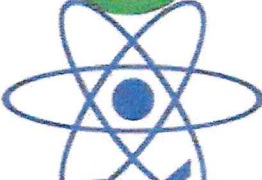


**PR****CIENCIA**

PROGRAMA PARAGUAYO PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA



**Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**

**Fomento a la Investigación Científica  
Fondos Concursables de Proyectos de I+D**


**2do INFORME DE AVANCE**

**DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE  
PRONOSTICO DE NIVELES Y CAUDALES DEL RIO PARAGUAY**

**14-INV-280**

**De 1/04/2017 a 30/09/2017**


Hoja 1

  
Roger Monte Domocq  
Ing. Civil  
R.P. 590183

## INFORME DE AVANCE TÉCNICO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### A DATOS GENERALES

<b>A.1 Institución proponente</b>			
<b>a) Datos de la Institución (universidad, centro académico, instituto o centro de investigación, organismo gubernamental o no gubernamental, público o privado)</b>			
Nombre de la Institución:	Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción –www.uc.edu.py		
Facultad/departamento	Centro de Tecnología Apropriada (CTA) – Facultad de Ciencias y Tecnología		
Institución pública	<input type="checkbox"/>	Institución privada	<input checked="" type="checkbox"/>
Dirección:	Cantaluppi y G. Molinas – Campus Santa Librada	Ciudad:	Asunción
Teléfono:	021 311820 – 021 334650	E-mail:	Roger.monte- tomecq@uc.edu.py
<b>b) Proyecto de Investigación</b>			
Modalidad:	Proyecto de Investigación Institucional		
Título del Proyecto:	Desarrollo de un sistema de pronósticos de niveles y caudales del río Paraguay		
Código del Proyecto:	14-INV-280		
Área de la Ciencia:	Ingeniería y tecnologías		
Meta Mínima:	Pronostico de Niveles y Caudales del río Paraguay hasta 60 90 días		
Responsable Técnico	Ing. Civil Roger Monte Domecq Serrati		

  
 roger Monte Domecq  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

  
 Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

## B. DATOS DE DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

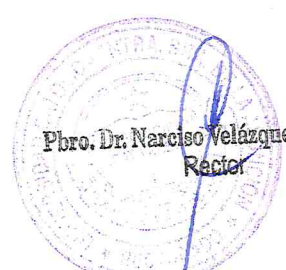
### B1. Objetivos, indicadores y medios de verificación

Objetivos General y específicos	Indicador verificable de cumplimiento <sup>1</sup>	Medio de Verificación <sup>2</sup>	Observaciones
<p><u>Principal</u> Desarrollar e implementar un sistema de pronóstico operativo del río Paraguay.</p> <p><u>Específicos</u> P1 - Revisión de metodologías existentes</p> <p>P2 - Sistematización de datos para el sistema de pronóstico hidrológico</p> <p>P3. Trabajo de campo: automatización de 2 estaciones hidrométricas existentes y realización de mediciones de caudal río Paraguay en Asunción</p> <p>P4 Desarrollo del sistema de pronósticos hidrológicos</p> <p>P.5 Programa de difusión en el portal web y su utilización</p> <p>P6 Gestión del proyecto</p>	<p><i>Sistema de pronóstico de niveles y caudales implementado</i></p> <p>Documento de revisión de metodologías existentes</p> <p>Base de datos hidrométrica publicada en la web</p> <p>Informe de resultados, medible en % de cumplimiento</p> <p>Sistema de pronóstico calibrado y validado</p> <p>Información accesible en la web, demostrable</p> <p>Informes y reportes entregados a conacyt</p>	<p><i>Sistema de pronóstico implementado y calibrado</i></p> <p>Informe</p> <p>Base de datos de las 10 estaciones hidrométricas (archivos) Reporte sistematizado de las 10 estaciones hidrométricas</p> <p>Informe documentado de estaciones hidrométricas adecuadas, con datos de los equipos instalados. Reporte los trabajos de medición de caudales medidos en el río Paraguay. Memoria de las estaciones e Inspección técnica de equipos instalados</p> <p>informe técnico con resultado de los pronósticos hidrológicos</p> <p>Proyecto difundido en el portal web.</p> <p>Informes generados en las distintas etapas del proyecto. Contratos de investigadores Reportes de avances de los resultados</p>	

<sup>1</sup> Indicador verificable de cumplimiento: Es la expresión cuantitativa que permite predecir o evaluar el grado de cumplimiento de objetivos y/o logro de resultados. Se puede medir en cantidades o porcentajes para permitir comparaciones.

<sup>2</sup> Medio de Verificación: Es la fuente de información a través de la cual se acredita el cumplimiento de objetivos y/o logro de resultados. Incluye material publicado, inspección visual, encuestas, registros de información, reportes estadísticos, entre otros.

  
Roger Monte Domocaj  
Ing. Civil  
R.P. 590183

  
Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

## B.2. Resultados esperados

Describir los resultados que se esperan obtener con el desarrollo del Proyecto de Investigación, especificando indicadores para evaluación de éxito y objetivo específico que se ha cumplido en el semestre, con cada uno de los resultados. Los resultados deben estar claramente relacionados con los productos esperados indicados en el plan General de Trabajo.

Resultados esperados	Observaciones
1) Sistema de pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay a 60 - 90 días implementado.	Meta mínima es a 15 días
2) Publicación sobre la Caracterización de las inundaciones y estiajes del río Paraguay	En el segundo semestre se inicia esta actividad, actualmente en fase de recopilación, con los investigadores del proyecto e invitados
3) Base de datos hidrológico del río Paraguay implementado	En construcción, será disponibilizado en la universidad en una computadora y parte de los datos vía portal web
4) Portalweb del Sistema de Pronósticos del río Paraguay	Existe un portal que será adecuado para el proyecto en el tercer semestre
5) Dos estudiantes de la FCyT capacitados para operar el sistema de pronóstico	Ya cuenta en el equipo con un ing. Junior recién recibido y una estudiante desarrollando su tesis de grado de ing. Ambiental con el proyecto, ambos contratados.

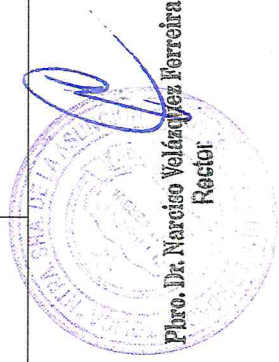


Roger Monte Domocq  
Ing. Civil  
R.P. 590133

**C. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO<sup>3</sup>**

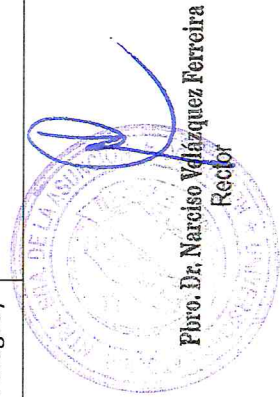
Nivel PGT	Descripción de actividades	Indicadores	Medios de verificación	Riesgos	Grado de avance (en porcentaje)	Comentarios
1	Contratación de Recursos Humanos	Contratos firmados	Facturas mensuales. Los contratados entregaran informes de forma bi-mensual al responsable técnico del proyecto. Estos informes serán adjuntados como anexos a las presentaciones hechas al CONACYT.	No conseguir técnicos capacitados para cubrir puestos que requiera el proyecto	100%	<p>Contratación del Investigador principal:- Roger Monte Domecq. Contratación de dos co-investigadores:- Julián Báez y José Luis Ávila</p> <p>Contratación de un Ing. Asesor del Proyecto (octubre)-Roberto Takahashi.</p> <p>Contratación de un Ing. Como Investigador Junior (octubre):-Alberto Grissetti</p> <p>Contratación de una pasante en el mes de febrero:-Rosa Aseretto</p> <p>Se procedió a reemplazo de Ing. A. Grissetti (1) con el Ing. Manuel Mazo</p> <p>(1) viaje al exterior con Beca de Pos Grado.</p>

Roger Monte Domecq  
Ing. Civil  
R.P. 590.483



Nivel PGT	Descripción de actividades	Indicadores	Medios de verificación	Riesgos	Grado de avance (en porcentaje)	Comentarios
2	Compra de computadoras tipo "laptop" y de escritorio para almacenar y procesar datos hidrométricos y de precipitaciones	Comprabante de venta	Comprabante de venta a nombre de la UCA	No conseguir una computadora al precio establecido	100%	Compra realizada en el mes de febrero. Se adquirió dos equipos informáticos. Una laptop y una computadora de escritorio
P1	Revisión de metodologías existentes	revisión de 3 (tres) Métodos de pronósticos hidrológicos	Documento de cada uno de los métodos/modelos revisados que son: a) modelos de propagación que simulan el río y se utilizan los niveles y los caudales. b) modelos de transformación lluvia a caudal, que se simula a partir de la precipitación c) los modelos precipitación caudal con propagación en ríos, que simulan el río y las sub cuencas de aporte.	no-disponibilidad en tiempo de la información. recursos humanos necesarios	100%	Revisión de literatura
P2	Sistematización de datos para el sistema de pronostico hidrológico	Datos hidrométricos sistematizados de 9 (nueve) estaciones hidrométricas del río Paraguay	Base de datos de las 9 estaciones hidrométricas (archivos) Reporte sistematizado de las 9 estaciones hidrométricas	Ausencia de los datos en las estaciones referenciales	80%	Datos disponibilizados en una base informática en computadora del proyecto. Análisis de consistencia de datos en proceso de verificación final para varias estaciones

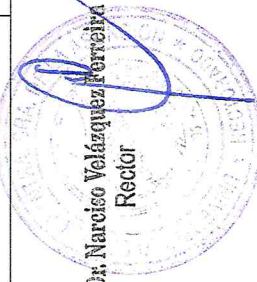
Ing. Civil  
R.P. 590183



Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

**D. TRABAJO DE CAMPO<sup>5</sup>**

Nivel PGT	Descripción de actividades	Indicadores	Medios de verificación	Riesgos	Grado de avance (en porcentaje)	Comentarios
P3.1	Automatización de datos	Automatización de 2 de 3 estaciones hidrométricas existentes	Informe documentado de estaciones hidrométricas adecuadas, con datos de los equipos instalados.. Inspección técnica por parte de los evaluadores (CONACYT) de los equipos instalados.	Debilidad en la comunicación (acuerdos) con las instituciones propietarias de los sitios donde se ubican las estaciones	30%	En preparación, para ejecutarse en 3er semestre del Proyecto Ya se cuenta con un plan de trabajo y tdr para contratación de servicio de instalación. Supeditado al 2do desembolso del Proyecto TDR en el Anexo 9
P3.2	Medición de caudales	Mediciones de caudal en Asunción.	Informe documentado de estaciones hidrométricas adecuadas, con datos de los equipos instalados. Reporte los trabajos de medición de caudales medidos en el río Paraguay Memoria fotográfica de las estaciones automatizadas. Inspección técnica por parte de los evaluadores (CONACYT) de los equipos instalados.	Debilidad en la comunicación (acuerdos) con las instituciones propietarias de los sitios donde se ubican las estaciones	20%	En preparación, para ejecutarse en 3er. Semestre del Proyecto Octubre 2017 a marzo 2018 Supeditado al 2do desembolso del Proyecto Ya se cuenta con un plan de trabajo y tdr para contratación consultor Anexo 10



**Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira**  
Rector

**Roger Monte Sandoz**  
Ing. Civil  
R.P. 590183

<sup>3</sup> Fase de planificación para la puesta en marcha del proyecto.

<sup>4</sup> Nivel de actividad acorde a lo presentado en el Plan General de Trabajo del SPI.

<sup>5</sup> Fase de elaboración y utilización de instrumentos para el relevamiento de datos.

**Nivel de productividad de los investigadores desde el inicio del proyecto de investigación**

Nombre y apellido del investigador	Producción (libro, capítulo de libro, artículo, producción técnica/tecnológica, etc.) relacionado al proyecto	Año
N/A	N/A	N/A

**E. ANÁLISIS DE RESULTADOS<sup>4</sup>**

Nivel PGT	Descripción de actividades	Indicadores	Medios de verificación	Riesgos	Grado de avance (en porcentaje)	Comentarios
	Servicio de mediciones de caudales río Paraguay en asunción con capacitación	Tres mediciones de caudales. Tres técnicos capacitados en la medición de caudales (investigadores Juniors e instituciones con quienes se vinculara al proyecto)	Reporte de las mediciones de caudal Material didáctico de capacitación para medición de caudales Reporte de la capacitación Memoria fotográfica	Débil compromiso de las personas capacitadas.	30%	Previsto a realizarse en el 3er. Semestre del Proyecto Octubre 2017 a marzo 2018  En preparación Plan de trabajo y Tdr en Anexo 10

Roger Monte Domboq  
Ing. Civil  
R.P. 590183

  
Profr. Dr. Narciso Velazquez Ferreira  
Rector



	Automatización para visualización de datos de estaciones hidrométricas existentes	Visualización de los datos medidos en el portal web del CTA/UCA, en tiempo real.	Estación instalada y en funcionamiento en el portal web del CTA/UCA Sección web de datos en la plataforma virtual del CTA/UCA en funcionamiento.	Inaccesibilidad de datos monitoreados por internet.	30%	En trámite de adquisición. Supeditado al 2do desembolso del Proyecto  Se cuenta con especificaciones técnicas.-(Anexo-9)
P4	Desarrollo del sistema de pronósticos hidrológicos	sistema de pronostico hidrológico implementado y calibrado	informe técnico con resultado de los pronósticos hidrológicos	calibración preliminar, en proceso de ajuste con resultados aceptables	50%	Calibracion a iniciarse en el 3er semestre del Proyecto, Octubre 2017 a marzo 2018
P4.1	Implementación de los modelos hidrológicos seleccionados	1 modelo estocástico y 1 modelo dinámico implementado	Documento de resultado del modelo estocástico Documento de resultado del modelo dinámico implementado Resumen de ambos modelos implementados, sus resultados y sus aplicaciones.	Los datos utilizados no reflejan la realidad.	70%	Modelo Hidraulico implementado, a calibrarse en la ultima fase  Modelo Hidrológico Implementado a calibrarse en la ultima fase  Modelo Estocástico en proceso.

  
**Roger Monte Domocq**  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183



P4.2	Calibración y Validación del sistema de pronóstico	Sistema de pronóstico hidrológico calibrado y validado	Reporte comparativo entre los datos reales y los generados con el sistema de pronóstico.	La calibración del sistema de pronóstico no refleja el 70% de los valores medidos en un rango +-25 cm.	0%	A iniciarse en el último semestre del proyecto octubre 2017 a marzo 2018
P5	Programa de difusión en el portal web y su utilización	Estrategia de comunicación para difusión del programa (dar a conocer) para ser vehiculizado en el portal web, dentro y fuera de la Universidad. Instalación del proyecto en el portal web del CTA/UCA.	Proyecto difundido en el portal web. Portal web publicado en la web del CTA/UCA. Documentación Fotográfica y visibilidad del proyecto en la web del CTA/UCA.	No existen factores de riesgos para esta actividad	0%	A ejecutarse en el último semestre del estudio , octubre 2017 a marzo 2018



**Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira**  
Rector



**Roger Monte Domínguez**  
Ing. Civil  
R.P. 590183

P.5.1	talleres de modelos hidrológicos utilizados	2 Talleres / reuniones técnicas de capacitación de desarrollo de modelos hidrológicos 1 taller final de difusión de resultados del proyecto.	Plan de capacitación para desarrollo de modelos hidrológicos Planilla de asistencia de participantes en los cursos Memoria fotográfica Reporte de capacitación Grilla de capacitación instituciones participantes en el taller final Sistematización del Taller Memoria fotográfica.	Débil interés de los actores/instituciones para participar de estos eventos	50%	1er taller realizado en julio 2017. Anexo W 2do taller a realizarse en el último semestre del proyecto
P.52	Adecuación del portal web <a href="http://capwem.uca.edu.py/">http://capwem.uca.edu.py/</a> , para el proyecto	Portal web implementado y operativo, vinculado al CTA/UCA.	Instalar una nueva sección dentro del portal web del CTA/UCA con referencia al proyecto/datos de los niveles de agua/pronósticos y avances y resultados del proyecto. Implementación y funcionamiento del portal web Dirección de la plataforma web.	El riesgo podría ser que la plataforma no esté funcionando dinámicamente.	20%	A iniciarse en el último semestre del proyecto Se cuenta con un plan de trabajo y un tdr para proceso de contratación de un diseñador web – Anexo 11

<sup>4</sup> El análisis de datos y resultados es un proceso de inspeccionar, limpiar y transformar datos con el objetivo de resaltar información útil, lo que sugiere conclusiones, y apoyo a la toma de decisiones

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P.-590183




### F. GESTIÓN DE PROYECTO\*

Nivel PGT	Descripción de actividades	Indicadores	Medios de verificación	Riesgos	Grado de avance (en porcentaje)	Comentarios
P6	Gestión del proyecto	Monitoreo y seguimiento de la correcta ejecución del proyecto, tanto en las tareas ejecutadas como los plazos de ejecución.	Diversos Informes generados en las distintas etapas del proyecto. Contratos de investigadores Reportes de avances de los resultados (productos esperados).	Dilación de plazos de adquisición, firmas de contratos de ejecución, firmas de convenios, etc.	60 %	Se cuentan con atrasos en procesos de contratación por huelga en la Universidad Católica, ya normalizados a partir de setiembre 2017

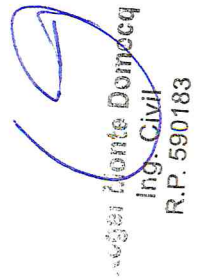
(\* )Solo para aquellos casos que aplique

### G. PRESENTACIÓN Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Nivel PGT	Descripción de actividades	Indicadores	Medios de verificación	Riesgos	Grado de avance (en porcentaje)	Comentarios
-----------	----------------------------	-------------	------------------------	---------	---------------------------------	-------------



Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



Ing. Civil  
R.P. 590183

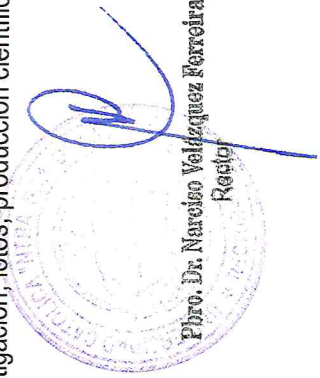
1	Adecuación del portal web <a href="http://capwem.uca.edu.py/">http://capwem.uca.edu.py/</a> , para el proyecto	Portal web implementado y operativo, vinculado al CTA/UCA.	Instalar una nueva sección dentro del portal web del CTA/UCA con referencia al proyecto/datos de los niveles de agua/pronósticos y avances y resultados del proyecto. Implementación y funcionamiento del portal web Dirección de la plataforma web.	El riesgo podría ser que la plataforma no esté funcionando dinámicamente.	0%	A ejecutarse en el último semestre del proyecto octubre 2017 a marzo 2018. En proceso de contratación de un consultor diseñador portal web
---	--	--	---	---	----	---

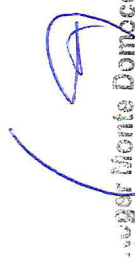
Nómina de espacios de divulgación organizados por la institución (anexar documentos, informes institucionales, publicaciones en prensa y registro on line de respaldo)	Fecha
N/A	N/A

#### Espacios de divulgación del conocimiento científico


Nómina de espacios de divulgación (jornadas, seminarios, eventos, otros) a los que asistieron los/as investigadores (anexar informes institucionales y afiches)	Institución organizadora	Fecha	Modalidad de participación de los investigadores: ponente, participante (adjuntar certificados si tienen)
N/A	N/A	N/A	N/A

**Anexos:** se pueden adjuntar anexos como respaldo de actividades realizadas: (Convenios y contratos - que no sean proveedores-, certificaciones, resoluciones de Instituciones involucradas en el proyecto de investigación, fotos, producción científica o proyección de la misma, actas de reuniones, materiales, etc.)



  
 Oscar Monte Domocq  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

- **Anexo 1: Plataforma de Modelación Implementada condiciones y datos de entrada**
- **Anexo 2: Modelación Hidrológica HEC-HMS en Cuencas Interiores**
- **Anexo 3: Modelación Hidráulica Rio Paraguay**
- **Anexo 4: Modelación Estocástica**
- **Anexo 5: Sistematización de datos del proyecto**
- **Anexo 6: Publicación del Rio Paraguay y su cuenca**
- **Anexo 7: Presentación del estudio en evento Cambio Global y Riesgos Climaticos en Py-GuyraPy-FP-UNA-Conacyt**
- **Anexo 8: 1er Taller de difusión del Proyecto –Julio 2017**
- **Anexo 9: Plan de trabajo y Tdr para la Automatización de 2 estaciones hidrométricas**
- **Anexo 10: Plan de Trabajo y Tdr para mediciones de caudal con capacitación**
- **Anexo 11: Plan de trabajo y Tdr para el portal web del proyecto**
- **Anexo 12: Informe de Consultores del proyecto**

  
Ing. Civil Monte Domínguez  
R.P. 590183



# Anexo 1: Plataforma de Modelación para el Pronóstico de caudales y niveles hidrométricos en el río Paraguay

## 1.1 Introducción

El sistema de pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay se ha diseñado a partir de 2 herramientas, Un modelo Dinámico basado en una plataforma de modelación hidrológico e hidráulico y un modelo estocástico que trabaja con los datos con procesamiento estadístico y correlación del comportamiento de los caudales y niveles con otras variables climáticas.

## 1.2 Plataforma de modelación dinámica (Hidrodinámica)

Se utilizan dos modelos desarrollados por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, uno Hidrológico, el Hec Hms y otro Hidráulico Hec Ras

El modelo hidrológico transforma las lluvias en caudal en las cuencas interiores del río Paraguay (fig. 1.1) y el modelo hidráulico transita los caudales a lo largo del cauce generando niveles y caudales a lo largo del mismo (fig. 1.2).

Ambos modelos están vinculados con una misma base de datos Hec Dss asociado al paquete Hec y se efectuaron rutinas de programación para en el futuro automatizar ciertas rutinas (fig. 1.3)

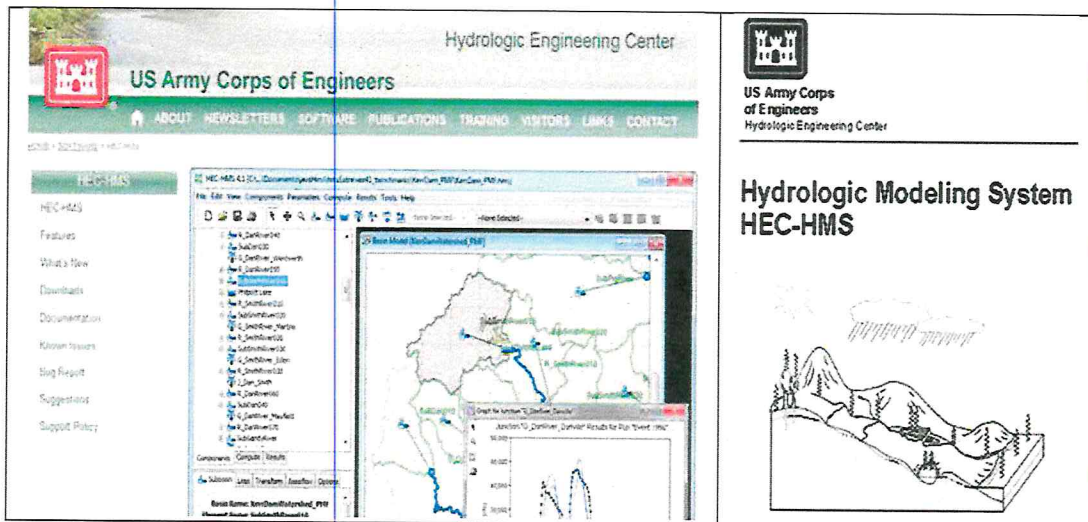


Fig. 1.1: Modelo Hidrológico Hec-Hms para transformación de lluvia en caudal cuencas interiores

  
Roger Monte Domocq  
Ing. Civil  
R.P. 590183

  
Prof. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

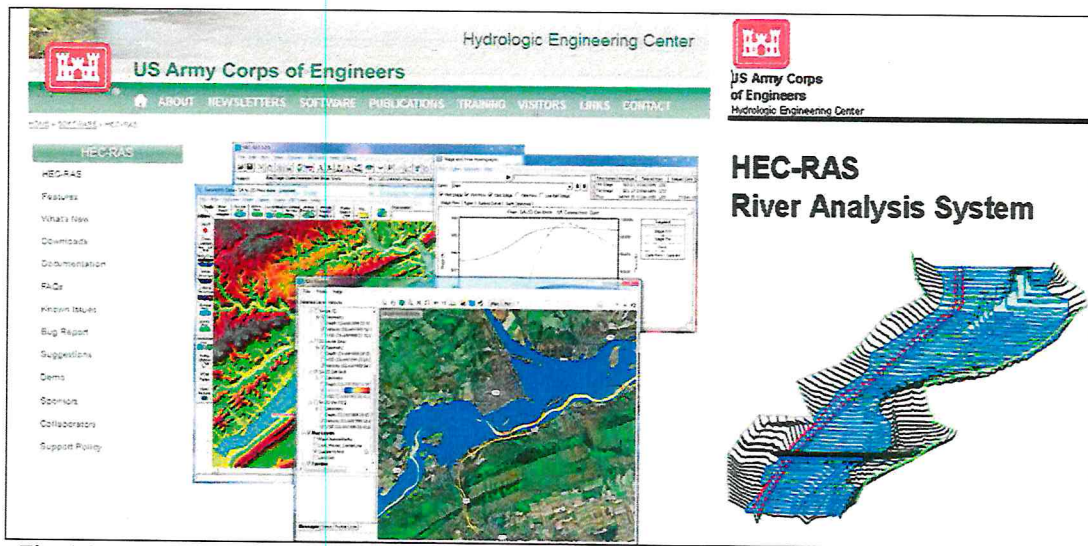


Fig. 1.2: Modelo Hidráulico Ras para obtener caudales y niveles a lo largo del cauce rio Paraguay



Fig. 1.3: Procesos de automatización para vincular los modelos hidrológico HMS e hidráulico RAS

En los anexos 2 y 3 se presenta el marco conceptual de los modelos, así como el procesamiento de datos requeridos para implementar ambos modelos a partir de datos obtenidos a nivel nacional y regional.

### 1.3 Pronóstico a partir de la Modelación Estocástica

La hidrología estocástica aplica la teoría de los procesos estocásticos, que son parte de la ingeniería de sistemas, al estudio de los eventos hidrológicos. La proyección hacia el futuro se basa en la combinación de la estadística y la teoría de la probabilidad. Con la estadística se realiza el **análisis de frecuencias de los eventos históricos** y se **definen los parámetros que determinan el patrón general de comportamiento**. Con estos parámetros y con la aplicación de la teoría de la probabilidad se hace el pronóstico de lo que puede esperarse en el futuro, dentro de cierto nivel de riesgo.

#### Tarea Inicial: Organización de los datos de entrada:

Para implementar un modelo estocástico en el río Paraguay se desarrolló inicialmente la sistematización de datos hidrométricos históricos, verificando la calidad de las series históricas de las estaciones hidrométricas disponibles en este río. Ello se realizó con apoyo de un sistema informático desarrollado por uno de nuestros colaboradores en el proyecto. Se utilizó como insumo, la base de datos verificada en el proyecto "Zonificación de áreas inundables del río Paraguay", concluido en el año 2000 por la Facultad de Ingeniería de la UNA. La actualización de estos datos contó con fuentes de la Dirección de Meteorología e Hidrología de la DINAC, la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP) y la Armada de la República del



Paraguay (ARP). Esta serie contempla datos desde 1905 hasta la fecha para el caso de Asunción.

Segunda tarea: Análisis de frecuencia de datos

A partir de los datos disponibles se procedió a efectuar un análisis de frecuencia de los datos hidrométricos de las estaciones en el río Paraguay, ya presentado en detalle en el informe de avance 1.

Métodos a utilizar:

Desde la década de los años ochenta, se utilizaban métodos de correlación lineal para estimar el comportamiento futuro del nivel del río Paraguay basado en un punto de control aguas arriba. Estos métodos solo permiten tener una idea de translación lineal de la onda de crecida, por lo que, si se generan lluvias importantes en las cuencas intermedias, las mismas no son contempladas en la ecuación de regresión lineal y, por tanto, los resultados son alterados sustancialmente.

Más recientemente, se ha implementado en la Dirección de Meteorología e Hidrología el método planteado por Rojo (2011) que utiliza métodos no lineales para predicción de caudales en dos puntos de control, Concepción y Asunción.

Este modelo utiliza métodos espectrales y de regresión, produciendo un pronóstico de 1, 3, 6 y 12 meses. Se generan caudales mensuales medios para los horizontes de tiempo antes mencionados.

Este método es el método propuesto para su implementación como modelo estocástico en el presente proyecto. Para ello, además de los avances en el proyecto, se ha iniciado una tesis de grado con la estudiante Olga Orihuela de Ingeniería Ambiental, quien ahondará con las metodologías de modelos estocásticos aplicados a predicción de niveles del río Paraguay, especialmente en Asunción



  
Roger Monte Lumco  
Ing. Civil  
R.P. 590183

## Anexo 2: Modelación Hidrológica HEC-HMS -Cuencas Interiores

### 2.1 Introducción

En el Primer Informe de Avance ya se ha presentado en detalle el marco conceptual teórico del Modelo Hec HMS. Aquí se presenta una síntesis:

El HEC-HMS es un programa de dominio público, para modelación hidrológica desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, en el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) y está diseñado para simular el proceso de precipitación y escurrimiento en cuencas y puede ser aplicado a un amplio rango de regiones geográficas como grandes cuencas sin intervención. Además, los resultados pueden ser aplicados para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, observación de flujo, impacto de intervención en cuencas, reducción de daños por inundaciones, operación de sistemas, entre otros.

La aplicación del modelo en este trabajo, estará enfocada a obtener hidrogramas de salida de cuencas hidrográficas a partir de datos de precipitación en un periodo de tiempo de 1 o varios años, como simulación continua.

#### Etapas de simulación del ciclo hidrológico en el modelo

El modelo HEC-HMS simula 4 (cuatro) componentes del ciclo hidrológico, brindando una gran variedad de métodos que pueden ser utilizados para cada componente. La selección de uno u otro método dependerá del tipo de modelo que se quiera crear (de evento o continuo), así como de la calidad y cantidad de datos disponibles.

Estos componentes son los siguientes (Sánchez, 2012)<sup>3</sup>:

- a) Vegetación, superficie, pérdidas: esta primera etapa calcula qué parte de la precipitación caída va a generar escorrentía directa (Precipitación Neta).
- b) Transformación: el programa calcula la escorrentía directa producida por la precipitación neta. Para esta etapa, existen diversos métodos que pueden utilizarse y se ha seleccionado el Hidrograma Unitario de Clark atendiendo a los pocos datos medidos disponibles.
- c) Caudal Base: en esta etapa el programa suma la escorrentía directa a la escorrentía básica (si existía previamente). Calcula la evolución de la escorrentía básica a lo largo del tiempo. Existe una gran variedad de métodos, pero solo uno trabaja en conjunto con el modelo de pérdidas SMA para simulaciones continuas, el Linear Reservoir.
- d) Tránsito de Avenidas: el programa calcula cómo evoluciona un hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce, o a través de un depósito o embalse y se utiliza el método Muskingum Kunge que se describe más adelante.

### 2.2 Caracterización de las cuencas de la Región Oriental

Para los fines de modelación, las cuencas de estudio deben ser caracterizadas, de manera a facilitar la estimación de parámetros. La estimación de parámetros se hará en base a ciertas características físicas del cauce principal, y otras características de la cuenca como la pendiente, tipo y uso de suelo, con datos obtenidos de diversas fuentes y procesadas

Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

<sup>3</sup> Sánchez, F.J. (2012). Manual Elemental (HEC-HMS). Departamento de Geología – Universidad de Salamanca, España.

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.F. 590133

con apoyo de herramientas de geo procesamiento digital y utilización de un sistema de información geográfica (SIG).

Como aporte lateral al río Paraguay en territorio paraguayo se consideran exclusivamente las cuencas vertientes de la región oriental al río Paraguay que son las que tienen incidencia en el comportamiento hidráulico del río Paraguay. Las cuencas laterales de la margen derecha de la región chaqueña no son consideradas ya que sus aportes son bajos y no tienen incidencia en la generación de caudales y niveles en el río Paraguay, incluso en periodos de crecidas el río desborda varios kilómetros en la planicie chaqueña.

### 2.2.1 Área del proyecto:

El Paraguay se encuentra dentro de la sexta cuenca más grande del mundo, donde los principales ríos: Río Paraguay y Río Paraná, se desarrollan a lo largo de la Región Oriental. La cuenca del Río Paraguay ocupa 106.907 km<sup>2</sup> (67%) en esta región, estos a su vez tienen importantes afluentes que bañan a esta región.

Las cuencas hidrográficas más importantes de la región Oriental, se consideran como aporte lateral, siendo sus cauces los principales afluentes de río Paraguay: la Sub cuenca del Río Apa con 4.118 km<sup>2</sup>, Sub cuenca del Río Aquidabán con 11.769 km<sup>2</sup>, Sub cuenca del Río Ypané con 10.266 km<sup>2</sup>, Sub cuenca del Río Jejuí Guazú con 22.719 km<sup>2</sup>, Sub cuenca del Río Manduvirá con 10.583 km<sup>2</sup>, Sub cuenca del Río Piribebuy con 1.624 km<sup>2</sup>, Sub cuenca del Río Salado con 1.128 km<sup>2</sup>, Sub cuenca del Río Tebicuary con 26.295 km<sup>2</sup>. En la figura 2.1 y 2.2 se ilustran las principales cuencas y ríos del país

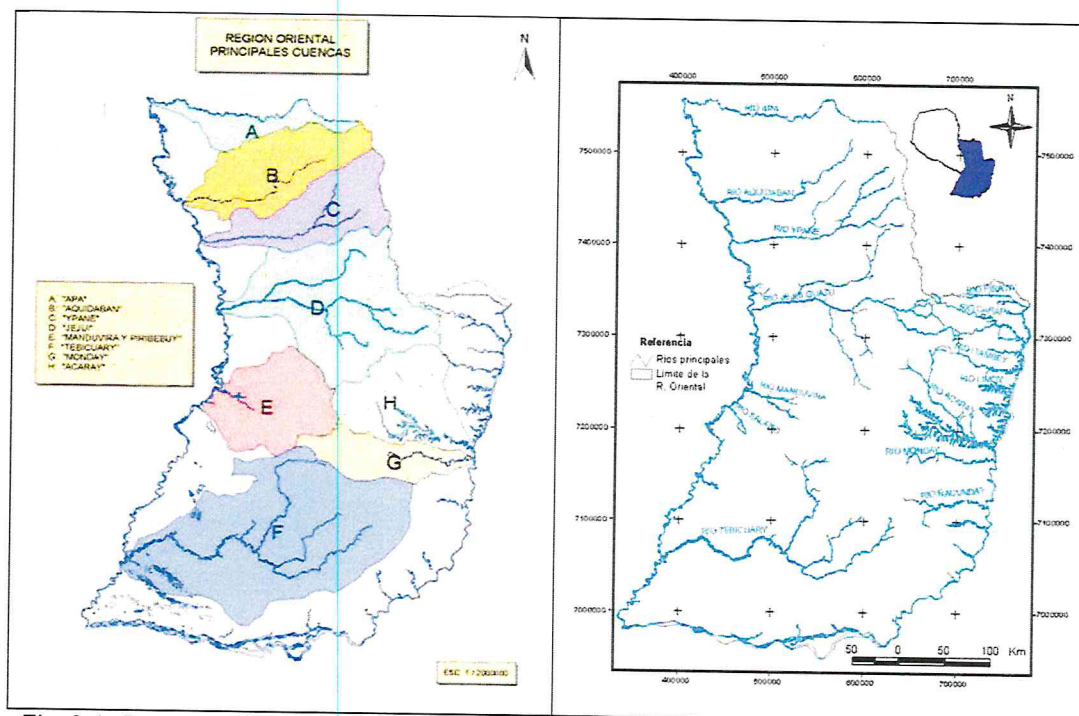


Fig. 2.1: Cuencas hidrográficas región oriental Fig. 2.2: Red hídrica de la región oriental

De la margen derecha, región occidental o chaco no se consideran las cuencas como aporte lateral al río Paraguay atendiendo que no se identifican cauces activos que aporten significativamente al cauce del río Paraguay frente a los cauces de la región oriental ya indicados. Los cauces que llegan al río Paraguay en la región occidental como los riachos Negro, Confuso, Verde, Montelindo y otros solo se activan en periodos húmedos y por

tanto no se los considera en esta fase de modelación hidrológica para el modelo hidráulico del río Paraguay, en la figura 2.3 se presentan los riachos del chaco que llegan a río Paraguay. El único cauce relativamente importante de la región, el río Pilcomayo, solo tiene cauce activo binacional con la Argentina en unos 60 kilómetros de la frontera boliviana y luego desaparece como cauce activo a través de 2 brazos, uno en cada país y que alternativamente distribuyen aguas en periodos lluviosos a cada uno de los países, como se indica en la figura 2.4. A nivel público y educativo aún se tiene la creencia que el río Pilcomayo es frontera entre Argentina y Paraguay, el cual ya ha desaparecido en más de 300 kilómetros de cauce limítrofe por erosión retrograda en los últimos 70 años y el cauce que llega al río Paraguay entre Pto. Falcón y Clorinda solo es realimentación de la cuenca baja por lluvias.

Más abajo ya en territorio Argentino se tiene el río Bermejo el cual descarga al sur de Formosa y no se considera en este estudio, ya que se analiza el río Paraguay hasta Asunción.

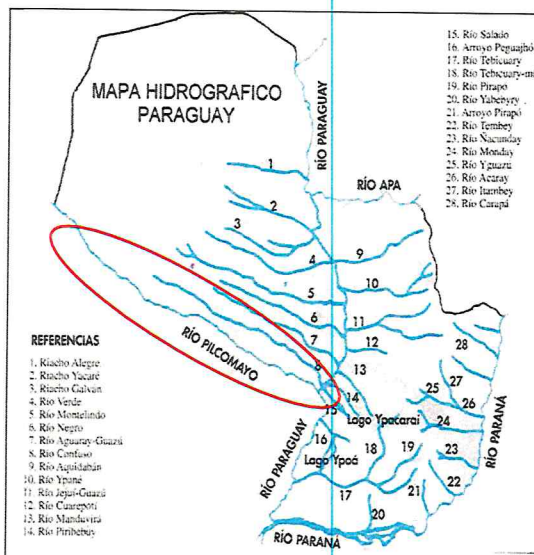


Fig. 2.3: Ríos y riachos en Paraguay

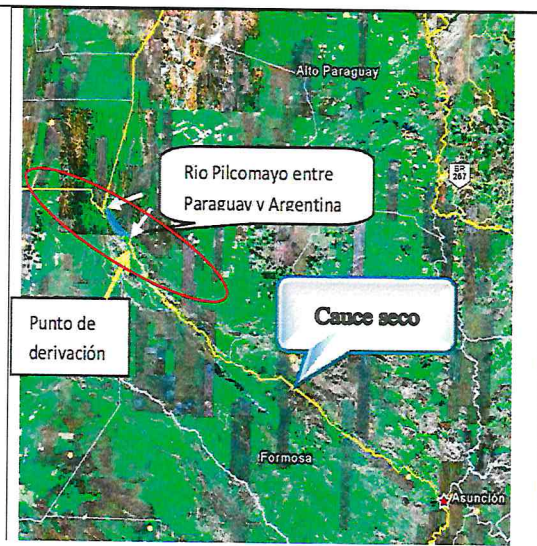


Fig. 2.4: 60 km de cauce activo del río Pilcomayo

En consecuencia a lo expuesto se organizó el área del proyecto de modelación hidrológica con las cuencas de la región oriental incluida la cuenca del río Apa que es transfronteriza.

A partir de aquí se describen los datos de entrada para la modelación hidrológica: La topografía, el tipo de suelo, el uso del suelo (territorio), la sub división de cuencas, la red hídrica, la geomorfología, la precipitación en las cuencas y los parámetros requeridos por el modelo hidrológico continuo.

Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590103



Fig. 2.5: Área del proyecto para la modelación hidrológica en formato SIG

### 2.2.2 Topografía.

La clasificación de las pendientes fue realizada teniendo en cuenta los métodos utilizados para determinar ciertos parámetros hidrológicos que dependen directamente del grado de pronunciación de la pendiente.

El rango de pendiente predominante es de 1 – 3%. La altitud máxima de la Cuenca es de 701 m.s.n.m y la mínima de 63 m.s.n.m.

  
 Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

  
 Roger Monte Lombardi  
 Ing. Civil  
 R.P. 590133

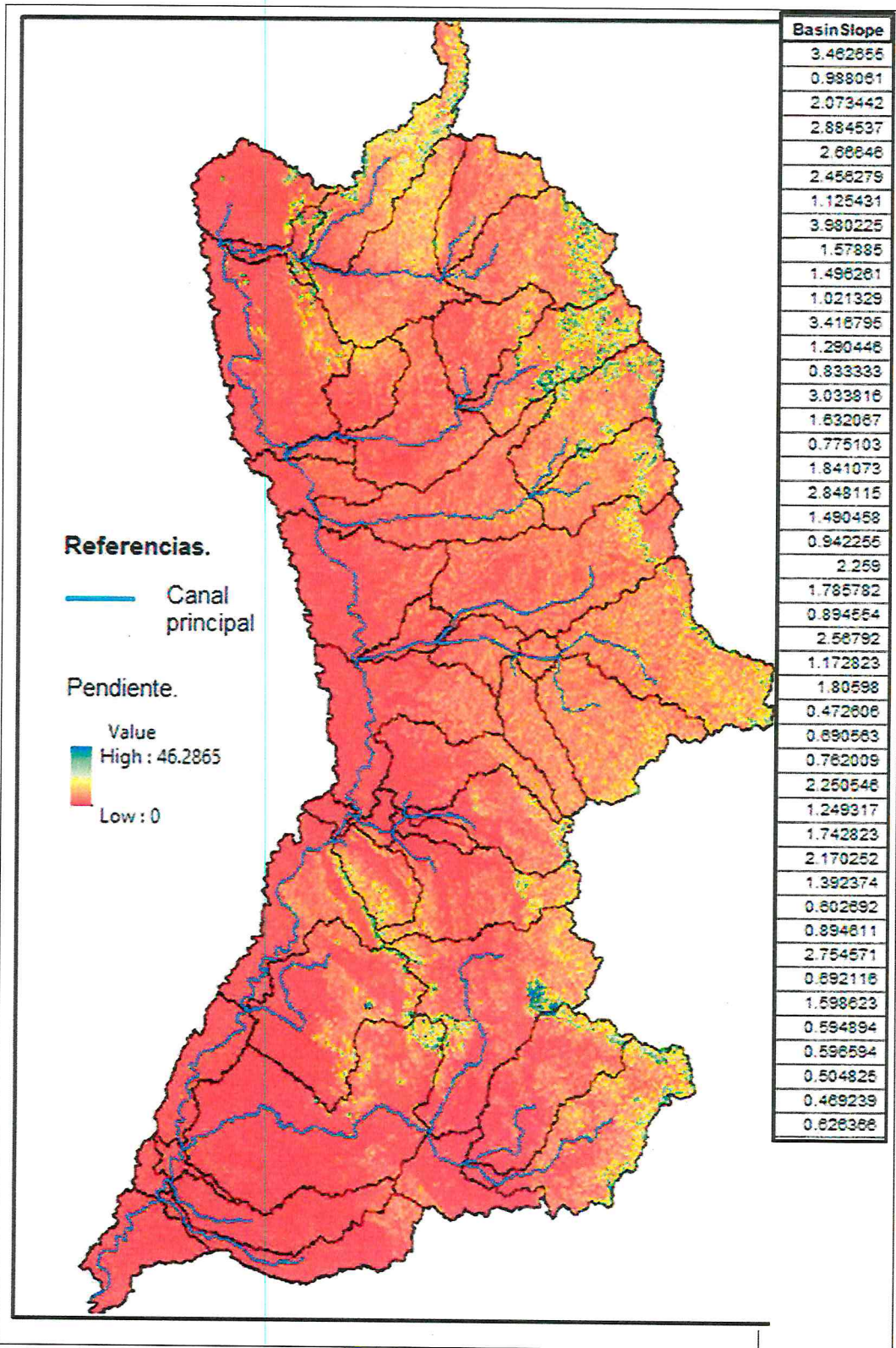
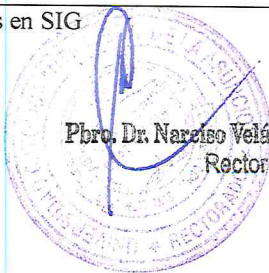


Fig. 2.5 Pendientes procesadas en SIG



Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Roger Monte Romo  
Ing. Civil  
R.P. 590133

### 2.2.3 Tipo y Uso de Suelo

La Región Oriental forma parte de la cuenca geológica sedimentaria del Paraná, la que ha dado origen a suelos con buenas propiedades físico-químicas, mineralógicas y biológicas, productos de la interacción de materiales geológicos relativamente antiguos con los factores del clima, la vegetación y otros organismos vivos, y que han actuado sobre un relieve en un período de tiempo determinado.

El material parental y las geoformas de la región han dado origen a suelos profundos y bien desarrollados. Los Alfisoles, Ultisoles y Oxisoles se desarrollaron en las lomadas, geoforma predominante en el paisaje de la Región Oriental. Son suelos sedentarios, formados de rocas basálticas y areniscas, estas últimas de diferentes formaciones geológicas. En condiciones nativas, la vegetación predominante en estos suelos es de bosque alto húmedo subtropical, semicaducifolio, denominado actualmente Bosque del Alto Paraná (sustituyéndole a la anterior denominación de Bosque Atlántico Interior). También se encuentran suelos clasificados como Entisoles, en su mayoría formados de rocas graníticas o areniscas, con vegetación predominante de gramíneas nativas e islas de bosques.

En los valles y planicies predominan los suelos de origen aluvial, siendo más jóvenes en edad geológica (cuaternario). Pertenecen también al orden de los Alfisoles y Ultisoles, con un régimen de humedad acuico.

Los suelos de esta región fueron estudiados a nivel de reconocimiento, utilizando el Sistema de Clasificación de la Taxonomía de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (Claves para la Taxonomía de Suelos, año 1.992). Asimismo, en base a la información generada por este mapa y con la preparación de un mapa de pendiente de toda la Región Oriental, se elaboró un mapa de Capacidad de Uso de la Tierra (Manual N° 210, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América), con parámetros adaptados a las condiciones generales de la Región Oriental.

Las imágenes de satélite utilizadas en este estudio de suelo sirvieron además para preparar un Mapa de Uso Actual de la Tierra. Finalmente, con la información generada por estos mapas, se elaboró un mapa de Ordenamiento Territorial. Este conjunto de mapas fueron publicados a escala 1:500.000 en el año 1.995, por el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Banco Mundial. El estudio fue financiado por una donación del Gobierno del Japón y ejecutado dentro del marco del Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra, del Ministerio de Hacienda (Servicio Nacional de Catastro), por el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Banco Mundial.

Este estudio fue el primer esfuerzo de clasificación de los suelos de toda la Región Oriental bajo un mismo sistema, ya que los estudios anteriores a esta fecha habían sido realizados en áreas más pequeñas, utilizando escalas y sistemas diferentes de clasificación y que aunque cumplieron con los objetivos propuestos, las informaciones de suelo en ellos contenidas, no fueron suficientes para una planificación a nivel de región oriental.

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590133

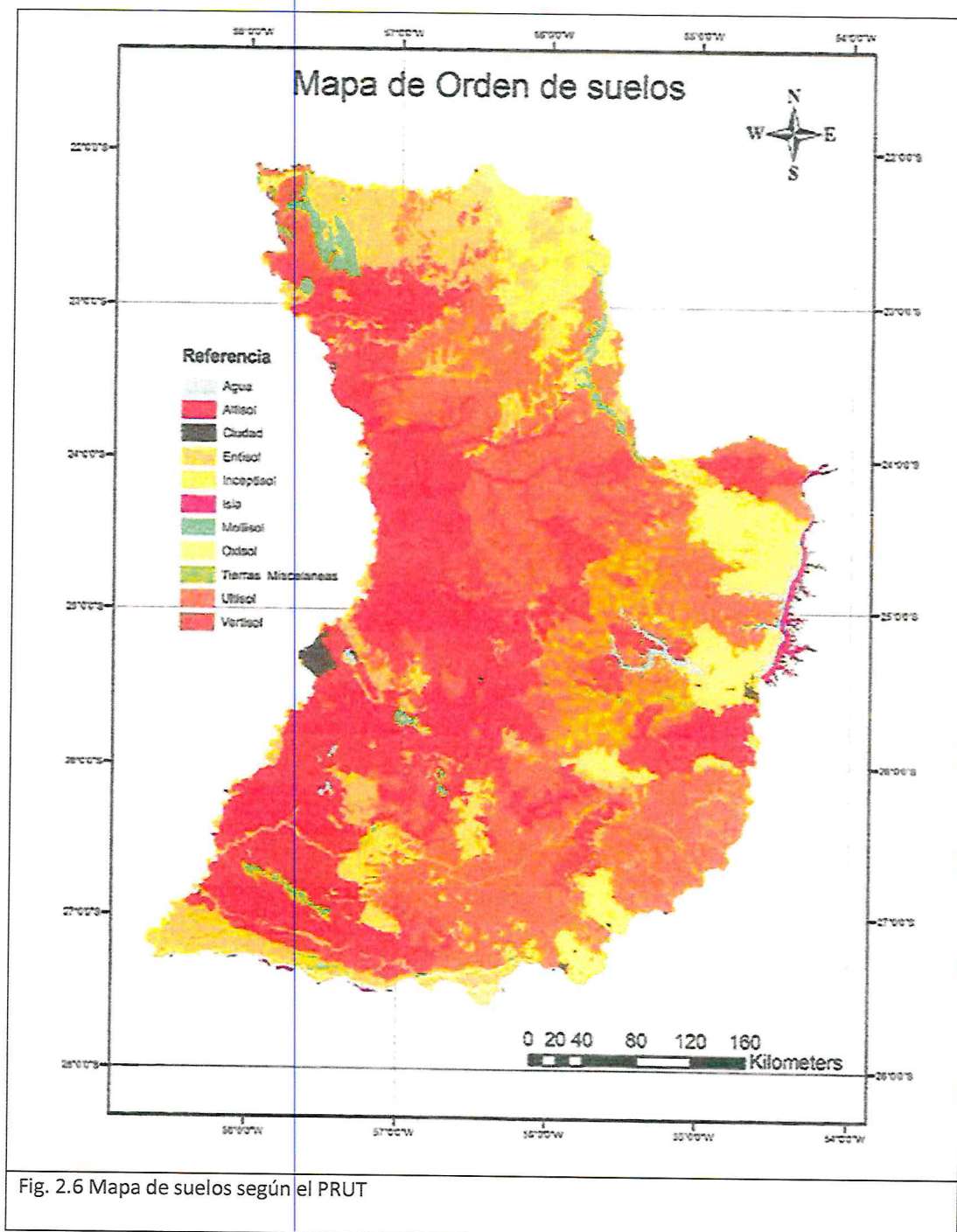


Fig. 2.6 Mapa de suelos según el PRUT

- Utilización de la herramienta SoilGrids <sup>4</sup>

También se utilizó SoilGrids para las capas de suelo más profundas, ya que es un sistema de mapeamiento automatizado del suelo basado en datos de perfiles de suelos globales y co-variables ambientales. SoilGrids representa una colección de propiedades y clases de suelos del mundo a una resolución espacial de 1km y 250m producidos utilizando mapeos de suelos basados en algoritmos de aprendizaje automático. Las predicciones

<sup>4</sup> [www.soilgrids.com](http://www.soilgrids.com)

Roger Monte Domínguez,  
Ing. Civil  
R.P. 590133

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



representadas por SoilGrids son actualizados con una frecuencia regular (por lo menos con frecuencia de algunos meses).

SoilGrids es un producto de datos globales generados en el ISRIC – Información de Suelos Mundial como resultado de una colaboración internacional y como propuesta de contribución a la iniciativa de Sociedad Global de Suelos. SoilGrids 1km y SoilGrids 250m son salidas de un sistema automático global de mapeo de suelos desarrollado en el marco de la Información Global de Suelos. Este sistema tiene por objetivo el de facilitar datos globales de suelos y de servir como conexión entre los datos globales y los mapeos de suelos locales.

La información utilizada por el presente proyecto es de resolución de 250m y se poseen como parámetros los especificados en la siguiente tabla.

Tabla 2.1

Parámetro	Resolución (m)	Profundidad (m)
Arena	250	0, 0.05, 0.15, 0.30, 0.60, 1.2
Limo		
Arcilla		
Carbono Orgánico		
Densidad Aparente		

Como indica la tabla de la figura 2.7 (soil characteristic) , se tienen 7 capas en cuanto a las profundidades para cada parámetro. Estos datos deben ser procesados a nivel de celdas mediante el álgebra de mapas.

- **Utilización del programa SWC<sup>5</sup> (link)**

También se utilizó el Soil Water Characteristics (SWC), que contiene una interface gráfica que, a partir de los contenidos de arena y arcilla, provee las relaciones del contenido hídrico y tensión (punto de marchitez, capacidad de campo y saturación) y conductividad hidráulica saturada (Ksat) y no saturada.

Las ecuaciones del modelo fueron desarrolladas por medio de correlaciones de una extensa base de datos de 1722 muestras provista por el Nacional Soil Survey Laboratory del NRCS del USDA (USA). Además permite incluir variaciones en el contenido de materia orgánica, % de gravas (volumétrico o gravimétrico), nivel de salinidad y nivel de compactación. Cada una de estas 4 variables modifica el resultado de la solución y tiene rangos máximos y mínimos de variación para mantener la validez de dicho resultado. El efecto de la materia orgánica fue evaluado en correlaciones con la textura, en tanto que las otras tres variables modificadoras fueron evaluadas en base a literatura y datos adicionales.

Es importante tener en mente que cuando se utiliza una rutina de estimación como la presente, los resultados representan la media estadística de muchas muestras y métodos auxiliares y por lo tanto se “aproximan” a las características de un suelo específico. Es por esto que los resultados deben ser comparados y calibrados con datos locales. No obstante, si no hay datos locales para contrastar los resultados, las estimaciones del

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

5

<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/manage/drainage/?cid=stelprdb1045310>

programa constituyen una muy razonable representación de los datos presentes en la literatura siendo útiles para la confección de balances de agua y otros procesos.

Los parámetros a ser obtenidos son los de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez, Saturación, Disponibilidad de Agua y Conductividad Hidráulica en Saturación a una resolución igual que la fuente de información.

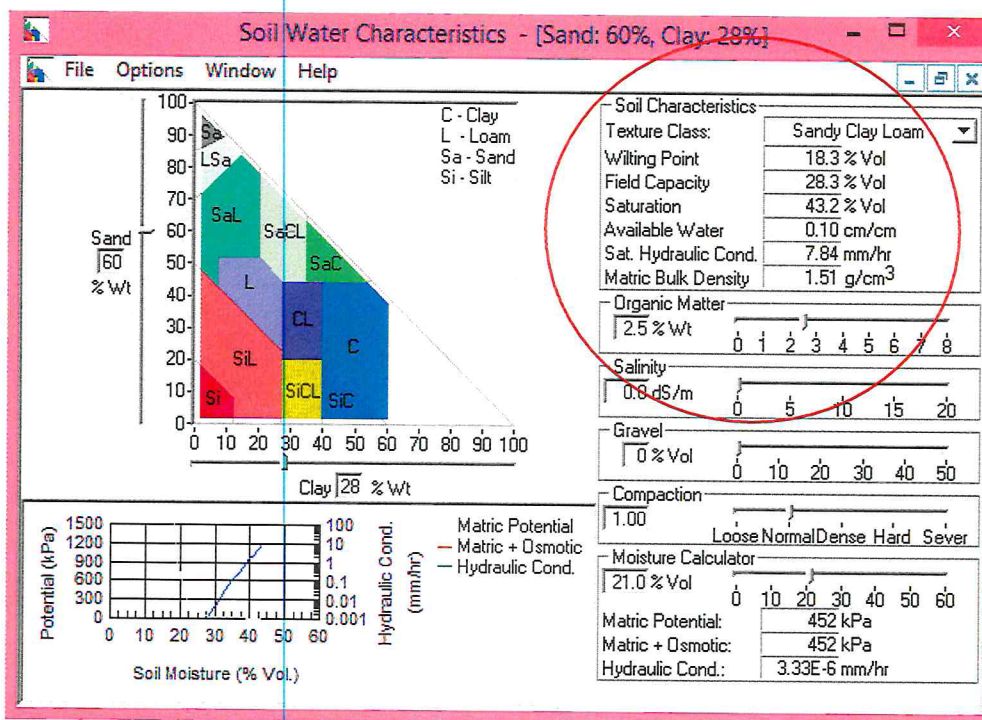


Fig. 2.7 Programa SWC

## 2.2.4 División en subcuencas.

Por las características propias de un Modelo Hidrológico Semi distribuido, es imprescindible subdividir el área de proyecto en unidades más pequeñas llamadas subcuencas, a las cuales se le asignarán características particulares de acuerdo al tipo de suelo, uso de suelo, precipitación media, etc.

A objeto de la modelación, se dividió el área de proyecto en 45 (cuarenta y cinco) subcuencas, cuyas superficies se encuentran en el rango hasta 1500 km<sup>2</sup>. Esta discretización espacial permite conformar el sistema de drenaje del área de proyecto, y será la base para la creación del modelo conceptual en el HEC-HMS.

  
**Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira**  
 Rector

  
**Roger Monte Domínguez**  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

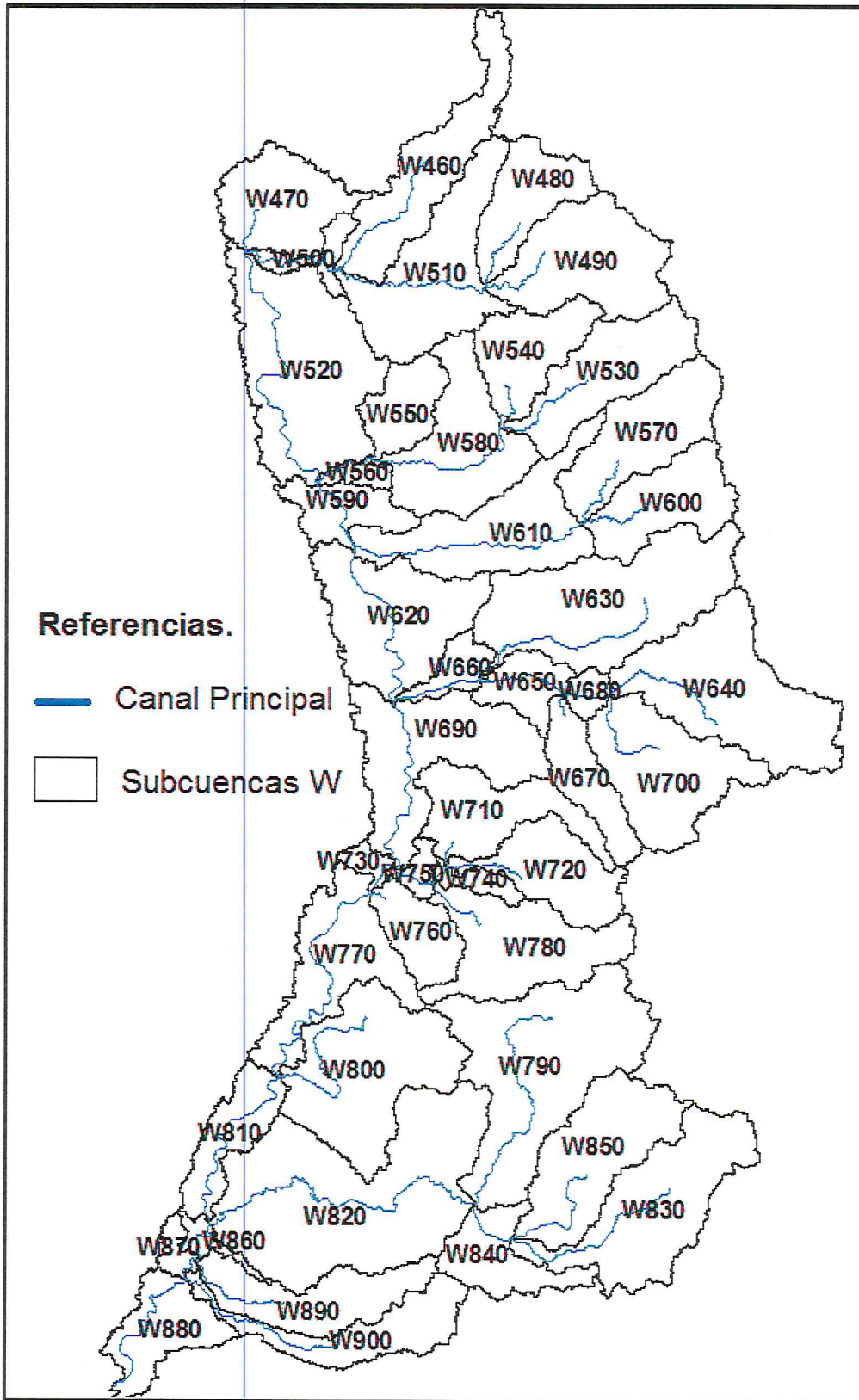


Fig. 2.8: División de subcuencas en GIS.

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

El proceso se realizó para una de las principales cuencas aportantes al río Paraguay, en las figuras 2.9 al 2.13, se muestra la discretización alcanzada en las cuencas de mayor aporte.

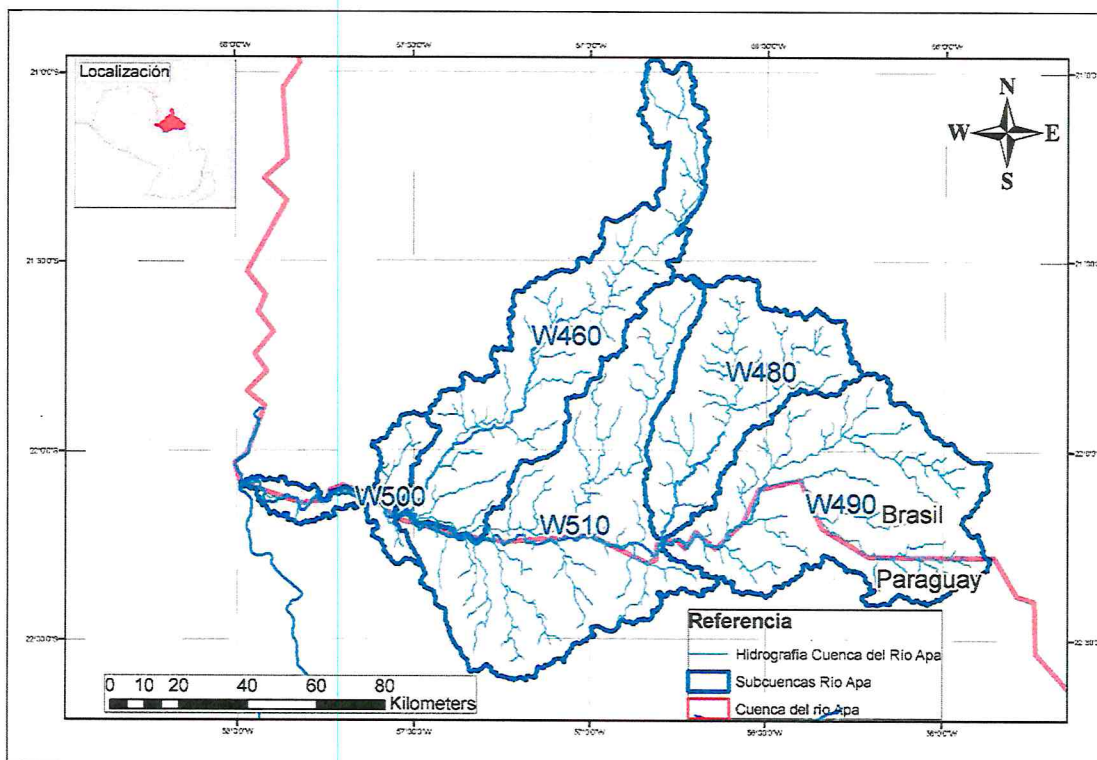


Fig. 2.9: Subcuencas del río Apá correspondientes a territorios de paraguay y brasil

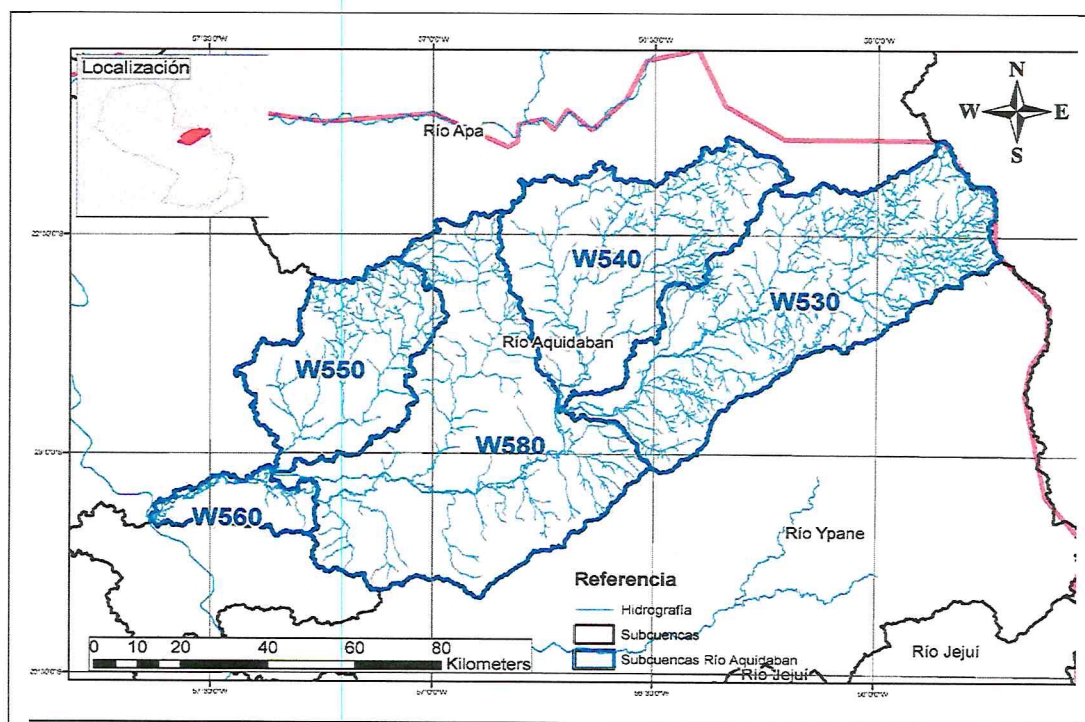


Fig. 2.10 Subcuencas del río Aquidabán

Roger Monte Domoc  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

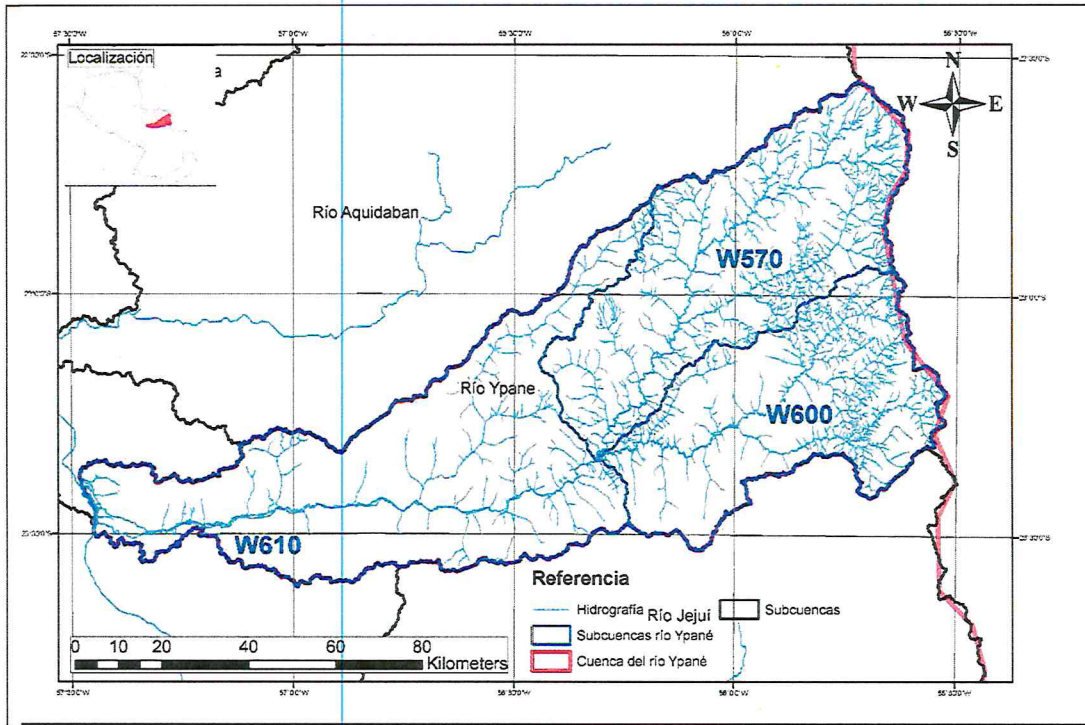


Fig. 2.11 Subcuencas del río Ypané

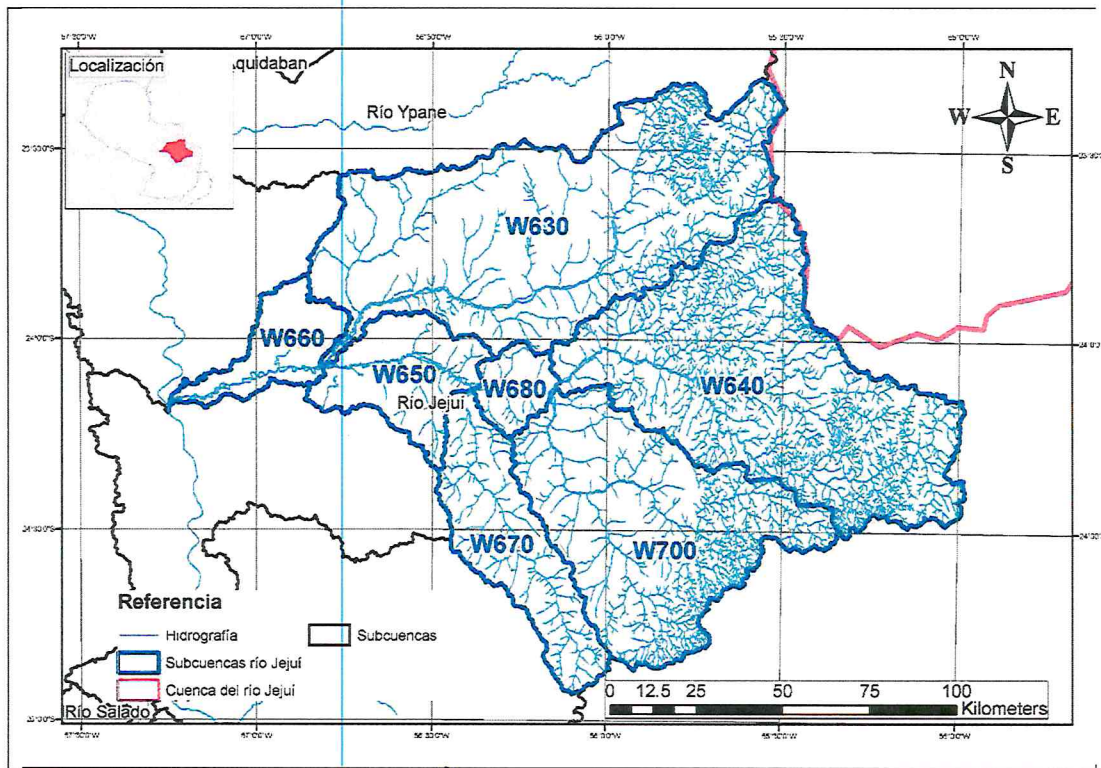


Fig. 2.12 Subcuencas del río Jejuí

Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

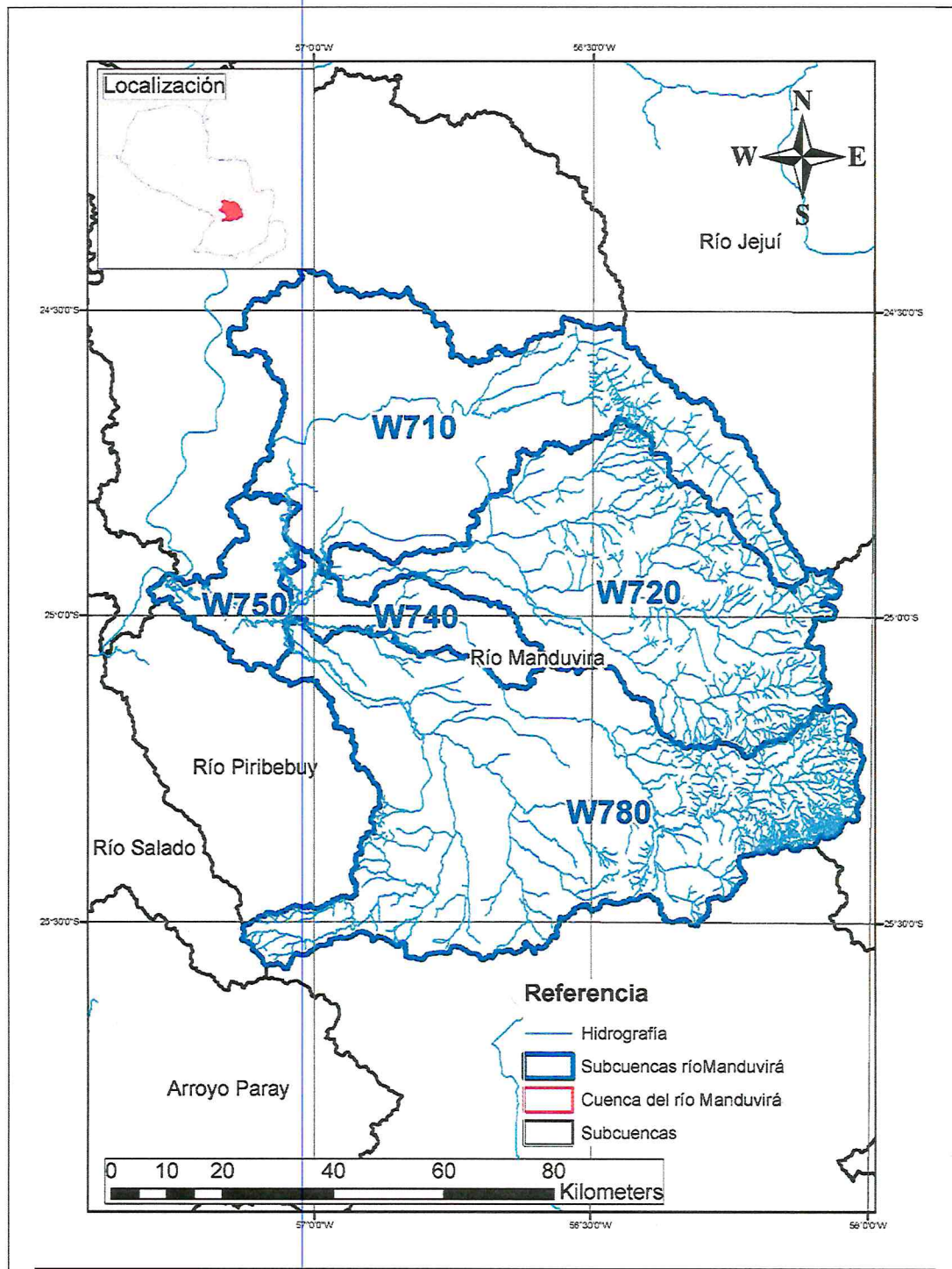


Fig. 2.13 Subcuencas del río Manduvirá

### 2.3 Modelo conceptual del sistema en HEC-HMS.

Una vez definido el sistema de drenaje de las cuencas de estudio, es posible crear el modelo conceptual en el HEC-HMS.

En el modelo conceptual se indican los elementos por los cuales estará compuesto el sistema:

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 580183

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

- Subcuenca**: representa a cada unidad de subcuenca en donde uno ingresa los parámetros asociados al modelo de pérdidas, transformación y caudal base.
- Junction**: representa a los nodos del sistema real y son utilizados para sumar los hidrogramas generados en dos subcuencas.
- Reach**: representa el tramo de un cauce en donde se introducirán los parámetros asociados al modelo de tránsito de hidrogramas. Este elemento une dos nodos consecutivos.

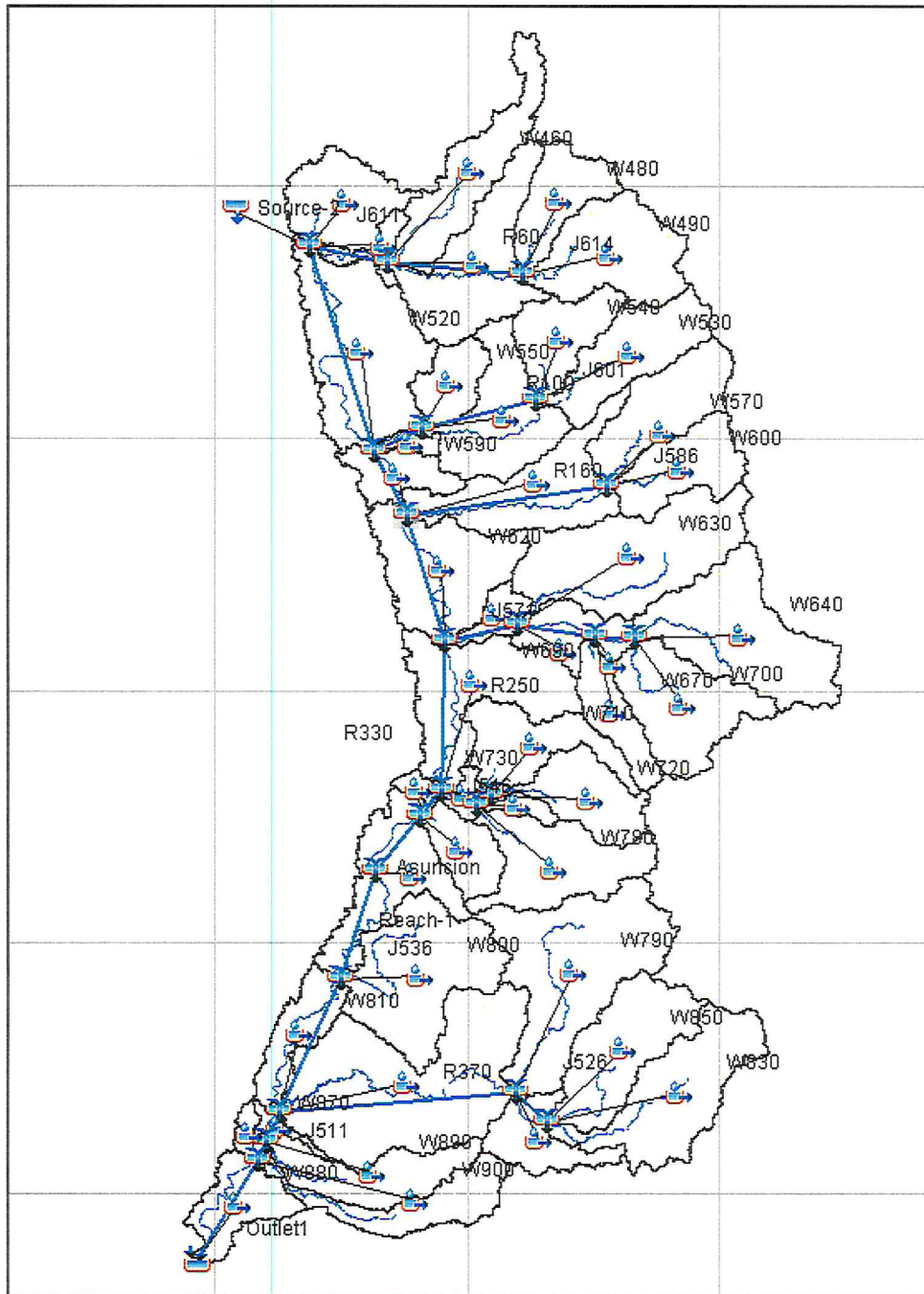


Fig. 2.14 Modelo conceptual en HEC-HMS

El modelo conceptual se desarrolló para cada cuenca aportante, de forma a obtener hidrogramas de salida en ellas. En las figuras 2-15 a 2.19 se observa la conformación del modelo adoptado de acuerdo a la subdivisión de cuencas previamente realizada.

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

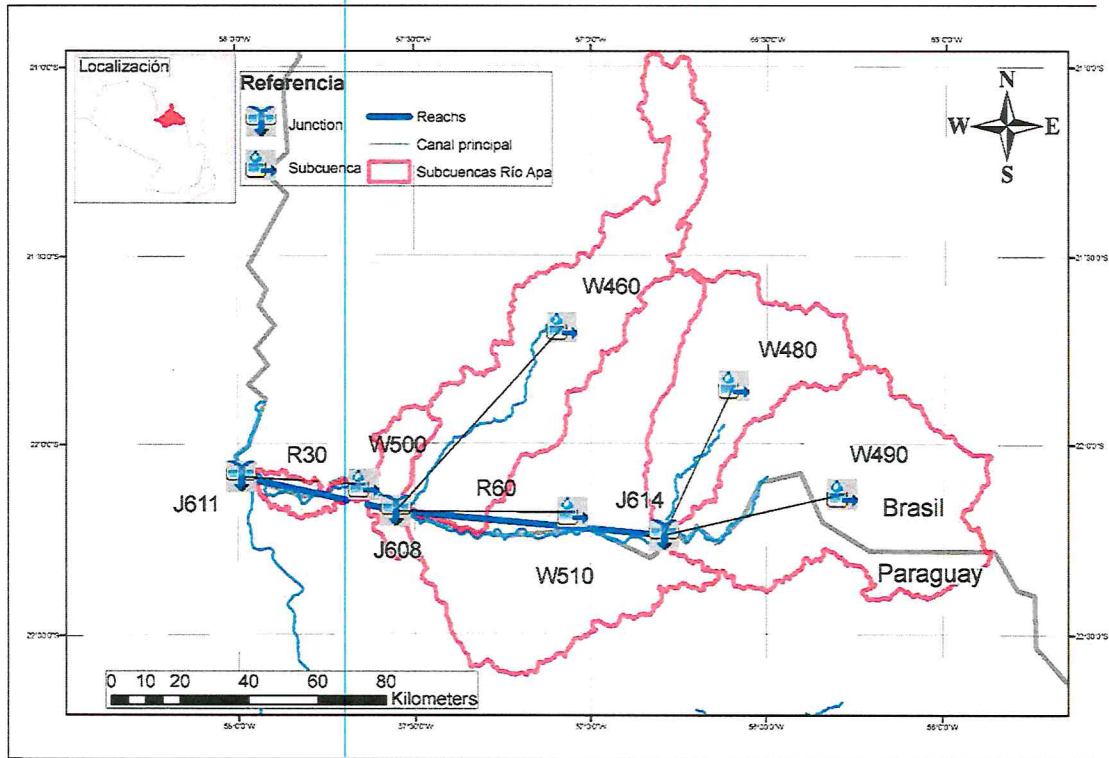


Fig. 2.15 Modelo conceptual de la Cuenca del río Apa

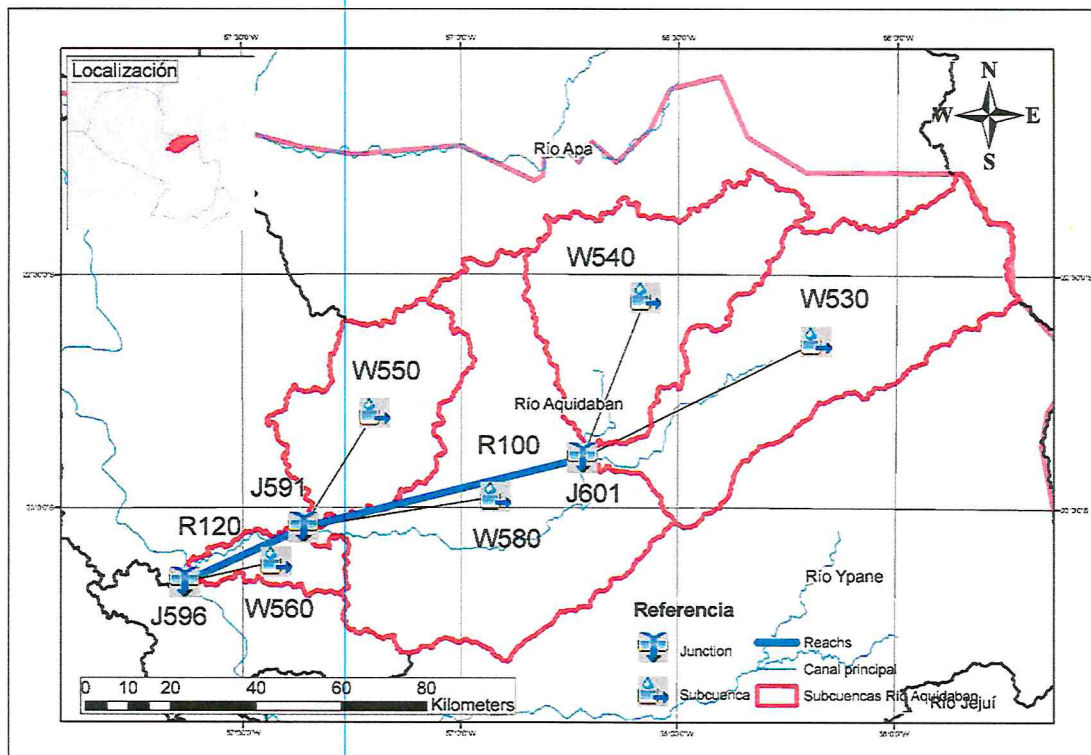


Fig. 2.16 Modelo conceptual de la Cuenca del río Aquidabán

Roger Monte Domínguez,  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



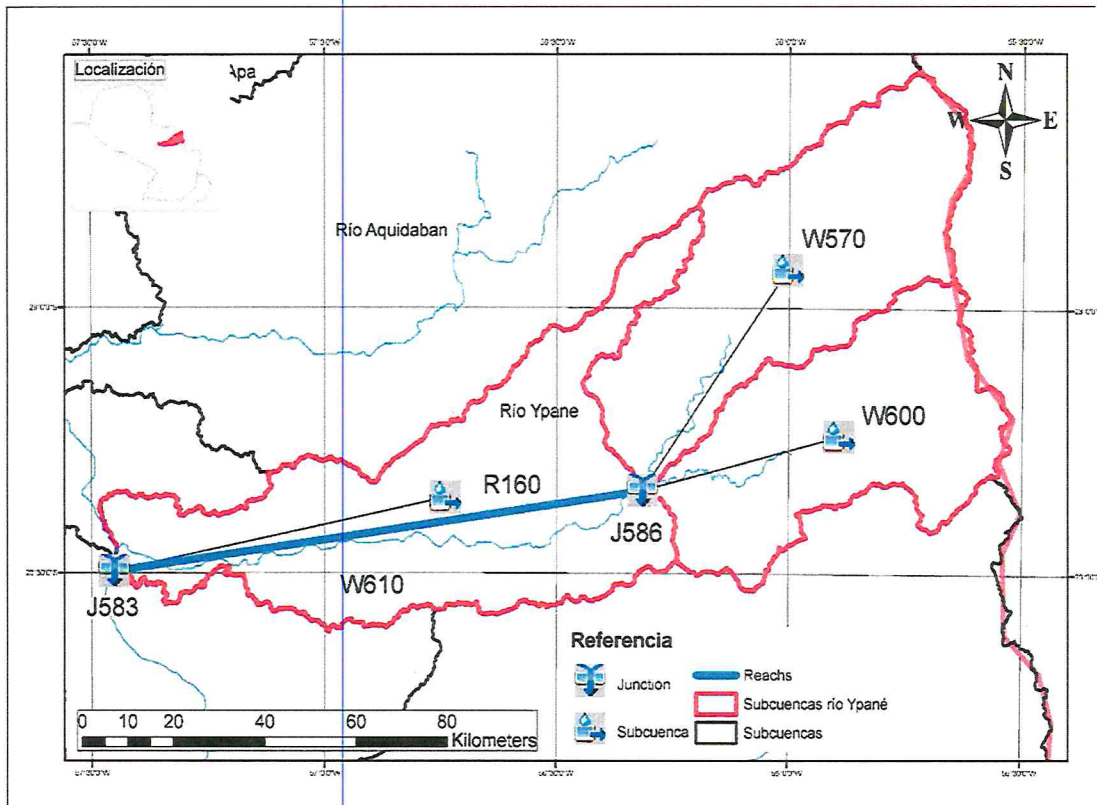


Fig. 2.17 Modelo conceptual de la Cuenca del río Ypané

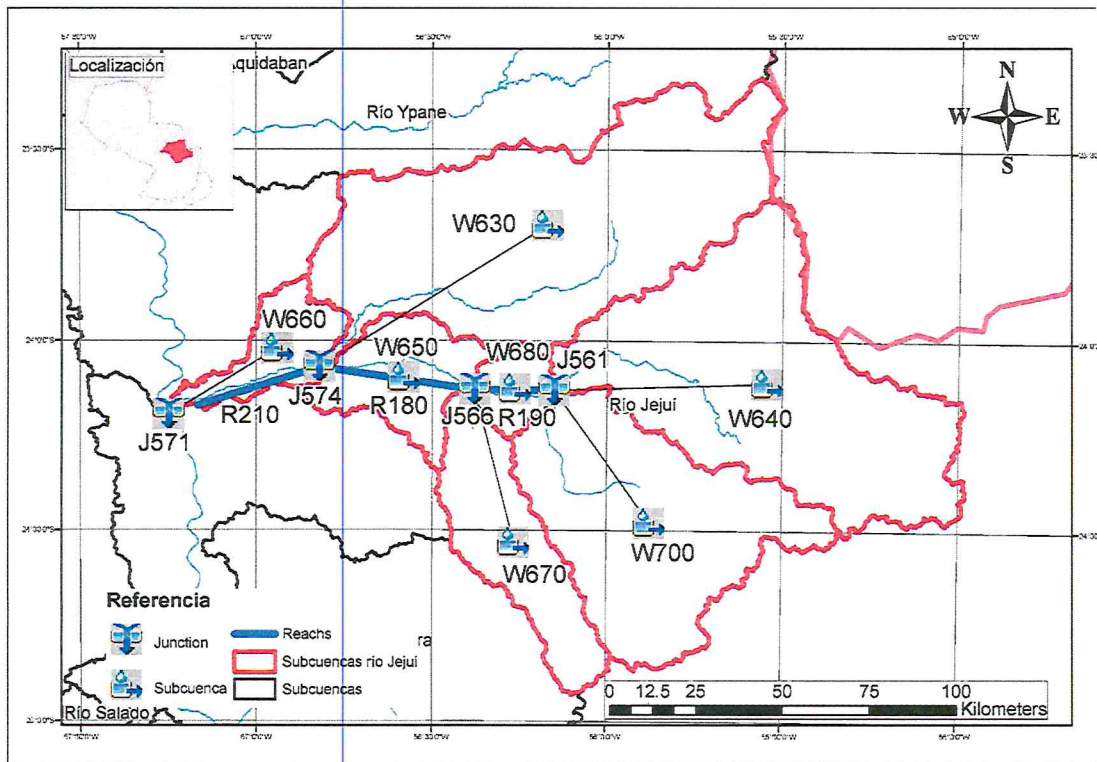


Fig. 2.18 Modelo conceptual de la Cuenca del río Jejuí

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

  
 Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

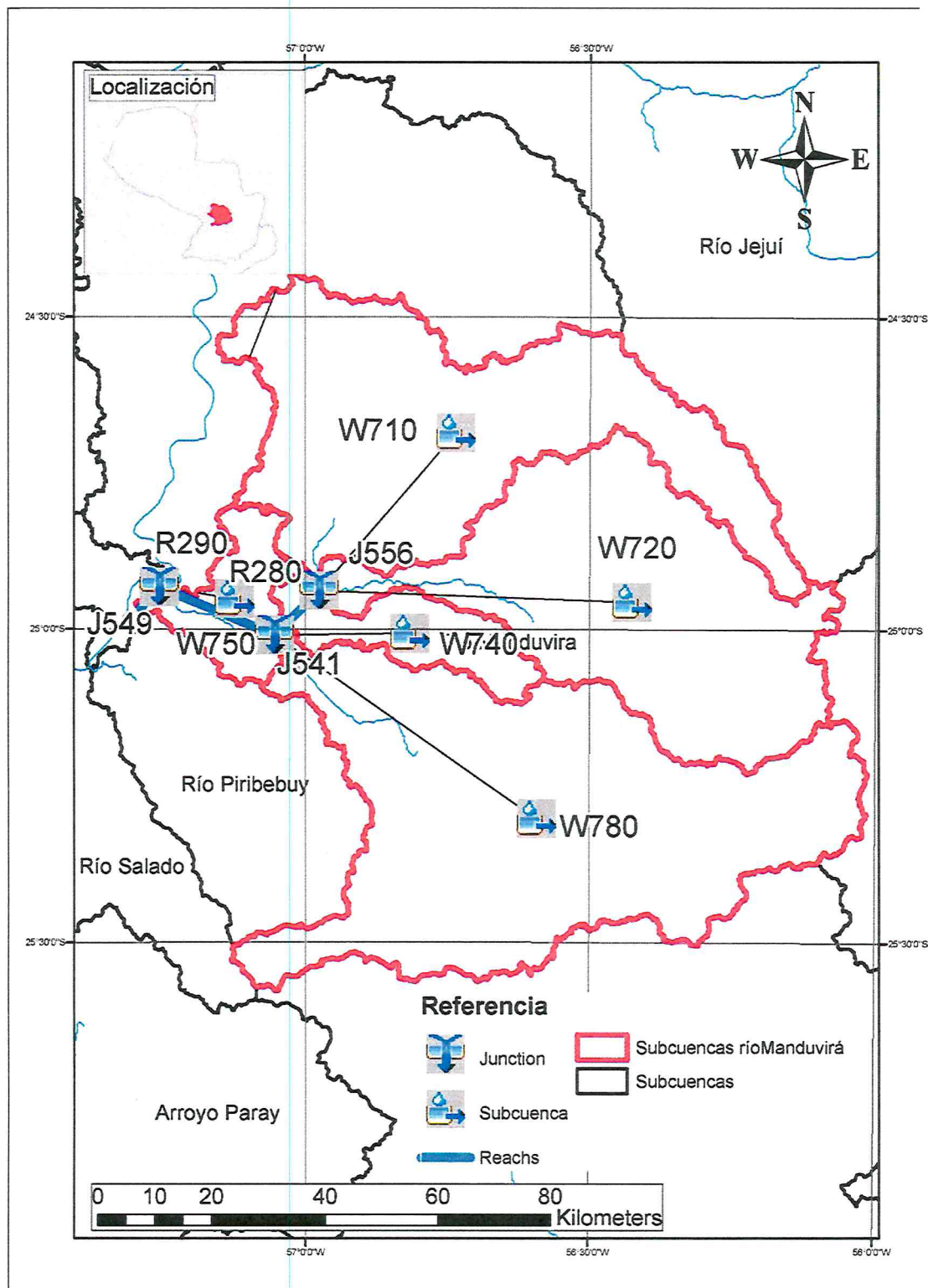


Fig. 2.19 Modelo conceptual de la Cuenca del río Manduvirá

## 2.4 Estimación de parámetros

La estimación de los parámetros de entrada al modelo se realiza siguiendo ciertos criterios de carácter empírico, utilizados por diversos autores para estudios similares. Es oportuno aclarar el hecho de que son simples estimaciones, y que en algunos casos pueden estar

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 530183



muy lejos del valor adecuado para el modelo, por lo cual es imprescindible que el mismo sea sometido a un proceso de ajustes manuales y automáticos (calibración).

Otro punto importante a tener en cuenta es la gran cantidad de parámetros que solicita el modelo HEC-HMS en su opción de modelación continua. El modelo de pérdidas SMA, requiere 18 (dieciocho) parámetros, en donde prácticamente todos están sujetos a calibración por el hecho de que no se disponen de datos medidos y cada uno de ellos generaliza un valor único para cada subcuenca al tratarse de un modelo semi distribuido.

Como base para la estimación de algunos parámetros, se utilizarán criterios y metodologías del Anejo N°2 de un Estudio de Recursos Hídricos del Gobierno de Cantabria (España, 2004), en donde se realiza una descripción y caracterización del programa HEC-HMS para la simulación continua.

Otras estimaciones serán realizadas con la aplicación Soil Water Characteristics, SoilGrids y mediante el uso de valores comunes según diversas fuentes de información bibliográfica, y fórmulas desarrolladas empíricamente por varios autores.

#### 2.4.1 Parámetros del Soil Moisture Accounting

- **Retenciones por la vegetación (Canopy):** Para determinar las abstracciones iniciales producto de la intercepción por cobertura vegetal (*hojas, tallos y troncos*) y almacenamiento en depresiones, debido a que no se cuenta con mayor información al respecto de la cuenca de estudio, se utilizaron como base los valores de almacenamiento e intercepción propuestos por Vélez et al, (2009), (tabla 2.2).

Tabla 2.2 - Valores asignados a las abstracciones iniciales por cobertura vegetal (almacenamiento e intercepción) tomado de Vélez et al, (2009).

Descripción	Almacenamiento (mm)	Intercepción (mm)
Bosque	4,5	9
Pastos o hierbas	6	3
Suelos desnudo	1	0
Urbano alta densidad	5	1
Urbano baja densidad	3	2
Agua	0	0

Subbasin Canopy Surface Loss Transform Options

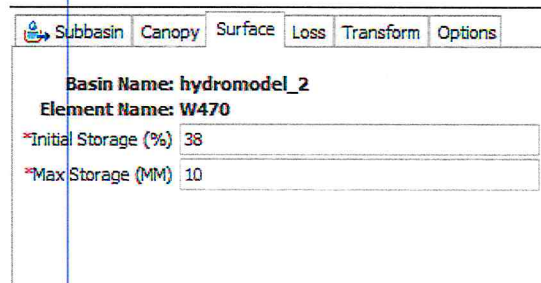
Basin Name: hydromodel\_2  
Element Name: W470

\*Initial Storage (%): 50  
\*Max Storage (MM): 6  
Crop Coefficient: 1,0  
Evapotranspiration: Only Dry Periods  
Uptake Method: --None--

Fig. 2.20: Parámetros del HEC-HMS.

- **Retenciones de superficie (Surface):** los parámetros de retención superficial fueron estimados siguiendo el criterio de Francés y Múnera (España, 2008), que establece que los terrenos completamente horizontales pueden almacenar hasta 10 mm de lluvia, y se reduce con una tasa constante de 1,3 mm por cada unidad porcentual, hasta llegar a ser nulo para pendientes mayores a 8%.

- **Máxima Tasa de Infiltración:** en vista a que este parámetro depende de la textura del suelo y del grado de pronunciación de la pendiente, se utilizará el criterio de Gaete y Vergara, especificado en el “Manual de diseño de Sistemas de Riego Tecnificado” (2001). Este criterio de estimación fue seleccionado porque permite estimar la Capacidad de Infiltración en función a la textura del suelo, y posteriormente aplicar un factor de corrección en función a la pendiente de la superficie. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la tasa máxima de infiltración también depende de otros factores que son ignorados, como el uso de suelo, que en este caso es predominantemente agrícola. Dentro de la clasificación “agrícola”, la capacidad de infiltración también puede variar en función al tipo de cultivo y a la cantidad de materia orgánica presente en los campos.



Parameter	Value
Basin Name	hydromodel_2
Element Name	W470
*Initial Storage (%)	38
*Max Storage (MM)	10

Fig. 2.21 Parámetros del HEC-HMS

- **Capas Superficiales del SMA:** con los datos de textura de suelo, materia orgánica (según datos del PRUT y SoilGrids) y con la asistencia del software Soil Water Characteristics (SWC), es posible estimar ciertos parámetros solicitados por el Soil Moisture Accounting del HEC-HMS.

Con el SWC se estima la Conductividad Hidráulica del suelo, la Capacidad de Campo y la Saturación del suelo con una textura y cantidad de materia orgánica determinada.

En ausencia de mejor información, la “Máxima Tasa de Percolación del Suelo (mm/hr)” solicitada por el SMA, es asumida como igual a la Conductividad Hidráulica.

Por otra parte, los parámetros “Almacenamiento del Suelo (mm)” y “Zona de Tensión (mm)” son asumidos como la Saturación y la Capacidad de Campo (proporcionados por el SWC), respectivamente.

Siguiendo esta metodología se obtienen los siguientes valores para cada tipo de suelo en todas las sub cuencas del proyecto:

  
Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

  
Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

**Tabla 2.3.** Valores para cada subcuena

subcuena (W)	510	490	520	560	550	580	540	530	570	600	590	620	660	650	680	630
% saturación	44.1	43.1	44.6	44.7	43.8	43.7	43.4	45.2	43.6	43.8	44.9	44.8	45.2	44.1	45.2	44.3
% capacidad de campo	29.4	28.9	29.4	30	29.6	30.6	28	33.3	31.8	32.5	32.3	30.7	32.1	33.2	30.7	32.3
mm/hr cond hidraulica	7.82	6.88	8.71	8.69	6.93	6.1	8.87	4.46	4.04	3.52	4.95	6.99	5.64	3.11	7.79	4.2
% Sand	53	60	50	49	55	55	59	45	55	53	47	48	45	52	45	51
% Clay	28	29	27	28	29	30	27	37	33	34	32	29	31	35	28	33
mm Espesor	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
mm Almacenamiento del suelo	265	259	268	268	263	262	260	271	262	263	269	269	271	265	271	266
mm Almac. De tension	77.8	74.7	78.7	80.5	77.8	80.2	72.9	90.3	83.2	85.4	87	82.5	87.1	87.8	83.3	85.9
mm/hr Cond Hidraulica	7.82	6.88	8.71	8.69	6.93	6.1	8.87	4.46	4.04	3.52	4.95	6.99	5.64	3.11	7.79	4.2

subcuena (W)	640	700	670	690	730	750	740	720	770	760	780	800	790	710	810	820
% saturación	44.7	44	44.5	44.1	45.5	44.4	45.1	44.7	43.8	43.5	44.4	45.1	44.6	43.2	47.2	45.7
% capacidad de campo	35.2	31.5	34.6	29.9	33.8	30.2	33.9	34.2	29.1	31.1	33.5	32.4	33.6	27.1	36.6	32.5
mm/hr cond hidraulica	2.11	4.73	2.41	6.95	4.04	6.96	3.41	2.87	7.82	4.63	3.21	4.99	3.26	10.1	2.98	5.73
% Sand	48	53	49	53	43	51	46	48	55	56	50	46	49	61	34	42
% Clay	38	32	37	29	34	29	35	36	28	32	35	32	35	26	38	31
mm Espesor	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
mm Almacenamiento del suelo	268	264	267	265	273	266	271	268	263	261	266	271	268	259	283	274
mm Almac. De tension	94.4	83.2	92.4	79.1	92.3	80.5	91.7	91.7	76.5	81.2	89.2	87.7	89.9	70.2	104	89.1
mm/hr Cond Hidraulica	2.11	4.73	2.41	6.95	4.04	6.96	3.41	2.87	7.82	4.63	3.21	4.99	3.26	10.06	2.98	5.73

subcuena (W)	840	830	850	860	870	880	890	900	470	480	500	460
% saturación	45.8	51.1	42.6	45.2	46	46.2	45.4	45.2	46.1	43.7	46	43.6
% capacidad de campo	33.6	44.3	34.1	30.2	34.2	34.3	31.3	30.7	32.9	30.2	34.2	28.3
mm/hr cond hidraulica	4.64	0.74	1.51	8.62	4.19	4.25	7.03	7.79	5.82	6.1	4.19	8.83
% Sand	41	22	41	45	40	39	44	45	39	55	40	57
% Clay	33	56	39	27	34	34	29	28	31	30	34	27
mm Espesor	600	600	600	600	600	600	600	600	400	600	600	600
mm Almacenamiento del suelo	275	307	256	271	276	277	272	271	184	262	276	262
mm Almac. De tension	92.3	136	87.2	81.9	94.4	95.1	85.3	83.3	60.7	79.2	94.4	74
mm/hr Cond Hidraulica	4.64	0.74	1.51	8.62	4.19	4.25	7.03	7.79	5.82	6.1	4.19	8.83

**Capas Subterráneas del SMA:** las capas subterráneas del subsuelo requieren 6 (seis) parámetros, 3 (tres) parámetros asociados al primer acuífero y 3 al segundo. Los parámetros que pueden ser estimados son la *Capacidad de Almacenamiento (mm)* y el

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

*Coefficiente (hr) de respuesta* de los dos acuíferos. Estos valores se estiman a partir del análisis de varias crecientes importantes a las cuales le sigue un periodo seco en donde actúa solamente el caudal base de la Cuenca. Sin embargo, con el objetivo de no perder el sentido práctico en la estimación de parámetros, para el presente proyecto por la escasez de datos se siguió la siguiente metodología:

La capacidad de almacenamiento del suelo es frecuentemente definida como la diferencia entre el contenido de agua en la capacidad de campo y en el punto de marchitez.

Se considera normalmente, que la capacidad de campo es el contenido de humedad retenido en el suelo después del drenaje por gravedad y el punto de marchitez es el contenido de humedad del suelo bajo el cual las plantas no se recuperan.

Basin Name: hydromodel_2	
Element Name: W470	
*Soil (%)	50
*Groundwater 1 (%)	30
*Groundwater 2 (%)	20
*Max Infiltration (MM/HR)	1,15
*Impervious (%)	1
*Soil Storage (MM)	125
*Tension Storage (MM)	53
*Soil Percolation (MM/HR)	4,9
*GW 1 Storage (MM)	156
*GW 1 Percolation (MM/HR)	3,26
*GW 1 Coefficient (HR)	140
*GW 2 Storage (MM)	90
*GW 2 Percolation (MM/HR)	6,77
*GW 2 Coefficient (HR)	143

Fig. 2.22 Parámetros del HEC-HMS



Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183



## 2.4.2 Parámetros del Hidrograma Unitario de Clark.

El método utilizado para el presente trabajo es el Hidrograma Unitario de Clark. Este modelo consiste en un hidrograma unitario sintético, es decir, el hidrograma es estimado de acuerdo con fórmulas que incluyen parámetros físicos de la cuenca de estudio como el área, longitud del cauce principal, pendiente media, etc. Para el caso del HU de Clark del HEC-HMS, el programa construye una curva de Tiempo vs. Área y la utiliza para desarrollar la translación del Hidrograma resultante de una precipitación.

Parámetros solicitados:

- Tiempo de Concentración (hr): se define como el tiempo que tarda una partícula de agua en llegar desde el punto más alejado de la cuenca al punto de descarga (Fattorelli & Fernández, 2011). El tiempo de concentración define el tiempo máximo de viaje en cada subcuenca (USACE, 2013).
- Coeficiente de Almacenamiento (hr): parámetro que tiene en cuenta el efecto del almacenamiento en la red de cauces de la cuenca (Fattorelli & Fernández, 2011). El coeficiente de almacenamiento es utilizado en el reservorio lineal que mide los efectos del almacenamiento (USACE, 2013).

Para obtener el tiempo de concentración se utiliza la fórmula desarrollada en el Brasil para cuencas rurales medianas y grandes, denominada DNOS<sup>6</sup> (Manual\_Hidrologia Uunicamp), teniendo en cuenta la trayectoria de flujo más larga en cada subcuenca y la pendiente media asociada a dicha trayectoria.

La fórmula de DNOS que es la siguiente:

$$T_c = \frac{10}{K} \cdot \frac{A^{0,3} \cdot L^{0,2}}{I^{0,4}}$$

TC = tiempo de concentración, en minutos,


A = área de la cuenca en ha,

L = longitud del curso de agua en m,

I = pendiente en %.

K = Depende de las características de la cuenca, conforme se describe:

- Terreno areno-arcilloso, cobertura de vegetación intensa y alta absorción K=2
- Terreno común, cubierto de vegetación y absorción apreciable K=3
- Terreno arcilloso, cubierto de vegetación y poca absorción K=4

  
Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183



Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

<sup>6</sup> Manual de Hidrología Uunicamp, Rio de Janeiro, 2005



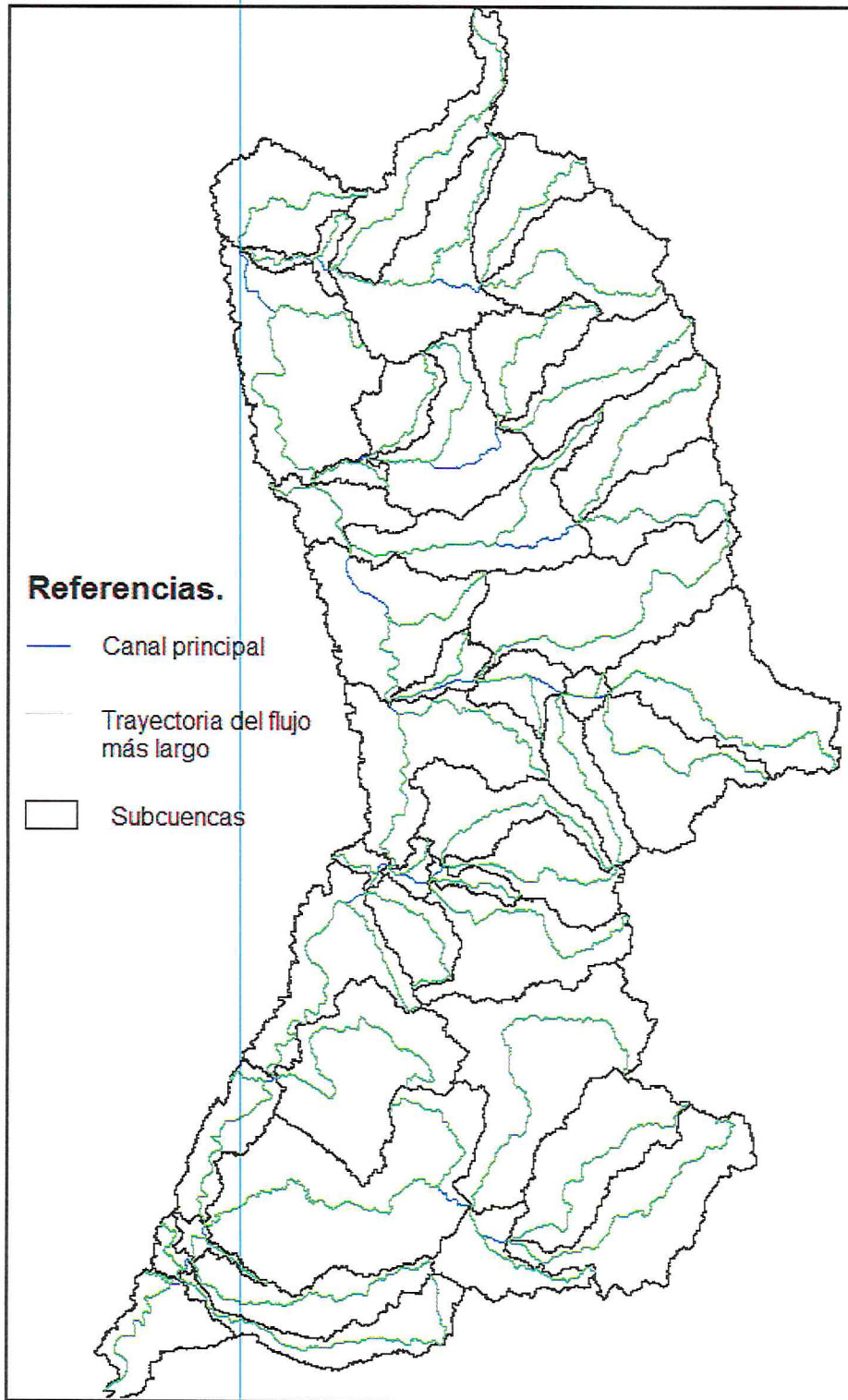


Fig. 2.24 Trayectoria del flujo más largo para cada subcuenca

Tabla 2.4: Calculo del Tiempo de Concentración por la fórmula de DNOS

W	Área(ha)	Long (m)	Slp (%)	k	10/K	A*L	$I^{0.4}$	TC	TC (hr)	Tc 0.85
460	363353,48	243574,40	0,23	2,5	4	556,45	0,56	3998,84	66,65	56,65
470	285709,11	113930,30	0,28	3	3,33	444,74	0,60	2469,90	41,17	34,99
480	228873,72	119143,44	0,20	3,5	2,86	419,85	0,53	2269,56	37,83	32,15

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

Plur. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

W	Área(ha)	Long (m)	Slp (%)	k	10/K	A*L	l"0.4	TC	TC (hr)	Tc 0.85
490	403107,86	154108,09	0,36	3,5	2,86	523,83	0,66	2255,09	37,58	31,95
500	70218,55	97394,45	0,41	3	3,33	282,91	0,70	1346,20	22,44	19,07
510	453160,43	214761,70	0,20	3,5	2,86	579,78	0,53	3128,90	52,15	44,33
520	630446,84	215870,60	0,14	3	3,33	640,82	0,46	4642,42	77,37	65,77
530	328587,21	170354,02	0,34	2,5	4	502,65	0,65	3087,45	51,46	43,74
540	232665,39	138083,22	0,21	3,5	2,86	434,56	0,54	2314,62	38,58	32,79
550	152789,07	92532,16	0,25	3,5	2,86	353,58	0,58	1756,87	29,28	24,89
560	39754,39	59212,83	0,17	3	3,33	215,92	0,49	1454,47	24,24	20,60
570	322928,55	157670,93	0,32	3,5	2,86	492,36	0,64	2209,46	36,82	31,30
580	378420,29	141306,31	0,14	3,5	2,86	505,15	0,45	3180,67	53,01	45,06
590	149321,05	80300,33	0,03	2,5	4	341,33	0,25	5559,57	92,66	78,76
600	263201,85	124847,89	0,33	3,5	2,86	441,94	0,64	1978,96	32,98	28,04
610	423123,21	209793,92	0,32	3,5	2,86	565,33	0,64	2537,79	42,30	35,95
620	441014,19	147181,05	0,15	2,5	4	533,22	0,46	4612,56	76,88	65,34
630	630054,34	232945,50	0,22	3	3,33	650,53	0,54	3981,23	66,35	56,40
640	558773,60	197620,87	0,17	3,5	2,86	607,21	0,49	3528,45	58,81	49,99
650	123188,25	71878,88	0,25	2,5	4	315,13	0,57	2198,11	36,64	31,14
660	81184,68	79146,31	0,18	2,5	4	283,48	0,50	2267,30	37,79	32,12
670	173857,99	117873,10	0,25	2,5	4	385,78	0,58	2671,15	44,52	37,84
680	44600,49	36017,26	0,42	2,5	4	202,35	0,71	1142,96	19,05	16,19
690	477580,31	237946,25	0,11	3,5	2,86	601,19	0,41	4183,69	69,73	59,27
700	398263,48	152578,53	0,14	3,5	2,86	520,89	0,45	3289,97	54,83	46,61
710	275531,44	149981,99	0,23	2,5	4	464,79	0,55	3350,51	55,84	47,47
720	253869,45	132705,52	0,25	2,5	4	442,55	0,57	3092,42	51,54	43,81
730	35543,53	45521,25	0,05	2,5	4	198,09	0,30	2615,32	43,59	37,05
740	48804,46	65706,22	0,10	2,5	4	234,45	0,40	2365,90	39,43	33,52
750	42582,00	39781,11	0,02	2,5	4	203,57	0,20	4098,24	68,30	58,06
760	160159,79	118371,09	0,30	3,5	2,86	376,72	0,62	1732,70	28,88	24,55
770	366005,49	258103,81	0,14	3,5	2,86	564,16	0,46	3501,91	58,37	49,61
780	383155,35	172196,47	0,18	3,5	2,86	527,49	0,50	3007,95	50,13	42,61
790	718478,05	235697,08	0,13	3,5	2,86	678,26	0,45	4323,59	72,06	61,25
800	549434,31	208277,18	0,10	3,5	2,86	610,52	0,40	4409,50	73,49	44,09
810	187792,90	149237,51	0,01	3	3,33	413,88	0,18	7742,89	129,05	77,43
820	933104,40	307527,50	0,06	3,5	2,86	773,67	0,33	6774,91	112,92	67,75
830	481979,68	207343,84	0,18	3	3,33	586,47	0,51	3853,80	64,23	38,54
840	193395,61	104004,25	0,11	3	3,33	388,46	0,41	3180,43	53,01	31,80
850	407219,73	173227,38	0,22	3	3,33	537,86	0,54	3303,10	55,05	33,03
860	41135,91	71220,68	0,02	2,5	4	226,35	0,21	4240,88	70,68	42,41
870	41304,62	54473,46	0,03	2,5	4	214,80	0,25	3438,67	57,31	34,39
880	215817,65	129197,17	0,01	2,5	4	419,25	0,18	9481,14	158,02	94,81
890	281351,93	184944,37	0,07	2,5	4	487,73	0,34	5787,82	96,46	57,88
900	247946,53	226582,29	0,06	2,5	4	489,05	0,31	6213,76	103,56	62,14



Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 690103

Subbasin	Canopy	Surface	Loss	Transform	Options
<b>Basin Name: hydromodel_2</b>					
<b>Element Name: W470</b>					
*Time of Concentration (HR)		41.1650488			
*Storage Coefficient (HR)		34.990			
Time-Area Method:		Default			

Fig. 2.25 Parámetros del HEC-HMS

**Parámetros del Reservorio Lineal.**

En ausencia de mejor información, los coeficientes de los acuíferos solicitados en este método serán asumidos como iguales a los coeficientes determinados para el método de pérdidas, SMA.

**2.4.3 Parámetros del modelo Muskingum Cunge (8 puntos).**

La metodología utilizada para determinar los 8 puntos de cada canal a ser modelado en cada cuenca de estudio fue estableciendo secciones transversales al río en el DEM de los satélites ALOS<sup>7</sup> (Advanced Land Observing Satellite), y para obtener el ancho del río se recurrió a Google Earth versión PRO.

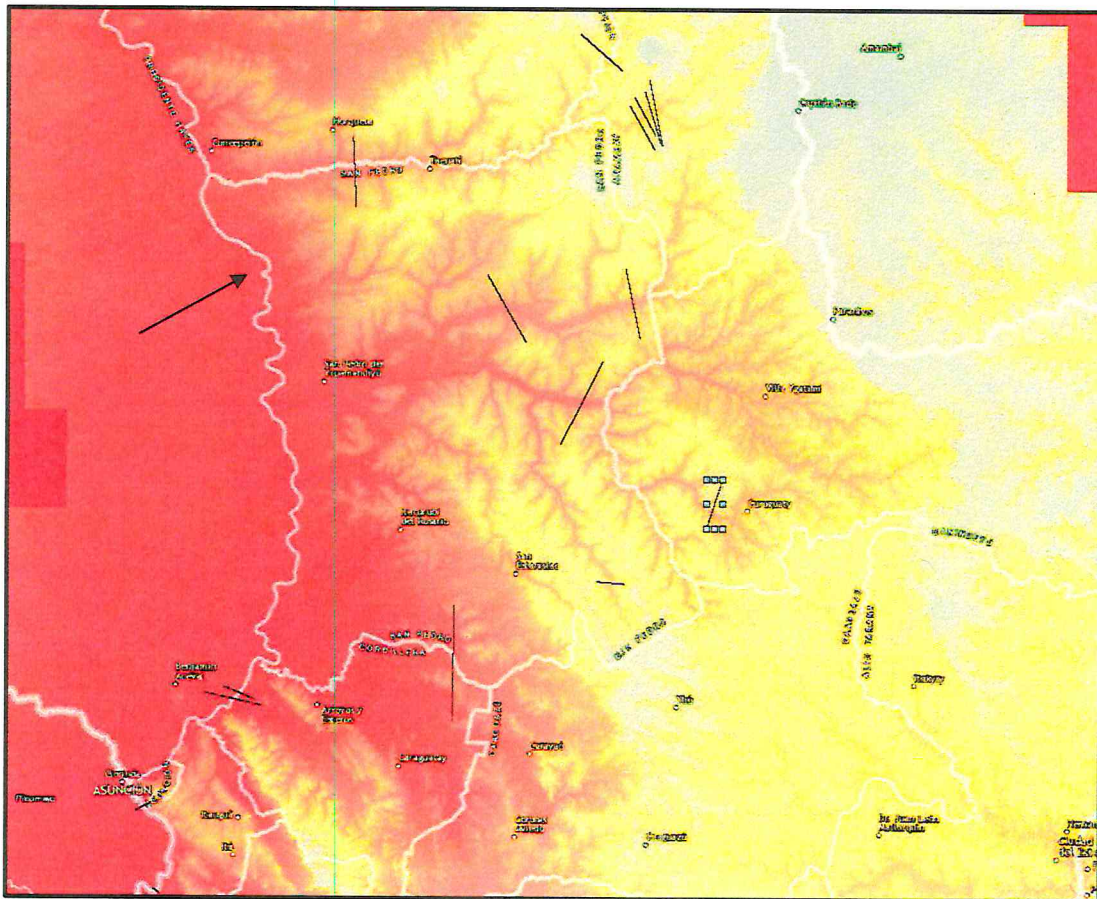
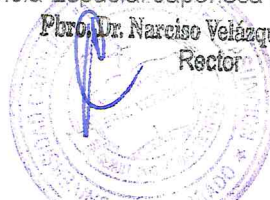


Fig. 2.25. DEM ALOS

7. <http://www.alos-restec.jp/en/staticpages/index.php/aboutalos> El satélite de observación japonés ALOS fue lanzado en 2006 por la Agencia Espacial Japonesa (JAXA).

Roger Monte Domit.  
Ing. Civil  
R.P. 590183



Ph.D. Dr. Narciso Veiga Ferreira  
Rector

La profundidad de canal asumida fue de 6 mts para el primer canal colector aguas arriba, aumentando progresivamente en los siguientes tramos.

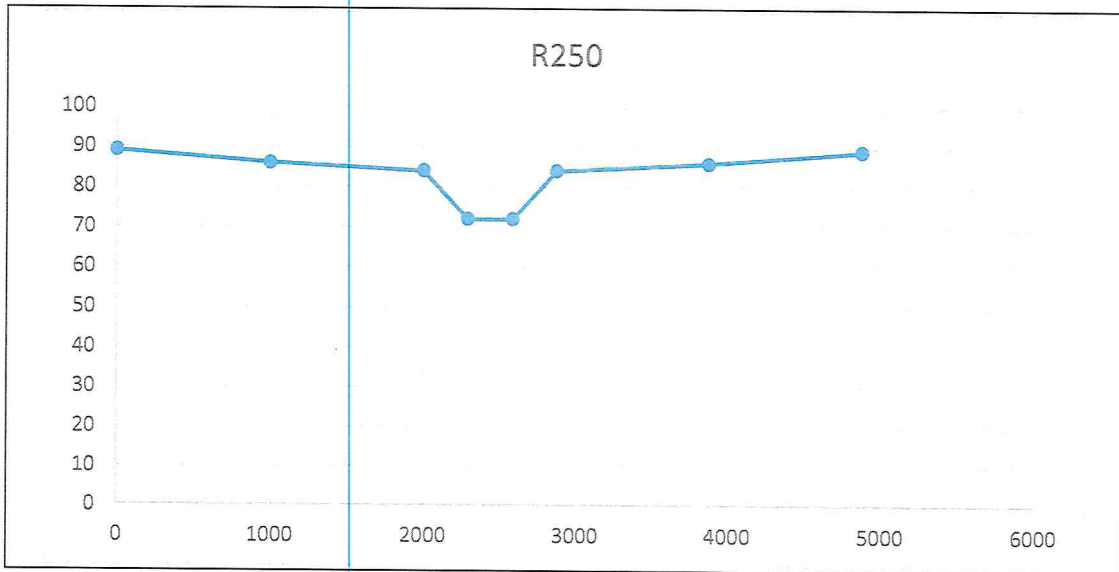


Fig. 2.26: Método de los 8 puntos para configurar el cauce Tramo R250 (ejemplo)

Tabla 2.5 Cálculo ocho puntos para todos los reachs

R30		R60		R120		R100		R150		R110		R160		R200		R210	
0	380	0	240	0	170	0	250	0	99	0	106	0	235	0	97	0	205
4000	220	5000	190	4000	130	10000	190	1000	87	3000	92	4500	175	14000	92	173	181
20000	200	18000	175	17000	125	25000	185	8500	84	16000	88	10000	145	18000	86	173	130
40000	120	21000	135	28000	92	36000	115	10000	78	19000	81	12000	115	20000	76	194	95
46000	120	24000	135	32000	92	50000	115	10500	78	22000	81	13000	115	22000	76	86	95
56000	200	28000	175	38000	125	61000	185	11500	84	25000	88	14000	145	23500	86	86	130
77000	220	44000	190	44000	130	64000	190	15000	87	33000	92	16000	175	24500	92	183	181
81000	340	48000	235	50000	160	70000	255	16500	99	46000	126	18500	235	28000	97	280	205

R180		R190		R250		R290		R280		R300	
0	120	0	220	0	89	0	142	0	285	0	92
500	110	500	200	1000	86	1000	124	2000	250	1000	86
1500	103	1000	190	2000	84	3000	114	2500	240	1500	83
1550	98	1020	110	2291,7	72	3026,7	90	2520	175	1830	70,5
1594	98	1050	110	2583,4	72	3056,7	90	2535	175	2160	70,5
1594,5	103	1075	190	2875	84	3070,1	114	2565	240	2490	83
2000	110	1575	200	3875	86	4570,1	124	3065	250	2990	86
3000	120	2075	220	4875	89	5070,1	135	3565	285	3490	92

lon 94.5 m.

LON 75m

LON 875

LON 70.1m

LON 990M

R380		REACH 1		R360	
0	89	0	85	0	77
500	78	700	81	800	74
0	73	1000	78	1100	72
103,7	66	1186,7	66	1256,7	66
207,4	66	1373,4	66	1413,4	66
311	73	1560	78	1570	72
811	76	2060	81	2070	74
1311	89	2560	85	2570	77

LON 311

LON 560 M

LON 470 M

  
 Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

  
 Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590103

Los parámetros físicos, como la longitud y pendiente de los cauces fueron obtenidos mediante un Sistema de Información Geográfica.

Los valores de Manning tanto para el canal principal como para las planicies de inundación, fueron seleccionados a partir de valores estimados por V. T. Chow (1959) según características del cauce y de las planicies de inundación, estimados mediante inspección visual de imágenes satelitales.

En la tabla 2.6 se observan los valores establecidos.

Tabla 2.6: Valores de rugosidad Manning en los cauces

Reach	Longitud (m)	Pendiente	N de Manning	N izquierda Manning	N derecha Manning
R30	85206.73	0.00041	0.035	0.100	0.100
R60	147987.48	0.0005	0.035	0.100	0.100
R100	157869.67	0.00045	0.035	0.100	0.060
R110	175700.90	0.00004	0.100	0.050	0.050
R120	57167.76	0.00045	0.035	0.100	0.060
R150	53991.04	0.00004	0.100	0.050	0.050
R160	201319.10	0.00049	0.035	0.060	0.060
R180	91694.58	0.00027	0.035	0.060	0.060
R190	51491.78	0.00038	0.035	0.060	0.060
R200	115129.19	0.00005	0.100	0.050	0.050
R210	74799.04	0.00027	0.035	0.060	0.060
R250	122918.16	0.00001	0.100	0.050	0.050
R280	25000.01	0.0001	0.035	0.060	0.060
R290	63451.74	0.00005	0.035	0.060	0.060
R300	14465.46	0.00011	0.100	0.050	0.050
Reach-1	116913.26	0.00008	0.100	0.050	0.050
R330	67586.21	0.00008	0.100	0.050	0.050
R360	126955.73	0.00006	0.100	0.050	0.050
R370	592919.90	0.00008	0.035	0.060	0.060
R390	66121.45	0.00011	0.035	0.060	0.060
R400	28735.27	0.00005	0.100	0.050	0.050
R420	16030.24	0.00004	0.100	0.050	0.050
R450	106691.97	0.00004	0.100	0.050	0.050



Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

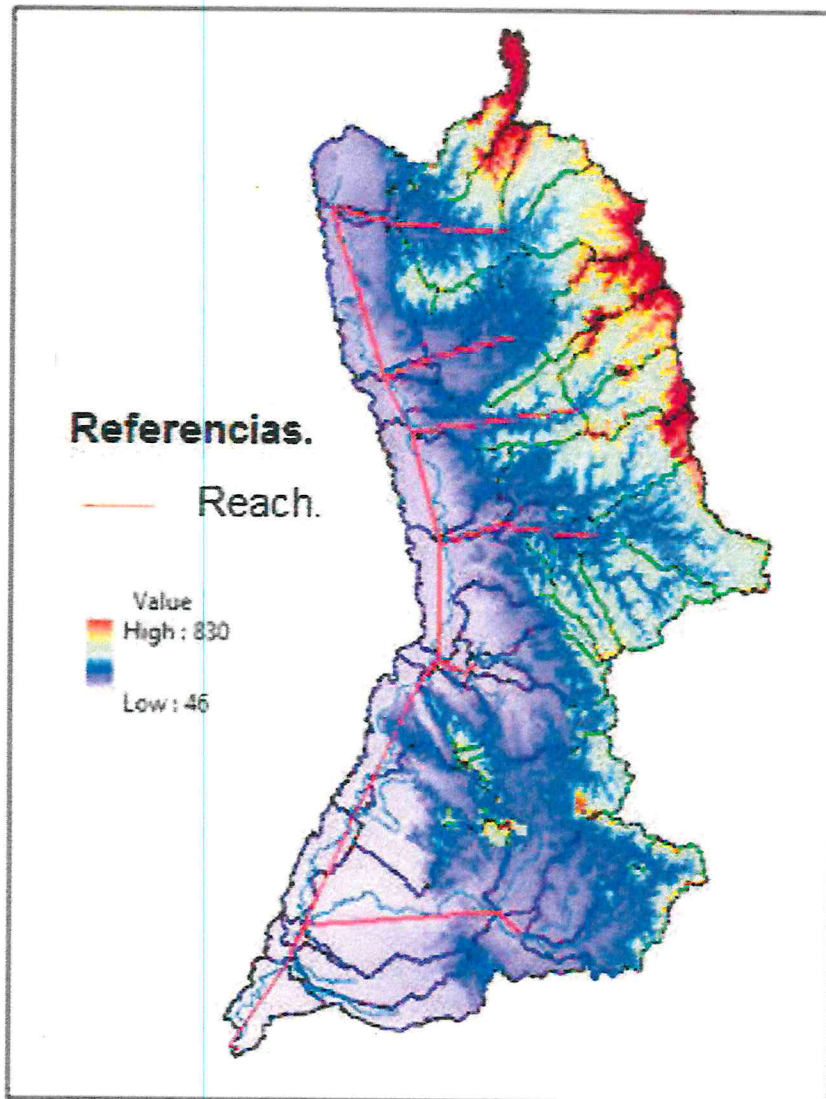


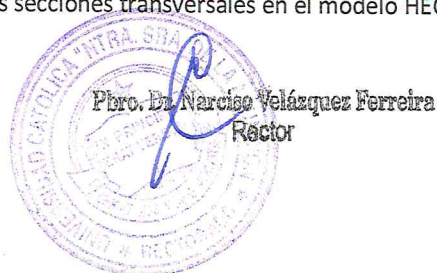
Fig. 2.27: Modelo en SIG

Los valores generados son cargados en el modelo de forma manual, las secciones transversales se cargan a través del "Paired Data Manager" en forma tabular (figura 2.28) y luego pueden ser visualizados en gráficos.

Paired Data		Table	Graph
Station (FT)	Elevation (FT)		
149.9773407	124.5549		
449.9320374	118.1395		
524.9207153	119.5629		
599.9093628	115.0000		
674.8980713	116.4730		
749.8867188	119.0000		
824.8754272	120.0000		
899.8640747	118.0000		

Figura 2.28 Valores de las secciones transversales en el modelo HEC-HMS

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183



Una vez cargadas todas las secciones al modelo, se añaden los demás valores calculados para cada tramo (reach)

Reach	Routing	Options
<b>Basin Name: hydromodel_2</b>		
<b>Element Name: R60</b>		
Time Step Method:	Automatic Fixed Interval	
*Length (M)	147987.480846	
*Slope (M/M)	0.0005	
*Manning's n:	0.035	
Invert (M)		
Shape:	Eight Point	
*Left Manning's n:	0.100	
*Right Manning's n:	0.100	
*Cross Section:	R60	

Figura 2.29 Parámetros del método de ruteo Muskingum-Cunge en HEC-HMS

## 2.5 Distribución de Precipitación.

En general, la altura de lluvia (mm) que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos. Las estaciones pluviométricas registran la lluvia puntual, es decir, la que se produce en el punto en que está instalado el aparato y, para los cálculos ingenieriles, es necesario conocer la lluvia media en una zona dada, como puede ser una cuenca (Aparicio, 1992).

Las estaciones pluviométricas utilizadas son las operativas de la Dirección de Meteorología e Hidrología de la DINAC (Fig. 2.30)



  
Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

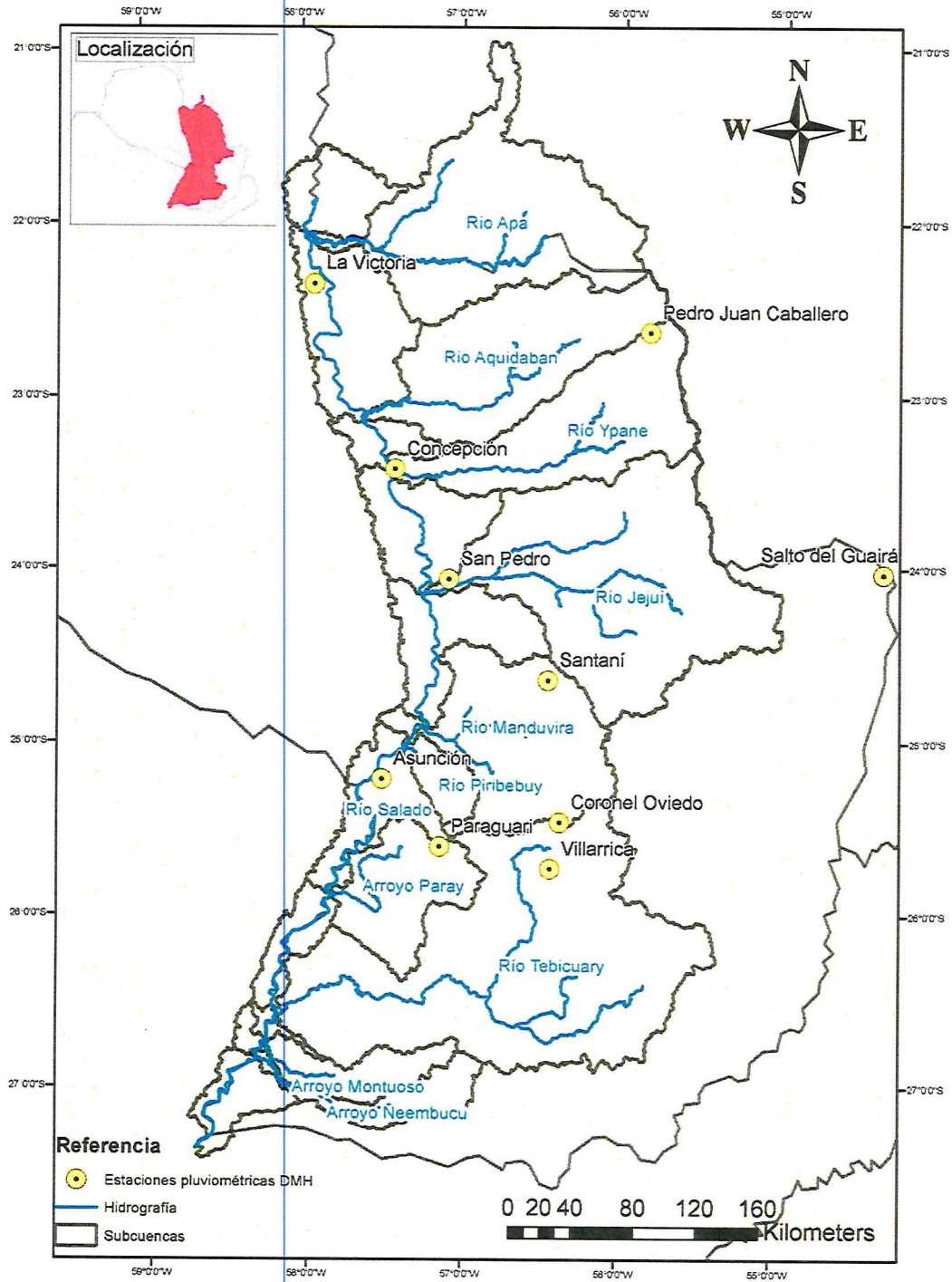


Fig. 2.30 Estaciones pluviométricas utilizadas en el modelo hidrológico

La distribución de precipitación media en la Cuenca fue realizada mediante el Método de los Polígonos de Thiessen. Este método asigna un peso a las Estaciones Pluviométricas en cada subcuena.

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector



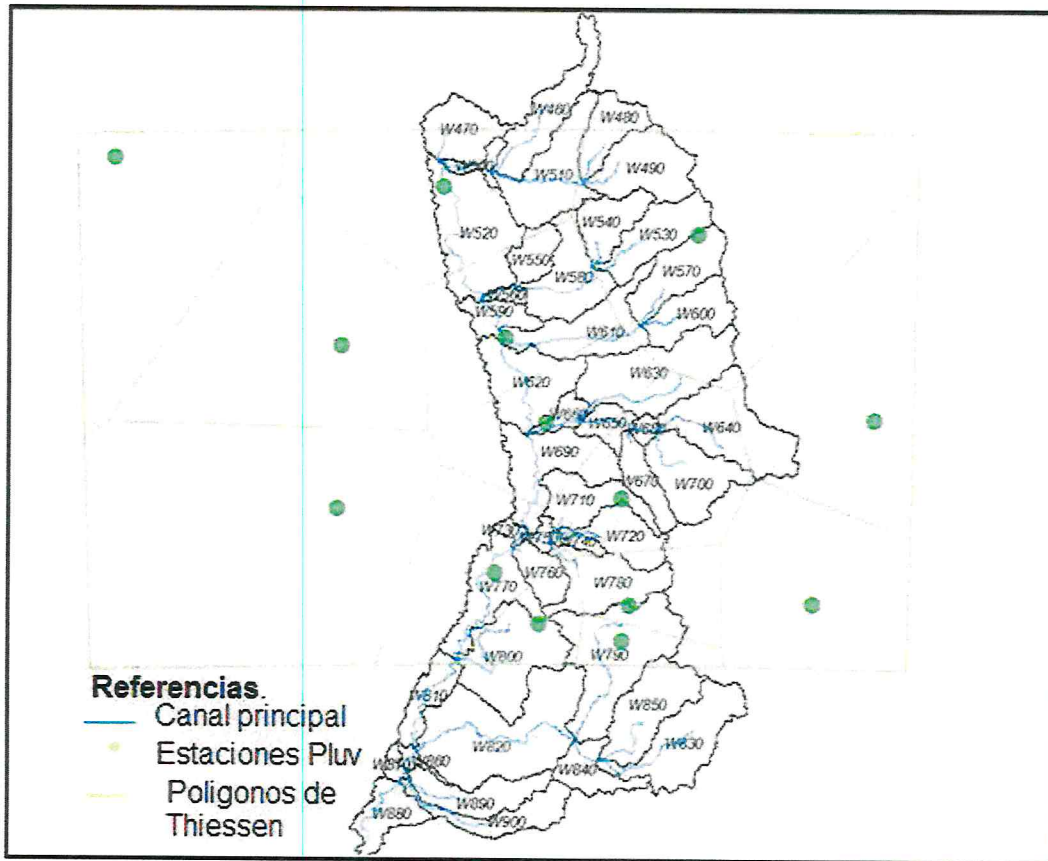


Fig. 2.31 Polígonos de Thiessen en cada subcuenca.

Las estaciones seleccionadas y utilizadas son:

- Time-Series Data
- Precipitation Gages
    - ASUNCION
    - CONCEPCION
    - CORONELOVIEDO
    - LAVICTORIA
    - PARAGUARI
    - PJC
    - SALTODELGUAIRA
    - SANPEDRO
    - SANTANI
    - VILLARRICA

Fig. 2.31-A: Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas

Es importante aclarar que las asignaciones de pesos por el método de Thiessen no es una tarea de total precisión, por ello, modificar los pesos durante la calibración del modelo podría mejorar el resultado (Fattorelli & Fernández, 2011).

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590103

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector



## 2.6 Evaluación de los parámetros estimados.

De esta forma, se establecen todos los componentes necesarios para realizar las simulaciones:

- Modelo de cuencas
- Modelo meteorológico
- Especificaciones de control: Establece el periodo e intervalo de tiempo de la simulación.
- Series de datos: Conforman los datos de las estaciones de precipitación e hidrométricas.
- Datos emparejados (Paired data): En este caso, se utiliza este componente para el manejo de las secciones transversales.

Con el objetivo de evaluar qué tanto se adecuan los parámetros estimados al modelo, se realiza una primera simulación en el periodo del 1 de Enero de 2010 al 1 de Enero de 2015 asignado para los ajustes de parámetros (calibración).

La simulación en el HEC-HMS arrojó el siguiente resultado en el punto de salida del modelo conceptual en la confluencia con el río Paraná:

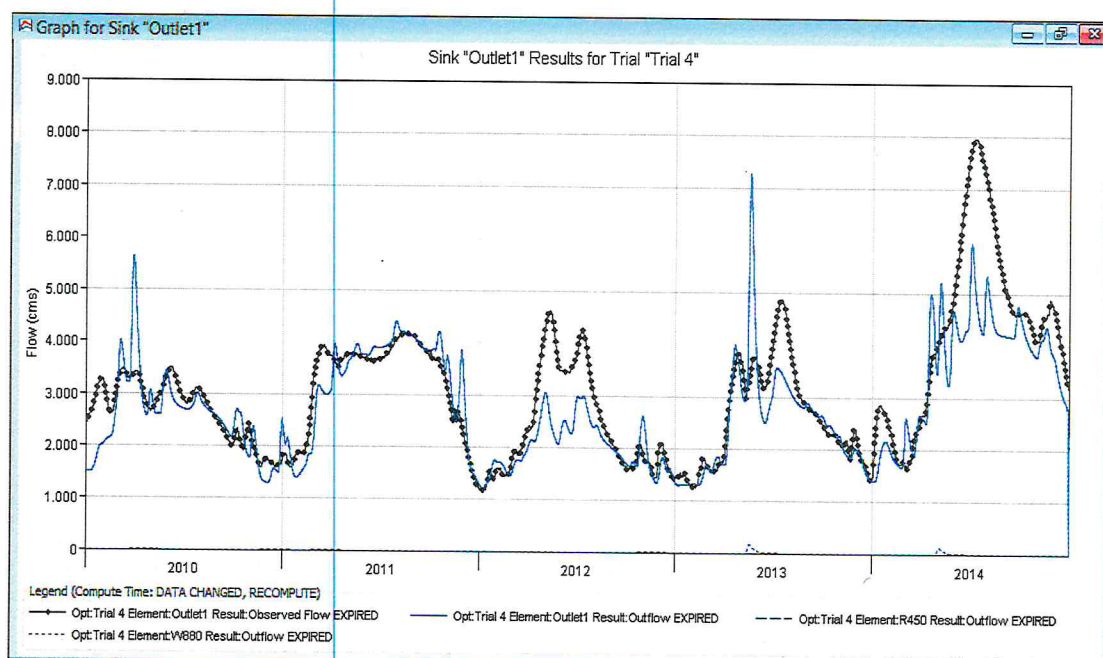


Fig. 2.32: Valores simulados (azul) y observados (negro) río Paraguay, en la confluencia con el río Paraná

A su vez, se generaron hidrogramas de salida para las cuencas aportantes al río Paraguay, de manera a cuantificar el volumen de aporte al mismo en el periodo continuo del año 2010 al 2015.

Los resultados preliminares para las principales cuencas se muestran en las figura 2.33 al 2.37.

Roger Monte Latorre,  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



Es importante aclarar que los valores mostrados son resultados preliminares, con la posterior calibración del modelo hidrológico, estos variarán buscando un mejor ajuste del mismo.

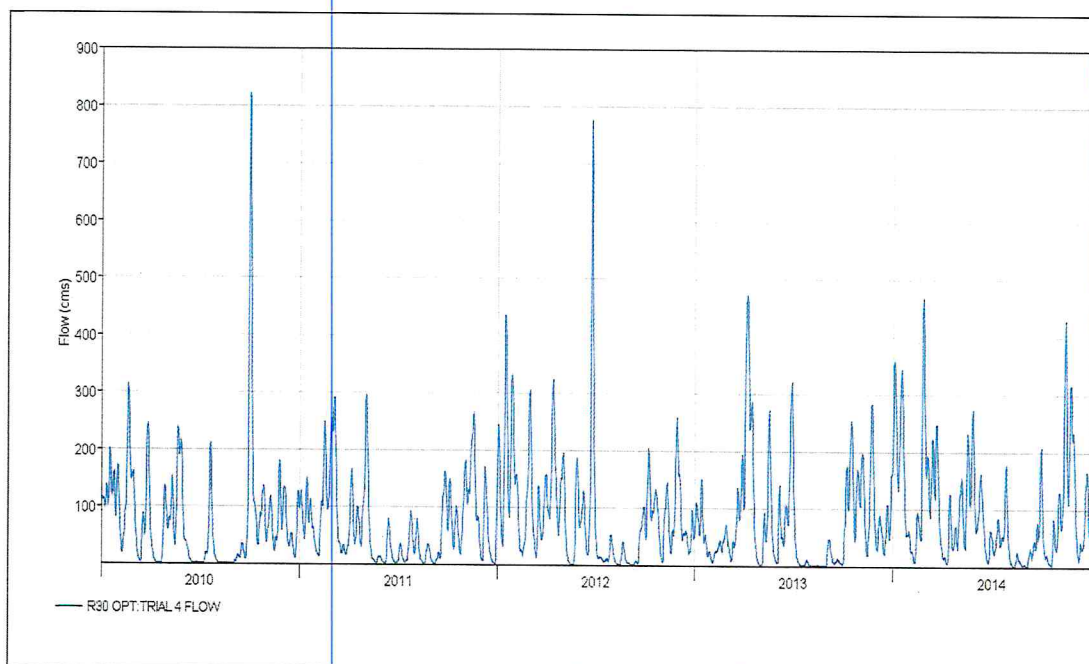


Fig. 2.33 Caudal calculado en la Cuenca del río Apa

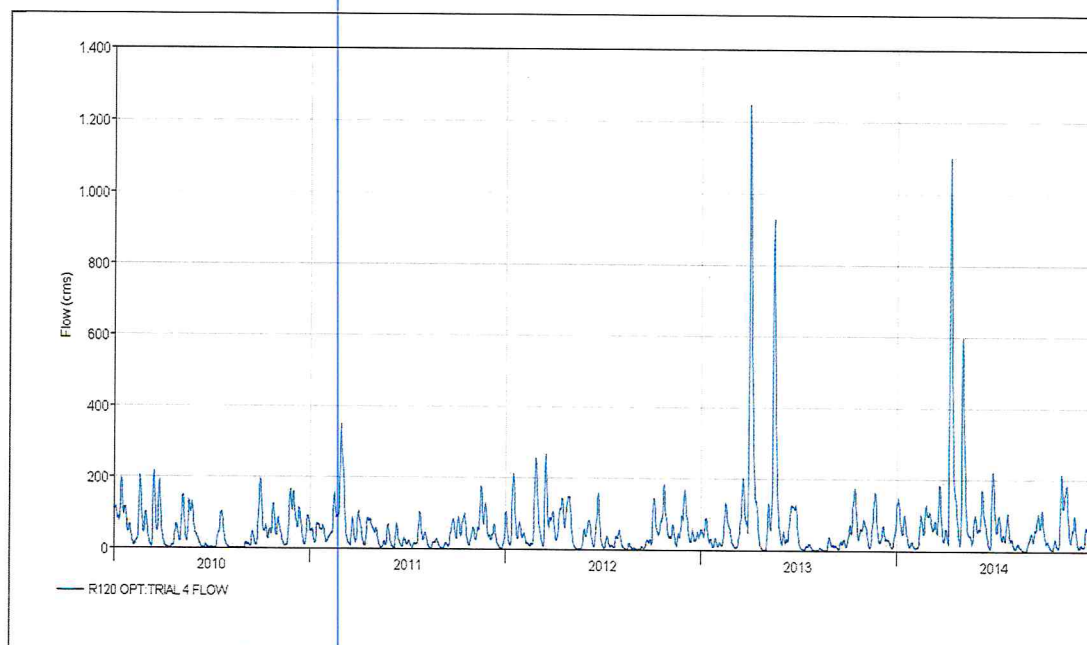


Fig. 2.34 Caudal calculado en la Cuenca del río Aquidabán

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

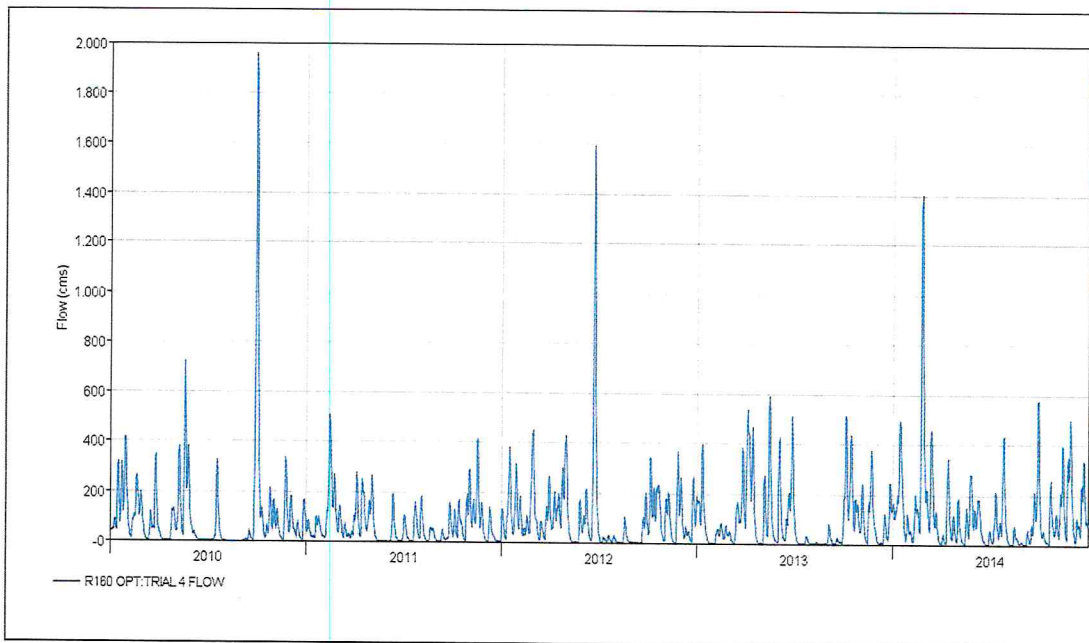


Fig. 2.35 Caudal generado en la Cuenca del río Ypané

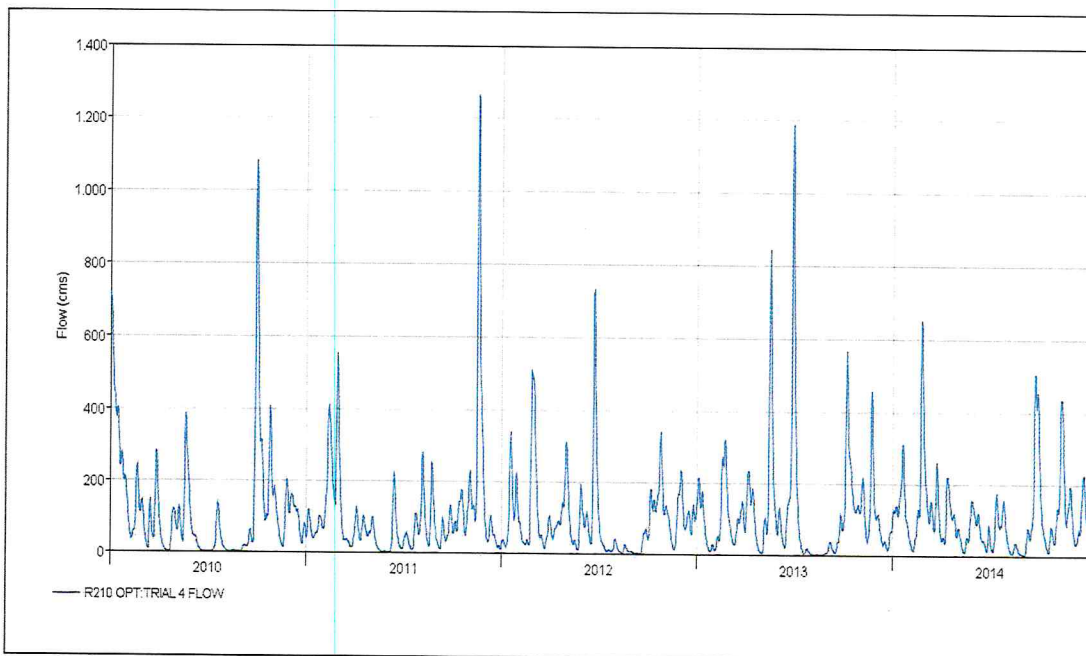



Fig. 2.36 Caudal calculado en la Cuenca del río Jejuí

  
**Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira**  
 Rector

  
**Roger Monte Domínguez**  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

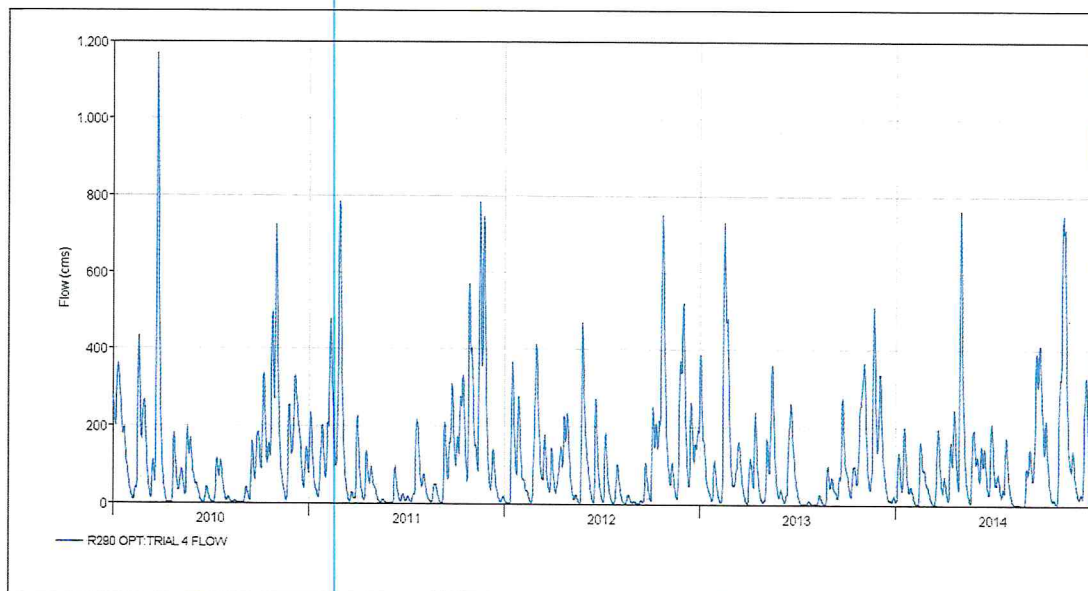


Fig. 2.37 Caudal calculado en la Cuenca del río Manduvirá

Si bien el modelo conceptual fue desarrollado hasta la desembocadura del río Paraguay en el Paraná, la calibración se realizara hasta Asunción, por la cantidad y la calidad de los datos observados, el resultado preliminar por el periodo establecido se muestra en la figura 2.38.

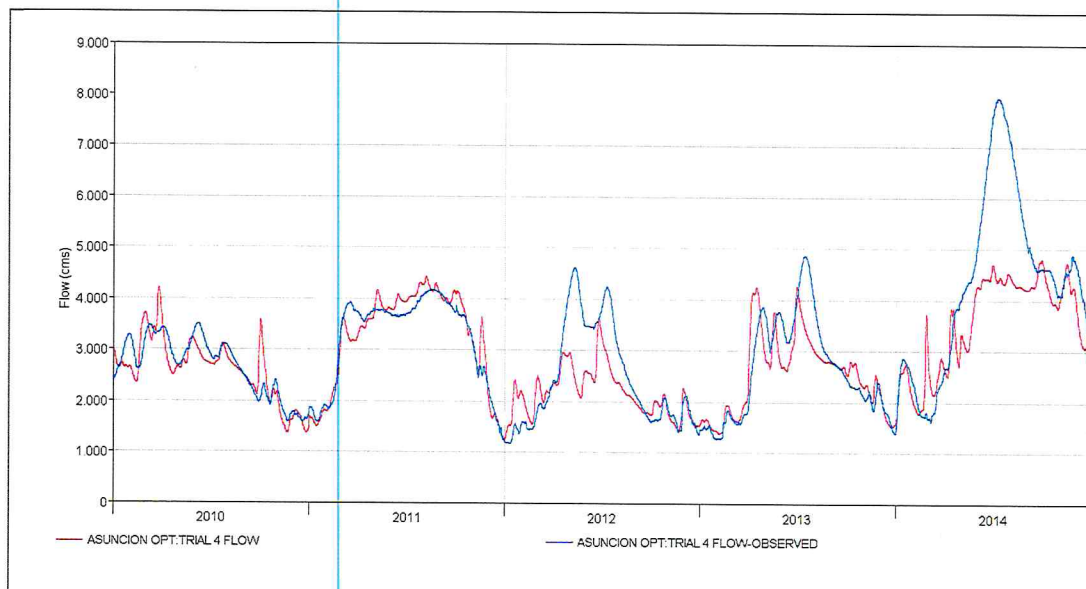


Fig. 2.38 Caudal observado (azul) en relación al caudal calculado (rojo) en Asunción

Descartando la magnitud, la forma del hidrograma simulado coincide con el hidrograma observado, y en los periodos recesivos, el modelo responde relativamente bien con respecto a los caudales observados.

Durante la calibración, se presentan errores de volumen, ligados a malas estimaciones de la lluvia o de los parámetros de pérdidas en el suelo, o de ambos. Estos pueden ser: (Fattorelli & Fernández, 2011):

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector


- Errores en el pico relacionados con falsas estimaciones de áreas impermeables, de tiempos de concentración o coeficientes de almacenamiento de la cuenca.

Para cuencas en las que se tienen disponibilidad de datos, tanto de precipitación como de caudales; régimen perenne, con frecuencia de caudal base; suelos con perfiles edáficamente desarrollados y objetivos de la modelación relacionados con sistemas en tiempo real para pronósticos de escurrimientos (preferentemente de volúmenes para operación de embalses); algunos criterios de calibración son los siguientes (Fattorelli & Fernández, 2011):

- La optimización de parámetros es preferentemente manual con una fuerte componente del criterio del hidrólogo, comparando balance de volúmenes y forma de los hidrogramas de las crecientes.
- Los parámetros de estado (es decir aquellos “contenidos” que varían en función del tiempo), se pueden optimizar por métodos automáticos, basados en las condiciones antecedentes, al iniciar un largo período de simulación. Además, pueden ser ajustados manualmente en base al caudal base, en períodos de no lluvia. Estos contenidos para  $t=0$  no deben ser mayores a la máxima “capacidad” de aquellos parámetros que son fijos, siendo la máxima capacidad de retención de agua en el perfil del suelo.
- A mayor valor de los contenidos iniciales, mayor es el flujo base.
- Ajustado el flujo base, se deben “calibrar” los valores de crecientes en períodos de lluvia, basados en los parámetros de áreas impermeables, de balance de agua en el perfil o de percolación e incluso del propio hidrograma unitario que es dato.
- En los modelos continuos la relación entre la evapotranspiración y la precipitación es trascendente. La precipitación, que en un modelo de evento, puede ser medida con una definición de 1mm, en estos debe hacerse con 0.2mm. Esta medición resulta a veces clave en la simulación de la tasa descendente del flujo base en períodos largos, con lluvias débiles o escasas.

Es importante mencionar que en la fase de calibración será incorporado al modelo el parámetro evaporación y se ajustaran los datos de caudal base en función a datos disponibles en las cuencas.

  
Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

  
Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

## Anexo 3: Modelación del Modelo Hidráulico en el Río Paraguay

### 3.1 Características básicas del Modelo Hidraulico Hec Ras

HEC- RAS<sup>8</sup> (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*) es un programa informático de dominio público, que modela la hidráulica del flujo de agua que transita a través de los ríos naturales y otros canales.

El programa fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, Departamento de Defensa de los Estados Unidos con el fin de gestionar los ríos, puertos y otras obras públicas bajo su jurisdicción. El Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) en Davis, California, desarrolló el Sistema de Análisis de Río para ayudar a los ingenieros hidráulicos en el análisis de flujo de canal y determinación de la llanura de inundación. Incluye numerosas capacidades de datos de entrada, componentes hidráulicos, análisis de las capacidades de almacenamiento, gestión de datos y de gráficos y generación de informes.

El procedimiento de cálculo básico de HEC- RAS para flujo constante se basa en la solución de la ecuación de energía unidimensional. Las pérdidas de energía se evalúan por la fricción y la contracción-expansión. La ecuación de momento se utiliza en situaciones donde el perfil de la superficie del agua es rápidamente variado. Estas situaciones incluyen saltos hidráulicos, sistema hidráulico de puentes y perfiles que evalúan en las confluencias de los ríos.

Para el flujo no permanente, HEC- RAS resuelve completamente la ecuación dinámica unidimensional de Saint Venant, utilizando un método implícito de diferencia finita. La resolución de ecuaciones de flujo no permanente es una adaptación de paquete UNET del Dr. Robert L. Barkau.

HEC- RAS está equipado para modelar una red de canales, un sistema dendrítico o un solo tramo de río. Algunas simplificaciones deben realizarse con el fin de modelar algunas situaciones complejas de flujo utilizando el enfoque unidimensional HEC- RAS. Es capaz de modelar un flujo en régimen subcrítico, supercrítico y mixto, junto con los efectos de puentes, alcantarillas, vertederos, y estructuras

El modelo hidráulico requiere como datos de entrada lo siguiente:

- Serie de caudales continuos de un periodo específico, provenientes del modelo hidrológico en HEC HMS, ya descrito en el Anexo 2.
- Geometría del cauce, una representación acertada de la forma del canal principal con su planicie de inundación.
- Coefficiente de Rugosidad: Además de las dimensiones del canal y planicie, se le asocia a un coeficiente de rugosidad de Manning, para representar la resistencia de la sección transversal al paso del agua afectando directamente a la velocidad. Es importante mencionar que este coeficiente de manning es un parámetro de calibración y varía para cada sección transversal.

<sup>8</sup> Fuente: <http://www.hec.usace.army.mil/>

Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590123

### 3.2 Procedimiento de Modelacion Hidrodinamica

- Condiciones de Contorno:
  - a. Condición Inicial: Caudal del rio Paraguay proveniente de la cuenca alta en Pto. Murtiño para un periodo continuo de analisis.
  - b. Condición de Borde: Nivel registrado en Asunción para el mismo periodo.

Con estos datos de entrada se realiza la corrida hidráulica del modelo, en dos fases: En primer lugar se verifica algunos parámetros en régimen permanente para luego realizar su simulación en régimen no permanente.

Esto consiste en: primeramente en realizar la corrida del modelo con valores de entrada de caudal constantes (régimen permanente) para luego simular utilizando valores variables, que son los resultantes del modelo hidrológico (régimen no permanente).

Los resultados esperados del modelo hidráulico son los niveles de agua en cada sección transversal y su respectiva velocidad.

A partir del nivel de agua, mediante técnicas de geoprocésamiento se puede determinar el área inundable del cauce, para luego compararlos con los registros históricos e ir calibrando el modelo.

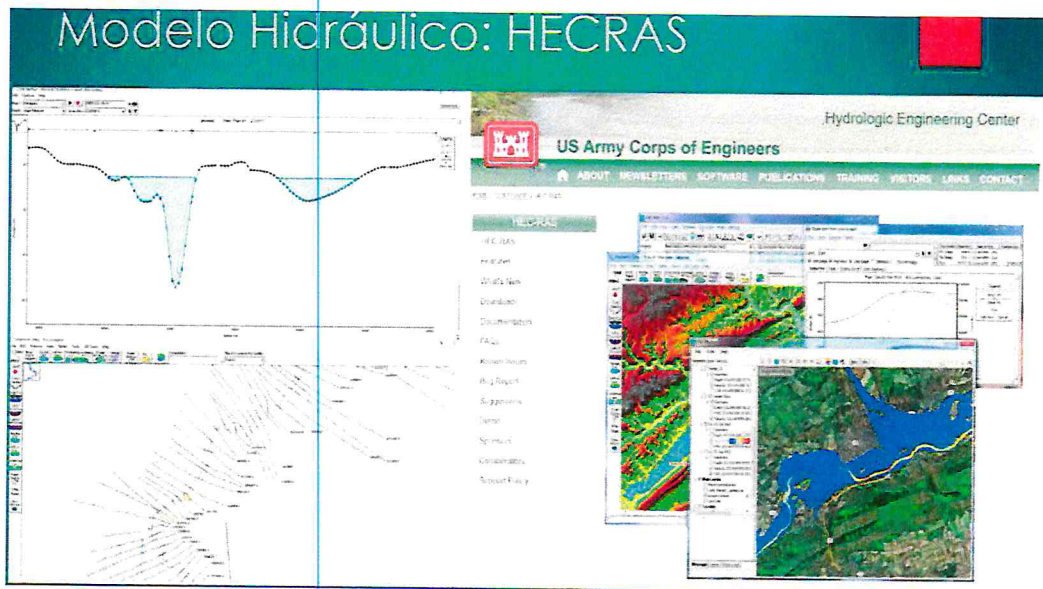


Figura 3.1 Interfaz del modelo HECRAS.

Inicialmente se carga toda la geometría que se obtiene a partir de los datos topograficos de batimetrías existentes, cartas de navegacion de la marina de brasil hasta Asuncion y batimetrías disponibles en el sector sur hasta confluencia con el rio Parana.

Luego se introducen los caudales de la siguiente manera:

Roger Monte Somoc,  
Ing. CIV  
R.P. 560703

Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Hoja 56



Primero, el modelo se inicia en Pto. Murtinho, por lo que en dicho punto se introducen los caudales medidos y disponibilizados por la Agencia Nacional de Aguas del Brasil en dicho lugar. O en su defecto los niveles medidos o una curva H-Q. Esto fijará las condiciones de borde hacia aguas arribas del modelo.

Segundo, se introducen los caudales calculados con el modelo hidrológico de los principales ríos afluentes de la región oriental incluido el río Apa.

A los efectos de obtener mejores resultados, se modelan tramos entre 70km y 100km de los ríos interiores antes de su descarga en el río Paraguay a fin de estabilizar el modelo hidrodinámico de cada aporte antes de llegar al río Paraguay.

En la figura 3.2 se presentan el procedimiento para la simulación hidráulica.

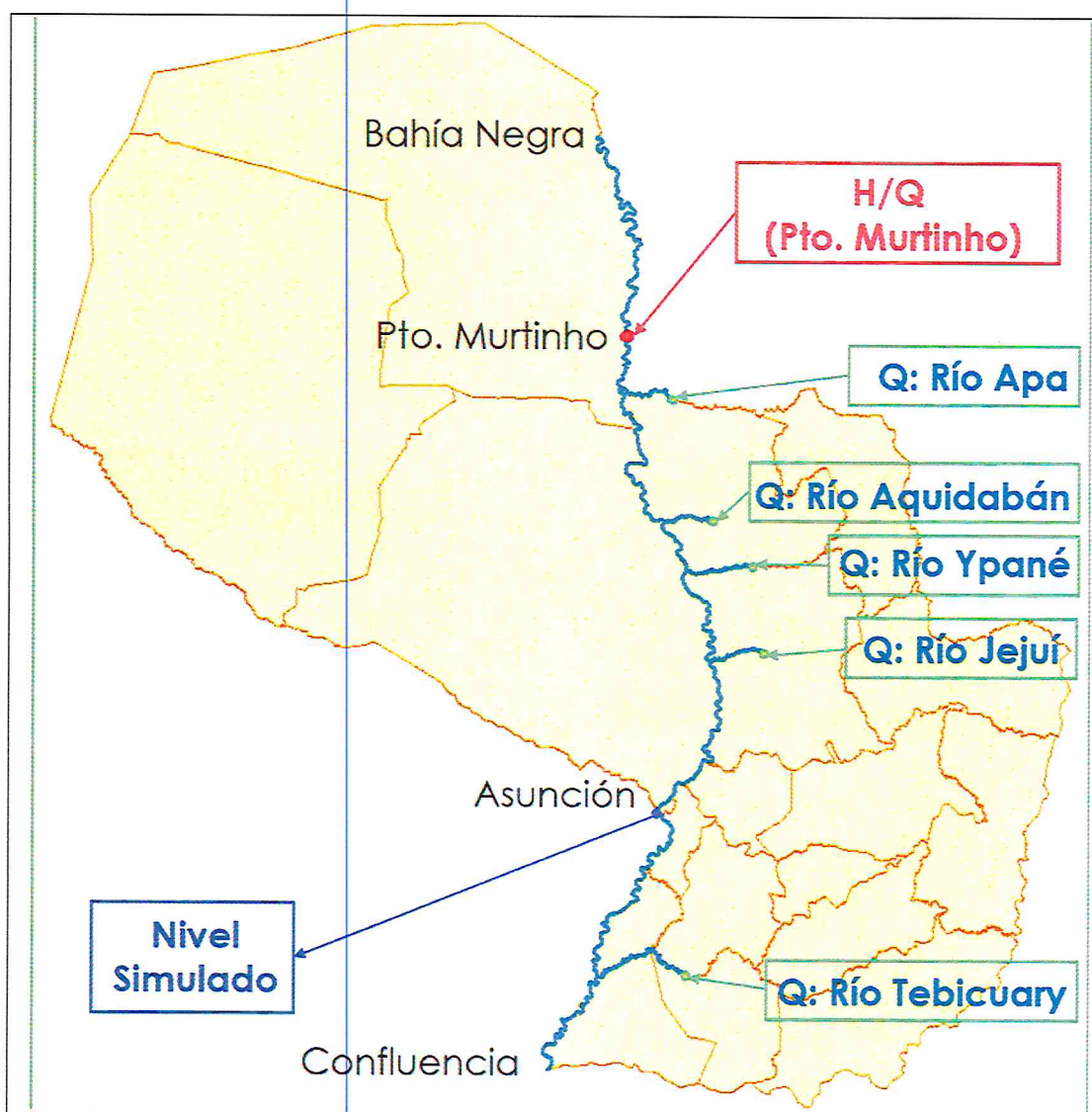


Fig. 3.2: Esquema conceptual del modelo hidraulico en Hec Ras



Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 520183

El mismo modelo resuelve por iteración cada nudo de enlace de los ríos interiores con el río Paraguay, equilibrando los niveles tanto del río Paraguay, como del río afluente en dicho punto.

### 3.3 Caudales Utilizados en la Modelación

En las figuras 3.3 a 3.8 se muestran los caudales utilizados en este proceso, los medidos en Porto Murtinho del río Paraguay del Pantanal hasta ese sitio y los calculados por el modelo hidrológico en las cuencas aportantes de la región oriental y el río Apa (binacional) para el año 2014. En el apartado 3.6 de este Anexo se encuentran los valores en forma de tablas, obtenidos del ANA y de la modelación hidrológica.

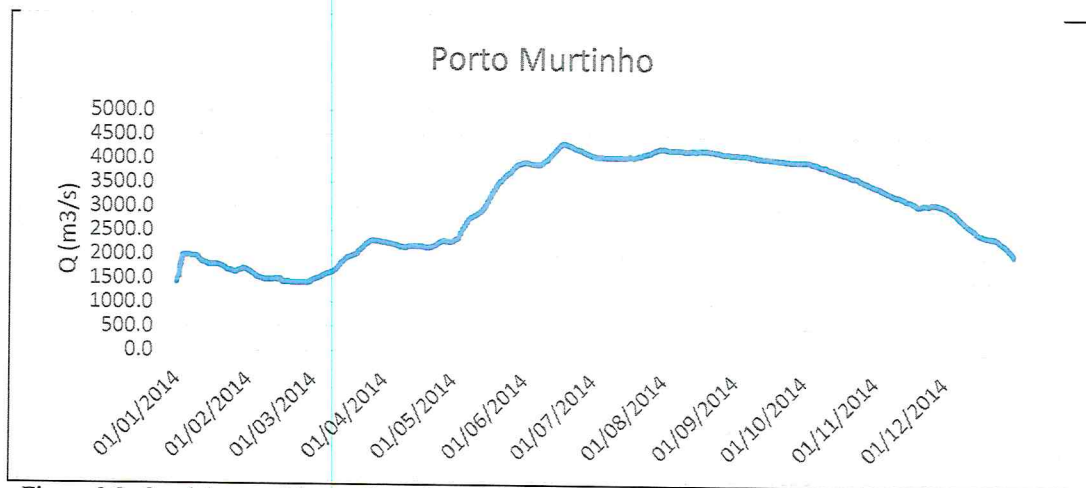


Figura 3.3. Caudales medidos en Porto Murtinho (Año 2014). Fuente: ANA<sup>9</sup>

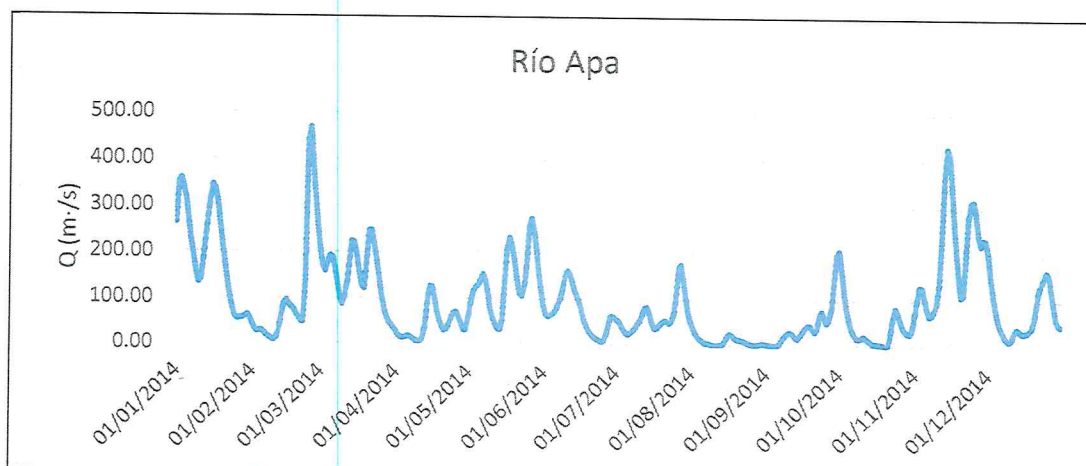

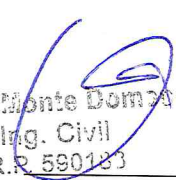


Figura 3.4 Caudales calculados por el modelo hidrológico en la cuenca del Río Apa (Año 2014)

  
Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

  
Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

<sup>9</sup> Agencia Nacional de Aguas del Brasil: [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)

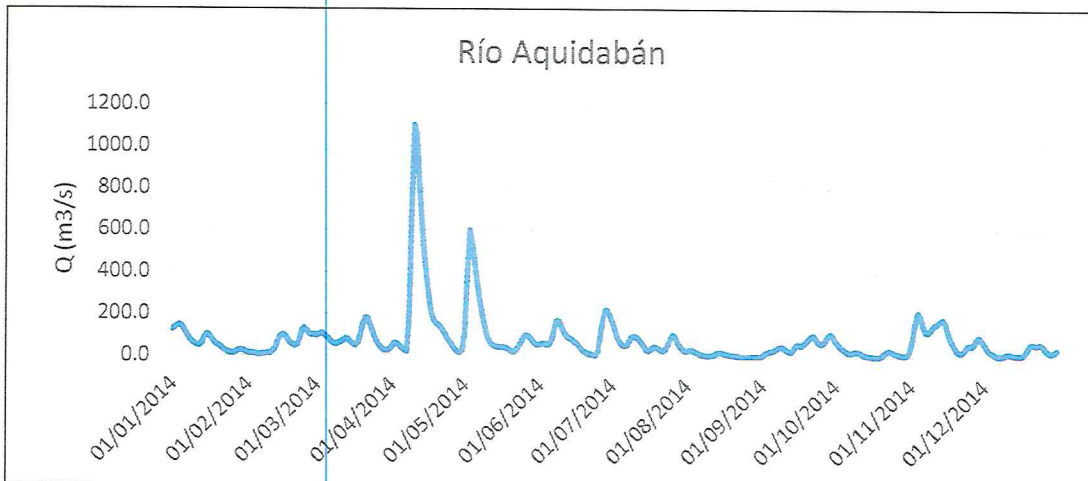


Figura 3.5 Caudales calculados por el modelo hidrológico en la cuenca del Río Aquidabán (Año 2014)

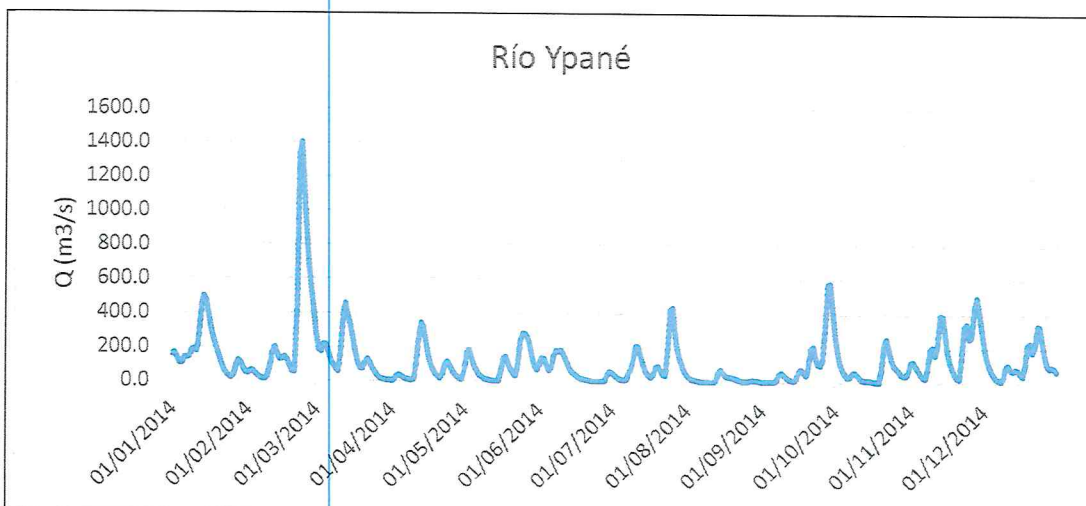


Figura 3.6 Caudales calculados por el modelo hidrológico en la cuenca del Río Ypané (Año 2014)

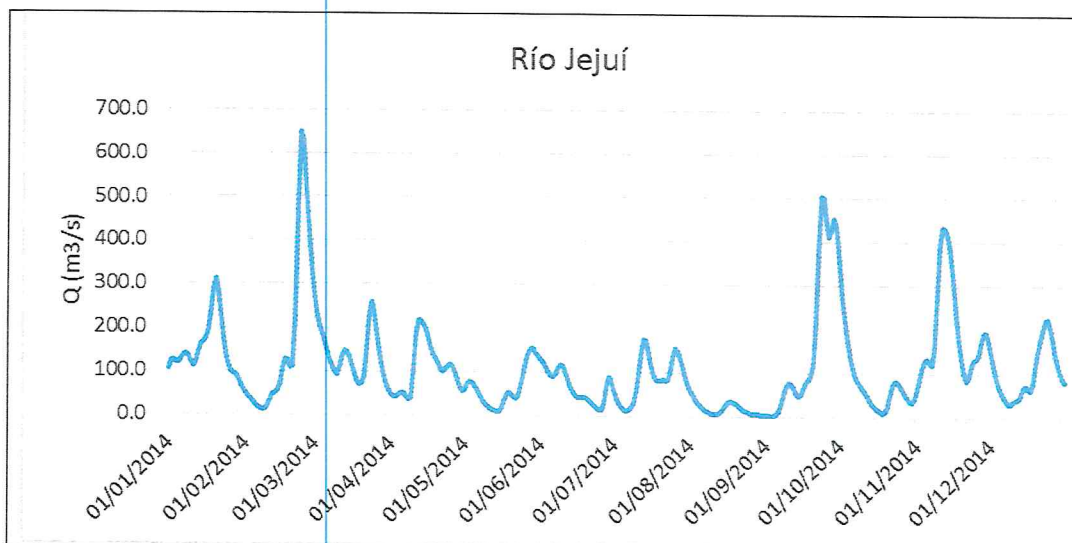


Figura 3.7 Caudales calculados por el modelo hidrológico en la cuenca del Río Jejuí (Año 2014)

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

Ph.D. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

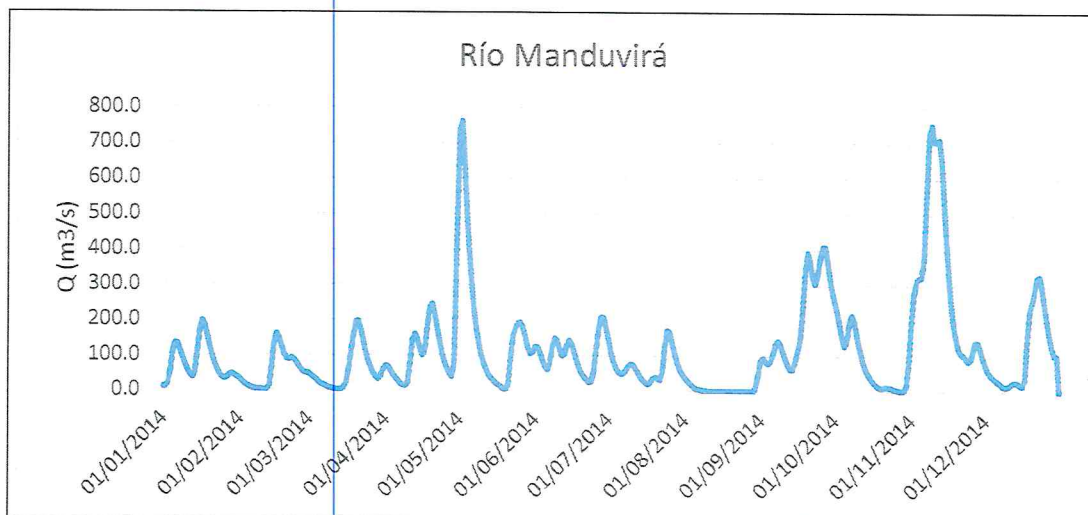


Figura 3.8 Caudales calculados por el modelo hidrológico en la cuenca del Río Manduvirá (Año 2014)

### 3.4 Geometría utilizada en el Modelo

Para introducir las secciones transversales del río es necesario contar con buenos datos del terreno. Para ello se utilizaron las cartas de navegación de la Marina Brasileira, en donde se indican profundidades del río Paraguay. Estos datos se complementaron con las batimetrías existentes de la ANNP. En el Apartado 3.7 de este Anexo se muestran algunas secciones a modo de ejemplo, utilizadas de la ANNP para el sector sur del río Paraguay.

Para la planicie de inundación, se utilizó el modelo digital de elevación obtenido a partir del SRTM (NASA), ya que por ser un río de planicie, en épocas de crecidas la lámina de agua inunda todo el valle. Por ello es necesario contar con una buena representación de las secciones transversales.



Fig. 3.9: Datos topográficos de superficie y batimétricos utilizados

La dificultad encontrada es que solamente existen datos batimétricos en ciertos tramos del río. En la siguiente figura se puede ver las manchas negras a lo largo del río, estas áreas son tramos de batimetría, en que algunos casos no abarcan todo el cauce.

En estos casos se utilizó las cartas de navegación (Marina Brasileira), que llegan hasta Asunción, para tener una mejor representación del río. En el futuro para optimizar el modelo sera necesario efectuar campañas batimetricas a lo cargo de todo el cauce.

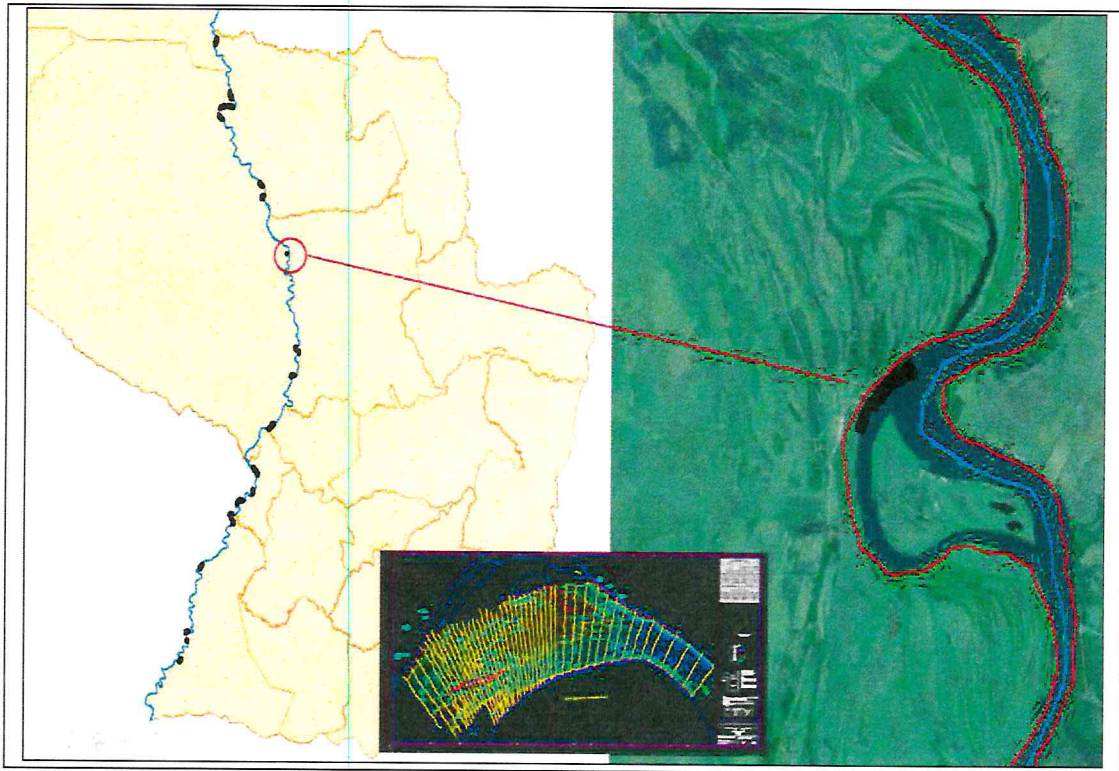



Fig. 3.10: Datos batimetricos disponibles a nivel nacional (MOPO, ANNP, ITAIPU)

El modelo de elevación también tiene limitaciones, sobre todo en áreas planas en donde se tiene mucho ruido en la imagen. Por ello, mediante técnicas de geoprocésamiento, se mejoró cada sección transversal a fin de tener una transición más suave entre la planicie de inundación y el canal en sí del río Paraguay.

A modo de ilustración, en la siguiente figura se observa una comparación entre una sección trasnversal bruta (abajo) y una sección modificada (arriba).

Cabe aclarar también que el modelo de elevación indica la cota del pelo del agua, ya que no tiene penetración a través del agua. Por ello es necesario datos de batimetría para representar la forma del cauce bajo el agua, hasta el fondo del canal principal.

  
Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

  
Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 580183

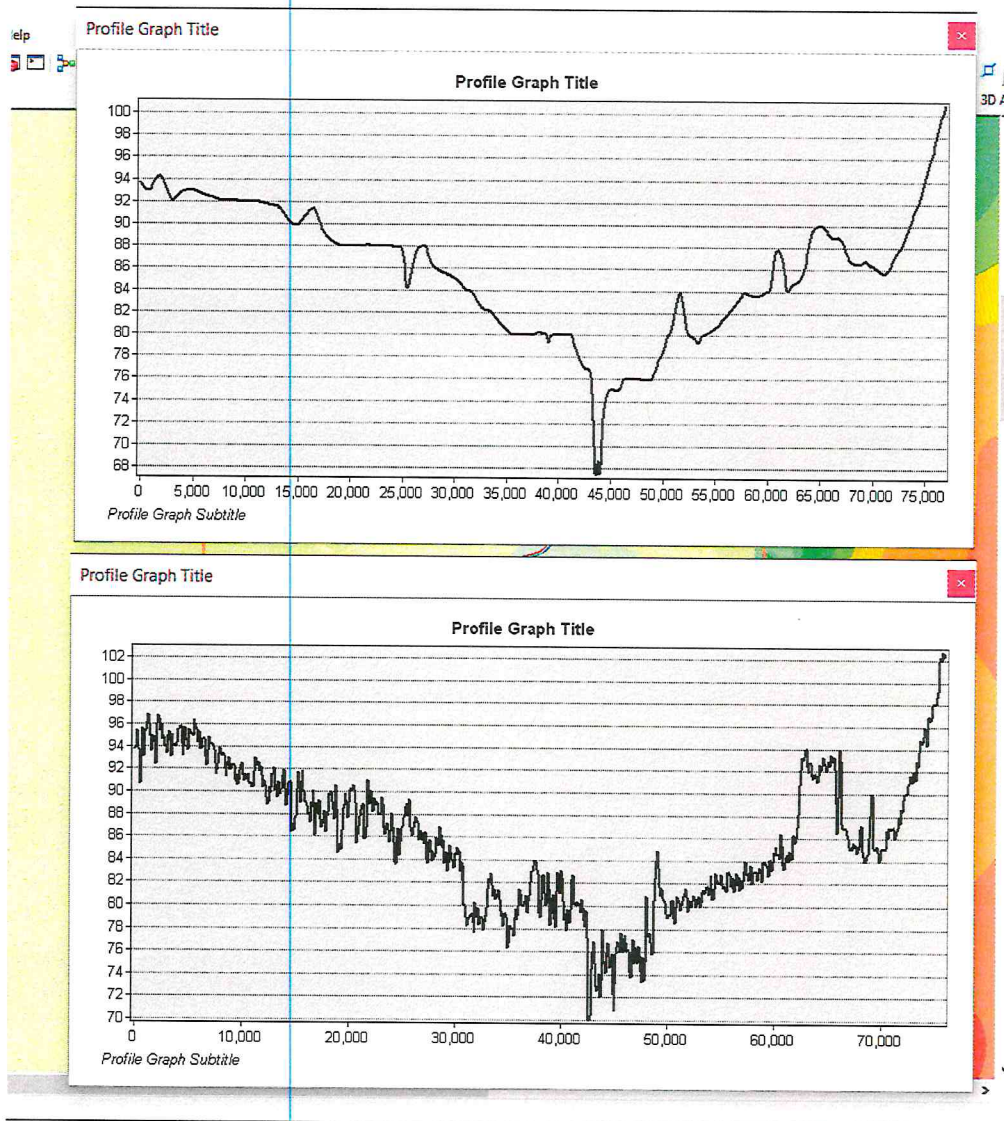


Fig. 3.10: Seccion rio Paraguay optimizada (arriba) y seccion bruta (abajo)

En las figuras siguientes, se muestra como quedó el modelo digital de elevacion (DEM) creado a partir de (i) los datos batimétricos, + (ii) los datos de las cartas de navegacion de la Marina Brasileira + (iii) el modelo de elevacion.

A partir de este nuevo DEM creado, suavizado y corregido, se trazaron las secciones trasversales para el modelo hidraulico.

Phd. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

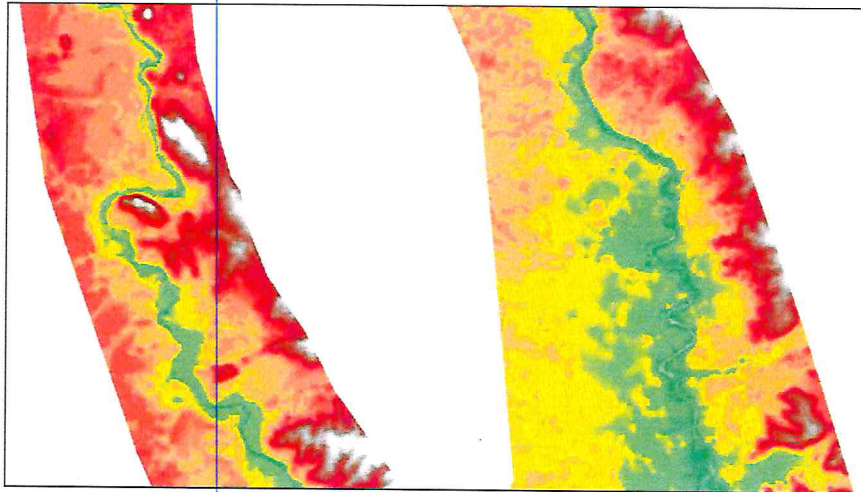


Fig. 3.11: DEM Tramo del rio Paraguay procesado

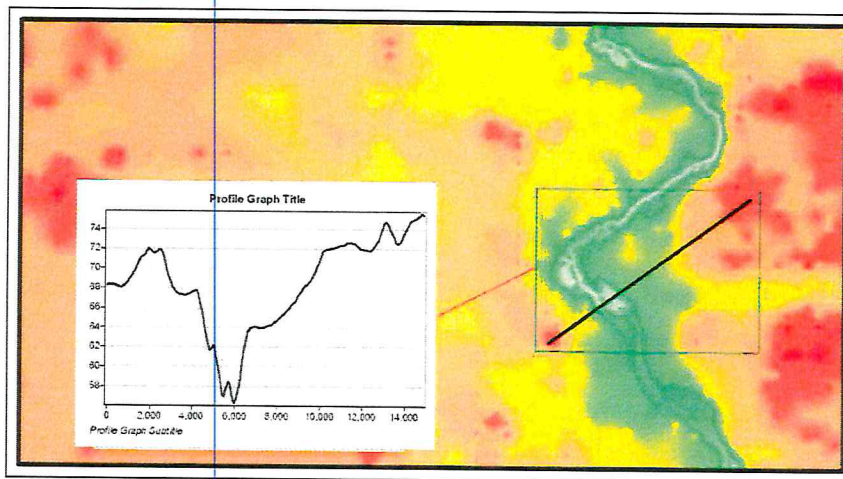


Fig. 3.12: Seccion rio Paraguay obtenida en el DEM

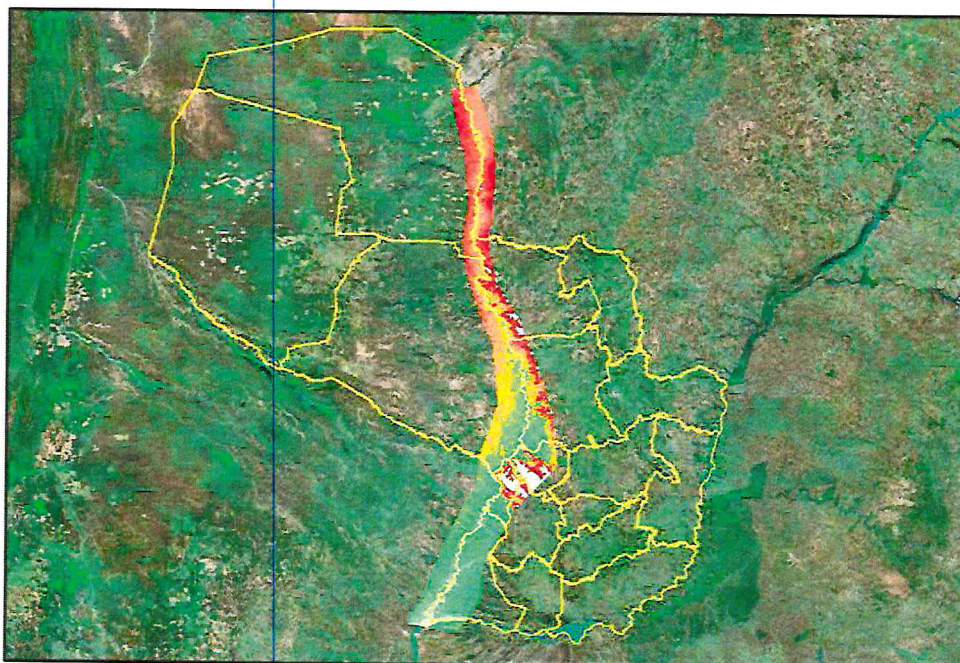


Fig. 3.13: Modelo Digital de Elevacion del rio Paraguay para el Hec Ras

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590133

  
 Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

En las figuras siguientes, se ve la interfaz del modelo HEC RAS. Se trazaron secciones transversales cada 3km y luego se interpolaron cada 1.5km para tener una mayor cantidad de secciones transversales que facilitan el proceso de simulación hidrodinámica

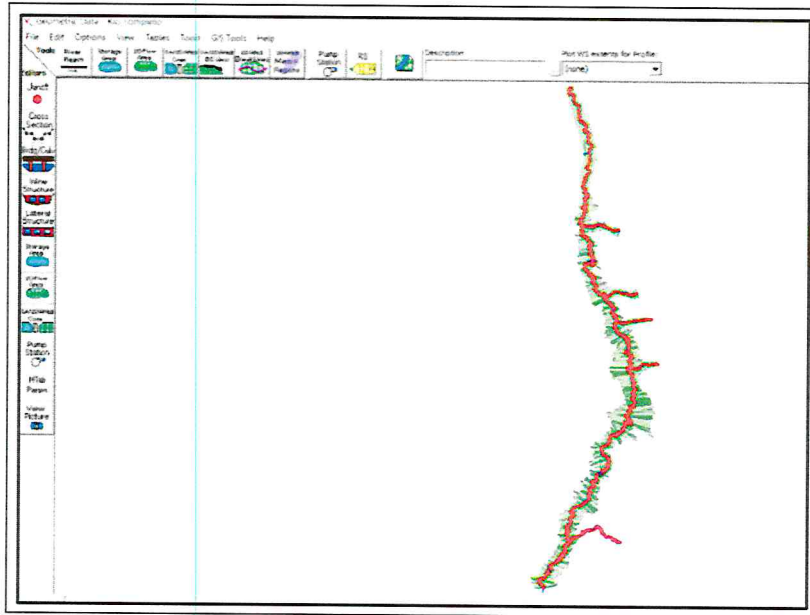


Fig. 3.14: Geometria Data – Rio Paraguay completo Modelo Hec Ras



Fig. 3.15: Secciones transversales al cauce rio Paraguay –Modelo Hec Ras



### 3.5 Resultados iniciales de la Modelacion

En las primeras dos imágenes se ven dos secciones transversales. Se puede ver tambien la manera en que se representa el nivel de agua en cada sección. Se tiene un nivel de agua específico para cada sección transversal para cada día del periodo simulado.

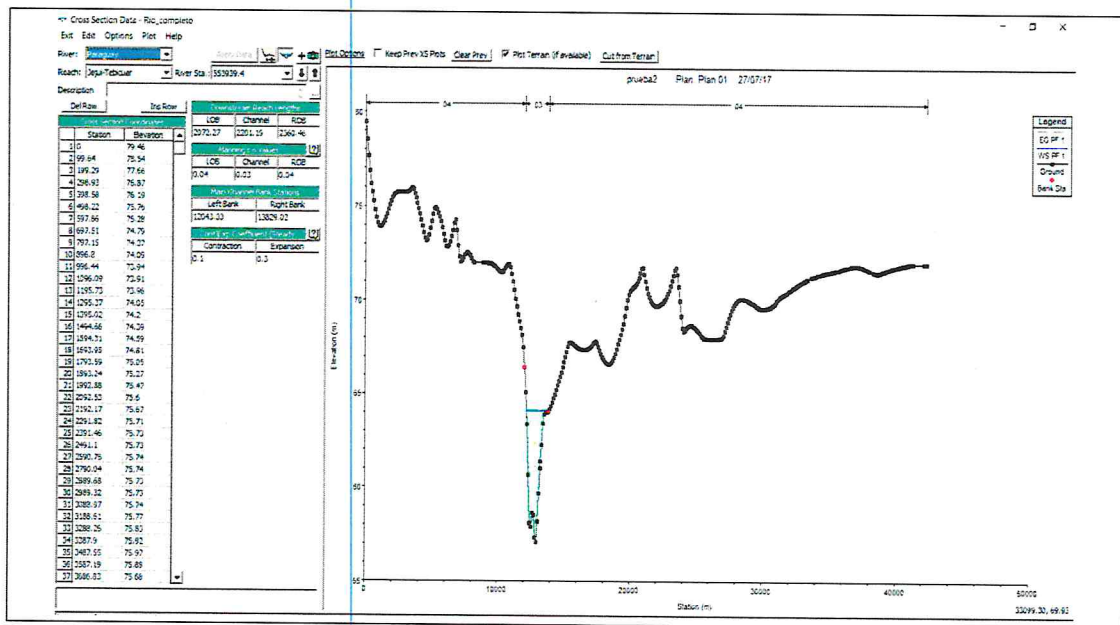


Fig. 3.16: Seccion transversal con el nivel de agua tramo al sur del rio Jejuí

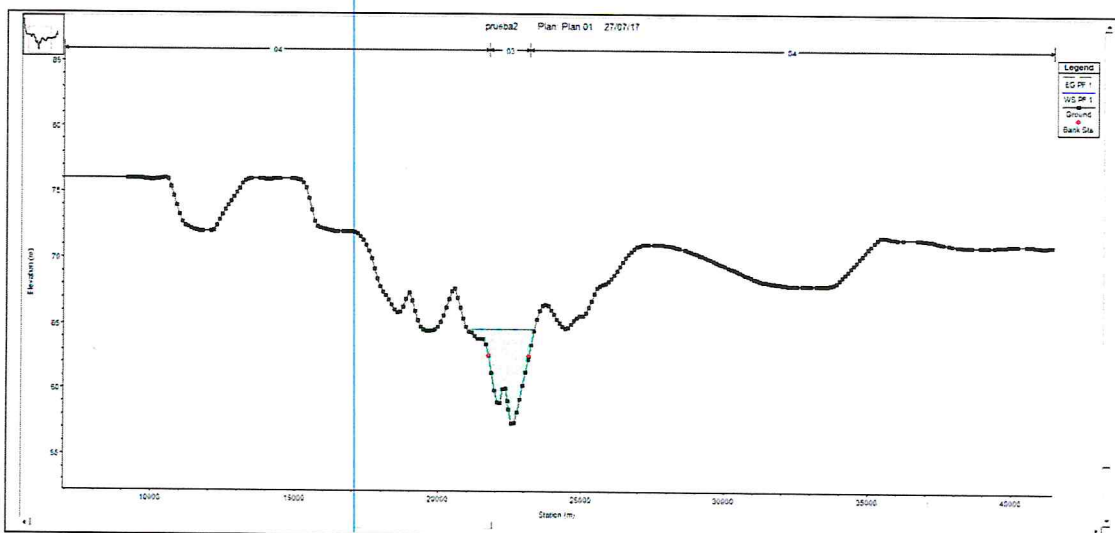


Fig. 3.17: Nivel de agua en una seccion tipica del rio

En la siguiente figura se ve el nivel de aguas medio para el río Paraguay, entre el río Paraná y el río Apa.



Ing. CIVIL  
R.P. 590103

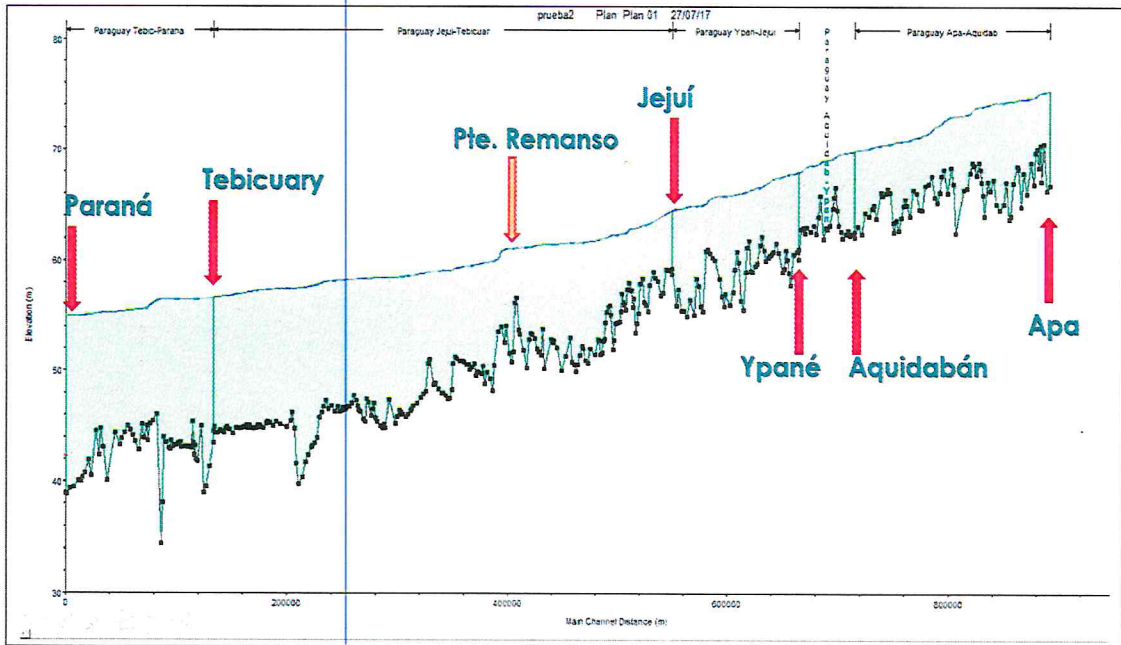


Fig. 3.18: Perfil longitudinal del rio Paraguay entre el Apa y confluencia con el Paraná

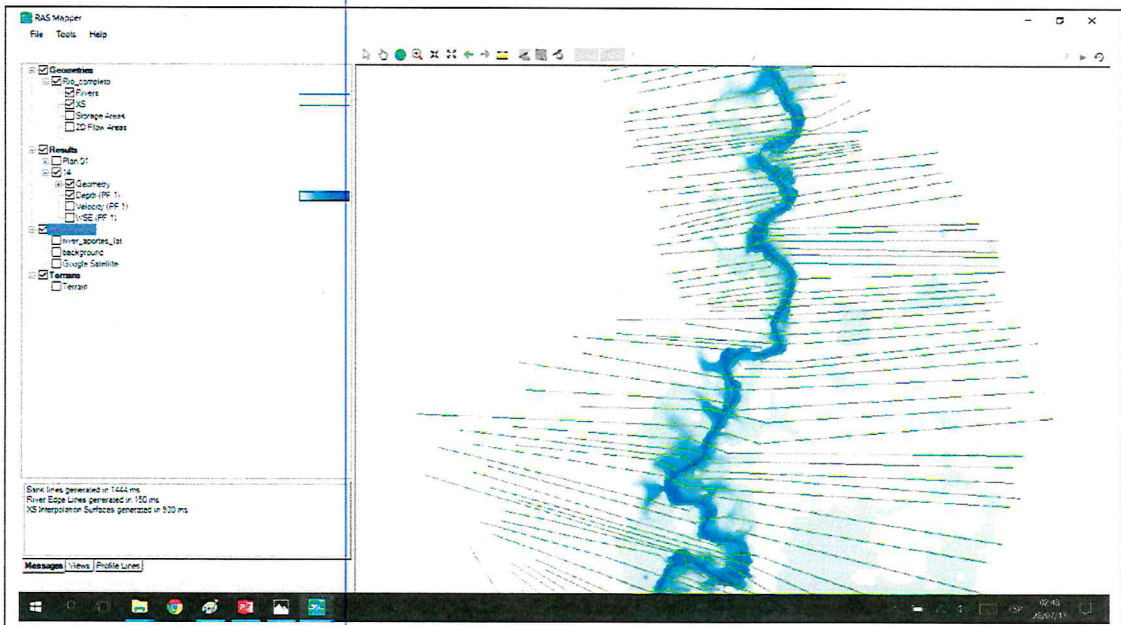


Fig. 3.19: Salida típica de mapa de inundacion con el RAS Mapper (Hec Ras)

  
 Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

Roger Monte (2000)  
 Ing. Civil  
 R.P. 590133

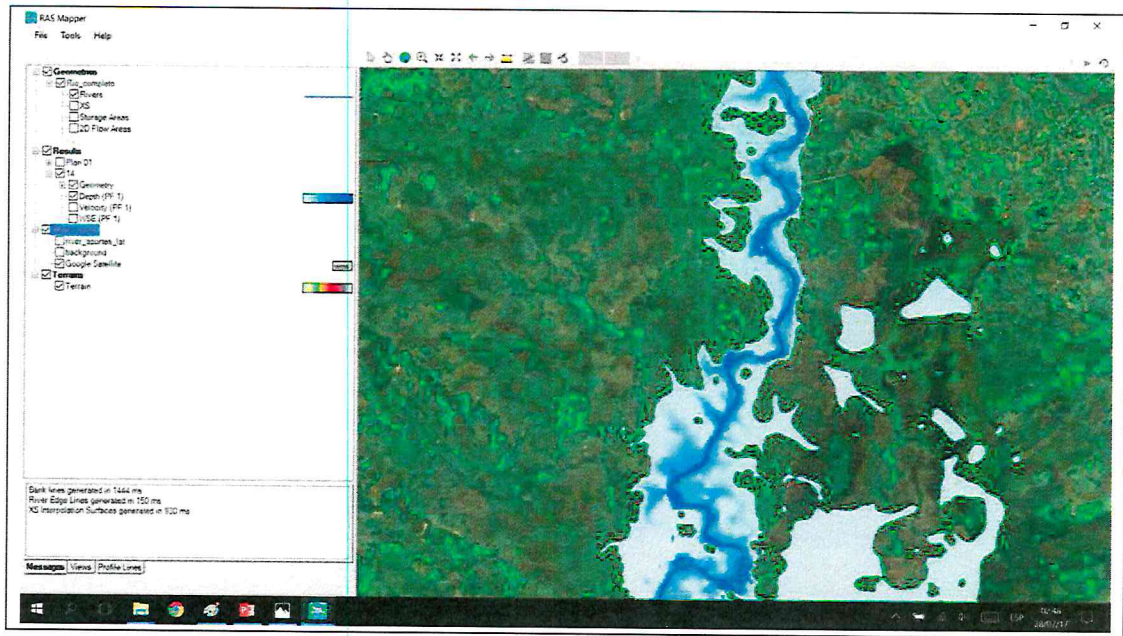


Fig. 3.20: Mapa de inundacion generado en la planicie del rio Paraguay tramo Norte de Asuncion, 2014



Fig. 3.21: Rio Paraguay desbordado a mediados del año 2014 en Gran Asuncion

A modo de prueba, como ejemplo se muestra el nivel obtenido en Asunción. De forma aleatoria se eligió el año 2014.

Para el caudal máximo calculado con el HEC RAS para el 2014, se tiene que el nivel máximo de agua alcanzó la cota 61.80

Roger Monte Llambas  
Ing. Civil  
R.P. 590133

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



Sin embargo, según los registros de lectura en la regla hidrometrica de la ANNP, el maximo nivel alcanzado en Asuncion en el 2014 llegó a cota 61.42 msnm (7,38m en la regla hidrometrica). Es importante mencionar que el modelo aún no está calibrado. Y sin calibrar se tiene una diferencia de 40 cm aproximadamente. Lo cual es bastante optimista. Se espera que con la calibración y validación de datos esta diferencia se ajuste.

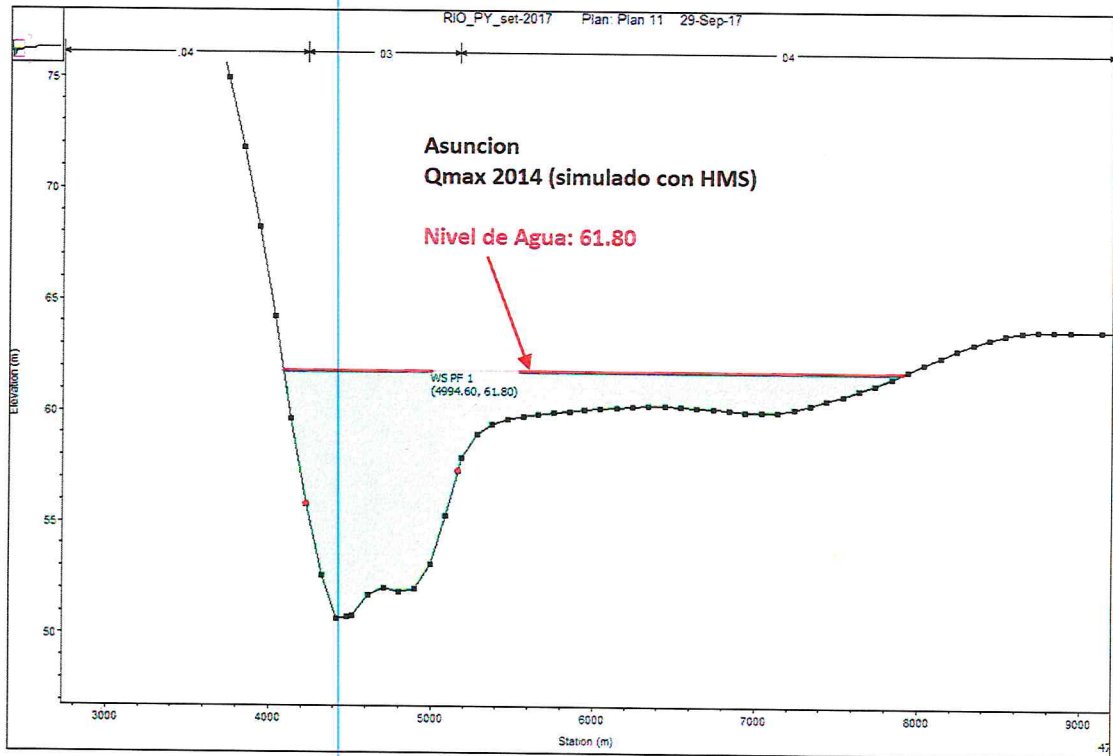


Fig. 3.22: Nivel maximo ocurrido en el año 2014 a partir del modelo Hec Ras – Pto Asuncion

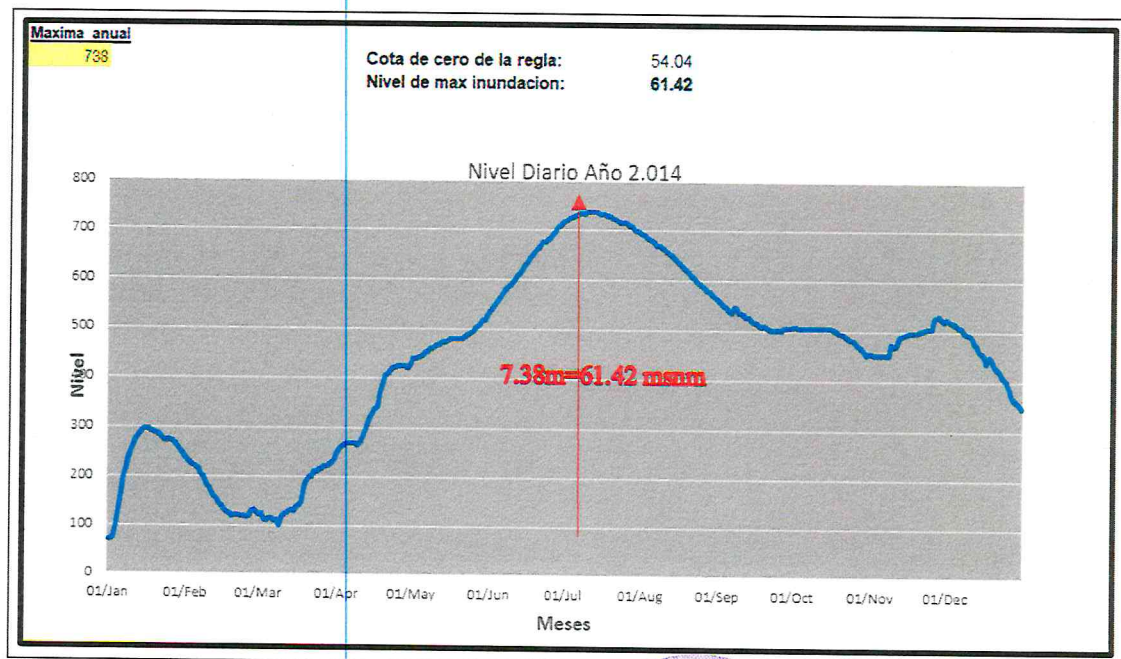


Fig. 3.23: Hidrograma de niveles hidrometricos en Asuncion año 2014

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590/03

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

### 3.6 Caudales utilizados para la simulación (En Murtiño, del rio Paraguay aguas arriba)

Fecha	Q Murtinho (m3/s)	Q Apá (m3/s)	Q Aquidabán(m3/s)	Q Ypané (m3/s)	Q Jejuí (m3/s)	Q Manduvirá (m3/s)
01/01/2014	1415.8	262.42	123.5	158.1	106.6	8.8
02/01/2014	1544.4	349.77	132.5	163.2	124.5	8.6
03/01/2014	1850.5	356.85	139.4	139.3	126.2	15.8
04/01/2014	1983.1	336.08	144.8	103.9	121.3	52.6
05/01/2014	1983.1	311.96	134.5	104.6	121.8	105.9
06/01/2014	1991.8	270.08	115.5	136.2	129.5	132.8
07/01/2014	1988.9	222.93	95.7	134.1	137.1	130.4
08/01/2014	1959.8	188.52	77.0	142.0	139.2	112.2
09/01/2014	1959.8	156.26	63.5	179.5	133.8	90.4
10/01/2014	1942.4	133.32	55.1	187.1	121.5	71.0
11/01/2014	1893.3	139.15	48.2	173.8	112.9	55.4
12/01/2014	1850.5	182.18	46.2	274.9	122.4	43.3
13/01/2014	1827.7	233.73	58.8	438.9	145.0	36.1
14/01/2014	1805.1	271.54	83.0	495.4	161.7	50.1
15/01/2014	1782.6	315.80	99.7	467.0	168.1	111.3
16/01/2014	1782.6	344.07	97.0	391.7	176.2	175.2
17/01/2014	1777.0	336.66	80.8	307.9	195.8	197.6
18/01/2014	1782.6	305.46	63.7	247.0	237.1	183.9
19/01/2014	1779.8	262.13	52.6	205.0	290.8	154.5
20/01/2014	1771.4	215.51	45.2	156.7	312.8	123.3
21/01/2014	1743.4	173.50	36.8	107.4	283.7	96.1
22/01/2014	1712.9	134.11	27.2	70.4	231.4	74.4
23/01/2014	1682.6	101.29	19.0	45.9	181.9	57.5
24/01/2014	1660.6	75.45	13.5	29.5	142.6	44.6
25/01/2014	1655.1	58.81	11.1	18.7	115.2	35.7
26/01/2014	1622.5	53.89	12.6	31.1	100.8	31.9
27/01/2014	1627.9	54.37	17.9	86.3	96.4	35.8
28/01/2014	1666.1	54.49	24.1	120.0	92.7	43.1
29/01/2014	1682.6	59.12	26.4	105.5	83.7	45.9
30/01/2014	1699.1	62.57	23.1	74.4	71.0	42.9
31/01/2014	1688.1	55.71	17.1	49.3	58.5	37.2
01/02/2014	1655.1	42.61	12.6	44.9	49.7	31.0
02/02/2014	1622.5	31.12	11.2	58.1	43.4	25.0
03/02/2014	1606.2	26.15	10.7	58.5	37.7	18.5
04/02/2014	1568.5	27.32	9.1	44.3	31.1	12.8
05/02/2014	1531.1	27.37	6.7	30.0	24.3	8.6
06/02/2014	1515.2	22.71	5.7	20.1	18.8	5.9
07/02/2014	1504.7	16.60	7.3	13.6	14.7	4.1
08/02/2014	1480.9	11.72	9.4	14.5	12.5	3.0
09/02/2014	1478.3	8.41	10.0	26.3	13.8	2.2
10/02/2014	1480.9	7.46	11.8	78.2	22.0	1.6

Fecha	Q Murtinho (m3/s)	Q Apá (m3/s)	Q Aquidabán(m3/s)	Q Ypané (m3/s)	Q Jejuí (m3/s)	Q Manduvirá (m3/s)
11/02/2014	1473.1	11.36	18.7	169.3	36.6	1.2
12/02/2014	1473.1	27.55	35.9	199.4	48.0	2.1
13/02/2014	1494.1	58.84	64.2	162.2	51.5	11.8
14/02/2014	1478.3	86.73	89.6	127.2	55.9	66.2
15/02/2014	1483.6	94.40	99.5	132.4	74.1	137.9
16/02/2014	1418.4	86.86	94.1	144.0	106.3	161.4
17/02/2014	1428.8	79.56	78.7	123.0	129.1	148.7
18/02/2014	1421.0	74.47	62.6	87.0	127.6	124.3
19/02/2014	1421.0	65.77	53.0	57.5	109.5	102.2
20/02/2014	1413.3	55.91	47.8	50.9	111.5	89.4
21/02/2014	1408.1	47.37	51.5	446.6	226.2	88.0
22/02/2014	1410.7	46.65	79.6	1341.2	472.8	90.7
23/02/2014	1405.5	137.38	116.5	1400.9	651.2	88.1
24/02/2014	1405.5	438.66	130.3	1131.8	630.2	78.4
25/02/2014	1410.7	468.44	120.8	867.9	542.6	66.0
26/02/2014	1410.7	394.74	105.9	678.7	457.7	55.8
27/02/2014	1413.3	319.66	99.9	540.6	384.4	50.6
28/02/2014	1431.4	256.52	99.0	406.6	321.3	49.1
01/03/2014	1462.6	208.04	97.6	279.2	266.6	47.0
02/03/2014	1483.6	169.88	102.9	186.9	226.7	42.1
03/03/2014	1512.6	158.79	108.4	175.0	203.1	35.6
04/03/2014	1528.5	175.15	102.1	217.9	186.7	29.2
05/03/2014	1552.4	191.52	89.2	214.4	167.1	23.4
06/03/2014	1579.3	188.53	77.8	166.4	145.2	18.2
07/03/2014	1600.8	164.93	68.3	122.7	126.7	13.9
08/03/2014	1611.6	131.16	59.5	95.1	112.5	10.2
09/03/2014	1627.9	99.45	56.4	71.3	99.7	7.3
10/03/2014	1649.7	86.68	60.1	56.8	94.0	5.1
11/03/2014	1693.6	106.83	66.0	188.2	108.2	3.6
12/03/2014	1760.2	140.02	75.4	413.1	135.6	2.6
13/03/2014	1822.1	179.91	82.7	456.1	149.9	1.8
14/03/2014	1861.9	222.76	77.9	389.1	145.5	1.8
15/03/2014	1907.7	220.44	65.9	330.0	133.3	7.4
16/03/2014	1942.4	192.64	54.9	257.3	116.4	21.3
17/03/2014	1959.8	158.94	49.1	179.1	96.0	57.4
18/03/2014	1986.0	126.49	60.3	118.8	79.5	105.7
19/03/2014	2015.3	120.84	99.5	78.8	71.8	157.6
20/03/2014	2027.0	176.68	150.0	75.0	73.2	194.8
21/03/2014	2083.2	247.09	182.7	111.1	89.6	197.4
22/03/2014	2125.0	247.76	179.0	131.3	151.4	172.6
23/03/2014	2176.1	218.81	149.9	111.9	231.0	139.3
24/03/2014	2224.6	186.52	113.0	79.0	260.3	108.5
25/03/2014	2255.1	147.72	82.7	52.1	236.2	83.5
26/03/2014	2285.7	111.12	60.0	33.8	191.5	64.2


Roger Moste Comas  
Ing. Civil  
R.P. 590133

Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Hoja 70

Fecha	Q Murtinho (m3/s)	Q Apá (m3/s)	Q Aquidabán(m3/s)	Q Ypané (m3/s)	Q Jejuí (m3/s)	Q Manduvirá (m3/s)
27/03/2014	2301.1	81.27	43.7	21.7	150.0	49.4
28/03/2014	2294.9	60.35	31.7	14.0	117.0	38.5
29/03/2014	2285.7	48.49	25.0	9.5	91.0	32.7
30/03/2014	2279.6	41.39	25.2	6.1	71.1	39.2
31/03/2014	2270.4	33.95	35.0	3.9	56.3	58.6
01/04/2014	2264.2	25.96	50.8	2.5	46.9	70.7
02/04/2014	2255.1	19.24	61.3	7.6	41.2	68.0
03/04/2014	2248.9	14.34	59.6	29.9	41.5	57.7
04/04/2014	2242.8	12.58	50.2	38.0	46.8	46.3
05/04/2014	2230.6	15.12	38.9	30.6	51.5	36.3
06/04/2014	2212.4	17.31	28.3	20.8	50.1	28.0
07/04/2014	2197.2	15.14	20.3	13.6	43.6	20.2
08/04/2014	2182.1	10.87	166.8	9.3	35.6	13.8
09/04/2014	2173.0	7.38	695.3	6.0	39.7	11.8
10/04/2014	2170.0	5.52	1102.1	11.0	100.5	21.7
11/04/2014	2179.1	5.22	1056.1	86.4	185.8	78.7
12/04/2014	2185.1	10.53	843.6	242.3	219.4	142.2
13/04/2014	2188.1	38.87	656.5	343.7	217.6	161.0
14/04/2014	2194.2	90.64	510.1	319.6	209.8	145.2
15/04/2014	2185.1	126.78	386.4	233.5	198.5	118.3
16/04/2014	2185.1	125.17	284.8	154.8	180.0	99.7
17/04/2014	2185.1	99.72	213.8	100.6	157.9	116.1
18/04/2014	2179.1	71.23	172.2	65.4	141.1	178.8
19/04/2014	2170.0	49.67	155.6	42.7	131.3	234.7
20/04/2014	2161.0	36.20	150.2	28.8	120.3	245.3
21/04/2014	2167.0	29.82	140.1	21.4	107.4	219.9
22/04/2014	2188.1	32.28	121.8	42.5	102.4	180.1
23/04/2014	2203.3	43.62	101.0	97.4	106.6	141.0
24/04/2014	2230.6	58.18	81.8	115.6	113.0	108.5
25/04/2014	2264.2	69.76	64.1	92.6	116.7	83.1
26/04/2014	2288.8	70.03	47.9	63.2	112.8	63.7
27/04/2014	2304.2	58.53	32.4	41.3	99.7	49.0
28/04/2014	2288.8	43.51	20.4	26.9	81.8	38.6
29/04/2014	2282.6	30.87	16.7	17.6	64.5	83.2
30/04/2014	2282.6	31.60	29.2	12.4	55.2	419.3
01/05/2014	2288.8	60.49	121.2	66.7	60.3	734.8
02/05/2014	2328.9	95.40	410.5	171.7	72.7	761.6
03/05/2014	2353.7	115.43	598.3	185.9	78.8	643.5
04/05/2014	2457.0	125.69	535.3	137.2	76.4	511.1
05/05/2014	2552.3	129.90	435.4	90.3	69.0	397.9
06/05/2014	2629.5	142.39	346.4	58.8	58.6	305.9
07/05/2014	2694.4	153.06	269.0	38.8	48.4	232.9
08/05/2014	2763.2	138.31	201.7	25.7	38.2	176.6
09/05/2014	2799.5	107.82	148.5	16.9	29.7	133.9

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

  
 Fbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

Fecha	Q Murtinho (m3/s)	Q Apá (m3/s)	Q Aquidabán(m3/s)	Q Ypané (m3/s)	Q Jejuí (m3/s)	Q Manduvirá (m3/s)
10/05/2014	2826.0	79.75	107.4	11.5	23.1	101.8
11/05/2014	2849.3	58.68	78.8	7.6	18.0	77.7
12/05/2014	2882.7	43.60	59.6	4.9	13.9	59.6
13/05/2014	2912.8	34.58	49.4	3.0	10.8	46.0
14/05/2014	2966.7	31.79	45.1	1.6	8.5	35.7
15/05/2014	3041.3	55.64	43.7	2.4	9.1	27.9
16/05/2014	3123.5	133.87	43.2	52.7	17.6	21.6
17/05/2014	3216.9	214.36	42.8	134.6	34.0	16.7
18/05/2014	3311.4	232.18	40.9	146.1	48.0	11.1
19/05/2014	3392.6	215.16	34.5	110.7	52.5	5.7
20/05/2014	3467.3	183.36	24.7	74.7	49.3	4.3
21/05/2014	3524.7	142.26	19.8	49.1	42.4	17.9
22/05/2014	3575.2	112.27	27.0	34.2	39.3	89.3
23/05/2014	3629.5	106.45	42.7	103.2	50.3	153.3
24/05/2014	3673.2	124.72	65.7	236.8	75.0	178.1
25/05/2014	3706.1	179.62	88.6	282.7	101.8	190.2
26/05/2014	3750.2	256.87	98.6	280.7	127.9	194.5
27/05/2014	3801.8	273.21	96.5	260.8	146.4	180.3
28/05/2014	3846.2	244.04	87.6	204.8	154.5	151.9
29/05/2014	3894.6	205.45	73.5	140.0	152.8	123.0
30/05/2014	3913.2	161.79	60.5	91.8	144.3	106.8
31/05/2014	3928.2	120.67	54.5	68.9	136.3	110.7
01/06/2014	3935.7	88.05	56.5	94.7	129.8	123.6
02/06/2014	3935.7	66.95	62.5	140.6	122.1	123.8
03/06/2014	3931.9	61.18	62.5	136.3	113.2	109.0
04/06/2014	3917.0	64.97	56.5	99.3	102.5	89.0
05/06/2014	3909.5	68.27	57.1	66.9	92.6	70.8
06/06/2014	3905.8	75.17	81.9	85.9	89.1	60.3
07/06/2014	3902.1	86.71	132.5	155.2	95.8	75.4
08/06/2014	3898.3	101.56	170.7	180.7	110.0	122.0
09/06/2014	3935.7	124.79	167.5	178.6	118.9	150.3
10/06/2014	3973.2	149.58	142.6	181.0	114.7	143.5
11/06/2014	4007.0	161.46	115.6	161.9	101.0	119.9
12/06/2014	4059.9	152.66	95.6	125.0	83.5	100.1
13/06/2014	4120.6	132.62	87.9	88.4	67.6	103.1
14/06/2014	4166.4	116.90	83.5	62.4	56.0	129.6
15/06/2014	4223.8	104.43	74.1	47.9	48.4	144.1
16/06/2014	4273.8	87.25	62.9	37.2	43.2	132.7
17/06/2014	4316.3	68.06	51.6	26.7	41.9	109.5
18/06/2014	4331.8	51.72	39.9	19.0	42.6	86.2
19/06/2014	4327.9	38.72	29.3	14.8	42.2	66.6
20/06/2014	4312.5	28.77	21.3	12.0	39.7	51.4
21/06/2014	4293.1	21.68	15.4	9.0	35.5	39.8
22/06/2014	4273.8	16.50	11.3	5.8	29.9	31.1

Roger Montealegre  
 Ing. Civil  
 R.P. 590123



Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector



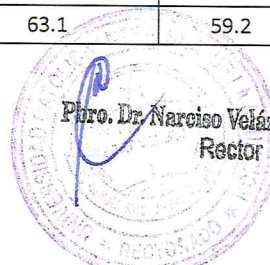
Fecha	Q Murtinho (m3/s)	Q Apá (m3/s)	Q Aquidabán(m3/s)	Q Ypané (m3/s)	Q Jejuí (m3/s)	Q Manduvirá (m3/s)
23/06/2014	4246.9	12.35	8.2	3.5	24.0	25.0
24/06/2014	4227.6	8.98	6.0	2.1	18.7	27.3
25/06/2014	4204.6	6.37	23.2	1.3	14.4	60.5
26/06/2014	4193.1	7.98	85.8	0.8	14.3	119.2
27/06/2014	4170.2	23.48	169.1	0.5	33.7	176.8
28/06/2014	4139.7	48.75	219.3	6.5	76.0	209.9
29/06/2014	4124.4	62.37	219.8	37.4	89.0	207.1
30/06/2014	4109.2	60.72	196.2	58.3	74.6	179.5
01/07/2014	4090.2	56.38	163.9	53.8	55.9	144.6
02/07/2014	4082.6	52.23	127.7	39.0	41.0	112.5
03/07/2014	4071.2	44.38	94.8	25.9	28.9	86.5
04/07/2014	4071.2	34.15	70.2	16.9	20.4	67.0
05/07/2014	4059.9	25.83	55.8	11.4	14.8	54.3
06/07/2014	4048.5	23.13	51.1	7.6	12.4	49.7
07/07/2014	4048.5	26.33	56.6	17.9	14.1	51.6
08/07/2014	4048.5	30.76	73.6	53.1	19.8	58.3
09/07/2014	4048.5	36.12	91.3	74.4	31.7	69.5
10/07/2014	4048.5	45.12	97.3	130.5	57.5	77.6
11/07/2014	4048.5	53.24	94.6	210.7	97.3	75.2
12/07/2014	4052.3	65.91	85.6	207.6	144.6	64.9
13/07/2014	4059.9	83.00	69.6	150.3	175.2	52.6
14/07/2014	4056.1	84.46	51.5	98.9	172.4	41.3
15/07/2014	4056.1	68.07	36.1	64.2	146.7	32.1
16/07/2014	4059.9	48.33	29.9	41.9	117.0	24.4
17/07/2014	4075.0	36.65	36.4	27.9	95.2	20.4
18/07/2014	4071.2	37.84	45.1	42.6	84.6	24.8
19/07/2014	4071.2	44.54	45.5	85.2	81.7	34.9
20/07/2014	4075.0	49.18	39.3	92.7	82.9	39.4
21/07/2014	4086.4	53.30	30.4	70.2	85.0	36.6
22/07/2014	4090.2	51.84	27.6	46.7	82.4	32.1
23/07/2014	4120.6	47.79	38.8	39.4	83.4	54.1
24/07/2014	4124.4	54.33	61.3	198.2	106.7	127.6
25/07/2014	4143.5	71.76	88.7	425.2	141.2	172.1
26/07/2014	4151.1	116.01	105.2	433.9	156.8	165.7
27/07/2014	4177.8	169.16	96.2	311.7	149.8	138.0
28/07/2014	4200.8	175.82	73.5	207.7	132.2	108.7
29/07/2014	4227.6	140.83	52.7	142.6	111.1	84.0
30/07/2014	4239.2	100.91	38.0	97.7	90.9	64.9
31/07/2014	4239.2	71.60	29.4	64.9	73.8	50.5
01/08/2014	4239.2	51.12	28.8	42.3	60.1	39.7
02/08/2014	4227.6	36.05	32.3	27.6	49.7	31.3
03/08/2014	4223.8	25.02	32.1	18.1	39.9	24.1
04/08/2014	4223.8	17.26	26.6	12.0	31.5	17.1
05/08/2014	4223.8	11.91	19.8	7.7	24.7	11.5

Roger Monte Domini  
Ing. Civil  
R.P. 580183

Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

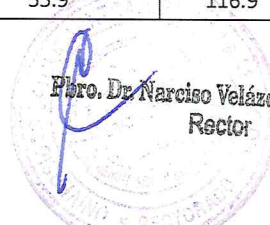
Fecha	Q Murtinho (m3/s)	Q Apá (m3/s)	Q Aquidabán(m3/s)	Q Ypané (m3/s)	Q Jejuí (m3/s)	Q Manduvirá (m3/s)
06/08/2014	4220.0	8.19	14.2	4.0	19.2	7.7
07/08/2014	4220.0	5.64	10.1	1.5	15.0	5.3
08/08/2014	4220.0	3.89	7.5	0.5	11.7	3.7
09/08/2014	4200.8	2.59	6.3	0.2	9.1	2.6
10/08/2014	4193.1	1.55	5.9	0.1	7.0	1.4
11/08/2014	4193.1	0.83	7.2	0.0	5.3	0.5
12/08/2014	4197.0	0.65	12.1	0.1	4.9	0.1
13/08/2014	4208.5	1.66	17.5	16.6	7.8	0.1
14/08/2014	4200.8	3.51	20.1	61.4	14.7	0.0
15/08/2014	4197.0	8.40	19.6	73.0	23.0	0.0
16/08/2014	4200.8	19.11	16.7	56.7	30.6	0.0
17/08/2014	4200.8	25.86	13.5	38.5	35.3	0.0
18/08/2014	4200.8	23.31	11.3	30.3	35.5	0.0
19/08/2014	4200.8	17.39	9.6	30.8	32.3	0.0
20/08/2014	4200.8	13.27	8.0	28.9	27.5	0.0
21/08/2014	4193.1	11.95	6.2	22.0	22.3	0.0
22/08/2014	4193.1	11.23	4.5	14.8	17.6	0.0
23/08/2014	4185.5	9.33	3.2	10.1	13.7	0.0
24/08/2014	4177.8	6.84	2.2	6.6	10.7	0.0
25/08/2014	4166.4	4.74	1.6	4.2	8.5	0.0
26/08/2014	4151.1	3.23	1.2	4.1	7.2	0.0
27/08/2014	4143.5	2.23	1.3	8.2	6.7	0.0
28/08/2014	4139.6	1.91	1.6	11.8	6.3	0.0
29/08/2014	4139.6	2.71	1.6	10.6	5.5	1.1
30/08/2014	4132.0	3.80	1.3	7.4	4.5	10.8
31/08/2014	4132.0	3.84	2.6	4.7	3.6	47.5
01/09/2014	4132.0	3.02	8.7	3.0	2.8	87.6
02/09/2014	4132.0	2.12	16.9	1.9	2.2	94.9
03/09/2014	4116.8	1.44	22.4	1.2	1.7	85.2
04/09/2014	4116.8	0.96	25.6	0.8	2.2	78.0
05/09/2014	4116.8	0.64	29.1	0.5	5.1	85.1
06/09/2014	4113.0	1.91	34.5	0.4	13.0	107.4
07/09/2014	4109.2	8.52	40.8	11.3	29.4	132.7
08/09/2014	4097.8	16.94	46.3	45.8	49.9	143.2
09/09/2014	4086.4	22.57	48.5	56.0	67.8	134.1
10/09/2014	4082.6	27.84	44.2	44.1	77.4	114.3
11/09/2014	4071.2	29.64	35.0	29.8	76.3	93.3
12/09/2014	4063.7	25.32	25.8	19.4	66.3	75.8
13/09/2014	4056.1	18.80	26.3	12.8	53.9	63.7
14/09/2014	4052.3	16.17	42.5	8.8	46.9	63.3
15/09/2014	4048.5	22.58	59.1	24.3	51.0	85.1
16/09/2014	4044.8	32.32	59.6	66.4	65.1	115.2
17/09/2014	4037.2	38.53	55.7	76.7	77.8	144.4
18/09/2014	4029.6	43.89	63.1	59.2	85.5	218.5

Roger Niente Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590103



Fecha	Q Murtinho (m3/s)	Q Apá (m3/s)	Q Aquidabán(m3/s)	Q Ypané (m3/s)	Q Jejuí (m3/s)	Q Manduvirá (m3/s)
19/09/2014	4033.4	44.68	75.8	42.6	94.9	334.2
20/09/2014	4014.6	38.07	87.0	96.5	121.5	392.8
21/09/2014	4010.8	31.09	98.7	201.1	216.4	369.9
22/09/2014	4010.8	40.42	101.5	212.1	387.5	323.8
23/09/2014	4003.3	65.77	89.9	156.7	505.5	306.0
24/09/2014	4003.3	75.77	73.4	107.0	502.9	329.4
25/09/2014	3995.7	63.57	63.9	100.0	450.0	374.7
26/09/2014	3995.7	50.99	66.8	133.8	414.0	410.3
27/09/2014	3995.7	57.12	80.5	328.2	427.2	410.6
28/09/2014	3995.7	83.50	100.5	574.8	454.8	373.1
29/09/2014	3995.7	138.39	111.3	578.5	442.2	321.0
30/09/2014	3995.7	198.68	100.1	422.4	386.6	281.4
01/10/2014	3995.7	207.27	77.7	276.3	317.0	254.2
02/10/2014	3995.7	167.87	60.3	177.9	255.7	224.7
03/10/2014	3984.4	119.35	50.4	114.5	208.5	188.5
04/10/2014	3961.9	81.52	41.7	74.1	170.8	151.8
05/10/2014	3950.7	55.52	32.0	48.2	138.1	129.9
06/10/2014	3943.2	37.78	24.4	31.8	111.2	147.5
07/10/2014	3920.7	25.74	20.7	34.4	93.4	196.6
08/10/2014	3905.8	18.02	22.7	55.1	82.3	217.2
09/10/2014	3890.9	15.84	26.9	58.5	73.3	196.9
10/10/2014	3883.4	19.30	26.6	43.6	64.9	160.9
11/10/2014	3857.4	21.68	21.7	28.4	56.8	125.8
12/10/2014	3842.5	18.75	15.7	18.3	48.2	96.7
13/10/2014	3831.4	13.48	11.0	13.6	38.2	74.0
14/10/2014	3809.2	8.98	8.2	13.1	29.5	56.7
15/10/2014	3794.4	6.27	6.4	12.7	23.0	43.5
16/10/2014	3772.3	5.18	4.9	10.3	17.9	33.5
17/10/2014	3761.2	4.77	3.6	7.1	13.7	25.5
18/10/2014	3739.1	4.06	2.9	4.6	10.3	18.0
19/10/2014	3728.1	3.06	3.4	3.3	10.6	12.7
20/10/2014	3709.8	2.19	7.9	77.8	22.5	11.1
21/10/2014	3680.5	2.64	18.8	223.2	47.3	12.1
22/10/2014	3669.6	21.37	29.7	257.9	71.9	13.3
23/10/2014	3669.6	62.44	32.1	199.8	82.1	12.8
24/10/2014	3662.3	83.65	27.2	134.7	81.4	10.4
25/10/2014	3618.6	74.43	20.9	98.8	73.9	7.4
26/10/2014	3600.5	55.34	16.4	85.5	64.1	5.0
27/10/2014	3582.4	41.03	13.3	70.2	54.0	3.5
28/10/2014	3571.6	33.48	10.2	50.4	44.6	2.6
29/10/2014	3535.5	27.95	8.6	40.5	36.8	3.1
30/10/2014	3513.9	26.74	10.4	43.0	34.5	13.8
31/10/2014	3496.0	40.03	23.1	72.2	42.6	83.1
01/11/2014	3478.1	67.15	55.9	116.9	63.4	192.9

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183



Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

Fecha	Q Murtinho (m3/s)	Q Apá (m3/s)	Q Aquidabán(m3/s)	Q Ypané (m3/s)	Q Jejuí (m3/s)	Q Manduvirá (m3/s)
02/11/2014	3463.8	102.17	113.4	124.3	88.1	275.9
03/11/2014	3445.9	129.99	179.1	103.4	113.0	314.0
04/11/2014	3417.4	129.03	212.7	76.9	130.1	323.1
05/11/2014	3389.0	106.75	191.2	53.2	134.0	323.9
06/11/2014	3360.7	81.39	149.6	35.7	127.3	375.6
07/11/2014	3357.2	66.20	121.6	28.3	120.7	546.6
08/11/2014	3321.9	69.41	118.4	93.6	155.9	727.2
09/11/2014	3297.3	81.08	132.4	201.6	273.1	750.9
10/11/2014	3283.3	96.41	148.5	209.7	393.1	706.9
11/11/2014	3290.3	137.93	157.8	162.7	435.5	704.5
12/11/2014	3262.3	244.60	164.9	241.1	432.6	712.0
13/11/2014	3234.4	366.58	176.9	396.4	417.9	650.9
14/11/2014	3216.9	428.65	181.3	390.7	388.1	541.2
15/11/2014	3196.1	413.91	160.7	279.5	340.1	427.5
16/11/2014	3182.2	347.34	122.9	182.0	280.7	330.0
17/11/2014	3164.9	263.70	88.6	117.8	221.1	252.8
18/11/2014	3144.2	197.34	63.5	76.5	169.9	194.6
19/11/2014	3099.5	143.89	45.7	49.8	129.8	152.4
20/11/2014	3096.0	109.07	32.4	32.3	100.5	124.8
21/11/2014	3106.3	114.71	23.8	23.1	85.4	110.7
22/11/2014	3116.6	192.24	23.9	141.7	94.0	104.9
23/11/2014	3116.6	282.55	37.8	334.0	117.9	97.1
24/11/2014	3113.2	314.04	54.6	348.6	132.0	87.7
25/11/2014	3130.4	316.39	58.2	260.3	134.2	92.0
26/11/2014	3140.7	286.81	56.3	277.1	145.5	119.3
27/11/2014	3140.7	241.57	69.4	431.1	172.4	141.8
28/11/2014	3127.0	220.76	91.5	500.4	194.2	139.1
29/11/2014	3113.2	233.25	97.2	427.1	193.9	119.8
30/11/2014	3096.0	231.20	83.0	319.7	173.6	96.6
01/12/2014	3075.5	200.65	63.1	224.8	144.8	76.1
02/12/2014	3044.7	156.17	45.9	151.7	116.6	60.4
03/12/2014	3014.1	115.04	32.4	102.7	92.6	49.4
04/12/2014	2976.8	82.42	22.9	69.0	73.6	41.7
05/12/2014	2949.8	58.46	15.9	44.8	58.8	35.5
06/12/2014	2912.8	41.45	10.7	28.8	48.1	29.8
07/12/2014	2852.6	29.16	8.3	18.7	38.6	24.0
08/12/2014	2816.1	20.42	9.3	13.1	32.2	18.0
09/12/2014	2769.8	14.80	12.6	37.2	31.5	14.5
10/12/2014	2723.8	12.29	16.4	93.4	35.8	15.8
11/12/2014	2687.9	17.81	18.4	106.0	39.6	20.7
12/12/2014	2655.4	32.55	16.6	82.5	42.3	26.3
13/12/2014	2616.5	40.35	13.5	72.6	50.8	28.4
14/12/2014	2581.1	36.03	12.3	82.7	66.7	26.4
15/12/2014	2533.1	30.97	12.0	78.0	73.6	21.8

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590143

Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

Fecha	Q Murtinho (m3/s)	Q Apá (m3/s)	Q Aquidabán(m3/s)	Q Ypané (m3/s)	Q Jejuí (m3/s)	Q Manduvirá (m3/s)
16/12/2014	2498.1	31.02	11.3	57.7	67.3	17.3
17/12/2014	2494.9	32.78	14.1	40.7	63.2	37.5
18/12/2014	2469.6	35.80	25.9	104.9	79.5	145.7
19/12/2014	2453.8	40.84	47.1	226.3	116.9	232.1
20/12/2014	2441.2	58.26	64.5	237.0	153.3	260.2
21/12/2014	2428.6	94.19	65.3	181.2	178.3	287.3
22/12/2014	2434.9	126.92	59.8	223.7	202.6	325.3
23/12/2014	2416.1	140.64	61.5	337.3	223.0	328.6
24/12/2014	2400.4	151.07	64.9	330.6	225.8	292.9
25/12/2014	2356.8	164.54	58.4	239.0	208.5	243.8
26/12/2014	2316.5	156.00	44.5	156.9	178.5	198.2
27/12/2014	2276.5	124.06	31.0	103.0	147.1	160.0
28/12/2014	2236.7	89.17	22.5	86.9	122.2	128.1
29/12/2014	2191.2	63.15	21.8	96.3	104.3	105.7
30/12/2014	2155.0	49.29	28.7	89.2	90.9	103.9
31/12/2014	2058.4	44.84	37.4	70.2	81.8	0.0


  
 Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira
   
 Rector


  
 Roger Monte Domínguez
   
 Ing. Civil
   
 R.P. 580183

### 3.7 Perfiles batimétricos utilizados en la geometría del cauce

Datos generados por la ANNP en el río Paraguay, utilizados para la elaboración del modelo.

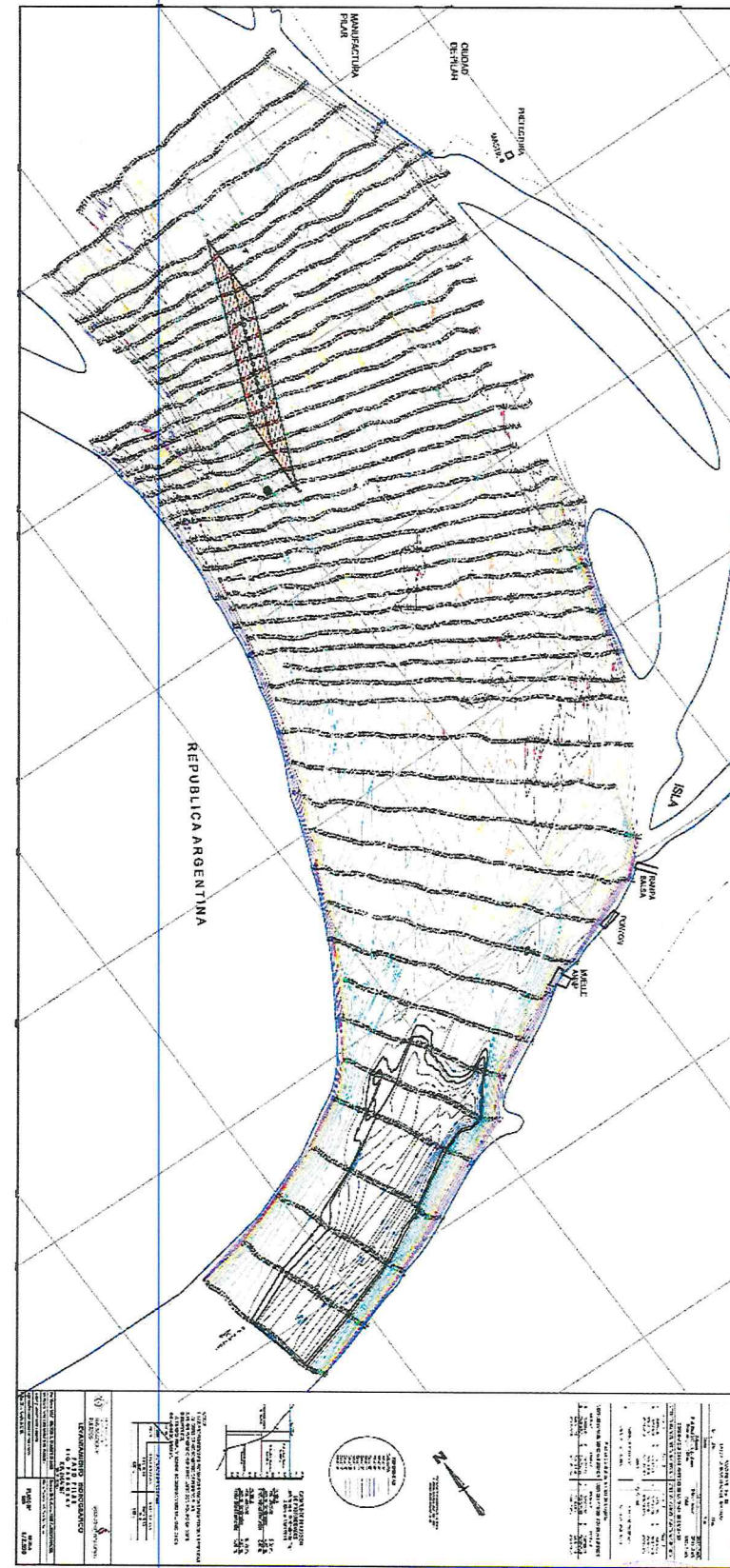


Figura 3.24 Paso Pilar. Fuente: ANNP

Roger Monte Domocil  
Ing. Civil  
R.P. 599103

Pro. Dr. Narciso Velázquez  
Rector

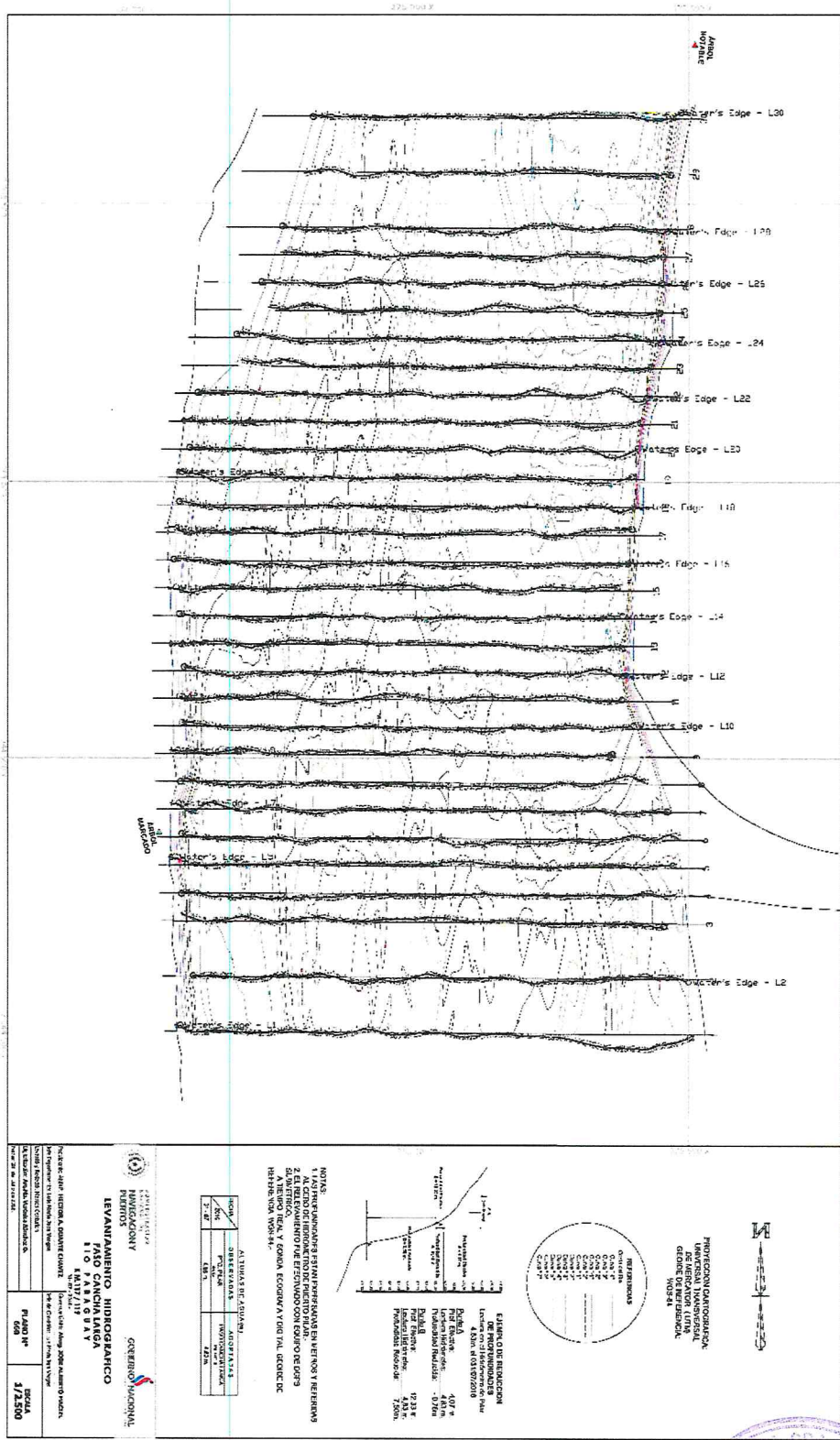


Figura 3.25 Paso Cancha Larga. Fuente: ANNP



Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

Roger Monte Jorjoo,  
 Ing. Civil  
 R.P. 580103

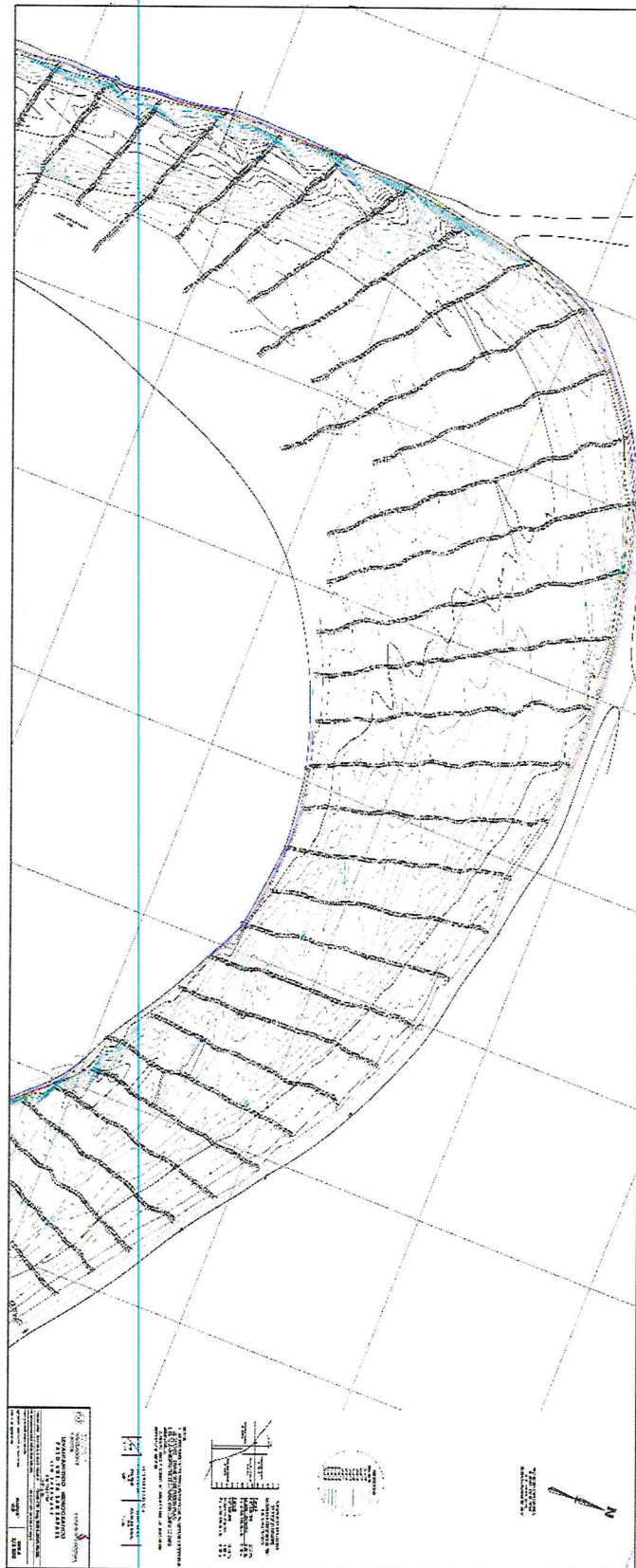


Figura 3.26 Paso Vuelta San Rafael. Fuente: ANNP

Roger Monte Dávila  
 Ing. Civil  
 R.P. 590103

Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector  
 Hoja 80





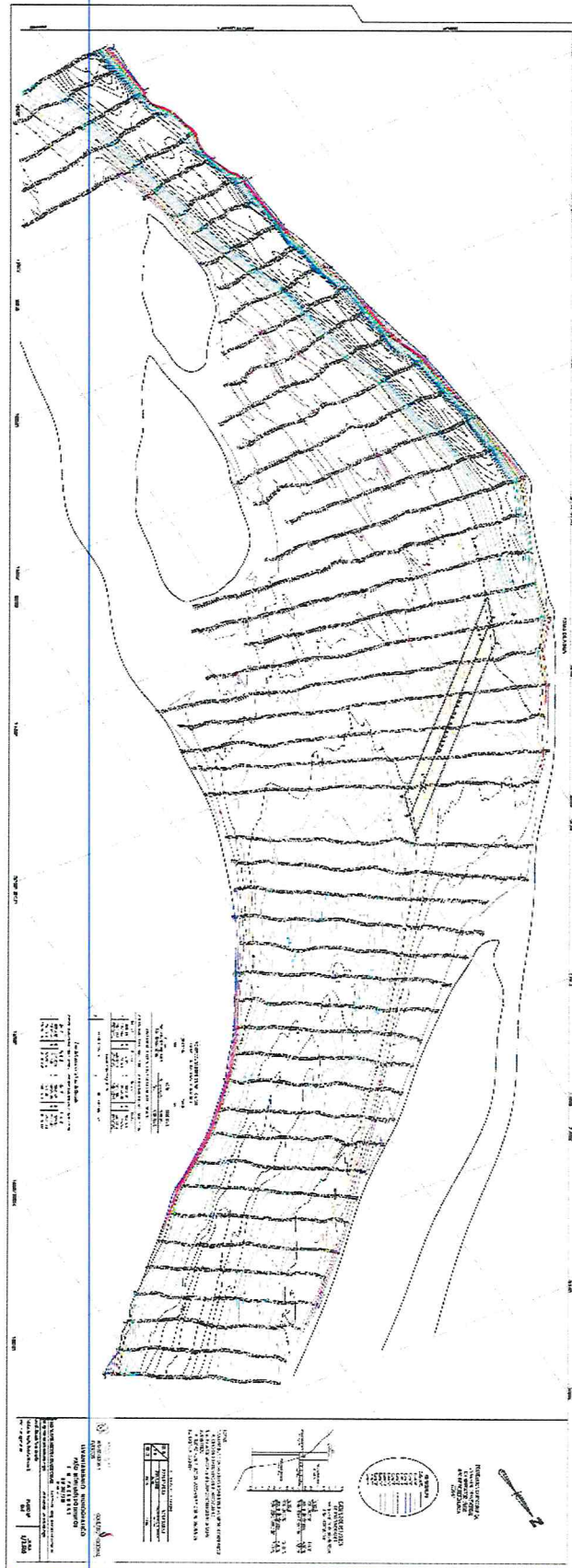


Figura 3.27 Paso Monte Agudo. Fuente: ANNP

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590103

Fbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector  
 Hoja 81

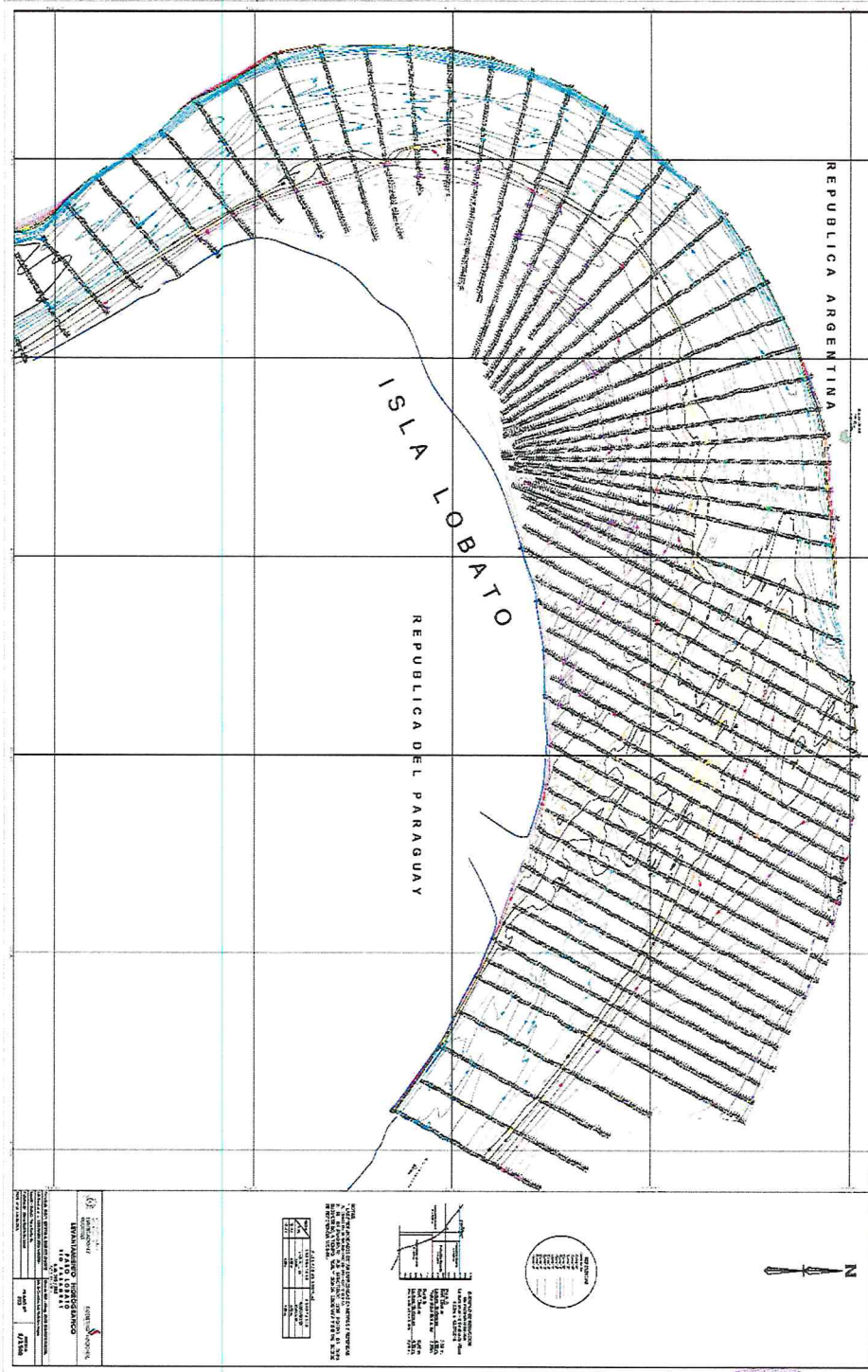
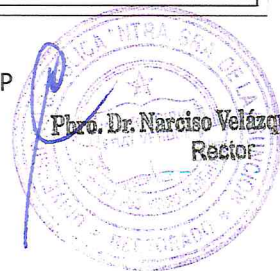


Figura 3.28 Paso Lobato. Fuente: ANNP



Roger Monte Domestico  
Ing. Civil  
R.P. 590133

## Anexo 4: Modelación Estocástica en el Río Paraguay

El producto 4.1 del PGT establece la implementación de un modelo estocástico y un modelo determinístico.

En los Modelos Estocásticos el algoritmo de cálculo incluye una o varias componentes probabilísticas. Con los Modelos Estocásticos se generan series futuras de lluvias, de niveles y caudales, de niveles de embalses, o de eventos extremos.

En este componente del informe de avance, se abordan los modelos estocásticos y particularmente el análisis del modelo o de los modelos que mejor se ajustan para aplicar en el río Paraguay.

### 4.1 Modelos Estocásticos

La hidrología estocástica aplica la teoría de los procesos estocásticos, que son parte de la ingeniería de sistemas, al estudio de los eventos hidrológicos.

Los eventos hidrológicos, tales como aguaceros, caudales, niveles de un río o embalse, etc. son **eventos estocásticos**. Se caracterizan porque, de un lado tienen un patrón medio de comportamiento a largo plazo, y por el otro el pronóstico de sus magnitudes en un momento dado tiene un mayor o menor grado de incertidumbre. El patrón medio corresponde a lo que se denomina la tendencia general o componente determinística y la **incertidumbre constituye la componente aleatoria del evento**.

Los proyectos que se diseñan hoy serán construidos y operarán en los próximos años. Por esta razón, cuando los estudios hidrológicos definen unos caudales de diseño para abastecer un acueducto, o para proteger una zona contra las inundaciones debe tenerse en cuenta que tanto la ocurrencia como las magnitudes de esos caudales son pronósticos hacia el futuro de eventos probables que están sujetos a un grado de incertidumbre.

$$\text{Caudal real} = \text{Caudal calculado} \pm \text{Incertidumbre}$$

La proyección hacia el futuro se basa en la combinación de la estadística y la teoría de la probabilidad. Con la estadística se realiza el **análisis de frecuencias de los eventos históricos y se definen los parámetros que determinan el patrón general de comportamiento**. Con estos parámetros y con la aplicación de la teoría de la probabilidad se hace el pronóstico de lo que puede esperarse en el futuro, dentro de cierto nivel de riesgo.

Uno de estos métodos, aplicados al río Paraguay, consiste en determinar la serie histórica de niveles hidrométricos en los puntos de control del río, y con base en ella generar N series estocásticas de **niveles virtuales**.

Las N series generadas tienen igual probabilidad de presentarse en el futuro, y una de ellas, no se sabe cuál, será probablemente parecida a la serie real futura. Las series estocásticas permiten, entonces, contar con un panorama de posibilidades (opciones) de lo que puede ocurrir con la fuente en el futuro. Este panorama será más amplio entre mayor sea el número N de series generadas.

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590783



Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Hoja 83

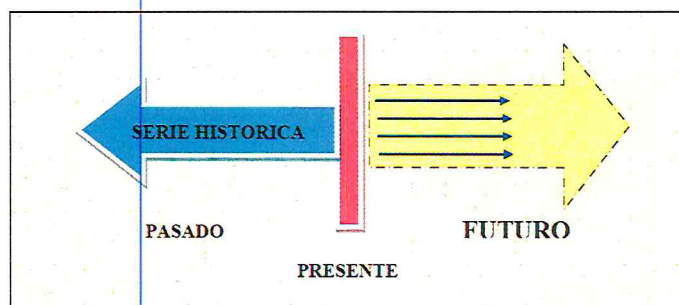


Figura 4.1: Procesos Estocásticos

Como se mencionó anteriormente, para generar las series estocásticas es necesario realizar primero un análisis estadístico de Frecuencias de la serie histórica. Si no existe serie histórica o si ésta es deficiente la Generación Estocástica no es aplicable. En el primer informe de avance ya se ha presentado los resultados del análisis estadístico de frecuencias, determinando caudales y niveles esperados en las diversas estaciones para diferentes periodos de retorno, trabajando con la serie histórica disponible.

Todos los fenómenos relacionados a la generación y distribución de la lluvia en nuestro planeta, y todas sus consecuencias directas como ser: el escurrimiento superficial por las cuencas, la infiltración a las porciones más profundas del suelo y de manera especial el caudal de los ríos -como lugar donde llegan las aguas dentro del ciclo hidrológico para finalmente ir a los océanos-, son procesos aleatorios, es decir que tienen un cierto nivel de incertidumbre o una probabilidad de que sean igualados o excedidos en un número de años, y por lo tanto están gobernados por leyes de la probabilidad. **A los procesos gobernados por probabilidades se les llama estocásticos.**

De manera que si como resultado de un proceso matemático que ha sido establecido siguiendo principios de la física clásica para explicar un fenómeno natural, se obtiene un valor numérico, este será y tiene carácter determinístico ya que ha seguido un proceso de ese tipo, pero se puede decir que es esencialmente estocástico, ya que el evento es de esa naturaleza.

La fuente por lo tanto es “la serie histórica”, y a partir de sus propiedades, se generarán las series probables en el futuro. La Figura 4.1 permite ilustrar el concepto.

#### 4.2 LAS SERIES TEMPORALES HIDROLÓGICAS Y SU NATURALEZA ESTOCÁSTICA: EL PRINCIPIO DE LA MODELACIÓN ESTOCÁSTICA:

Cualquier serie temporal de valores observados de variables hidrológicas (ver Figura 4.2) y que son de naturaleza estocástica - contiene los siguientes componentes:

- ✓ Una “tendencia” y, sumada a ella un componente “cíclico”; ambos son de carácter determinístico y no son independientes del tiempo a partir del cual la serie empieza, ni del tamaño de la misma.
- ✓ Un componente de carácter estocástico.

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

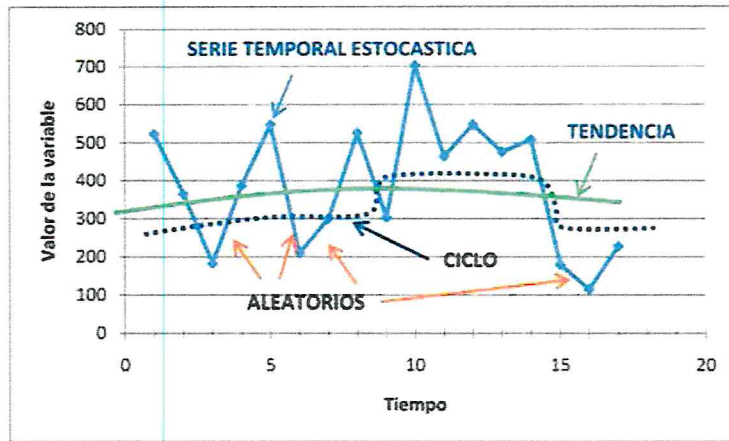


Figura 4.2: Ejemplo de serie hidrológica de tiempo

#### 4.2.1 LA GENERACIÓN ESTOCASTICA DE VARIABLES:

Una de las condiciones básicas para que se pueda utilizar con éxito un proceso de generación estocástica es que la serie de origen debe tener las siguientes características:

- ✓ Que la distribución temporal de origen siga una distribución normal.
- ✓ Que la respectiva distribución tenga por media cero y varianza uno.

Generalmente, cuando el intervalo de tiempo es anual o mensual, estos modelos producen buenos resultados y, a partir de los mismos se pueden desagregar a tiempos menores. Estos han sido utilizados para la generación de caudales anuales y mensuales.

Como se indicó anteriormente, si la distribución de origen tiene una distribución con media cero y varianza uno, se está hablando de un proceso Normal de media ( $\mu$ ) cero y varianza ( $\tau^2$ ) uno, que se denota por:

$$N(\mu; \tau^2) = N(0,1)$$

#### 4.2.2 MODELOS AUTOREGRESIVOS DE MEDIAS MÓVILES (ARMA):

Existen lo que se llaman modelos o procesos Auto regresivos, denotados por sus siglas en inglés (Auto Regressive) AR (p), o modelos “auto regresivos con retardo p”. Como su nombre lo indica, estos generan el presente o futuro en función de lo que ha ocurrido en el pasado; de ahí el nombre de “auto regresivos”. Por otro lado, el retardo, hace mención a las etapas necesarias para que se produzca la variación de un estado a otro.

Generalmente, los modelos AR (1), implican que el flujo en el periodo “i” es *regresado* a través del flujo en el periodo “i-1”. De manera análoga, un proceso de media móvil, es denotado por sus siglas en inglés (Moving Average) MA (q), o proceso de media móvil de orden “q”.

Uno de los modelos más sencillos es el que se utiliza para determinar valores en intervalos anuales, este tipo de modelos genera flujos anuales y toma la siguiente forma:

Roger Méndez Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

$$Q_i = \bar{Q} + \rho(Q_{i-1} - \bar{Q}) + t_i \sigma \sqrt{(1 - \rho^2)}$$

DONDE:

$t_i$  = es un valor aleatorio que proviene de una distribución apropiada con media cero y varianza uno (este debe seguir el proceso  $N(0,1)$ ), por lo que debe proceder de un proceso de generación de número aleatorio normalmente distribuido  $N(0,1)$ .

$\sigma$  = Es la desviación estándar o típica de  $Q$ .

$\rho$  = Es el coeficiente de auto correlación serial con retardo “k”.

$\bar{Q}$  = Media de  $Q$ .

#### 4.2.3 MODELO DE FLUJO ESTACIONALES:

Hay que tener en cuenta que el modelo de flujo presentado líneas arriba es estacionario en lo que al tiempo se refiere para cada etapa de cálculo, pero no es adecuado para intervalos de tiempo menores al anual.

De esa manera, se plantea un modelo de carácter “estacional”, haciendo mención a las características del flujo de mes a mes, o estación a estación (se refiere a estaciones referidas al clima), donde esta característica también debe ser representada en el modelo.

En este caso, la intención es generar caudales en periodos mensuales. A partir de este, se puede, como se dijo con anterioridad, desagregar en tiempo menores, sean semanales o diarios.

$$Q_{i,j} = \bar{Q}_j + \rho_j \frac{\sigma_j}{\sigma_{j-1}} (Q_{i-1,j-1} - \bar{Q}_{j-1}) + t_{i,j} \sigma_j \sqrt{(1 - \rho_j^2)}$$

DONDE:

$j$  = Se refiere a una estación o mes,  $j$  varía por lo tanto de 1 a 12 a largo del año, para el caso de intervalos mensuales.

$i$  = Se utiliza para designar el año, desde 1 hasta  $n$ .

$\rho_j$  = es el coeficiente de auto correlación serial entre las series de los meses  $Q_j$  y  $Q_{j-1}$ .

#### 4.3 GENERACION DEL MODELO ESTOCASTICO PARA EL RÍO PARAGUAY

Para implementar un modelo estocástico en el río Paraguay lo primero es sistematizar y verificar la calidad de las series históricas de las estaciones hidrométricas disponibles en este río. Ello ya se realizó con apoyo de un sistema informático desarrollado por uno de nuestros colaboradores en el proyecto.

Se utilizó como insumo, la base de datos verificada en el proyecto “Zonificación de áreas

Hoja 86

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183



inundables del río Paraguay”, concluido en el año 2000 por la Facultad de Ingeniería de la UNA. La actualización de estos datos hasta el presente, contó con fuentes de la Dirección de Meteorología e Hidrología de la DINAC, la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP) y la Armada de la República del Paraguay (ARP). Esta serie contempla datos desde 1905 hasta la fecha para el caso de Asunción.

Los procesos de control de calidad de los datos, consistieron fundamentalmente en la revisión de la integridad de los mismos, es decir, si estaban completas o no. Los datos faltantes, si corresponden a un día faltante, fueron completados utilizando el promedio del día posterior y anterior. Igualmente se realizó un control de los cambios registrados de un día a otro, tanto para ascensos como para descensos de nivel.

Los detalles de los controles se presentan en el apartado 4.4 de este Anexo.

Desde la década de los años ochenta, se utilizaban métodos de correlación lineal para estimar el comportamiento futuro del nivel del río Paraguay basado en un punto de control aguas arriba.

Estos métodos solo permiten tener una idea de translación lineal de la onda de crecida, por lo que, si se generan lluvias importantes en las cuencas intermedias, las mismas no son contempladas en la ecuación de regresión lineal y, por tanto, los resultados son alterados sustancialmente.

De Egea y Cazó (1998), realizaron una revisión de las series de datos hidrométricos del río Paraguay en los puertos de Bahía Negra, Fuerte Olimpo, La Victoria, Concepción, Pto. Antequera, Pto. Rosario, Asunción, Formosa (Argentina) y Pilar. Con ello plantearon un sistema de predicción basados en correlaciones lineales.

La correlación se realiza entre las alturas máximas anuales  $H$ , los correspondientes tiempos de traslados  $t$ , y los términos independientes  $m$  y  $b$  de las ecuaciones de base siendo  $H$  el factor común en este proceso.

En la figura 3 se pueden observar algunos resultados de este proceso.

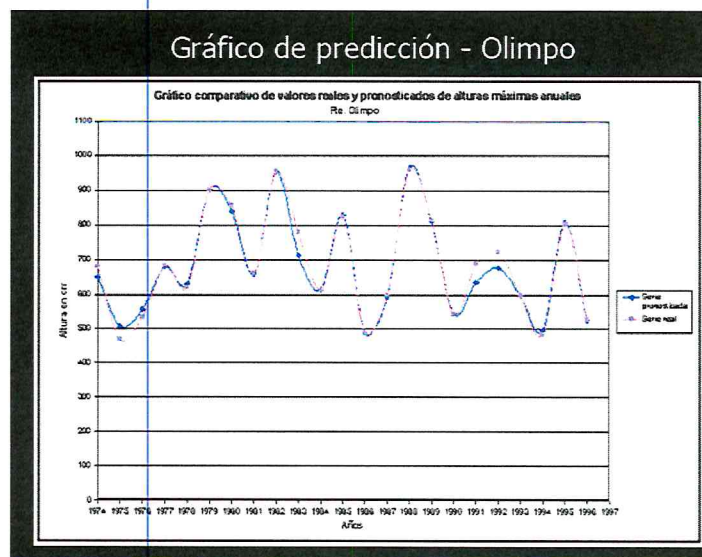


Figura 4.3: Ejemplo de resultado obtenido para predicciones estocásticas

Más recientemente, se ha implementado en la Dirección de Meteorología e Hidrología el

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

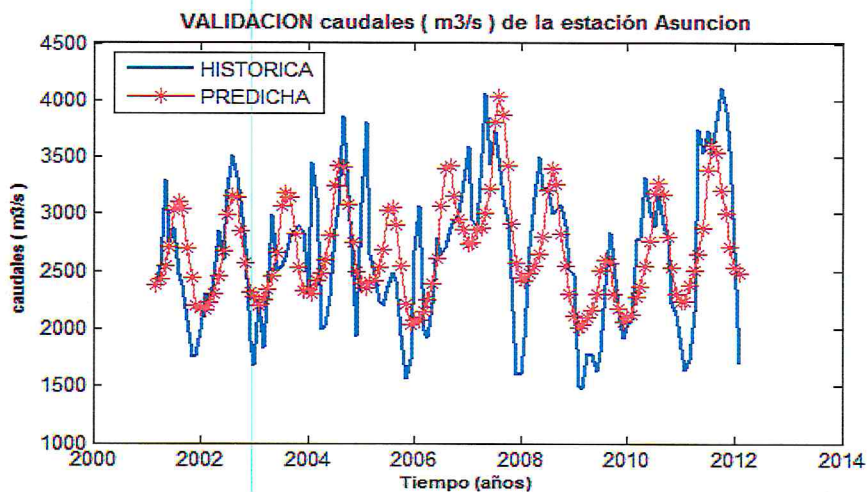
método planteado por Rojo (2011) que utiliza métodos no lineales para predicción de caudales en dos puntos de control, Concepción y Asunción.

Este modelo utiliza métodos espectrales y de regresión, produciendo un pronóstico de 1, 3, 6 y 12 meses. Se generan caudales mensuales medios para los horizontes de tiempo antes mencionados.

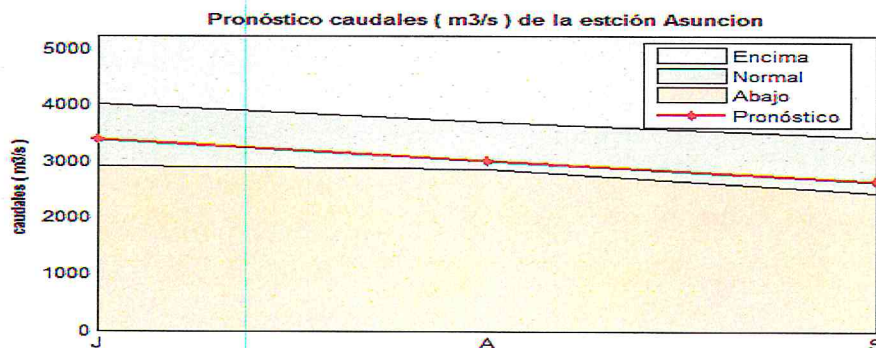
En la Fig. 4.4 (a y b) se muestran dos ejemplos de salida del método de Rojo (2011) de caudales medidos y estimados a nivel medio mensual.

Este método es uno de los propuestos para su implementación como modelo estocástico en el presente proyecto.

Para ello, además de los avances en el proyecto, se ha iniciado una tesis de grado con la estudiante Olga Orihuela de Ingeniería Ambiental, quien ahondará con las metodologías de modelos estocásticos aplicados a predicción de niveles del río Paraguay, especialmente en Asunción.



(a)

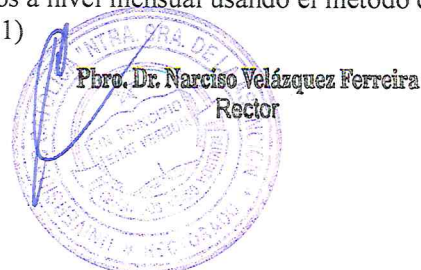


(b)

Figura 4.4: Pronóstico de caudales hidrométricos a nivel mensual usando el método de Rojo (2011)

Roger Monte [Firma]

Ing. Civil  
R.P. 590133





#### 4.4 Gráficos generados a partir de Sistema Informático de datos hidrométricos del Rio Paraguay

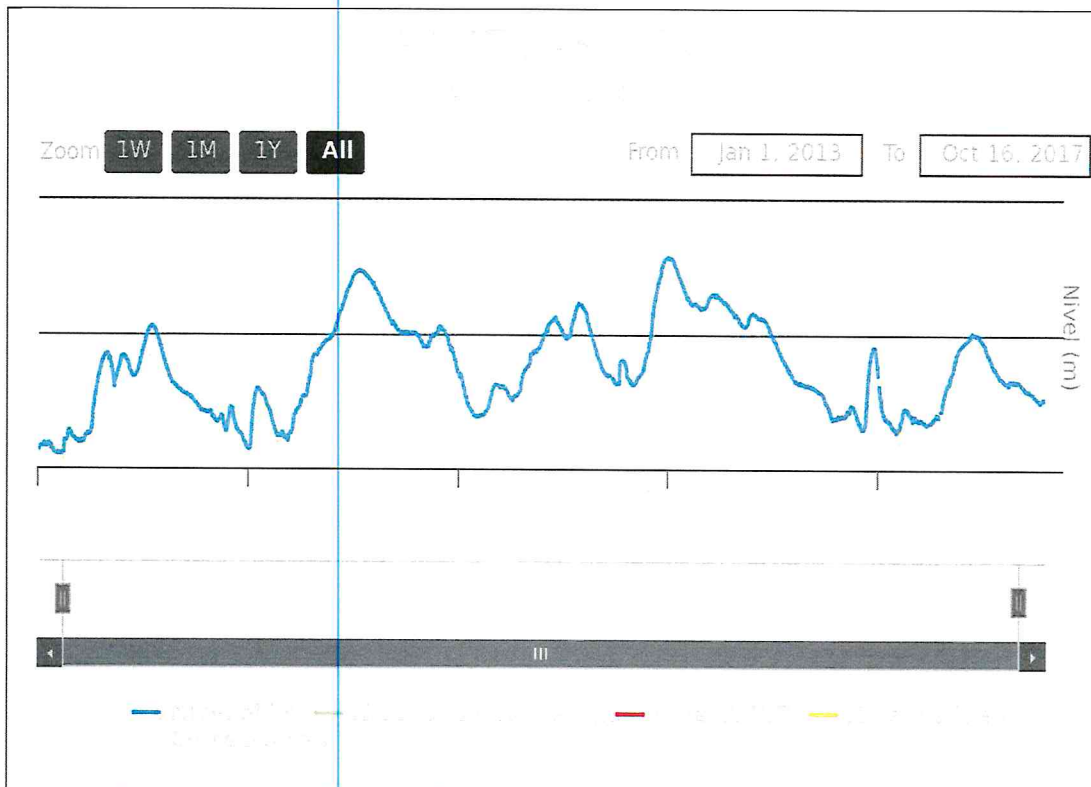


Fig. 4.5 Hidrograma de Niveles hidrométricos Estación ANNP de Asunción – 2013 a 2017

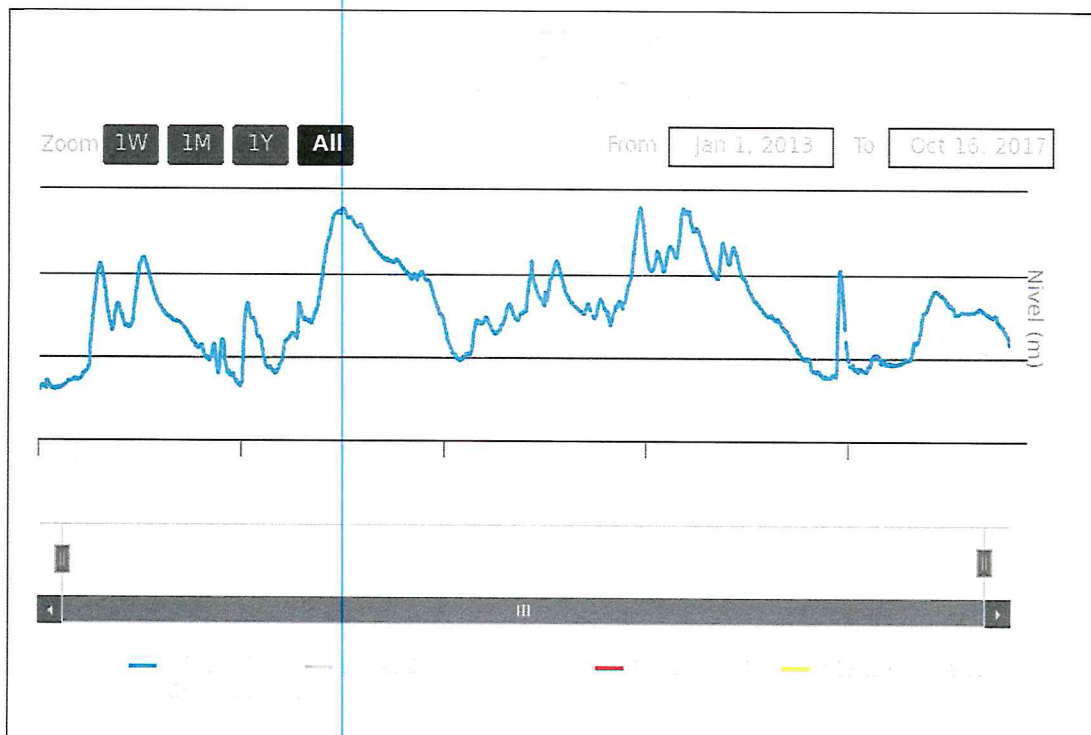
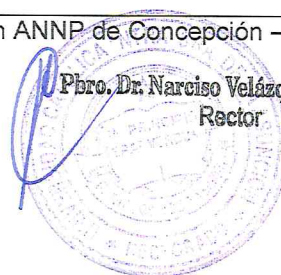


Fig. 4.6: Hidrograma de Niveles hidrométricos Estación ANNP de Concepción – 2013 a 2017

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183



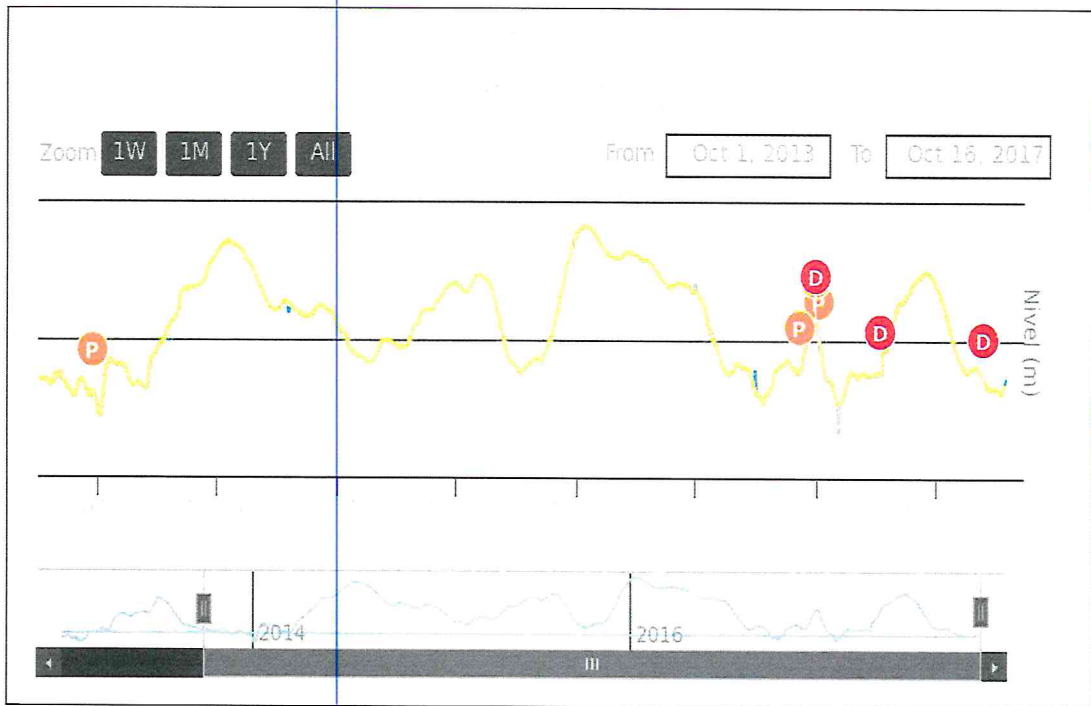


Fig. 4.7: Proceso de validación de datos hidrométricos Estación ANNP Pilar – 2013 a 2017

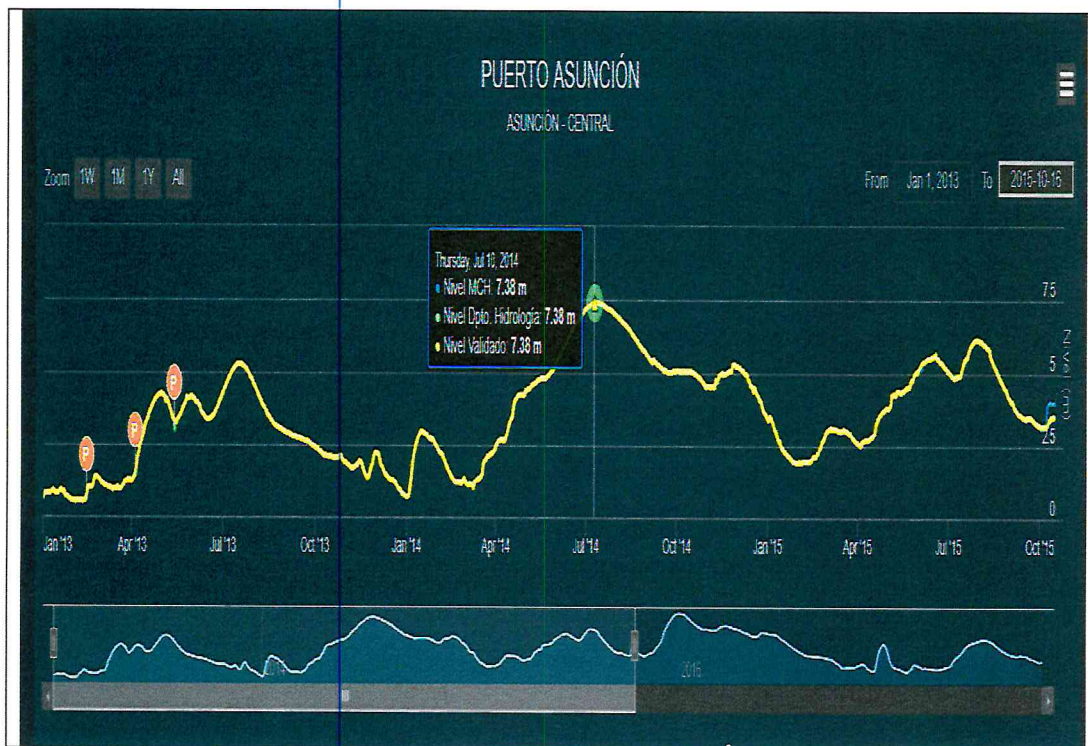


Fig. 4.8: Datos Hidrométricos validados Pto. Asuncion. Valor maximo 10/07/17: 7.38m

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

## Anexo 5: Sistematización de datos del proyecto

### 5.1 Organización de datos del estudio

A fin de contar al final del estudio con una completa base de datos del río Paraguay y su cuenca de aporte se ha organizado una base de datos específica DSS que se desarrolla para la plataforma de modelación HEC ( Hec Ras + Hec Hms).

La base de datos DSS ya descrita en los Anexos 2 y 3 de este 2do informe contiene registros de caudales y niveles hidrológicos del río Paraguay y de los ríos interiores que se generan con la modelación hidrológica. También se incluyen los parámetros hidrológicos requeridos para la modelación consistentes en datos topográficos, suelo, uso de suelo y datos de infiltración en las diferentes sub cuencas.

Para la modelación hidráulica se han procesado secciones transversales del río Paraguay a lo largo de su recorrido a partir de un conjunto de datos batimétricos, cartas náuticas de navegación y modelos digitales de elevación del terreno obtenidos a partir de bases de datos disponibles de la NASA e imágenes satelitales disponibles en línea en Internet.

El plan del proyecto consiste en organizar todos los datos para su disponibilidad en formato digital en la Universidad Católica de Asunción y parte de ellos en un Portal Web del proyecto, en Internet.

Con relación a los datos hidrométricos de la serie histórica de la ANNP ya se cuenta con una base de datos de todas las estaciones disponibles y que ya habían sido procesadas hasta el año 2000 en un proyecto de la UNA y posteriormente se ha completado los datos hasta el año 2017, los cuales están organizados para generar procesos estadísticos y ser utilizados en la Modelación Estocástica del estudio (Anexo 4). En el siguiente apartado se detalla los trabajos realizados y la generación de gráficos de series parciales de los últimos años.

### 5.2 Datos topográficos en el río Paraguay

A fin de configurar el cauce para el modelo se ha gestionado y obtenido información topográfica a fin de caracterizar la geomorfología del cauce:

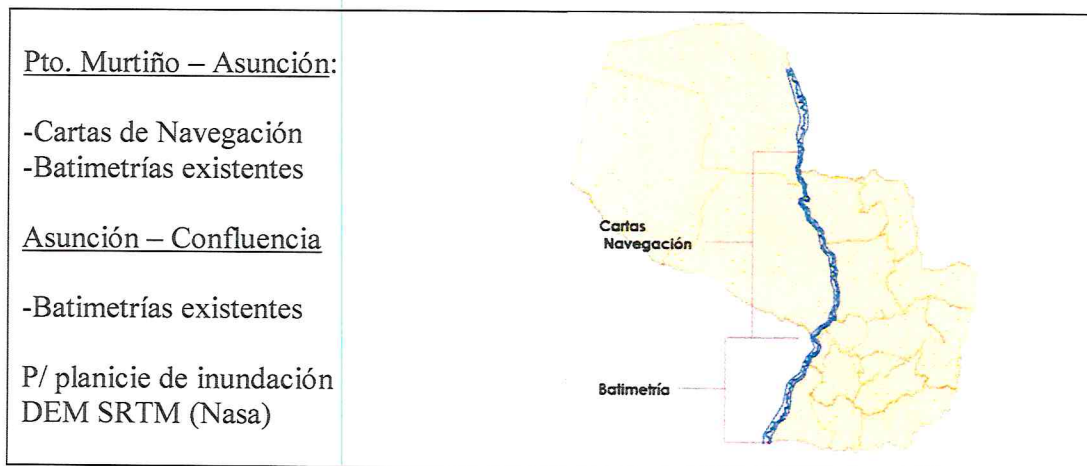


Fig. 5.1: Organización y sistematización de datos geomorfológicos del cauce río Paraguay

En las figuras 3.24 al 3.28 del Anexo 3 se presentan ejemplos de planos batimétricos obtenidos de la ANNP.

En la figura 5.2 al 5.xx se visualiza los datos obtenidos de las cartas de navegación de la Marina Brasileira, utilizados en el proyecto

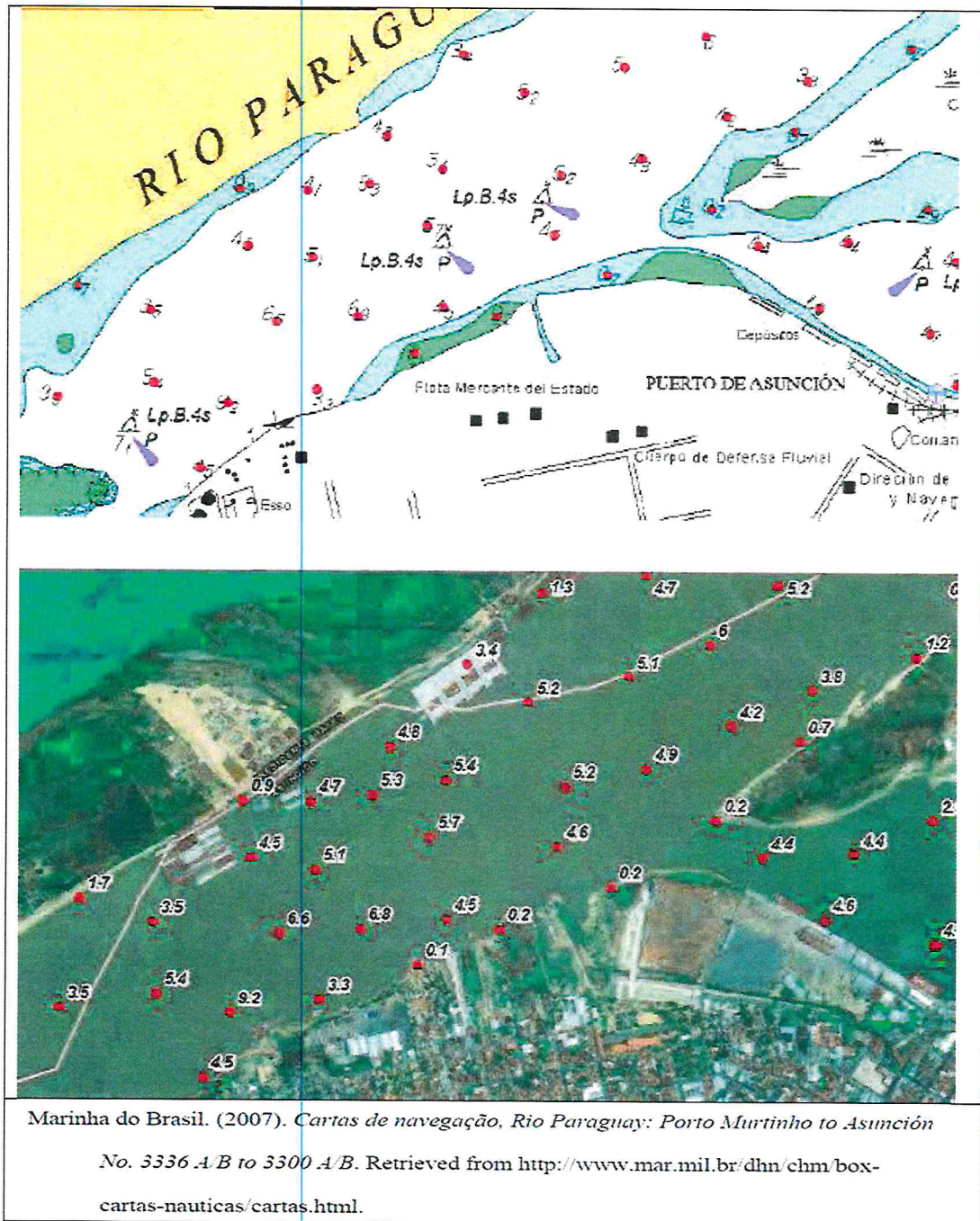


Fig. 5.2: Vista de la carta de navegacón zona Bahía de Asunción. Alturas en metros.

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Índice 18 (Parte 1) - Rio Paraguai - De Assunção ao Rio Apa

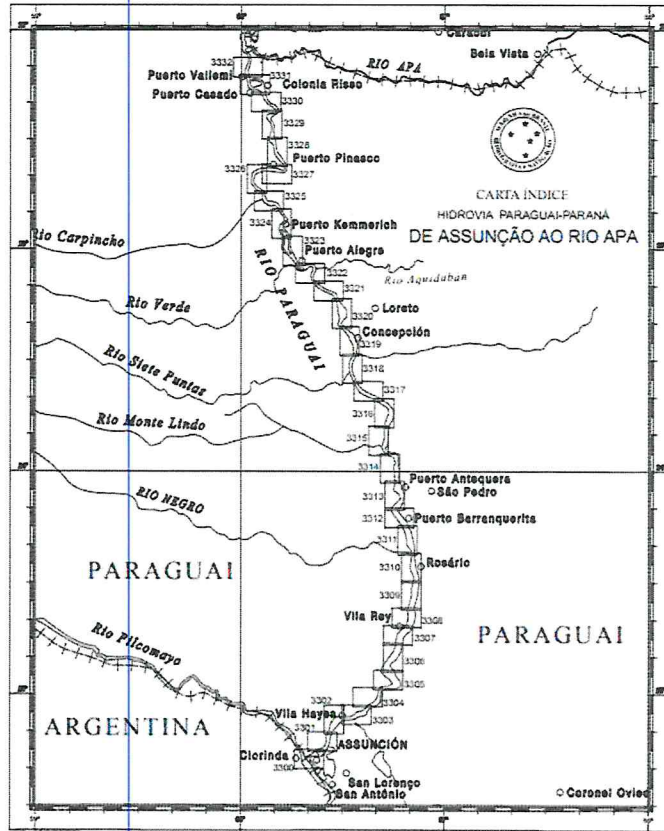
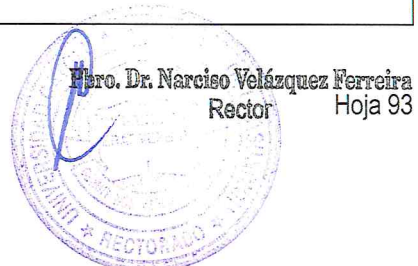


Fig. 5.3: cartas de navegação: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-publicacoes/publicacoes/catalogo/Catalogo-completo.pdf>

CARTA Nº CHART NR	TÍTULO TITLE	ESCALA SCALE	1ª ED. 1st ED.	ULT. ED. LAST ED.
3333	FUOZ DO RIO APA	1:25 000	2013	2013
3334	DO PORTO SASTRE A CANCHA ESTRELLA	1:25 000	2013	
3335	DO RIACHO GUACURULS A ILHA SANTA MARIA	1:25 000	2010	
3336	DA ILHA SANTA MARIA A PORTO MURTINHO	1:25 000	2011	
3337	DA ILHA MARGARITA A ILHA DO TIGRE OU DA ONÇA	1:25 000	2011	
3338	DA ILHA DO TIGRE OU DA ONÇA A ILHA FECHÓ DOS MORGES	1:25 000	2011	
3339	DA ILHA CAMBÁ NUPA A ILHA ROSÉ RIBA	1:25 000	2011	
3340	DO PORTO GUARANI A VOLTA DO JENTAPAN	1:25 000	2011	
3341	DA BALDA DA MUCURI AO PASSO OLIMPO	1:25 000	2011	
3342	DE FORTI OLIMPO AO PASSO CURUCU CANCHA	1:25 000	2011	
3343	DO PASSO CURUCU CANCHA A ILHA SPENILLO	1:25 000	2011	
3344	DA ILHA PARRARUÍ A ILHA DO ALGODOAL	1:75 000	2015	
3345	DA ILHA DO ALGODOAL A VOLTA RÁPIDA	1:25 000	2012	
3346	DA VOLTA RÁPIDA A ILHA DO CHAPEU	1:25 000	2012	
3347	DA ILHA PORTO NOVO A ILHA CAPÃO QUEIMADO	1:25 000	2012	
3348	DO PUERTO ESPERANZA A ILHA CABEÇA DE BOI	1:25 000	2012	
3349	DA ILHA MEPUTA A FOZ DO RIO NEGRO	1:25 000	2012	
3350	DA FOZ DO RIO NEGRO A ILHA PATATIVA	1:25 000	2012	
3351	DA ILHA SANTA FE AO PASSO REBOÇO GRANDE	1:25 000	2012	
3352	DO PASSO DO REBOÇO GRANDE A ILHA DO MERCADO	1:25 000	2012	
3353	DO ESTERÇO DE COIMBRA A ILHA PARATUDAL	1:25 000	2012	
3354	DO PASSO PILVAN INFERIOR A ILHA DOS BUGRES	1:25 000	2012	

Fig. 5.4: Catalogo de cartas rio Paraguai

Roger Mendes Tomazoni  
Eng. Civil  
R.P. 590183



RIO PARAGUAI						
Número	Título	Carta Raster	Data do Arquivo	Aviso	GeoTIFF	
Faça aqui sua pesquisa						
3300	DA ISLA BANCO MORALES A BAHIA DE ASUNCIÓN	+	16/08/2016	-	+	
3301	DO PUERTO BOTÁNICO A PUENTE REMANSO CASTILLO	+	16/08/2016	-	+	
3302	DO RIACHO SAN FRANCISCO (BOCA INFERIOR) A VILLA HAYES	+	14/03/2017	-	+	
3303	DE PIQUETE-CUÉ A VUELTA ARECUTACUÁ	+	16/08/2016	-	+	
3304	DA ISLA ARECUTACUÁ A ESTANCIA OLIVARES	+	14/03/2017	-	+	
3305	DA ESTANCIA OLIVARES AO PASO MERCEDES	+	14/03/2017	-	+	
3306	DO PASO MERCEDES AO PASO PALMA SOLA	+	14/03/2017	-	+	
3307	DA ISLA POYBI A ISLA URUGUAYÁ	+	31/01/2017	-	+	
3308	DO PASO VILLA REY AO PASO SAN JUAN	+	10/01/2011	-	+	
3309	DA ISLA PITO-CANY A ISLA OCULTO	+	15/02/2017	-	+	
3310	DA ISLA ESPERANZA A ISLA YSYPO-I	+	26/10/2016	-	+	
3311	DO PASO CABALLEROA ISLA YSYPO-I	+	31/01/2017	-	+	
3312	DA ISLA COMPARADA A PUERTO BARRANQUERITA	+	28/07/2009	-	+	
3313	DA ISLA COMPARADA A VUELTA GRANDE	+	28/07/2009	-	+	
3314	DA VUELTA GRANDE AO PASO CURUZU JUANITA	+	28/07/2009	-	+	
3315	DO PASO CURUZU JUANITA AO PASO SAN ANTONIO	+	28/07/2009	-	+	
3316	DA ISLA PEDERNAL AO PASO CAA-PUCU-MI	+	09/10/2013	-	+	
3317	DA ISLA DEL LOCO AO PASO SIETE PUNTAS	+	09/10/2013	-	+	
3318	DO PASO SIETE PUNTAS AO PASO MILAGRO	+	09/10/2013	-	+	
3319	DO RIO YPANÉ AO PASO SALADILLO	+	09/10/2013	-	+	
3320	DO PASO SIETE PUNTAS AO PASO MILAGRO	+	09/10/2013	-	+	
3321	DO PASO ROMERO-CUÉ A ISLA SAN ALFREDO	+	24/08/2010	-	+	
3322	DA ISLA SAN ALFREDO A ISLA SAN JUAN	+	24/08/2010	-	+	
3323	DO PUERTO SAN JUAN AO PUERTO LA NOVIA	+	24/08/2010	-	+	
3324	DO PUERTO LA NOVIA A ISLA SAN CARLOS	+	15/02/2017	-	+	
3325	DA ISLA SAN CARLOS A ISLA PIQUETE-CAMBÁ	+	09/10/2013	-	+	
3326	DA ISLA PIQUETE-CAMBÁ AO PASO ITÁ-PUCU-MI	+	09/10/2013	-	+	
3327	DO PASO ITÁ-PUCU-MI AO PUERTO MAX	+	09/10/2013	-	+	
3328	DA ISLA CAA-PUCU-MI A ISLA CARAYACITO	Em elaboração	-	-	+	
3328	DA ISLA CAA-PUCU-MI A ISLA CARAYACITO	Em elaboração	-	-	+	
3329	DE ITACUA AO PUERTO RISSO	+	09/10/2013	-	+	
3330	DO PUERTO RISSO A ISLA DALMACIA	+	09/10/2013	-	+	
3331	DA ISLA DALMACIA A ISLA SAN ROQUE	+	09/10/2013	-	+	
3332	PUERTO VALLEMI	+	09/10/2013	-	+	
3333	FOZ DO RIO APA	+	13/07/2016	2014-II67	+	
3334	DO PORTO SASTRE A CANCHA ESTRELA	+	13/07/2016	2014-II02	+	
3335	DO RIACHO GUAICURUS A ILHA SANTA MARIA	+	13/07/2016	2014-II03	+	
3336	DA ILHA SANTA MARIA A PORTO MURTINHO	+	14/07/2016	2016-II08	+	
3337	DA IL MARGARITA A IL DO TIGRE OU ONÇA	+	14/07/2016	2015-II03	+	
3338	DA ILHA DO TIGRE OU ONÇA A ILFECHO DOS MORROS	+	14/07/2016	2014-II06	+	
3339	DA ILHA CAMBÁ NUPÁ A ILHA JOSÉ KIRÁ	+	04/01/2013	2012-II03	+	
3340	DO PORTO GUARANI A VOLTA JENIPAPO	+	14/07/2016	2014-II65	+	
3341	DA BAIJA DA SUCURI AO PASSO OLIMPO	+	17/11/2016	2016-II17	+	
3342	DE FORTE OLIMPO AO PASSO CURUÇU CANCHA	+	17/11/2016	2016-II17	+	
3343	DO PASSO CURUÇU CANCHA A ILHA SPENILLO	+	19/12/2013	2013-23	+	
3344	DA ILHA DO RABO DA EMA A ILHA DO ALGODOAL	+	03/08/2016	2014-II09	+	
3345	DA ILHA DO ALGODOAL A VOLTA RÁPIDA	+	03/08/2016	2014-II10	+	
3346	DA VOLTA RÁPIDA A ILHA DO CHAPEU	+	04/01/2013	-	+	
3347	DA ILHA PORTO NOVO A ILHA CAPÃO QUEIMADO	+	04/01/2013	-	+	
3348	DO PUERTO ESPERANZA A ILHA CABECA DE BOI	+	19/12/2013	-	+	
3349	DA ILHA SEPUTÁ A FOZ DO RIO NEGRO	+	04/01/2013	-	+	
3350	DA FOZ DO RIO NEGRO A ISLA PATATIVA	+	04/01/2013	-	+	
3351	DA ILHA SANTA FÉ AO PASSO REBOJO GRANDE	+	19/12/2013	-	+	
3352	DO PASSO DO REBOJO GRANDE A ILHA DO MARCO	+	08/08/2016	2016-II15	+	
3353	DO ESTIRÃO DE COIMBRA A ILHA PARATUDAL	+	08/08/2016	2014-II11	+	
3354	DO PASSO PIUVA INFERIOR A ILHA DOS BUGRES	+	08/08/2016	2014-II66	+	
3355	DA ILHA DOS BUGRES A ILHA NABILÉQUE	+	04/01/2013	-	+	
3356	DO PASSO DO CONSELHO A VOLTA DO ACURIZAL	+	04/01/2013	-	+	
3357	DA VOLTA DO ACURIZAL AO RIACHO DO ABRIGO	+	08/08/2016	2014-II12	+	
3358	DA ORÇADA DE SÃO JOSÉ A ILHA CARAGUATÁ	+	10/04/2017	2017-01	+	
3359	DA ILHA CARAGUATÁ A ILHA CAMBARÁ FERRADO	+	04/01/2013	-	+	
3360	DO ESTIRÃO CAMBARÁ FERRADO AO PASSO ABOBRAL	Em elaboração	-	-	+	
3361	DA ILHA DA MANGA A ILHA TIRA CATINGA	+	09/08/2016	2016-II16	+	
3362	DA ILHA TIRA CATINGA A VOLTA BARROS	+	09/08/2016	2014-II15	+	

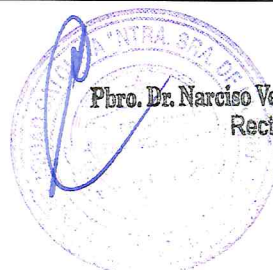
Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Roger Monte Domocaj  
Ing. Civil  
R.P. 520183

3362	DA ILHA TIRA CATINGA A VOLTA BARROS	🕒	09/08/2016	2014-HI15	🕒
3363	DA VOLTA BARROS AO PASSO DE SANTANA OU JATOBÁ	🕒	10/08/2016	2014-HI16	🕒
3364	DA VOLTA DO JATOBÁ AO PORTO ARROZAL	🕒	10/08/2016	2014-HI17	🕒
3365	DO PORTO TARUMÁ A CORUMBÁ	🕒	27/10/2015	-	🕒
3366	DE CORUMBÁ AO ESTIRÃO DA ÁGUA BRANCA	🕒	15/08/2016	-	🕒
3367	DA VOLTA BARROS AO PASSO DE SANTANA OU JATOBÁ	🕒	27/10/2015	-	🕒
3368	DO PASSO DO PESCADOR A ILHA PASSARINHO PRETO	🕒	01/10/2016	2013-05	🕒
3369	DA CANCHA DO TULIUU A CANCHA DO PIUVAL	🕒	30/09/2016	2013-06	🕒
3370	DA VOLTA MORCEGUEIRO AO PASSO DA FAIA	🕒	27/10/2015	-	🕒
3371	DO PASSO DA FAIA A VOLTA GRANDE	🕒	27/10/2015	-	🕒
3372	DA VOLTA GRANDE A ILHA ESTREITA OU PIMENTEIRA	🕒	30/09/2016	2013-09	🕒
3373	DA VOLTA DA SARACURA AO ESTIRÃO DOMINGOS RAMOS	🕒	30/09/2016	2013-10	🕒
3374	DO PASSO DOMINGOS RAMOS INFERIOR AO PASSO DOMINGOS RAMOS SUPERIOR	🕒	27/10/2015	-	🕒
3375	DA VOLTA DO CARANDAZINHO A VOLTA DO CURURU	🕒	27/10/2015	-	🕒
3376	DA BOCA DO CURURU A ILHA DO CASTELO	🕒	30/09/2016	2013-13	🕒
3377	DA BAÍA DO CASTELO AO JATOBÁZINHO	🕒	24/08/2016	2013-14	🕒
3378	DO PASSO DO TUCANO A ORÇADA LARANJEIRA	🕒	24/08/2016	2013-15	🕒
3379	DA ORÇADA LARANJEIRA A ILHA LARANJEIRA	🕒	25/08/2016	2013-16	🕒
3380	DA VOLTA DA BAÍA VERMELHA A ILHA VERDE	🕒	25/08/2016	2013-17	🕒
3381	DA ILHA VERDE AO PASSO PARAGUAI MIRIM	🕒	25/08/2016	2013-18	🕒
3382	DO PASSO PARAGUAI MIRIM A ILHA BAGUARI	🕒	30/08/2016	2013-17	🕒
3383	DO PASSO BAGUARI AO CORICHO SÃO FRANCISCO	🕒	30/08/2016	2013-20	🕒
3384	JUSANTE E MONTANTE DO BRAÇO ANTIGO	🕒	30/08/2016	2013-21	🕒
3385	DA ILHA DO COQUEIRO A ILHA SANTA FE	🕒	30/08/2016	2013-22	🕒
3386	CORREGO BONFIM (JUSANTE E MONTANTE)	🕒	30/08/2016	2013-29	🕒
3387	DA CANCHA RUFINO AO PASSO RUFINO	🕒	30/08/2016	2010-30	🕒
3388	DA ILHA DA FIGUEIRA AO RIO BOCA DO JOÃO	🕒	30/08/2016	2013-31	🕒
3389	JUSANTE DA ILHA PIUVA AO PASSO PIUVA SUPERIOR	🕒	30/08/2016	2013-32	🕒
3390	DO MORRO DOURADOS A BOCA DO AMOLAR	🕒	31/08/2016	2013-33	🕒
3391	DO AMOLAR A BOCA SÃO GONÇALO	🕒	31/08/2016	2013-34	🕒
3392	DA BOCA SÃO GONÇALO AO ESTIRÃO ZÉ DIAS	🕒	01/09/2016	2014-54	🕒
3393	DO ESTIRÃO ZÉ DIAS A BOCA INFERIOR DO CORIXO DO MOQUEM	🕒	01/09/2016	2013-36	🕒
3394	DA FOZ DO RIO CULÁBA AO REFÚGIO DAS TRÊS BOCAS	🕒	01/09/2016	2013-37	🕒
3395	DO CORIXO DO MOQUEM A BAÍA DO ACURIZAL	🕒	02/09/2016	2014-19	🕒
3396	DA ILHA ACLRIZAL A BOCA DA FIGUEIRA	🕒	01/09/2016	2014-20	🕒
3397	DO ESTIRÃO DO CARANDÁ GRANDE A VOLTA DO ARGOLÃO	🕒	01/09/2016	2014-21	🕒
3398	DA VOLTA DO ARGOLÃO A VOLTA CANAFÍSTOLA	🕒	31/08/2016	2014-22	🕒
3399	LAGOA GAÍVA DA BOCA DO CARANDÁ A BOCA BRAVA	🕒	02/09/2016	2014-23	🕒
3400	LAGOA GAÍVA VOLTA DO CACHORRO E VOLTA DO GATA	🕒	31/08/2016	2014-24	🕒
3401	DE BELA VISTA DO NORTE AO ESTIRÃO DOM PEDRO II	🕒	29/08/2016	2014-25	🕒
3402	DA BOCA DA ANTA A VOLTA DA PRAINHA INFERIOR	🕒	11/04/2012	-	🕒
3403	VOLTA DO ESTALEIRO E VOLTA DO TARUMEIRO	🕒	22/10/2011	-	🕒
3404	RIO CARÁ-CARAZINHO E BOCA DO FADIL	🕒	29/08/2016	2014-26	🕒
3405	DA VOLTA DA FIGUEIRA PRETA AO PORTO MACACO	🕒	22/10/2011	-	🕒
3406	DO ESTIRÃO INFERIOR DA BOCA DO CARÁ-CARÁ A VOLTA IGUAL INFERIOR	🕒	11/04/2012	-	🕒
3407	DA VOLTA IGUAL SUPERIOR AO ESTIRÃO SUPERIOR DA BOCA DO CARÁ-CARÁ	🕒	26/08/2016	2014-27	🕒
3408	DO ESTIRÃO SUPERIOR DA BOCA DO CARÁ-CARÁ A CANCHA DO RONCADOR	🕒	22/10/2011	-	🕒
3409	ESTIRÃO DO RONCADOR (JUSANTE E MONTANTE)	🕒	22/10/2011	-	🕒
3410	ESTIRÃO CAPITÃO FERNANDES E PASSO CAPITÃO FERNANDES	🕒	26/08/2016	2014-28	🕒
3411	DO PIQUITITO OU GRAMACHO A CANCHA DO JATOBEIRÃO	🕒	22/10/2011	-	🕒
3412	DO JATOBEIRÃO AO MACHADINHO	🕒	22/10/2011	-	🕒
3413	TAPERA DO PAPAGAIO (JUSANTE E MONTANTE)	🕒	10/08/2012	-	🕒
3414	DO PORTO CONCEIÇÃO AO RIO CASSANGE	🕒	10/08/2012	-	🕒
3415	VOLTA DA PRAINHA SUPERIOR (JUSANTE E MONTANTE)	🕒	26/08/2016	2014-29	🕒
3416	DA BOCA INFERIOR DA BAÍA BRANCA AO ATERRO DO CARAMUJO	🕒	10/08/2012	-	🕒
3417	ILHA GAMELA E FOZ DO RIO SARARÉ	🕒	26/08/2016	2014-30	🕒
3418	DA VOLTA DO SEMA AO ESTIRÃO DO SAPIQUÁ	🕒	26/08/2016	2015-07	🕒
3419	DO ESTIRÃO DO SAPIQUÁ AO ESTIRÃO DA TAQUAREIRA	🕒	26/08/2016	2014-32	🕒
3420	DO ESTIRÃO DA TAQUAREIRA A VOLTA DO BUGIO	🕒	26/08/2016	2014-33	🕒

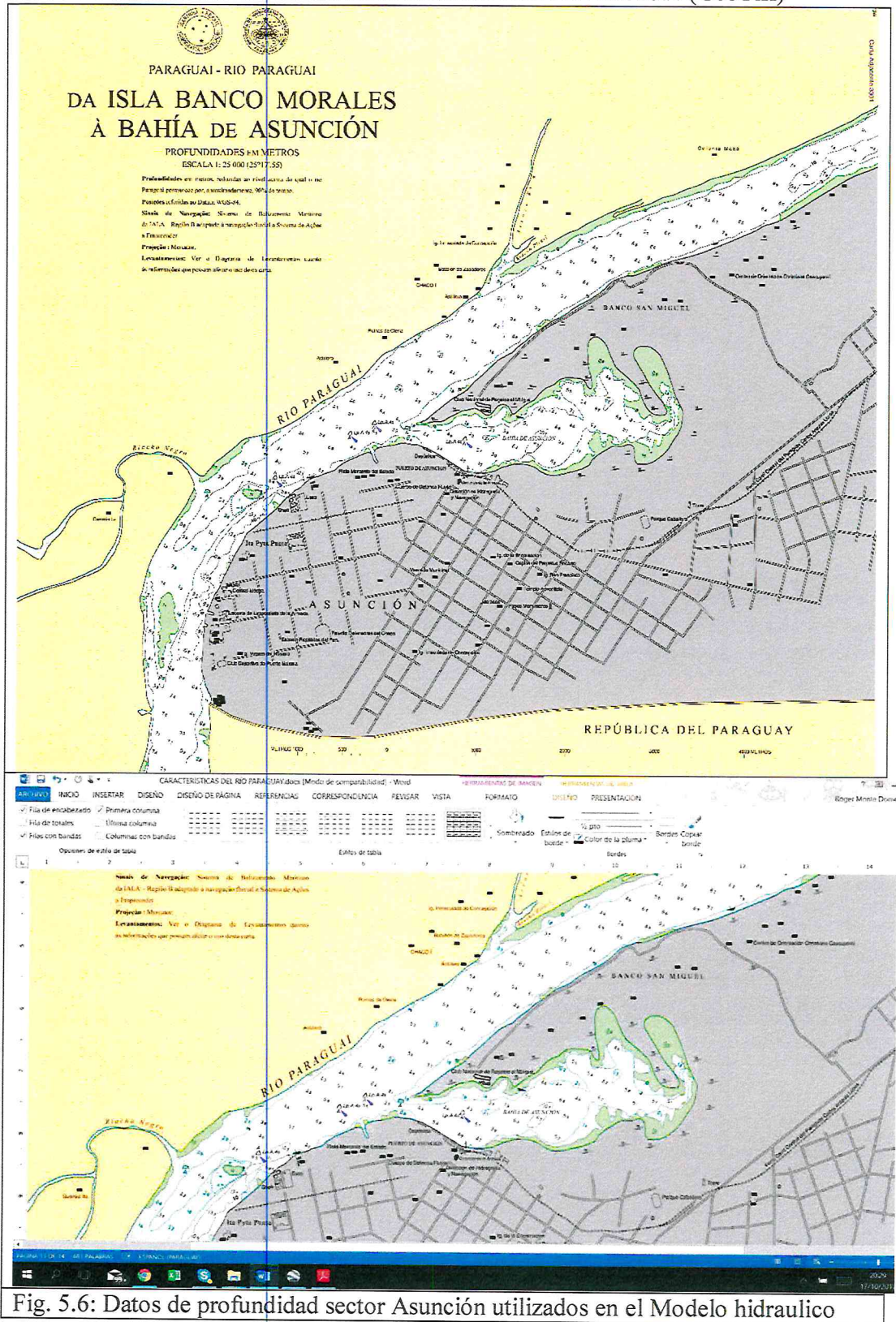
Fig. 5.5 [http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster\\_disponiveis.html](http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html)

Roger Monte Dom...  
Eng. Civil  
R.P. 590182



Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

Ejemplo :  
 3300 DA ISLA BANCO MORALES À BAHÍA DE ASUNCIÓN (GeoTiff)



Roger Monte Domboi  
 Ing. Civil  
 P.P. 508183

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

Hoja 96



### 5.3 SISTEMATIZACION DE DATOS HIDROMETRICOS

Se han identificado la red de estaciones hidrométricas disponibles a lo largo del río Paraguay, en territorio paraguayo, así como el estudio de las series de datos disponibles. Existen 25 estaciones en territorio paraguayo, en las cuales se puede observar que 9 de ellas cumplen con las condiciones básicas para ser usadas en el proyecto: cota del cero hidrométrico referido a coordenadas absolutas y serie de datos mayores a 20 años.

Las cotas de los ceros de las estaciones hidrométricas existentes a lo largo del Río Paraguay, en el trecho del proyecto, no están referidas altimétricamente a un mismo origen. Dada la importancia que tienen estos valores para el Proyecto y no siendo posible realizar un trabajo de amarre dentro del presente estudio, se ha visto la necesidad de analizar y complementar toda la información existente en varios trabajos con relación a este aspecto.

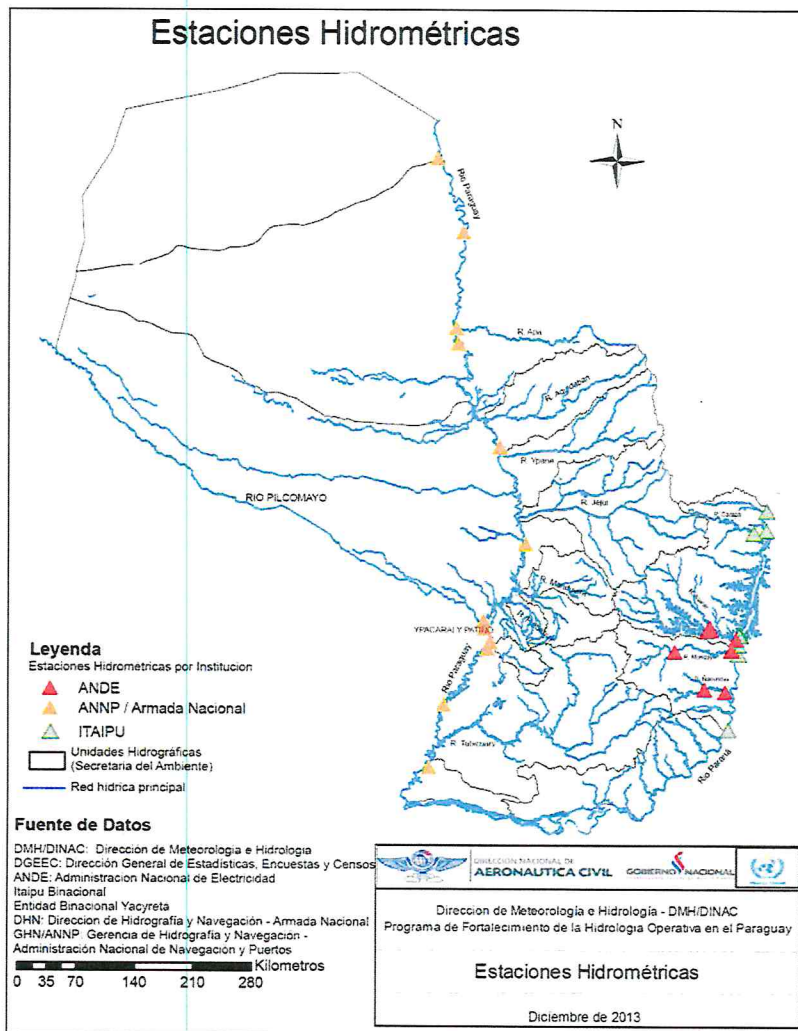


Figura 5.3 Ubicación de las estaciones hidrométricas ANNP.

Las fuentes utilizadas fueron:

- Estudio de Zonificación de áreas inundables realizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional para el comité de Emergencia Nacional
- Anuario hidrográfico de la ANNP en todo el tramo del Proyecto
- En el tramo Norte:
  - a. Estudio de relacionamiento entre los datos de nivelación paraguayo y brasilero.
  - b. Estudio de navegabilidad del Río Paraguay al Norte de Asunción ANNP- PNUD.

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590733

Hoja 97  
Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

- En el tramo Sur:
  - a. Estudio de navegabilidad del Río Paraguay al Sur de Asunción ANNP-PNUD-Sir William Halcrow & Partners.
  - b. Estudio de crecidas Ríos Paraná y Paraguay EBY- Motor Columbus.
- Planos de la ANDE de los cruces de líneas eléctricas de los ríos Paraguay y Paraná, especialmente la línea 220kv – Valle mi – Loma Plata que cruza el río Paraguay en la zona de Pto. Casado.

Según el análisis las cotas de los ceros de las escalas están referidas:

1. Tramo Norte, desde Bahía Negra hasta la desembocadura del Río Apa,
  - a. Estaciones Hidrométricas en territorio brasilero: IBGE (Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística)
  - b. Estaciones Hidrométricas en territorio paraguayo a nivelaciones deducidas por niveles de agua.
2. Tramo Medio, desde la desembocadura del Río Apa hasta la desembocadura del Río Pilcomayo, al IGM paraguayo
3. Tramo Bajo, desde la desembocadura del Río Pilcomayo hasta su confluencia con el Río Paraná.
  - a. Estaciones Hidrométricas en territorio paraguayo: al IGM paraguayo.
  - b. Estaciones Hidrométricas en territorio argentino: al IGM argentino.

Se anexa una tabla donde se especifica los kilometrajes y las cotas de los ceros de cada estación hidrométrica. La misma se encuentra publicada en el trabajo de Zonificación de Áreas inundadas del Paraguay.

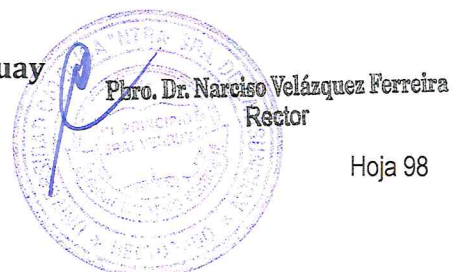
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN FACULTAD DE INGENIERIA Departamento de Desarrollo de Investigaciones PROYECTO: "ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES DEL RÍO PARAGUAY" CONVENIO COM-PLATA O-OT-RO-PARA-88									
RED DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS COTAS DE LOS CEROS DE LAS ESCALAS HIDROMÉTRICAS									
ESTACION	PAIS	KM	NORTE	ESTE	ANUARO	IBGE	PNLD	HALCROW	ADOPTADO
1	BAHIA NEGRA	py	1250	7702382	578173	87,60	* 78,69	78,69	78,69
2	FLORIE OLIMPO	py	1387	7872381	409757		* 72,93	72,87	72,87
3	FECHO DOS MORRO	br	1323				71,78		72,50
4	PORTO MURINHO	br	995				70,75		71,48
5	LA ESPERANZA	py	935	7562752	395808	78,80	* 70,40	70,74	* 70,74
6	VALLEMI	py	812				* 70,38		* 70,38
7	LA VICTORIA	py	904	7535458	403482	75,60	* 69,58	70,28	70,28
8	FONCIERE	py	874						
9	FINASCO	py	832			73,00	* 67,93		68,54
10	ARRECIPE	py	810						
11	PUERTO COOPER	py	789				* 68,35		67,06
12	CARAYA VUELTA	py	750						
13	CONCEPCION	py	700	7411412	483882	* 64,42	64,42	64,42	64,42
14	TAOURUPYTA	py	647				* 62,09		62,80
15	ANTEQUERA	py	588			61,12	60,41	61,12	61,12
16	ROSARIO	py	537	7295290	485343	58,34	57,63	58,34	58,34
17	VILLA REY	py	492						
18	OLIVARES	py	444						
19	PIQUETE CUE	py	420			55,01	54,30	55,01	55,01
20	VINAS CUE	py	399	7209324	441719		54,29		
21	ASUNCIÓN	py	390	7204353	435513	54,04	53,33	54,04	54,04
22	PILCOMAYO	ar	375					53,31	53,31
23	SOLVER	ar	360					* 52,72	52,72
24	VILETA	py	383	7178993	442315	52,88		52,88	52,88
25	GUYRAT	py	340			51,32		51,32	51,32
26	PARAISO	py	282			49,99			49,99
27	DALMACIA	ar	274					* 50,90	49,98
28	ALBERDI	py	209	7103591	388408				
29	FORMOSA	ar	207					48,19	48,19
30	PILAR	py	89	7029395	389738	48,48		48,48	48,48
31	BERMEJO	ar	65					48,37	48,37
32	HUMAITA	py	49	7005447	380279			48,57	48,57
33	ITA PIRU	py	0	6960719	344849			44,07	44,07

Observaciones: IBGE(Br)=IGM(Pa) - 0,71 m

\* Cota de Concepcion corrigida

Fig. 5.4: Cotas de los ceros de cada escala hidrométrica – Río Paraguay

## 5.4 Base de Datos Hidrométricos del Río Paraguay



Ya se cuenta con una recopilación completa de datos hidrométricos del río Paraguay organizados en formato de planilla electrónica, en una computadora del proyecto en el CTA/UCA. A Continuación se presentan los gráficos generados a partir del sistema informático:

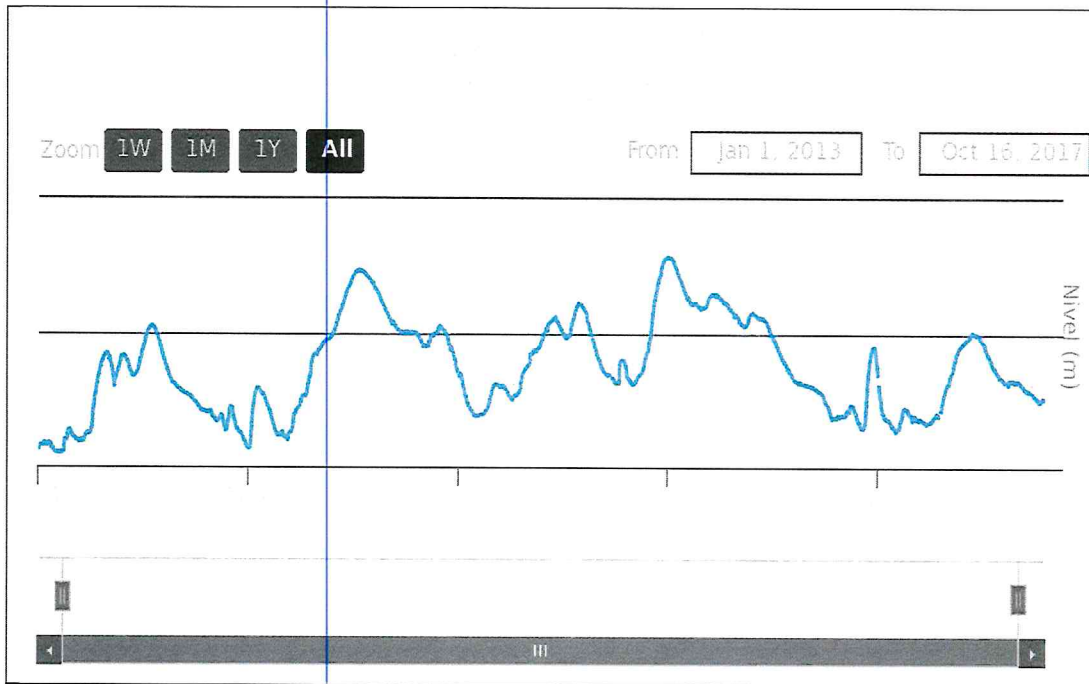


Fig. 5.5 Hidrograma de Niveles hidrométricos Estación ANNP de Asunción – 2013 a 2017

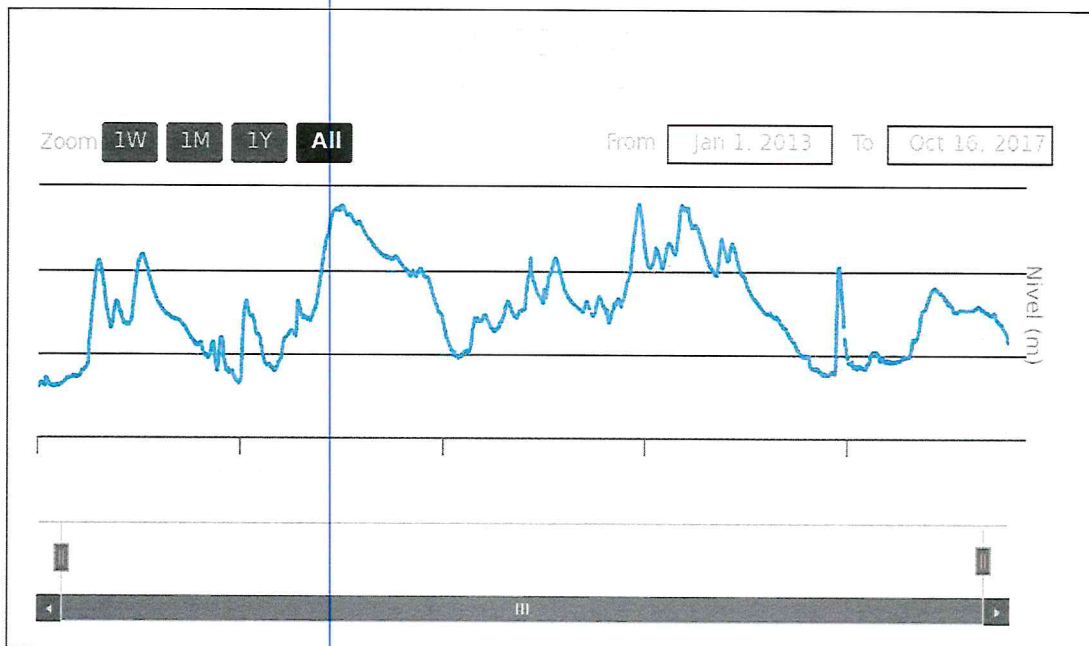


Fig. 5.6: Hidrograma de Niveles hidrométricos Estación ANNP de Concepción – 2013 a 2017

Roger Monte Daso,  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



Fig. 5.7: Proceso de validación de datos hidrométricos Estación ANNP Pilar – 2013 a 2017

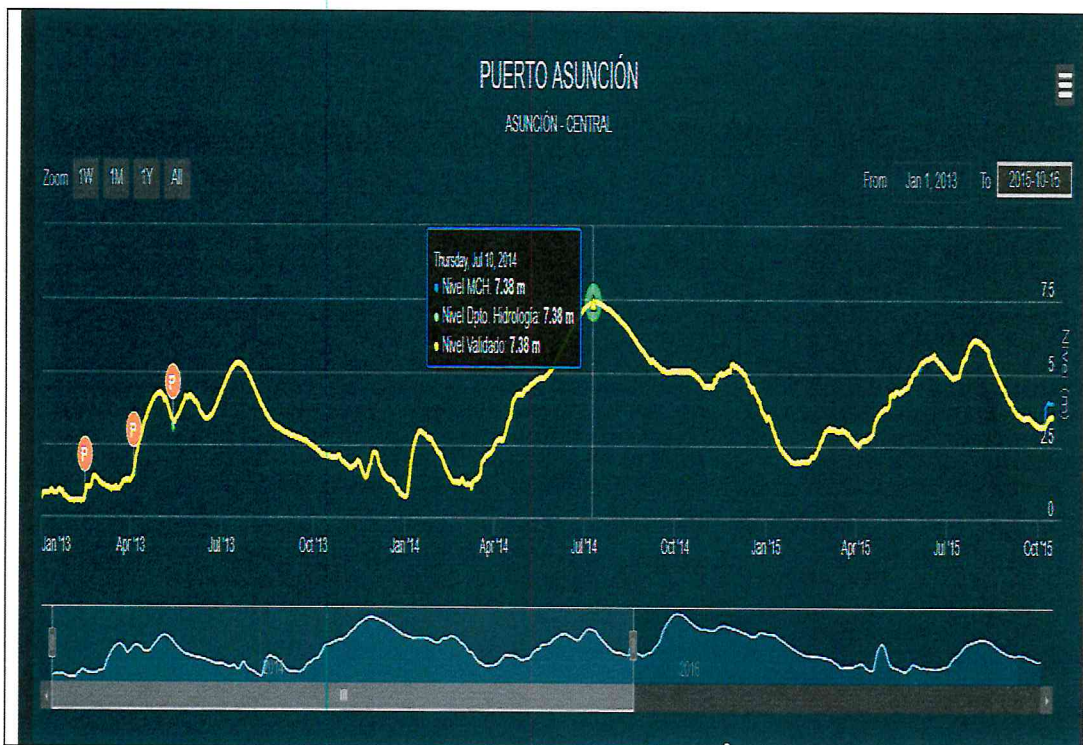


Fig. 5.8: Datos Hidrometricos validados Pto. Asuncion. Valor maximo 10/07/17: 7.38m

También es posible generar gráficos en cada estación directamente de la planilla electrónica Excel, conforme se visualiza en la fig. 5.9 para la estación hidroemtrica de Asunción, periodo 2015.

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

También es posible analizar varios años y compararlos en cada estación, conforme se ilustra para Bahía Negra, Concepción, Asunción y Pilar en las figuras 5.9 al 5.12.

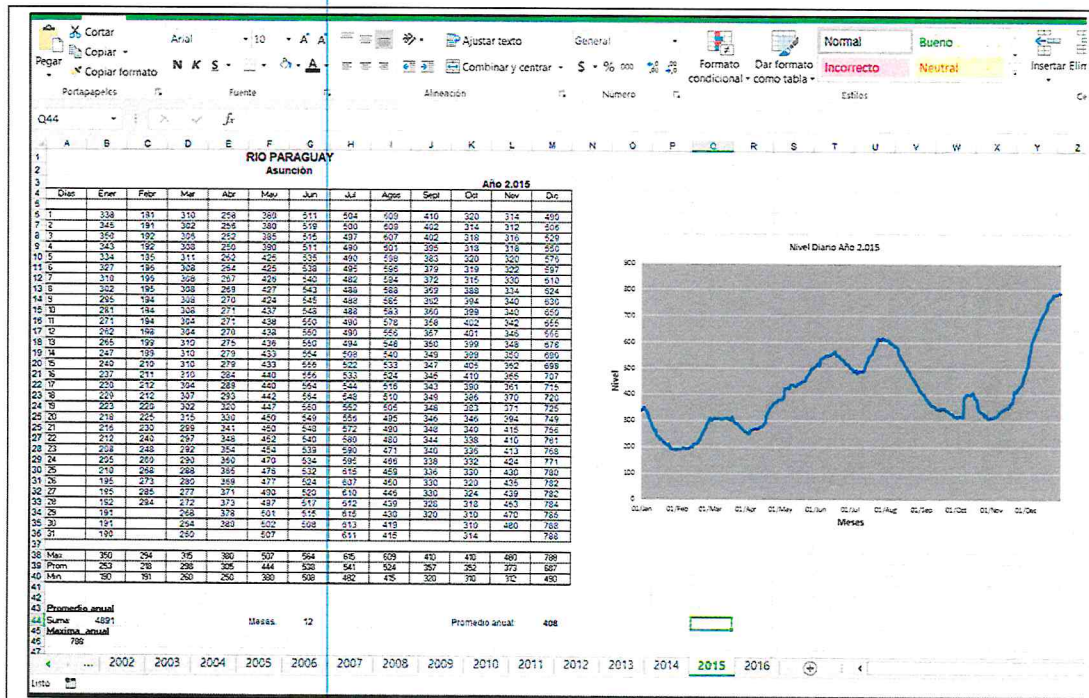


Fig. 5.9: Ejemplo presentación de datos diarios en Excel – Estación de Asunción, año 2015

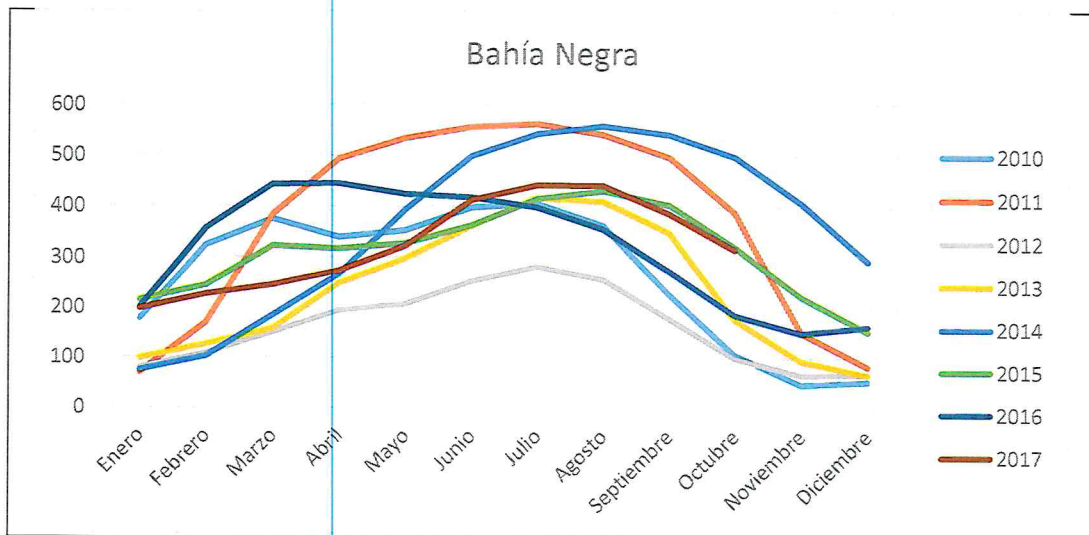


Fig. 5.10: Niveles hidrométricos diarios serie 2010-2017- Est. Hidrométrica. de Bahía Negra

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183


  
Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

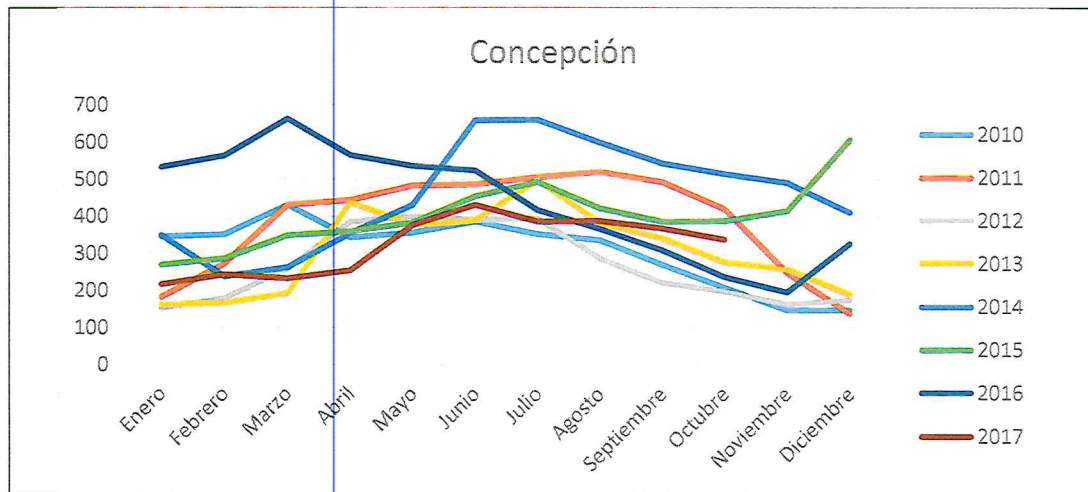


Fig. 5.11: Niveles hidrométricos diarios serie 2010-2017- Est. Hidrométrica. de Concepción

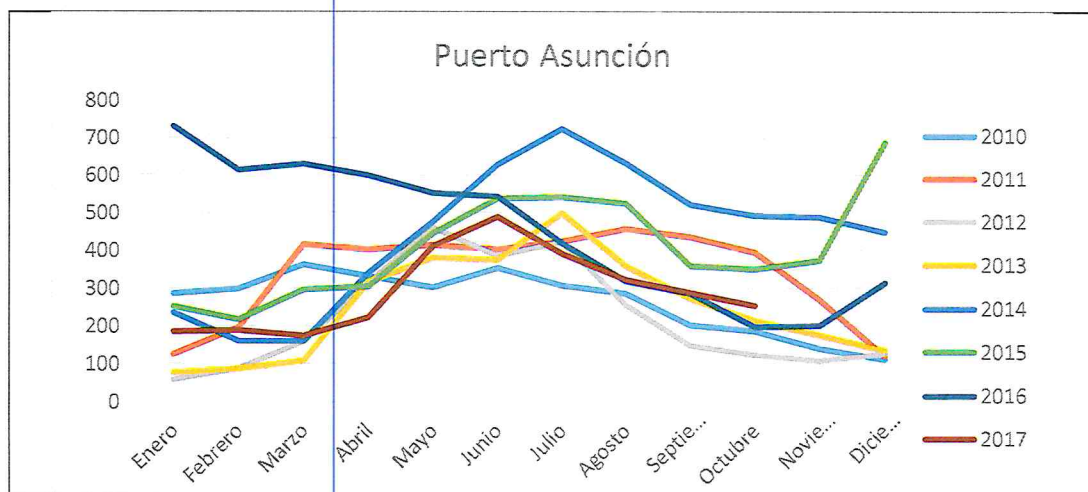


Fig. 5.12: Niveles hidrométricos diarios serie 2010-2017- Est. Hidrométrica. de Asunción

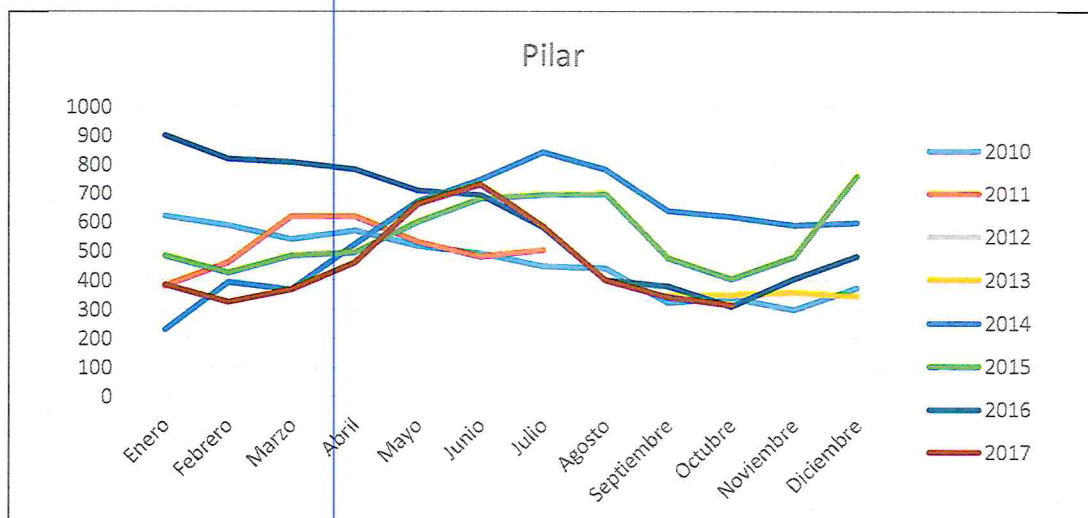
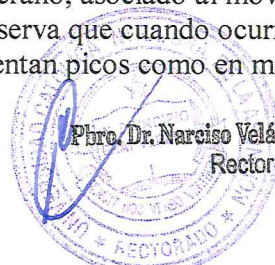


Fig. 5.13: Niveles hidrométricos diarios serie 2010-2017- Est. Hidrométrica. de Bahía Negra

A partir de estos datos se puede observar la variación estacional que se tiene en todas las estaciones con picos en el invierno y estiaje en el verano, asociado al movimiento del agua desde el Pantanal hacia el sur. También se observa que cuando ocurren grandes precipitaciones en la cuenca media (Paraguay) se presentan picos como en marzo de

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590133



Hoja 102  
Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

2014 en Concepción (figura 5.11) y a finales del 2015 e inicios del 2016 en Asunción (fig. 5.12)

## 5.5 Datos de Precipitación y Caudal en la Base de datos HEC DSS

### 5.5.1 Precipitación

Los datos de precipitación que se utilizarán como fuente de datos principal para la implementación del modelo hidrológico corresponde a la red de estaciones meteorológicas de la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC). Se recopilaron los datos y éstos fueron implementados en el sistema de base de datos Sistema de Almacenamiento de Datos, DSS (Data Storage System) del Centro de Ingenieros Hidrológicos

La siguiente tabla muestra las estaciones cuyos datos de precipitación de frecuencia diaria fueron recopilados y almacenados en la base de datos del proyecto.

Tabla 5.1- Datos de precipitación recopilados

Código	Estación	Inicio	Final
86068	Mariscal Estigarribia	01-01-1950	31-12-2015
86097	Pedro Juan Caballero	01-01-1959	31-12-2015
86128	Pozo Colorado	01-01-1995	31-12-2015
86134	Concepción	11-06-1959	31-12-2015
86185	San Pedro	01-08-1994	31-12-2015
86192	San Estanislao	01-09-1975	31-12-2015
86210	Salto del Guairá	01-09-1975	31-12-2015
86218	Asunción Aeropuerto Silvio Pettirossi	01-10-1959	31-12-2015
86221	Paraguari	01-01-1981	31-12-2015
86233	Villarrica	01-01-1956	31-12-2015
86234	Coronel Oviedo	01-11-1971	31-12-2015
86246	Aeropuerto Guarani	01-08-1997	31-12-2015

Como ejemplo los datos almacenados en la base de datos HEC-DSS se visualiza la fig. 5.14

The screenshot shows the HEC-DSS database interface. The main window displays a table with the following columns: Number, Part A, Part B, Part C, Part D / range, Part E, and Part F. The data rows are as follows:

Number	Part A	Part B	Part C	Part D / range	Part E	Part F
1	CONACYT	AERO_GUARANI	PRECIPITACION	01Aug1997 - 20Feb2016	1DAY	OBS
2	CONACYT	ASUNCION_AISP	PRECIPITACION	01Oct1959 - 20Feb2016	1DAY	OBS
3	CONACYT	CNEL_OVIEDO	PRECIPITACION	01Nov1971 - 20Feb2016	1DAY	OBS
4	CONACYT	CONCEPCION	PRECIPITACION	11Jun1959 - 20Feb2016	1DAY	OBS
5	CONACYT	MCAL_ESTIGARRIBIA	PRECIPITACION	01Jan1950 - 20Feb2016	1DAY	OBS
8	CONACYT	P_COLORADO	PRECIPITACION	01Jan1995 - 20Feb2016	1DAY	OBS
6	CONACYT	P.J.CABALLERO	PRECIPITACION	01Jan1959 - 20Feb2016	1DAY	OBS
7	CONACYT	PARAGUARI	PRECIPITACION	01Jan1981 - 20Feb2016	1DAY	OBS
11	CONACYT	S_D_GUAIRA	PRECIPITACION	01Sep1975 - 20Feb2016	1DAY	OBS
9	CONACYT	SAN_ESTANISLAO	PRECIPITACION	01Sep1975 - 20Feb2016	1DAY	OBS
10	CONACYT	SAN_PEDRO	PRECIPITACION	01Aug1994 - 20Feb2016	1DAY	OBS

Fig. 5.14: Base de datos Hec Dss para utilización en la plataforma de modelación hidrológica

En figura 5.15 se visualizan los datos de varias estaciones cargadas en el periodo 1982 y 1983, coincidente con la inundación histórica del río Paraguay en nuestro país.

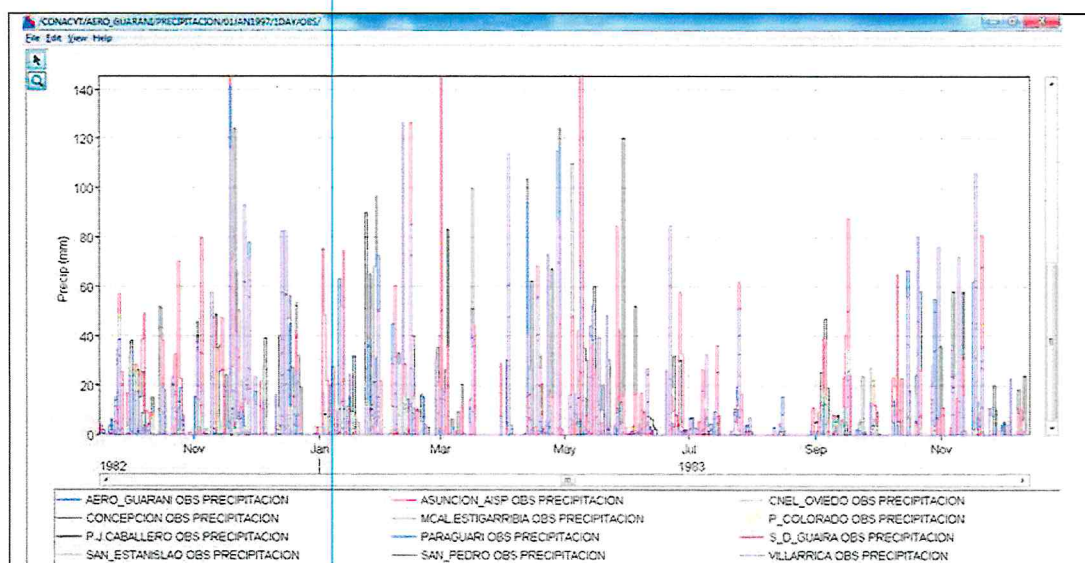


Fig. 5.15: Base de datos Hec Dss para utilización en la plataforma de modelación hidrológica

### 5.5.2 Datos de Niveles del Río Paraguay

Los datos de niveles diarios del Río Paraguay fueron obtenidos de la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC). La DMH obtiene los datos de niveles de las estaciones (reglas hidrométricas) a cargo de la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP).


En la siguiente tabla xx se muestra una descripción de la serie de tiempo de las estaciones recopiladas.

Tabla 5.2 – Datos de Caudal y Nivel Hidrométrico sistematizados

Cauce	Estación Hidrométrica	Inicio Registro	Fin Registro	Parámetros
Río Paraguay	Asunción	01-01-1904	31-12-2015	Nivel, Caudal y Cota
Río Paraguay	Concepción	01-01-1965	31-12-2015	Nivel, Caudal y Cota
Río Paraguay	Porto Murtiño	01-01-1939	31-12-2007	Nivel y Caudal

En la figura 5.16 se observa la serie de datos ya ingresados. Los parámetros de caudales y cotas para las estaciones de Asunción y Concepción fueron estimados en base a la información del cero de la regla hidrométrica y a las ecuaciones de altura-caudal.

  
**Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira**  
**Rector**

  
**Roger Monte Domínguez**  
**Ing. Civil**  
**R.P. 590123**



riopy.dss - HEC-DSSVue

File Edit View Display Groups Data Entry Tools Advanced Help

File Name: C:/DMH/db/DSS/riopy.dss  
 Pathnames Shown: 8 Pathnames Selected: 0 Pathnames in File: 614 File Size: 3.79 MB

riopy.dss x

Search A: [ ] C: [ ] E: [ ]  
 By Parts: B: [ ] D: [ ] F: [ ]

Number	Part A	Part B	Part C	Part D / range	Part E	Part F
1	RIO PARAGUAY	ASUNCION	DIARIO	31Dec1903 - 14Nov2016	1DAY	CAUDAL
2	RIO PARAGUAY	ASUNCION	DIARIO	31Dec1903 - 14Nov2016	1DAY	NIVEL
3	RIO PARAGUAY	ASUNCION	DIARIO	31Dec1903 - 14Nov2016	1DAY	NIVEL_COTA
4	RIO PARAGUAY	CONCEPCION	DIARIO	31Dec1964 - 18Feb2017	1DAY	CAUDAL
5	RIO PARAGUAY	CONCEPCION	DIARIO	31Dec1964 - 18Feb2017	1DAY	NIVEL
6	RIO PARAGUAY	CONCEPCION	DIARIO	31Dec1964 - 18Feb2017	1DAY	NIVEL_COTA
7	RIO PARAGUAY	PORTO_MURTL	DIARIO	31Dec1938 - 30Dec2007	1DAY	CAUDAL
8	RIO PARAGUAY	PORTO_MURTL	DIARIO	31Dec1938 - 30Dec2007	1DAY	NIVEL

Fig. 5.16 : Datos de caudal y nivel en la base de datos DSS del proyecto

En la figura 5.17 se observan los datos en formato de gráfico para todo el periodo recopilado. La figura muestra valores de caudales observados para las estaciones de Puerto Murtiño, Concepción y Asunción

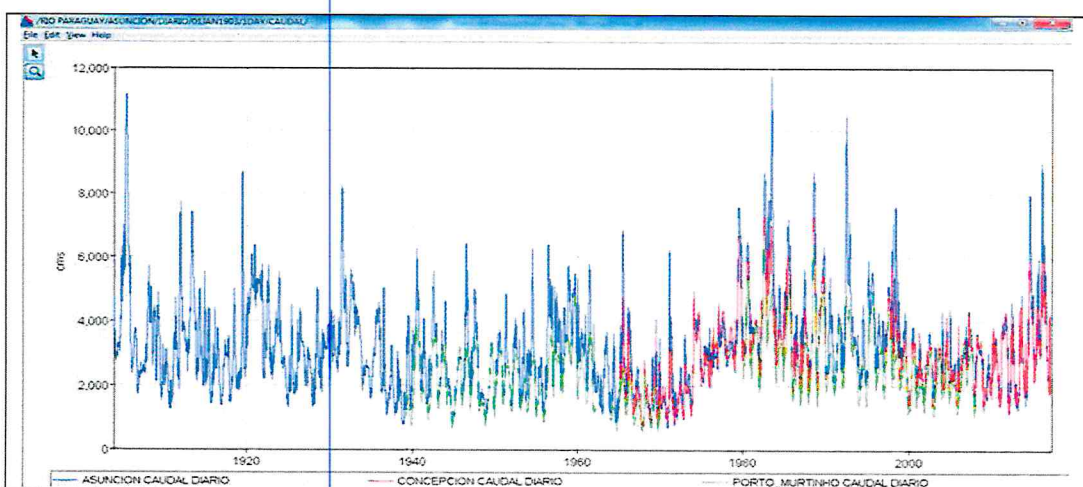
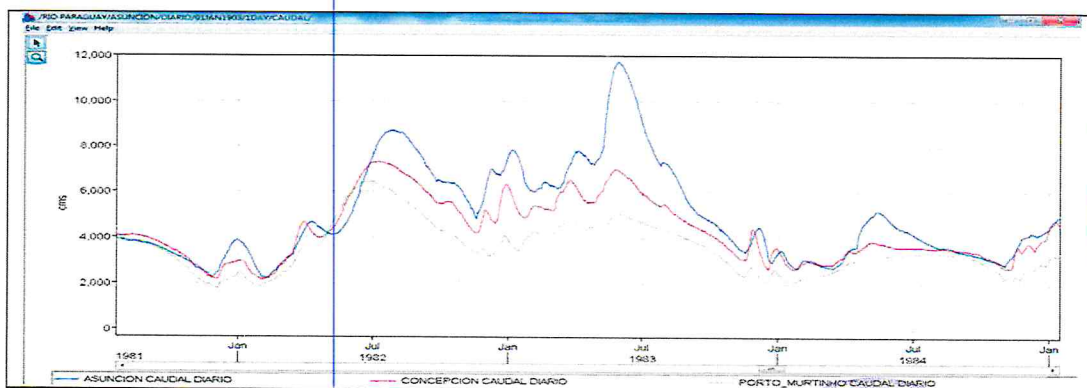


Fig. 5.17: Caudales observados en Asunción, Concepción y Pto. Murtiño (Br) – 1905-2015

Como ejemplo ilustrativo de la herramienta DSS, en la figura 5.18 se muestra el evento ocurrido en el año 1983, donde se pueden observar los incrementos significativos de caudales entre la estación de Puerto Murtiño y Asunción.



5.18: Caudales máximos en Asunción, Concepción y Murtiño 1982-1983

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

Pro. Dr. Narciso Velázquez de la Cruz  
 Rector


## Anexo 6: Publicación del Rio Paraguay y su cuenca

Como parte de los resultados del proyecto se está trabajando en la preparación de una publicación con la participación de investigadores del proyecto e invitados.

El alcance previsto es el siguiente

- Caracterización de la cuenca del rio Paraguay (Brasil, Bolivia, Paraguay y Argentina)
- La Hidrografía en la parte paraguaya de la cuenca del rio Paraguay
- Caracterización hidráulica del rio Paraguay
- La variabilidad y el cambio climático en la cuenca del rio Paraguay
- La calidad del agua del rio Paraguay
- Usos del rio Paraguay
- Proyectos asociados al rio Paraguay (Hidrovia, Monitoreo Calidad de Agua)
- Las inundaciones y sequias en el rio Paraguay
- La previsión hidrológica y los pronósticos hidrológicos en el rio Paraguay

Actualmente se trabaja en la recopilación de información por parte del equipo de investigación del proyecto.

  
Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590133

  
  
Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

## Avances del Documento Río Paraguay y su cuenca

### Caracterización del río Paraguay –documento preliminar

El río Paraguay es el principal afluente del Paraná y uno de los grandes ríos sudamericanos. Nace en el Mato Grosso (Brasil), cerca de Diamantino, en contra dirección del resto de los ríos que allí nacen, que son afluentes del Amazonas. De 2.625 km de longitud, recorre 1.017 km en territorio paraguayo. Con una anchura media es de unos 500 metros. La profundidad de su cauce es superior a los tres metros, llegando a los veinte. Los meses de crecida se sitúan entre febrero y junio y el estiaje entre diciembre y enero. Se hace paraguayo en Bahía Negra. Es un río tranquilo que permite la navegación de barcos de gran tonelaje hasta Asunción. Tan sólo algunos bancos de arena y fondos altos dificultan la navegación

Su cuenca está constituida por una planicie que abarca unos 1.095.000 km<sup>2</sup> estando su nacimiento ubicada aproximadamente a los 14° 20' de latitud sur y a los 56° 25' de longitud oeste en un lugar de las sierras de Parecis, a 300 metros sobre el nivel del mar.

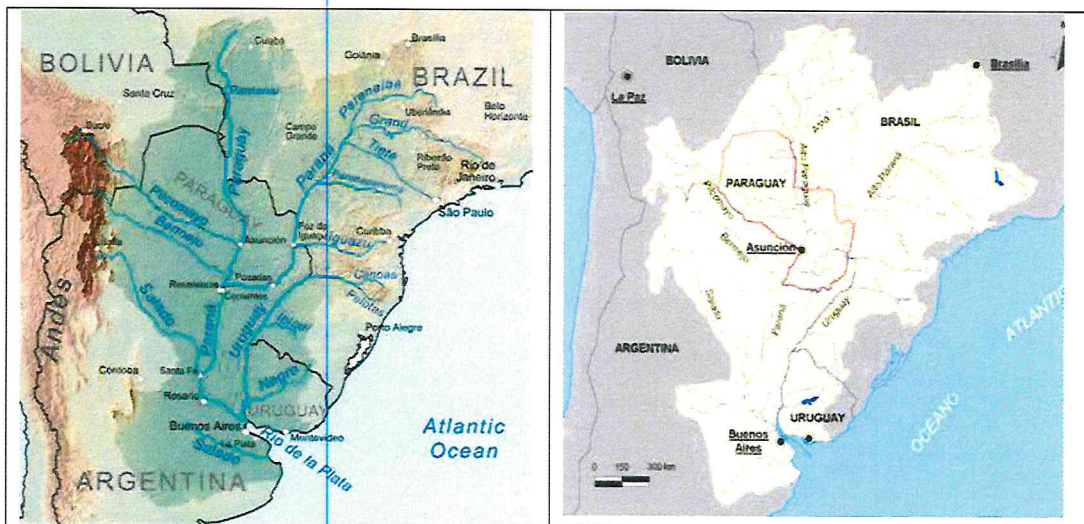


Fig. 6.1: El río Paraguay en la cuenca del plata

Fig. 6.2 El Paraguay en el centro de la cuenca del Plata.

Fuente: De Kmusser - Trabajo propio, Elevation data from SRTM, drainage basin from GTOPO [1], all other features from Vector Map., CC BY-SA 3.0  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11713483>

Fuente: CICPlata.org

Según Luis Tossini puede dividirse en cuatro tramos de acuerdo a sus características diferenciales:

**PRIMERO:** el que desarrolla sus primeros 50 km con el nombre de Diamantino que toma al pasar por las proximidades de esta localidad brasilera.

Juntamente con otras cabeceras cercanas recorta las estribaciones meridionales del macizo de "Matto Grosso" en un recorrido aproximado de 270 km hasta unirse con el Jaurú que desemboca sobre su margen derecha.

**SEGUNDO:** el que abarca desde la confluencia del Jaurú hasta el Río Apa, zona de expansión y de embalse conocida con el nombre de El Pantanal

**TERCERO:** es el tramo que abarca la sección comprendida entre el Apa y la punta Itá Pirú en las Lomas Valentinas.

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferrel  
Rector

CUARTO: que comprende la zona de su desembocadura en el Río Paraná. El lecho acusa un perfil longitudinal muy regular revelando que es un Río maduro; basta recordar que al entrar al Pantanal el Río está a 125 m sobre el nivel del mar y en su nivel de base a 48 m, habiendo recorrido por un cauce sumamente tortuoso 2.500 km en cifras redondas.

El pantanal abarca, inmediatamente aguas abajo de su sección serrana, una enorme hoya, tal vez de mayor extensión en la llanura chaco-pampeana; su superficie a sido estimada en 80.000 km<sup>2</sup> durante las máximas crecientes, con anchos variables que oscilan entre los 300 km en la zona Norte y reducido al álveo del Río en los tramos donde se estrecha por la cercanía de estribaciones serranas. Así sucede por ejemplo a la altura de la sierra de Bodoquena y la meseta de Corumbá ,y aguas abajo, entre "Fecho dos Morros" y los "Morros Pan de Azúcar".

Durante el período de las lluvias, que suele durar de Octubre a Marzo, esta gran hondonada cubierta de hierbas, de arbustos y árboles de alto porte, va llenándose gradualmente con una onda que se propaga lentamente del centro de la hoya hacia sus orillas.

Las aguas del Río Paraguay divagan a través de muchos riachos, abriéndose paso entre los bancos de aluviones, aumentando paulatinamente en extensión y profundidad, al mismo tiempo que el lecho principal del río se desplaza entre bordes altos de albardones formando muchos meandros. El pantanal tiene aproximadamente unos 770 km de largo en línea recta y la extensión del Río Paraguay es de 1.260 km.

La función que desempeña esta gigantesca hondonada es la de un embalse con caracteres muy particulares, donde el agua de las crecientes se acumula lenta y progresivamente para luego entregarla con la misma lentitud y regularidad, al caudal del Río Paraguay durante los seis meses, de Abril a Setiembre, que duran las sequías. Constituye pues un regulador de su régimen hidráulico.

El último tramo se extiende desde las Lomas Valentinas hasta su desembocadura en el Río Paraná, los meandros del río se suceden unos a otros, sus orillas son bajas y las aguas desbordan sobre ambas márgenes durante las crecientes, inundando de 10 a 15 km, su ancho es de 700 m Recibe tributarios muy destacados tales como el Tebicuary por su margen izquierda y los Ríos Pilcomayo y Bermejo por su derecha. Este último le acarrea una gran cantidad de material sólido.

El ancho del Río Paraguay es muy variable, a la altura de Asunción es de 700 m, aproximadamente; de 350 a 400 m al norte del Río Apa llegando a tener en algunos tramos cerca de 1.500 m. En todo su recorrido el río baña costas exclusivamente brasileras en una extensión aproximada de 1.000 km; 50 km frontera común entre Brasil y Bolivia; 340 km frontera común entre Brasil y Paraguay; 540 km bañando exclusivamente costa paraguaya y 375 km frontera entre Argentina y Paraguay

El Paraguay recibe importantes afluentes, sobre todo por la izquierda, como el Apa y el Aquidabán, el Ypané y el Jejuy, que nacen en la sierra de Amambay. Son ríos caudalosos, pero prácticamente no se utilizan para navegación. Tras pasar por Asunción el río se convierte en frontera con Argentina. En esta zona el cauce se ensancha debido al aporte de grandes afluentes, como el Pilcomayo, el Bermejo, el Tebicuary, el Monte Lindo, el Pilagá y el Salado. Los ríos de la llanura del Chaco no tienen bastante pendiente para formar un lecho y transcurrir por cauces permanentes. En la época de lluvias se ensanchan sobre amplias superficies para luego desaparecer en la estación

seca. Sólo en las proximidades del río Paraguay las corrientes organizan sus cauces gracias a ligerísimas pendientes.

El río tiene una longitud total de 2626 km, de los que:

- 1309 km discurren por territorio brasileño; 57 km forman frontera entre Brasil y Bolivia;
- 328 km frontera entre Brasil y Paraguay; 537 km discurren exclusivamente en territorio paraguayo; y 390 km forman frontera entre Argentina y Paraguay.

Su pequeñísimo desnivel (5 a 6 cm/km) y los muchos meandros que se forman, son la causa de la extrema lentitud de su curso, hasta el extremo de que se ha calculado que lleva cerca de 6 meses que el agua que fluye de Corumbá, en Brasil, llegue al Río de la Plata. Su régimen es bastante constante, con un rendimiento promedio de 4300 m<sup>3</sup>/s y por tanto un importante contribuyente a la corriente del Río de la Plata

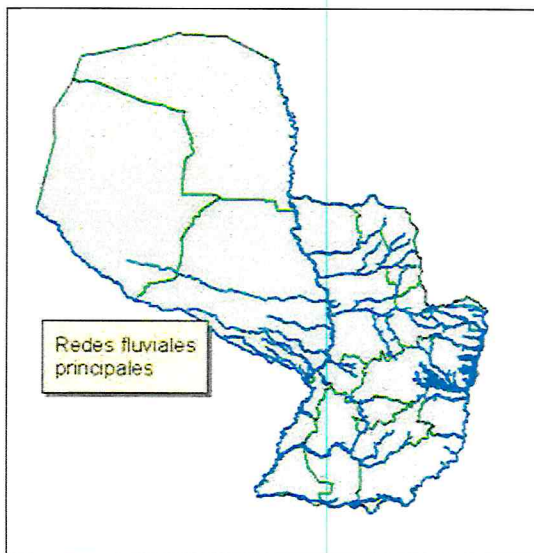


Fig. 6.3 Cuencas hidricas en Paraguay

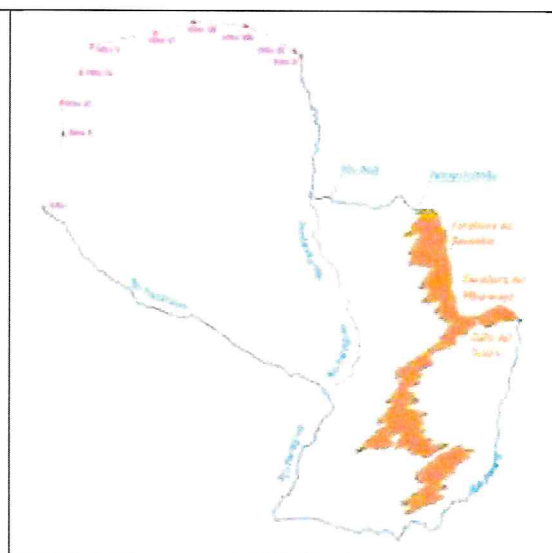


Fig. 6.4 Red orografica divisor de cuencas

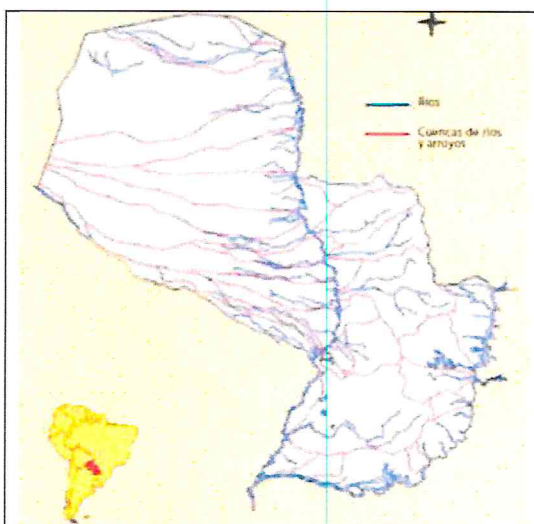


Fig. 6.4: Red Hídrica Paraguay. CicPlata.org,2004

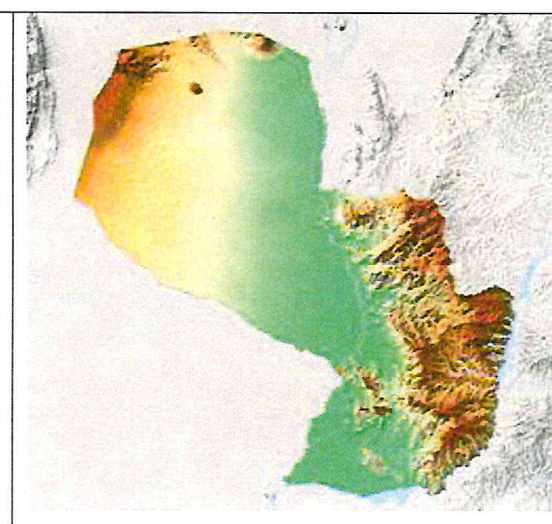


Fig. 6.5: Mapa de Relieve Paraguay <sup>10</sup>

<sup>10</sup> Este mapa en relieve, cortesía de Michael Schmeling (sales@aridocean.com) muestra en una forma muy instructiva la antigua extensión del Bosque Atlántico, que coincidía en gran medida con las elevaciones en el Este, los humedales a lo largo del Río Paraguay, la inmensa planicie del Chaco en el Oeste y la divisoria de agua entre los ríos Paraná y Paraguay

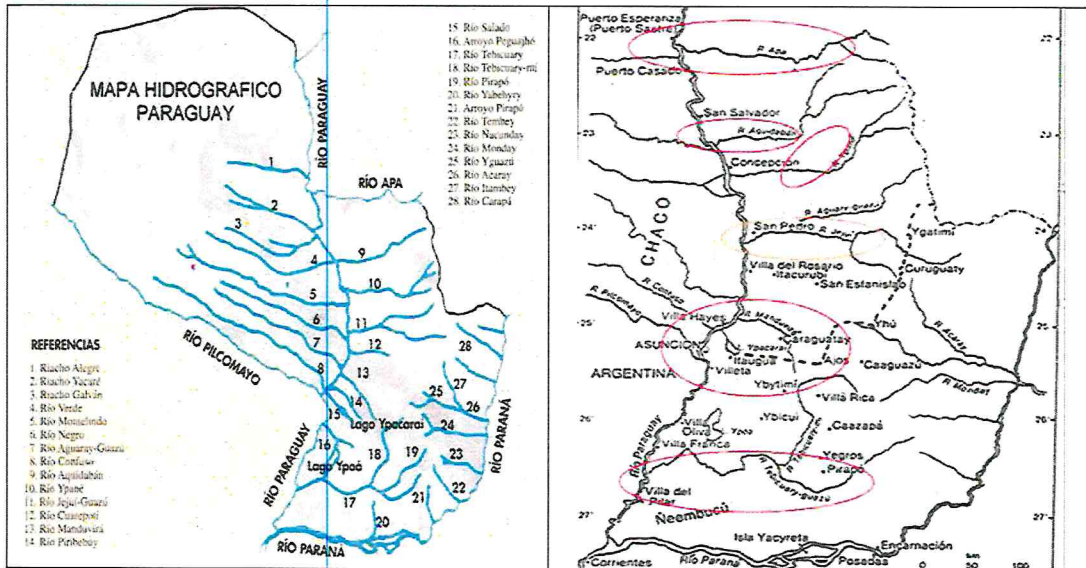


Fig 6.6: Ríos de Paraguay y Principales aportantes al río Paraguay

Según la ANNP (1991), El río Paraguay hasta la ciudad de Asunción tiene un caudal medio anual del orden de los 3.180,0 m<sup>3</sup>/s, máximo medio mensual de 4.180 m<sup>3</sup>/s (junio) y mínimo medio mensual de 2.663 m<sup>3</sup>/s (enero). El gasto máximo diario observado es del orden de los 13.260 m<sup>3</sup>/s, el cual ocurrió entre los días 29 y 30 de mayo de 1983. El escurrimiento promedio del río tiene dos períodos bien marcados, aguas bajas entre los meses de noviembre y febrero; y aguas altas entre los meses de mayo y agosto. Los hidrogramas de crecidas que pasan por Asunción, la mayoría de los años, tienen sus picos entre los meses de mayo y julio; mientras que en el río Paraná, antes de la desembocadura del río Paraguay, los picos ocurren, generalmente, entre febrero y abril. Este desfase (de aproximadamente unos tres meses) se debe, principalmente, al efecto regulador que tiene *El Pantanal* en la cuenca alta del río Paraguay, el cual se llena de octubre a marzo, con las lluvias que caen en su cuenca alta, y se vacía lentamente entre abril y septiembre.

### La navegación en el río Paraguay – borrador

El Río Paraguay es utilizado activamente para el transporte de cargas dentro del sistema Hidrovia Paraguay – Paraná, siendo responsable del movimiento de exportación e importación de casi el 70 % de las cargas en el Paraguay. También es utilizado para el tráfico de combustibles, granos y minerales de Brasil y Bolivia hacia los puertos marítimos de Argentina y Uruguay.

Actualmente el gobierno paraguayo está efectuando tareas de mantenimiento del canal de navegación del río Paraguay en el tramo comprendido entre Villeta y Confluencia con el río Paraná, a fin de garantizar 10 pies (3,04 m) de calado todo el año. Así mismo, al norte de Asunción hasta confluencia con el río Apa actualmente se garantiza un calado de 7 pies (2,10 m).

Sin embargo es importante señalar que la navegación se ve afectada por pasos difíciles tanto al norte como al sur de Asunción en los cuales, en periodos de estiaje se deben desarmar los convoyes de barcazas para transitar por estos pasos, produciendo demoras y sobrecostos en los fletes.

A fin de garantizar la navegación para calados mayores, conforme al plan del Comité Intergubernamental de la Hidrovia (CIH), es necesario efectuar inversiones para mantener

navegable en todo tiempo y actualmente se están buscando las alternativas para estas tareas, entre las cuales se menciona la eventual concesión de la Hidrovia por tramos.

#### Características de la navegación <sup>11</sup>

El Tramo del río Paraguay que afecta al Paraguay es de 1.260 Km., puede ser dividido en tres tramos que son de Norte a Sur:

Tramo Bahía Negra – Río Apa compartido con el Brasil de 328 kilómetros.

Tramo Río Apa – Asunción totalmente en territorio paraguayo de 542 km. de longitud

Tramo Asunción – Confluencia de 390 kilómetros de longitud.

La ruta de navegación actual, se encuentra bien definida y no varía sino muy lentamente en el transcurso del tiempo. Sin embargo en periodos de aguas bajas y sobre tramos de brazos múltiples, la navegación podrá tomar otro brazo que posea mejor navegabilidad.

Los principales problemas de la navegación son: los alto fondo arenosos y alto fondo rocosos, que obligan a los convoyes a reducir sus calados y curvas de radio reducido que requieren de fraccionamiento de los convoyes para la navegación.

Los pasos arenosos según el estudio del Consorcio Hidroservice – Louis Berger – EIH son 37 pasos arenosos, 7 pasos rocosos bien conocidos y 11 curvas de radio reducidos. Las profundidades disponibles en periodo de aguas altas (mayo-setiembre), la navegación dispone de una profundidad de agua importante, de 3 a 6 metros, y puede seguir una traza bastante directa. Prácticamente no hay limitaciones de eslora y manga para los convoyes.

En periodos de aguas bajas (noviembre – febrero) la navegación debe seguir una traza mucho más sinuosa para tomar las profundidades y evitar los obstáculos.

Según las curvas “Altura-Duración-Frecuencia” de los niveles del Río Paraguay en Asunción y Concepción establecida sobre largos periodos, la distribución promedio de las profundidades de agua durante el año es la siguiente:

Se constata sin embargo que, gracias al fenómeno natural del “auto-dragado”, la profundidad disponible jamás es inferior a 1m- 1,20 m más o menos.

En periodos de estiajes, las profundidades promedios disponibles son:

Se nota que la profundidad es inferior a 7 pies durante un plazo de solo 3 meses por años. También se debe tener presente que recordar que en el periodo 1974 -1998, el río presentó niveles de estiajes con valores del orden de 1 metro a los niveles normales, en Asunción.

Ing. Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590133

  
Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

<sup>10</sup> Comité Intergubernamental de la Hidrovia

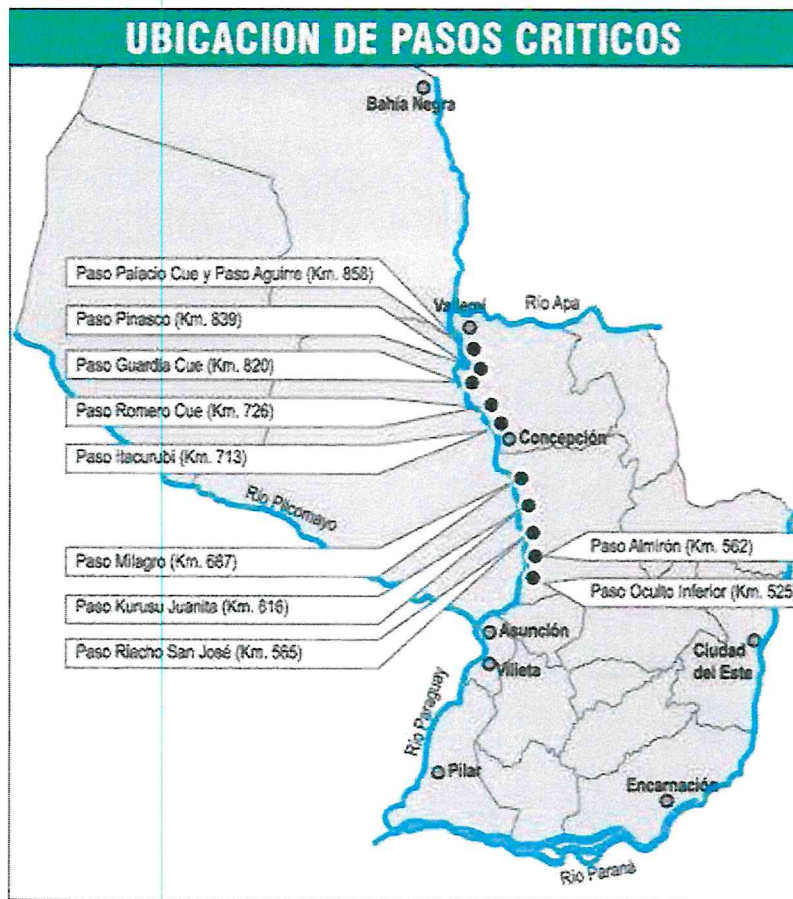


Fig. 6.7 Pasos difíciles en el río Paraguay, ANNP

  
**Roger Monte Domercq**  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

  
**Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira**  
 Rector



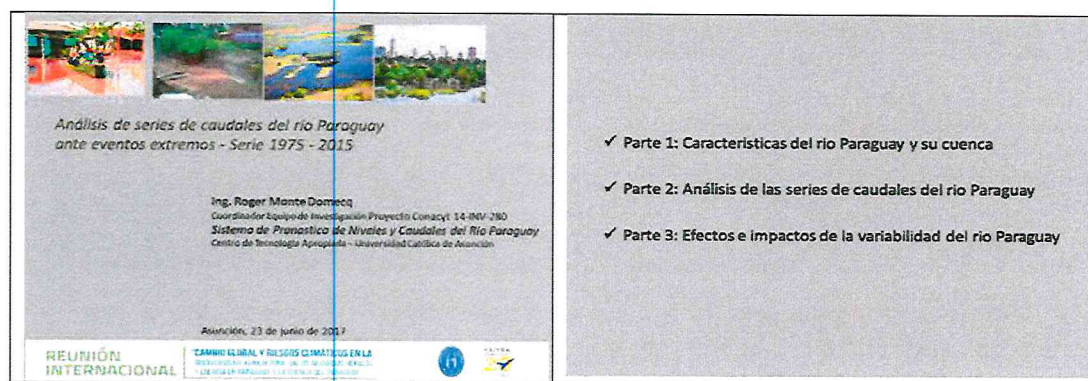
## Anexo 7: Presentación del Proyecto en evento Cambio Global y Riesgos Climáticos

En fecha 23 de junio de 2017 se presentó el proyecto la reunión internacional Cambio global y riesgos climáticos en la cuenca del plata organizado por la organización Guyrá Paraguay y la Facultad Politécnica UNA en el marco de un proyecto de Prociencia, Conacyt.

Como parte de los avances del proyecto Sistema de Pronostico de Caudales y Niveles del río Paraguay se presentó un Análisis de series de caudales del río Paraguay ante eventos extremos en el periodo 1975-2015.

Posteriormente se procedió a preparar un artículo para publicación (en proceso)

En las figuras 7.1 y 7.2 se presentan 2 diapositivas de la presentación.



7.1 Presentación inicial

7.2 Alcance de la presentación

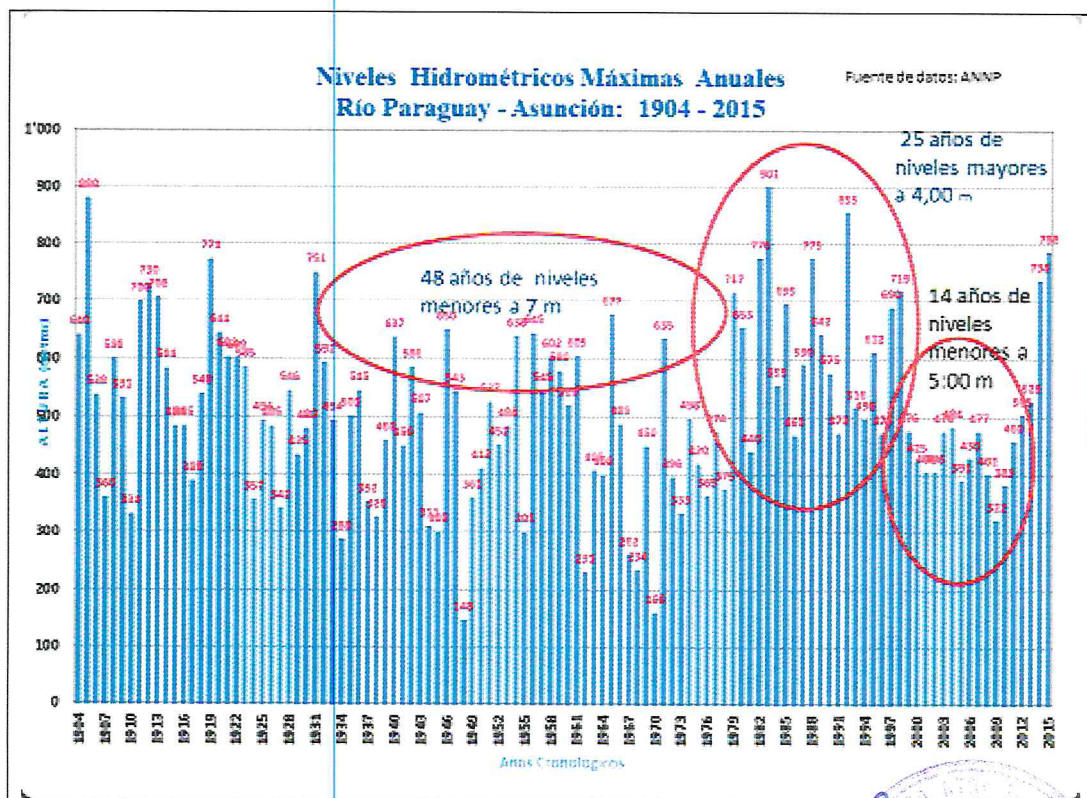


Fig. 7.3 Comportamiento de niveles entre 1904 y 2015 Río Paraguay

Ing. Civil  
R.P. 590183

Hoja 113  
Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferrer  
Rector

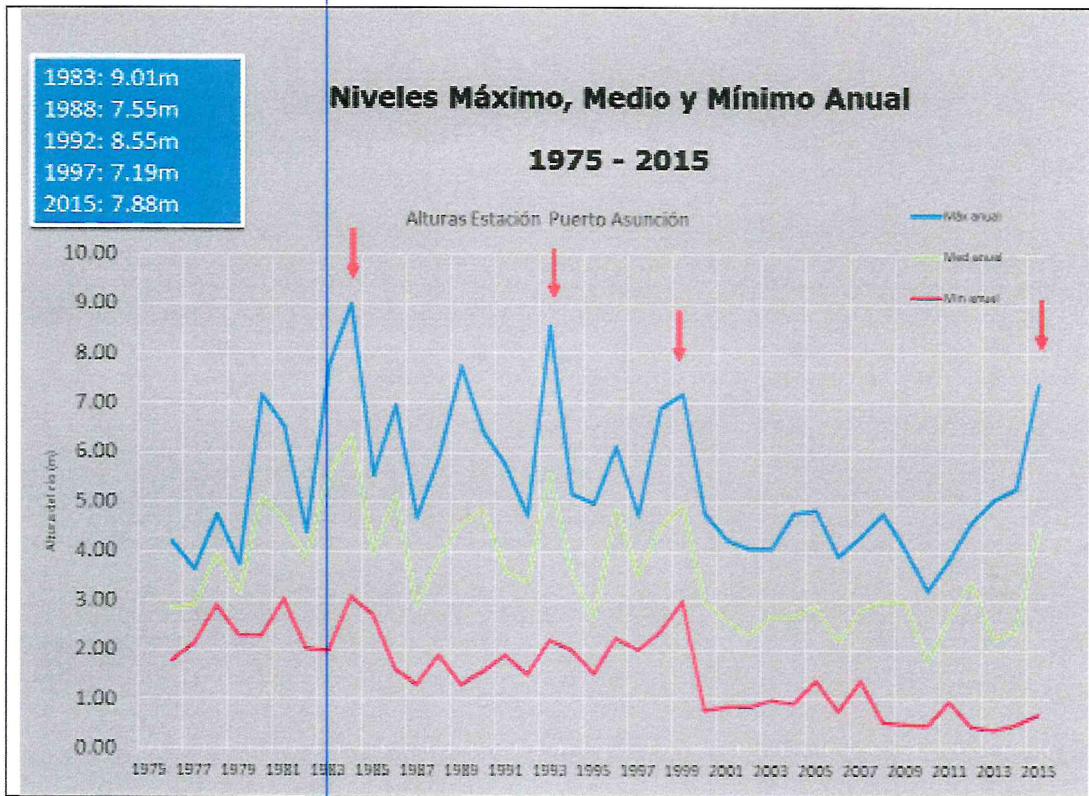


Fig. 7.4; Ciclo de crecidas en el río Paraguay

Imágenes del evento se presentan en las figura 7.5



Fig. 7.5: Presentación del proyecto 14-INV-280 en evento de Cambio Global

*[Handwritten signature]*  
**Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira**  
**Rector**  
 RECTORADO  
 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL PARAGUAY

*[Handwritten signature]*  
**Roger Monte Domínguez**  
**Ing. Civil**  
**R.P. 550133**

## Anexo 8: 1ª Reunión taller de difusión del Proyecto 14-INV-280– Julio 2017, Universidad Católica de Asunción

### Reunión Técnica – Presentación de Avances

Proyecto de Investigación “Sistema de Pronóstico de Niveles y Caudales del Río Paraguay y su cuenca” del Centro de Tecnología Aplicada de la Facultad de Ciencias y Tecnología



Equipo de Investigación 14-INV-280  
 Roger Monte Domecq, Julián Báez, José Avila, Daniel Vázquez, Roberto Takahashi, Alberto Grissetti, Manuel Mazo, Rosa Aseretto - Centro de Tecnología Apropriada – Universidad Católica de Asunción  
<http://cta.uca.edu.py>

<p>En fecha 28 de julio de 2017 se efectuó una reunión técnica para presentar los avances del proyecto. La actividad se desarrolló en la sala Manfred Stark de la FCyT UCA y contó con la participación de 28 invitados, de la ANNP, MOPC, FIUNA, DMH-DINAC, ITAIPU, OMM, APRH, Profesionales independientes del sector Hidráulico y la SEAM a través de la Dirección de Recursos Hidráulicos.</p>	<p>El estudio busca establecer un sistema de pronósticos en el río Paraguay a través de una plataforma de modelación hidrológica e hidráulica a partir de información disponible del río y la cuenca de aporte. Se trabaja con datos históricos del río Paraguay. Con el pronóstico se busca contribuir a la previsión de niveles y caudales a partir de datos hidrometeorológicos disponibles.</p>
--	---

Participan en el estudio docentes, egresados y un estudiante de la FCyT UCA  
 En la Ocasión se efectuaron presentaciones de los diversos componentes del estudio:

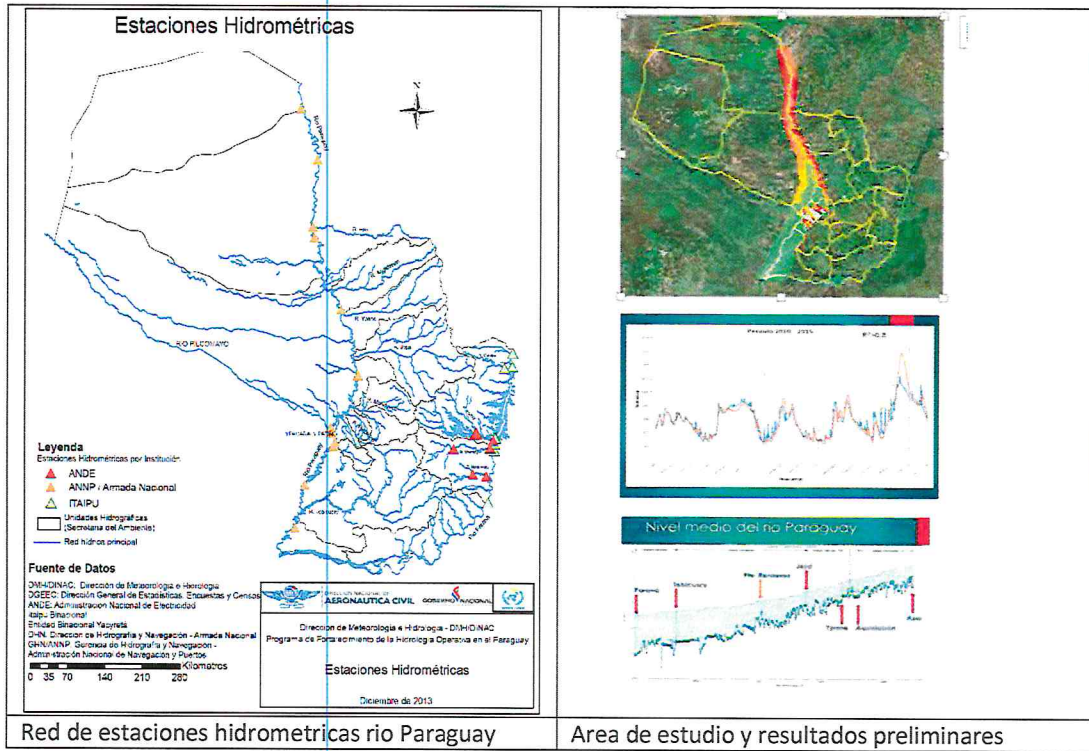
16:00 hs	Apertura – Director Centro de Tecnología Aplicada	Dr. Félix Carvallo
	<p><u>Parte 1: Introducción</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Objetivos, actividades y resultados esperados</li> <li>Plataforma de Modelación adoptada y área de análisis. Datos de entrada a la Plataforma.</li> </ul>	<p>Ing. R. Monte Domecq                  Ing. MSc R. Takahashi</p>
16:30 hs	<p><u>Parte 2: Resultados preliminares</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Datos hidrométricos y batimétricos del Río Paraguay</li> <li>Modelación Hidrológica Hec Hms – cuencas interiores.</li> <li>Modelación Hidráulica Hec Ras – río Paraguay</li> <li>Modelación estocástica y su uso en pronósticos</li> </ul>	<p>Ing. José Avila                  Ing. M. Mazó y R. Aseretto                  Ing. Alberto Grissetti                  Lic. MSc J. Baez</p>
17:00	<p><u>Parte 3: Discusión y próximos pasos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema de monitoreo hidrológico en tiempo real y su aplicabilidad al proyecto – CIH Itaipu Binacional</li> <li>Portal Web del Proyecto y vinculación con instituciones</li> <li>Discusión final y recomendaciones de los participantes.</li> </ul>	<p>Ing. MSc D. Vázquez                  Equipo de Investigación                  Participantes</p>
18:00	Cierre reunión – refrigerio	

Roger Monte Domecq  
 Ing. Civil  
 R.P. 590133

Hoja 115  
 Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

En la parte final del evento se efectuó un debate sobre los diversos aspectos del proyecto y recomendaciones por parte de los participantes para el estudio.

También el Ing. Daniel Vazquez, del Centro de Hidroinformática presentó los avances del sistema de monitoreo que están implementando en el CIH con relación al río Paraguay y se evaluaron las alternativas de complementación entre la UCA e Itaipu en esta área.



Red de estaciones hidrométricas río Paraguay

Area de estudio y resultados preliminares

Fotos del evento



Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Hoja 116  
Phc. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



Lista de participantes.

Nº	NOMBRE Y APELLIDO	INSTITUCIÓN	TELEFONO	CORREO ELECT.
1	José Díaz	FIUNA/MOPC	.0983416058	<a href="mailto:ing.imdiaz@gmail.com">ing.imdiaz@gmail.com</a>
2	Maragarita perira	FIUNA	.0971979402	<a href="mailto:mmcperira@gmail.com">mmcperira@gmail.com</a>
3	Nicolas Rodriguez M.	CTA	.0995369614	<a href="mailto:nicolas.rodriguez@uc.edu.py">nicolas.rodriguez@uc.edu.py</a>
4	César Yaluk	UCA	.0981382728	<a href="mailto:salovaluk@gmail.com">salovaluk@gmail.com</a>
5	Melany Aguilera	UCA	.0981158298	<a href="mailto:melanyaguilera@gmail.com">melanyaguilera@gmail.com</a>
6	Dipak Kumar	DINAC	.0986550673	<a href="mailto:dipak10101@gmail.com">dipak10101@gmail.com</a>
7	Daniel Bernal	DINAC-DMH	.0975626560	<a href="mailto:daniel.bernal@meteorologia.gov.py">daniel.bernal@meteorologia.gov.py</a>
8	Ever Barreto	DINAC-DMH	.0985027080	<a href="mailto:ever.barreto@meteorologia.gov.py">ever.barreto@meteorologia.gov.py</a>
9	Alberto Ramírez	CTA-UCA	.0981401888	<a href="mailto:alberto.ramirez@uc.edu.py">alberto.ramirez@uc.edu.py</a>
10	Pedro Gaete Arroyo	FIUNA	.0971851529	<a href="mailto:gaete.pedro@gmail.com">gaete.pedro@gmail.com</a>
11	Francisco Bock	FIUNA	.0981246587	<a href="mailto:francis.dooock@gmail.com">francis.dooock@gmail.com</a>
12	Benito Perira	FIUNA	.0981541828	<a href="mailto:bpereirapv@gmail.com">bpereirapv@gmail.com</a>
13	Andres Wehrle	APRH	.0981509595	<a href="mailto:andreswema@gmail.com">andreswema@gmail.com</a>
14	Liz Paola Ichausti Sosa	ITAIPIU-MARRCE	.0615998703	<a href="mailto:lizpaola@itaiipu.gov.py">lizpaola@itaiipu.gov.py</a>
15	Santiago Vera Aquino	ITAIPIU-ASCE	.0982712596	<a href="mailto:veraaquino@itaiipu.gov.py">veraaquino@itaiipu.gov.py</a>
16	Jose Silvero	SEAM	.0991763540	<a href="mailto:silvero.i@gmail.com">silvero.i@gmail.com</a>
17	Bienvenido Cuellar	ANNP	.0981456504	<a href="mailto:annpcuellar@hotmail.com">annpcuellar@hotmail.com</a>
18	Cristian Escobar	OMM	.0981223217	<a href="mailto:cescobar@mmo.int">cescobar@mmo.int</a>
19	Norman Breuer	ITAIPIU	.0981127562	<a href="mailto:norm.breuer@gmail.com">norm.breuer@gmail.com</a>
20	David Fariña	SEAM	.0981307651	<a href="mailto:dfarifa@gamil.com">dfarifa@gamil.com</a>
21	Julian Báez	DMH-DINAC	.0991828994	<a href="mailto:baez-iulian@gmail.com">baez-iulian@gmail.com</a>
22	Josè Luis Avila	MOPC	.0981501752	<a href="mailto:joseavila@yahoo.com">joseavila@yahoo.com</a>
23	María del Carmen Álvarez	Consultora Ind.	.0981523221	<a href="mailto:maria.alvarez@gmail.com">maria.alvarez@gmail.com</a>
24	Felix Carvallo V.	CTA-UC	.0981125566	<a href="mailto:lfacarvallo@gmail.com">lfacarvallo@gmail.com</a>
25	Roger Monte Domecq	CTA-UC	971558989	<a href="mailto:roger.montedomecq@gmail.com">roger.montedomecq@gmail.com</a>

Roger Monte Domecq  
 Ing. Civil  
 R.P. 580183

  
 Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

## Resumen de las presentaciones

### Objetivos del estudio

#### Principal

Desarrollar e implementar un sistema de pronóstico operativo de niveles y caudales del río Paraguay.

#### Específicos

- P1 - Revisión de metodologías existentes
- P2 - Sistematización de datos para el sistema de pronóstico hidrológico  
Base de datos hidrométrica publicada en la web
- P3. Trabajos de campo:  
Automatización de 2 estaciones hidrométricas existentes y realización de 3 campañas de medición de caudal del río Paraguay en Asunción
- P4 Desarrollo del sistema de pronósticos hidrológicos a través de una plataforma de modelación hidrológica e hidráulica
- P5 Programa de difusión en el portal web y su utilización

### Resultados esperados

Resultados esperados	Observaciones
1) Sistema de pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay a 60 - 90 días implementado	Meta mínima es a 15 días
1) Publicación sobre la Caracterización de las inundaciones y estiajes del río Paraguay	En fase de recopilación con los investigadores del proyecto e invitados
1) Base de datos hidrológico del río Paraguay implementado	En construcción - será disponibilizado en la universidad en una computadora y parte de los datos via portalweb - Desafío: enlace con otras instituciones DMH, SEAM, CIH, FIUNA
1) Portalweb del Sistema de Pronósticos del río Paraguay	Existe un portal en el CIA UCA que será adecuado para el proyecto en el tercer semestre
1) Dos estudiantes de la ECVI capacitados para operar el sistema de pronóstico	Ya cuenta en el equipo con un Ing. Junior recién recibido y una estudiante desarrollando su tesis de grado de Ing. Ambiental con el proyecto - ambos contratados

### Ceros Hidrométricos

1. **Tramo Norte: Bahía Negra - Río Apa,**
  - Estaciones Hidrométricas en territorio Brasileiro: al IBGE ( Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística)
  - Estaciones Hidrométricas en territorio Paraguayo a nivelaciones deducidas por niveles de agua.
2. **Tramo Medio: Río Apa - Río Pilcomayo,**
  - IGM Paraguayo
3. **Tramo Bajo: río Pilcomayo -Río Paraná,**
  - Estaciones Hidrométricas en territorio Paraguayo: al IGM Paraguayo.
  - Estaciones Hidrométricas en territorio Argentino: al IGM Argentino

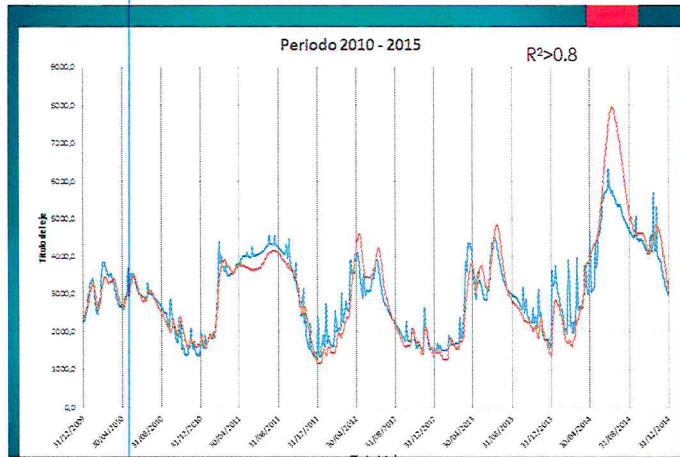
Roger Monte Domocaj  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Modelo Hidrológico.

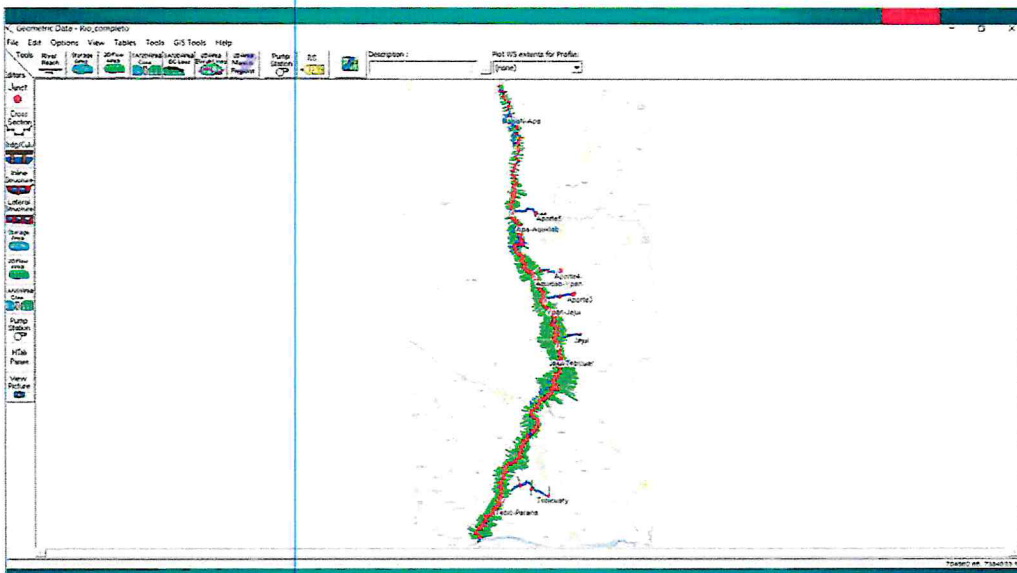


Ph.D. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

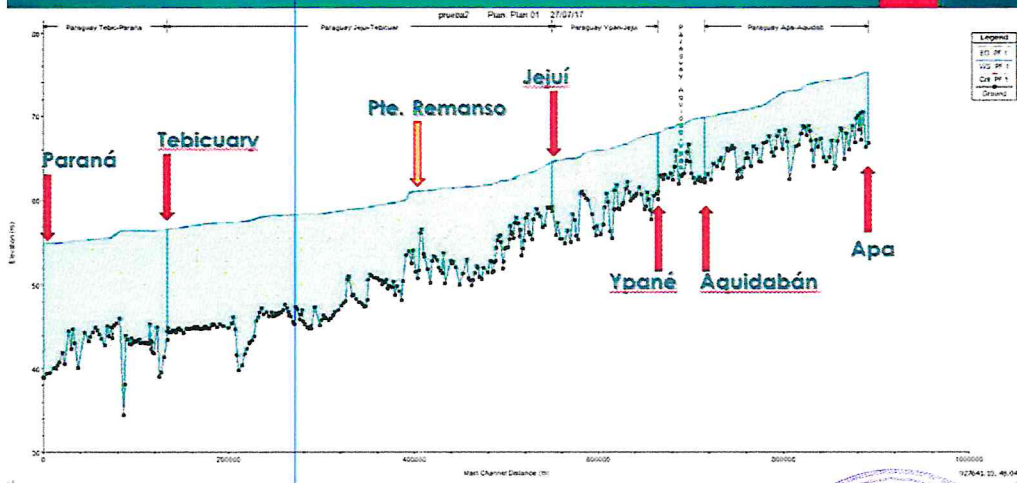
Hoja 118



Modelo Hidráulico.



## Nivel medio del Río Paraguay



Roger Monte Domínguez  
 (Ing. Civil)  
 R.P. 590183

Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector  
 Hoja 119

## Anexo 9: Plan de trabajo y Tdr para la Automatización de 2 estaciones hidrométricas

Esta actividad está prevista desarrollarse en la última fase (semestre) del proyecto. Con el equipo del proyecto se procedió a identificar los sitios adecuados para la instalación de sensores de nivel hidrométrico automático, capaz de transmitir vía web los datos a una estación de recepción en la UCA y eventualmente en el servicio meteorológico.

Con estos datos se espera mejorar el registro de datos que se tiene en el río Paraguay en forma convencional y que estos datos contribuyan al mejor conocimiento del comportamiento del río.

Se han seleccionado un sitio al norte de Asunción y otro al sur, inventariando los posibles sitios. Se han seleccionado los puertos de Puerto Rosario al norte y Puerto Guyrati, Villeta, ambos en instalaciones de puertos privados que autoricen la instalación, que cuenten con acceso a internet y en el futuro puedan encargarse del mantenimiento del equipo.

A continuación se presentan los términos de referencia preparados con las especificaciones técnicas de los equipos, la instalación y el mantenimiento

Terminos de referencia para el proceso de adquisicion

### Estación Automática de medición de nivel de Río

El mismo debe poder transmitir a intervalos de tiempo configurables, Ser capaz de configurar para el envío de datos con el siguiente protocolo.

Protocolo: FTP

Proveer de software necesario, si así lo requiera, para la configuración y administración del equipo

### Especificaciones técnicas del módulo de comunicación

Terminal módem

Módulo 3G/ HSDPA. Incorpora Dual-Band UMTS / HSDPA y tecnología Quad-Band GPRS clase 12.

SISTEMA DE COMUNICACIÓN	
Tecnología:	GSM/GPRS
Frecuencia:	UMTS HSPA - 850/900/1700/1900/2100 MHz GSM 850/900/1800/1900 MHz
Potencia de transmisión:	hasta 1 vatio
GPRS Throughput:	hasta 70 kbps
Interface serial:	RS-232, DB9 F
Velocidad de comunicación serial:	1,2 hasta 115,2 kbps
Protocolo serial:	TCP
Conector de antena de RF:	50 $\Omega$ SMA
Tensión de alimentación:	5 a 24 VDC
Corriente de alimentación:	< 120 mA

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Hoja 120  
Phro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



	<p>Los datos transmitidos, sistema de comunicación que utilice deberá ser parte del equipo ofertado con todos sus accesorios (cables, antena, conectores, software, etc.).</p> <p>Se adquirirá con la estación 1 año de servicio de transmisión de datos 3G o 4G con la empresa proveedora que tenga cobertura en la zona de instalación</p>
--	--

## Registrador de datos

Dispositivo capaz de trabajar con sensores que utilicen protocolos de comunicación SDI-12, sensores con salida analógica de 0–5V y dispositivos con comunicación RS-232. El mismo deberá de contar con almacenamiento externo, que permite guardar las mediciones de manera a tener un respaldo de todos los datos medidos.

Especificaciones técnicas.

- Tensión de alimentación (Vin) : 7V – 24V.
- Tensiones de salida : Vin, 5V.
- Protocolos de comunicación : SDI – 12, Analógico 0 – 5V, RSR-232.
- ADC : 13 bits
- Almacenamiento de datos : MicroSD y otros
- Formato de archivos : Texto plano (.txt)

### • Energía

12 VDC, Unidad de regulación de tensión de 12 VDC. Batería de respaldo, con autonomía de por lo menos 48 horas. Debe permitir alimentación de manera automática desde un panel solar.

### Especificaciones del sensor de nivel

- Tiempo de muestreo : < 1.5 s
- Salidas : SDI-12 (v 1.3) 1200 bps; RS-232 9600 bps
- Resolución de nivel de agua : 0.0035% FS
- Resolución de temperatura de peor caso : 0.006°C
- Temperatura de almacenamiento seco : -10° to +80°C
- Rango temperatura funcionamiento : 0° to 60°C
- Precisión de temperatura : ±0.2°C
- Sobrepresión : 2 x rango de presión
- Alimentación : 6 to 18 Vcc
- Material del cuerpo : Acero inoxidable 316L

### Gabinete o Armario de preservación:

1. Material de construcción: Material anticorrosiva liviana.
2. Estándar de Protección: IP 65 o NEMA 4X
3. Detalles a incluir:
  - a. Cerradura para tablero con llave



Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

4. De preferencia, el mismo debería contar con la siguiente dimensión mínima: 60 cm x 50 cm x 25 cm (altura, ancho, profundidad).

### Instalación y puesta en marcha

Instalación completa de los sensores, el equipo de transmisión y el equipo de alimentación (Panel solar y batería). Realizar la calibración a los sensores tomando como referencia la regla limnométrica más cercana al sitio de instalación, la misma será definida por el responsable de la contratante.

Instalación de ductos, registros y cualquier otra estructura necesaria para la correcta instalación y funcionamiento de los equipos.

Los sitios donde serían instalados los equipos son:

- Puerto Rosario – SARCOM (-24.464174, -57.152197)



- Ruta Villeta-Alberdi – TERPOR (-25.612371, -57.607091)



### Transmisión de datos por un año

Correspondientes a la provisión de un chip de telecomunicación para la transmisión de los datos durante el periodo de un año, desde la instalación de los equipos.

### Mantenimiento

Estará a cargo de la empresa adjudicada el mantenimiento preventivo trimestral de los equipos por periodo de un año a partir de la fecha de instalación.

Roger Monto Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183



## **Anexo 10: Plan de Trabajo y Tdr para mediciones de caudal con capacitación**

A fin de mejorar el conocimiento del comportamiento hidráulico del río Paraguay se han previsto efectuar 2 campañas de medición de caudal cerca de Asunción con un programa de capacitación en mediciones de caudal en ríos.

La actividad está prevista efectuarse en la última fase (semestre) del proyecto.

A continuación se presenta el plan de trabajo y términos de referencia para la contratación de un consultor y equipo para efectuar el servicio.

### **“Servicio de medición de caudales en el río Paraguay en Asunción con entrenamiento y capacitación” CONACYT 14-INV-280** **Términos de Referencia**

#### **Título de la Consultoría**

Mediciones de caudal o aforos en el río Paraguay para el Proyecto 14-INV-280  
“Sistema de Pronóstico de Niveles y Caudales del Río Paraguay”

#### **1. Objetivo de la Consultoría**

Contar con los servicios de un consultor para efectuar 3 campañas de aforo en el río Paraguay incluyendo entrenamiento y un taller de capacitación

#### **2. Actividades**

Las actividades mínimas, sin perjuicio de los que el/la consultora considere necesarios para el logro de los objetivos propuestos son:

##### **2.1 Tres mediciones de caudales en el río Paraguay en Asunción**

El trabajo consiste en la realización de tres mediciones de caudales en una sección transversal, preferentemente en la sección de medición donde la ANNP ya ha realizado. Las mediciones se efectuarán en diferentes niveles del río.

##### **2.2 Capacitación técnica**

Entrenamiento a dos ingenieros junior, para próximas mediciones a ser realizadas. Estos ingenieros serán designados por la Dicia-UCA o el consultor.

##### **2.2 Taller de capacitación**

Al finalizar las tres campañas se efectuara un taller de capacitación dirigido a los miembros del equipo de trabajo del proyecto 14-INV-280 y abierto a técnicos de las instituciones nacionales con competencia en la gestión de recursos hídricos. El taller se efectuara en las instalaciones de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Católica de Asunción.

  
Roger Monte Dombois  
Ing. Civil  
R.P. 590183

  
Hoja 123  
Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

### 3. Metodología y Plan de Trabajo

#### 3.1 Metodología para las mediciones de caudal

Las mediciones de caudal y las velocidades se efectuarán con equipos disponibles a nivel nacional con (i) velocímetros tipo molinetes en diferentes verticales del curso de agua o con (ii) Equipo Perfilador de Corriente Acústico Doppler, conocido como ADCP (**A**coustic **D**oppler **C**urrent **P**rofiler), con estas mediciones se obtiene la batimetría de la sección, las velocidades del agua y el caudal que atraviesa la sección.

En ambos casos (i) y (ii), se deberán seguir las reglas que son de práctica habitual para la ejecución de aforos y conforme con las normas de la guía de prácticas hidrológicas OMM-168 ([http://www.whycos.org/chy/guide/168\\_Vol\\_I\\_es.pdf](http://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_I_es.pdf)). En esta propuesta se presentan dos metodologías posibles. La definición del método utilizado será acordado con el Coordinador Técnico del proyecto 14-INV-280 y en función a las condiciones del río y los equipos disponibles a nivel local.

##### (i) Método de velocidad-área

La medición del caudal utilizando el método de velocidad-área aparece explicada en la figura 1 La profundidad del flujo en la sección transversal se mide en las verticales seleccionadas, al tiempo que se mide la profundidad, se efectúan observaciones de la velocidad mediante un molinete en uno o más puntos de la vertical. Las anchuras, profundidades y velocidades medidas permiten calcular el caudal para cada segmento de la sección transversal. La suma de estos caudales parciales será el caudal total (ISO, 1979b).

Para el posicionamiento de la embarcación sobre el perfil transversal donde se realiza la medición de velocidades se podrán utilizar sistemas de telemetría o prácticas de. La profundidad puede ser leída directamente con ecosonda, o se hará descender primero el molinete y el lastre hacia el fondo hasta que la parte inferior del lastre toque la superficie del agua, en cuyo momento la lectura del dial se fijará en cero. Luego se inicia las mediciones de las revoluciones en cada punto de las verticales que como mínimo debe ser 10 verticales y con las ecuaciones de cada molinete se determina la velocidad que en el río Paraguayo deben ser cinco puntos por verticales

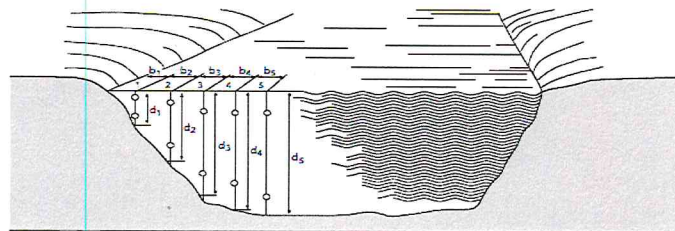


Figura 10.1. Vista de una sección transversal de una corriente

##### (ii) Método mediante instrumentos de efecto Doppler

Otro método que se podrá utilizar para hacer las mediciones son Los instrumentos ADCP que deben ser instalados en una embarcación en movimiento, por ejemplo en un bote

hinchable o una lancha adecuada para el equipamiento (figura 2). El instrumento mide simultáneamente la velocidad y profundidad del agua y la trayectoria de la embarcación para calcular el caudal. Este método permite calcular el caudal a medida que la embarcación atraviesa el río.

El resultado de una medición no es suficiente para proporcionar un valor exacto del flujo/caudal; únicamente proporciona una imagen instantánea del flujo. Para conseguir un valor más exacto del caudal del río es importante calcular el promedio de varias travesías. Para calcular el caudal en un emplazamiento se recomienda efectuar como mínimo cuatro travesías. Será necesario que el instrumento se comunique con una computadora que calcule el caudal. El número de travesías dependerá de la diferencia entre las mediciones del caudal. Si el caudal correspondiente a cualquiera de las cuatro travesías difiriera en más de un 5 por ciento, se efectuarán como mínimo cuatro travesías adicionales para obtener la medición del caudal a partir del promedio de las ocho travesías. En ocasiones se efectúa un número mayor de travesías para reducir los posibles errores sistemáticos de la dirección. El usuario deberá configurar los instrumentos antes de comenzar las operaciones. El modo de configuración seleccionado dependerá de las condiciones en el emplazamiento (profundidad y velocidad del agua, etc.) en el momento de la medición. Será importante seleccionar el modo adecuado para conseguir la mayor exactitud de las mediciones del caudal. El usuario ha de determinar la profundidad y distancia adecuadas desde el ADCP hasta las márgenes, y se asegurará de que el cabeceo y balanceo y la velocidad de la barca/instrumento se sitúan dentro de unos límites aceptables durante las mediciones. Un error sistemático en alguna de éstas podría dar lugar a un importante error sistemático en los valores del caudal resultantes

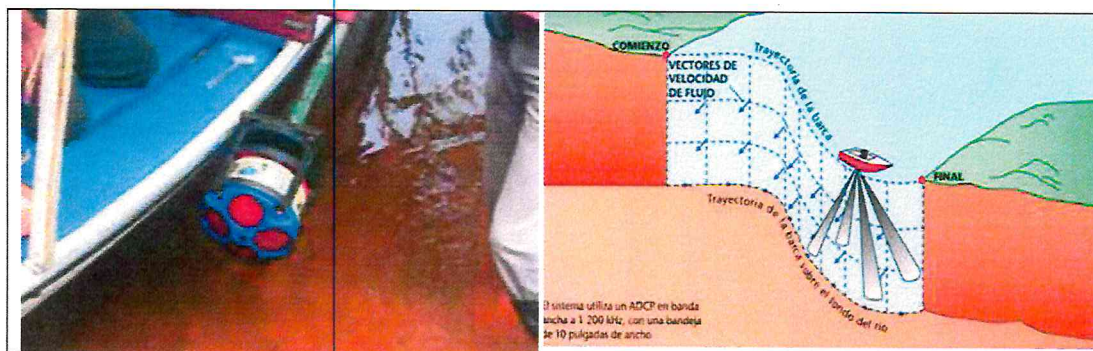


Fig. 10.2 Transductor para medición de caudal

Figura 10.3 Configuración típica de una medición con un instrumento de efecto Doppler

### Equipamientos necesarios para las mediciones

- Una embarcación tipo deslizadora con capacidad para 6 personas
- Equipos de medición
- Notebook para registrar las mediciones
- 4 personal técnicos:      Un ingeniero

Un operador de computadora

Un timonel para conducir la embarcación

Un marinero

- Dos Ingenieros junior a ser capacitados

Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

## 4 Productos esperados

### 4.1 Reporte de las mediciones de caudal

El consultor deberá presentar un informe detallado del resultado obtenido de cada medición al finalizar cada campaña. Los mismos deben ir acompañado de registros fotográficos

El informe debe contener las fechas, el nivel del río en la fecha que se realizó la medición, el perfil batimétrico de la sección de aforo y las velocidades obtenidas, de acuerdo al método que fueron obtenidos las velocidades.

### 4.2 Informe final

Luego de finalizar el taller de capacitación se entregara un informe final con los resultados de las campañas de aforos y del taller de capacitación.

## 4. Presupuesto

<b>Medición de caudal y entrenamiento</b>	
Cada medición tiene un costo unitario de Gs. 15.000.000 incluido la provisión del equipamiento requerido, los recursos humanos y logística, y el entrenamiento técnico Total para 3 campañas de mediciones	
<b>Taller de capacitación</b>	
Organización del evento y preparación del material didáctico de apoyo en formato digital	
<b>Presupuesto total</b>	

## 4.- Plazo de ejecución

El plazo de duración del contrato es esta culminar los trabajos previstos en la presente propuesta, enero 2018

## 5.- Dependencia y Supervisión

La consultoría trabajará bajo la supervisión directa del Investigador Principal del Proyecto, quien tendrá la responsabilidad de aprobación de los productos, y coordinará sus actividades con el equipo técnico.

## 6. Forma de pago

Los productos requeridos, intermedios y final, deberán ser entregados en los plazos previstos, en los formatos indicados, y deberán contar con la aprobación del Investigador Principal del Proyecto. La forma de pago será la siguiente:

Tres pagos a realizarse de la siguiente forma:

- A la firma del contrato 40 % de anticipo
- A la entrega del informe de la segunda medición 30%
- A la entrega del Informe de la tercera medición 20 %
- Al finalizar el taller de capacitación 10 %

Las propuestas deberán contener los siguientes:

- o Propuesta técnica, incluido CV del equipo técnico
- o Propuesta Económica (en Guaraníes)

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590123



## **Anexo 11: Plan de trabajo y Tdr para el portal web del proyecto**

Esta actividad está prevista realizarse en la última fase (semestre) del proyecto.

Con el equipo de investigación se diseñó el plan de trabajo, el cual se presenta como términos de referencia para un llamado a concurso de consultor

### **“Sistema de Pronóstico de Niveles y Caudales del Río Paraguay” CONACYT 14-INV-280 Términos de Referencia**

#### **Título de la Consultoría**

Desarrollo de un Portal Web para el Proyecto 14-INV-280 “Sistema de Pronóstico de Niveles y Caudales del Río Paraguay”

#### **Objetivo de la Consultoría**

Contar con los servicios de un consultor para diseñar y desarrollar el portal web a fin de comunicar las diferentes actividades del proyecto y de publicar los resultados obtenidos en el mismo.

#### **Actividades**

Las actividades mínimas, sin perjuicio de los que el/la consultora considere necesarios para el logro de los objetivos propuestos son:

1. **Análisis**  
Revisión de los objetivos, actividades y resultados esperados en el proyecto a fin de establecer la estructura y categorización de contenidos necesaria para el Portal Web.
2. **Estructuración Web de los Datos**  
Estructuración web de los datos utilizados en el Proyecto, como datos espaciales, datos de suelo, datos de uso de suelo, datos hidroclimáticas, datos hidrométricos y pronósticos hidrológicos.
3. **Diseño del Portal Web**  
Diseño y desarrollo de un nuevo Portal Web, adaptable a los distintos formatos de dispositivos móviles, de tal forma a permitir una correcta visualización del contenido de las distintas secciones y contenidos. Definición de logotipos, logos e imágenes a ser incrustadas en el sitio. Diseño de banners a ser agregados en las páginas del Portal. Diseño de la tipografía a ser utilizada. Diseño de íconos emblemáticos si fuese necesario según el relevamiento. Los contenidos deben permitir la anexión de etiquetas de búsquedas, que generan metadatos que puedan ser indexados a futuro para una búsqueda global. Ej: Documentos científicos, noticias, papers, comunicados, reportes. Estas etiquetas deben ser dinámicas, es decir, el Administrador del Portal web deberá contar con la posibilidad de agregar nuevas etiquetas, y que las mismas sean aplicadas a las nuevas publicaciones levantadas en cualquiera de las secciones.
4. **Administración de Contenidos**  
Como principal característica del Portal Web deberá incluir un gestor de contenidos, que permita manejar la información. El gestor de contenidos deberá permitir la administración con administraciones independientes y cooperantes,

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Hoja 127  
Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

en donde determinados Roles podrán permitir la publicación y actualización del contenido.

**5. Rutinas de Mantenimiento**

El proveedor deberá realizar todas las rutinas de instalación y mantenimiento necesarias para asegurar el óptimo desempeño del portal, y visualización on-line de los avances del proyecto, brindando el soporte requerido durante el período de implementación.

**6. Sistemas de Seguridad y Respaldo**

Brindar sistemas de backup autorizados a fin de evitar inconvenientes. Prever aspectos de seguridad contra intentos de ataques de entes externos con fines maliciosos.

**7. Buscadores**

Implementación y gestión del sitio para buscadores, logrando posicionamiento especializado para los buscadores tradicionales.

**8. Estadísticas**

Agregar gestores de estadísticas al sitio web.

### **Productos esperados**

Al término de la Consultoría, con la aprobación de la convocante, se esperan los siguientes productos:

Diseño del Portal Web del Proyecto

Publicación Web del Portal Web del Proyecto

Se espera que cada producto cumpla con cada una de las actividades mencionadas a fin de cubrir los requerimientos de los objetivos y brindar un producto de vanguardia.

### **Requerimientos Técnicos**

Los productos esperados deben ajustarse a los siguientes requerimientos técnicos:

**1. Portal Web**

- Utilización de un gestor de contenidos, auto administrable de código abierto (open source)
- Formato responsivo, compatible con tablets y dispositivos móviles (smartphones)
- Integración con redes sociales más conocidas (Facebook, Twitter), visualización en el Portal web de las actividades en Facebook y Twitter.
- Agregar Metadatos al Site para la optimización de las búsquedas en los principales buscadores. (Google, Bing, Yahoo) y portales de búsquedas científicas especializadas.

Testeado con los siguientes navegadores: Internet Explorer 11, Edge (última versión), Chrome (última versión), Firefox (última versión), Safari (última versión) y Ópera (última versión)

### **Perfil del/la Candidato/a**

*El/la profesional o Empresa* deberá acreditar los siguientes requisitos:

Graduado universitario de las carreras de Ciencias Informáticas, Ingeniería Informática, Análisis de Sistemas, o afines.

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 550183



Hoja 128

Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



Experiencia probada de trabajos de apoyo administrativo, diseño web, programación en lenguajes open source, instalación, configuración y mantenimientos de servidores software libre.

Experiencia de trabajo en grupos interdisciplinarios.

Experiencia de trabajo relacionado a redes y sistemas informáticos, y desarrollo y actualización de página web.

Experiencia en trabajos con el sector gubernamental.

### **Duración de la Contratación, Lugar de Trabajo y Período de Trabajo**

El período de contratación será por 90 días (tres meses) y el/la profesional seleccionada prestará sus servicios en las oficinas de su propiedad, y deberá mostrar los avances de los trabajos por lo menos una vez a la semana.

### **Dependencia y Supervisión**

La consultoría trabajará bajo la supervisión directa del Investigador Principal del Proyecto, quien tendrá la responsabilidad de aprobación de los productos, y coordinará sus actividades con el equipo técnico.

### **Forma de Pago**

Los productos requeridos, intermedios y final, deberán ser entregados en los plazos previstos, en los formatos indicados, y deberán contar con la aprobación del Investigador Principal del Proyecto. La forma de pago será la siguiente:


Producto	Fecha	Forma de Pago
Diseño del Portal Web del Proyecto	Noviembre 2017	50%
Publicación Web del Portal Web del Proyecto	Enero 2018	50%

### **Presentación de Propuestas**

Las propuestas deberán contener los siguientes:

- Propuesta técnica, incluido CV del equipo técnico
- Propuesta Económica (en Guaraníes)

  
Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferrera  
Rector

  
Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 590183

## **Anexo 12: Informe de Actividades de Consultores del proyecto**

### **12.1 Informe – Investigador Principal – Ing. Roger Monte Domecq**

- (a) Supervisión de todas las actividades del proyecto, elaboración del plan de trabajo general del equipo y supervisión de las actividades de cada consultor.
- (b) Definición y ejecución del plan financiero, en coordinación con el responsable administrativo
- (c) Gestión institucional para la obtención de datos en diversas instituciones públicas vinculadas a los datos requeridos para el proyecto: ANNP, SEAM, Disergemil, DMH Dinac e universidades con proyectos antecedentes.
- (d) Elaboración del informe de Avance semestral, en coordinación con los miembros del equipo de investigación
- (e) Participación en eventos de presentación del proyecto

### **12.2 Informe – Co Investigador 1- Lic MSc, Julián Báez**

- (a) Gestión de obtención de datos hidroclimáticos

La gestión de los datos hidroclimáticos consistió en la recopilación de la información disponible relacionada a la precipitación y los niveles hidrométricos. Se obtuvieron datos de la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil.

También se recopilaron datos de estaciones hidrométricas a lo largo del Río Paraguay existente en la base de datos de la DMH cuyas mediciones corresponden a la ANNP.

Luego de la recopilación se procedió al procesamiento a cargo del equipo de trabajo, ejecutando tareas de supervisión de datos.

- (b) A su cargo la coordinación del modelo estocástico del río Paraguay, en proceso de construcción (Anexo 4)
- (c) Diseño del plan de trabajo y términos de referencia para la instalación de estaciones hidrométricas automáticas (Anexo 9)

### **12.3 Informe – Co Investigador 2: José Luis Avila**

#### **Actividades según Contrato**

#### **1.- Introducción**

En esta etapa del proyecto se trabajó sobre tres puntos específicos del contrato:

- a. Supervisar el proceso de instalación de 2 estaciones hidrométricas automáticas en el río Paraguay
- b. Supervisar la base de datos del proyecto: datos hidrométricos y topobatemétricos del río Paraguay.
- c. Supervisar la Sistematización de datos hidrométricos disponibles y elaboración del análisis de consistencia de datos hidrométricos

- a. **Selección de los sitios de instalación de 2 estaciones hidrométricas automáticas en el río Paraguay**

Roger Monte Domecq  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Phro. Dr. Nardo Velazquez Ferreira  
Rector

Los lugares que se escogieron para la instalación son una la norte de Asunción, Puerto Rosario y otra al sur en Guyrati, en ese sentido se eligió los lugares considerando en primer lugar, la necesidad de contar con estaciones en puntos estratégicos e importantes del río Paraguay y que los datos de niveles puedan tener continuidad en las mediciones, lo cual ayudara a tener más certeza en el resultado esperado al final del proyecto.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta para la elección del lugar donde instalar, es la seguridad contra el vandalismo, para ese fin se contactaron con puertos privados que ofrecen además de la seguridad, la continuidad en el tiempo. En Puerto Rosario se eligió puerto Amista de la firma Sarcom y en Guyrati el puerto Terport que está en construcción.

**b. Supervisar la base de datos del proyecto: datos hidrométricos y topobatemétricos del río Paraguay.**

Las batimetrías del río necesario para la implantación del modelo hidráulico son trabajos realizados por la ANNP en el año 2016.

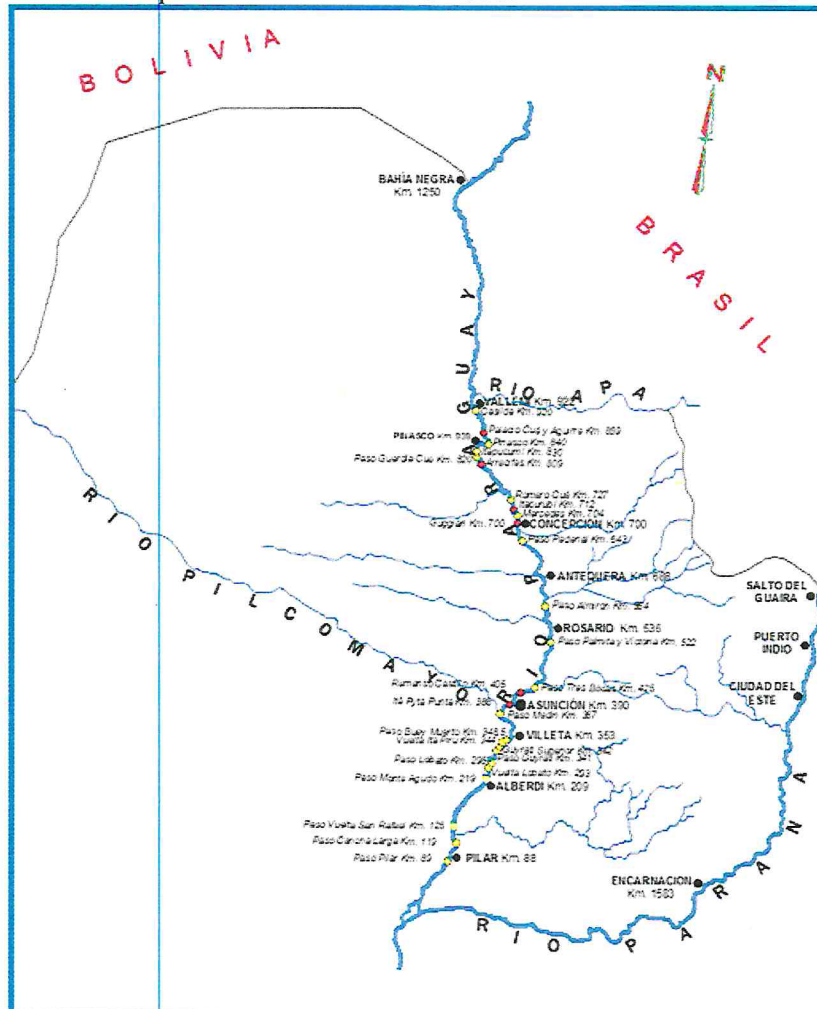


Fig. 12.1: Sitios con batimetrías del río Paraguay disponibles (ANNP/MOPC)

Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferret  
Rector

**c. Supervisar la Sistematización de datos hidrométricos disponibles y elaboración del análisis de consistencia de datos hidrométricos**

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.P. 550133

#### c1. Verificación y control de los datos digitalizados por métodos analíticos y gráficos

La verificación de los datos digitalizados consistió en la revisión individual de cada archivo de datos en la que se identificó y registró la cantidad de años con datos faltantes, años sin datos y años con datos completos.

El control de calidad de los datos digitalizados se realizó utilizando métodos analíticos y gráficos.

Se identificaron dos casos de errores en la serie de datos:


I. Cuando existía disparidad entre los valores calculados y registrados en planillas o anuarios. En este caso se verificó cada dato individualmente en el mes y año correspondiente y, de confirmarse el error en el valor de algún dato, el mismo así como el de la suma, se modificó y marcó con un color de fondo amarillo. La modificación del dato se realizó en función de los datos adyacentes respetando la tasa de variación de los niveles diarios, visualizado en el limnigrama correspondiente. Es importante señalar que fueron modificados únicamente aquellos datos cuyos errores eran muy evidentes. En este sentido, no fueron modificados los datos con errores sistemáticos.


II. Cuando el error se constataba en la suma de las planillas originales o de los anuarios y los datos diarios digitalizados eran correctos, simplemente se procedía a marcar el valor de suma con un color de fondo amarillo de manera a llamar la atención del usuario sobre esta situación. Cabe señalar que este último caso fue el más corriente, es decir, se encontraron más errores en las sumas mensuales de las planillas originales y de los anuarios hidrográficos. En la Figura 3 puede observarse un ejemplo de los errores antes descritos.

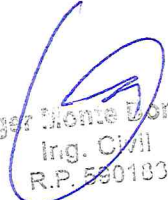
#### 12.4 Informe de actividades – Ing. MSc Roberto Takahashi (hasta abril 2017)

La implementación y actualización de la base de datos en el HEC-DSS de niveles del Río Paraguay fue la principal actividad desarrollada.

En la siguiente figura se observan los datos cargados hasta noviembre de 2016 para la estación de Asunción, febrero de 2017 para la estación de Concepción y 2007 para la estación de Puerto Murtiño.

  
Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



  
Roger Monte Lombardi  
Ing. Civil  
R.P. 550183

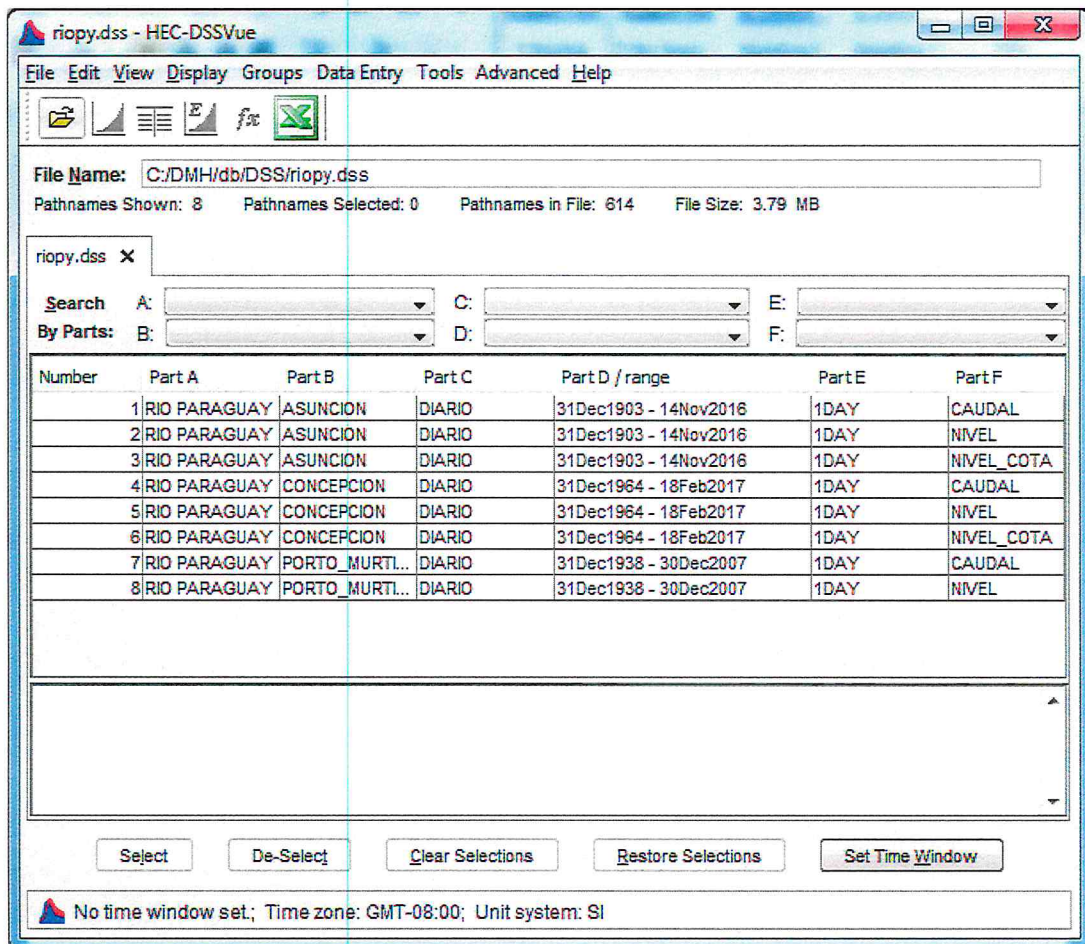


Fig. 12.3: Base de datos del proyecto

La ecuación utilizada para convertir los niveles a caudales para la estación de Asunción es la siguiente:

**Curva H-Q Asunción (H=nivel de regla hidrométrica en metros)**

$$Q = 885 + 774.059 \times H - 76.563 \times H^2 + 13.7967 H^3$$

La ecuación utilizada para convertir los niveles a caudales para la estación de Concepción es la siguiente:

**Curva H-Q Concepción (H=nivel de regla hidrométrica en metros)**

$$Q = 547.43 + 583.57 \times H + 26.18 \times H^2$$

De la tesis de Takahashi se recopiló la ecuación altura-caudal para la estación de Puerto Murtiño, en la cual corresponde a una estimación hecha encontrando la mejor aproximación polinomial, la cual obtuvo un  $R^2=1$ , mediante el análisis de los datos de niveles y caudales para la serie de tiempo existente.

**Curva H-Q Puerto Murtiño (H=nivel de regla hidrométrica en metros)**

$$Q = 29.063 H^2 + 364.28 H + 229.89$$

También se ha recopilado la información correspondiente a la tesis de Takahashi, para la implementación de la topobatimetría del Río Paraguay. El mejoramiento de la información fue la de realizar de vuelta la interpolación de los datos batimétricos y una suavización de la topografía correspondiente a la planicie de inundación en el tramo Puerto Murtiño a Asunción.

La siguiente figura muestra la topografía y batimetría junto con las secciones transversales implementadas para el modelo desde Concepción a Asunción.

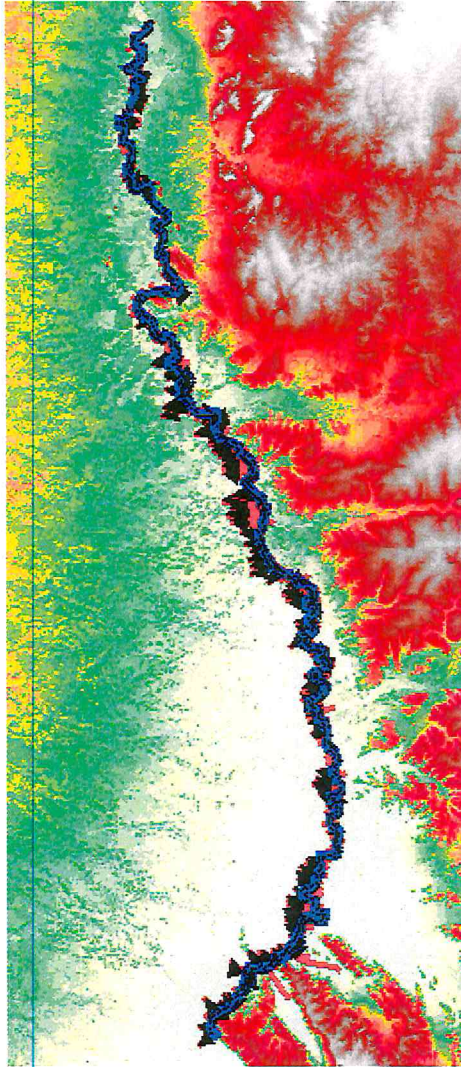


Fig. 12.4 Secciones al norte de Asuncion

Estos resultados preliminares corresponden a la conformación e implementación del modelo hidrodinámico en el programa HEC-RAS. Los caudales que son simulados en el HEC-HMS son almacenados en el HEC-DSS y luego utilizados en el HEC-RAS. El sistema de base de datos HEC-DSS es el medio por el cual se acoplan los resultados hidrológicos al modelo hidráulico. El modelo hidrológico por su parte requiere de procesamientos minuciosos en el que se deben caracterizar las cuencas a modelar. Estos procedimientos aún están siendo llevados a cabo los cuales están en su fase de delimitación y obtención de características morfológicas.

## 12.5 Informe Investigador Junior. Ing. Alberto Grissetti

Informe Investigador. Alberto Grissetti



Responsabilidades según contrato (hasta Mayo del 2017)

- Asistir al consultor para el desarrollo e implementación de los modelos hidrológicos e hidráulicos
- Recopilar y controlar la calidad de la información disponible relacionada a parámetros hidrológicos, climatológicos y geográficos espaciales del área del proyecto
- Asistir la implementación de los modelos hidrológicos e hidráulicos del proyecto

Actividades realizadas.

- Modelo conceptual en HEC-HMS

Con la delimitación de las cuencas realizadas anteriormente (figura 12.5) se generó el modelo conceptual en el HEC-HMS, que sistematiza el proceso hidrológico de cada subcuenca, desde la generación de escorrentía por la precipitación hasta el tránsito de hidrogramas.

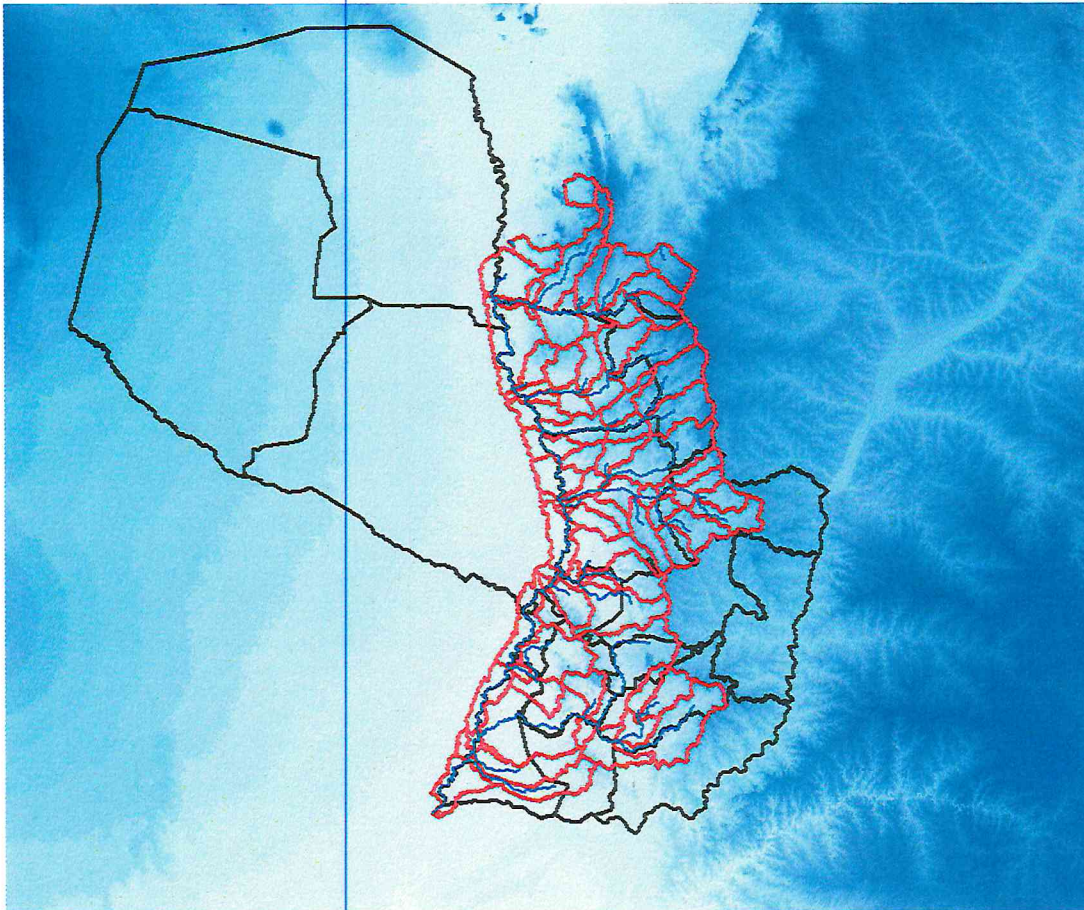


Fig. 12.5: Modelo conceptual en Hec Hms

El resultado se muestra en la figura 12.6 con esto, se representa cada subcuenca que transcurre a un nudo (junction) y de ahí a través de los tramos de los ríos (reachs). Para cada elemento de este modelo, se calculan los parámetros de acuerdo al método seleccionado.

  
[Firma manuscrita]  
Ing. Civil  
R.P. 590183

  
[Firma manuscrita]  
Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector  

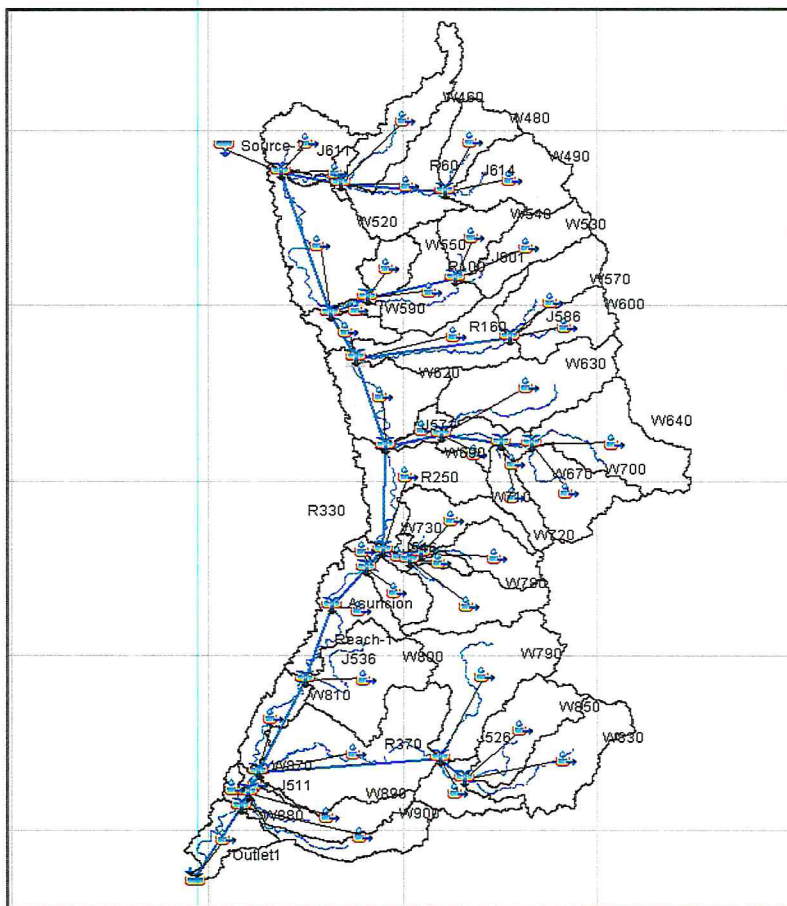



Fig. 12.6: Organización de sub cuencas en Hec Hms

- Recopilación y sistematización de datos meteorológicos.

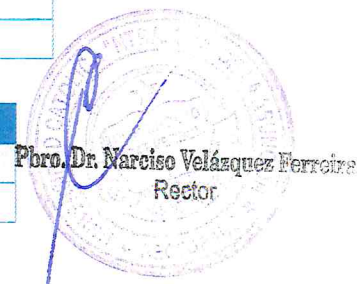
Se utilizaron datos de la Dirección de Meteorología e Hidrología, por todo el periodo correspondiente a cada estación, se adecuó las series al formato requerido y se cargaron en la base de datos del HEC-DSS del proyecto. En la tabla x se muestran los periodos disponibles de precipitación y caudal en las estaciones utilizadas.

Estación	Tipo	Periodo disponible
Asunción	Pluviométrica	1/10/1959 - 20/2/2016
Concepción	Pluviométrica	11/6/1959 - 20/2/2016
Coronel Oviedo	Pluviométrica	1/11/1971 - 20/2/2016
La Victoria	Pluviométrica	1/1/1947 - 20/2/2016
Paraguari	Pluviométrica	1/1/1981 - 20/2/2016
Pedro Juan Caballero	Pluviométrica	1/1/1959 - 20/2/2016
Salto del Guairá	Pluviométrica	1/9/1975 - 20/2/2016
San Pedro	Pluviométrica	1/8/1994 - 20/2/2016
Santaní	Pluviométrica	1/9/1975 - 20/2/2016
Villarrica	Pluviométrica	1/1/1956 - 20/2/2016

Tabla 12.1 Estaciones pluviométricas utilizadas. Fuente DMH-DINAC

Estación	Tipo	Periodo disponible
Asunción	Hidrométricas	31/12/1903 - 14/11/2016
Porto Murinho	Hidrométricas	1/1/1939(- 31/12/2014

Tabla 12.2. Estaciones hidrométricas utilizadas. Fuente ANNP y ANA (Brasil)





### Responsabilidades según contrato (Mayo a Setiembre del 2017)

- Recopilar y sistematizar información existente relacionada a la hidrología, climatología y datos espaciales del territorio del proyecto y organizar en una base de datos para la modelación y el sistema de pronóstico para el río Paraguay y su cuenca.
- Monitorear parámetros hidrológicos en puntos seleccionados y de utilidad al modelo
- Calibración de Curvas Altura-Caudal.
- Implementar un modelo hidrológico e hidráulico.
- Capacitar sobre el modelo implementado

Actividades realizadas hasta la fecha.

- Procesamiento de datos

Para las secciones transversales utilizadas en el modelo hidráulico, del tramo comprendido entre la localidad brasilera de Porto Murtinho a Asunción, se procesaron los datos de las cartas de navegación de la ANA, en dónde se indican las profundidades del río Paraguay, estos datos se complementaron con batimetrías existentes realizadas por la ANNP, Figura 12.7.

Para la planicie de inundación, se utilizó el modelo digital de elevación, ya que por ser un río de planicie, en épocas de crecidas la lámina de agua inunda todo el valle. Por ello es necesario contar con una buena representación de las secciones transversales.

Mediante técnicas de geoprocésamiento, se mejoró cada sección transversal a fin de tener una transición más suave entre la planicie de inundación y el canal en sí.

En la figura 12.8 se ve una comparación entre una sección transversal bruta (abajo) y una sección modificada (arriba).

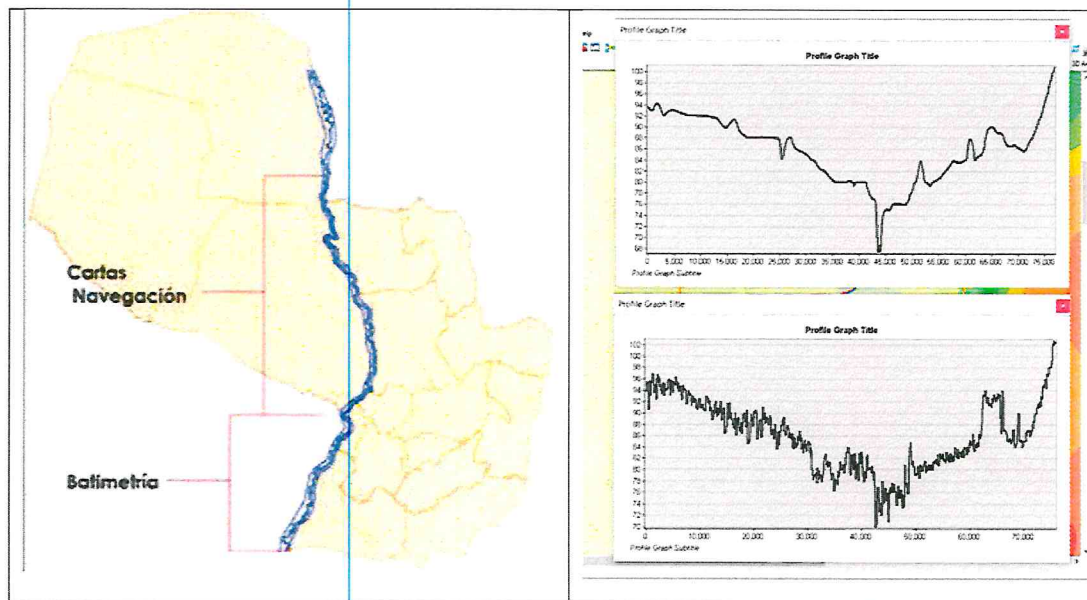


Fig. 12.7: datos topográficos del río

Fig. 12.8: Suavizado de secciones transversales

A partir de este nuevo DEM creado, suavizado y corregido, se trazaron las secciones transversales para el modelo hidráulico.

En cuanto a los caudales, se utilizaron los generados por el modelo hidrológico HEC-HMS, almacenados en el HEC-DSS y utilizados en el HEC-RAS. Como condición de contorno, se establecieron los caudales medidos en la estación de la ANA en Porto Murtinho (figura 12.9).



Fig. 12.9: Condiciones de borde del modelo hidráulico

▪ Implementación del modelo

En la figura 12.10 se visualiza el modelo desarrollado en HEC-RAS. Las secciones fueron trazadas cada 3 km e interpoladas cada 1.5 km.

Se trazaron secciones transversales cada 3km y luego se interpolaron cada 1.5 km (figura 12.11)n para tener una mayor cantidad de secciones transversales que facilitan el simulado.

De esta forma, para cada sección transversal se tiene un nivel de agua específico en cada día del periodo simulado, como se ve en la figura 12.11 a través de la interfaz del modelo.

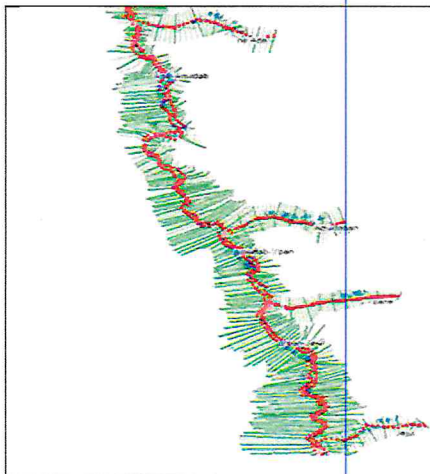


Fig. 12.10: vista general geometría del modelo

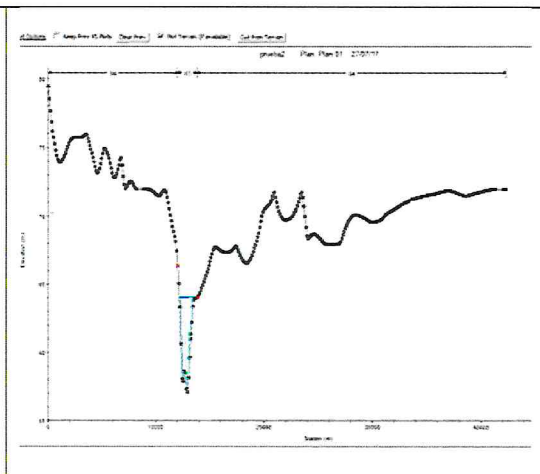


Fig. 12.11: Sección transversal del modelo

Con el procesamiento de estos datos y la estructuración en el modelo HEC-RAS se consiguieron resultados preliminares ya mostrados en el informe Anexo 3, vale acotar que estos variarán con la respectiva calibración de este modelo y el hidrológico.

Roger Mendo [firmado]  
 Ing. Civil  
 R.P. 580183

Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector  
 Hoja 138

## 12.7 Informe de actividades - Ing. Junior Jorge Manuel Mazó Cáceres

### Responsabilidades según contrato (Junio a Setiembre del 2017)

(Obs.: reemplazante del Ing. A. Grisetti)

- Asistir al consultor para el desarrollo e implementación de los modelos hidrológicos e hidráulicos
- Recopilar y controlar la calidad de la información disponible relacionada a parámetros hidrológicos, climatológicos y geográficos espaciales del área del proyecto
- Asistir la implementación de los modelos hidrológicos e hidráulicos del proyecto

Actividades realizadas.

- Recopilación y sistematización de datos

Se obtuvieron datos de caudal de la estación de la ANA en Porto Murtinho a través del sistema Hidroweb del mismo ente (figura 12.12, el periodo recabado es del 1/1/1939 al 31/12/2014). Los mismos fueron añadidos a la base de datos en HEC-DSS del proyecto (figura 12.13).

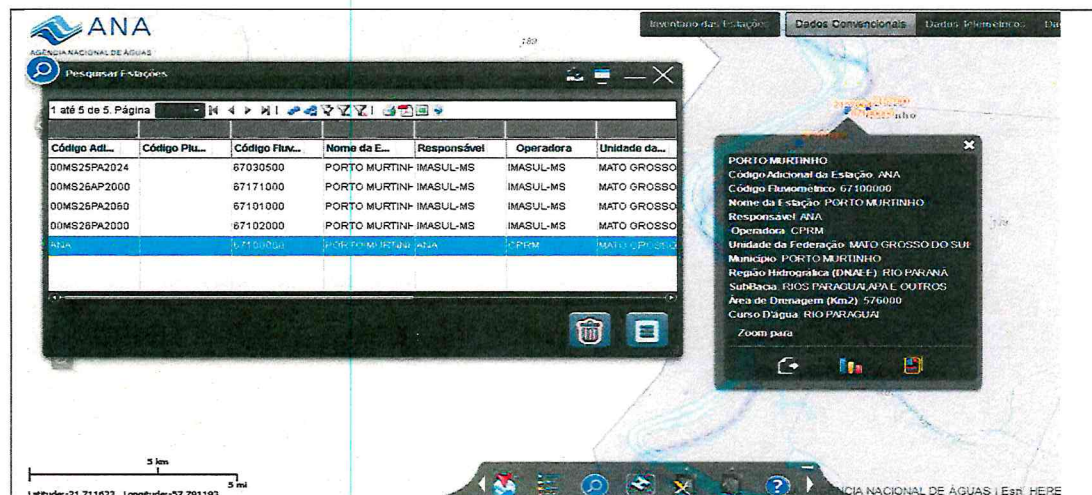


Figura 12.12: Interfaz del sistema Hidroweb de la ANA.

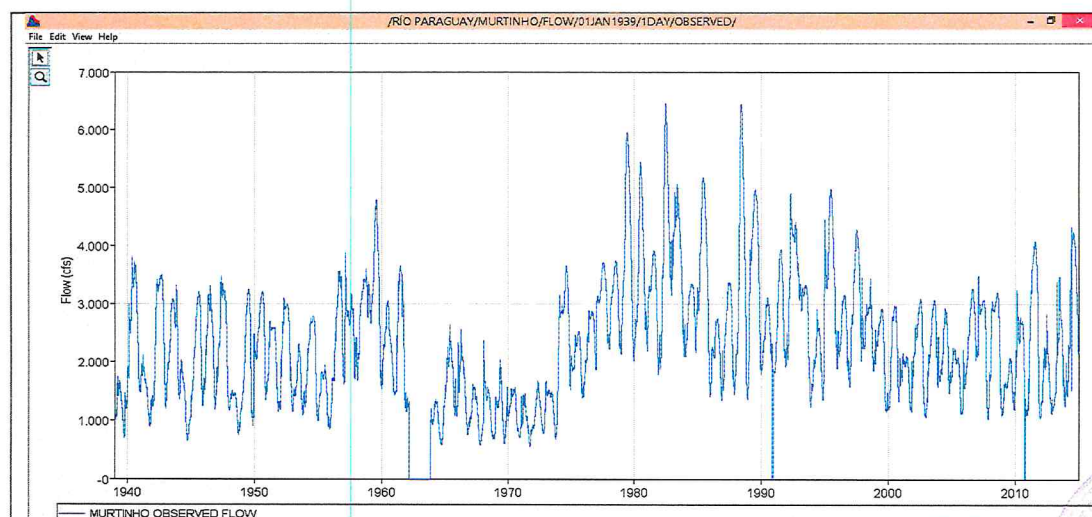


Figura 12.13: Caudal en Porto Murtinho recabados de la ANA y añadidos al HEC-DSS

Fue posteriormente utilizado como condición de contorno en el modelo hidrológico.

Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector

- Generación y carga de parámetros del modelo HEC-HMS

Para la transformación lluvia-caudal del modelo, se utilizó el Hidrograma Unitario de Clark, y para ello se calculó el Tiempo de Concentración por la fórmula DNOS, procedimiento ya detallado anteriormente. Los resultados se cargaron manualmente para cada subcuenca utilizada, figura 12.14.

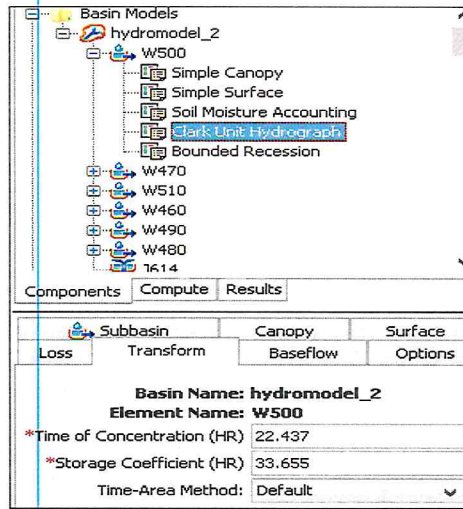


Fig. 12.14

Por otra parte, para el método de ruteo se utilizó el de Muskingum-Cunge, para ello, se generaron las secciones transversales de cada una de los 23 reachs del modelo, de la forma explicada en el informe general y fueron cargados al modelo a través del "Paired Data Manager" (figura 12.15). Por métodos de geoprocresamiento, se calculó la pendiente y longitud de éstas. Por otra parte, el n de Manning se estableció a través de inspección visual teniendo en cuenta los valores de ejemplo establecidos en Chow (1994), los datos cargados para el reach R30 se muestran en la figura 12.16.

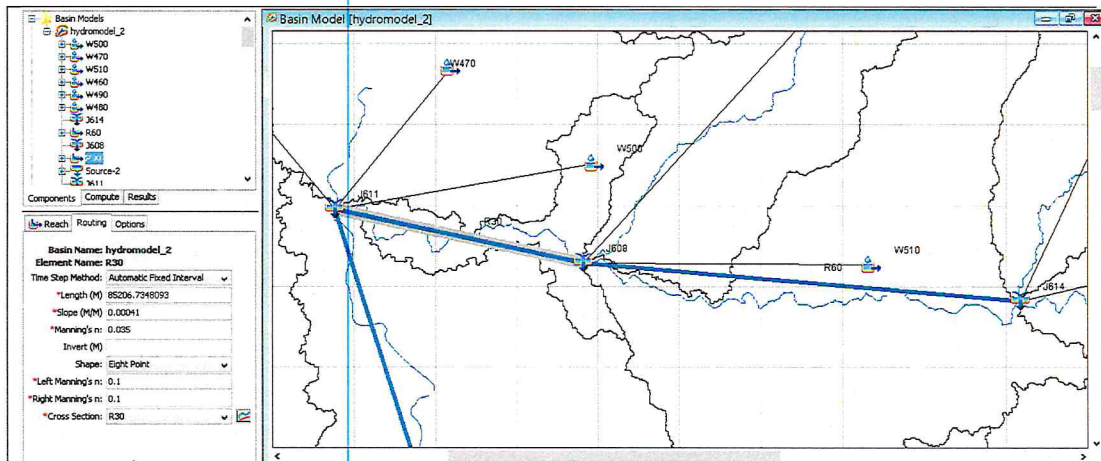


Figura 12.15. Método Muskingum – Cunge en el HEC-HMS

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferrera  
Rector

Ing. Civil  
R.P. 590183

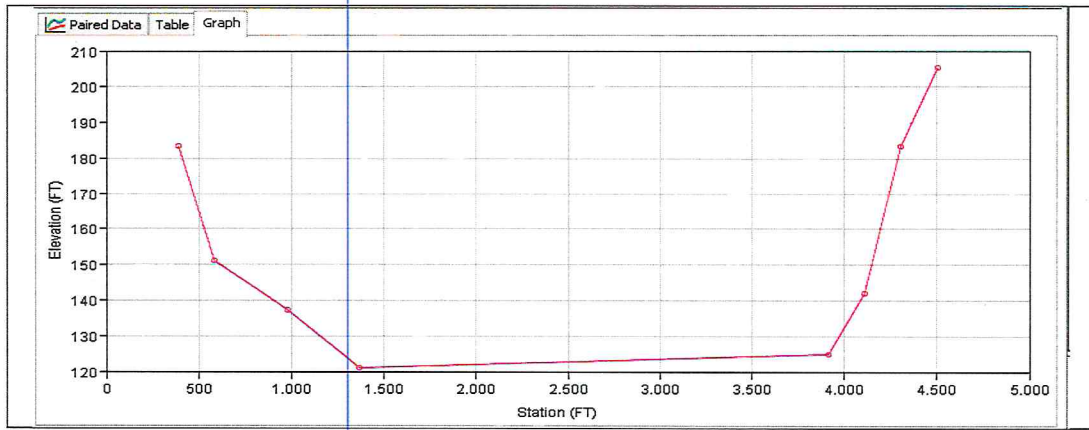


Figura 12.16 Sección transversal cargada al modelo hidrológico

- Simulación preliminar del modelo hidrológico HEC-HMS para la cuenca del río Paraguay.

Con los datos cargados, se generaron las primeras corridas del modelo, el periodo seleccionado fue del 2010 al 2015, los resultados se mostraron en la parte general. Además, para cada subcuenca, junction y reach, se tienen los resultados de los cálculos del balance hídrico ejecutados por el modelo (caudal, infiltración, intercepción, caudal base, etc.), como se muestra en la figura 12.17 y 12.18 para una subcuenca.

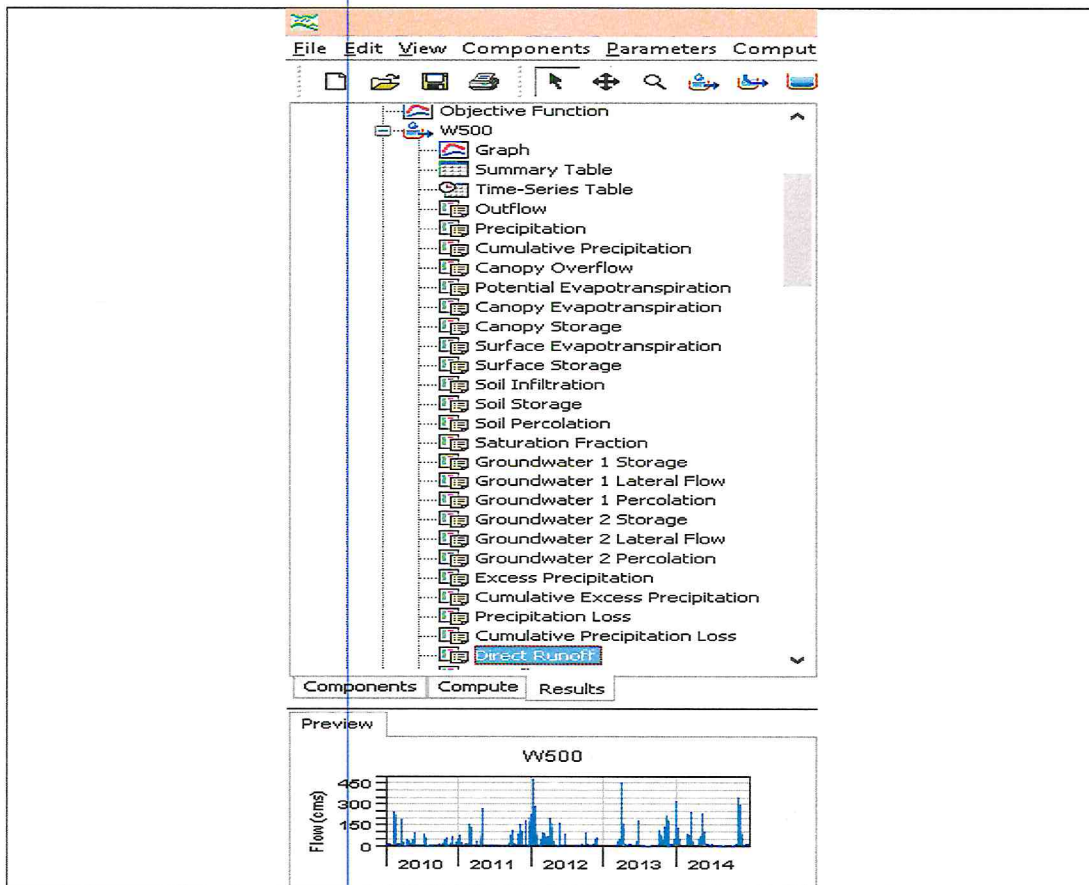
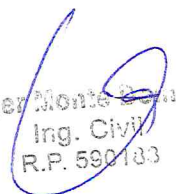


Figura 12.17 Cálculos realizados por el modelo

Roger Monte   
 Ing. Civil  
 R.P. 590183

Pbro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector  
  
 Hoja 141

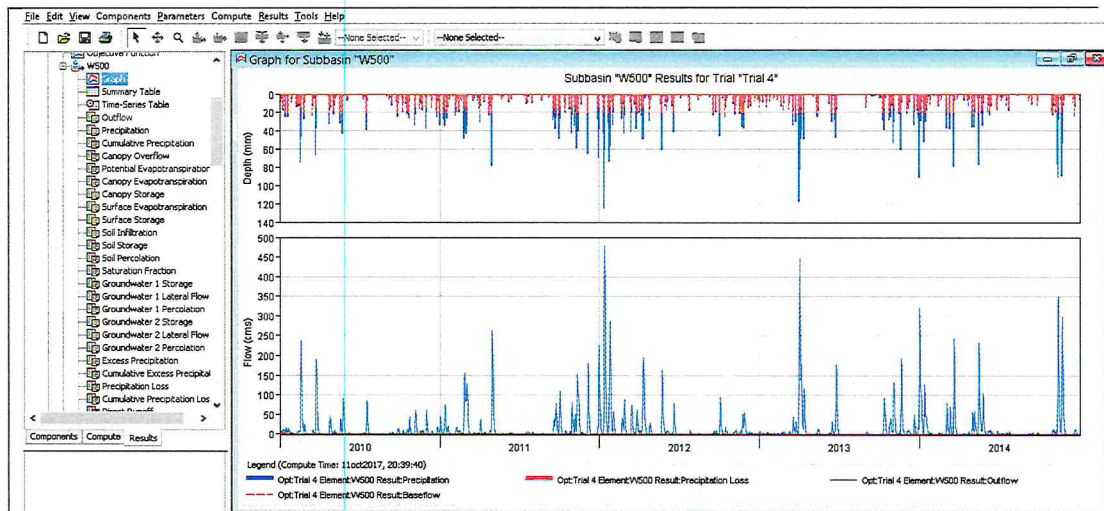


Figura 12.18 Precipitación y pérdida (arriba), caudal generado (abajo)

*[Handwritten signature]*

Roger Monte Domínguez  
 Ing. Civil  
 R.P. 590183



Pro. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
 Rector

## 12.8 Informe Estudiante (Ing. Ambiental UCA) Rosa Aseretto.

Responsabilidades según contrato:

-La sistematización de datos disponibles inicia con la recopilación de estos datos disponibles a nivel nacional y regional. De esta manera a continuación se listan los principales aspectos a tener en cuenta durante la recopilación:

- Antecedentes, estudios e informes previos relacionados al proyecto
- Información climática, precipitación, caudales, niveles, curvas altura-caudal,
- Información geográfica, mapa de cuencas existentes, ubicación de pluviómetros, ubicación de reglas hidrométricas, topografía nacional, batimetría, cartografía nacional de viviendas, caminos y principales servicios departamentales y municipales. Imágenes satelitales actualizadas (Landsat 8 y otros similares) necesarios para la definición de parámetros hidráulicos. Cartografía de tipos de suelo, y ordenamiento territorial.

### 1. Caracterización de las cuencas


Es el procedimiento por el cual se recopilan y generan los datos necesarios para obtener las características de las cuencas en el formato requerido por los programas computacionales.

### 2. Modelo hidrológico implementado

Consiste en la carga de datos generados por la caracterización de las cuencas, simulación y calibración del modelo.

Actividades realizadas:

- Revisión bibliográfica para estimación de datos :
  - Fattorelli, S. Fernández, P. (2011). "Diseño Hidrológico - Segunda Edición".
  - Gobierno de Cantabria, España (2004). "Plan de Investigación Integral para la Caracterización y Diagnóstico Ambiental en los Sistemas Acuáticos de Cantabria - Anejo N°2 (Descripción y Características del Programa HEC-HMS)".
  - Proyecto de racionalización del uso de la tierra, 1995
  - Sánchez, F.J. (2012). Manual Elemental (HEC-HMS). Departamento de Geología – Universidad de Salamanca, España.
  - Saxton, K.E, Rawes W.J. (2006). "Soil Water Characteristics Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions".
  - U. S. Army Corps of Engineers (2000). "Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual".
  - U. S. Army Corps of Engineers (2010). "Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual". Version 3.5.
- Estimación de Parámetros del Soil Moisture Accounting. (Para cada subcuenca)

  
Roger Monte Lombocel,  
Ing. Civil  
R.P. 590183



- **Retenciones por la vegetación (Canopy):** Ya que no se cuenta con mayores datos se utilizaron los valores de almacenamiento e intercepción propuestos por Vélez et al, para cada subcuenca.

Descripción	Almacenamiento (mm)	Intercepción (mm)
Bosque	4,5	9
Pastos o hierbas	6	3
Suelos denudo	1	0
Urbano alta densidad	5	1
Urbano baja densidad	3	2
Agua	0	0

- **Máxima Tasa de Infiltración:** Este criterio de estimación fue seleccionado porque permite estimar la Capacidad de Infiltración en función a la textura del suelo, y posteriormente aplicar un factor de corrección en función a la pendiente de la superficie

TEXTURA	Capacidad de Infiltración (mm/hr)
Arenoso	20
Franco Arenoso	12
Franco	10
Arcilloso	8
PENDIENTE	Coefficiente de Disminución (%)
<5	0
5 a 8	20
9 a 12	40
13 a 20	60
>20	75

- **Capas Superficiales del SMA:**

\* Se utilizo los datos del PRUT, como también ArcGis para establecer el tipo de suelo.

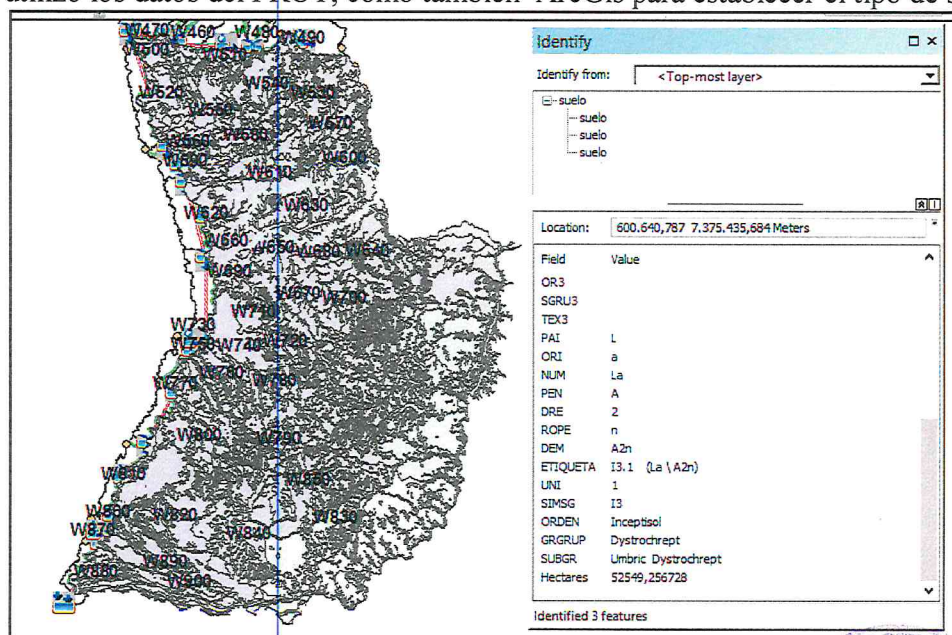


Fig. 12.19: Imagen Modelo conceptual en SIG.

Roger Monte Domínguez  
Ing. Civil  
R.F. 590183

Hoja 144  
Profr. Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector



\*Utilización de SoilGrids para la estimación de los datos de suelo (porcentaje de arena y arcilla).

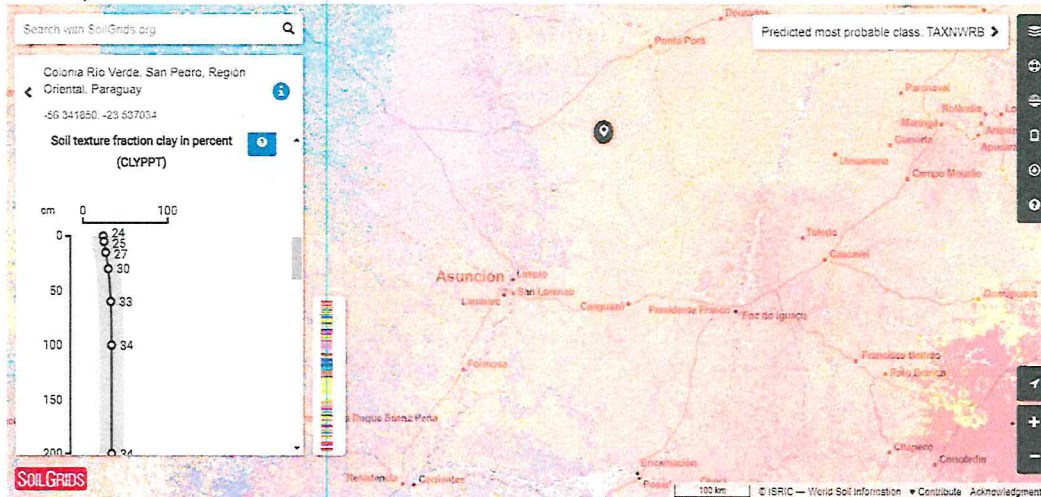


Fig. 12.20 Imagen 2. SoilGrids.

\*Utilización del software Soil Water Characteristics.

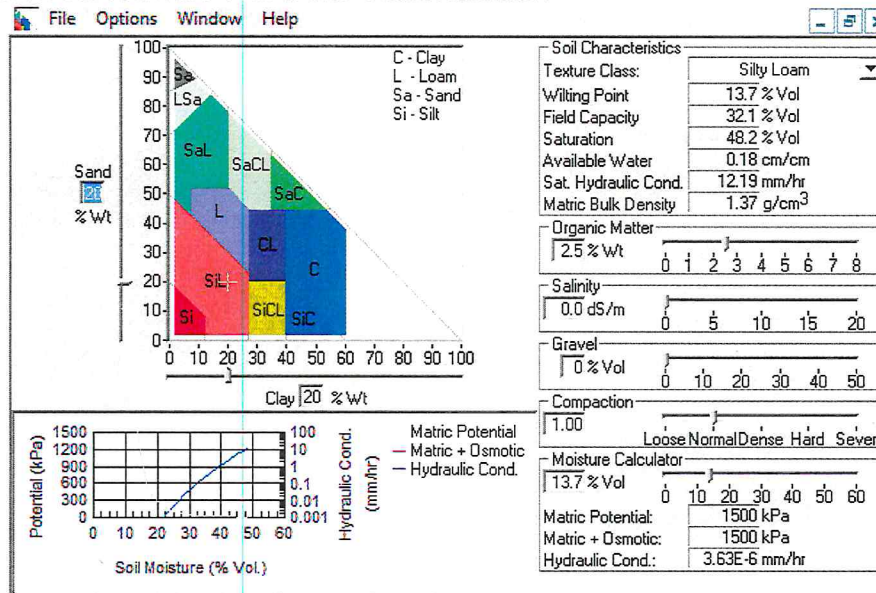


Fig. 12.21 Imagen 3. SWC

-*Parámetros del Hidrograma Unitario de Clark:* tiempo de concentración, Formula DNOS.

-*Parámetros del modelo Muskingum Cunge (8 puntos):* Se utilizó el DEM ALOS para las secciones transversales y Google Earth para la longitud del canal.

Mayores detalles de los procesamientos en el Anexo 2.

Monte Domocq  
Ing. Civil  
R.P. 590183

Dr. Narciso Velázquez Ferreira  
Rector