

# DELIMITACIÓN DEL BAÑADO LA ESTRELLA (Prov. de Formosa)

II Jornadas de Línea de Ribera y Riesgo Hídrico  
13 y 14 de mayo de 2009  
Formosa

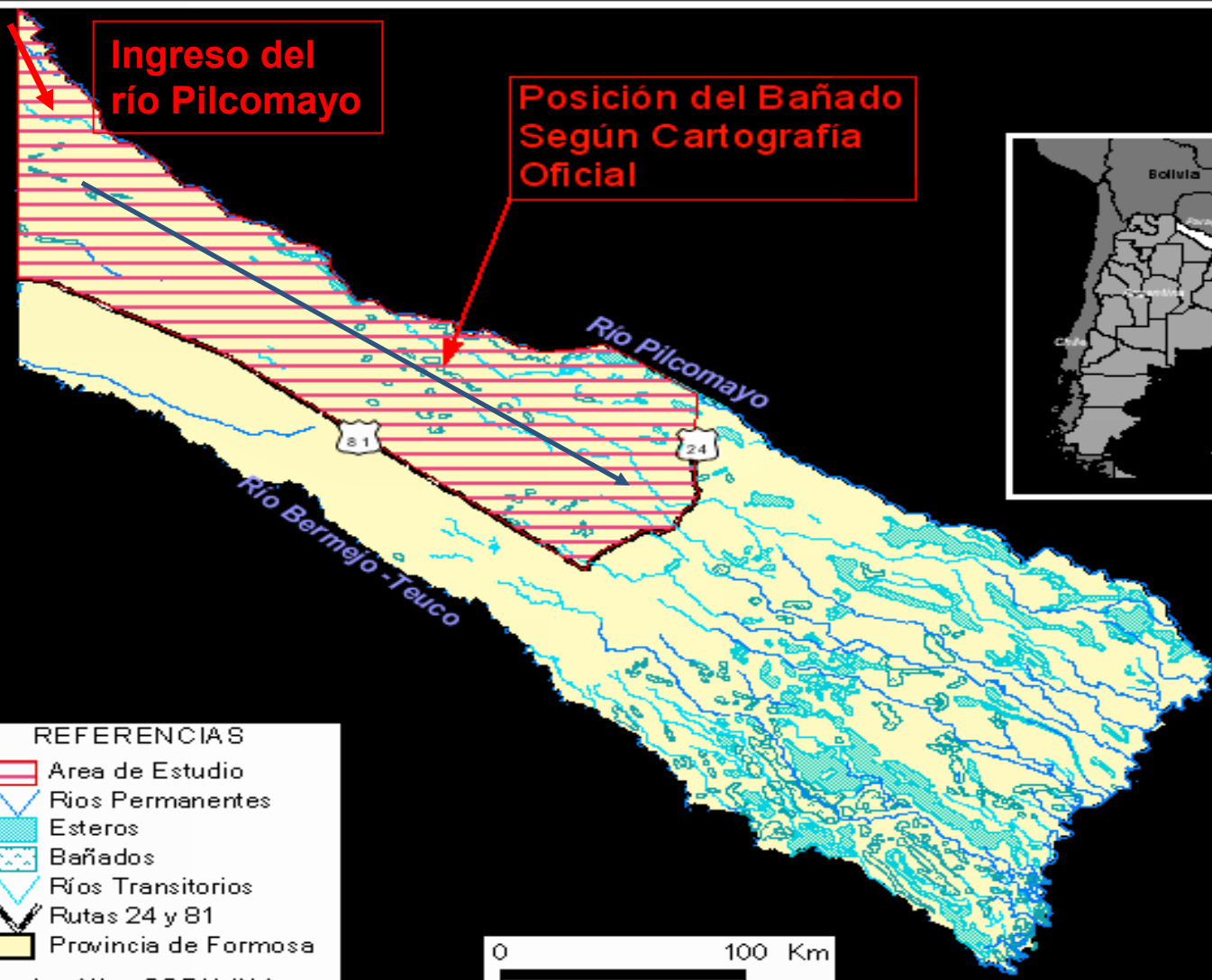
## **Objetivo:**

**demarcación cartográfica del límite del Bañado La Estrella para la definición de la línea de ribera en la escala de 1:100.000.**

## **Zona de estudio:**

**se inicia con ingreso de los des bordes del río Pilcomayo en la provincia de Formosa, ubicada al noroeste de la misma, y finaliza en la ruta provincial N° 24.**

# Delimitación del Bañado La Estrella - Provincia de Formosa



Ingreso del río Pilcomayo

Posición del Bañado Según Cartografía Oficial



- REFERENCIAS
- Area de Estudio
  - Ríos Permanentes
  - Esteros
  - Bañados
  - Ríos Transitorios
  - Rutas 24 y 81
  - Provincia de Formosa
- Fuente: Atlas SSRH-INA



**Se describen metodologías y criterios utilizados en la elaboración de productos que permitieron generar una demarcación cartográfica de una línea de inundación que formará parte de la definición de la línea de ribera.**

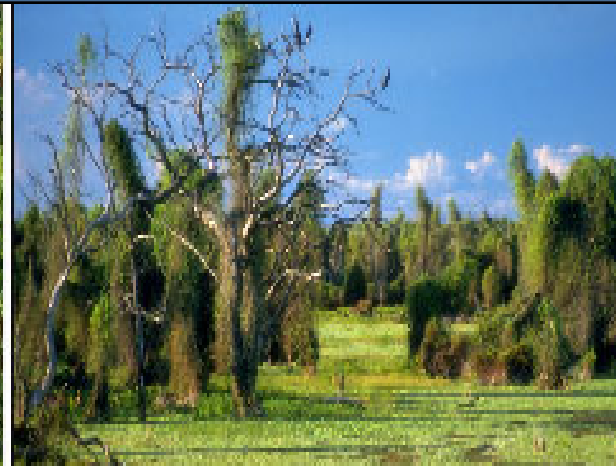
## Caracterización General:

Es un área fluvio-lacustre, pertenece a las sub-regiones del Chaco semiárido y de transición.

Forma un micro-clima propio que se inserta a manera de cuña subtropical en el oeste semiárido (temp. media 23° C), con una vegetación característica de zonas subtropicales húmedas con bosques de aliso que colonizan bancos de arena o áreas de derrame fluvial.

Tiene una longitud de 430 Km y en un ancho de hasta 20 Km aproximadamente, con escasa pendiente. La baja energía del sistema se traduce en un predominio de la pedogénesis por sobre la morfogénesis.

El sistema hídrico Río Pilcomayo-Bañado La Estrella, se desarrolla longitudinalmente en el sentido noroeste – sureste y mantiene el actual sistema hidrográfico en la zona centro norte de la provincia.



BAÑADO LA ESTRELLA



**Se inicio el trabajo a partir de una recopilación, análisis y procesamiento de:**

- **la información antecedente**
- **de información hidrométrica y pluviométrica**
- **de información cartográfica digital**

## **Imágenes-datos satelitales:**

Se utilizaron escenas del sensor TM (Thematic Mapper) de la plataforma satelital LANDSAT V y datos del sensor ETM (plataforma LANDSAT VII). En particular, se utilizó un mosaico de 2 escenas del sensor SAR satelital ERS 2 de la ESA, de fecha 11 de abril de 2000 e imágenes satelitales correspondientes a capturas de escenas ópticas del sensor Landsat V TM de los años 2007 y 2008, correspondiente a las siguientes escenas: PATH 229-ROW 076 (en número de 13), PATH 228-ROW 77 (15) y PATH 227-ROW 77 (14).

## **Modelo digital de elevación**

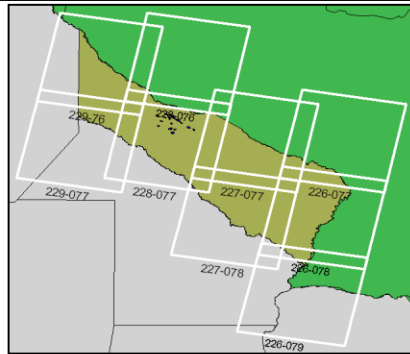
Se utilizó un modelo digital de elevación de la misión Shuttle Radar Topography Misión (SRTM) perteneciente a la Agencias Espaciales de Estados Unidos, Alemania e Italia y generado en la misión IFSAR (tecnología de interferometría de radar de apertura sintética) a bordo del trasbordador Space Shuttle. La captura de datos interferométricos se realizó entre el 11 y el 22 de febrero de 2000. Dicho modelo tiene un píxel de 90m con un error en posición de un píxel y un error en altura de 16 m.



# Fechas de las imágenes utilizadas

Imágenes FORMOSA	PATH-ROW					
AÑO	227-077	227-078	228-076	228-077	229-076	229-077
1992						17-ene-92
1997		05-mar-97		28-mar-97	03-mar-97	
	08-may-97	08-may-97		13-abr-97	19-mar-97	19-mar-97
	09-jun-97	09-jun-97			06-may-97	
1998		12-ago-97				30-sep-98
1999		27-mar-99				
	02-ago-99	02-ago-99				
2000	18-dic-00	18-dic-00				20-abr-00
2001				19-feb-01		
			16-abr-01	16-abr-01		
	20-jun-01	20-jun-01			26-jun-01	
	30-jul-01	30-jul-01				
2002					09-mar-02	
2003	15-abr-03	15-abr-03	08-may-03	08-may-03	13-abr-03	13-abr-03
				28-feb-04		
2004					01-may-04	
				07-sep-04	06-sep-04	
					14-sep-04	
2005	28-ene-05				25-mar-05	
	01-jul-05	01-jul-05		24-jul-05		
	02-ago-05	02-ago-05				31-jul-05
	19-sep-05	19-sep-05		25-ago-05	01-sep-05	01-sep-05
				26-sep-05	03-oct-05	
				28-nov-05		
				30-dic-05		
2006	26-ene-06	25-ene-06		08-ene-06	23-ene-06	15-ene-06
				01-feb-06	07-feb-06	
		26-feb-06		25-feb-06		24-feb-06
	14-mar-06	14-mar-06		29-mar-06		
					29-abr-06	29-abr-06
	09-may-06	09-may-06	08-may-06	08-may-06	07-may-06	
	17-may-06	17-may-06	24-may-06	24-may-06	15-may-06	15-may-06
	04-jul-06	04-jul-06	03-jul-06	03-jul-06	02-jul-06	02-jul-06
	22-sep-06	22-sep-06		13-sep-06		20-sep-06
				07-nov-06		
<b>Nº de Imágenes</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>13</b>

Superposición de escenas de los sensores TM y ETM de los satélites Landsat 5 y 7



ESCENA DE PATH-ROW	Fecha
229-76	06/05/1997
229-76	09/03/2002
229-76	13/04/2003
229-76	20/01/2005
229-76	01/09/2005
229-76	03/10/2005
229-76	29/04/2006
229-76	15/05/2006
229-76	02/07/2006
229-76	20/09/2006
229-76	27/02/2007
229-76	16/04/2007
229-76	21/07/2007

ESCENA DE PATH-ROW	Fecha
228-77	28/03/1997
228-77	13/04/1997
228-77	01/02/2000
228-77	09/02/2000
228-77	17/02/2000
228-77	20/03/2000
228-77	08/05/2003
228-77	28/02/2004
228-77	24/07/2005
228-77	26/09/2005
228-77	01/02/2006
228-77	08/05/2006
228-77	24/05/2006
228-77	13/09/2006
228-77	27/05/2007

ESCENA DE PATH-ROW	Fecha
227-77	02/08/1999
227-77	20/06/2001
227-77	01/07/2005
227-77	19/09/2005
227-77	26/02/2006
227-77	14/03/2006
227-77	04/07/2006
227-77	02/08/2006
227-77	22/09/2006
227-77	08/10/2006
227-77	08/10/2006
227-77	01/03/2007
227-77	18/04/2007
227-77	04/05/2007

## Metodología

Se desarrolló dos líneas de trabajo.

La primera: consistió en un procesamiento de imágenes satelitales para establecer un análisis de frecuencias de ocupación transversales de espacios de agua y generar perfiles matemática. para ser utilizados en la modelación

La segunda: consistió en una modelación matemática de las crecidas que ocurrieron en el bañado a partir del transporte de los desbordes del río Pilcomayo.

De los resultados obtenidos de la propagación de las crecidas y de los espacios de ocupación de agua, se desprendió la definición de los límites de inundación del bañado.

Se desarrolló un balance seriado de Thornthwite para caracterizar hidrológicamente el período analizado.

# Caracterización hidrológica

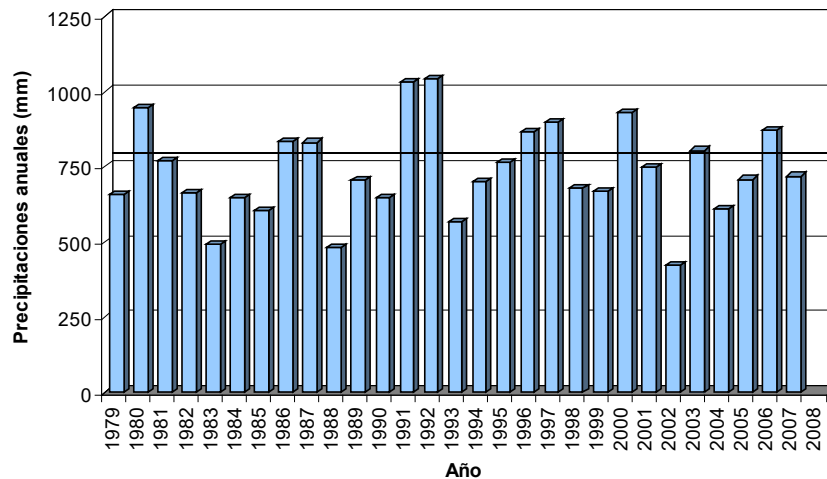
## Precipitación anual.

Los años 1991 y 1992 corresponden a los años más húmedos. La media anual del período es de 734 mm.

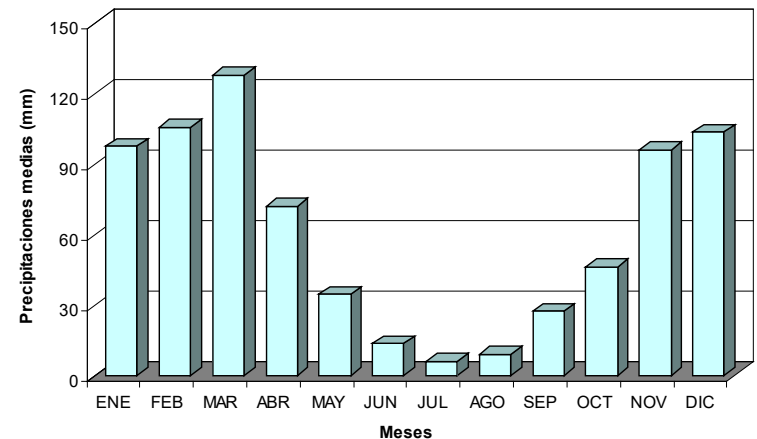
## La precipitación media mensual.

Las lluvias comienzan en el mes de septiembre y finaliza en el mes de mayo, con una precipitación máxima registrada durante el mes de marzo.

Precipitaciones Anuales - Fn. Soledad  
1979 - 2008

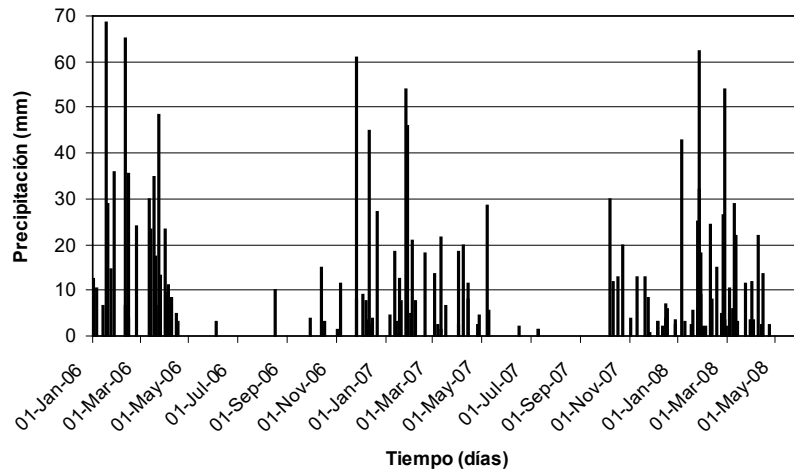


Precipitaciones Medias - Fn. Soledad  
1979 - 2008

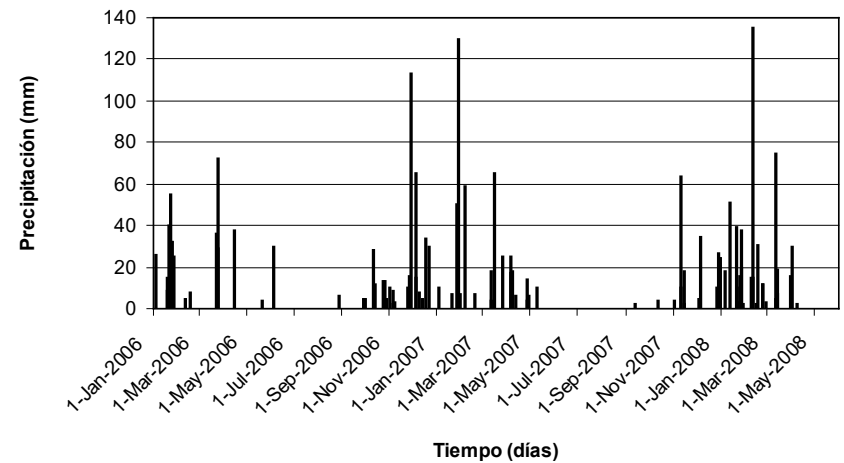


Hietogramas de precipitaciones diarias del período 2006 – 2008. Las mayores precipitaciones diarias se produjeron en los meses de enero a abril, coincidente con el paso de las crecidas del río Pilcomayo.

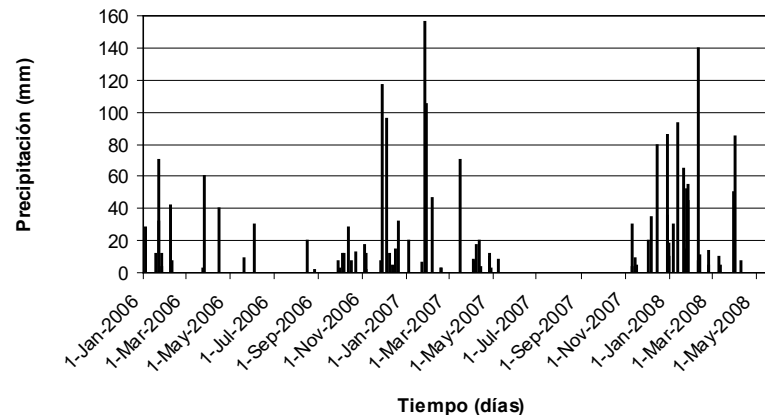
Hietograma Misión La Paz 2006 - 2008



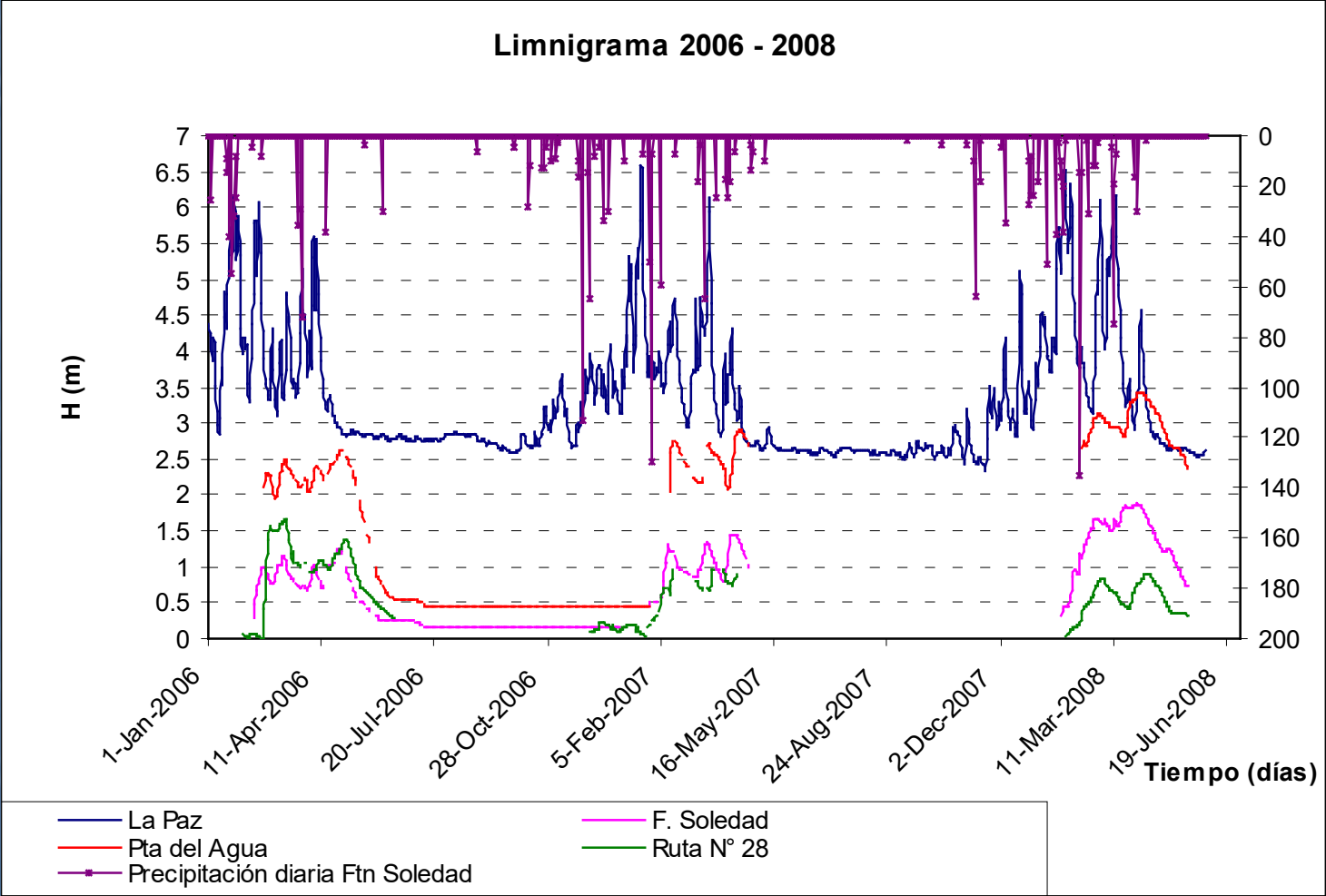
Hietograma F. Soledad 2006 - 2008



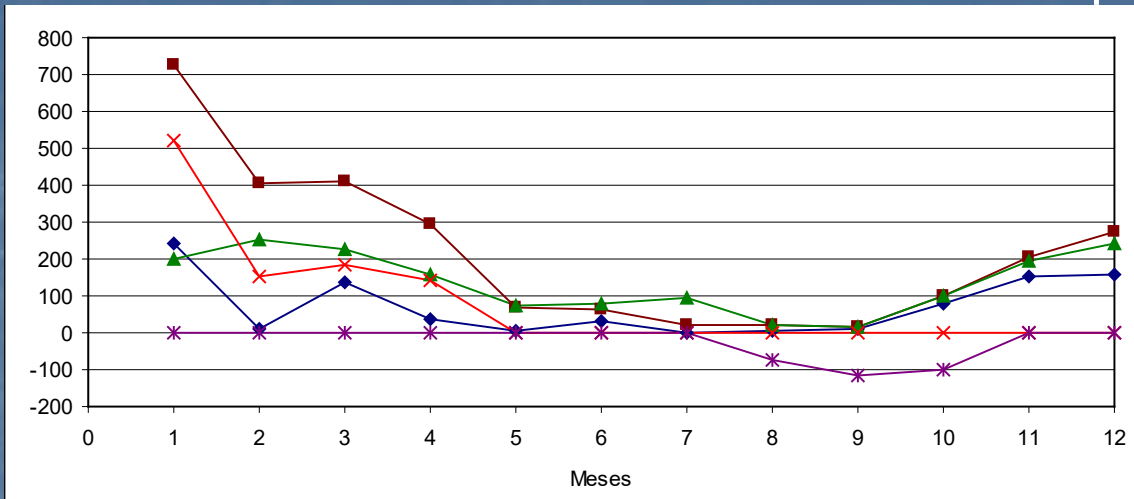
Hietograma Pta del Agua 2006 - 2008



Los limnigramas de las estaciones hidrométricas Misión La Paz, Fortín Soledad, Punta del Agua y ruta provincial N° 28 para la serie histórica común. Durante las crecidas, se produjo precipitaciones de magnitud que se sumó a la situación de anegamiento.

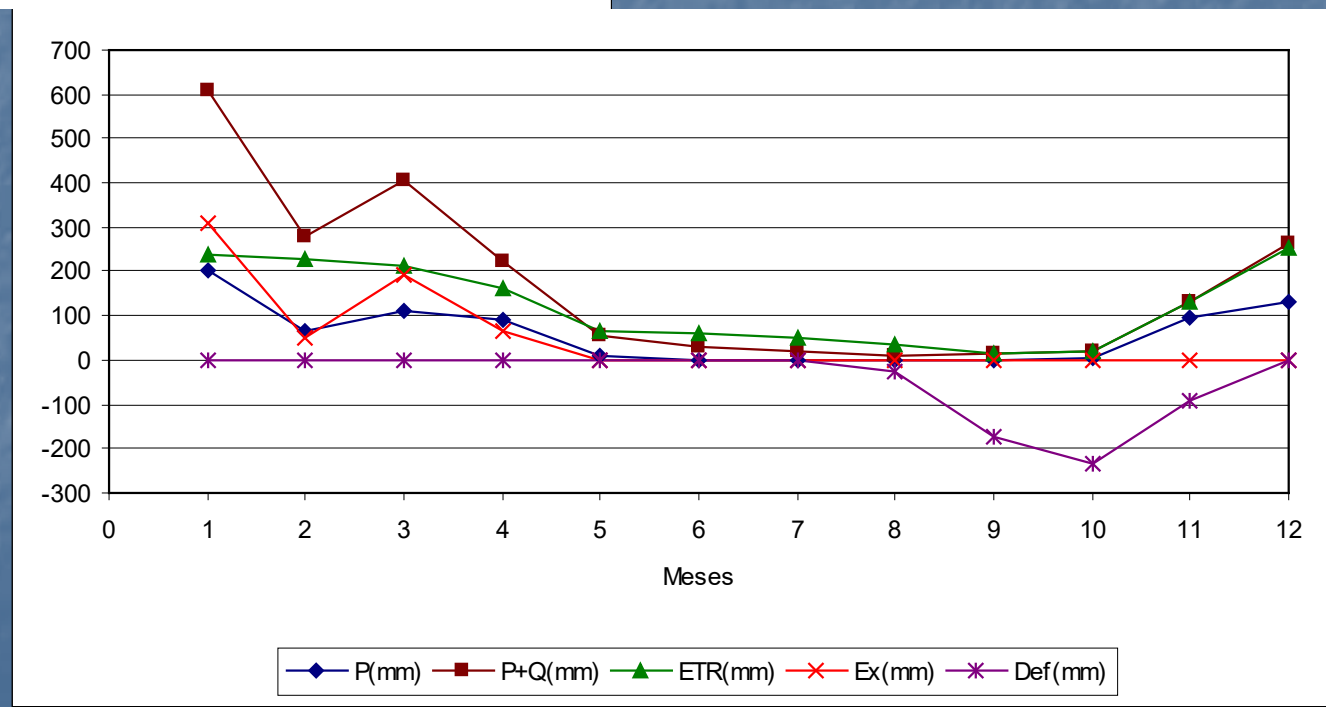


# Balance seriado: método de Thorntwhite para los años 2006 y 2007.



2006

2007



◆ P(mm)  
 ■ P+Q(mm)  
 ▲ ETR(mm)  
 × Ex(mm)  
 ✱ Def(mm)

## Análisis Espacial

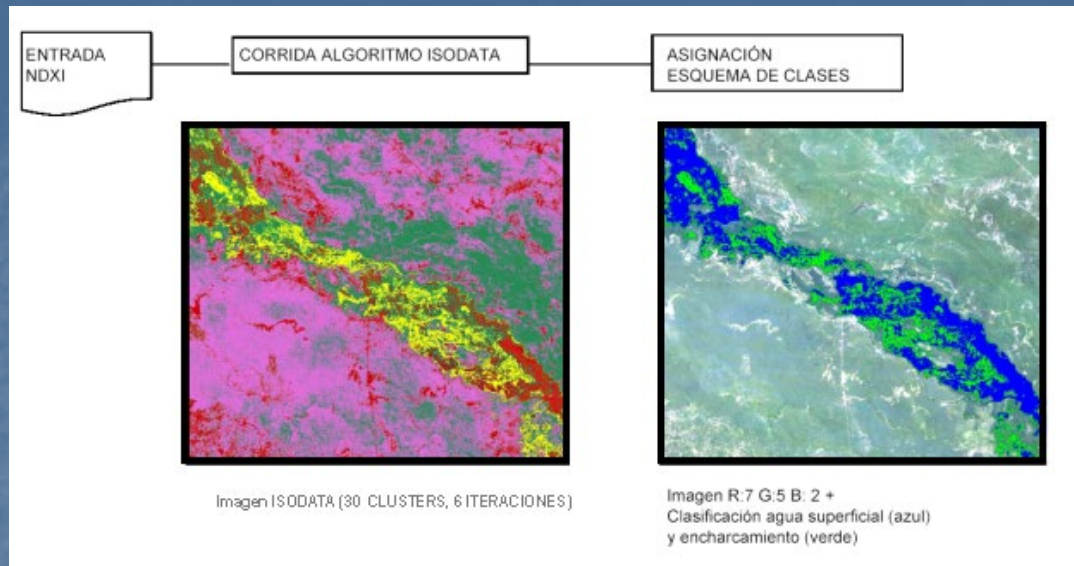
- PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES -		
Etapa	Nº de Fase	Descripción
Preprocesamiento	1	<i>Corrección Geométrica</i>
	2	<i>Corrección Radiométrica</i>
	3	<i>Corrección Atmosférica</i>
Clasificación Espectral	4	<i>Cálculo de Índices Espectrales y Clasificación "Mixta".</i>
Mapa de Frecuencia	5	<i>Aplicación de "árbol de decisión"</i>
Análisis pos clasificación	6	<i>Aplicación de algoritmo "Majority/Minority Filter" (Eliminación de errores por píxel e incertidumbres)</i>

**Corrección Geométrica (fase 1)** Constituye una corrección geográfica

**Corrección Geométrica (fase 2)** Constituye la conversión de los datos crudos del sensor, en valores de radiancia

**Corrección Atmosférica (fase 3)** Consiste en eliminar los efectos de la atmósfera (reflectividad nula)

**Clasificación Espectral (fase 4)** Se seleccionaron atributos para clasificar los píxeles que representan áreas cubiertas por agua, por tanto el esquema de clases se reduce a dos: "agua" y "no-agua".



Luego se realiza una clasificación “mixta” de dos etapas, una clasificación no-supervisada, orientada a detectar automáticamente patrones y luego la asignación de estos patrones a un esquema binario de clases (“agua” y “no-agua”) y la otra supervisada. La resultante es un archivo (imagen) que contiene para cada “PATH-ROW”, por fecha analizada, una clasificación “agua”, “no-agua”.

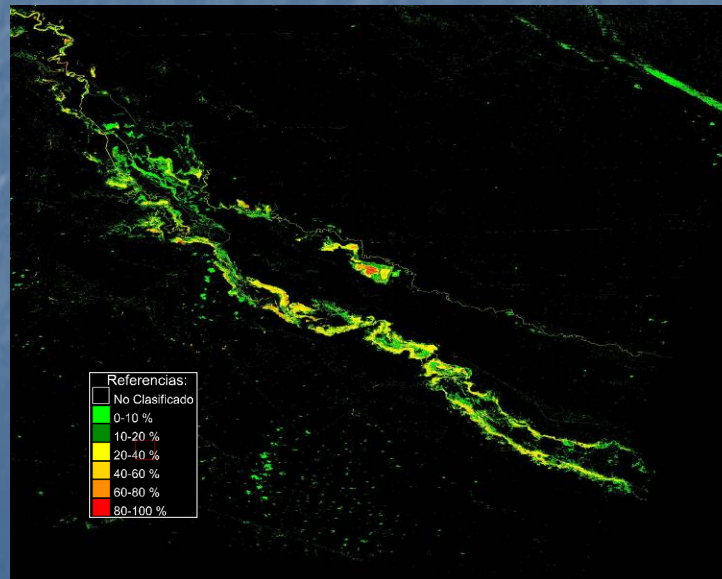
**Limitaciones en el Proceso de Clasificación:** estuvo condicionada la vegetación chaqueña acuática y palustre sobre los posibles “espejos de agua” del bañado. Se utilizaron algoritmos que generan indicadores de agua, suelo y vegetación para mejorar la discriminación espectral y la categorización de la clase “agua”.



## Mapa de Frecuencia (fase 5)

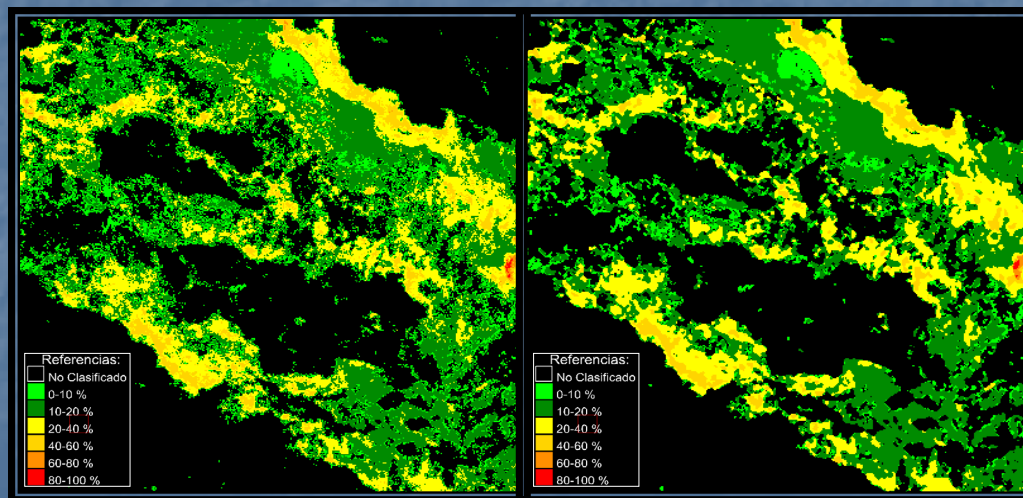
Se partió de todas las clasificaciones realizadas a partir de las capturas disponibles y se procedió a guardar como imagen, cada clasificación. Cada una consta de un esquema de dos clases, en la que a los píxeles detectados como pertenecientes a clase agua se los ha teñido de un color particular y la que no corresponde de otro color. Es así que el análisis se redujo a una sola dimensión, con una matriz binaria para cada fecha. Luego se realizó el cociente de la sumatoria de las matrices binarias y el número de las mismas, así se obtiene la frecuencia observada de pertenencia a clase agua.

A partir de este análisis se generaron mapas de frecuencias de agua



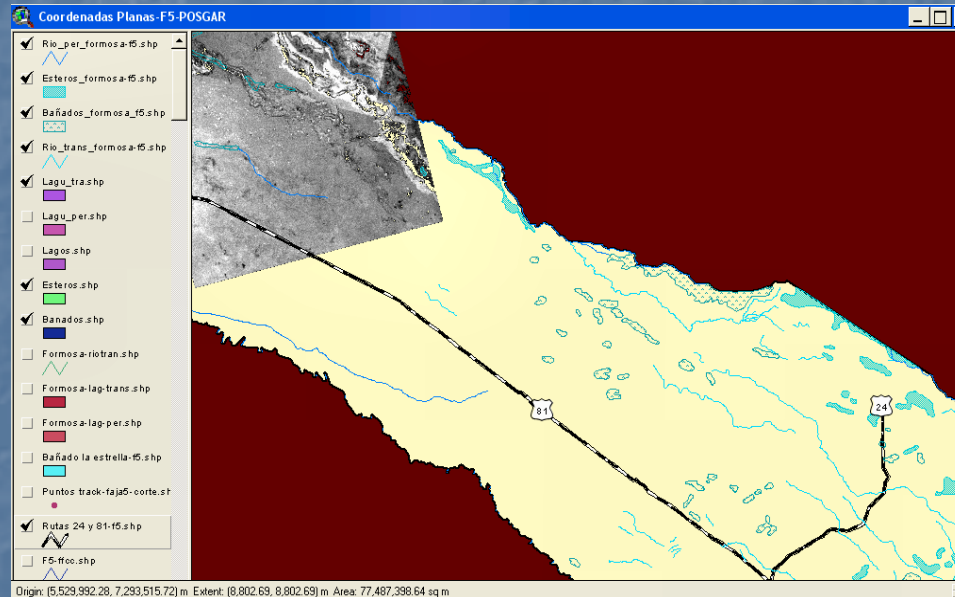
## Análisis Pos Clasificación (fase 6)

Para reducir el ruido del método de clasificación se realizó un análisis de limpieza aplicando el método “Filtro de Mayoría/Minoría”. La misma consiste en aplicar un algoritmo que recorre la imagen clasificada con una “ventana móvil” de tamaño “ $n \times n$ ” (píxeles), donde “ $n$ ” es un umbral definido por el usuario, la imagen clasificada es dividida en muchos cuadrados pequeños de  $n \times n$  píxeles, tantos como los “ $n$ ” movimientos de la ventana. Entonces, la clase correspondiente de cada píxel central, en la ventana móvil, será determinado por mayoría, mientras que la “minoría” pertenecerá al “ruido” que se quiere eliminar.



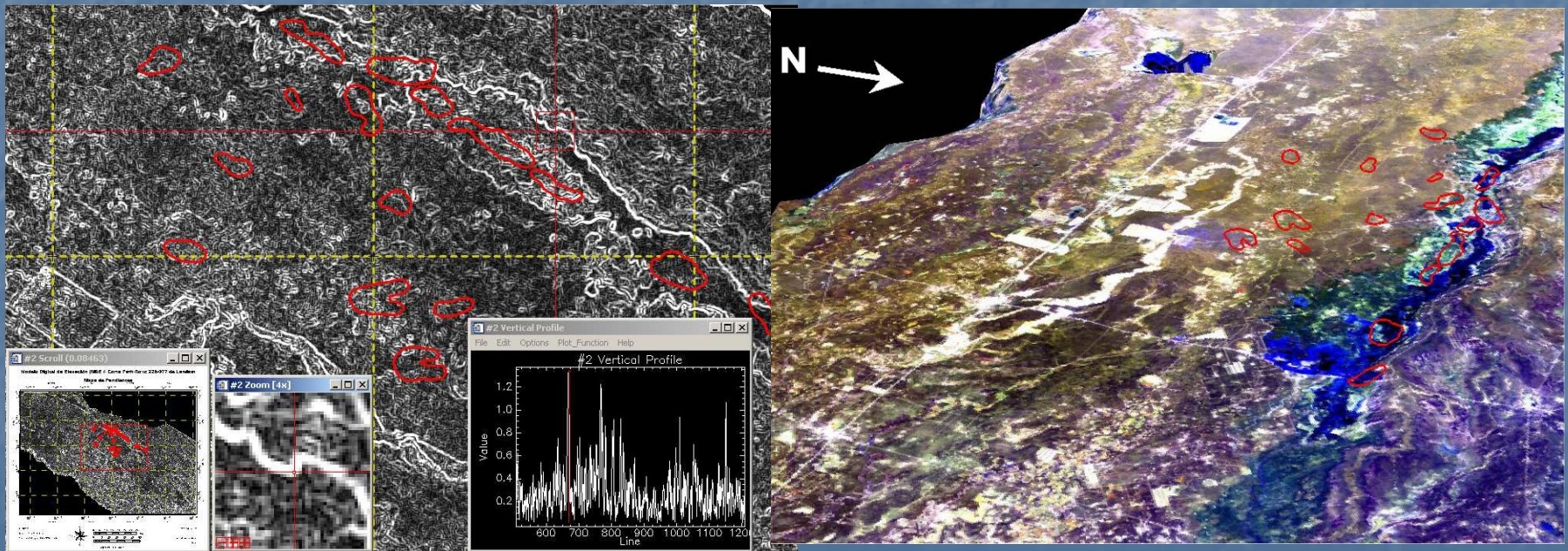
# Sistema de Información Geográfica

Se diseñó un sistema de información geográfica (SIG) donde se integraron los datos y productos digitales, de formatos “vectorial” y “raster”, en el sistema de proyección POSGAR-94.



## Modelo Digital de Elevación

El modelo digital de elevación SRTM 2000 fue utilizada para analizar la geomorfología de la zona en estudio, las diferencias topográficas relativas para verificar las pendientes límites y para establecer los perfiles longitudinal y transversales del bañado. Se realizó su exportación al formato GRID (raster) para su análisis bidimensional con el módulo "análisis espacial" y generar imágenes altimétricas de relieve.

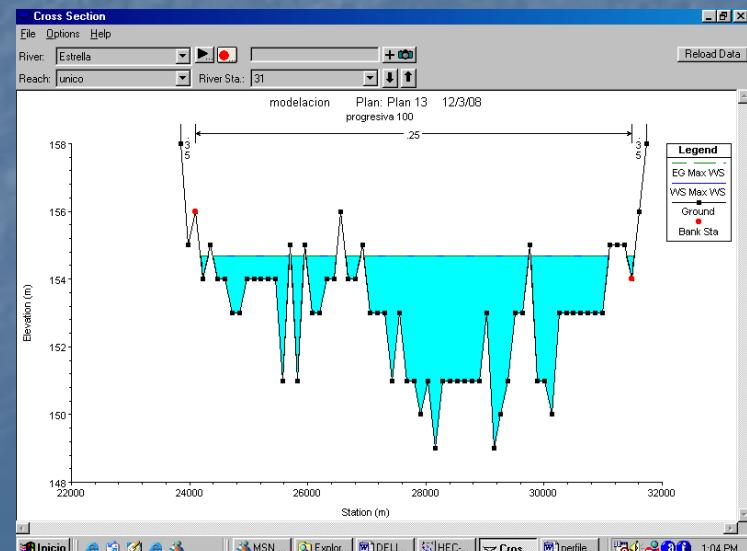
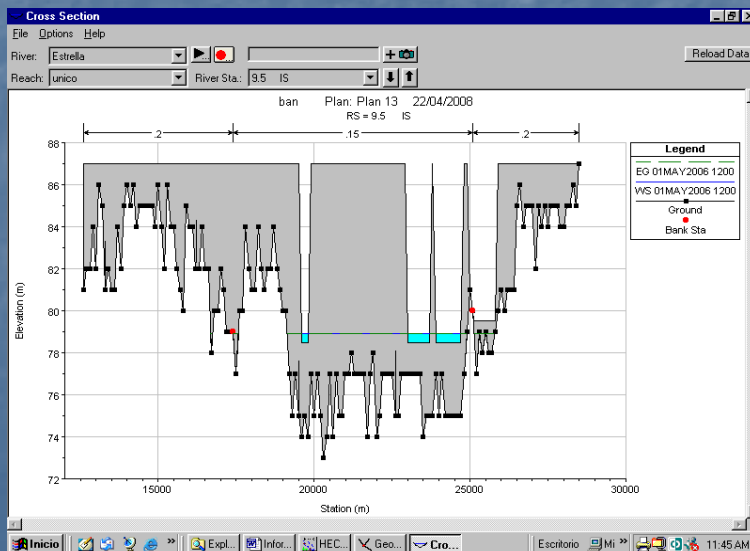


# Modelación matemática del bañado

La forma del bañado se representó en forma unidimensional con perfiles transversales extraídos de los perfiles aproximados de 50Km de ancho obtenidos del modelo digital de terreno.

Se representó la zona principal de conducción, aproximadamente coincidente con las líneas de inundación frecuente.

Cada perfil transversal tiene puntos acotados cada 100 m y distanciados entre 10 Km y 11 Km. El coeficiente de rugosidad de Manning estimado fue de 0.25 en el cauce y 0.35 en la zona de valle.



Tools Editors

River Reach → Storage Area Storage Area Conn. S.A. Conn. Pump Station RS 12.99

Junct.

Cross Section

Brdg/Culv

Inline Structure

Lateral Structure

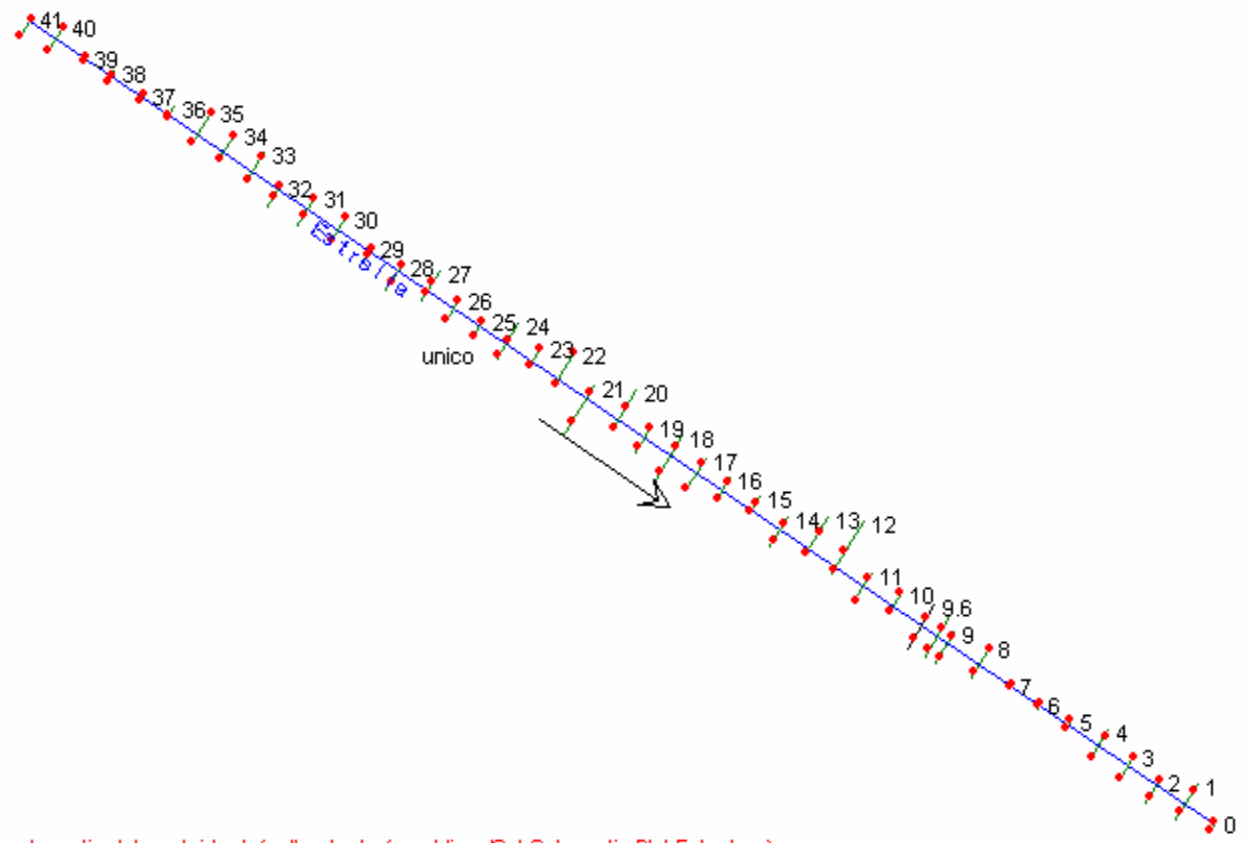
Storage Area

Storage Area Conn.

Pump Station

HTab Param.

View Picture



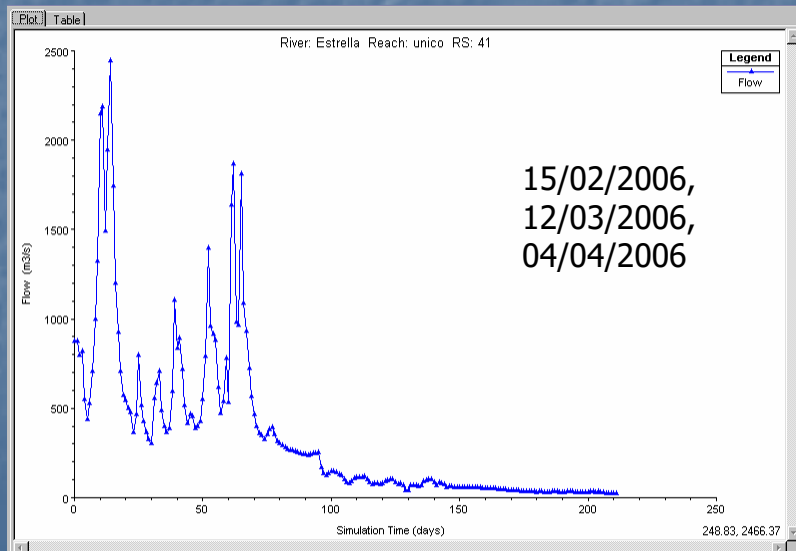
Se modeló las crecidas 2006, 2007 y 2008 y se determinó los anchos inundados.

**Aguas arriba:** se ingresó los limnigramas e hidrogramas observados en la estación Misión La Paz.

**Aguas abajo:** Se adoptó los niveles medidos en la ruta provincial N° 28 como configuración de la forma de la crecida y se trasladó los mismos aguas abajo de la ruta prov. N° 24.

### **Crecida 2006.**

Desde el 1 de febrero de 2006 al 31 de agosto de 2006.

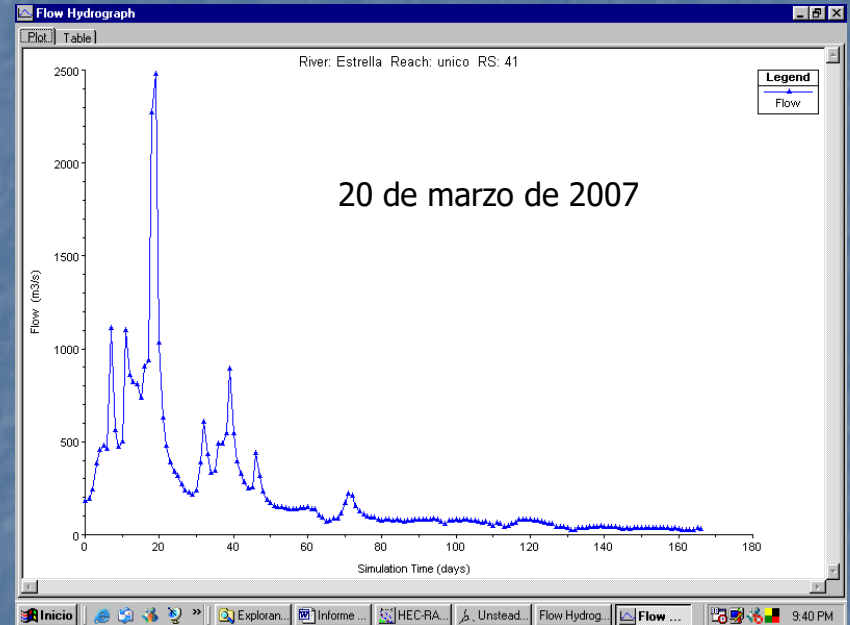


## Crecida 2007:

**parte 1:** Desde el 1 de noviembre de 2006 al 28 de febrero de 2007.



**parte 2:** Desde el 1 de marzo de 2007 al 14 de agosto de 2007.

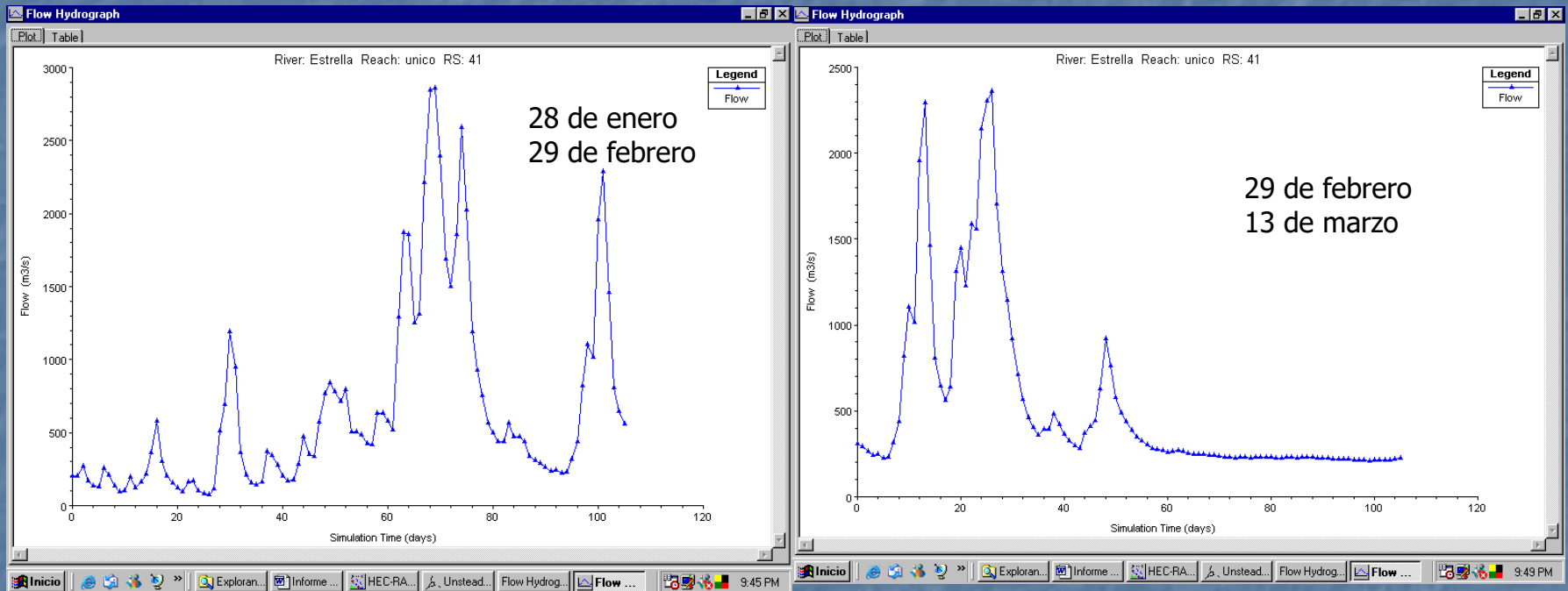




## Crecida 2008:

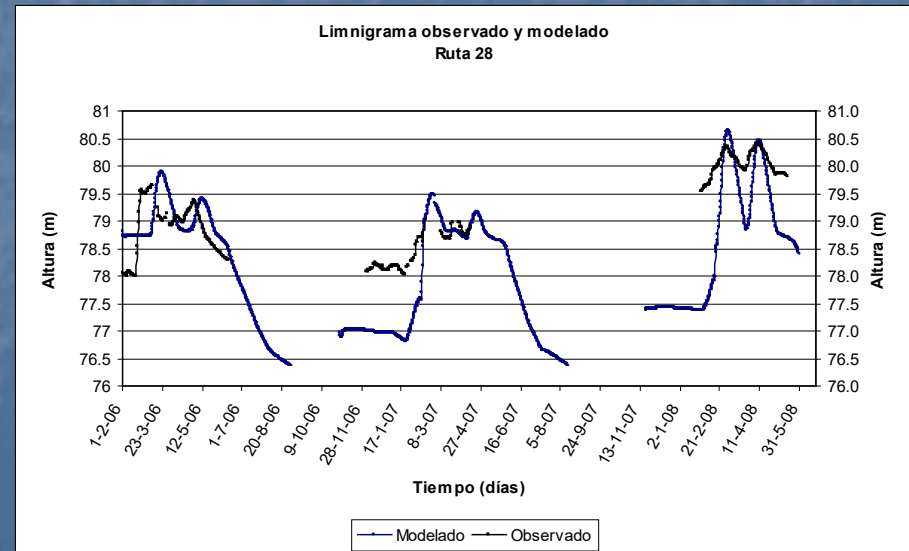
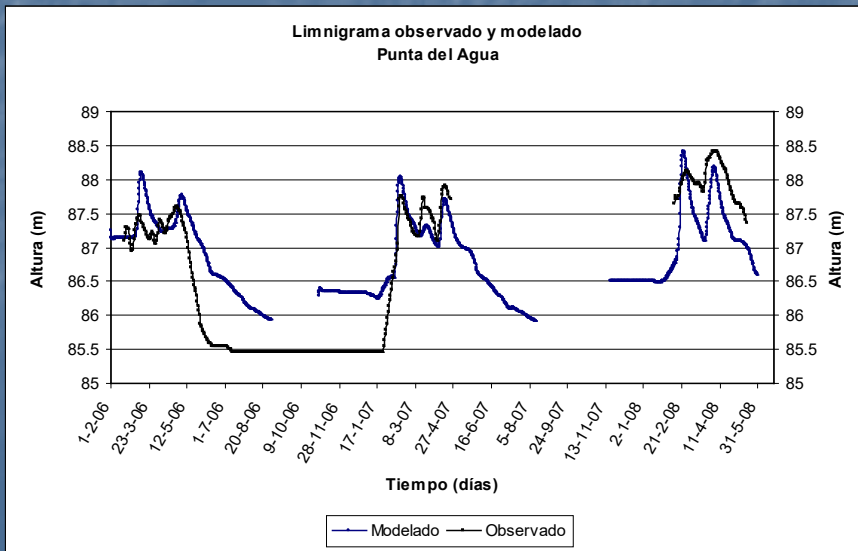
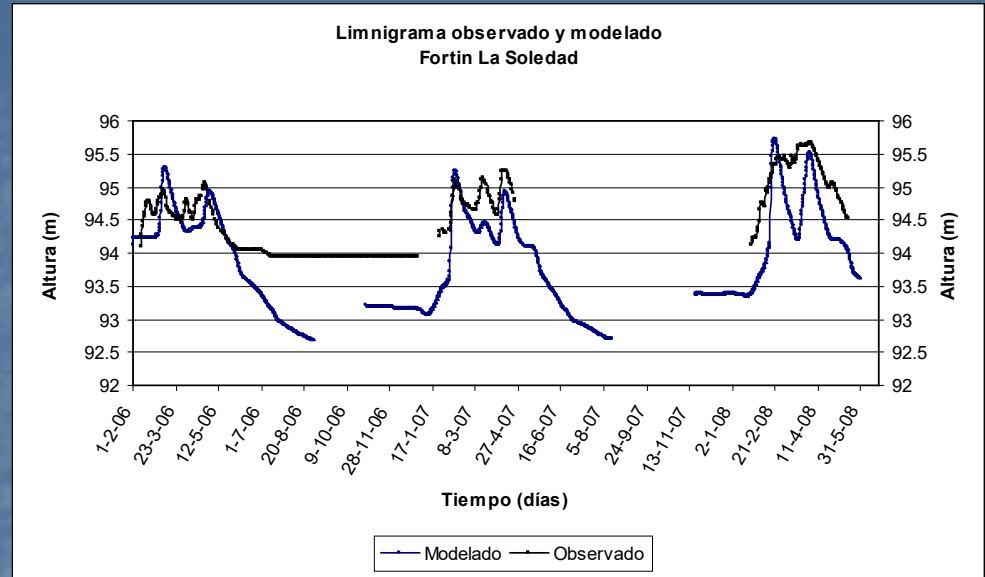
**parte 1:** Desde el 20 de noviembre de 2007 al 4 de marzo de 2008.

**parte 2:** Desde el 16 de febrero de 2008 al 31 de mayo de 2008.



# Ajuste y calibración del modelo

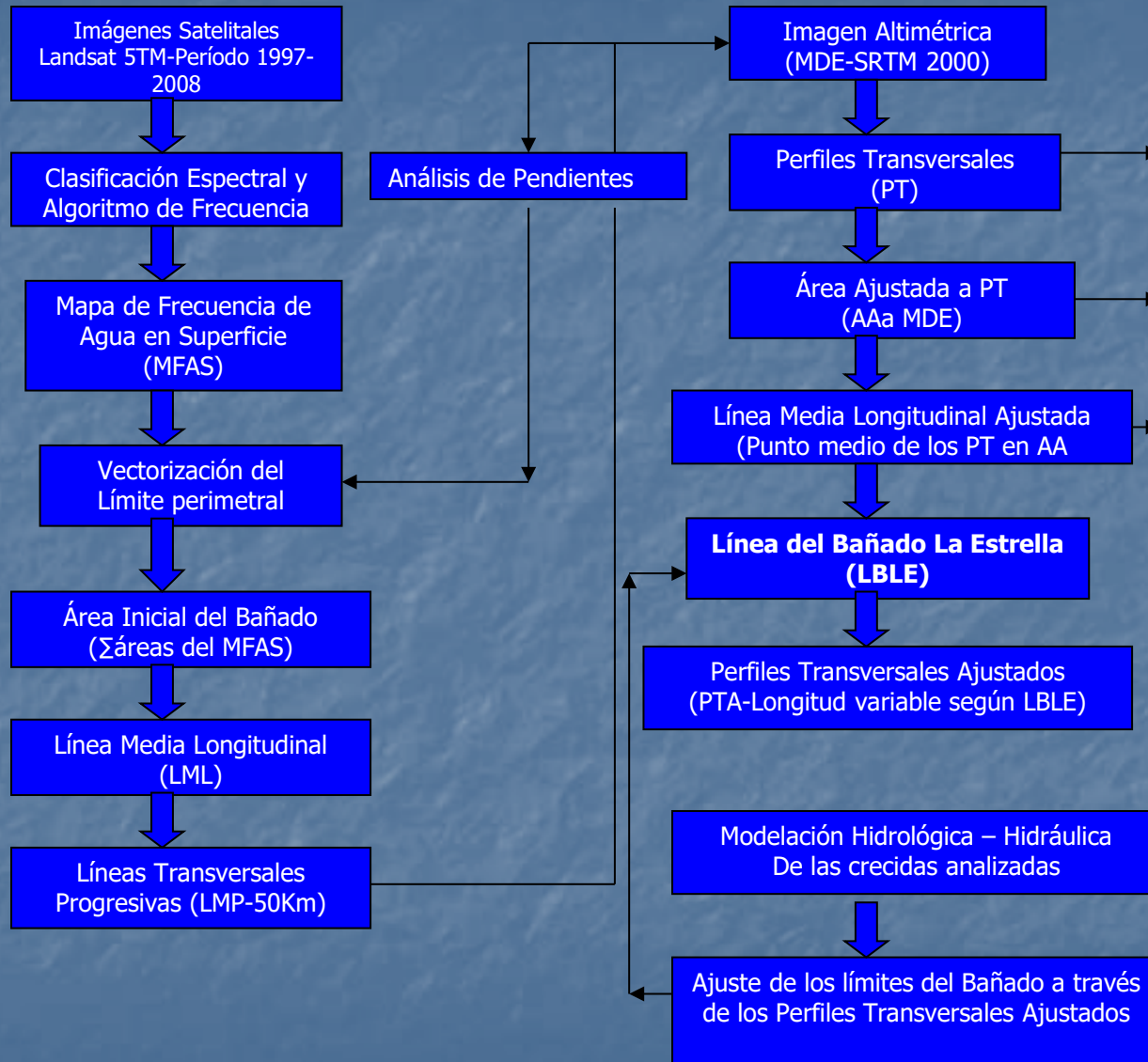
Debido a la complejidad del sistema y a la permanencia de las crecidas, el ajuste del modelo se realizó teniendo en cuenta los tiempos de traslados entre las diferentes secciones hidrométricas y las formas de los limnigramas e hidrogramas.



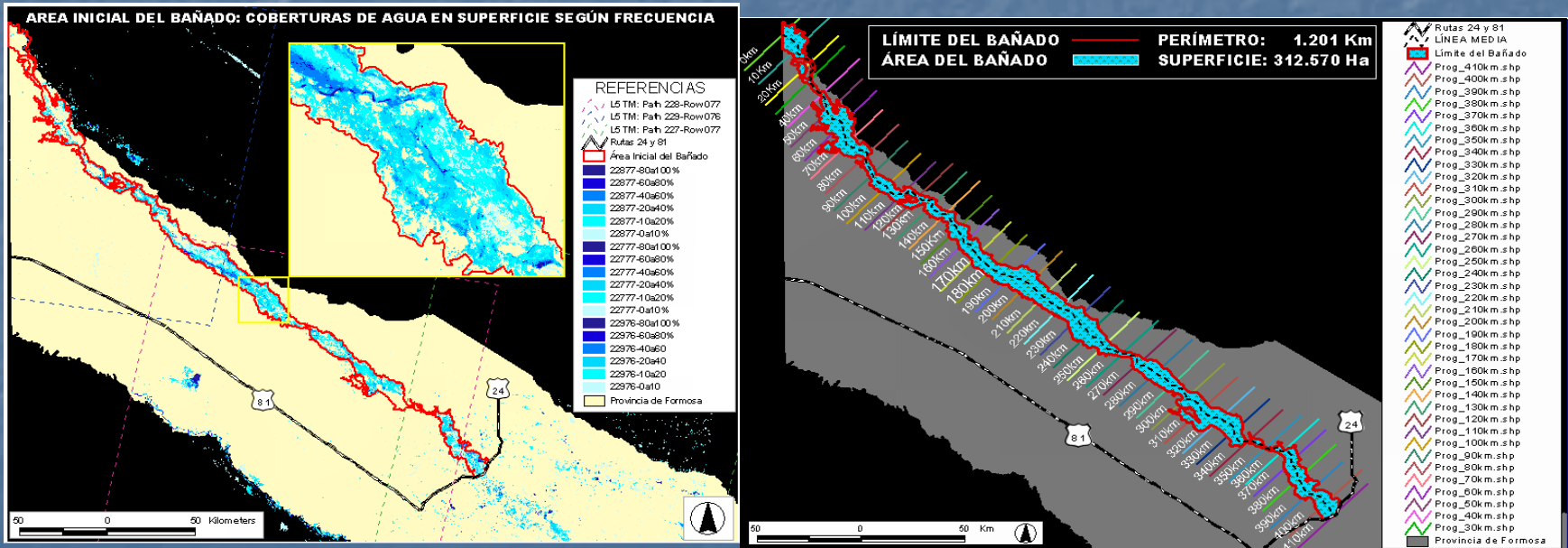
Los tiempos de traslados corresponden a:

Tiempos de traslados y distancias entre perfiles	2006		2007		2008	
	1ºC 11Km	2ºC 10Km	1ºC 11Km	2ºC 10Km	1ºC 11Km	2ºC 10Km
La Paz -Fortín Soledad	25	20	25	24	27	20
La Paz - Pta del Agua	30	22	30	29	31	22
La Paz – Rta. Prov. N° 28	34	26			34	26

# Determinación del Límite del Bañado

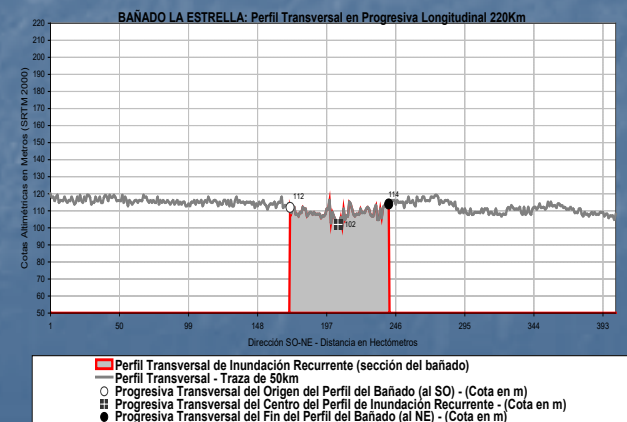
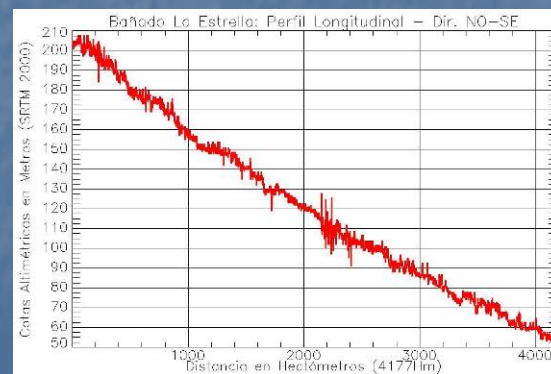
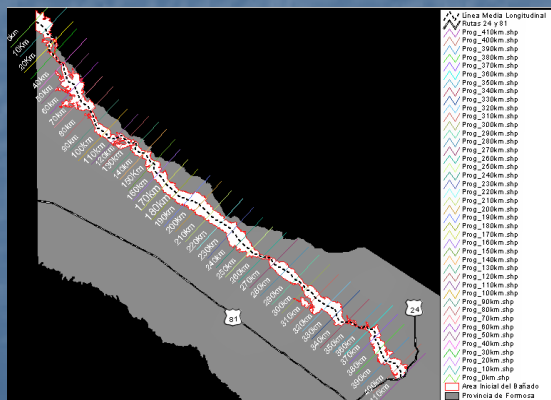


A partir del Mapa de Frecuencia de la Agua en Superficie se trazó una línea límite que constituye el **Área Inicial del Bañado** y una línea media que representa la dirección preponderante de escurrimiento observada denominada "**Línea Media Longitudinal**" (LML) de aproximadamente 415Km. A partir de esta LML se trazaron líneas perpendiculares a la misma, de 50Km de longitud promedio, equidistante 10Km, trazándose 42 **Transectas Transversales**



Los perfiles fueron de utilidad por un lado, para la delimitación más precisa del límite del bañado al evaluar los saltos de pendiente topográfica que lo enmarcan, y por el otro, para la modelación hidrodinámica de los caudales que se desbordan del río Pilcomayo y escurren por el Bañado.

La línea perimetral del Área Final obtenida constituye el límite buscado, que denominamos **“Límite del Bañado La Estrella”** (LBLE), obtenido finalmente por el espacio ocupado por el agua en cada perfil obtenido de la modelación matemática consensuado con el límite definido por el análisis de frecuencias de ocupación del agua.



Finalmente, se marcaron dos curvas que representan una, **el Límite del Bañado La Estrella** donde se produce principalmente la conducción de las crecidas originadas por el desborde del río Pilcomayo y la otra, un Límite Asociado de Inundación que engloba la zona mencionada, mas la inclusión de zonas que presentan anegamientos frecuentes producidos por precipitaciones o por desbordes del cauce principal.

## Conclusiones

- La clasificación de agua en superficie se realizó en base a una técnica de procesamiento denominada "híbrida" que se mejoró mediante la utilización de una imagen auxiliar, denominada "NDXI", compuesta por índices espectrales.
- El modelo digital de elevación, SRTM, presenta errores en el posicionamiento tanto en el plano horizontal como en el vertical, según sus creadores (NASA).
- De la delimitación del bañado se infiere que, en una primera aproximación, el mismo responde a su límite natural y a sus características geomorfológicas observadas. La incertidumbre en su determinación rigurosa radica en ser un paisaje que presenta accidentes orográficos producto de procesos de erosión y de sedimentación dinámicos, a una vasta cobertura vegetal y a un micro-relieve de muy dificultosa representación.



- El mapa de Frecuencia de Agua en Superficie elaborado para una serie histórica de datos satelitales, temporalmente densa y espacialmente extensa, pone en evidencia la presencia de un área anegada correspondiente a una situación hidrológica “normal” del bañado que fue registrada en el periodo analizado.
- Se puede apreciar la existencia de un límite generado por el traslado de la crecida proveniente del desborde del río Pilcomayo obtenida a partir de la modelación matemática y de un límite del bañado que involucra no solo la crecida mencionada sino también las áreas anegadas por precipitaciones en la zona, antes o durante el paso de la crecida, que es captada por la imagen satelital como zona con anegamientos frecuentes.
- Los coeficientes de rugosidad y las longitudes entre secciones variarán de acuerdo a la duración de la crecida y al tiempo que antecedió la crecida previa.

- Los coeficientes de rugosidad del bañado se relacionan con valores altos del coeficiente de Manning y con pequeños desvíos en función del tipo de vegetación. Debido a la microtopografía y vegetación, la resistencia al flujo variará con la altura y la velocidad, con rangos entre 0.26 a 0.61 s/m<sup>1/3</sup> (J. K. Lee, US Geological Survey, 1998).
- No puede considerarse los resultados altimétricos de la modelación hidrodinámica en forma absoluta, sino se refiere a resultados relacionados con los perfiles transversales obtenidos del modelo digital de elevación con alturas relativas cuyos anchos inundables en cada sección valorizan los resultados obtenidos del análisis espacial de las imágenes satelitales.
- El **límite final del Bañado** se obtuvo a partir de la interrelación entre los tres análisis realizados: el de frecuencia de áreas con cubrimiento de agua superficial obtenido de imágenes seriadas, el altimétrico a partir del Modelo Digital del Terreno y el de la modelación hidrológica-hidráulica.

**Muchas Gracias**

**CENTRO REGIONAL LITORAL  
INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA**

**DIRECTOR:** Ing. Carlos U. PAOLI

**RESPONSABLE PROYECTO:** Ing. Jorge COLLINS

**Equipo de trabajo:** Ing. Jorge COLLINS (CRL-INA)  
Ing. Álvaro SOLDANO (SIAH-INA)  
Ing. Carlos PAOLI (CRL-INA)  
Ing. PICCOLI (CRL-INA)  
Sr. Leandro GIORDANO (SIAH-INA)  
Srta. Alicia PUCHETA (SIAH-INA)

**COMITENTE: MINISTERIO DE ECONOMÍA, OBRAS Y SERVICIOS  
PÚBLICOS - UNIDAD PROVINCIAL COORDINADORA DEL AGUA-  
PROVINCIA DE FORMOSA**

**Director:** Ing. Rafael SILVA