



# ATLAS DEL POTENCIAL HIDROENERGETICO DEL PARAGUAY

Convenio ITAIPU – FPTI\_py N°  
4500020686/2011  
Proyecto: INVENTARIO DE LOS  
RECURSOS HIDROENERGÉTICOS  
DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE  
LOS RÍOS AFLUENTES DEL PARANA Y  
PARAGUAY EN LA REGIÓN ORIENTAL  
DEL PARAGUAY (RHPY).

## VOLUMEN I

## PRESENTACION

El presente ATLAS DEL POTENCIAL HIDROENERGETICO DEL PARAGUAY es el resultado del estudio del Inventario de los Recursos Hidroenergéticos de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Afluentes del Paraguay y del Paraná de la Región Oriental del Paraguay realizado en el marco del convenio N° 4500020686/2011, refrendado por Itaipu Binacional y la Fundación Parque Tecnológico Itaipu-Paraguay en fecha 20 de Octubre de 2011.

La metodología aplicada para el estudio fue definida por el equipo consultor y los especialistas del proyecto en talleres de trabajo realizados al inicio de las actividades, denominándose al conjunto de conceptos, métodos e instrumentos, “Marco Conceptual y Metodológico” el cual tiene como base principal el Modelo de Prospección Hidroenergética Remanente (MPHR) que permite obtener un abanico de posibilidades desde potencias mínimas hasta las máximas posibles. En el estudio que compete a éste proyecto dicho abanico de potencialidades fue acotado usando, en primer lugar, como límite mínimo el valor de potencia de 1 MW y posteriormente 5 MW o más. Para dicho propósito, fue establecido un criterio de selección de las cuencas más atractivas y en ellas se consideraron las diferentes alternativas y soluciones posibles como cuencas aisladas.

El modelo se sustenta básica y principalmente en el tratamiento de información relacionada a la topografía, utilizando un Modelo Digital de Terreno y datos estadísticos referentes al caudal de los cursos de agua, con apoyo de información del clima, geología y consideración de aspectos relacionados a demanda energética y características socio ambientales.

En cuanto a la cartografía digital de apoyo se recurrió a bases de datos existentes, obrantes en instituciones públicas y en el acervo cartográfico disponible en el Centro de Innovación en Información Geográfica (CIIG) del PTI, en internet o el archivo de los especialistas contratados en el proyecto. De la misma manera se procedió para la obtención de datos hidrométricos, pero en este caso, debido a la falta de información se recurrió a métodos indirectos para completar las series estadísticas necesarias. Para esto último, hubo que recurrir al método de regionalización de cuencas, por lo que se recopiló información de cuencas y estaciones respectivas, cercanas al área de estudio, localizadas en países limítrofes (Brasil y Argentina).

Puntualmente, en lo que respecta a datos meteorológicos, se recopilaron datos de las estaciones operadas por la Dirección de Meteorología e Hidrología de la DINAC, institución que cuenta con las estaciones con datos más antiguos, datos de la Administración Nacional de Energía Eléctrica y de la ITAIPU cuyas estaciones mayormente operan desde la década del '70, también se recurrió a la base de datos del Climatic Research Unit (CRU), la misma cuenta con datos mensuales de 9 variables climáticas desde el año 1901 hasta el año 2009, con una resolución de 0,5° X 0,5°.

Toda la información se articuló y procesó en un contexto espacial, utilizando la plataforma de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El ATLAS se articula en dos tomos, el Volumen I contiene los aspectos teóricos y el Volumen II toda la cartografía generada y relacionada al estudio.

## **RESPONSABLES DEL PROYECTO**

### **DIRECTOR EJECUTIVO DE ITAIPU BINACIONAL**

Ing. Franklin Boccia Romañach

### **COORDINADOR DE LA UNIVERSIDAD CORPORATIVA ITAIPU (UC.GP)**

Ing. Pedro Domaniczky Lanyk

### **FISCALIZACIÓN POR PARTE DE LA UC.GP**

Ing. Alberto Garcete

### **FUNDACION PARQUE TECNOLOGICO ITAIPU – PARAGUAY (FPTI\_PY)**

Director Ejecutivo: Ing. Calixto Saguier

Director Técnico: Arq. Luis Vernazza Gorostiaga

Director Administrativo Financiero: Sr. Ricardo Villalba

### **CENTRO DE INNOVACION EN INFORMACION GEOGRAFICA (CIIG – FPTI\_PY)**

Coordinador del Centro: Arq. Jorge Acuña F.

## EQUIPO DE TRABAJO

El estudio del Inventario de los Recursos Hidroenergéticos de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Afluentes del Paraguay y del Paraná en Paraguay fue realizado por el equipo de profesionales que se enlista a continuación:

| <b>Nombre</b>                   | <b>Puesto</b>   |
|---------------------------------|---|
| Ing. Rubens Almirón             | Líder del Proyecto  |
| Dr. Carlos E.M. Tucci           | Especialista en Aprovechamiento Energético                  |
| Dr. Dante Larentis              | Especialista en Aprovechamiento Energético                  |
| Ing. Cesar Rolandi              | Especialista en Hidrología                                  |
| Lic. Darío Gómez                | Especialista en Geología                                    |
| Lic. Manuel Figueredo Ruiz Díaz | Especialista en Geología (estudios de campo)                |
| Ing. Andrés Wehrle              | Especialista en Hidrología                                  |
| Lic. Roxana Sánchez             | Especialista en Sistemas de Información Geográfica          |
| Ing. Benjamín Real Sohlberg     | Especialista en Hidrología y Topografía (estudios de campo) |
| Ing. José Pérez Pérez           | Especialista Ambiental                                      |
| Ing. Elizabeth Villa            | Profesional Jr.   |
| Ing. David Fleitas              | Profesional Jr.   |
| Ing. Héctor Chaparro            | Profesional Jr.   |
| Arq. Raquel Areco               | Digitalizador SIG   |
| Arq. Fátima Jara                | Digitalizador SIG   |
| Lic. Myrian Arazatey            | Asistente   |

# CONTENIDO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | INTRODUCCION.....   | 7  |
| 1.1   | GENERALIDADES .....   | 7  |
| 1.2   | OBJETIVOS Y ALCANCE .....   | 9  |
| 1.3   | PRODUCTOS OBTENIDOS.....  | 10 |
| 2     | ÁREA DE ESTUDIO, CARACTERIZACIÓN.....   | 11 |
| 2.1   | REGIONES GEOGRÁFICAS.....   | 11 |
| 2.2   | RELIEVE .....   | 11 |
| 2.3   | HIDROGRAFÍA.....  | 13 |
| 2.3.1 | CUENCA DEL RIO PARAGUAY.....  | 14 |
| 2.3.2 | CUENCA DEL RÍO PARANA.....  | 16 |
| 2.3.3 | LAGOS Y HUMEDALES.....  | 17 |
| 2.4   | CLIMA.....  | 18 |
| 2.5   | BIODIVERSIDAD.....  | 18 |
| 3     | METODOLOGIA.....  | 20 |
| 3.1   | METODOLOGÍA GENERAL .....   | 20 |
| 3.1.1 | ETAPAS DE LA METODOLOGÍA.....   | 20 |
| 3.1.2 | FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGÍA .....  | 23 |
| 4     | RESULTADOS .....  | 24 |
| 4.1   | GRUPO A: APROVECHAMIENTO DE LAS CUENCAS LOCALIZADAS EN LA REGION ORIENTAL DEL PARAGUAY PARA LAS VERTIENTES DE LOS RÍOS PARAGUAY Y PARANÁ..... | 25 |
| 4.1.1 | SIMULACIÓN 1 .....  | 25 |
| 4.1.2 | SIMULACIÓN 2 .....  | 26 |
| 4.1.3 | SIMULACIÓN 3 .....  | 27 |
| 4.1.4 | SIMULACIÓN 4 .....  | 27 |
| 4.2   | GRUPO B: EMPRENDIMIENTOS CON SINERGIA CON ITAIPU POR INTERCONEXIÓN DE CUENCAS: UTILIZACIÓN DE LAS AGUAS NO TURBINABLES DE ITAIPU .....        | 29 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.3 | GRUPO C: EMPRENDIMIENTOS MULTIFINALITARIOS EN EL RÍO PARAGUAY..... | 30 |
| 4.4 | RESUMEN DE TODOS LOS GRUPOS.....                                   | 30 |

## 1 INTRODUCCION

### 1.1 GENERALIDADES

El Paraguay pertenece, en su totalidad, a la cuenca del Río de la Plata, una de las de mayor envergadura en el mundo, por su extensión, por los caudales que produce y por sus recursos naturales; siendo el Paraná y Paraguay los ríos más importantes de dicha cuenca.

La región paraguaya más favorecida en términos hídricos es la Oriental por su abundancia de aguas superficiales y del subsuelo, en condiciones atractivas por su calidad, cantidad y profundidad.

La disponibilidad de agua por recursos superficiales es de 67.000 m<sup>3</sup>/hab./Año (UNESCO), que convierte al Paraguay en el país con más disponibilidad per-cápita de América del Sur.

La producción hidroeléctrica alcanza aproximadamente unos 50.000 GWH/Año, cifra que representa un 70 % de la demanda eléctrica argentina, un 15 % de la demanda de electricidad del Brasil; y más de 10 veces la demanda actual de energía eléctrica del Paraguay.

En contrapartida se presentan los siguientes aspectos:

- la disponibilidad de agua potable no se corresponde con el acceso a la misma, ya que el 56 % de la población del país no cuenta con los servicios de agua potable;
- la navegación, con un papel importante en la economía paraguaya, se reduce a los ríos Paraguay y Paraná (éste último solamente en algunos tramos).

Con esto queda claro que la problemática del agua en Paraguay no es la cantidad sino principalmente el correcto manejo de la misma. Para ello es necesario disponer de un Plan Nacional de los Recursos Hídricos en Paraguay, para lo cual es de fundamental importancia conocer su disponibilidad. Es por eso que la Ley No 3239/2007 “De los Recursos Hídricos del Paraguay” establece la obligatoriedad de realizar un inventario de los recursos hídricos.

Tampoco existen dudas en que el principal instrumento que posee el Paraguay con vistas a iniciar un proceso de desarrollo sustentable es la hidroenergía, y que existe todavía un potencial hidráulico instalable en los ríos de la región Oriental del Paraguay.

En ese contexto, a mediano plazo, la construcción de las centrales de pequeño y mediano porte se presenta como una opción importante por varios motivos, a saber:

- aportar energía eléctrica a comunidades con bajo nivel económico y alejadas de los grandes núcleos de población y de las líneas de transmisión, disminuyendo los incentivos que generan las migraciones hacia zonas urbanas;
- menor efecto ambiental que las obras de porte;
- beneficios adicionales como agua potable, riego, recreación y turismo;

- variada oferta de financiamiento internacional en condiciones preferenciales;
- viabilizar el desarrollo industrial local en comunidades marginadas del país (zona de pobreza), dando la oportunidad de incorporarse a la cadena productiva nacional;
- contribuir a través de la generación distribuida a la disminución de las pérdidas técnicas de las redes eléctricas;
- otorgar mayor estabilidad en el abastecimiento de energía eléctrica para algunos sectores (varias fuentes).

La idea de aprovechar el potencial hidroenergético de los ríos interiores del Paraguay se constituyó desde hace un buen tiempo en objeto de gran interés por parte del Gobierno y de la ingeniería paraguaya. Ya en 1956 se estableció un Acuerdo entre la República del Paraguay y la República Federativa del Brasil para realizar estudios para el aprovechamiento hidroeléctrico de los ríos Acaray y Monday.

De esos estudios resultó el anteproyecto para la implantación del primer aprovechamiento hidroeléctrico del Paraguay, la de la Central del Río Acaray, cuya construcción fue llevada a cabo por la ANDE, con apoyo financiero del BID. La misma, en primera etapa, contó con dos unidades generadoras de 45 MW cada una, con las cuales Paraguay no solo atendió su mercado interno, sino que, además, se pudieron atender necesidades de regiones limítrofes de la Argentina y el Brasil, convirtiéndose así en un adelantado en Interconexiones Energéticas.

Así, se continuaron las obras en la Central Acaray con la instalación de dos unidades generadoras adicionales, de 50 MW cada una, y con la construcción de un reservorio de regulación sobre el río Yguazú, el cual, además de permitir el funcionamiento de la central Acaray con una generación anual de aproximadamente 950 GWh, da lugar a la instalación de unidades generadoras adicionales, tanto en la misma presa del río Yguazú, como en la del Acaray.

En el año 1975, se firmó un convenio entre los Gobiernos de Paraguay y Brasil, para realizar estudios referentes al potencial energético de los ríos de la Región del Alto Paraná, trabajo que se dio en llamar “Estudio de los Ríos del Alto Paraná - Paraguay”, el cual fue llevado adelante por ANDE y ELETROBRAS, entidades ejecutivas designadas por los Gobiernos respectivos.

Para realizar los estudios mencionados fue seleccionado el Consorcio ELC- Electroconsult do Brasil Ltda. / MKI- Morrison Knudsen Internacional de Engenharia S.A.

Las conclusiones del estudio indican que las cuencas de los ríos Acaray, Monday y Ñacunday presentan aspectos altamente favorables para el aprovechamiento de sus recursos hídricos, en particular para fines hidroenergéticos.

Por otra parte, considerando lo antes mencionado y mediante la identificación del potencial hidroenergético del Paraguay, se podrían establecer objetivos para su aprovechamiento, impulsando leyes y estrategias que fomenten la inversión de capital privado para llevar adelante esta alternativas que contribuirán significativamente con la optimización del Sistema Eléctrico Nacional.

## 1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE

- Identificar las cuencas de los ríos afluentes del Paraná y Paraguay situados en Paraguay e inventariar el potencial hidroenergético de aquellas cuencas que presentan una alternativa favorable para su aprovechamiento hidroenergético.

Para el efecto, será establecido un criterio para la selección de las cuencas más atractivas y en ellas se deberán considerar las diferentes alternativas y soluciones posibles como cuencas aisladas, teniendo en cuenta los aspectos medio ambientales.

- Posibilitar la realización de proyectos en las principales cuencas hídricas del Paraguay para, fundamentalmente, el aprovechamiento de su energía hidráulica con la implantación de centrales hidroeléctricas y también de otros usos, tales como regadíos, turismo, abastecimiento de agua potable, etc.

En efecto, este estudio constituye la primera parte de un proyecto, tendiente a determinar la pre factibilidad técnica y económica de posibles aprovechamientos hidroeléctricos y para usos múltiples.

Además, con los datos obtenidos, se estaría propiciando la concreción del Plan Nacional de Recursos Hídricos del Paraguay.

Para la definición del alcance se consideraron 10 etapas:

- **Etapa 1. Compilación de antecedentes, datos e información básica.**

Descripción: Compilación de información de antecedentes de estudios, así como datos hidrológicos, climatológicos, demográficos, demanda eléctrica y cartografía básica.

- **Etapa 2. Definición del marco conceptual y metodológico (MCM) definido.**

Descripción: Definición del MCM adecuado a la disponibilidad de datos e información para el área de estudio.

- **Etapa 3. Preparación de datos para la estimación preliminar del potencial hidroenergético teórico (PHT).**

Descripción: preparación y/o adecuación de datos estadísticos hidrológicos necesarios para la aplicación del MCM, para estimar el PHT.

- **Etapa 4. Selección y ordenamiento jerárquico de las cuencas hidrográficas y selección preliminar de los posibles locales de emplazamiento.**

Descripción: Obtención de resultados preliminares de PHT, en cuencas y locales de emplazamientos, sobre la base de los datos colectados y analizados en la etapa 3, la cartografía básica y la regionalización de cuencas.

- **Etapa 5. Selección final de los posibles locales de emplazamiento.**

Descripción: Selección final de locales de emplazamiento en función de parámetros hidrogeológicos y ajustes finales.

- **Etapa 6. Estudios básicos complementarios (EBC)**

Descripción: Colecta de datos en sitios de emplazamiento seleccionados en la etapa anterior, para validar los datos e informaciones estadísticas utilizados en la metodología adoptada.

- **Etapa 7. Análisis de interconexiones intercuencas para aprovechamiento del agua no turbinable de Itaipu.**

Descripción: Estudio de antecedentes y alternativas actuales de interconexión de cuencas en función del potencial hidroenergético de las aguas no turbinables de Itaipu.

- **Etapa 8. Estudio de optimización de la energía asegurada.**

Descripción: análisis de los emplazamientos e interconexiones seleccionadas, en función de la optimización de la energía asegurada.

- **Etapa 9. Sistema de Información Geográfica del RHPY**

Descripción: Integración a la cartografía digital, de la base de datos (relacional) de los parámetros utilizados en el estudio, en formato ARCGIS y MSACCESS. Exportación a formatos de SIG libre.

- **Etapa 10. Atlas del PHPY**

Descripción: elaboración de un atlas conteniendo toda la información relacionada al estudio.

### 1.3 PRODUCTOS OBTENIDOS

El principal producto lo constituye el mapa del POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DE LA REGION ORIENTAL DEL PARAGUAY que muestra los sitios identificados con potencial igual o superior a 5 MW, los aprovechamientos analizados sobre el río Paraguay y las interconexiones de cuencas con el embalse de ITAIPU.

El desarrollo integrado y retroalimentado de las distintas etapas permitió la generación de distintos documentos (diez informes parciales correspondientes a cada etapa y un informe final) que recopilan e integran la totalidad de los trabajos realizados. Se depuró una extensa base de datos con información geográfica, climatológica e hidrológica de todo el Paraguay obtenida de diversa fuente, cuyos resultados se presentan en el Volumen II del ATLAS.

Toda la información cartográfica y tablas de datos asociadas se integraron en un Sistema de Información Geográfica de licencia libre y gratuita (gvSIG).

## 2 ÁREA DE ESTUDIO, CARACTERIZACIÓN.

### 2.1 REGIONES GEOGRÁFICAS



El Paraguay comprende dos importantes regiones, Occidental y Oriental, separadas por el río Paraguay y diferenciadas una de otra en términos de relieve, suelo, clima, flora, fauna y ocupación y uso de la tierra.

La Región Occidental o Chaco, en términos de relieve obedece principalmente a un eje de pendiente que baja del occidente al oriente para descargar las aguas de múltiples corrientes de suave pendiente y velocidades en el río Paraguay, por su margen derecha y una pequeña porción de esta región que drena por su relieve directamente al Pilcomayo.

La Región Oriental es el área de estudio de este proyecto, está subdividida a su vez en dos subregiones, la más grande corresponde a la propia cuenca del río Paraguay, y una porción de menor envergadura para la cuenca del río Paraná. Ésta región abarca el 39% del territorio nacional y alberga al 97,3% de la población. Tiene más de 800 ríos y arroyos y el 95% de sus tierras son cultivables. En esta región están las principales instituciones y fuentes actuales de producción, del país. La temperatura media anual es de 24 °C. El punto más alto en la región oriental es el cerro Tres Kandú con 842 m. Esta región se encuentra muy afectada por la deforestación ya que en 1945 el 55% de su superficie se encontraba cubierta por bosques, mientras que los registros de 2004 dan un valor de solamente 6% cubierto por bosques.

### 2.2 RELIEVE

En la región Oriental dominan las mesetas altas, que enlazan con el Matto Grosso brasileño., aquí se encuentran las sierras de Amambay y Mbaracayú, hacia el sur se extienden una serie de alturas conocidas con el nombre de cordillera de Caaguazú, que separa las cuencas del Paraná y el Paraguay, mientras que hacia el este se resuelve en una serie de ondulaciones de menos de 600 m y que forman el cauce del río Paraná.

La divisoria de aguas de las vertientes de los ríos Paraguay y Paraná está constituida por una serie de llanuras de entre 300 y 400 m de altitud. Esta estructura se interrumpe en el centro, en las proximidades de Asunción, por un macizo volcánico, la cordillera de los Altos, que tiene una altura no superior a 400 m. Este macizo se encuentra dividido por una fosa tectónica

encuadrada entre fallas, y que forman un corredor entre Asunción y Villarrica. Las principales cordilleras del Paraguay son muy antiguas y forma parte del escudo brasileño.

La cordillera de Mbaracayú hace frontera entre Paraguay y Brasil. Su pico más alto se encuentra en territorio brasileño, es el Pan de Azúcar, de 500 m de altitud. En el cruce del río Paraná con la cordillera de Mbaracayú existieron grandes saltos de agua hasta el llenado del embalse Itaipú.

La cordillera del Amambay también hace frontera con Brasil y tiene una longitud de unos 200 km. Tiene una altitud media de 400 m, y sus picos más importantes son el Ponta Porá (700 m) y el Mangrullo (540 m).

La cordillera de Caaguazú nace en el cruce de las cordilleras Amambay y Mbaracayú, con el punto más elevado del Paraguay, el cerro Tres Kandú de 842 m de altura.

Las principales cordilleras del Paraguay son muy antiguas, y forman parte de desprendimientos de cordilleras mayores ubicadas en el Brasil.

| Nombre           | Altura (m) | Departamento |
|------------------|------------|--------------|
| Cerro Tres Kandú | 842        | Guairá       |
| Cerro Perú       | 835        | Guairá       |
| Cerro Amor       | 765        | Guairá       |
| Cerro Sarambi    | 735        | Amambay      |
| Cerro Guazú      | 695        | San Pedro    |

Tabla 1 Altitudes de los principales cerros de la Región Oriental.

- **La cordillera del Mbaracayú**

Es la frontera natural que se separa Paraguay de Brasil. Tiene una antigüedad de 40 millones de años y corresponde a la era Mesozoica y su pico más alto se encuentra en territorio brasileño, es el Pan de Azúcar con una altura de 500 m. El cruce del río Paraná con la cordillera del Mbaracayú producía los Saltos del Guairá, los cuales eran los saltos más caudalosos del mundo, ya que quedaron bajo agua con la construcción de la Represa de Itaipú.

La cordillera del Amambay: también es un límite natural con Brasil y tiene una longitud de unos 200 km, es la que tiene la mayor altura media (400 m) y sus picos más importantes son el Ponta Porá de 700 m y el Mangrullo de 540 m.

- **La cordillera del Ybytyruzú**

Está constituida por una serie de serranías situado entre los departamentos del Guairá y Caazapá de la República del Paraguay. Actualmente es una de las principales áreas de conservación de la región oriental de Paraguay y alberga tanto el pico más alto del país, cerro Perú o cerro Tres kandú con 842 m, como también el salto de agua más elevado, el salto Suizo, con 62 m.

- **La cordillera de Caaguazú**

Se origina en el cruce de las cordilleras Amambay y Mbaracayú y mientras va al sur de la región se desprende en dos ramales menores: Cordillera e Ybytyruzú, que tiene el punto más elevado del Paraguay; y el cerro Tres Kandú de 842 m. Según otras fuentes el cerro estrella tendría 2244 m. En la frontera norte y este con Brasil.

- **La sierra del Ybycuí**

Es un macizo situado en el centro y este del Departamento de Paraguairí, forma parte de la Meseta Brasileña. Se extiende desde la cordillera de los Altos hasta la desembocadura del río Tebicuary-mí con el Río Tebicuary. Entre sus elevaciones se encuentran los cerros Ybycuí, Simbrón, Acahay, Ybytymí, entre otros.

- **La cordillera de los Altos**

Es un macizo situado entre los departamentos de Cordillera, Central, y Paraguairí. Se extiende desde el río Paraguay hasta las serranías de Ybycuí. Entre sus elevaciones se destacan los cerros de Emboscada, Caacupé, León, Mbatoví, Santo Tomás, Chololó, Paraguairí, y otros.

- **La cordillera de Ybytypanemá**

Es una pequeña cordillera situada entre los departamentos de Paraguairí y Central, que se extiende desde la unión de la Cordillera de los Altos y las Sierras de Ybycuí hasta el río Paraguay. Está rodeada por los llanos del lago Ypacaraí al norte, al este por el planalto de Ybycuí, al sur por los llanos y esteros del lago Ypoá, y al oeste por el río Paraguay. Las colinas de la ciudad de Asunción forman parte de ella. Entre sus elevaciones, se encuentran los cerros Yaguarón, Patiño, Koi, Ñemby, Lambaré, Tacumbú, y otros.

Los cerros Koi y Chorori fueron declarados Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO por ser un fenómeno geomorfológico que se presenta sólo en rocas ígneas, no así en rocas sedimentarias, tipo de roca donde se encuentran estos cerros. Esta rareza geológica y se da solamente en tres lugares: Paraguay, Sudáfrica y Canadá.

## 2.3 HIDROGRAFÍA

La cuenca de los ríos Paraná y Paraguay, con un área de captación de aproximadamente 2,8 millones de km<sup>2</sup> (Bonetto, 1986), es la cuarta mayor cuenca en el mundo y la segunda mayor en Sudamérica. Los elementos más importantes de la cuenca son los ríos Paraguay, Paraná, el Pantanal y el Delta.

El Paraná es el río más largo de la cuenca y el Paraguay es su mayor tributario.

El Pantanal, uno de los mayores humedales tropicales del mundo, está situado dentro de la cuenca del Alto Paraguay.

Las características más importantes de la cuenca fueron descritas en varios trabajos recientes que incluyen Anderson (1993), Ponce (1995), Drago (1990), Hamilton (1995), Wais y Roth-Nelson (1994), e Internave (1990). Basados en la información existente, se presenta una descripción de la cuenca Paraguay-Paraná y la hidrología regional.

### 2.3.1 CUENCA DEL RIO PARAGUAY

El río Paraguay, de 2.550 km de longitud, es el tributario más importante del río Paraná. En forma meandrosa fluye en dirección sur desde sus nacientes en la Sierra Dos Parecis en el Mato Grosso cerca de la latitud 14°20'S para unirse al Paraná en el lugar denominado Confluencia, recorriendo una distancia de 1.500 Km medida a lo largo del valle. El grado de sinuosidad (relación entre longitud verdadera y la más corta en línea recta) promedia 1,6, pero varía significativamente a lo largo del río. El alto Paraguay parece exhibir valores algo mayores de sinuosidad que el bajo Paraguay.

Los meandros históricamente dinámicos jugaron un rol importante en la formación de la planicie de inundación cuyo ancho también varía a lo largo del río. El ancho de la planicie del alto Paraguay varía entre 1 y 15 km. Y prácticamente plana, la mayor parte de la misma está comprendida por debajo de la línea de nivel de los 200 m.

En el Paraguay medio, la planicie varía entre 5 y 10 km y generalmente se ubica sobre la margen derecha (oeste). La margen izquierda se caracteriza por barrancas que contienen las aguas dentro del cauce.

En el bajo Paraguay, desde Asunción hacia Confluencia, el ancho de la planicie varía entre 5 y 10 km y típicamente se extiende sobre ambas márgenes. En el bajo Paraguay el ancho promedio de la planicie es de 9,4 km (Drago, 1990).

El ancho del cauce también varía a lo largo del río. Ponce (1995) indica que en el alto Paraguay, desde Cáceres (Brasil) hasta el río Apa, el ancho del cauce varía en general entre 120m a 600m. Sin embargo, al sur de Cáceres, el Paraguay entra en el Pantanal Matogrossense donde los anchos del cauce decrecen aún más.

Dentro del Pantanal, los anchos varían entre 40m y 200m. Aguas abajo de Tres Lícitas, cerca de la boca del río Cuiabá, el alto Paraguay se ensancha hasta sus valores característicos. En la zona media del Paraguay, al sur del río Apa, el río se ensancha más. El ancho promedio del cauce es de aproximadamente 500 m (Orfeo, 1995). En el bajo Paraguay el promedio alcanza 700 m, aunque el rango varía entre 260m y 2700m (Drago, 1990). Al sur del río Apa, el río Paraguay presenta varios bancos de arena, afloramientos rocosos, islas y bancos erosionados. Estas características continúan hasta la Confluencia

El aspecto más notable de la cuenca del Paraguay es el Pantanal. El Pantanal cubre un área de aproximadamente 450 km por 250 km (140.000 km<sup>2</sup>) (Hamilton, 1995). El área plana a ligeramente ondulada yace aproximadamente a 100 m por encima del nivel del mar (Ponce y Cunha, 1993). El rumbo general del flujo de agua a través del Pantanal es de Este a Oeste. El área de desagüe alrededor del Pantanal — aproximadamente 356.000 km<sup>2</sup> — consiste de mesetas elevadas y sierras al norte y al este (250 m a 1200 m de elevación) y planicies en el

oeste (Hamilton, 1995). La precipitación anual en la región es 1000 — 1500 mm, con la mayoría de las lluvias concentradas entre noviembre y marzo. Las tierras altas del Brasil, con los gradientes más escarpados en el área de desagüe circundante, constituyen una fuente de agua esencial del Pantanal. Dentro del Pantanal, la pérdida de agua por evapotranspiración es aproximadamente equivalente a la precipitación directa (Hamilton, 1995).

Los tributarios más importantes del río Paraguay en el Pantanal incluyen los ríos Jaurú, Cuiabá, Sao Lourenco, Paraguai-Mirim, Tacuarí, Miranda, y Nabileque. Cerca de sus confluencias, los niveles de las áreas bajas de estos tributarios son controlados por el nivel del río Paraguay. El pico de descargas de estos tributarios tiende a ocurrir antes que el del río Paraguay. La crecida más tardía del Paraguay afecta a los cursos inferiores de los tributarios revirtiendo, a veces, la dirección del flujo en forma temporal. Este efecto de remanso frecuentemente se extiende a distancias considerables en el Pantanal durante la época de crecidas.

Desde una perspectiva hidrológica, el Pantanal es particularmente importante. El Pantanal impacta la hidrología regional atenuando el movimiento de agua a través de la cuenca del alto Paraguay y almacenando agua durante la época de lluvias y liberándola durante la época seca. Este fenómeno es atribuido a las pendientes muy suaves del terreno y, además, a los fenómenos de infiltración, escurrimiento lateral subsuperficial, y evaporación. El Pantanal, lentamente y en forma pareja, libera agua de las reservas de la estación lluviosa para producir un volumen de flujo aproximadamente constante en el río Paraguay (Wais y Roth-Nelson, 1994). Este almacenamiento y liberación de agua no solamente ocurre en forma estacional, también ocurre en un lapso mayor multianual. En el largo plazo, el agua almacenada durante años húmedos es liberada durante los años secos (Ponce, 1995; EDIBAP, 1979; y Adámoli, 1986).

Los tributarios principales del Paraguay Inferior son los ríos Pilcomayo, Bermejo, y Tebicuary. Debido al efecto regulador del Pantanal y la demora de la onda de crecida en el río Paraguay, los picos de los tributarios ocurren previamente a los picos en el río Paraguay. Durante esos períodos, los tributarios pueden suministrar más del 70% de la descarga del Paraguay (Drago, 1990).

Otro resultado de la demora impuesta a la transmisión de la onda de crecida en el río Paraguay, es que la inundación del Paraná medio y bajo se ve reducida. El desfase entre los picos de onda del río Paraguay y el Paraná en Confluencia es aproximadamente tres meses (Drago 1990). Este retardo mejora la fase de inundación del Paraná ya que la máxima descarga del Paraguay ocurre cuando el Paraná lleva menores caudales. Así, las fases de crecientes de los dos ríos no se superponen. La marcada diferencia de las fases de creciente puede, sin embargo, ocasionar una alteración a lo largo del Paraguay inferior.

| Río       | Distancia a la desembocadura (km)* | Área de la cuenca (km <sup>2</sup> ) | Longitud del curso de agua (km) | Altura de la desembocadura (m) | Margen    |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------|
| Tebicuary | 141                                | 27                                   | 500                             | 47                             | Izquierda |
| Pilcomayo | 375                                | 160                                  | 1650                            | 51                             | Derecha   |
| Confuso   | 410                                | s/d                                  | 550                             | 53                             | Derecha   |
| Salado    | 419                                | 10,88                                | 65                              | 53                             | Izquierda |
| Piribebuy | 433                                | 15,68                                | 100                             | 54                             | Izquierda |
| Manduvirá | 448                                | 10,58                                | 212                             | 55                             | Izquierda |
| Aguaray   | s/d                                | 7,02                                 | s/d                             | s/d                            | Derecha   |

| Río         | Distancia a la desembocadura (km)* | Área de la cuenca (km <sup>2</sup> ) | Longitud del curso de agua (km) | Altura de la desembocadura (m) | Margen    |
|-------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------|
| Guazú       |                                    |                                      |                                 |                                |           |
| Negro       | 543                                | 6,94                                 | 275                             | 60                             | Derecha   |
| Jejuí Guazú | 571                                | 20,06                                | 263                             | 63                             | Izquierda |
| Montelindo  | 621                                | 14,16                                | 440                             | 66                             | Derecha   |
| Ypané       | 692                                | 9,322                                | 282                             | 70                             | Izquierda |
| Aquidabán   | 744                                | 10,86                                | 275                             | 71                             | Izquierda |
| Verde       | 750                                | 6,9                                  | 280                             | 71                             | Derecha   |
| Apa         | 927                                | 14,96                                | 380                             | 76                             | Izquierda |

Tabla 2 – Ríos principales tributarios del Río Paraguay. (\*) Distancia de su salida en el Río Paraguay.

La combinación de baja pendiente de 2,2 cm/km en los últimos 230 km del Paraguay y la alta descarga del Paraná permite la generación de curvas de remanso que afecta al bajo Paraguay (Drago, 1990). Durante las grandes crecientes del río Paraná, este efecto causa inundaciones significativas en los tramos inferiores del Paraguay.

### 2.3.2 CUENCA DEL RÍO PARANA.

El río Paraná, tiene una extensión total de 4.000 km de largo y a su paso por el Paraguay solo comparte 830 Km que funge de frontera entre Brasil y Argentina, tiene un área de captación de 2,8 millones de km<sup>2</sup> (incluyendo la del río Paraguay), una descarga anual de 500 millones de m<sup>3</sup>, y picos de caudal de 65.000 m<sup>3</sup>/s (Bonetto, 1986). El Paraná tiene un régimen hidrológico histórico caracterizado por un período de aguas altas en verano y una fase de aguas bajas durante el invierno hasta la primavera, con una descarga mínima desde agosto hasta septiembre (Wais y Roth-Nelson, 1994). Por lo tanto, durante un período de seis meses, el Paraná inunda el valle aluvial en los tramos inferiores del río.

El Paraná está formado por la confluencia del río Paranaíba, que fluye hacia el sudoeste desde la Serra dos Preneos, y el río Grande, que fluye en dirección sur desde sus nacientes en la Serra de Mantiqueira. En los saltos de Guayra el río atraviesa un cañadón de 5 km de largo y 60 m de ancho. Estos tramos superiores del Paraná varían en ancho desde 800 m en el paso de Jupia (cerca la unión con el Tiete) hasta 4 km en los remansos arriba de los saltos de Guayra (Bonetto, 1986).

Por debajo de los saltos de Guayra, el Paraná presenta alrededor de 300 m de ancho en la confluencia con el río Iguazú. El río gira hacia el oeste cerca de la ciudad de Posadas y se ensancha a 2,5 km. Esta porción del Paraná fluye a través de áreas de tierras altas donde los cambios en el relieve forma numerosos rápidos y algunos saltos (Urubupunga, Guayra, Iguazú, etc.). El ancho del río es variable y sus orillas generalmente son altas (Bonetto, 1975) confinando a la crecida dentro de sus márgenes. En su confluencia con el río Paraguay cerca de Corrientes, el Paraná tiene aproximadamente 3,5 km de ancho.

Arriba de su confluencia con el río Paraguay, el Paraná es uno de los ríos más intensamente utilizado mediante represamientos. Veintitrés represas hidroeléctricas han sido planeadas o construidas en la cuenca (Wais and Roth Nelson, 1994). En contraste, el río Paraguay no ha sido regulado mediante represamientos.

Después de la confluencia con el Paraguay, el río es típicamente denominado Paraná Medio. El Paraná Medio tiene una longitud de 707 km, un cauce principal anastomosado, sinuosidad de 1,2, y una pendiente media de 4,5 cm/km. El río fluye hacia el sur como un río típico de llanura con una expansión progresiva del valle aluvial (Bonetto, 1986). Contrariamente el ancho del cauce generalmente disminuye aguas abajo. El ancho promedio del cauce es 2,8 km pero es muy variable (un máximo de 8 km y un mínimo de 0,4 km). El ancho del cauce principal es 5 km en la ciudad de Comentes, disminuyendo a 3 km en Bella Vista y a 2,3 km en Santa Fe. El paisaje llega a ser relativamente plano con una extensa planicie de inundación. La planicie de inundación presenta un ancho máximo y mínimo de 40 km y 6 km, respectivamente (Drago, 1990).

Aunque largo, el Paraná Medio es hidrológicamente similar al Paraná Superior. Evidentemente, el régimen hídrico del Paraná Medio es controlado principalmente por el muy regulado Paraná Superior. La influencia del río Paraguay es secundaria (Drago, 1990).

Las descargas en el río Paraná antes de la confluencia con el río Paraguay, son cuatro o cinco veces mayores que las descargas del río Paraguay. Los valores anuales promedios para la tasa de escurrimiento (caudal/precipitación) son indicadores del potencial de inundación. La tasa de escurrimiento promedio es aproximadamente 0,2 para el Paraguay antes de la confluencia. Para el alto Paraná antes de la confluencia, sin embargo, la tasa es aproximadamente, 0,4.

Más allá de la ciudad de Diamante (km 535), cerca de Santa Fe, el río usualmente es denominado Paraná Inferior. El Paraná inferior se une con el río Uruguay para formar el Río de la Plata al sur del extremo de la Hidrovía, Nueva Palmira.

| Río       | Distancia a la desembocadura (km)* | Área de la cuenca (km <sup>2</sup> ) | Longitud del curso de agua (km) | Altura de la desembocadura (m) | Margen  |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------|
| Piratiy   | 865                                | 1                                    | 80                              | 200                            | Derecha |
| Carapá    | 820                                | 2,683                                | 150                             | 180                            | Derecha |
| Itambey   | 795                                | 1,78                                 | 115                             | 150                            | Derecha |
| Acaray    | 698                                | 9,681                                | 160                             | 97                             | Derecha |
| Monday    | 685                                | 6,697                                | 150                             | 87                             | Derecha |
| Ñacunday  | 618                                | 2,541                                | 150                             | 86                             | Derecha |
| Tembey    | 517                                | 1,24                                 | 95                              | 82                             | Derecha |
| Pirajui   | 484                                | 1,221                                | 297                             | s/d                            | Derecha |
| Capiibary | 417                                | 9,71                                 | s/d                             | s/d                            | Derecha |

Tabla 3 – Ríos principales tributarios del Río Paraná. (\*) Distancia de su salida en el Río Paraná.

### 2.3.3 LAGOS Y HUMEDALES.

El Paraguay no tiene costa marítima pero sus dos ríos principales, el Paraguay y el Paraná lo comunican con el océano Atlántico; además de ríos, el Paraguay posee humedales y lagos.

El conjunto de humedales del lago Ypoá, conformado por cuatro lagos, y el lago Ypacaraí, son los lagos más grandes del Paraguay.

## 2.4 CLIMA

La geografía paraguaya contiene tres tipos climáticos: Semitropical Continental en el oeste del Chaco, Semitropical Semiéstépico en el área central con eje en el río Paraguay, y Semitropical Húmedo en la región Oriental. El Paraguay no posee localidades tropicales, pues en toda su superficie se pueden presentar heladas, aunque en las riberas del alto río Paraguay, y en penínsulas septentrionales del lago de Itaipú, estas son muy suaves y excepcionales.

Las precipitaciones varían entre 1300 mm y 2000 mm en esta región del país. En Asunción las precipitaciones son más altas en meses cálidos que en meses fríos. En la Región del Paraná, no hay mucha diferencia entre la cantidad de precipitaciones que caen entre el mes más frío y el mes más cálido.

Los veranos son calurosos, con máximas que pueden alcanzar 40°C. El promedio en Asunción es de 28°C, en la región del Paraná (sur y este del país) está entre los 26°C y 27°C.

Los inviernos generalmente son suaves, aunque en algunas regiones del Paraná (sur y este del país), el frío es más intenso y pueden producirse heladas, es decir, las mínimas pueden bajar de 0°C. El promedio estacional es de 18°C en Asunción, en la región del Paraná varía entre los 15°C y 17°C.

## 2.5 BIODIVERSIDAD

Paraguay posee una elevada riqueza en fauna y flora debido a que las seis eco regiones que convergen en su territorio registran una notable biodiversidad; todas ellas son compartidas con los países vecinos.

En la zona norte de la Región Oriental se encuentran las sabanas subtropicales del

Cerrado, mientras que en el este del país hasta la ribera del río Paraná se desarrolla el Bosque Atlántico, una de las eco regiones más rica del planeta, a la vez una de las más amenazadas, incluida en la Global 200, la lista de las eco regiones identificadas por el World Wide Fund for Nature (WWF) como prioritarias para la conservación. Por último la zona sur, Pastizales de la Mesopotamia, caracterizada por planicies con clima más templado.

- **Pastizales de la Mesopotamia**

La eco región Pastizales de la Mesopotamia se centra en la planicie del río Uruguay, en las provincias de Corrientes y Entre Ríos, Argentina, pero extendiéndose a zonas aledañas en Uruguay, el sur de Brasil (principalmente en el estado Río Grande del Sur) y sudeste del Paraguay (especialmente, en los departamentos Itapúa y Misiones).

La vegetación de esta eco región está caracterizada por extensos pastizales y humedales periódicamente inundables.

- **Bosque Atlántico del Alto Paraná**

La eco región Bosque Atlántico del Alto Paraná es la más húmeda del Paraguay, se caracteriza por el bosque alto y húmedo que forma parte del Complejo Eco regional del Bosque Atlántico. Es la eco región más deteriorada y más amenazada del Paraguay.

- **Cerrado**

La ecorregión Cerrado está constituida por una amalgama de ambientes: pastizales, sabanas, bosques secos, humedales, etc.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 METODOLOGÍA GENERAL

La metodología usada propone una sistemática de prospección del potencial hidroeléctrico remanente en la escala de la cuenca hidrográfica. La metodología establece criterios y procedimientos para la estimación del potencial global en la cuenca, en una etapa de la planificación en que el análisis conjunto de aspectos energéticos y de restricciones técnico económicas y ambientales es efectivamente incorporado en la solución final de división de caídas.

La metodología está implementada en una herramienta con base en un sistema de informaciones geográficas que permite el análisis distribuido en la cuenca para la prospección de potenciales. A través del procesamiento automatizado del modelo digital del terreno y de caudales estadísticos regionales, diversas alternativas de proyecto son localizadas en la cuenca, caracterizando el tipo de operación (al hilo de agua o con embalse de regulación), layout (con derivación por túnel o por la margen o generación al pie) y altura de la presa en el sitio. Las alternativas del proyecto son jerarquizadas y seleccionadas y los análisis energéticos y de restricciones son realizados en conjunto visando la cuenca hidrográfica, permitiendo la estimación del potencial global viable y la obtención de la división de caídas final.

El análisis fue realizado sobre la base de dos componentes principales: a) un Modelo Digital de Terreno (MDT) global y b) la confección de un sistema de ecuaciones de regresión múltiple que ha permitido regionalizar los principales parámetros hidrológicos para poder definir el caudal medio anual disponible en cualquier punto de toda cuenca hídrica. Sobre dicha base se realizó la evaluación del potencial hidroenergético en todos los tramos de los ríos de las cuencas de la Región Oriental del Paraguay.

La premisa del proyecto fue identificar el potencial para Pequeñas y Medianas Centrales Hidroeléctricas (PMCH), del rango de 5Mw en adelante.

#### 3.1.1 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA

- **Selección de datos hidrológicos**

En ésta etapa fueron seleccionados los datos hidrológicos de precipitación, evapotranspiración y caudales que cubran el área de estudio o que tengan influencia en dicha área. Juntamente con éstos datos también fueron determinados los datos físicos de las cuencas en estudio con las cuencas hidrográficas que disponen de datos.

- **Selección de los datos físicos de toda el área en estudio**

Para la región en estudio, es necesaria una base de datos topográficos que permita determinar los desniveles y las cuencas hidrográficas. Fundados en dicha base de datos fue determinado un modelo digital del terreno (MDT), utilizados para la búsqueda de

desniveles y caudales, fase correspondiente a la preparación del modelo digital del terreno.

- **Regionalización de caudal**

La regionalización de caudal permite determinar los caudales utilizados en el programa de búsqueda de desniveles, denominado Hidrospot, caudales medios de largo período y caudales Q95 (95% de la curva de permanencia). Esta regionalización fue realizada con datos disponibles en la región.

- **Selección de las Cuencas a ser estudiadas**

En ésta etapa fueron identificadas todas las cuencas hidrográficas que serían motivo de estudio y búsqueda de potencial hidroeléctrico. Esta selección es estratégica e identifica las cuencas con real potencial energético y con restricciones evidentes.

- **Selección de los desniveles**

En ésta etapa fue utilizado el programa Hidrospot para cada sub-cuenca y fueron determinados todos los emplazamientos en cada cuenca y con cualquier potencia.

- **Selección de los emplazamientos**

En ésta etapa son seleccionados los emplazamientos por cuenca que tengan por lo menos 5MW de potencia (promedio adoptado para pequeñas y medianas hidroeléctricas). En el estudio fueron seleccionados 23 emplazamientos en todas las cuencas.

- **Análisis de las restricciones**

Para los sitios seleccionados son verificadas la factibilidad de los emplazamientos considerando las limitaciones físicas, restricciones socio-económicas y ambientales, además de los emplazamientos ya existentes. Teniendo en cuenta esto, de los 23 sitios, se redujeron a 22 sitios de emplazamientos por lo acordado en el Plan de Trabajo.

- **Ajuste del Modelo Hidrológico**

El modelo hidrológico IPHMEN transforma datos de precipitación mensual en caudal mensual. El modelo se utiliza para ajustar sus parámetros en un período existente de datos y luego extiende las series de caudales con datos de precipitaciones. En primer lugar fue utilizado para ajustar sus parámetros en cuencas con datos hidrológicos de caudal, precipitación y evaporación y luego utilizar tal calibración para las cuencas sin datos ó con pocos datos que fueran de características hidrológicas y geológicas semejantes.

- **Extensión de series hidrológicas**

Con datos de precipitación del período disponible (1975 a 2009) las series fueron extendidas para los locales con series cortas y para los locales sin datos, pero con características semejantes.

- **Regionalización de caudales con las series extendidas**

Basados en las nuevas series generadas la regionalización es actualizada para caudales medios y para caudales Q95.

- **Revisión de los desniveles**

En función a los emplazamientos seleccionados y con la nueva regionalización de los caudales, los sitios de emplazamientos seleccionados son revisados, actualizándose el resultado para la energía estimada para dichos sitios, utilizándose el modelo Hidrospot.

- **Verificación con modelo de simulación**

Con base en las series hidrológicas de caudales determinadas en el numeral i), fueron determinadas curvas cota-área, y cota-volumen de los sitios de emplazamientos seleccionados y determinada la curva de regularización (relación entre el volumen y el caudal regularizado) y la potencia para varios valores de volumen de reservatorio.

- **Optimización económica**

A partir de los resultados de la simulación energética es realizada la optimización económica de las varias potencias, obteniéndose los valores óptimos en cuanto a la mayor energía asegurada y la relación beneficio-costos con el objetivo de la selección de los emplazamientos. En ésta etapa es seleccionada preliminarmente la potencia instalada de cada emprendimiento y, por tanto el potencial energético de cada cuenca de la región estudiada.

### 3.1.2 FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGÍA

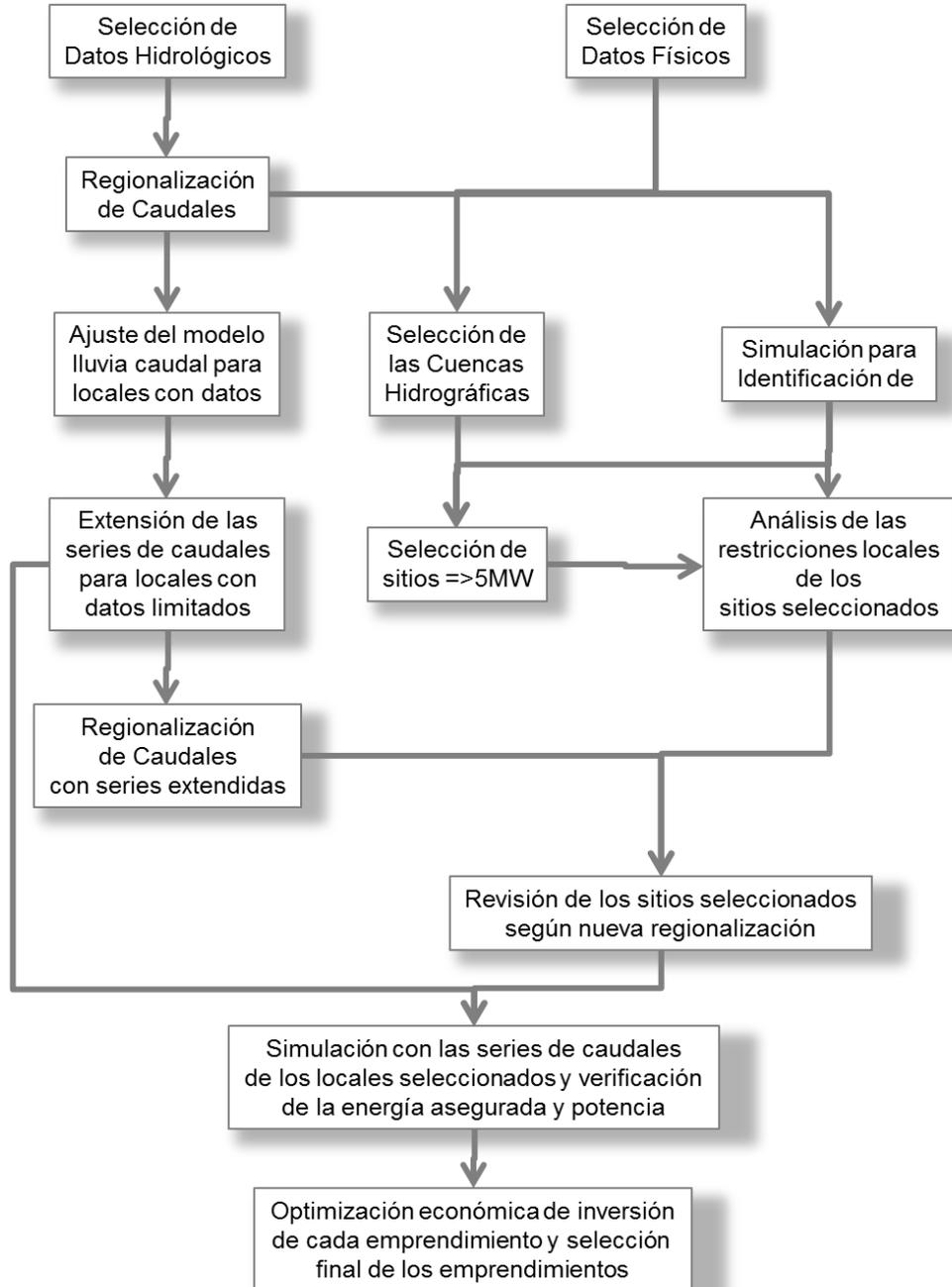


Tabla 4 – Flujoograma general de la Metodología

## 4 RESULTADOS

Se presentan resultados definitivos obtenidos en los análisis sucesivos realizados a nivel de cuencas hidrográficas, además de los estudios complementarios sobre interconexión de cuencas y proyectos sobre el río Paraguay. El inventario hidroeléctrico del Paraguay fue realizado exclusivamente en la región oriental, debido a que la occidental presenta serios inconvenientes para éste tipo de emprendimiento por la escasa pendiente que presenta y la poca densidad de cursos de agua. Los aspectos analizados se agruparon de la siguiente manera:

**Grupo A: Aprovechamiento de las cuencas localizadas en la región oriental del Paraguay, para las vertientes de los ríos interiores de las cuencas del Paraguay y Paraná;**

**Grupo B: Emprendimientos con sinergia con Itaipu por interconexión de cuencas: uso del caudal no turbinable de ITAIPU;**

**Grupo C: Emprendimientos en el río Paraguay**

## 4.1 GRUPO A: APROVECHAMIENTO DE LAS CUENCAS LOCALIZADAS EN LA REGION ORIENTAL DEL PARAGUAY PARA LAS VERTIENTES DE LOS RÍOS PARAGUAY Y PARANÁ

Para investigar los aprovechamientos, fueron seleccionadas 16 cuencas con potencial para la producción de energía. Cinco de estas cuencas drenan en el río Paraguay y once drenan en el río Paraná.

Para la determinación de Potencial Hidroenergético, se realizaron sucesivas simulaciones, mejorándose en cada ejercicio, la precisión de los resultados.

A continuación se describen las principales simulaciones efectuadas con los respectivos resultados preliminares y la simulación final, con la que se llega a los valores definitivos.

### 4.1.1 SIMULACIÓN 1

Inicialmente fueron seleccionados todos los sitios potenciales ubicados en las cuencas de estudio<sup>1</sup>, con base en la metodología de Regionalización de Caudales y en un modelo computacional (Hidrospt) que utiliza el Modelo Digital de Terreno para identificar las caídas. El resultado inicial obtenido de este tipo de modelo permitió estimar el Potencial Hidráulico Hipotético (PHH)<sup>2</sup> de cada cuenca (ver Tabla 5 y localizado en la Lámina 1.0\_8), correspondiendo a un total de Energía, estimada preliminar, en 523,92 MW medios y respectiva Potencia (capacidad instalada) de 1.047,84 MW, utilizando un factor de carga constante y definido a priori, igual a 0,5

| ID | Cuenca               | Cantidad de Emplazamientos | PHH               |               |
|----|----------------------|----------------------------|-------------------|---------------|
|    |                      |                            | Energía MW medios | Potencia (MW) |
| 1  | Aquidabán            | 142                        | 21,5              | 43,00         |
| 2  | Ypané                | 119                        | 56,59             | 113,18        |
| 3  | Jejuí                | 205                        | 66,47             | 132,94        |
| 4  | Manduvira/Tapiracuai | 20                         | 2,21              | 4,42          |
| 5  | Tebicuarymí          | 43                         | 6,07              | 12,14         |
| 6  | Carapá               | 234                        | 46,16             | 92,32         |
| 7  | Pozuelo              | 13                         | 1,52              | 3,04          |
| 8  | Itambey              | 26                         | 8,58              | 17,16         |
| 9  | Limoy                | 13                         | 1,21              | 2,42          |
| 10 | Acaray               | 111                        | 77,23             | 154,46        |
| 11 | Monday               | 347                        | 122,04            | 244,08        |
| 12 | Ñacunday             | 314                        | 66,23             | 132,46        |
| 13 | Tembey               | 37                         | 18,75             | 37,50         |

<sup>1</sup> La cuenca del río Apa no pudo ser analizada debido a la insuficiencia de datos relacionados con el Modelo Digital de Terreno.

<sup>2</sup> Potencial Hidroeléctrico Hipotético (PHH): Es la energía media asegurada obtenida preliminarmente con la identificación de todas las caídas de un curso de agua, sin examen de conflictos entre los emprendimientos y con otros factores.

| ID           | Cuenca    | Cantidad de Emplazamientos | PHH               |                 |
|--------------|-----------|----------------------------|-------------------|-----------------|
|              |           |                            | Energía MW medios | Potencia (MW)   |
| 14           | Pirayuí   | 49                         | 15,65             | 31,30           |
| 15           | Pirapó    | 38                         | 7,48              | 14,96           |
| 16           | Capiibary | 34                         | 6,23              | 12,46           |
| <b>Total</b> |           | <b>1.745</b>               | <b>523,92</b>     | <b>1.047,84</b> |

Tabla 5 – Resultados de la Simulación 1

#### 4.1.2 SIMULACIÓN 2

Con base en los resultados de la primera simulación, fueron seleccionados aquellos sitios con Potencia igual o superior a 1MW. Posteriormente, se realizó una nueva simulación utilizando nuevamente el modelo computacional (Hidrospot) y una nueva Regionalización de Caudales, obteniéndose el Potencial Hidroeléctrico Aprovechable (PHA)<sup>3</sup>, presentado en la Tabla 6 (y localización en la Lámina 2.0\_8), representando un PHA de 265,46 MWmedios y respectiva Potencia de 530,92 MW, utilizando un factor de carga constante y definido a priori, igual a 0,5.

| ID           | Cuenca               | Cantidad de Emplazamientos | PHA               |               |
|--------------|----------------------|----------------------------|-------------------|---------------|
|              |                      |                            | Energía MW medios | Potencia (MW) |
| 1            | Aquidabán            | 3                          | 2,27              | 4,54          |
| 2            | Ypané                | 18                         | 41,24             | 82,48         |
| 3            | Jejuí                | 20                         | 37,12             | 74,24         |
| 4            | Manduvira/Tapiracuai | 1                          | 0,55              | 1,1           |
| 5            | Tebicuarymí          | 1                          | 1,11              | 2,22          |
| 6            | Carapá               | 3                          | 21,7              | 43,4          |
| 7            | Pozuelo              | 1                          | 0,65              | 1,3           |
| 8            | Itambey              | 1                          | 3,31              | 6,62          |
| 9            | Limoy                | 1                          | 0,57              | 1,14          |
| 10           | Acaray               | 1                          | 4,29              | 8,58          |
| 11           | Monday               | 3                          | 86,05             | 172,1         |
| 12           | Ñacunday             | 7                          | 36,42             | 72,84         |
| 13           | Tembey               | 5                          | 15,31             | 30,62         |
| 14           | Pirayuí              | 3                          | 9,66              | 19,32         |
| 15           | Pirapó               | 1                          | 1,87              | 3,74          |
| 16           | Capiibary            | 1                          | 3,34              | 6,68          |
| <b>Total</b> |                      | <b>70</b>                  | <b>265,46</b>     | <b>530,92</b> |

Tabla 6 – Resultados de la Simulación 2

<sup>3</sup> Potencial hidroeléctrico Aprovechable (PHA): Es el potencial hidroeléctrico obtenido después examina los conflictos entre emprendimientos y encima de una determinada potencia, sino sin examinar de los condicionantes físicos y económicos locales.

### 4.1.3 SIMULACIÓN 3

Para ésta simulación fueron considerados aquellos sitios con Potencia igual o superior a 5MW. Posteriormente, se realizó una nueva simulación utilizando nuevamente el modelo computacional (Hidrospot), obteniéndose el Potencial Hidroeléctrico Aprovechable (PHA), presentado en la Tabla 7 (y localización en las Láminas 5\_1), representando un PHA de 198,91 MWmedios y respectiva Potencia (capacidad instalada) de 397,82 MW, utilizando un factor de carga constante y definido a prior, igual a 0,5

Por otra parte, en ésta etapa fueron identificados aspectos relacionados a las localizaciones de los sitios, como ser áreas urbanas, áreas silvestres protegidas, carreteras, a efectos de posteriores análisis de impacto socio ambiental, a realizarse en la segunda fase.

| ID    | Cuenca               | Cantidad de Emplazamientos | PHA definitivo    |               |
|-------|----------------------|----------------------------|-------------------|---------------|
|       |                      |                            | Energía MW medios | Potencia (MW) |
| 1     | Aquidabán            | 0                          | 0,00              | 0,00          |
| 2     | Ypané                | 5                          | 19,87             | 39,74         |
| 3     | Jejuí                | 3                          | 12,37             | 24,74         |
| 4     | Manduvira/Tapiracuai | 0                          | 0,00              | 0,00          |
| 5     | Tebicuarymí          | 0                          | 0,00              | 0,00          |
| 6     | Carapá               | 2                          | 19,97             | 39,94         |
| 7     | Pozuelo              | 0                          | 0,00              | 0,00          |
| 8     | Itambey              | 1                          | 3,31              | 6,62          |
| 9     | Limoy                | 0                          | 0,00              | 0,00          |
| 10    | Acaray               | 1                          | 4,29              | 8,58          |
| 11    | Monday               | 2                          | 85,08             | 170,16        |
| 12    | Ñacunday             | 3                          | 30,84             | 61,68         |
| 13    | Tembey               | 3                          | 13,12             | 26,24         |
| 14    | Pirajuí              | 1                          | 6,72              | 13,44         |
| 15    | Pirapó               | 0                          | 0,00              | 0,00          |
| 16    | Capiibary            | 1                          | 3,34              | 6,68          |
| Total |                      | 22                         | 198,91            | 397,82        |

Tabla 7 – Resultados de la Simulación 3

### 4.1.4 SIMULACIÓN 4

Para ésta simulación, se utilizó un programa que optimiza la energía asegurada a partir de la serie de caudales definidos para cada sitio sobre la base de datos de precipitación mensual y parámetros económicos adoptados para pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 8.

Los resultados son: Potencial Hidroeléctrico Aprovechable (PHA) (energía asegurada) de 242,88 MW con una Potencia (capacidad instalada) de 325,94 MW lo que nos da un valor promedio de factor de carga para todos los emplazamientos de 0,75.

No obstante los resultados obtenidos, el análisis de la viabilidad final en nivel de inventario deberá realizarse en una segunda fase, con base en datos locales físicos como geología, topografía de los locales y la disposición de los emprendimientos en cuanto a los aspectos hidráulicos, ambientales y sociales.

| Orden (*) | ID | Cuenca          | Caudal turbinado (m <sup>3</sup> /s) | PHA optimizado             |                         | Relación Beneficio/ Costo |
|-----------|----|-----------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
|           |    |                 |                                      | Energía asegurada Max (MW) | Potencia Instalada (MW) |                           |
| 1         | 2  | Ypané           | 174,79                               | 15,41                      | 22,68                   | 5,466                     |
| 2         | 13 | Tembey          | 42,9                                 | 12,46                      | 16,36                   | 4,914                     |
| 3         | 12 | Ñacunday        | 157,13                               | 77,75                      | 94,11                   | 4,614                     |
| 4         | 11 | Monday          | 211,4                                | 85,89                      | 119,13                  | 3,225                     |
| 5         | 3  | Jejuí           | 349,45                               | 13,39                      | 21,81                   | 3,197                     |
| 6         | 6  | Carapá          | 58,02                                | 17,25                      | 22,51                   | 2,907                     |
| 7         | 16 | Capiibary       | 10,54                                | 3,65                       | 5,61                    | 2,223                     |
| 8         | 10 | Acaray          | 49,26                                | 7,58                       | 10,32                   | 1,328                     |
| 9         | 14 | Pirajuí         | 16,02                                | 6,28                       | 8,6                     | 1,288                     |
| 10        | 8  | Itambey         | 17,05                                | 3,22                       | 4,81                    | 1,092                     |
|           |    | <b>Total</b>    |                                      | <b>242,88</b>              | <b>325,94</b>           |                           |
|           |    | <b>Promedio</b> | <b>108,66</b>                        |                            |                         | <b>3,030</b>              |

Tabla 8 – Resultados de la Simulación 4

## 4.2 GRUPO B: EMPRENDIMIENTOS CON SINERGIA CON ITAIPU POR INTERCONEXIÓN DE CUENCAS: UTILIZACIÓN DE LAS AGUAS NO TURBINABLES DE ITAIPU

Este componente contempla el potencial hidroenergético a partir de la realización de la interconexión de las aguas no turbinables de ITAIPU con otros embalses de agua en las cuencas afluentes al Río Paraná (ver Lamina 7\_1).

Estos estudios de interconexión también fueron abordados en el Estudio de los Ríos de la Región del Alto Paraná – Paraguay, Convenio Brasil/Paraguay 8/1/75, (ELC-MKI-1977).

Esta alternativa utiliza el volumen no turbinable de ITAIPU, parte del cual (2.000 m<sup>3</sup>/seg.), sería transferido a través de canales a reservorios de regulación en las cuencas afluentes al Río Paraná (Hernandarias, Yguazu y Monday) los cuales serían aprovechados para producir energía. Esta interconexión fue examinada y la estimación preliminar representa una Potencia de 378 MW con una Energía de 275 MWmedios, utilizando un factor de carga promedio igual a 0,72.

Con esta interconexión en los emplazamientos de las cuencas de Acaray y Monday se obtiene un aumento de 182 MWmedios en Energía y 250 MW en Potencia, con respecto a los emprendimientos considerados aisladamente.

| Emplazamiento | Caudal turbinado (m <sup>3</sup> /s) | Energía Max Mwmedios | Potencia Instalada (MW) | Relación Beneficio/ Costo |
|---------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|
| Alto Acaray   | 256,85                               | 29,33                | 53,83                   | 1.219                     |
| Monday 1.1    | 274,48                               | 94,43                | 144,56                  | 1.651                     |
| Monday 1.2    | 260,7                                | 151,66               | 180,37                  | 2.183                     |
| <b>Total</b>  |                                      | <b>275,42</b>        | <b>378,76</b>           |                           |

Tabla 9 – Resultados del estudio de interconexión.

### 4.3 GRUPO C: EMPRENDIMIENTOS MULTIFINALITARIOS EN EL RÍO PARAGUAY.

La alternativa del Grupo C fue desarrollada anteriormente por el Grupo Consultor Alto Paraná (no publicado) en 1980, los valores presentados en éste apartado corresponden a dicho estudio. El análisis arroja una Potencia de 168,00 MW (ver Lamina 8\_1).

### 4.4 RESUMEN DE TODOS LOS GRUPOS.

El Potencial Hidroeléctrico Aprovechable (PHA) de todos los grupos identificados es de 872,70 MW, con las proporciones identificadas en la Tabla 10.

Los resultados fueron obtenidos con base en el conocimiento topográfico e hidrológico de todo el territorio Paraguayo, representando una estimación en el nivel de inventario del potencial y de los locales de los aprovechamientos.

| <b>Grupo</b>                                  | <b>PHA (MW)</b> | <b>Proporción del total %</b> |
|---|-----------------|-------------------------------|
| A. Cuencas de la Región Oriental del Paraguay | 325,94          | 37%                           |
| B. Interconexión con Itaipú                   | 378,76          | 44%                           |
| C. Río Paraguay                               | 168,00          | 19%                           |
| <b>Total</b>                                  | <b>872,70</b>   | <b>100%</b>                   |

Tabla 10 – Resumen general de todos los grupo



**ATLAS DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO  
DEL PARAGUAY**