcional respecto a otras variables del medio.

La cuenca Alta del río Bermejo en estudio, comprende a la denominada cuenca superior del río Bermejo (la cual incluye aportes desde territorio boliviano) y a la cuenca del Río San Francisco. Este último se forma luego de la unión de los ríos Lavayén y Grande, destacándose las características netamente diferenciadas de las subcuencas media y superior del río Grande, básicamente en lo atinente a las bajas precipitaciones y características de los suelos y cobertura.

Considerando las características fisiográficas y climáticas reinantes, y de modo de agrupar la información recolectada, se ha dividido el área de trabajo en las siguientes regiones hidrológicas:

- Región I: comprende a la subcuenca del río Grande de Tarija
- Región II: esta región ocupa básicamente a la subcuenca del río Bermejo Superior propiamente

dicha, hasta la confluencia del río San Francisco (excluyendo la subcuenca del río Grande de Tarija).

- Región III: comprende a la subcuenca alta y media del río Grande (desde la desembocadura del río Volcán hasta las cabeceras)
- Región IV: comprende a la subcuenca del río Grande inferior (desde la confluencia del río Grande con el río Volcán hacia aguas abajo)
- Región V: comprende a la subcuenca del río Lavayén
- Región VI: comprende básicamente a la subcuenca del Río San Francisco, incorporando a la cuenca del A° La Cañada y áreas menores de aportes al río Bermejo en la porción final del área de estudio.

Para este agrupamiento, las regiones fueron seleccionadas teniendo en cuenta características topográficas y geomorfológicas generales de las mismas, así como características hidrometeorológicas y de suelos y cobertura. Se presenta a continuación el mapa de ubicación con cada Región Hidrográfica definida.

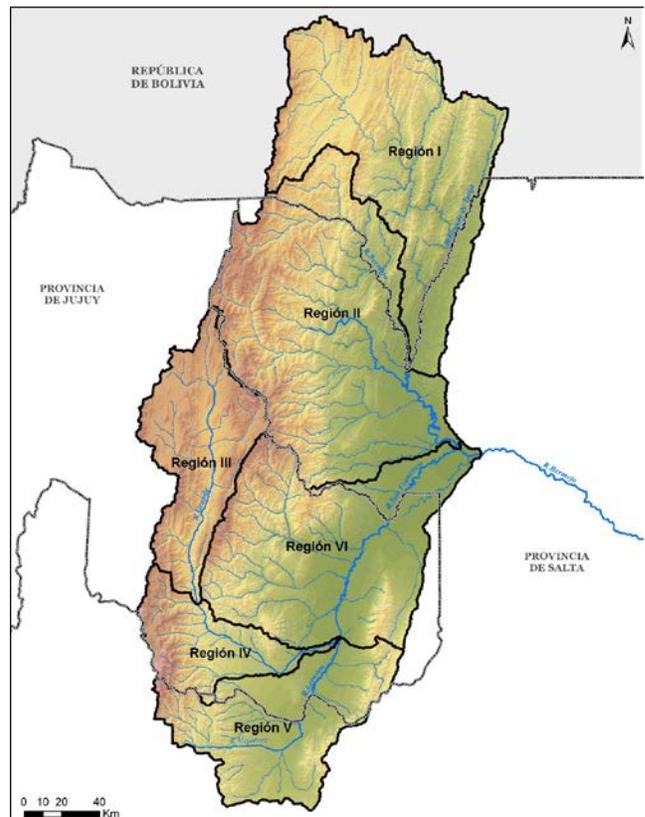


Figura 1. Regiones Hidrológicas en la Alta Cuenca del Río Bermejo

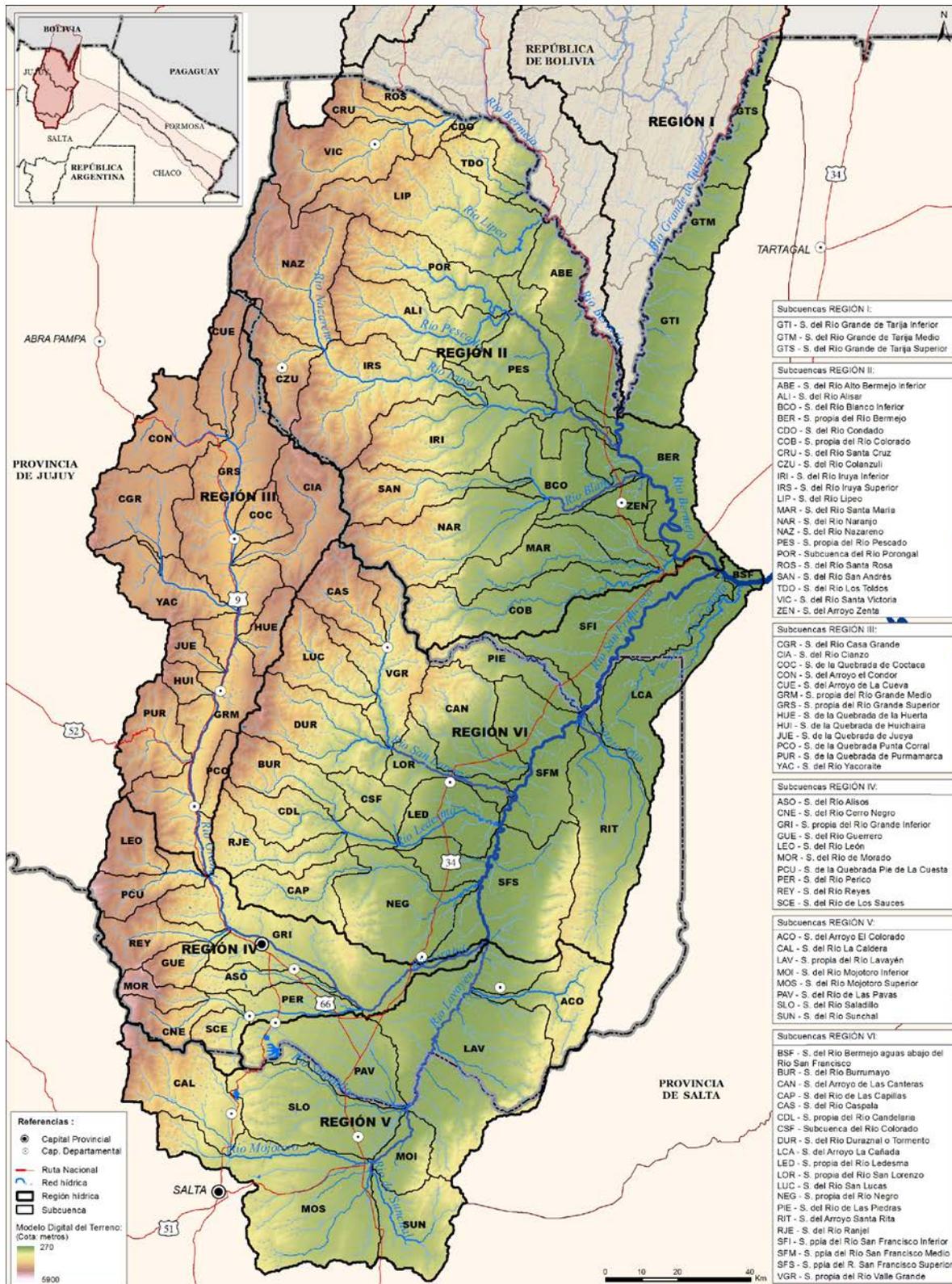


Figura 2. Cuencas Hídricas superficiales en la Alta Cuenca del Río Bermejo

3. METODOLOGÍA

3.1 Metodología general y herramientas de trabajo

El estudio se desarrolló buscando disponer de una caracterización inicial de la cuenca con eje en la disponibilidad y uso del recurso hídrico, para plasmar luego el análisis de los diversos usos potenciales del recurso, ponderando tanto su potencial hidroenergético como las oportunidades que la naturaleza brinda en el territorio de la cuenca para implantar obras dedicadas a la regulación, el control de crecientes y el uso del agua para consumo humano.

El enfoque adoptado permite obtener un marco de planificación del uso del recurso en la cuenca y apoyado en criterios de sostenibilidad, posibilita inducir una posterior gestión sustentable del recurso agua y los recursos naturales asociados, en un marco de desarrollo productivo local, regional y nacional.

La Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Teórico para la Alta Cuenca del Río Bermejo se desarrolló a partir de la generación de componentes esenciales del estudio, la creación de un Modelo Digital del Terreno MDT para la Alta Cuenca y la confección de un sistema de ecuaciones de regresiones múltiples que permitieron regionalizar los principales parámetros hidrológicos para definir el caudal medio anual disponible en cualquier punto de toda cuenca de aporte.

Sobre este soporte se realizó la evaluación del potencial hidroeléctrico por tramos de ríos para todas las subcuencas de la Alta Cuenca, fundamentada en el concepto de Potencial Hidroeléctrico Técnico, que representa una medida de base técnico-económica, del potencial del recurso que se podría llegar a utilizar.

Asimismo, se evaluaron las oportunidades morfológicas presentes en la cuenca para emplazar obras de cierre que permitan regular el recurso y disponer del agua para otros usos consuntivos tales como el riego y el consumo humano, ponderando adecuadas tasas de regulación respecto del derrame anual y considerando particularmente, por tratarse de jóvenes ríos de montaña, el impacto de los procesos de transporte y deposición de sedimentos sobre la vida útil de las obras de cierre estudiadas.

3.2 Sistema de Información Geográfica

El Sistema de Información Geográfica (SIG) tuvo como objetivo principal el desarrollo de la cartografía básica y temática para sustentar la ejecución de los trabajos del estudio. Sus objetivos específicos fueron:

- Almacenar la información temática espacial recopilada durante el desarrollo del proyecto de manera de facilitar su identificación, uso y actualización (por parte de los organismos involucrados y destinatarios de la información).
- Asistir en los análisis temáticos que se llevaron a cabo durante el proyecto, como la identificación de la ubicación y de la tipología de los aprovechamientos que mejores beneficios e impactos generan en la Alta Cuenca del río Bermejo en el ámbito de la República Argentina.
- Generar y post-procesar un Modelo Digital del Terreno (MDT).

3.2.1 Definición del Sistema de Información Geográfica

- Software

El software seleccionado para el desarrollo y la implementación del SIG es el programa ArcGIS Desktop 10 (Arcview) de ESRI y dos extensiones, Spatial Analyst y 3D Analyst, como soporte para los análisis espaciales.

- Sistema de proyección

La proyección cartográfica utilizada es la Proyección Conforme Gauss Krüger, utilizada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), adoptándose la faja 4 por ser la central de la Cuenca del Río Bermejo.

- Edición de la red hidrográfica y cuencas

Se utilizó como base de información para la generación de capa temática de la Red Hidrográfica la información suministrada por IGN (SIG-250), complementada con información del Atlas Digital de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina (SsRH-INA, 2010) y otras fuentes de información adicionales (INTA, E.E.A. Salta, Universidad Nacional de Salta).

La metodología consistió en el análisis de cada unidad hidrográfica completa, y la edición, completamiento y clasificación de la red hidrográfica en cauce principal,

afluentes principales y afluentes secundarios, de acuerdo al nivel de detalle de la información de base.

3.2.2 Modelo Digital del Terreno

El Modelo Digital del Terreno (MDT) es una capa temática clave del estudio, tanto para ayudar a la comprensión del paisaje de la región proveyendo una visión integrada del mismo, como para la obtención de productos y desarrollo de actividades del proyecto.

El enfoque adoptado para la creación de un MDT que representa de manera continua y simplificada la topografía del terreno y está hidrológicamente adaptado a los fines del estudio, fue utilizar datos del Modelo Digital de la Superficie Terrestre (SRTM) generado por la NASA. El MDT-SRTM fue calibrado con los datos topográficos del Instituto Geográfico Nacional (curvas de nivel y puntos acotados), la Red PASMA y con puntos de la Red Geodésica Provincial de Jujuy y de Salta.

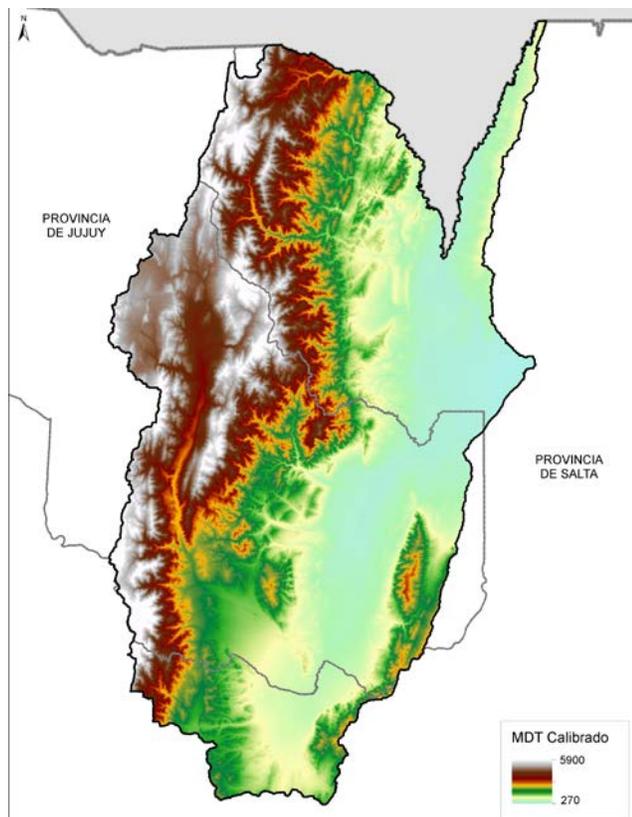


Figura 3. Modelo digital de terreno de la Alta Cuenca del Río Bermejo

➤ Resultados

El MDT de carácter regional obtenido, representa la topografía de la Alta Cuenca, teniendo en cuenta la conexión de la red de drenaje y permitiendo la correcta

delimitación de cuencas y fue utilizado para desarrollar las siguientes tareas:

- Definición de los tramos de los cursos
- Generación de datos de área de aporte, cota, pendiente y longitud de los tramos de cursos definidos y de los cursos principales donde se encuentran las estaciones hidrométricas
- Caracterización topográfica de las subcuencas de aporte.

3.2.3 Definición de tramos y obtención de datos iniciales

La obtención de los datos iniciales para el análisis del potencial hidroeléctrico se basó en los dos criterios adoptados para la definición de los tramos de estudio:

- Cursos entre cada bifurcación.
- Cursos con distancias menores a 3km de longitud entre cada bifurcación.



Figura 4. Identificación de puntos representativos de los tramos

A su vez, los datos iniciales a calcular para cada tramo son:

- Cota del terreno.
- Área de aporte.
- Precipitación media areal.
- Longitud del tramo.

La generación de información se realizó completamente dentro del SIG desarrollado, utilizando el software ArcGIS (Arcview) y las extensiones Spatial Analyst y de Modelación Hidrológica Geospacial HEC-GeoHMS.

3.3 Hidrología

La metodología utilizada es válida para obtener caudales medios anuales a nivel preliminar requerido en el estudio. Como en todo estudio hidrológico – hidráulico, los resultados tienen una alta dependencia de la cantidad y calidad original de la información.

Se ha realizado un importante trabajo para validar la información hidrológica disponible; no obstante dada la característica de estudio preliminar no se realizaron verificaciones de campo, pudiendo estar presentes anomalías en los datos utilizados.

Los caudales resultantes de las ecuaciones deben considerarse como representativos de una situación natural o de baja intervención en cuenta al uso del recurso hídrico. En sectores altamente intervenidos con obras de infraestructura hidráulica, deben reducirse los caudales (extracciones) o incrementarse (retornos) para obtener la disponibilidad hídrica aproximada a la real.

Tales usos del agua se estimaron en función de antecedentes disponibles e información suministradas por las Provincias. Estos hechos deberán verificarse en estadíos futuros del estudio, los cuales permitirán corregir o validar los resultados obtenidos.

Las ecuaciones obtenidas deben ser aplicadas con criterio hidrológico – ingenieril, respetando los límites extremos de los parámetros de cálculo utilizados en cada región y comparando la cuenca o subcuenca donde se aplique con las características globales de las cuencas utilizadas en el cálculo.

En cuencas donde exista una cantidad apreciable de estaciones de observación de caudales, será siempre preferible el uso directo de la información observada, a los efectos de determinar ecuaciones específicas para la cuenca. Mejoras en las estimaciones de caudal medio mediante esta metodología se consiguen incrementando el número de mediciones (en tiempo y en cantidad), abarcando en forma homogénea todas las regiones geográficas involucradas.

Sintéticamente, las tareas realizadas comprenden:

- Procesamiento de la información hidrológica para cada cuenca y subcuenca aforada para obtener la información de valores medidos mensuales y anuales correspondientes a: Ecurrimiento mensual y anual, Precipitación

mensual y anual, y Evapotranspiración Potencial mensual y anual

- Determinación de características físicas significativas de cada cuenca y subcuenca. Área, Desnivel máximo, Índice de pendiente media, Densidad de drenaje y otros
- Definición de áreas homogéneas por conjunto de cuencas y subcuencas, apoyadas en las ecuaciones de regresión múltiple de las variables hidrometeorológicas principales definidas
- Obtención de ecuaciones que relacionan el caudal medio anual con las características físicas e hidrometeorológicas de las cuencas
- Obtención de curvas de duración de caudales, asociadas al caudal medio anual, para cada región hidrológica homogénea.

3.3.1 Caracterización de las variables hidrometeorológicas

➤ Precipitaciones

Con los datos procesados de precipitación e información de topografía se creó un mapa de precipitación para toda la región de trabajo usando el proceso 'cokriging', que utiliza para la interpolación de valores puntuales tanto las características espaciales inherentes de los datos de precipitación como la relación entre precipitación y otra variable (en este caso altura). Así se interpolaron puntos usando el modelo de elevación digital (MDT) del proyecto, aprovechando la cobertura más amplia de la variable de topografía.

Si bien es esperable que la precipitación varíe con la altura, claramente en la cuenca no es el único factor que influye en la distribución de lluvia, debiendo considerarse otros factores como la posición de la estación respecto a la orografía próxima y la exposición a los vientos, así como la orientación y forma de los valles por donde ingresan los vientos húmedos. Es por ello que se consideró relevante para el proyecto considerar y validar el plano de isohietas anuales elaborado por el INTA¹ comparando las mismas con los datos de precipitaciones anuales puntuales determinados.

Teniendo en cuenta que este modelo está disponible sólo para la región Argentina de la cuenca del Bermejo, se extendió en base a los datos puntuales obtenidos para estaciones de Bolivia y datos de TRMM (*Tropical Rainfall*

¹ Atlas Climático Digital de la República Argentina (INTA, 2010)

Measuring Mission) en aquellos sectores donde no existe información, conformando de esta manera el Plano de Isohietas anuales del Proyecto.

Salvo casos puntuales, se observa que el plano del INTA (2010) representa adecuadamente las precipitaciones anuales en la región.

Se observa una variabilidad espacial muy alta de precipitación por influencia de las cadenas montañosas. Específicamente en la cuenca alta del Bermejo hay estaciones con lluvia muy elevadas: Alarache con 2242mm y San José (Iruya) con 2007mm, así como estaciones con precipitaciones sumamente bajas, en la subcuenca alta del río Grande (ej. Humahuaca con 220mm anuales).

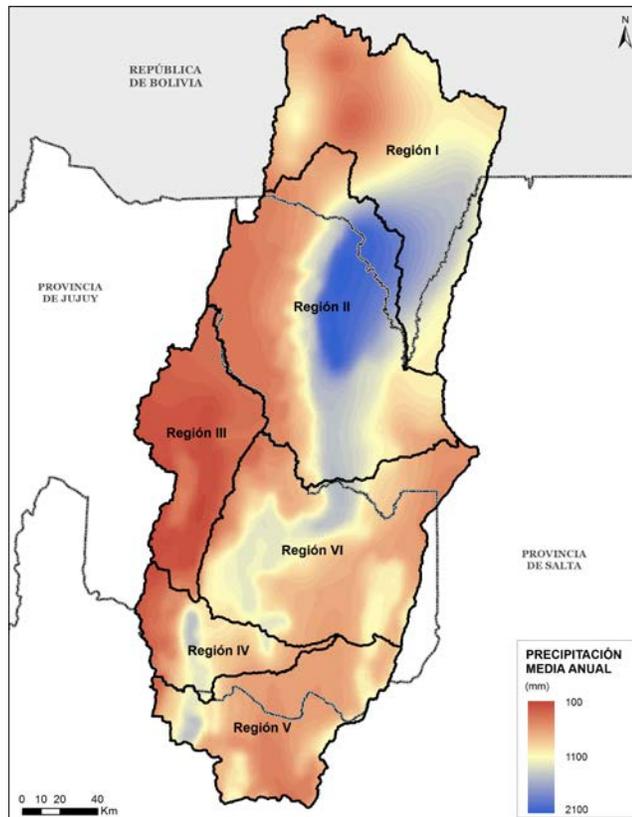


Figura 5. Mapa de precipitación media anual INTA (2010) (+ SENAMH - TRMM y el DTM en el sector boliviano)

➤ Estimación de ETP (evapotranspiración potencial)

Debido a la dificultad para obtener todas las variables que requiere el cálculo de la ETP por Penman-Monteith, se procedió a calcular la ETP utilizando el método de Thornthwaite. Éste es un método empírico que únicamente requiere los datos de temperatura mensual y la ubicación de la estación (latitud). Es un método muy difundido en hidrología y en la estimación del balance

hídrico de cuencas, y también empleado en índices y clasificaciones climáticas; aplicado en regiones de diferentes características climáticas. Este método fue seleccionado por el INTA para la elaboración del Atlas Climático Digital de la República Argentina (2010).

Se menciona que en la región son frecuentemente utilizados también otros métodos empíricos, como el de Blaney y Criddle, el cual surge de experimentaciones en zonas áridas y semiáridas, no habiéndose seleccionado en este caso por abarcar el área de trabajo regiones que se corresponden también con otras características climáticas.

Tomando como base el modelo de temperaturas desarrollado para el NOA por Bianchi (1996), y extendiendo el mismo al sector boliviano de la cuenca, se dispone del insumo básico para este método. Para la aplicación del modelo se utilizaron datos de precipitaciones medias anuales obtenidas del Plano de Isohietas del Proyecto, y con el soporte del SIG, se obtiene en cada celda donde se dispone de temperatura, de la latitud, y por ende es posible estimar la evapotranspiración potencial por Thornthwaite.

Las ecuaciones utilizadas por el método de Thornthwaite son:

$$ETP(0) = 1.6 \left(\frac{10T}{J} \right)^c$$

Donde:

ETP(o): corresponde a la Evapotranspiración potencial en la latitud o (ecuador) en centímetros por mes, T: es la temperatura media mensual en grados centígrados, J: es el índice de eficiencia de Temperatura que es definido como la sumatoria de los doce valores mensuales del índice de calor I

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

c: es un coeficiente empírico que se evalúa de la siguiente manera

$$c = 0.000000675 * J^3 - 0.0000771 * J^2 + 0.01792 * J + 0.49239$$

En latitudes diferentes a cero, la ETP se corrige por una constante K que varía dependiendo del mes del año y de la latitud.

$$ETP = k * ETP(0)$$

En la porción Argentina de la cuenca se comparó el mapa con el propuesto en el Atlas Digital de la República Argentina, siendo prácticamente coincidentes.

Estos valores de ETP fueron comparados con los valores observados de Evaporación (evaporación de tanque afectado por coeficiente). En todos los casos los valores estimados de ETP son inferiores o iguales a los valores de Evaporación observada.

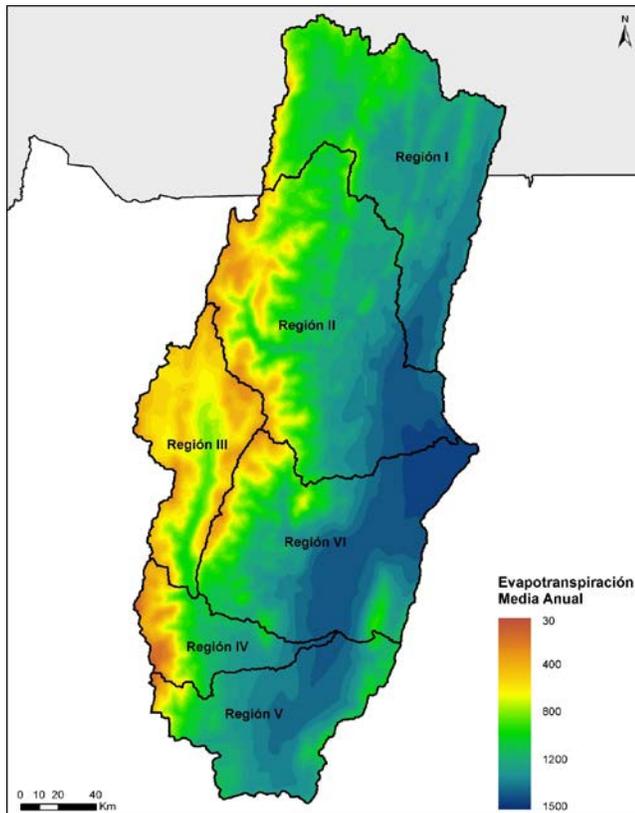


Figura 6. Evapotranspiración potencial anual (mm) calculada con el método de Thornthwaite, en base a modelo de temperaturas de INTA

3.3.2 Caracterización de caudales – Curvas de permanencia

➤ Caudales anuales

El período base de trabajo corresponde al comprendido entre los años 1970 y 2010. Los caudales observados se registraron en diferentes períodos de medición, y por ende fue necesario procesarlos de manera que resultaran representativos del período seleccionado. Para ello se utilizaron diferentes procedimientos.

a) Series con información completa en el período de interés: se tomaron los datos observados directamente,

b) Series con información incompleta: se utilizaron dos procedimientos

b.1. Completamiento de caudales anuales a partir de ecuaciones de regresión con estaciones vecinas (verificando que el coeficiente de correlación resulte mayor a 0.7) y posterior cálculo de caudal medio en el período 1970 – 2010.

b.2. Relaciones de caudales medios entre la estación incompleta y otra estación confiable con registros completos en el período seleccionado. En este caso se aplicó la siguiente relación:

$$\bar{Q}_i(70-10) = \bar{Q}_i(\text{periodocomun}) * \frac{\bar{Q}_j(70-10)}{\bar{Q}_j(\text{periodocomun})}$$

Donde:

$\bar{Q}_i(70-10)$: es el caudal medio anual del periodo 1970-2010 de la estación que queremos estimar,

$\bar{Q}_i(\text{periodocomun})$: es el caudal medio anual de la estación i en el periodo en común de las dos estaciones, la que queremos estimar y la estación cercana,

$Q_j(70-10)$: es el caudal medio en el período 1970 – 2010 de la estación con datos,

Q_j (período común): es el caudal medio anual de la estación con datos (donante) en el período coincidente entre ambas estaciones.

Las obras de infraestructura en la cuenca como la presencia de embalses, derivaciones de importancia hacia otras cuencas o subcuencas, retornos de agua, ingresos provenientes de otras cuencas, etc., pueden alterar significativamente la magnitud y la distribución en el año de los caudales. Otras modificaciones pueden provenir de efectos de urbanización, modificaciones en la cobertura vegetal durante el período de mediciones, avance de la frontera agrícola, ingreso de áreas de riego, etc.

Los datos con los que se trabaja deben ser homogéneos, y por lo tanto para utilizarlos es necesario examinar la influencia de éstas alteraciones. Los criterios generales hidrológicos para este tipo de estudio, indican que si la alteración al escurrimiento representa menos de un 10 a un 15%, la estación de medición puede ser utilizada sin restricción. Las estaciones con registros significativamente alterados deben ser descartadas para el análisis.

Respecto a la longitud de registros, este depende de la representatividad de la muestra respecto a la población

desconocida. Se adopta que la estación a utilizar debe tener al menos 5 años de datos observados para ser incorporada al análisis, analizando a su vez tal representatividad por comparación con estaciones vecinas de registros más largos.

Se destaca que los caudales utilizados se consideran representativos de una situación "natural", o sea sin extracciones y/o con extracciones mínimas consuntivas del recurso agua. Posteriormente, se consideraron los usos consuntivos relevantes, a efectos de obtener la real disponibilidad del recurso actual.

➤ Caudales mensuales

El análisis de los caudales medios mensuales permite apreciar el comportamiento anual o régimen. En todas las regiones los caudales se comportan de manera unimodal con un pico en febrero, con escasas excepciones donde el máximo puede darse en el mes de marzo. Este pico es muy marcado.

A partir de los caudales mensuales se obtuvieron las curvas de permanencia para cada estación en función del caudal anual. Se presentaron los caudales para diferentes porcentajes de tiempo en que son superados, en forma relativa respecto al caudal anual de las estaciones, para todas las regiones hidrológicas.

3.3.3 Ecuaciones regionales para obtener caudales medios de cuencas

➤ Metodología

Debido a que se cuenta solamente con un número limitado de cuencas aforadas, de las cuales es posible obtener la información requerida por tratamiento directo de sus datos, resultó necesario extender estos valores a las cuencas no aforadas, para la posterior determinación preliminar del potencial.

En una primera etapa esto se resolvió como un caso típico de regionalización de caudales, que sintéticamente significa:

- Ajustar en cada región que pueda considerarse hidrológicamente homogénea a los fines del estudio, ecuaciones de regresión múltiple, donde se establece la relación del caudal medio anual (Qa), con una serie de variables y parámetros independientes, tales como: precipitación, evapotranspiración, área de cuenca, densidad de drenaje, índice de pendiente, longitud de cuenca y altitud. En el proceso de ajuste se seleccionan

las variables más significativas que explican un porcentaje importante de varianza de la variable dependiente.

- A partir de las ecuaciones de regresión ajustadas, es posible estimar los valores de Qa en las cuencas no aforadas.

El comportamiento hidrológico de un curso de agua es el resultado de una combinación de factores físicos y climáticos. Aquellas regiones que presentan un comportamiento semejante son definidas como regiones homogéneas, en este texto referido particularmente a los caudales medios y curvas de duración.

Los criterios para definir las regiones hidrológicas son físicos, climáticos y estadísticos. Dentro de los criterios físicos, se considera la similitud de las características geográficas de las regiones, incluyéndose las características del relieve, pendientes, cobertura vegetal, suelos, geología, etc. Dentro de las características climáticas se han analizado las precipitaciones y la evapotranspiración potencial.

Los criterios estadísticos normalmente verifican si una región preliminarmente definida presenta un comportamiento adecuado de los elementos principales de regionalización; en este caso, de la ecuación de regresión.

Para establecer las ecuaciones de regresión, para cada una de las cuencas aforadas que se encuentran en una región, se calculan los valores de precipitación y evapotranspiración potencial media anual, promedio para toda el área de la cuenca aforada, así como los parámetros físicos más relevantes.

Las ecuaciones de regresión planteadas fueron del tipo:

$$Q = c A^{a1} \times PA^{a2} \times DD^{a3} \times L^{a4} \times \dots$$

Estas ecuaciones no lineales, fueron linealizadas aplicando logaritmos y los coeficientes se calcularon por método de mínimos cuadrados.

Sobre la ecuación básica general se seleccionan las variables independientes que mejor representen los valores de caudal medio, con errores tolerables (aceptables para el trabajo). Cuando se desea correlaciones variables generalmente no se conoce con precisión cuáles variables independientes mejor explican el comportamiento de la variable dependiente. El método más eficiente será aquel que permita estimar de manera confiable la variable dependiente y que incluya el menor

número posible de variables independientes. Para resolver este conflicto se hace uso en este caso de la metodología denominada "stepwise", manteniendo el área de cuenca en todas las ecuaciones.

La bondad de las regresiones se determina inicialmente a partir del Coeficiente de Determinación y otras medidas de error. El Coeficiente de Determinación varía entre 0 y 1, siendo que cuanto más próximo a 1 sea el valor, más adecuada es la función. También es habitual el uso del denominado coeficiente de correlación (raíz cuadrada del coeficiente de determinación) y otros términos de errores al ajuste.

➤ Ecuaciones de regresión

A efectos de un análisis exploratorio, se realizaron análisis de regresiones múltiples para todo el área de trabajo. Se realizó un análisis inicial de regresión múltiple en función de los caudales observados como variable dependiente y el área de cuenca (A), la precipitación media de cuenca (Pa), la ETP de cuenca, la Densidad de Drenaje (Dd), la pendiente (S1085) y la longitud del curso (L) como posibles variables independientes.

En el procedimiento stepwise o paso a paso, se permite a todas las variables independientes ingresar a la ecuación y se seleccionan aquellas que mayor significancia tienen (a partir en este caso de un límite adoptado de $p=0.05$). La Tabla 1 presenta las variables independientes seleccionadas y el coeficiente de determinación. Se utilizaron en este caso 36 estaciones de caudal, con sus correspondientes parámetros físicos y climáticos.

Tabla 1. Variables seleccionadas por procedimiento de ajuste, para todas las estaciones de caudal

Variable	r ² ajustado
A, P, L, Dd, ETP	0,98
A, P	0,92

El procedimiento selecciona cinco variables como significativas, lo cual da un r² ajustado de 0,98.

La ecuación obtenida para toda la cuenca Alta del río Bermejo es:

$$Qa = \exp(8,662) A^{0,5476} \times Pa^{2,344} \times L^{0,787} \times Dd^{0,83} \times ETP^{-4,293}$$

Donde:

Qa: es el caudal medio anual (m³/s), Pa: Precipitación anual (mm), L: longitud del curso principal (Km), Dd: densidad de drenaje (Km/Km²)

Si se restringe a la utilización de las variables Área y Precipitación anual, la ecuación es:

$$Qa = \exp(-16,0568) A^{0,925} \times Pa^{1,827}$$

Se observa que sólo con la inclusión de las variables (A) y (P) se tiene un coeficiente de determinación de 0,92 y un coeficiente de correlación de 0,96.

➤ Regiones y sub-regiones para las ecuaciones de regresión

Con el objetivo de obtener las "mejores" estimaciones de caudal medio anual, con la información disponible se analizaron en varias ocasiones las regiones hidrológicas definidas y estaciones de caudal incluidas en ellas, así como las características físicas e hidrometeorológicas presentes. Las regiones de trabajo definidas se muestran en la Figura 7, junto con la ubicación de las estaciones de caudales. En virtud de las evaluaciones realizadas, algunas regiones fueron posteriormente separadas en sub-regiones, mientras otras regiones fueron agrupadas teniendo en cuenta el hecho de la escasa cantidad de estaciones existentes.

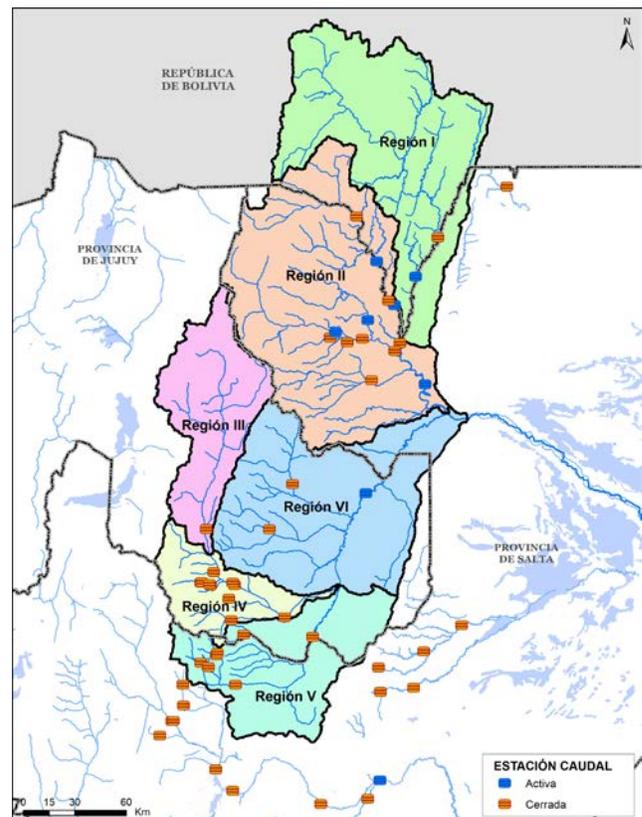


Figura 7. Distribución geográfica de las ecuaciones de regresión

➤ Ecuaciones para las Regiones

Las ecuaciones finales para cada región se indican en la Tabla 2, con el estadístico del ajuste del modelo R ajustado y el error estándar.

Tabla 2. Ecuaciones para las regiones o sub-regiones

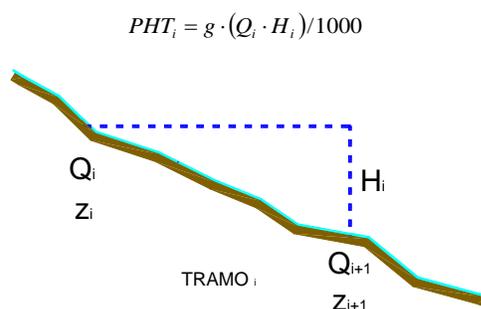
Región	Ecuación N°	Cuenca	$Qa = \exp(a) A^b \times Pa^c \times L^d$				R _{2j}	Se	
			A	b	c	d			
1	1	Región 1 en Argentina	-8,399	0,846	0,826	-	0,96	0,24	
2	2	Iruya	-12,964	1,068	1,296	-	0,90	0,25	
	3	Pescado	-9,904	0,966	0,941	-	0,97	0,20	
	4	Región 2 no incluida en anteriores	-8,827	0,879	0,859	-	0,97	0,23	
3	5	Región Árida; aplicar en forma provisoria para el río Grande $Qa = 0,000338 * A$							
4	6	Reyes	-9,803	0,897	0,955	-	0,99	0,02	
	7	Región 4 no incluida en anterior	-9,124	0,977	0,790	-	0,93	0,38	
5	8	Mojotoro	-10,072	-	0,987	1,467	0,95	0,21	
	9	Región 5 no incluida en anterior	-4,797	0,689	0,392	-	0,94	0,32	
6	9	Región 6	-4,797	0,689	0,392	-	0,94	0,32	

3.4 Cálculo del Potencial Hidroeléctrico Teórico

El *Potencial Hidroeléctrico Teórico* es una medida de los recursos hídricos disponibles en un sistema fluvial para producción de energía. La definición de este potencial, considera que la totalidad de agua que escurre en un curso (corriente) es capaz de generar electricidad en función del desnivel del mismo, con un 100% de eficiencia.

Este Potencial Hidroeléctrico Teórico es calculado entonces, como la suma del potencial correspondiente a cada tramo de un curso de agua, que se inicia y termina en un nodo. En cada nodo se determinan los datos base de cota y caudal, definido en los cursos de agua, lo que permite calcular el potencial del tramo. Estos datos base son los correspondientes a las características topográficas e hidrológicas, resultantes del MDT de la Alta Cuenca y de las Regresiones de Caudales medios definidos para cada región, respectivamente.

El potencial hidroeléctrico teórico de cada tramo de un curso de agua se determinó utilizando los caudales medios mensuales en los nodos de entrada y salida del tramo, como así también el desnivel topográfico entre estos mismos nodos. La formulación adoptada para el cálculo del potencial hidroeléctrico teórico [MW] de un tramo i es:



Donde:

- i : nodo de aguas arriba, $i+1$: nodo de aguas abajo
- Q_i [m³/s]: caudal medio del nodo de aguas arriba
- Q_{i+1} [m³/s]: caudal medio del nodo de aguas abajo
- H_i [m] = $Z_i - Z_{i+1}$ desnivel topográfico entre el nodo de aguas arriba y aguas abajo.
- g : 9,80 m/s².

El Potencial Hidroeléctrico Teórico de la Alta Cuenca del río Bermejo fue calculado con la siguiente expresión:

$$PHT_{TOTAL} = \sum PHT_i = \sum g \cdot (Q_i \cdot H_i) / 1000$$

Este valor de potencial teórico no tiene incorporado ningún tipo de rendimiento hidráulico, tampoco considera la existencia de otros usos, consuntivos o no, ni la exclusión de áreas protegidas. De modo que tiene un significado netamente teórico, con ningún tipo de restricción técnica, económica ni de otra índole.

3.4.1 Definición de Potencial Hidroeléctrico Teórico Aprovechable y No Aprovechable

El Potencial Hidroeléctrico Teórico representa una medida de los recursos naturales hidráulicos totales disponibles para la producción de energía. De todo el recurso hídrico disponible existe una proporción que ya se encuentra aprovechada por centrales hidroeléctricas en operación, otra que forman parte de áreas de reserva natural protegida y otra con tramos de mínimo potencial, producto de un bajo caudal y/o salto disponible.

El límite inferior de potencial hidroeléctrico teórico se estableció en un valor de 0,2MW/Km, o sea 200Kw cada 1000m de longitud del curso aprovechado. Por debajo de dicho potencial específico mínimo, el aprovechamiento no es viable. A partir de considerar dichas restricciones de potencial, se define el Potencial Hidroeléctrico Teórico Aprovechable.

El Potencial Hidroeléctrico Teórico No Aprovechable es todo aquel potencial que se encuentra en áreas bajo explotación de centrales hidroeléctricas, áreas naturales protegidas y áreas de muy bajo potencial hidroeléctrico ($Pt < 0,2 \text{ MW/Km}$).

Se presenta el Potencial Hidroeléctrico Teórico de la Alta Cuenca del Río Bermejo según las regiones características definidas en el estudio hidrológico, analizando el valor de densidad de potencial, definido como el cociente entre el potencial teórico y la superficie de cada región.

En el total de las regiones la densidad de potencial media es de 0,20 MW/Km², la Región II presenta el valor máximo de 0,28MW/Km² justificado por caudales relativamente altos y elevadas pendientes. En cambio la Región V presenta una densidad de solo 0,14MW/Km² debido a sus reducidas pendientes de fondo. La densidad mínima se presenta en la Región III con 0,006MW/Km² en donde los montos pluviométricos son escasos.

Tabla 3. Potencial Hidroeléctrico Teórico de la Alta Cuenca del Río Bermejo

Región	Curso Principal	Potencial Teórico (MW)	Potencial Teórico Aprovechable (MW)
Región I	Río Grande de Tarija	2370	2301,7
Región II	Río Bermejo Superior	3958	3591,8
Región III	Río Grande Superior y Medio	32	16,5
Región IV	Río Grande Inferior	612	552,8
Región V	Río Lavayén	884	809,8
Región VI	Río San Francisco	2063	1800,7
Total		9919	9073,4

Considerando las cuencas en territorio argentino, el Potencial Teórico asciende al valor de 7706MW, que corresponde al 78% del potencial total de la Alta Cuenca del Río Bermejo.

El Potencial Teórico Aprovechable en la Alta Cuenca del Río Bermejo presenta una reducción del 8,5% frente al Potencial Teórico. Este 8,5% de potencia eléctrica se corresponde a una reducción del 56% de los tramos inicialmente definidos. El potencial aprovechable total se distribuye en unos 6236 tramos, de los cuales sólo el 8% presentan una potencia específica mayor de 2MW/Km

3.5 Cálculo del Potencial Hidroeléctrico Técnico

Se introdujo el concepto de Potencial Hidroeléctrico Técnico, el cual representa una medida de base técnico-económica del potencial del recurso que se podría llegar a utilizar de modo que el Potencial Hidroeléctrico Teórico representaría entonces, el límite superior del Potencial Hidroeléctrico Técnico.

La determinación del Potencial Hidroeléctrico Técnico se fundamenta en un índice especialmente desarrollado, basado en las inversiones necesarias y los volúmenes energéticos posibles de generarse en cada nodo evaluado, estableciendo un grado preliminar de factibilidad económica del mismo. El índice desarrollado se denomina Índice Costo Beneficio (ICB).

Previamente a definir el ICB y el Potencial Hidroeléctrico Técnico, se introducen algunos conceptos y elementos claves adoptados en esta evaluación, que posibilitan una adecuada interpretación de las potencialidades y limitaciones del uso de este índice. Estos elementos son:

- Esquema de obra
- Costos del aprovechamiento
- Beneficios – Energía generada

3.5.1 Esquema de obra

La configuración de obra propuesta, responde a la geometría de los aprovechamientos de montaña, que involucran un uso prioritario del salto o desnivel disponible. La adopción de esta tipología de obra está fundamentada en que el desnivel topográfico es una variable medular en la geografía de la Alta Cuenca, así como por presentar la mejor factibilidad económica, frente a la obtención de iguales potencias apelando a la instalación, en zonas de baja altura, de caudales mayores.

El objetivo de poder determinar el potencial técnico es llegar a clasificar los aprovechamientos en función de un parámetro económico-energético.

La tipología de obra que se propone consiste en un esquema que involucra los siguientes componentes:

- Azud derivador
- Obra de toma
- Tubería forzada
- Casa de máquinas

La obra consiste en un azud derivador y obra de toma en la cabecera para derivar el caudal (Q_{tub}) a través de una tubería forzada a la casa de máquinas para ser turbinada. Asimismo se plantea la necesidad de mantener las condiciones mínimas ambientales del tramo analizado con lo cual hay que garantizar un mínimo caudal ambiental (Q_{amb}) en el río. En la siguiente figura se muestra como se plantea la disposición de la obra.

De esta manera los aprovechamientos no presentan regulación, por consiguiente, no es necesario disponer de un reservorio o embalse.

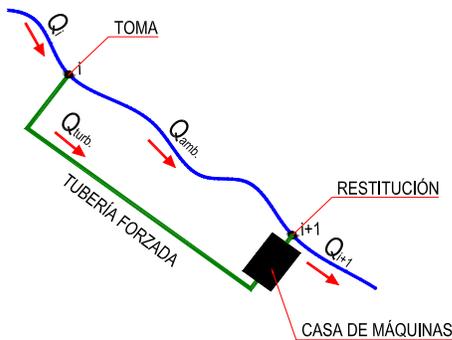


Figura 8. Esquema de obra

3.5.2 Costo del aprovechamiento

Para la determinación de los costos de los aprovechamientos evaluados, se dispone la siguiente información básica: caudal, desnivel topográfico, Potencial Hidroeléctrico Técnico y longitud del tramo en estudio. En base a estos cuatro parámetros se determina el costo de cada aprovechamiento.

El costo directo total de cada aprovechamiento queda definido del siguiente modo:

$$C_{Dir} = C_{Elec} + C_{Civil} + C_{Tub}$$

Donde;

- CDir: costo directo total aprovechamiento [U\$S]
- CElec: costo electromecánico aprovechamiento [U\$S]
- CCivil: costo obra civil aprovechamiento [U\$S]
- CTub: costo tubería forzada del aprovechamiento [U\$S]

A este costo hay que sumarle aquellos que tienen que ver con los costos de operación y mantenimiento (CO&M) y los costos indirectos (CInd).

Todos los costos fueron actualizados a Abril de 2013 en base al "Bureau of Reclamation Construction Cost Trends" U.S Department of the Interior.

3.5.3 Beneficios del aprovechamiento – Energía generada

Como se expresara previamente para la determinación del Potencial Hidroeléctrico Técnico se utiliza un parámetro econométrico denominado Índice Costo Beneficio (ICB), el cual es función del costo de la obra y el beneficio por venta de energía.

El beneficio anual por venta de energía que se considera, es la energía media anual generada (E), la cual está determinada para cada uno de los tramos. Este valor de energía es calculado a partir de la curva de duración de caudales de cada región y su correspondiente factor de utilización.

➤ Factor de utilización y energía generada

En función del esquema de obra planteado, sin regulación y sin embalse, se tiene que las curvas de duración de caudales erogados por cada uno de los aprovechamientos coinciden con las curvas de duración de caudales de los cursos de agua, ya que el caudal afluente es erogado por las turbinas o por el vertedero.

La expresión de la energía media anual generada en MWh es la siguiente:

$$E = P \cdot Fu \cdot 24 \cdot 365$$

Donde,

- E: energía media anual generada [MWh]
- P: potencia instalada [MW]
- Fu: factor de utilización.
- y el valor de 24×365 son las horas del año.

Por su parte, la potencia instalada depende en forma directa del salto hidráulico, que es un valor propio de cada tramo y del valor del caudal a ser turbinado ($Q_{i\%}$), siendo este último una de las variables determinadas en esta evaluación.

La expresión de la potencia instalada en el tramo es la siguiente:

$$P = g \cdot \eta \cdot H_i \cdot Q_{i\%}$$

Donde,

- P: potencia instalada en MW
- g: aceleración de la gravedad [9,8 m/s²]
- η : rendimiento [0,9]
- $Q_{i\%}$: caudal de diseño [m³/s]
- H_i : salto hidráulico [m]

El caudal turbinado o instalado en el tramo ($Q_{i\%}$) será un caudal con una duración determinada, de modo que durante un año no se turbinará el 100 % del tiempo la potencia instalada, sino sólo aquella factible de generar con el recurso disponible en ese momento. Esta condición

se evalúa mediante el factor de utilización, el cual tiene la siguiente expresión:

$$Fu = \frac{P \cdot T_{U \cdot Anual}}{P \cdot T_{1AÑO}}$$

y representa el cociente entre la energía media anual generada y la energía máxima que podría generarse en un año, donde:

- $T_{U \cdot Anual}$: tiempo de turbinado anual [hs]
- $T_{1AÑO}$: horas del año, 8760 hs.

De modo que, considerando la simplificación de que el salto hidráulico no es afectado por el caudal restituído, ya que es calculado como el desnivel topográfico en el tramo, el factor de utilización puede ser expresado como:

$$Fu = \frac{Q_{i\%} \cdot T_{U \cdot Anual}}{Q_{i\%} \cdot T_{1AÑO}}$$

Estos valores de factor de utilización, F_u , fueron determinados para cada una de las regiones y para cada posible caudal de diseño.

La determinación del Potencial Hidroeléctrico Técnico debe considerar la erogación de un caudal ambiental, que puede ser variable según la estacionalidad del régimen de caudales. Considerar un caudal constante tanto para estiaje como para crecidas no daría un resultado que compatibilice la generación energética con el mantenimiento de la integridad ambiental. Por esto se debe analizar en cada caso particular esta optimización en la utilización del recurso hidroenergético.

Con este concepto se determinó cual es la afectación que tiene considerar un caudal ambiental de entre 10% y 5% sobre la generación de energía en términos medios para todas las regiones. De modo que el porcentaje de energía no generada respecto de la generación energética sin considerar un caudal ambiental, varía entre 9% y 4% si el caudal ambiental varía entre un 10% y un 5%.

3.5.4 Determinación del índice costo beneficio (ICB)

La determinación del Potencial Hidroeléctrico Técnico, tiene como base el índice costo-beneficio energético expresado en términos de US\$/MWh.

El índice costo-beneficio energético de cada aprovechamiento queda definido como el cociente entre el costo total anual y sus beneficios energéticos. El mismo se calcula a través de la siguiente expresión:

$$ICB = \frac{C_{TA}}{E}$$

Donde;

- ICB: índice costo-beneficio energético del aprovechamiento [US\$/Wh]
- C_{TA} : costo total anual del aprovechamiento [US\$]
- E: energía media anual generada [MWh]

El costo total anual se determina a través de la expresión:

$$C_{TA} = C_{Tot} \cdot FRC + P_{Tec} \cdot C_{O\&M} \cdot 10^3$$

Donde;

- C_{TA} : costo total anual del aprovechamiento [US\$]
- C_{Tot} : costo total del aprovechamiento [US\$] = $C_{Dir} + C_{Ind}$
- C_{Dir} : costo directo total del aprovechamiento [US\$]
- C_{Ind} : costo indirecto del aprovechamiento [US\$]
- FRC: factor de recuperación, a lo largo del de la vida útil del aprovechamiento, según la tasa de descuento adopta, quedando definido como:

$$FRC = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Donde;

- i: tasa anual de descuento (0,12)
- n: vida útil del aprovechamiento
- $C_{O\&M}$: costo de operación y mantenimiento [US\$/MW/año]
- P_{Tec} : potencial hidroeléctrico técnico [MW]

3.5.5 Determinación del potencial hidroeléctrico técnico - caudal de diseño

A partir de la configuración de obra planteada queda definido el Potencial Hidroeléctrico Técnico de la siguiente manera:

$$P_{Tec} = g \cdot \eta \cdot H_i \cdot Q_i$$

Donde;

- P_{Tec} : potencial hidroeléctrico técnico [MW]
- g: aceleración de la gravedad [9.8 m/s²]

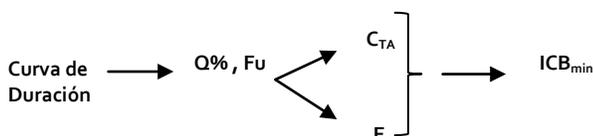
- η : rendimiento [0,8]
- i : nodo aguas arriba
- $i+1$: nodo aguas abajo
- Q_i : caudal disponible del nodo aguas arriba [m³/s]
- Q_{i+1} : caudal disponible en el nodo aguas abajo [m³/s]
- Q_{amb} : caudal mínimo ambiental [m³/s]
- H_i : desnivel topográfico entre el nodo aguas arriba y el nodo aguas abajo [m]

El Potencial Hidroeléctrico Técnico trae aparejado la elección del caudal que puede ser turbinado por la central (Q_i).

El caudal óptimo disponible para ser turbinado y consecuentemente el Potencial Hidroeléctrico Técnico de cada aprovechamiento surge de un análisis económico-energético basado en el ICB.

Para poder determinar el Potencial Hidroeléctrico Teórico se utiliza el caudal medio. El mismo representa un porcentaje bajo en la curva de duración de caudales, entre el 40% y el 20%, de acuerdo a la región hidrológica en que se encuentre. De manera que si se opta por instalar el caudal medio gran parte del tiempo no se podrá aprovechar la capacidad instalada de la central, sin embargo, todas las obras estarán diseñadas para dicho caudal. De esta manera no se puede decir anticipadamente que el caudal medio es el óptimo de instalación de la central, es decir, aquel que determina el Potencial Hidroeléctrico Técnico del aprovechamiento.

Se hace necesario entonces definir un caudal de diseño para cada aprovechamiento. El mismo surge de adoptar diferentes caudales de instalación para la central y comparar el valor del ICB resultante. El razonamiento es el siguiente:



De manera que el caudal de diseño y consecuentemente el Potencial Hidroeléctrico Técnico es el correspondiente al ICB mínimo. El caudal de diseño está fuertemente influenciado por la forma de la curva de duración de caudales según la región hidrológica correspondiente.

El caudal de diseño óptimo fue determinado en cada tramo considerando caudales nominales de 20% a 80% de duración. Las curvas de duración utilizadas en toda la Alta Cuenca son similares, salvo el caso de la Región III.

Los caudales de diseño óptimos se concentran en duraciones de 30% a 60%, con valores comprendidos entre 120% del caudal medio anual ($Q_d/Q_m=1,2$) y 30% del mismo ($Q_d/Q_m=0,3$).

Para la comparación de tramos y selección de ubicaciones convenientes para la realización de aprovechamientos hidroeléctricos se utilizó una duración de caudales única, ya que tiene un efecto significativo sobre el potencial técnico, y éste es un parámetro de importancia para la selección de sitios (las duraciones menores se corresponden con mayores caudales y por lo tanto mayores potencias). Por ejemplo, los potenciales técnicos se reducen a menos de la mitad de su valor al pasar de una duración del 40% a una del 60%.

Se seleccionó la duración de 40% del tiempo, que es la de mayor frecuencia, que corresponde a proporciones del caudal módulo de entre 0,61 y 0,75 (a excepción de la Región III para la cual el caudal correspondiente a la duración del 40% es prácticamente igual al caudal módulo). Se observó que el máximo incremento en el ICB por el uso de una duración fija fue del 18%.

Sobre la base metodológica descrita, se determinó el Potencial Hidroeléctrico Técnico para la Alta Cuenca del Río Bermejo.

El potencial técnico no aprovechable, compuesto por el correspondiente a los tramos situados dentro de áreas naturales protegidas, representa un valor de 211MW que corresponde sólo al 5% del potencial hidroeléctrico técnico total. El potencial hidroeléctrico técnico de la Alta Cuenca tiene un valor de 3682MW.

Considerando las cuencas en territorio argentino, el potencial técnico asciende al valor de 2983MW, que corresponde al 77% del potencial técnico total de la Alta Cuenca del Río Bermejo. De las 75 cuencas analizadas, unas 23 cuencas más importantes concentran el 70% del potencial hidroeléctrico técnico total en territorio argentino.

El cálculo del Índice Costo Beneficio fue realizado sobre la base de 3742 tramos, de los cuales unos 1400 tramos (37% del total) registraron un valor de ICB menor de 200US\$/MWh. Dicho límite máximo se adopta según los precios máximos de energía renovable (pequeños

aprovechamientos), registrados en el país en los últimos años.

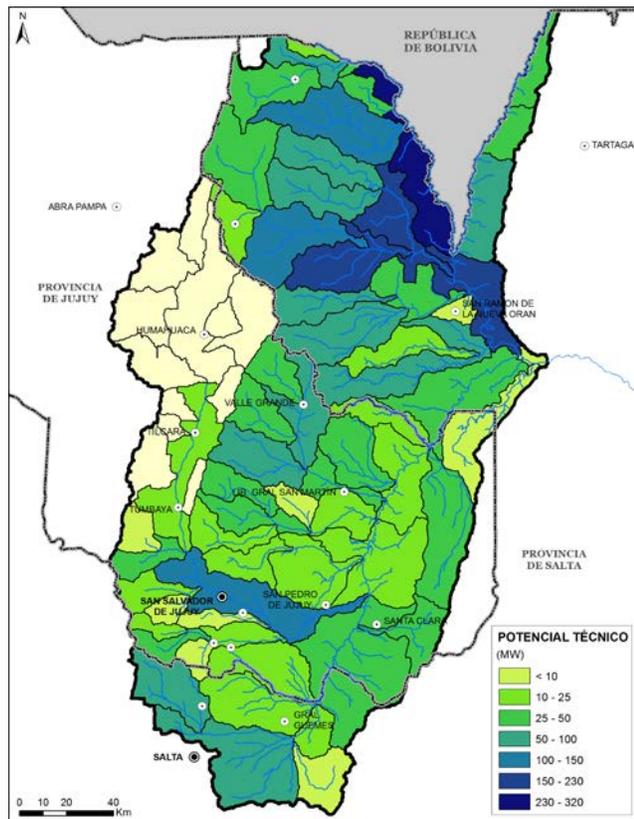


Figura 9. Potencial Hidroeléctrico Teórico de la Alta Cuenca del Río Bermejo a nivel de cuenca

Dicho límite máximo se adopta según los precios máximos de energía renovable (pequeños aprovechamientos), registrados en el país en los últimos años. La Figura 11 presenta la distribución de valores de ICB y Potencia Técnica (Ptec), en donde se observa una marcada concentración de tramos con Potencia Técnica menores a 4MW.

Otro parámetro de interés en el análisis es la energía anual específica, que surge del cociente entre la energía anual generada y la longitud del tramo.

Los tramos de mayor energía específica ($E_{esp} > 40 \text{ GWh/km}$) registran bajos valores de ICB ($ICB < 80 \text{ US\$ /MWh}$). Este resultado permite comprobar que los ríos de mayor energía específica presentan mejores condiciones para el aprovechamiento hidroeléctrico.

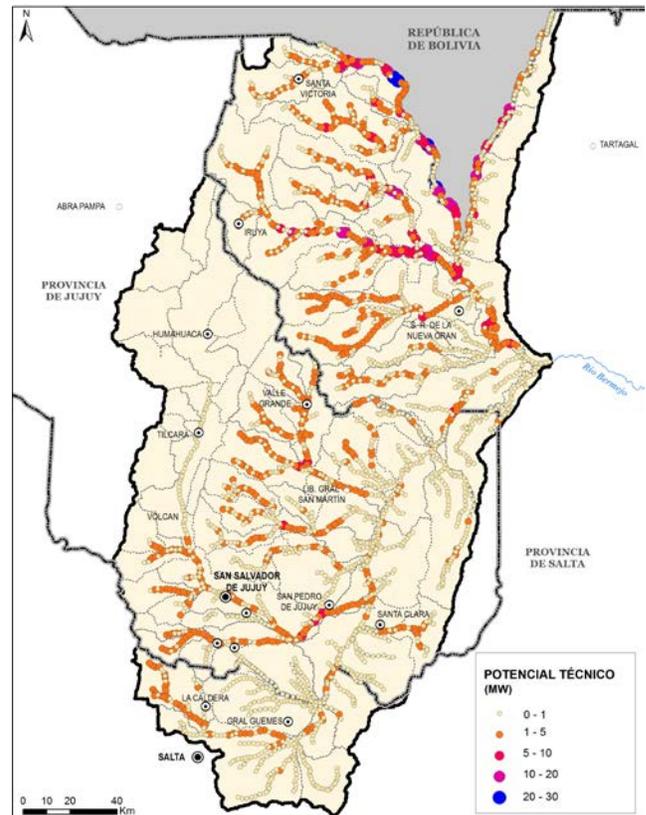


Figura 10. Potencial Hidroeléctrico Teórico de la Alta Cuenca del Río Bermejo a nivel de cuenca

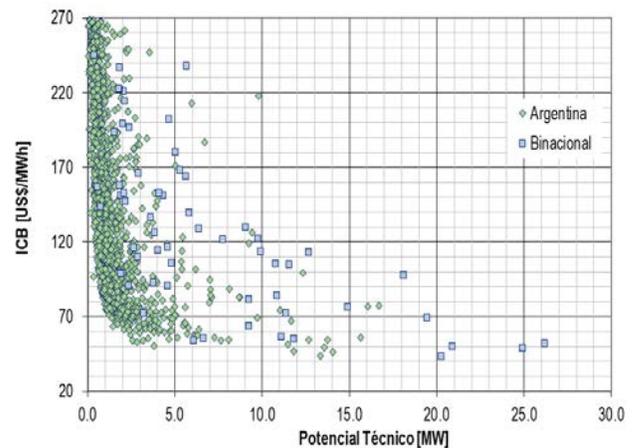


Figura 11: Distribución de valores ICB y Potencia Técnica en el rango de interés del ICB

3.6 Potencial hidroeléctrico en tramos del orden de 10km

La potencialidad de generación compuesta por sucesivos tramos, resulta de particular interés cuando se busca maximizar la potencia obtenida y aprovechar las economías de escala que implica prolongar la conducción pero con una misma obra de ingreso y restitución. En esta

consideración, se repitió el análisis anterior, para tramos del orden de 10km de longitud.

Para ello, se consideró la obra de toma ubicada en el tramo de aguas arriba, y se acumularon suficientes tramos hacia aguas abajo hasta llegar a los 10km buscados.

El cálculo siguió la misma metodología que para los tramos individuales, con la única diferencia en que se toma como desnivel la diferencia de cotas entre el tramo inicial y el final (10km hacia aguas abajo del nodo considerado), y que la longitud de la tubería es de aproximadamente 10km.

3.7 Identificación de potenciales proyectos de pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas

Ya que uno de los objetivos del presente estudio fue la determinación del potencial hidroeléctrico de la Alta Cuenca del Río Bermejo con foco en pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas, en tal sentido se planteó la necesidad de identificar los mejores potenciales proyectos en rangos de potencias que resultan de la consideración de tramos individuales o asociados en esquemas sin regulación, o a presas de regulación estacional asociadas a tramos de buen desnivel o a otros casos particulares.

➤ Selección de los sitios de interés

Considerando que las alternativas a seleccionar deben ser económicamente ventajosas, el primer criterio de selección que se utilizó es el Índice Costo Beneficio.

En base a este índice, se seleccionaron los 50 sitios de menor ICB tanto para tramos individuales como para tramos de 10km de longitud.

Las localizaciones más favorables para la realización de aprovechamientos hidroeléctricos se corresponden con aquellos ríos ubicados en zonas con características generales que suelen ser propicias para la generación hidroeléctrica, como grandes pendientes y caudales significativos. Los tramos seleccionados se encuentran en las laderas Este de la Cordillera Oriental, donde los desniveles son significativos y sobre las que las precipitaciones, y por lo tanto los caudales, son mayores. En este sentido se destaca el río Iruya como el que presenta los mayores potenciales y mejores ICB del área estudiada. También presentan condiciones favorables para los aprovechamientos hidroeléctricos los ríos cercanos al Iruya, como el Pescado, el Lipeo y el Santa

Cruz, así como más al sur, los afluentes del río San Lorenzo, en particular el río Valle Grande, y en menor medida los afluentes del Ledesma y los ríos más pequeños que bajan de las montañas ubicadas al Este de las ciudades de Jujuy y Salta.

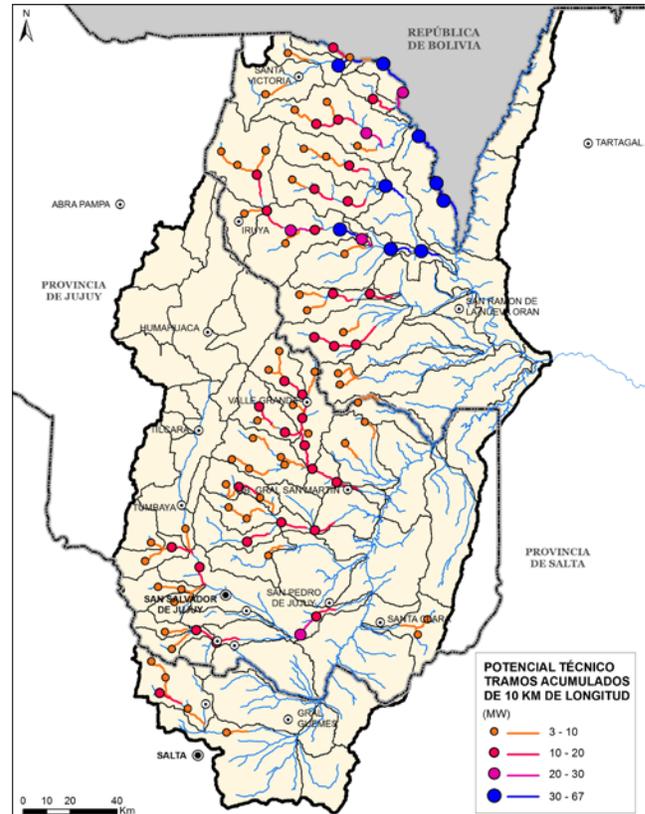


Figura 12. Mapa de potencial para tramos de 10km

Un caso particular lo constituye el río Bermejo en el sector fronterizo entre Argentina y Bolivia. Este trecho del río presenta altos potenciales y valores de ICB reducidos (mejores incluso que los del Iruya), y sus tramos integran el conjunto de los mejores (de mayor potencial técnico) de la parte Argentina de la cuenca. Sin embargo, por ser un recurso compartido con Bolivia, se retiraron de las localizaciones privilegiadas en las tablas presentadas.

3.8 Caracterización de las condiciones de regulación

Los usos vinculados a la regulación de crecidas y riego, se asocian primariamente con disponer un cierre sobre el curso de agua, de forma de obtener un volumen de retención adecuado para almacenar los derrames estacionales y permitir con ello la regulación de los caudales erogados según las necesidades de la población y producción aguas abajo.

Para este análisis y a efectos de favorecer la identificación de los potenciales aprovechamientos múltiples en cada uno de los subsistemas que conforman la Alta Cuenca del río Bermejo, el análisis energético por tramo se enriquece, con la conceptualización de nuevos parámetros de matriz geomorfológica, que posibiliten una caracterización espacial de la "aptitud" reguladora por tramo.

Dicha aptitud combinada con el derrame medio anual esperable en cada localización de análisis, constituye un "índice de regulación" puntual. Este parámetro está destinado a servir de orientación para caracterizar zonas con alguna aptitud inicial compatible con la formulación de proyectos de micro regulación para riego u otros usos de escala pequeña, apuntados al desarrollo local, que es un objetivo señalado por los actores de la cuenca.

La evaluación de la capacidad de regulación en distintas zonas de la Alta Cuenca exige la estimación de las características geométricas de los reservorios que potencialmente se generarían a partir de cierres en los tramos en los que se ha discretizado cada curso.

Para ello, se desarrolló una metodología de cálculo que permite a partir del modelo digital de terreno, la valoración de los volúmenes, áreas de embalse y longitud de cierres perpendiculares a la dirección de cada tramo de curso.

El análisis de las variables geométricas calculadas para cada punto y cada altura de cierre posibilita evidenciar zonas o tramos de ríos donde se presentan en forma relativa, características más o menos adecuadas para la ubicación de reservorios en atención a las características topográficas del sitio de emplazamiento.

El cálculo se efectuó para todos los tramos de análisis evaluándose alturas de cierre entre 10 y 60m. El procesamiento de los valores calculados permitió la generación de algunos índices que relacionan las dimensiones de los potenciales reservorios y las características hidrológicas de los cauces.

➤ Relación Volumen-Área de los reservorios

La relación entre el volumen y el área del reservorio es un valor dimensional expresado en metros y representa un estimador relativo de la "eficiencia" de ocupación del territorio; que pondera el beneficio inherente a la disponibilidad de agua para satisfacer algunas demandas a expensas del área inundada con consecuente pérdida de tierras, ocupación de zonas con producción o alteración de hábitat ecológico. Su valor numérico depende sólo de

las características geométricas de los valles de inundación intervenidos, es decir de la topografía local.

➤ Índice de regulación

Se denomina Tasa (o índice) de Regulación (R) de un sitio determinado, al cociente entre el volumen de embalse y el derrame medio anual para una altura de cierre adoptada y representa por lo tanto la proporción del derrame anual que el embalse permite almacenar.

La tasa de regulación determinada en cada tramo, refleja la capacidad que posee el embalse de almacenar un determinado porcentaje del derrame anual del curso de agua, para disponerlo en forma controlada según los usos y demandas.

Dicha tasa o tamaño del embalse en relación al derrame, es un indicador de la propiedad de regulación de caudales que tendría un aprovechamiento en una ubicación dada ya que a mayor tasa mayor regulación, se obtendría mayor seguridad de los caudales erogados, mayor volumen disponible y presumiblemente mejor relación costo beneficio.

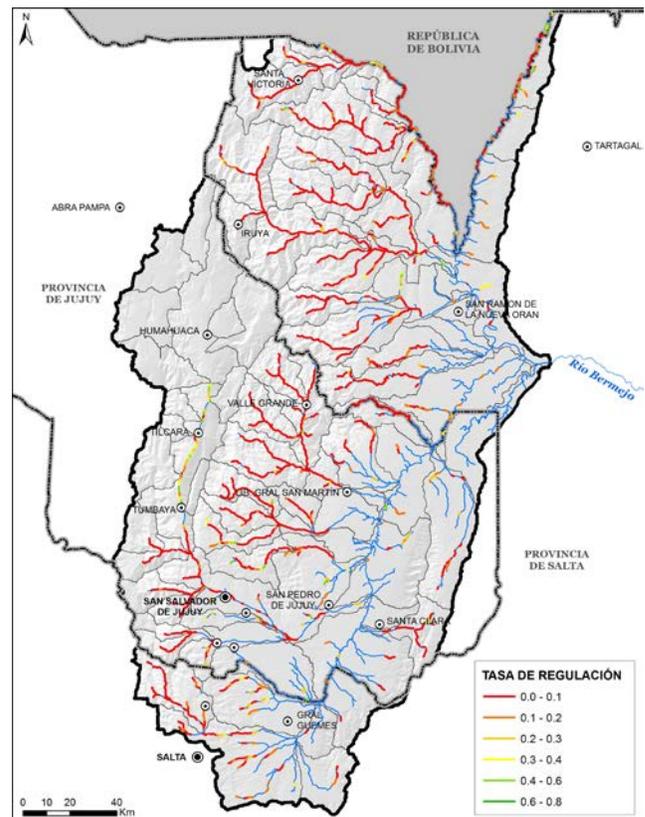


Figura 13. Tasa de regulación para altura de cierre de 30m en la red fluvial de la Alta Cuenca del Río Bermejo

Si la tasa de regulación detenta un valor bajo, por ejemplo menor al 20%, significa que el volumen de embalse es poco relevante frente al derrame del curso, por lo tanto su capacidad de regulación será mínima y no podrá ejercer una importante modificación en la distribución de los caudales a lo largo del año.

La consideración de la tasa de regulación en conjunto con las características geométricas agrega valiosa información al proceso de selección de tramos, ya que incorpora la consideración del caudal que escurre en el tramo y resulta asimismo un indicador del impacto ambiental que tendrá el embalse hacia aguas abajo. Mayores índices de regulación implican un mayor cambio en el régimen natural del río y mayores impactos.

➤ Procesos sedimentológicos

La producción de sedimentos de la Alta Cuenca del Río Bermejo se encuentra entre las más altas del mundo y su consideración resulta imprescindible para la implementación de planes de desarrollo de los recursos hídricos que contemplen la construcción de reservorios debido al efecto que la deposición de sedimentos puede causar en los embalses, reduciendo su volumen de almacenamiento, disminuyendo la vida útil del equipamiento hidroeléctrico y aumentando los costos.

Durante el desarrollo del estudio se evaluaron las características y cuantías del transporte de sedimentos mediante el análisis de datos de transporte sólido disponibles a partir de los registros de estaciones sedimentométricas, y de la implementación de un método paramétrico que en función de las características físicas de la cuenca (relieve, cobertura y uso de suelo, características geológicas y geomorfológicas) y de los forzantes externos de los procesos erosivos (dados por las condiciones climáticas) permitió la estimación de los volúmenes de sedimentos generados en las áreas de aporte que llegan a los cursos de la red fluvial.

Mediante la aplicación de esa metodología se obtuvo el mapa de producción de sedimentos por erosión superficial para la Alta Cuenca del Río Bermejo que constituye una herramienta eficaz para la identificación de zonas de mayor producción de sólidos y la evaluación de medidas de control de los procesos de erosivos. Asimismo, permitió la estimación de los volúmenes de aporte de sedimentos en todos los tramos de análisis en los que se segmentaron los cursos, donde se analizaron las condiciones para el desarrollo de potenciales aprovechamientos de los recursos hídricos,

proporcionando un criterio de valoración para la selección. En la Figura 14 se muestra el aporte de sedimentos producidos por erosión superficial que llega a cada tramo de los cursos de la red fluvial de la Alta Cuenca.

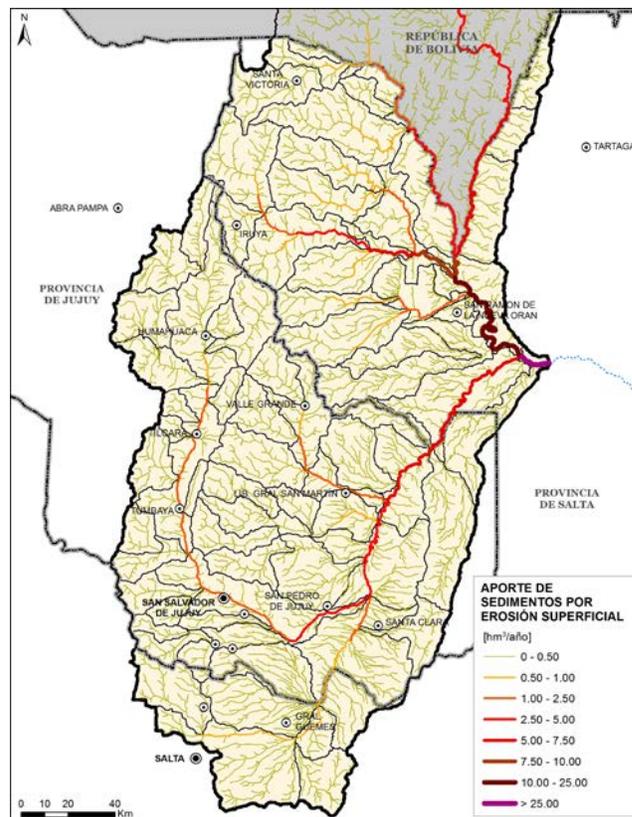


Figura 14. Aporte de sedimentos por erosión superficial a la red fluvial

Se evidencian las características de mayor aporte másico de sedimentos por parte del Río Bermejo Superior en relación al río San Francisco en una proporción de 3 a 1 y se distinguen los cursos y afluentes que en mayor proporción contribuyen a la carga clástica transportada. Así por ejemplo resalta la envergadura del aporte de sólidos al Río Iruya frente al que llega al Río Pescado antes de su unión y la mayor influencia de este último en la carga del Río Bermejo respecto a la que proviene de la cuenta superior (Alto Bermejo y Grande de Tarija). Asimismo denota que la carga de sólidos transportada por el Río San Francisco responde a la mayor magnitud de clastos aportados al Río Grande y Valle Grande.

➤ Indicador de atarquinamiento potencial

A partir de las estimaciones de aporte medio anual de sedimentos y en base a las características de los embalses que se producirían por cierres de diferentes alturas

normales a los cursos en cada tramo de los mismos, se calculó la relación entre el volumen de almacenamiento de un potencial embalse y la carga de sedimentos que llega a cada localización.

En la hipótesis que toda la carga es atrapada por el embalse, la relación definida como *Volumen de embalse/ Volumen medio anual* de aporte de sólidos virtualmente representa el tiempo promedio en años en el que el embalse se colmatará y perderá su capacidad. La Figura 15 se muestra la distribución del indicador calculado para embalses definidos por una altura de cierre de 30m:

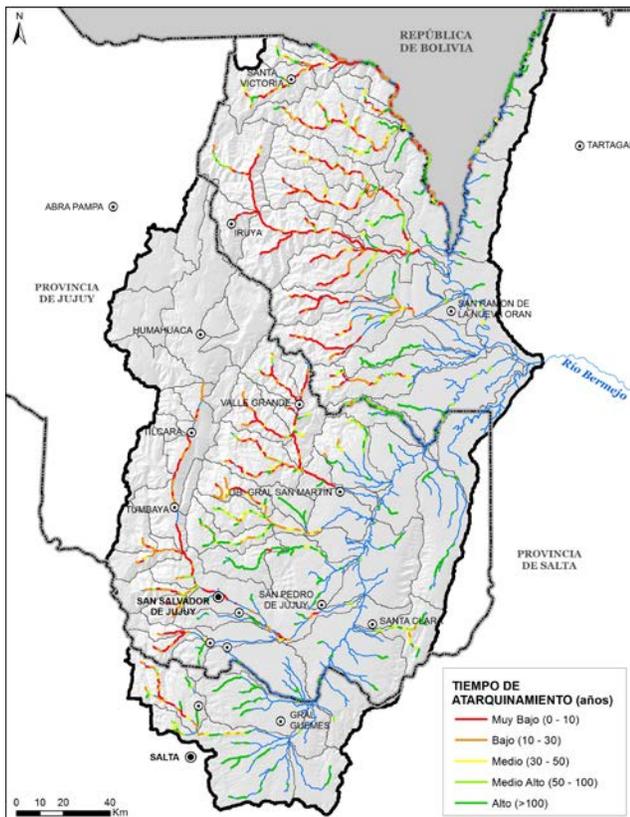


Figura 15. Tiempo estimado de atarquinamiento en reservorios de 30m de altura

Los resultados obtenidos evidencian la relevancia que la deposición de sólidos adquiere al momento de evaluar el establecimiento de embalses en la cuenca. Los cursos que presentan menor "tiempo de atarquinamiento" (mayor velocidad de pérdida de capacidad) se localizan en la cuenca del Río Iruya; en los afluentes del Río Blanco, San Andrés y Santa Cruz; en el tramo superior del Río Pescado y su afluente norte Río Porongal; en la cuenca del Río Valle Grande incluyendo sus afluentes Caspala, San Lucas, Duraznal y Tormentoso, y en numerosos tramos del Río Grande y en las nacientes del Río Perico.

3.9 Evaluación integrada: Selección de los mejores aprovechamientos de regulación y multipropósito

La selección de los mejores aprovechamientos de regulación se efectuó mediante una evaluación multicriterio en base a la definición de índices que contemplan las variables estudiadas y que señalan las características de cada tramo en cuanto a su aptitud reguladora.

Se definió el Índice de almacenamiento de cada sitio como la suma ponderada de la aptitud de almacenamiento que en una ubicación dada se produce para diferentes alturas de cierre. Se define para cada altura analizada la cantidad IA_H como la suma ponderada del valor cuantitativo atribuido a los parámetros de análisis definidos para alturas de 10 a 60m del posible cierre (con intercalo de discretización de 10m).

En esta definición se consideran los siguientes parámetros: caudal módulo anual (Q , m^3/seg), índice de regulación definido por el cociente entre el volumen de almacenamiento y el derrame anual (IR), relación volumen de almacenamiento y área del espejo (V/A en m) y tiempo de pérdida de la capacidad de almacenamiento debido a la retención potencial de sedimentos ($Tatarq$ en años).

$$IA_H = \sum_c W_c * P_c \quad \text{para } P_c = Q, V / D, IR, Tatarq$$

El valor acumulado de los índices asociados a cada altura de cierre, configura el Índice de Almacenamiento de cada localización obtenido como:

$$IA = \sum_H IA_H$$

Asimismo, se definió el índice multipropósito de cada sitio agregando a la consideración de la aptitud reguladora (mediante las variables involucradas en el Índice de Almacenamiento) la consideración de la energía media anual (E en GWh) calculada en base a la Potencia Instalada y el Factor de utilización. Para cada altura de cierre se calculó el valor:

$$IM_H = \sum_c W_c * P_c \quad \text{para } P_c = Q, V / D, IR, Tatarq, E$$

Donde: H : 10m, 20m, 30m, 40m y 60m y C : $E, Q, IR, V/A, Tatarq$, siendo W es un factor de peso o ponderación que se asumió uniforme y de valor unitario en la evaluación.

El valor acumulado de los índices asociados a cada altura de cierre, configuran el Índice de multipropósito de cada

localización obtenido como: $IM = \sum_H IM_H$ que fue evaluado en los sitios de menor ICB, es decir se mantiene el ICB como el único factor de ponderación económico, ya que presenta características de flexibilidad en su determinación, que lo hacen particularmente adaptable al proceso de selección de los mejores proyectos (no está influenciado por el precio de la energía).

Los valores de las variables involucradas en los cálculos fueron categorizados, estableciéndose la asignación de categorías para cada altura de cierre y atribuyendo a cada categoría un puntaje variable entre 1 y 5.

Tabla 4: Categorización de variables para definición de índices

Clase	Puntos	E	Q	IR	V/A	T atq
Muy Baja	1	<5	<10	<0,1	<0,2H	<10
Baja	2	<20	<20	<0,2	<0,4H	<30
Media	3	<50	<40	<0,3	<0,6H	<50
Alta	4	<100	<100	<0,4	<0,8H	<100
Muy Alta	5	>100	>100	>0,4	>0,8H	>100

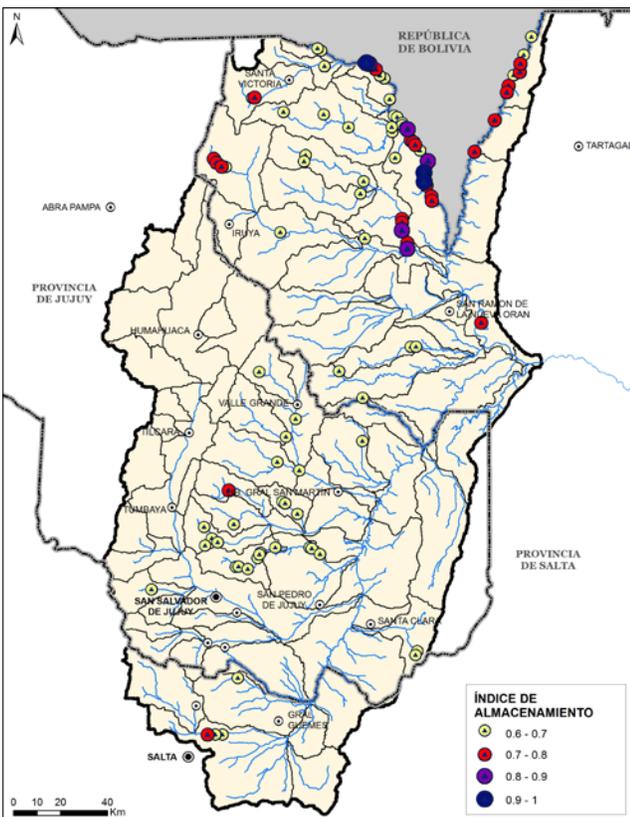


Figura 16. Localización de los 100 mejores proyectos por condiciones de almacenamiento

Se presentan los resultados de la identificación de los 100 mejores aprovechamientos de acuerdo a los criterios de selección establecidos: mayores valores de los índices de almacenamiento y multipropósito.

Las demandas expresadas por los actores de la Cuenca constituyeron un insumo básico en la selección de las zonas de potenciales aprovechamientos, que juntamente a los desarrollos presentados en los capítulos anteriores concurren a la definición de los sitios más propicios.

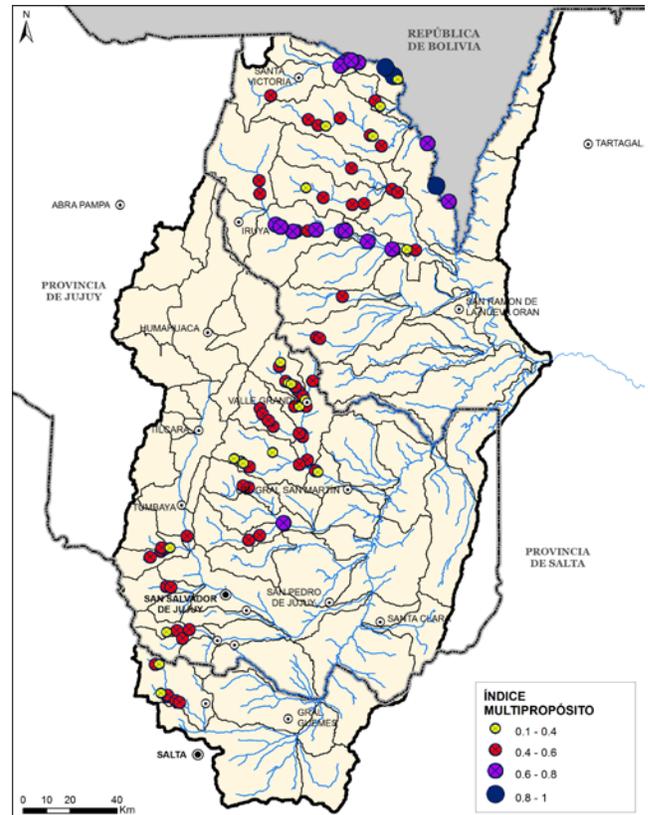


Figura 17. Localización de los 100 mejores proyectos por condiciones de usos múltiples

Los indicadores significativos para el análisis multicriterio de alternativas, consideraron la maximización de la eficiencia económica energética en conjunto con la minimización de los impactos socioambientales negativos.

Se evaluaron las oportunidades morfológicas y geométricas de las cauces para emplazar obras de cierre que permitan regular el recurso y disponer del agua para otros usos consuntivos tales como el riego y el consumo humano, ponderando sus tasas de regulación respecto del derrame anual y considerando el impacto de los procesos de transporte y deposición de sedimentos sobre la vida

útil de las obras de cierre estudiadas, así como la magnitud del área inundada por obras de distinta altura.

En la etapa de selección final los resultados anteriores fueron evaluados en forma conjunta, refinando los criterios de análisis para intervalos de variables en los que se asigna la mayor validez y consistencia al análisis realizado, y manteniendo un adecuado equilibrio entre la implementabilidad y la sostenibilidad de las obras resultantes cuya localización incorpora las prioridades y demandas existentes.

Se analizaron en esta etapa localizaciones que proporcionan aptitud de regulación de caudales de hasta 50% y volúmenes de embalse superiores a 50hm³, seleccionándose para los mismos, la menor altura de obra que proporciona los valores objetivo y considerando como valor de ponderación en la elección tanto el impacto de los procesos de transporte y deposición de sedimentos sobre la vida útil de las obras de cierre estudiadas como la afectación espacial de obras de almacenamiento.

La Tabla 5 denota un conjunto más restringido de localizaciones adecuadas, en la que se adicionan los mejores sitios identificados para generación de energía (mayores potenciales para tramos de 10km de longitud) y que configuran las categorías distinguidas de acuerdo a su aptitud prevalente o posibilidad de múltiples propósitos. Estas localizaciones se indican en la Figura 18.

Tabla 5. Localización de posibles aprovechamientos de los recursos hídricos en la Alta Cuenca del Río Bermejo

Río	Provincia
Posibles aprovechamientos de regulación	
Río San Lucas	Jujuy
Río Negro (Pozo Hunter)	Jujuy
Río Santa María	Salta
Río Pescado	Salta
Yacones	Salta

Río	Provincia
Posibles aprovechamientos hidroenergéticos	
Río Los Toldos	Salta
Río Lipeo	Salta
Río Iruya (El Portillo)	Salta
Río Iruya (San José)	Salta
Río Nazareno	Salta
Río San Andrés	Salta
Río Nieves	Salta
Río Caspalá	Jujuy
Río Valle Grande	Jujuy
Río León	Jujuy
Río Cerro Negro	Jujuy
Río Ledesma	Jujuy
Posibles aprovechamientos de usos múltiples	
Río Santa Victoria	Salta
Río Pescado (Pescado III)	Salta
Río Iruya (Monoyoc)	Salta
Río Mojotoro	Salta
Río Burremayo	Jujuy
Río Corral de Piedras	Jujuy
Río de las Capillas	Jujuy
Río San Lorenzo	Jujuy
Río Grande	Jujuy

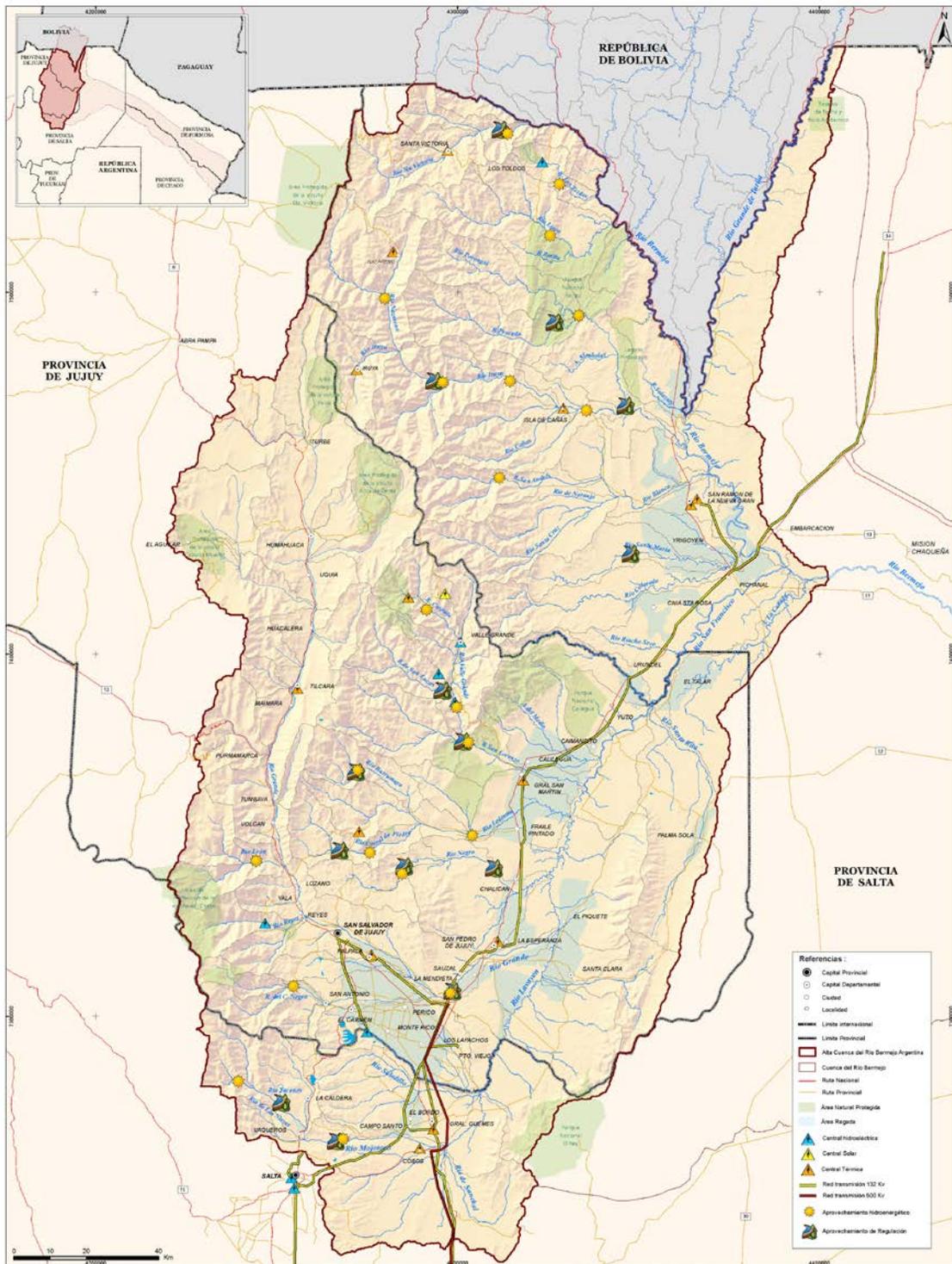


Figura 18. Selección de mejores localizaciones para aprovechamientos de recursos hídricos en la Alta Cuenca

4. RESULTADOS

4.1 Priorización Energética

4.1.1 Sitios de menor Índice Costo-Beneficio

N°	Cuenca	Región	Longitud (km)	Pendiente (m/km)	ICB (U\$/MWh)	Potencial Técnico (MW)	Caudal de diseño (m ³ /s)	Energía media anual (GWh)
1	Río Alto Bermejo	II	1,776	59,94	43,37	20,28	25,56	97,37
2	Río Santa Cruz	II	1,883	106,06	43,79	13,33	8,95	64,00
3	Río Iruya Superior	II	1,816	50,12	46,36	14,04	20,70	71,90
4	Río Iruya Superior	II	2,204	65,35	46,78	11,83	11,02	60,56
5	Río Alto Bermejo	II	1,504	35,24	48,68	24,93	71,15	119,71
6	Río Iruya Superior	II	2,029	48,30	49,48	13,57	22,48	69,51
7	Río Alto Bermejo	II	2,974	37,33	49,71	20,89	25,25	100,32
8	Río Burremayo	VI	1,296	171,24	50,56	3,78	2,59	20,21
9	Río Iruya Superior	II	1,816	41,30	51,37	11,47	20,51	58,74
10	Río Alto Bermejo	II	1,803	24,40	51,95	26,20	79,88	125,81
11	Río Santa Rosa	II	2,167	118,12	53,70	6,08	3,19	29,19
12	Río Caspala	VI	1,086	133,47	53,74	3,16	2,92	16,89
13	Río Iruya Superior	II	1,217	53,42	53,86	7,64	15,76	39,10
14	Río Duraznal	VI	1,982	242,70	54,09	2,59	0,72	13,83
15	Río Pescado	II	1,503	33,92	54,43	12,67	33,33	63,37
16	Río Iruya Inferior	II	1,326	31,66	54,61	13,73	47,22	70,30
17	Río Santa Cruz	II	1,883	63,74	54,70	8,08	9,03	38,79
18	Río Caspala	VI	2,226	88,97	54,89	4,66	3,16	24,89
19	Río Alto Bermejo	II	1,650	39,39	55,15	11,79	24,33	56,62
20	Río Reyes	IV	2,241	116,47	55,38	3,47	1,78	19,08
21	Río Condado	II	1,034	73,52	55,40	6,64	11,72	31,89
22	Río Duraznal	VI	1,863	62,79	55,81	5,16	5,91	27,54
23	Río Pescado	II	2,443	26,20	55,92	15,65	32,80	78,24
24	Río Iruya Superior	II	1,337	47,75	56,17	7,26	15,26	37,19
25	Río Condado	II	2,796	43,99	56,64	11,11	12,11	53,32
26	Río Los Toldos	II	2,385	88,88	56,98	6,14	3,88	29,46
27	Río Valle Grande	VI	2,061	44,15	57,66	6,29	9,28	33,63
28	Río Iruya Superior	II	1,554	51,07	57,89	6,11	10,33	31,30
29	Río Caspala	VI	1,027	128,49	58,07	2,47	2,50	13,17
30	Río Alisar	II	1,049	59,10	58,46	5,68	12,30	28,42
31	Qda P. de La Cuesta	IV	1,209	102,53	58,78	2,96	3,21	15,55
32	Río Nazareno	II	1,222	72,02	59,59	4,07	6,20	20,84
33	Río Valle Grande	VI	1,686	67,01	59,69	3,78	4,49	20,22
34	Río Lipeo	II	1,182	85,48	59,74	4,39	5,83	21,07

N°	Cuenca	Región	Longitud (km)	Pendiente (m/km)	ICB (U\$S/MWh)	Potencial Técnico (MW)	Caudal de diseño (m ³ /s)	Energía media anual (GWh)
35	Río Iruya Superior	II	1,111	58,49	60,24	4,71	9,72	24,11
36	Río Lipeo	II	2,682	104,78	60,47	4,80	2,29	23,05
37	Río Naranjo	II	2,076	123,77	60,67	3,74	1,95	17,96
38	Río San Lucas	VI	1,903	102,48	60,82	2,77	1,91	14,82
39	Río Valle Grande	VI	2,158	141,24	61,07	2,39	1,05	12,78
40	Río de Morado	IV	1,971	180,12	61,34	2,08	0,79	10,92
41	Río Lipeo	II	1,259	50,04	61,36	6,37	13,56	30,58
42	Río Valle Grande	VI	1,224	52,29	61,69	4,14	8,69	22,14
43	Río La Caldera	V	2,623	99,13	61,92	3,81	1,97	19,24
44	Qda P. de La Cuesta	IV	2,809	107,86	61,95	3,33	1,47	17,45
45	Río Ranjel	VI	1,986	63,96	62,22	3,57	3,77	19,08
46	Río Lipeo	II	2,967	71,67	62,57	5,79	3,65	27,79
47	Río Caspala	VI	1,853	68,53	62,76	3,21	3,39	17,15
48	Río La Caldera	V	1,999	164,59	62,76	2,32	0,95	11,71
49	Río San Lucas	VI	1,441	100,61	62,91	2,28	2,11	12,16
50	Río Valle Grande	VI	2,856	109,61	63,27	2,93	1,26	15,65
51	Río Valle Grande	VI	2,158	122,80	63,49	2,28	1,15	12,17
52	Río León	IV	1,740	109,16	63,73	2,32	1,64	12,20
53	Río Alto Bermejo	II	1,650	30,90	63,73	9,22	24,25	44,27
54	Río Duraznal	VI	1,164	175,26	63,86	1,44	0,95	7,70
55	Río Candelaria	VI	2,204	36,30	64,12	5,48	9,19	29,30
56	Río Porongal	II	1,056	63,42	64,27	3,80	7,60	18,97
57	Río Nazareno	II	1,724	57,44	64,88	3,78	5,12	19,37
58	Río Lipeo	II	1,626	91,20	64,97	3,23	2,92	15,51
59	Río Los Toldos	II	2,385	64,98	65,00	4,77	4,13	22,89
60	Río San Lucas	VI	1,431	79,67	65,01	2,45	2,88	13,09
61	Río Duraznal	VI	1,641	111,52	65,01	1,97	1,44	10,51
62	Río San Lucas	VI	2,443	58,13	65,11	3,64	3,43	19,43
63	Qda P. de La Cuesta	IV	1,494	143,24	65,31	1,71	1,07	8,95
64	Río Burremayo	VI	2,533	63,17	65,37	3,46	2,90	18,49
65	Río Lipeo	II	1,334	44,97	65,58	5,58	12,49	26,80
66	Río Reyes	IV	1,981	80,76	65,67	2,30	1,93	12,68
67	Río La Caldera	V	1,439	115,35	65,68	2,15	1,74	10,88
68	Río La Caldera	V	1,896	64,36	65,75	3,49	3,84	17,63
69	Río Alisar	II	1,603	65,49	65,93	3,44	4,39	17,18
70	Río Lipeo	II	1,334	44,24	66,00	5,55	12,62	26,64
71	Río Alisar	II	1,284	52,96	66,11	4,05	7,98	20,23
72	Río San Lucas	VI	1,425	61,77	66,18	2,85	4,35	15,24

N°	Cuenca	Región	Longitud (km)	Pendiente (m/km)	ICB (U\$/MWh)	Potencial Técnico (MW)	Caudal de diseño (m ³ /s)	Energía media anual (GWh)
73	Río La Caldera	V	1,896	63,83	66,54	3,37	3,74	17,03
74	Río La Caldera	V	1,999	138,58	66,64	2,09	1,01	10,54
75	Río Grande Medio	III	1,938	66,58	67,16	1,72	1,79	10,69
76	Río Santa Victoria	II	1,526	85,17	67,34	2,94	3,03	14,10
77	Río Iruya Inferior	II	1,719	18,62	67,38	11,65	48,85	59,67
78	Río San Andrés	II	1,812	61,81	67,49	3,86	4,62	18,53
79	Río Valle Grande	VI	1,224	44,12	67,96	3,50	8,70	18,72
80	Río Caspala	VI	1,086	82,84	68,20	1,99	2,96	10,61
81	Río Duraznal	VI	1,641	96,29	68,37	1,84	1,56	9,82
82	Río de Morado	IV	2,368	81,50	68,53	2,55	1,77	13,38
83	Río Caspala	VI	1,887	104,39	68,77	1,80	1,23	9,63
84	Río Alisar	II	0,397	178,72	68,88	1,48	2,79	7,40
85	Río Iruya Superior	II	1,626	35,76	68,96	4,84	11,17	24,80
86	Río de Morado	IV	1,029	136,97	69,11	1,38	1,31	7,25
87	Río Valle Grande	VI	1,686	52,18	69,15	2,94	4,48	15,69
88	Río Los Toldos	II	2,385	54,41	69,17	4,37	4,52	20,99
89	Río Alisar	II	1,543	38,87	69,24	4,72	10,55	23,59
90	Río Cerro Negro	IV	2,208	69,75	69,27	2,62	2,29	13,77
91	Río Alto Bermejo	II	2,186	16,93	69,30	19,45	81,52	93,38
92	Río Iruya Inferior	II	1,377	19,61	69,36	9,72	48,26	49,75
93	Qda P. de La Cuesta	IV	1,209	76,07	69,42	2,14	3,12	11,25
94	Río Caspala	VI	1,776	66,46	69,49	2,37	2,70	12,68
95	Río Ranjel	VI	1,727	53,86	69,56	2,82	4,06	15,04
96	Río La Caldera	V	1,884	77,50	69,62	2,52	2,32	12,74
97	Río Caspala	VI	1,853	57,74	69,74	2,66	3,34	14,22
98	Río Caspala	VI	1,887	106,51	69,94	1,68	1,12	8,99
99	Río Naranjo	II	1,791	87,66	70,36	2,60	2,22	12,49
100	Río San Lorenzo	VI	1,129	35,44	70,40	3,86	12,96	20,64

4.1.2 Sitios de menor Índice Costo- Beneficio para segmentos de 10km de longitud

Nº	Cuenca	Región	Longitud (km)	Pendiente (m/km)	ICB (U\$/MWh)	Potencial Técnico (MW)	Caudal de diseño (m ³ /s)	Energía media anual (GWh)
1	Río Alto Bermejo	II	10,34	1,96	52,64	63,79	24,01	306,28
2	Río Santa Cruz	II	11,36	106,06	55,84	44,44	8,95	213,37
3	Río Iruya Inferior	II	10,50	31,66	61,62	57,73	47,22	295,63
4	Río Caspala	VI	10,94	128,49	65,90	15,37	2,50	82,11
5	Río Iruya Superior	II	11,33	65,35	69,47	27,43	11,02	140,46
6	Río Iruya Superior	II	11,53	41,30	69,77	35,94	20,51	184,04
7	Río Alto Bermejo	II	11,07	13,63	70,90	66,26	70,82	318,13
8	Río Burremayo	VI	10,21	56,31	72,06	11,75	2,56	62,79
9	Río Pescado	II	10,53	15,99	72,99	36,30	29,51	181,47
10	Río Pescado	II	10,23	6,57	73,84	62,97	97,08	314,81
11	Río Reyes	IV	11,11	67,04	74,94	9,77	1,58	53,73
12	Río San Lucas	VI	10,52	102,48	75,09	10,17	1,91	54,34
13	Río Alto Bermejo	II	10,18	24,40	75,13	58,36	79,88	280,21
14	Río Duraznal	VI	10,40	242,70	75,27	7,13	0,72	38,10
15	Río Iruya Superior	II	10,46	7,89	75,38	28,85	22,24	147,73
16	Río Los Toldos	II	11,93	88,88	75,95	18,96	3,88	91,03
17	Río León	IV	10,59	92,50	76,74	9,22	1,43	48,35
18	Río Lipeo	II	10,41	23,17	77,40	23,71	12,38	113,83
19	Río Lipeo	II	10,12	91,20	78,05	12,82	2,92	61,54
20	Río Caspala	VI	11,79	57,74	78,10	13,58	3,34	72,58
21	Río Santa Rosa	II	10,21	43,72	78,36	12,49	2,69	59,97
22	Río San Lorenzo	VI	10,02	12,55	78,77	18,54	12,94	99,04
23	Río La Caldera	V	10,36	124,07	78,92	7,59	0,84	38,34
24	Río San Andrés	II	10,20	29,80	79,01	14,66	4,34	70,37
25	Qda Pie de La Cuesta	IV	10,46	103,55	79,17	7,41	0,96	38,91
26	Río Iruya Superior	II	10,79	29,88	79,18	18,96	9,41	97,11
27	Río Lipeo	II	10,72	53,11	81,34	16,47	5,70	79,05
28	Río Nazareno	II	10,24	20,89	81,42	13,14	5,09	67,26
29	Río Naranjo	II	10,58	123,77	82,01	10,71	1,95	51,44
30	Río de Morado	IV	10,43	180,12	82,05	6,42	0,79	33,67
31	Río Valle Grande	VI	10,03	141,24	82,24	6,45	1,05	34,45
32	Río Cerro Negro	IV	10,28	77,61	83,12	7,77	1,55	40,79
33	Río Alto Bermejo	II	10,28	1,30	83,45	50,90	81,27	244,38
34	Río San Lucas	VI	10,13	43,16	83,65	10,29	3,91	55,00
35	Río La Caldera	V	11,63	115,35	83,65	10,28	1,74	51,91
36	Qda Pie de La Cuesta	IV	10,75	35,99	84,45	10,92	3,55	57,28
37	Río Duraznal	VI	10,78	71,35	85,20	7,50	1,46	40,08
38	Río Grande Inferior	IV	11,26	22,11	85,23	24,12	20,88	126,57
39	Río Naranjo	II	10,40	69,75	85,88	11,59	3,30	55,63
40	Río Caspala	VI	10,07	140,99	85,94	5,39	0,79	28,77
41	Río Valle Grande	VI	10,45	7,31	86,08	14,27	8,87	76,25
42	Río Ranjel	VI	11,14	63,96	86,64	10,83	3,77	57,84
43	Río Duraznal	VI	10,68	85,96	87,19	7,43	1,67	39,72

N°	Cuenca	Región	Longitud (km)	Pendiente (m/km)	ICB (UsS/MWh)	Potencial Técnico (MW)	Caudal de diseño (m ³ /s)	Energía media anual (GWh)
44	Río Valle Grande	VI	10,79	85,05	87,54	6,48	1,12	34,60
45	Río La Caldera	V	10,20	50,99	88,41	7,69	1,76	38,83
46	Río Alisar	II	10,40	14,90	89,44	15,81	10,24	79,05
47	Río Alisar	II	10,52	58,63	89,58	10,89	4,01	54,44
48	Río Grande Medio	III	10,41	27,79	90,12	5,29	1,77	32,83
49	Río Cerro Negro	IV	10,80	42,63	90,90	10,54	4,49	55,32
50	Río Lipeo	II	10,51	96,38	91,22	8,90	2,12	42,75
51	Río Valle Grande	VI	10,72	17,70	91,59	11,01	5,70	58,84
52	Río Nazareno	II	10,34	37,93	91,87	7,84	2,29	40,17
53	Arroyo El Colorado	V	10,17	0,00	92,25	7,92	2,38	40,02
54	Río San Lucas	VI	10,20	61,89	92,36	5,40	1,11	28,85
55	Río Porongal	II	10,12	50,06	92,70	9,98	4,28	49,89
56	Río Ledesma	VI	10,13	22,68	92,90	13,27	10,92	70,91
57	Río Iruya Superior	II	10,20	55,34	94,49	6,83	1,91	34,98
58	Ao. de Las Canteras	VI	10,05	73,16	94,49	5,45	1,35	29,11
59	Río Porongal	II	10,84	28,40	94,64	13,26	7,51	66,32
60	Río Duraznal	VI	10,21	45,17	94,81	7,29	2,79	38,95
61	Río Naranjo	II	11,96	32,62	95,08	14,06	5,37	67,50
62	Río Santa Victoria	II	11,09	69,94	95,58	9,75	2,81	46,82
63	Río Lipeo	II	10,63	109,35	96,10	7,03	1,39	33,76
64	Río Lipeo	II	10,32	107,70	96,19	5,91	0,96	28,36
65	Río Iruya Superior	II	10,78	53,42	96,62	17,03	15,76	87,23
66	Río Colanzuli	II	10,30	62,83	97,17	6,09	1,55	31,18
67	Río Grande Inferior	IV	10,28	23,57	97,26	18,50	23,20	97,09
68	Río San Andrés	II	11,17	110,18	98,08	6,75	1,13	32,41
69	Río Perico	IV	10,52	10,30	99,34	11,35	8,27	59,54
70	Río Porongal	II	10,47	51,46	100,29	5,98	1,44	29,88
71	Río Reyes	IV	10,21	40,27	101,02	5,99	2,53	32,93
72	Río San Andrés	II	10,07	82,19	101,21	5,14	0,94	24,66
73	Río Guerrero	IV	10,03	93,68	101,23	3,77	0,81	20,75
74	Río Burrumayo	VI	10,13	118,89	101,70	4,03	0,83	21,55
75	Río Colorado	II	11,59	97,09	102,01	6,77	1,22	32,50
76	Río Candelaria	VI	10,09	69,08	102,18	4,77	1,36	25,48
77	Río Caspala	VI	10,67	130,33	102,52	4,74	1,10	25,31
78	Río Santa Rosa	II	10,81	37,37	102,60	8,83	3,31	42,41
79	Río de Las Capillas	VI	10,38	33,63	103,83	7,38	3,99	39,44
80	Río Duraznal	VI	10,26	13,09	104,06	7,11	3,81	37,98
81	Río Nazareno	II	10,34	0,00	104,34	4,88	1,19	24,98
82	Río San Andrés	II	10,36	21,54	104,68	10,80	6,74	51,85
83	Río San Lorenzo	VI	10,11	7,91	104,70	11,19	11,37	59,81
84	Arroyo El Colorado	V	10,30	43,09	104,96	6,55	2,52	33,10
85	Río Alto Bermejo	II	10,90	6,57	105,37	23,68	32,08	113,69
86	Río Nazareno	II	10,83	90,54	105,64	4,62	0,92	23,64
87	Río La Caldera	V	10,96	19,16	106,24	8,89	4,62	44,90
88	Río Colorado	II	10,90	48,71	106,39	6,49	1,70	31,17

Nº	Cuenca	Región	Longitud (km)	Pendiente (m/km)	ICB (U\$/MWh)	Potencial Técnico (MW)	Caudal de diseño (m ³ /s)	Energía media anual (GWh)
89	Río Alisar	II	10,22	52,12	108,03	5,01	1,41	25,04
90	Río de Las Piedras	VI	12,17	83,39	108,81	5,24	1,17	28,02
91	Río Grande Inferior	IV	11,37	27,26	109,57	10,03	7,14	52,63
92	Río Naranjo	II	10,17	60,23	109,69	5,16	1,37	24,78
93	Arroyo de Las Canteras	VI	10,46	37,28	109,81	4,36	1,32	23,31
94	Río Mojotoro Superior	V	10,30	37,24	110,18	9,78	7,95	49,40
95	Río Burrumayo	VI	10,11	23,33	111,47	5,83	3,24	31,15
96	Río Candelaria	VI	11,72	36,30	111,58	11,04	9,19	58,97
97	Río Candelaria	VI	10,36	50,79	111,68	5,62	2,77	30,03
98	Río Iruya Inferior	II	10,63	60,86	111,76	6,72	3,35	34,43
99	Río Valle Grande	VI	10,63	91,07	112,00	3,74	0,90	20,00
100	Río Santa Cruz	II	10,21	64,09	112,53	5,07	1,46	24,33

4.2 Priorización por condiciones de almacenamiento

4.1.1 Sitios de mejores condiciones para obras de almacenamiento

Nº	Cuenca	Región	Caudal actual (m ³ /s)	Volumen hc=20m (Hm ³)	Volumen hc=30m (Hm ³)	Volumen hc=40m (Hm ³)	Volumen hc=60m (Hm ³)	Volumen sedimentos (hm ³ /año)	Índice Almacenamiento IAS
1	Río Alto Bermejo	II	105,68	348,88	571,42	842,91	1576,43	3,43	1,00
2	Río Alto Bermejo	II	30,88	153,38	244,65	347,50	581,65	1,76	0,93
3	Río Alto Bermejo	II	104,48	249,29	412,23	617,62	1195,72	3,40	0,93
4	Río Alto Bermejo	II	31,96	116,92	209,38	314,45	558,68	1,79	0,88
5	Río Pescado	II	61,62	99,80	167,73	248,32	799,46	1,91	0,86
6	Río Pescado	II	59,61	98,56	212,09	383,91	932,47	1,88	0,84
7	Río Alto Bermejo	II	102,38	125,65	209,45	321,58	653,88	3,37	0,83
8	Río Alto Bermejo	II	82,86	152,46	273,97	425,38	846,86	3,06	0,83
9	Río Alto Bermejo	II	82,30	129,41	234,08	366,47	761,34	3,05	0,80
10	Río Alto Bermejo	II	111,06	86,67	147,14	220,89	414,05	3,50	0,80
11	Río Alto Bermejo	II	97,56	24,16	39,39	471,01	1163,26	3,26	0,77
12	Río Santa Victoria	II	3,83	13,12	22,00	33,07	63,19	0,12	0,77
13	Río Grande de Tarija Superior	I	30,71	34,83	76,73	143,85	404,46	0,25	0,77
14	Río Grande de Tarija Medio	I	156,98	72,77	266,98	602,89	1949,96	5,15	0,75
15	Río Grande de Tarija Superior	I	24,49	27,26	74,82	146,35	380,26	0,22	0,75
16	Río Pescado	II	57,92	45,48	114,48	226,10	583,39	1,85	0,75

N°	Cuenca	Región	Caudal actual (m3/s)	Volumen hc=20m (Hm3)	Volumen hc=30m (Hm3)	Volumen hc=40m (Hm3)	Volumen hc=60m (Hm3)	Volumen sedimentos (hm3/año)	Índice Almacenamiento IAS
17	Río Nazareno	II	1,97	7,13	12,00	17,63	31,36	0,12	0,74
18	Río Alto Bermejo	II	97,42	9,04	14,76	435,36	1101,75	3,26	0,74
19	Río Grande de Tarija Medio	I	151,83	96,64	205,25	445,01	1108,13	5,05	0,74
20	Río Alto Bermejo	II	110,77	60,06	103,19	156,27	295,84	3,50	0,74
21	Río Pescado	II	57,69	45,18	112,34	217,90	537,64	1,85	0,74
22	Río Burremayo	VI	4,17	12,24	20,40	30,01	53,32	0,23	0,72
23	Río Alto Bermejo	II	97,78	1,42	49,95	409,89	1079,20	3,27	0,72
24	Río Grande de Tarija Superior	I	25,31	26,44	72,37	157,36	435,72	0,22	0,72
25	Río Alto Bermejo	II	106,72	401,06	659,56	975,09	1821,59	3,46	0,72
26	Río Mojotoro Superior	V	11,75	25,87	58,68	102,65	219,03	0,50	0,72
27	Río Nazareno	II	1,33	3,79	6,22	8,88	15,23	0,07	0,71
28	Río Nazareno	II	2,08	5,73	10,80	17,09	32,48	0,13	0,71
29	Río Grande de Tarija Superior	I	28,74	18,59	50,92	119,07	410,91	0,24	0,71
30	Río Alto Bermejo	II	33,36	2,55	4,80	262,17	547,11	1,87	0,71
31	Río Pescado	II	61,59	41,66	72,48	111,23	251,67	1,91	0,71
32	Río Bermejo	II	455,68	168,31	696,44	1592,47	4875,60	19,18	0,71
33	Río Nazareno	II	2,22	5,93	11,25	17,33	31,86	0,15	0,70
34	Río Caspala	VI	1,45	3,18	6,00	9,79	22,46	0,04	0,70
35	Río Ranjel	VI	5,08	10,20	19,28	30,39	59,86	0,05	0,70
36	Río de Las Capillas	VI	4,75	10,88	22,21	38,56	89,19	0,01	0,70
37	Río Mojotoro Superior	V	12,02	18,06	33,24	51,98	98,62	0,51	0,70
38	Río San Lucas	VI	6,72	20,89	36,47	55,17	105,01	0,49	0,70
39	Río Negro	VI	10,12	14,63	31,47	55,37	124,87	0,08	0,70
40	Río Lipeo	II	1,62	3,39	6,16	9,68	20,65	0,06	0,70
41	Río Grande de Tarija Superior	I	23,98	13,89	32,37	62,11	207,98	0,21	0,70
42	Río Condado	II	17,63	126,32	201,99	287,84	484,70	0,92	0,70
43	Río Candelaria	VI	1,74	3,36	6,78	11,95	29,37	0,01	0,68
44	Río Ranjel	VI	1,82	3,12	6,02	9,94	25,95	0,01	0,68
45	Río Valle Grande	VI	1,89	2,95	7,25	12,53	29,20	0,04	0,68
46	Río Alto Bermejo	II	99,67	43,90	73,44	107,42	192,89	3,31	0,68
47	Río Alto Bermejo	II	103,97	206,54	339,76	508,50	983,77	3,39	0,68
48	Río Alto Bermejo	II	53,21	35,92	66,71	109,92	249,41	2,24	0,68

Nº	Cuenca	Región	Caudal actual (m ³ /s)	Volumen hc=20m (Hm ³)	Volumen hc=30m (Hm ³)	Volumen hc=40m (Hm ³)	Volumen hc=60m (Hm ³)	Volumen sedimentos (hm ³ /año)	Índice Almacenamiento IAS
49	Río Alto Bermejo	II	56,27	39,96	89,33	153,80	341,45	2,26	0,68
50	Río Santa Victoria	II	3,74	7,88	13,40	20,58	41,00	0,12	0,68
51	Río Alto Bermejo	II	105,54	264,13	441,26	660,75	1275,21	3,43	0,68
52	Río Negro	VI	10,33	8,96	20,83	38,73	91,98	0,08	0,68
53	Río Capillas	VI	4,34	5,80	13,82	25,78	64,78	0,01	0,67
54	Río Capillas	VI	6,55	8,00	14,28	22,17	43,57	0,03	0,67
55	Río Alto Bermejo	II	52,00	24,51	46,18	77,03	182,06	2,23	0,67
56	Río Alto Bermejo	II	2,88	4,50	10,11	17,63	41,01	0,03	0,67
57	Río Lipeo	II	28,36	22,45	47,70	89,10	224,19	0,76	0,67
58	Río Alisar	II	18,99	29,49	55,29	90,97	192,08	0,91	0,67
59	Río Porongal	II	17,28	27,35	53,67	88,98	182,02	0,70	0,67
60	Río Lipeo	II	4,73	6,41	15,30	30,13	84,41	0,02	0,67
61	Río Santa Rosa	II	2,96	4,83	7,76	11,22	23,99	0,09	0,67
62	Río Alto Bermejo	II	34,73	26,77	43,77	62,90	125,41	1,94	0,67
63	Río Reyes	IV	2,11	4,66	7,70	11,44	20,89	0,12	0,67
64	Río Iruya Superior	II	14,41	32,15	51,71	73,91	124,43	2,35	0,65
65	Río de Las Capillas	VI	4,07	4,79	11,04	20,72	53,05	0,01	0,65
66	Río Negro	VI	10,10	5,45	13,43	25,95	67,24	0,08	0,65
67	Río de Las Capillas	VI	6,87	8,06	15,31	24,75	50,54	0,04	0,65
68	Río Colorado	II	2,02	14,51	23,34	33,01	54,78	0,11	0,65
69	Río Alto Bermejo	II	103,17	178,84	293,25	439,70	856,98	3,38	0,65
70	Río Alto Bermejo	II	56,27	25,88	66,85	121,75	286,91	2,26	0,65
71	Río Alto Bermejo	II	44,23	30,78	61,47	102,35	219,21	2,08	0,65
72	Río Grande de Tarija Superior	I	30,59	10,00	33,60	79,12	288,44	0,25	0,65
73	Río Lipeo	II	1,86	3,11	7,26	11,52	22,82	0,09	0,65
74	Ao. El Colorado	V	1,83	2,81	5,32	8,98	20,13	0,01	0,65
75	Río Saladillo	V	2,96	3,01	4,94	7,83	18,77	0,01	0,65
76	Río Ranjel	VI	2,60	3,41	6,79	11,23	23,73	0,03	0,64
77	Río Colorado	VI	2,81	3,64	8,13	16,04	44,97	0,01	0,64
78	Río Colorado	VI	3,75	2,88	7,23	13,78	36,91	0,01	0,64
79	Río Duraznal	VI	10,61	10,38	27,55	51,43	127,81	0,51	0,64
80	Río Santa María	II	10,49	6,54	17,63	37,82	130,82	0,07	0,64
81	Río Lipeo	II	13,52	17,02	29,61	47,85	96,28	0,57	0,64
82	Río Porongal	II	2,79	7,42	13,52	22,21	44,28	0,28	0,64

N°	Cuenca	Región	Caudal actual (m ³ /s)	Volumen hc=20m (Hm ³)	Volumen hc=30m (Hm ³)	Volumen hc=40m (Hm ³)	Volumen hc=60m (Hm ³)	Volumen sedimentos (hm ³ /año)	Índice Almacenamiento IAS
83	Río Iruya Inferior	II	2,49	3,35	8,14	15,53	43,44	0,06	0,64
84	Río Santa Cruz	II	11,32	14,59	24,59	36,04	65,41	0,52	0,64
85	Río Alto Bermejo	II	32,69	149,62	259,89	384,15	670,69	1,84	0,64
86	Río Alto Bermejo	II	33,65	23,30	39,00	56,08	96,60	1,88	0,64
87	Río Ranjel	VI	3,52	3,06	6,32	11,23	25,35	0,04	0,62
88	Río Duraznal	VI	4,70	6,81	11,70	18,83	47,70	0,18	0,62
89	Arroyo de Las Canteras	VI	3,09	2,60	5,88	11,32	30,08	0,03	0,62
90	Río Colorado	VI	2,17	1,84	4,96	10,15	30,60	0,00	0,62
91	Río de Las Capillas	VI	7,49	6,02	16,72	33,13	88,54	0,06	0,62
92	Río de Las Capillas	VI	6,61	5,25	10,14	16,55	33,83	0,03	0,62
93	Río Santa María	II	10,14	4,38	11,89	28,34	102,19	0,07	0,62
94	Río Porongal	II	1,12	2,54	4,77	7,73	15,79	0,10	0,62
95	Río Grande de Tarija Superior	I	27,78	92,91	182,85	324,07	762,48	0,24	0,62
96	Río Grande de Tarija Superior	I	21,76	5,38	26,59	57,82	169,23	0,20	0,62
97	Río Santa Rosa	II	3,20	24,10	39,69	57,92	109,64	0,11	0,62
98	Río de Las Piedras	VI	2,35	2,72	6,77	13,03	36,91	0,02	0,62
99	Ao. El Colorado	V	1,75	1,26	3,73	7,80	28,08	0,01	0,62
100	Río Mojotoro Superior	V	11,81	69,26	133,96	216,16	422,15	0,51	0,62

4.3 Priorización por condiciones para usos múltiples

4.1.1 Sitios de mejores condiciones para aprovechamientos multipropósito

Nº	Cuenca	Región	Caudal actual (m ³ /s)	ICB (U\$/M Wh)	Potencial Técnico (MW)	Energía media anual (GWh)	Volumen sedimentos (hm ³ /año)	Índice Almacenamiento	Índice Multipropósito
1	Río Alto Bermejo	II	34,73	49,71	20,89	100,32	1,94	0,67	0,90
2	Río Alto Bermejo	II	33,36	63,73	9,22	44,27	1,87	0,71	0,84
3	Río Alto Bermejo	II	109,89	51,95	26,20	125,81	3,49	0,59	0,84
4	Río Alto Bermejo	II	112,15	69,30	19,45	93,38	3,51	0,58	0,77
5	Río Alto Bermejo	II	33,48	55,15	11,79	56,62	1,87	0,54	0,73
6	Río Condado	II	16,66	56,64	11,11	53,32	0,83	0,49	0,68
7	Río Iruya Superior	II	20,80	53,86	7,64	39,10	3,50	0,54	0,67
8	Río Iruya Inferior	II	62,31	54,61	13,73	70,30	5,51	0,48	0,67
9	Río Iruya Superior	II	27,32	46,36	14,04	71,90	3,98	0,46	0,66
10	Río Santa Cruz	II	12,42	54,70	8,08	38,79	0,60	0,52	0,66
11	Río Santa Cruz	II	12,32	43,79	13,33	64,00	0,59	0,46	0,66
12	Río Iruya Superior	II	27,07	51,37	11,47	58,74	3,97	0,45	0,64
13	Río Iruya Superior	II	29,67	49,48	13,57	69,51	4,04	0,45	0,64
14	Río Candelaria	VI	15,16	64,12	5,48	29,30	0,48	0,49	0,63
15	Río Alto Bermejo	II	97,89	48,68	24,93	119,71	3,27	0,45	0,63
16	Río Iruya Superior	II	14,54	46,78	11,83	60,56	2,38	0,42	0,62
17	Río Santa Cruz	II	12,64	70,85	5,06	24,27	0,62	0,48	0,62
18	Río Iruya Superior	II	12,82	60,24	4,71	24,11	1,89	0,46	0,60
19	Río Iruya Superior	II	13,63	57,89	6,11	31,30	2,15	0,46	0,60
20	Río Valle Grande	VI	1,74	61,07	2,39	12,78	0,09	0,51	0,59
21	Río Valle Grande	VI	15,30	57,66	6,29	33,63	1,44	0,45	0,59
22	Río Iruya Superior	II	20,14	56,17	7,26	37,19	3,42	0,45	0,59
23	Río Santa Rosa	II	4,38	53,70	6,08	29,19	0,18	0,45	0,59
24	Río La Caldera	V	2,94	61,92	3,81	19,24	0,11	0,49	0,58
25	Río San Lucas	VI	3,15	60,82	2,77	14,82	0,19	0,48	0,56
26	Río Valle Grande	VI	14,32	61,69	4,14	22,14	1,39	0,42	0,56
27	Río Lipeo	II	17,18	65,58	5,58	26,80	0,64	0,42	0,56
28	Río Lipeo	II	18,66	61,36	6,37	30,58	0,65	0,42	0,56
29	Río Condado	II	16,13	55,40	6,64	31,89	0,80	0,42	0,56
30	Río Caspala	VI	4,13	58,07	2,47	13,17	0,25	0,46	0,55
31	Río San Lorenzo	VI	21,36	70,40	3,86	20,64	1,95	0,41	0,55
32	Río Lipeo	II	8,02	59,74	4,39	21,07	0,38	0,41	0,55
33	Río Pescado	II	43,69	55,92	15,65	78,24	1,69	0,41	0,55

Nº	Cuenca	Región	Caudal actual (m3/s)	ICB (U\$/M Wh)	Potencial Técnico (MW)	Energía media anual (GWh)	Volumen sedimentos (hm3/año)	Índice Almacenamiento	Índice Multipropósito
34	Río Porongal	II	10,12	64,27	3,80	18,97	0,60	0,46	0,55
35	Río Caspala	VI	5,20	54,89	4,66	24,89	0,41	0,39	0,53
36	Río Ranjel	VI	6,22	62,22	3,57	19,08	0,06	0,45	0,53
37	Río Duraznal	VI	9,74	55,81	5,16	27,54	0,50	0,39	0,53
38	Río Alisar	II	14,05	69,24	4,72	23,59	0,86	0,39	0,53
39	Río Nazareno	II	8,19	59,59	4,07	20,84	1,02	0,38	0,52
40	Qda P. de Cuesta	IV	1,44	65,31	1,71	8,95	0,05	0,43	0,52
41	Río Lipeo	II	3,15	60,47	4,80	23,05	0,18	0,38	0,52
42	Río Alisar	II	16,38	58,46	5,68	28,42	0,89	0,38	0,52
43	Río Reyes	IV	2,57	65,67	2,30	12,68	0,13	0,43	0,52
44	Río Ranjel	VI	6,69	69,56	2,82	15,04	0,07	0,42	0,51
45	Río Caspala	VI	5,50	69,74	2,66	14,22	0,42	0,42	0,51
46	Río Iruya Inferior	II	64,47	67,38	11,65	59,67	5,56	0,36	0,51
47	Río Reyes	IV	2,37	55,38	3,47	19,08	0,13	0,42	0,51
48	Río Cerro Negro	IV	3,09	69,27	2,62	13,77	0,18	0,42	0,51
49	Río La Caldera	V	1,41	62,76	2,32	11,71	0,04	0,42	0,51
50	Río Duraznal	VI	2,57	68,37	1,84	9,82	0,16	0,41	0,49
51	Qda P. de Cuesta	IV	1,99	61,95	3,33	17,45	0,08	0,41	0,49
52	Río León	IV	2,22	63,73	2,32	12,20	0,08	0,41	0,49
53	Río Valle Grande	VI	14,35	67,96	3,50	18,72	1,40	0,41	0,49
54	Río Pescado	II	44,40	54,43	12,67	63,37	1,70	0,35	0,49
55	Río Caspala	VI	2,02	68,77	1,80	9,63	0,08	0,39	0,48
56	Río Burumayo	VI	4,27	50,56	3,78	20,21	0,24	0,33	0,48
57	Río Valle Grande	VI	2,07	63,27	2,93	15,65	0,13	0,39	0,48
58	Río San Lucas	VI	3,47	62,91	2,28	12,16	0,22	0,38	0,47
59	Qda P. de Cuesta	IV	4,22	69,42	2,14	11,25	0,16	0,38	0,47
60	Río San Lucas	VI	7,17	66,18	2,85	15,24	0,51	0,38	0,47
61	Río Naranjo	II	3,06	70,36	2,60	12,49	0,26	0,38	0,47
62	Río La Caldera	V	5,74	65,75	3,49	17,63	0,27	0,38	0,47
63	Río de Morado	IV	1,78	69,11	1,38	7,25	0,10	0,38	0,47
64	Río Naranjo	II	2,69	60,67	3,74	17,96	0,23	0,36	0,45
65	Río Caspala	VI	4,88	68,20	1,99	10,61	0,38	0,36	0,45
66	Río San Lucas	VI	4,75	65,01	2,45	13,09	0,35	0,36	0,45
67	Río Valle Grande	VI	7,38	69,15	2,94	15,69	0,62	0,36	0,45
68	Río San Andrés	II	6,36	67,49	3,86	18,53	0,68	0,36	0,45

N°	Cuenca	Región	Caudal actual (m3/s)	ICB (U\$S/M Wh)	Potencial Técnico (MW)	Energía media anual (GWh)	Volumen sedimentos (hm3/año)	Índice Almac enamiento	Índice Multipr opósito
69	Río Santa Victoria	II	4,17	67,34	2,94	14,10	0,13	0,36	0,45
70	Río La Caldera	V	5,59	66,54	3,37	17,03	0,26	0,36	0,45
71	Río de Morado	IV	2,39	68,53	2,55	13,38	0,13	0,36	0,45
72	Río Nazareno	II	6,76	64,88	3,78	19,37	0,76	0,35	0,44
73	Río San Lucas	VI	5,66	65,11	3,64	19,43	0,46	0,35	0,44
74	Río Grande Medio	III	1,80	67,16	1,72	10,69	1,66	0,35	0,44
75	Río Lipeo	II	4,02	64,97	3,23	15,51	0,23	0,35	0,44
76	Río Burremayo	VI	4,78	65,37	3,46	18,49	0,26	0,33	0,42
77	Río Alisar	II	5,85	65,93	3,44	17,18	0,54	0,33	0,42
78	Río Los Toldos	II	5,34	56,98	6,14	29,46	0,09	0,32	0,42
79	Río La Caldera	V	3,46	69,62	2,52	12,74	0,13	0,33	0,42
80	Río Iruya Superior	II	14,74	68,96	4,84	24,80	2,41	0,30	0,41
81	Río Duraznal	VI	1,56	63,86	1,44	7,70	0,07	0,32	0,38
82	Río Caspala	VI	1,85	69,94	1,68	8,99	0,07	0,30	0,37
83	Río Duraznal	VI	1,19	54,09	2,59	13,83	0,04	0,30	0,37
84	Qda P. de Cuesta	IV	4,33	58,78	2,96	15,55	0,17	0,30	0,37
85	Río La Caldera	V	1,51	66,64	2,09	10,54	0,04	0,30	0,37
86	Río Caspala	VI	4,45	69,49	2,37	12,68	0,32	0,28	0,34
87	Río Caspala	VI	4,82	53,74	3,16	16,89	0,37	0,28	0,34
88	Río Duraznal	VI	4,10	70,56	2,58	13,77	0,17	0,28	0,34
89	Río San Lorenzo	VI	17,17	70,80	3,73	19,91	1,95	0,28	0,34
90	Río Caspala	VI	5,59	62,76	3,21	17,15	0,43	0,28	0,34
91	Río Alto Bermejo	II	35,16	43,37	20,28	97,37	1,94	0,25	0,34
92	Río Iruya Inferior	II	63,70	69,36	9,72	49,75	5,54	0,22	0,29
93	Río Lipeo	II	5,02	62,57	5,79	27,79	0,27	0,17	0,25
94	Río Los Toldos	II	6,21	69,17	4,37	20,99	0,10	0,17	0,25
95	Río de Morado	IV	1,06	61,34	2,08	10,92	0,07	0,20	0,25
96	Río Valle Grande	VI	1,90	63,49	2,28	12,17	0,10	0,17	0,22
97	Río Alisar	II	3,72	68,88	1,48	7,40	0,39	0,17	0,22
98	Río Lipeo	II	17,36	66,00	5,55	26,64	0,64	0,10	0,14
99	Río Duraznal	VI	2,38	65,01	1,97	10,51	0,14	0,10	0,12
100	Río La Caldera	V	2,60	65,68	2,15	10,88	0,09	0,10	0,12

5. MAPAS

Mapa N°	Nombre del Mapa	Escala
GEN	Mapa de regiones y subcuencas	1:650.000
POT-01	Mapa de Potencial Teórico -resultados por subcuencas	1:650.000
POT-02	Mapa de Potencial Teórico	1:650.000
POT-03	Mapa de Potencial Técnico -resultados por subcuencas	1:650.000
POT-04	Mapa de Potencial Técnico	1:650.000
POT-05	Mapa de Potencial Técnico y Teórico - Subcuencas por Región	1:250.000
ACU-01	Mapa de Potencial Técnico para tramos de 10km de longitud	1:650.000
ACU-02	Mapa de Índice Costo Beneficio para tramos de 10km de longitud	1:650.000
IND-01	Mapa de Índice Costo Beneficio	1:650.000
IND-02	Mapa de Índice Costo Beneficio - Subcuencas por Región	1:250.000
IND-03	Mapa de aptitud de regulación distribuida – Altura de cierre 20 metros	1:650.000
IND-04	Mapa de aptitud de regulación distribuida – Altura de cierre 60 metros	1:650.000
IND-05	Mapa de Índice de Almacenamiento	1:650.000
IND-06	Mapa de Índice Multipropósito	1:650.000
RES-01	Mapa de sectores de interés para la localización de posibles aprovechamientos de los recursos hídricos para las Jurisdicciones Provinciales	1:650.000
RES-02	Mapa de Potencial Técnico para las 100 mejores localizaciones según Índice Costo Beneficio	1:650.000
RES-03	Mapa de Potencial Técnico para las 100 mejores localizaciones según Índice Costo Beneficio acumulado para tramos de 10km de longitud	1:650.000
RES-04	Mapa de Índice de Almacenamiento para las 100 mejores localizaciones	1:650.000
RES-05	Mapa de Índice de Multipropósito para las 100 mejores localizaciones	1:650.000
RES-06	Mapa de localización de aprovechamientos priorizados	1:650.000