



INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA
REPÚBLICA ARGENTINA



*Comisión Mixta Argentino Paraguaya
del Río Paraná*

ESTUDIO DE APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ITATÍ-ITACORÁ

Segundo Informe Parcial



Proyecto LHA370
Informe LHA 04-370-18
Ezeiza, Abril de 2018

Laboratorio de Hidráulica

AUTORIDADES DEL INA

PRESIDENTE

Ing. Julio C. DE LÍO

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS

Ing. Jorge A. MAZA

DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Ing. Julio C. DE LÍO

JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

EQUIPO DE TRABAJO (Orden alfabético)

INA

Ing. Nicolás D. BADANO

Ing. Leandro D. KAZIMIERSKI

Ing. Emilio LECERTÚA

Ing. Nicolás TOMAZÍN

Paraguay

Ing. Mag. Cristian ESCOBAR JARITÓN

Ing. Benito PEREIRA

ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ITATÍ-ITACORÁ

Segundo Informe Parcial

RESUMEN

Se presentan curvas clave altura-caudal en las posibles secciones de implantación del cierre Itatí-Itacorá, estadísticas de caudales, curvas caudal-nivel para distintas localidades, perfiles longitudinales para distintos caudales, el efecto de Itatí-Itacorá sobre la restitución de la Central de Yacyretá, y la distribución lateral de velocidades en secciones de cierre. Se efectúa una predicción del oleaje para las diferentes alternativas de cierre, se analiza la series de intensidades de viento en la estación San Cosme, se estima el oleaje asociado a un temporal como el del 25 de abril de 2017, y se analiza la erosión costera para el embalse de Itaipú. Se determinan hidrogramas de aporte hidrológico desde la margen paraguaya hacia el río Paraná.

Descriptores temáticos: Modelo hidrodinámico. Mapas de inundación. Curvas altura-caudal. Olas en embalse. Erosión de márgenes. Hidrogramas de aporte.

Descriptores geográficos: Río Paraná, Río Paraguay, Cierre Itatí-Itacorá, Embalse de Yacyretá, Argentina, Paraguay.

ÍNDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 4 |
| 2 | ANÁLISIS HIDRÁULICOS | 6 |
| 2.1 | Caudal de crecida extraordinaria | 6 |
| 2.2 | Curvas clave | 6 |
| 2.3 | Estadística de caudales | 10 |
| 2.4 | Efecto de remanso de Itatí-Itacorá | 15 |
| 2.5 | Perfiles longitudinales | 20 |
| 2.6 | Efecto sobre la restitución de Yacyretá | 23 |
| 2.7 | Crecida Máxima Probable | 24 |
| 2.8 | Distribución lateral de caudales en las secciones de cierre | 26 |
| 3 | ACCIÓN DEL OLEAJE | 29 |
| 3.1 | Oleaje para diferentes alternativas de cierre | 29 |
| 3.1.1 | Resultados para Alternativa 1A | 32 |
| 3.1.2 | Resultados para Alternativa 1B | 33 |
| 3.1.3 | Resultados para Alternativa 2A | 34 |
| 3.1.4 | Resultados para Alternativa 2B | 35 |
| 3.1.5 | Resultados sobre las márgenes | 37 |
| 3.2 | Registro de vientos en San Cosme | 38 |
| 3.3 | Temporal del 25 de abril de 2017 | 40 |
| 3.4 | Evaluación del modelo de erosión utilizando datos de Itaipú | 45 |
| 3.4.1 | Erosión costera en Itaipú | 45 |
| 3.4.2 | Aplicación del método de Elci & Work para estimar erosión costera en Itaipú | 48 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | APORTE HIDROLÓGICO | 51 |
| 4.1 | Consideraciones generales | 51 |
| 4.2 | Características físicas de la margen derecha | 52 |
| 4.3 | Precipitación | 56 |
| 4.4 | Método de pérdidas | 61 |
| 4.5 | Método de transformación de precipitación en escorrentía | 63 |
| 4.6 | Hidrogramas para margen derecha | 65 |
| 5 | CONCLUSIONES | 71 |
| | REFERENCIAS | 73 |
| | ANEXO: MODELOS CONCEPTUALES Y PARÁMETROS UTILIZADOS EN HEC-HMS | 74 |

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto Itatí-Itacorá es un aprovechamiento hidroeléctrico de llanura ubicado aguas abajo de la presa de Yacyretá, en el límite entre Argentina y Paraguay, y cercano a las ciudades de Itatí, sobre la margen argentina, e Itacorá, sobre la margen paraguaya. Tendrá un salto de aproximadamente 11,0 m, y una capacidad instalada de 2.000 MW, equipado con 39 turbinas bulbo. Al ubicarse aguas abajo de la presa de Yacyretá, podrá ser utilizado como embalse compensador de esta.

La COMIP (Comisión Mixta Argentino Paraguaya del Río Paraná) ha encargado al INA, a través del CEED, los estudios hidráulicos para el anteproyecto del emprendimiento. Este estudio cuenta además con la colaboración de profesionales paraguayos contratados por la COMIP, y la discusión permanente con personal técnico de la COMIP y de EBISA.

Los principales objetivos del estudio son los siguientes:

- Determinar las áreas inundadas por el futuro embalse, para ser utilizadas en el estudio de impacto ambiental.
- Determinar las curvas clave altura-caudal en la sección de cierre y en la restitución de la presa de Yacyretá, para ser utilizadas en el análisis energético.
- Determinar la acción del oleaje sobre las márgenes del embalse, de modo de establecer el riesgo de erosión.
- Cuantificar el aporte hidrológico desde la margen derecha (Paraguay) e izquierda (Argentina), de modo de analizar sus efectos y su eventual conducción en caso de ser interceptado.
- Analizar la sedimentación en el futuro embalse.
- Analizar la eventual perturbación de la dinámica hidrosedimentológica aguas abajo del futuro cierre.

En el Primer Informe Parcial se determinaron los efectos de remanso que provocaría el cierre Itatí-Itacorá (cuantificados a través de las áreas de inundación, los perfiles longitudinales del pelo de agua y las curvas altura-caudal en la restitución de Yacyretá), se efectuó un análisis para establecer la curva altura-caudal más confiable para la sección Itatí-Itacorá, se analizó el clima de olas que se generará en el embalse de Itatí-Itacorá, se llevó a cabo una estimación de la consecuente erosión potencial sobre las márgenes, y se determinaron hidrogramas de aporte hidrológico desde la margen argentina hacia el río Paraná.

En este Segundo Informe Parcial se presentan los siguientes resultados:

- En el capítulo 2 se determinan las curvas clave altura-caudal en las posibles secciones de implantación del cierre Itatí-Itacorá, los tiempos de recurrencia para distintos caudales pico, la permanencia de los caudales diarios, las curvas caudal-nivel con el embalse Itatí-Itacorá para distintas localidades, los perfiles longitudinales del nivel de agua para condiciones naturales y en situación con presa para distintos

caudales, el efecto de Itatí-Itacorá sobre la restitución de la Central de Yacyretá para niveles de embalse intermedios entre 59.0 m y 61.0 m, los perfiles longitudinales asociados a la CMP correspondientes a las distintas alternativas de cierres, y la distribución lateral de velocidades y caudales específicos en las secciones transversales de ambas alternativas de cierre.

- En el capítulo 3 se efectúa una predicción del oleaje para las diferentes alternativas de cierre, se analiza la compatibilidad entre las series de intensidades de viento en las estaciones San Cosme y Posadas, se estima el oleaje asociado a un temporal como el del 25 de abril de 2017, y se analiza la compatibilidad entre los registros de erosión costera para el embalse de Itaipú y los cálculos efectuados para el embalse de Itatí-Itacorá.
- En el capítulo 4 se determinan hidrogramas de aporte hidrológico desde la margen paraguaya hacia el río Paraná, considerando tormentas de larga duración, e incluyendo el cálculo de hidrogramas a pie de presa para las alternativas de cierre 1B y 2B.
- En el capítulo 6 se vierten las conclusiones de esta fase del estudio.

2 ANÁLISIS HIDRÁULICOS

2.1 Caudal de crecida extraordinaria

En el Primer Informe Parcial se indicó que $45.000 \text{ m}^3/\text{s}$ era el valor estimado asociado al nivel máximo registrado en la historia de la escala hidrométrica de Posadas, en el año 1905. Si bien, efectivamente, esa había sido la estimación inicial histórica, al disponerse de más información luego de las crecidas extraordinarias posteriores (especialmente las de 1982 y 1983) se efectuó una corrección, estimándose desde entonces por encima de los $50.000 \text{ m}^3/\text{s}$. El valor de 45.000 se ha considerado entonces, a los fines de este estudio, como representativo del orden del pico de crecidas extraordinarias de modo de ser utilizado para los estudios de impacto ambiental.

2.2 Curvas clave

Para el cálculo de las estructuras de las presas del cierre Itatí-Itacorá se requiere conocer las curvas clave altura-caudal en las secciones de implantación. Para obtenerlas se utilizó el modelo hidrodinámico en ausencia de las presas.

Para poder determinar las curvas clave con la mayor precisión posible en las progresivas de los cierres, se incorporaron al modelo hidrodinámico las secciones transversales relevadas para el proyecto (ITAIPU, 2017). Se trata de un total de 19 secciones, desde la confluencia del río Paraná con el río Paraguay hasta la confluencia del Brazo Principal con el Brazo Aña Cuá (aguas abajo de Yacyretá), tal como se muestra en la **Figura 2.1**.

Las secciones transversales incorporadas no cuentan con información topográfica de la planicie de inundación, a la espera de disponer del Modelo Digital de Elevación (MDE) en elaboración por el IGN. En la **Figura 2.2** y la **Figura 2.3** se muestran las secciones batimétricas correspondientes de los cierres de ambas alternativas de obra, indicados en la **Figura 2.1**.

Las secciones transversales incorporadas generan perturbaciones en el modelo hidrodinámico preliminar calibrado. Se verificó que esos cambios son relativamente menores. De todos modos, el modelo será recalibrado una vez que se disponga del total de secciones transversales y el MDE de la planicie de inundación, tras lo cual se recalcularán estas curvas clave.

La **Figura 2.4** presenta la curva clave determinada con el modelo hidrodinámico para la sección Itatí, para caudales (en régimen permanente) desde $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $95.000 \text{ m}^3/\text{s}$, con paso cada $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

En la **Figura 2.5** y **Figura 2.6** se presentan las curvas clave para los dos cierres propuestos.

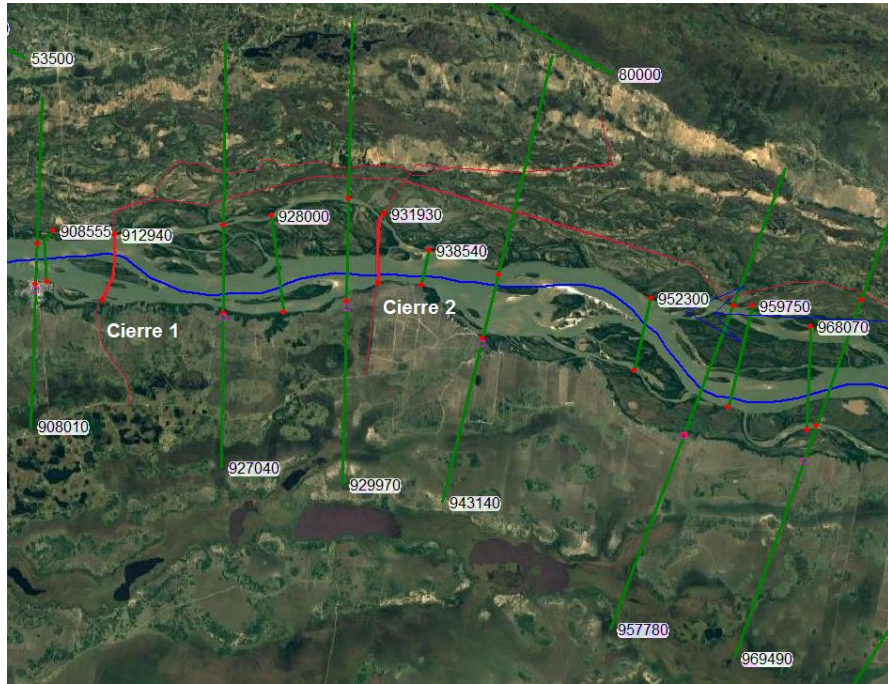


Figura 2.1. Ubicación de las secciones transversales y las 2 alternativas de cierre.

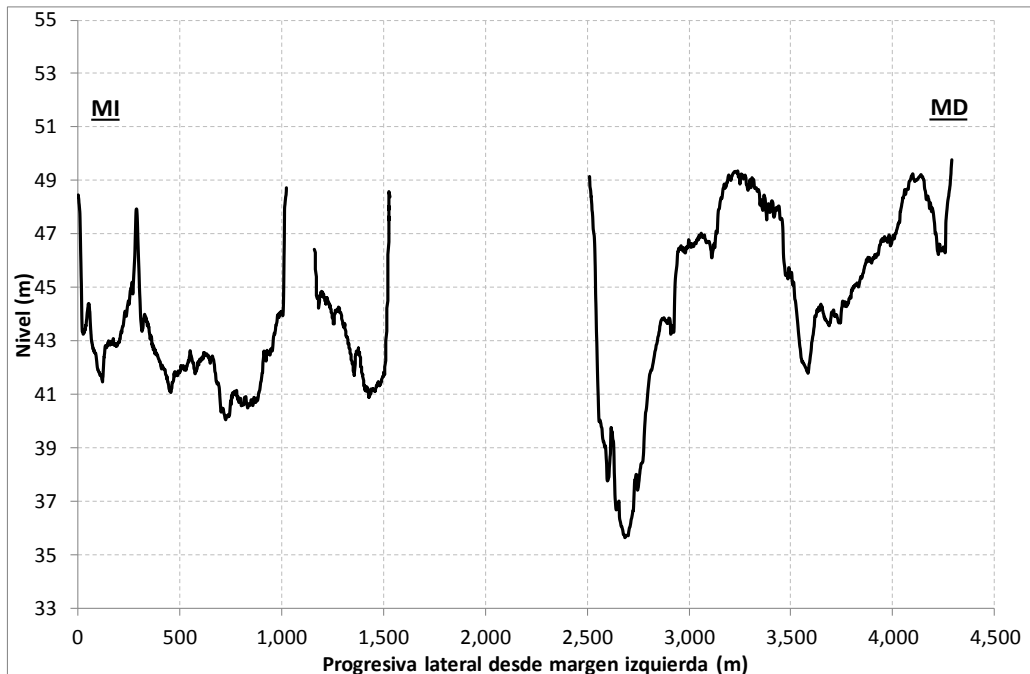


Figura 2.2. Sección de cierre Alternativa 1.

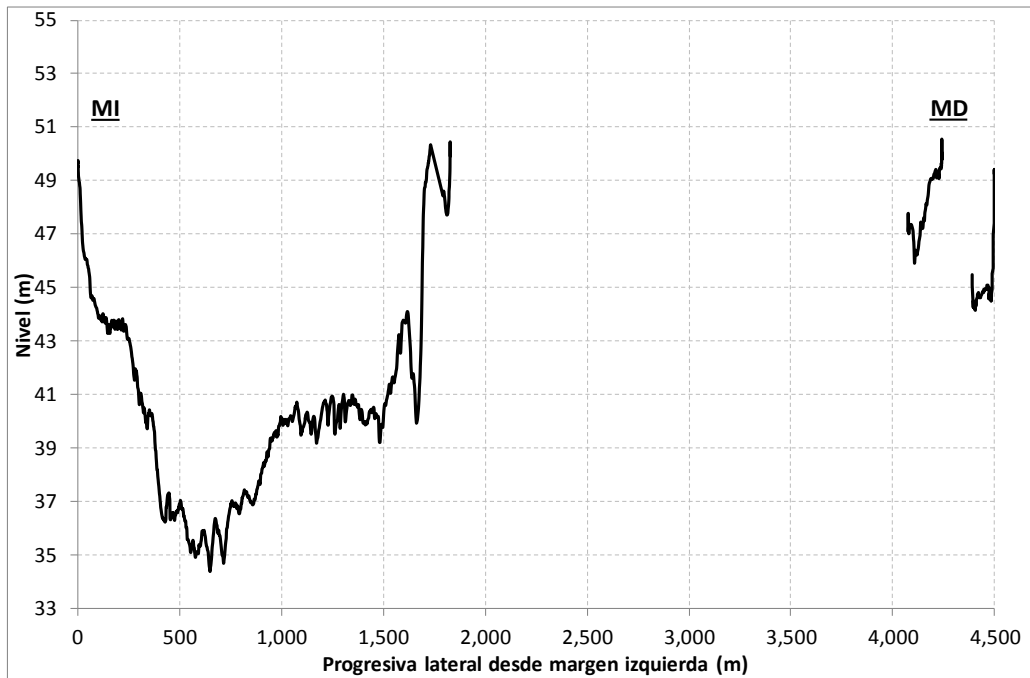


Figura 2.3. Sección de cierre Alternativa 2.

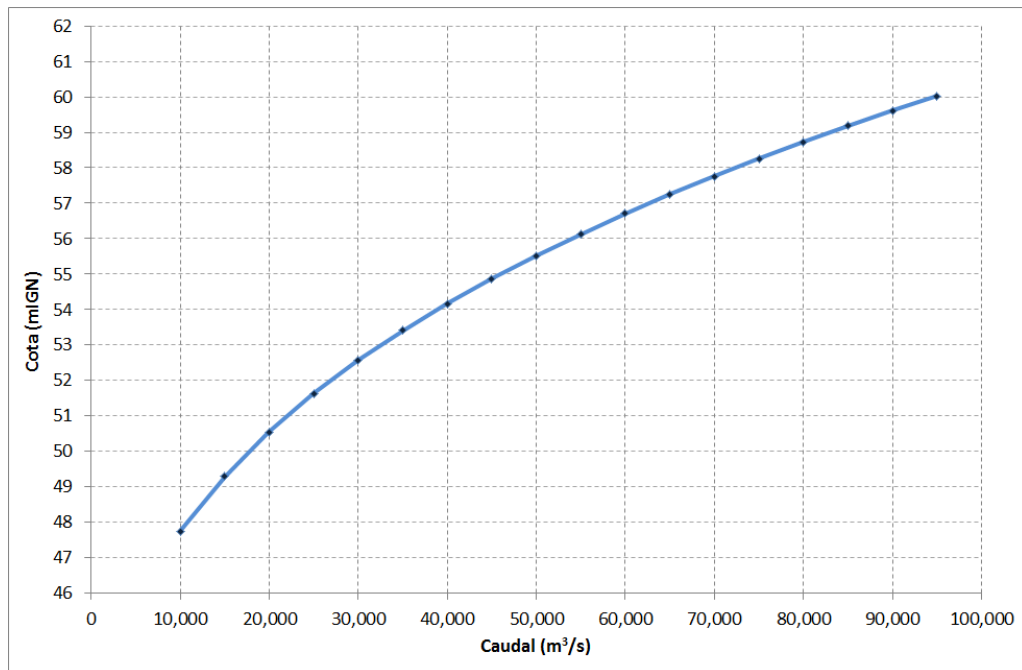


Figura 2.4. Curva clave en Itatí.

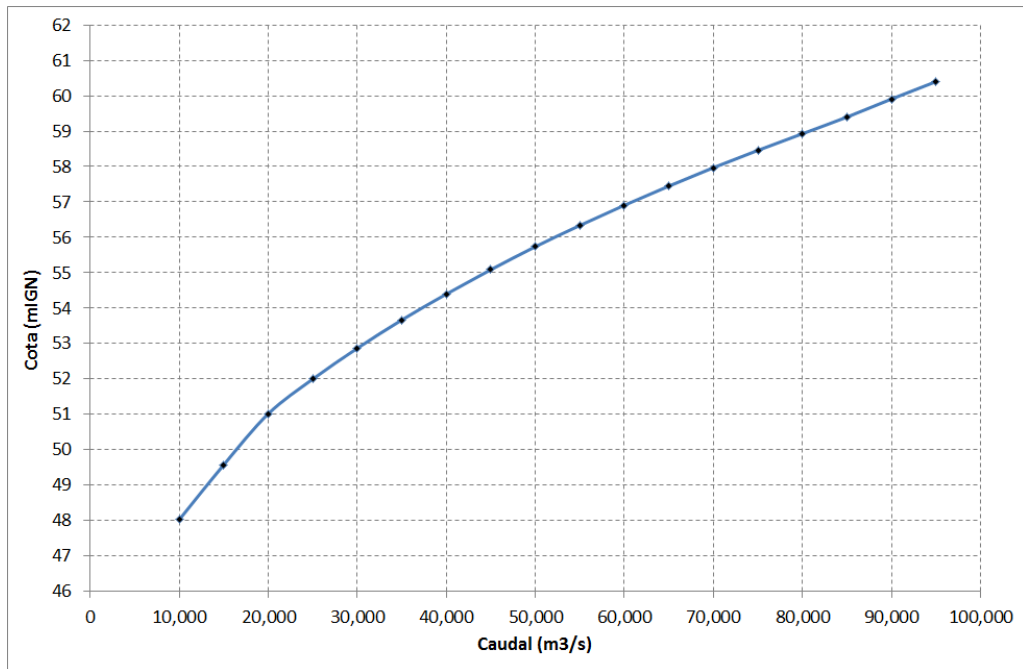


Figura 2.5. Curva clave en cierre 1.

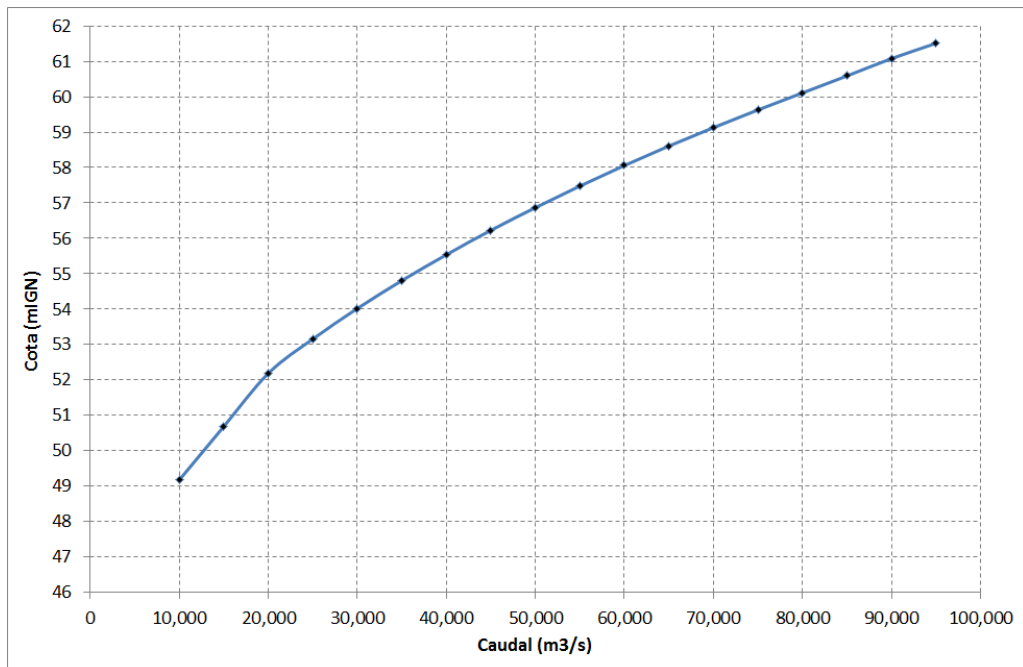


Figura 2.6. Curva clave en cierre 2.

2.3 Estadística de caudales

El análisis del tiempo de recurrencia de los caudales pico de ondas de crecida se lleva a cabo efectuando una asignación de frecuencias (o, equivalentemente, su inversa, tiempo de recurrencia o período de retorno), y eventualmente un ajuste de funciones de distribución pertinentes, a las series temporales de valores registrados. Lo usual es tomar la serie temporal de máximos valores anuales, bajo la hipótesis de que el régimen de crecidas es anual.

Ahora bien, es importante mencionar que el cálculo del tiempo de recurrencia no es robusto, debido a varias causas:

- Los aforos de caudal tienen grandes incertidumbres, y especialmente en el caso de caudales altos como los asociados a picos de crecida.
- Las frecuencias asignadas a los caudales pico son empíricas, estando condicionadas por la extensión de la muestra.
- En esa asignación se asume que existe estacionalidad en las frecuencias, lo cual es relativo en un contexto de Cambio Climático.
- La elección de una función de ajuste representa plantear un modelo matemático empírico para la relación entre caudal pico y recurrencia, lo cual implica asumir el error del modelo, representado por la dispersión de valores alrededor de esa curva.

Debido a estas limitaciones, al comparar los análisis efectuados para dos estaciones hidrométricas vecinas, en general se observan discrepancias en las relaciones caudal pico versus recurrencia, más allá de las discrepancias sistemáticas esperables por razones físicas (por ejemplo, atenuación o aportes de caudal en el tramo). En consecuencia, sólo es posible requerir que los análisis en estaciones vecinas sean relativamente consistentes entre sí.

A los fines de establecer una caracterización de la relación caudal pico versus recurrencia en un tramo de río, es necesario elegir como referencia una escala y un período particular de análisis.

En el caso del proyecto Itatí-Itacorá se dispone de dos escalas hidrométricas con datos históricos extensos: Posadas e Itatí, sobre la margen argentina (**Figura 2.7**). Para el análisis se seleccionó la escala de Itatí.

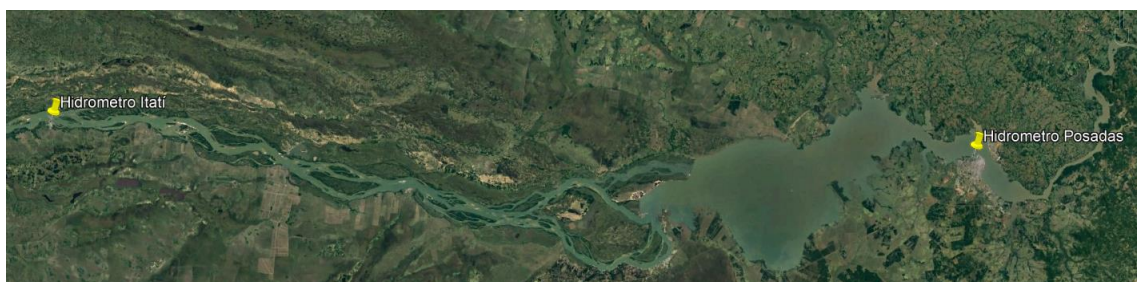


Figura 2.7. Ubicación de escalas hidrométricas.

En la **Figura 2.8** se presenta la serie de niveles locales en la regla de Itatí, entre Diciembre de 1912 y Febrero de 2018. En la **Figura 2.9** se muestran los caudales que se obtienen de transformar dichos niveles con la curva altura-caudal obtenida del ajuste a los resultados del MOAGAB, cuya ecuación es (Primer Informe de Avance):

$$Q = 322,596 \cdot H^2 + 797,669 \cdot H + 6.359,258$$

donde H es el nivel local en m, y Q el caudal en m^3/s . La cota del cero de esta estación es 45,10 mIGN.

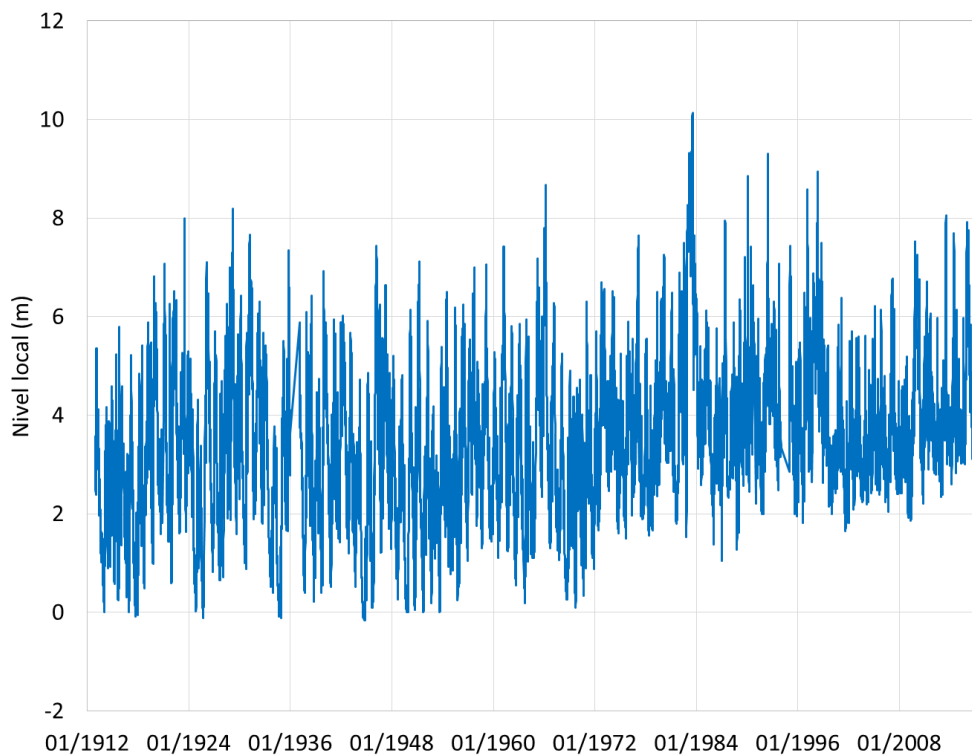


Figura 2.8. Serie de niveles locales en la estación Itatí

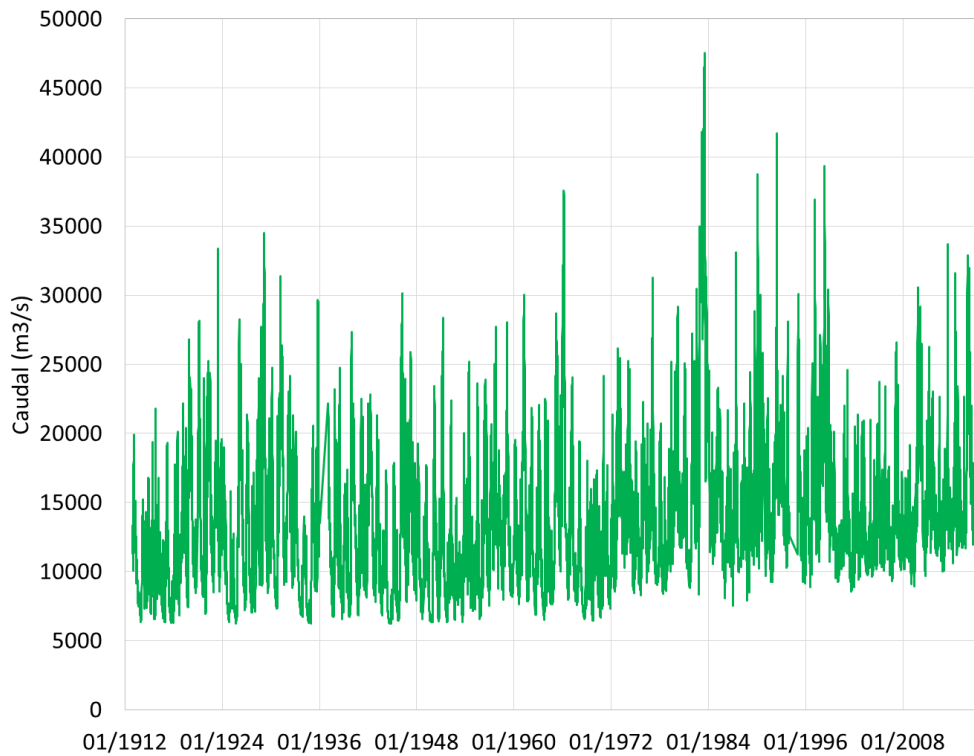


Figura 2.9. Serie de caudales en la estación Itatí obtenidos mediante la curva altura-caudal

A partir de la serie de caudales completa se construyó la serie de máximos anuales, a la cual se ajustó la función de distribución GEV (Generalizada de Valores Extremos). Se aplicó la librería *extRemes* del software *R*. La ecuación resultante es la siguiente:

$$Q_p = \begin{cases} \varepsilon + \frac{\alpha}{\kappa} \left(1 - \left[-\ln(1 - 1/T_r) \right]^\kappa \right) & \text{si } \kappa \neq 0 \\ \varepsilon - \alpha \cdot \ln(-\ln(1 - 1/T_r)) & \text{si } \kappa = 0 \end{cases}$$

donde Q_p es el caudal pico en m^3/s , T_r el tiempo de recurrencia en años, ε el parámetro de ubicación, α el parámetro de escala y κ el parámetro de forma. Los valores de estos parámetros se obtuvieron efectuando un ajuste mediante el método de Máxima Verosimilitud, resultando:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 2.243454 \cdot 10^4 \\ \alpha &= 4.814469 \cdot 10^3 \\ \kappa &= -5.085243 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

En la **Figura 2.10** se presenta la función de extremos ajustada, junto con los intervalos de confianza de 95%. Evaluando la ecuación para distintos períodos de recurrencia se obtuvieron los caudales asociados que se presentan en la **Tabla 2.1**.

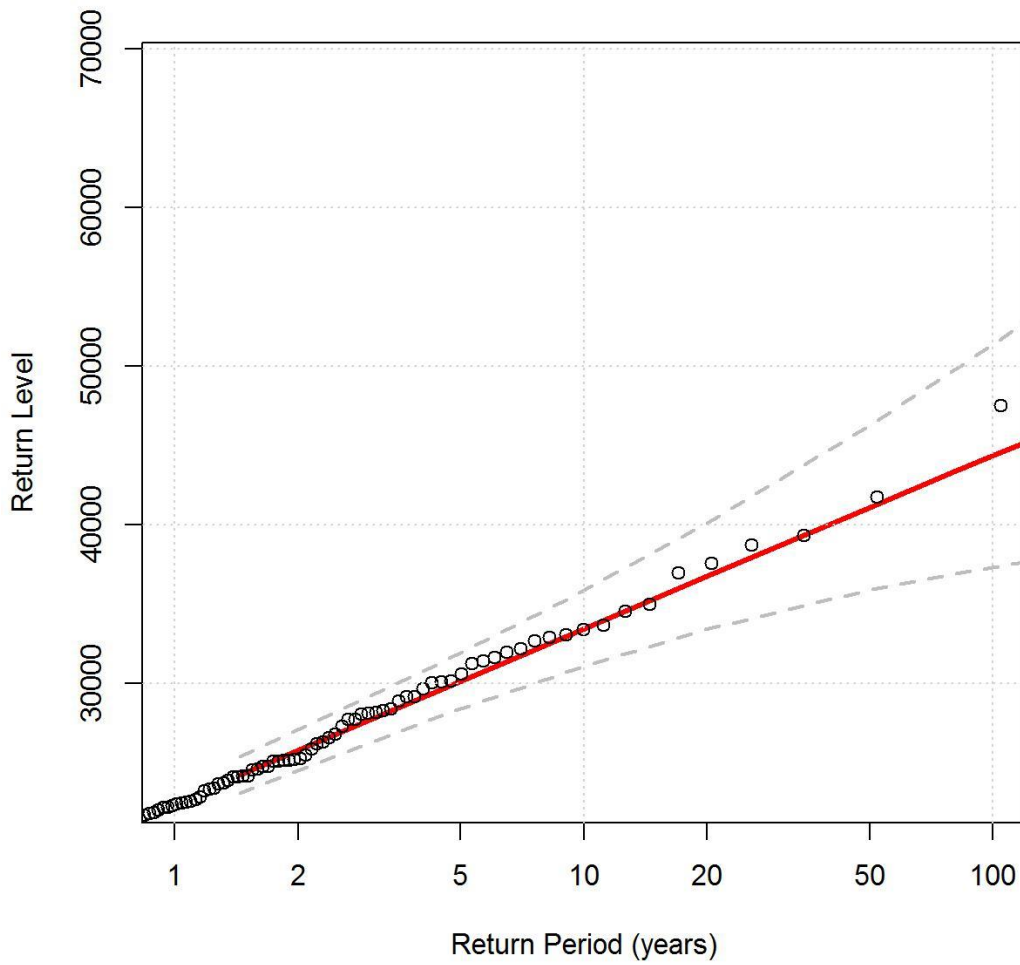


Figura 2.10. Relación caudal pico (Return Level), en m^3/s , versus recurrencia (Return Period), en años, en línea continua roja, y límites de confianza del 95% en trazo gris. Estación Itatí; período 2012-2018.

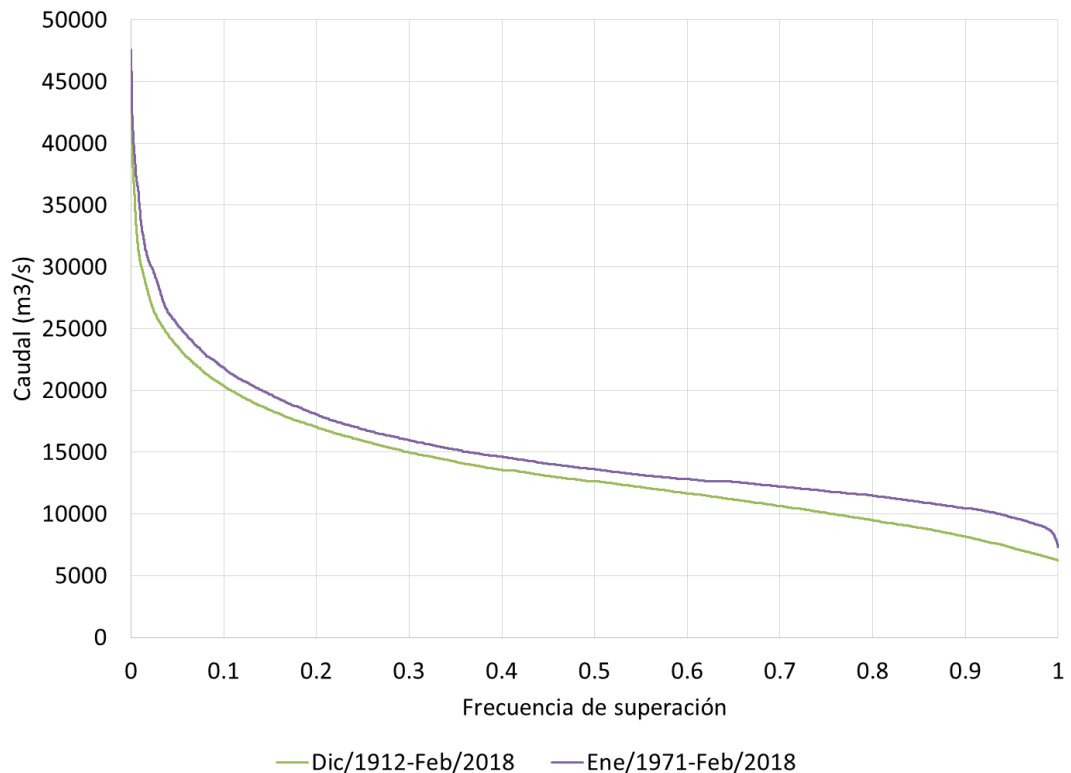
Tabla 2.1. Tiempos de recurrencia para distintos caudales pico.

| Tiempo de recurrencia (años) | Caudal pico (m^3/s) |
|------------------------------|-------------------------|
| 2 | 24.197 |
| 5 | 29.628 |
| 10 | 33.207 |
| 20 | 36.627 |
| 50 | 41.035 |
| 100 | 44.324 |

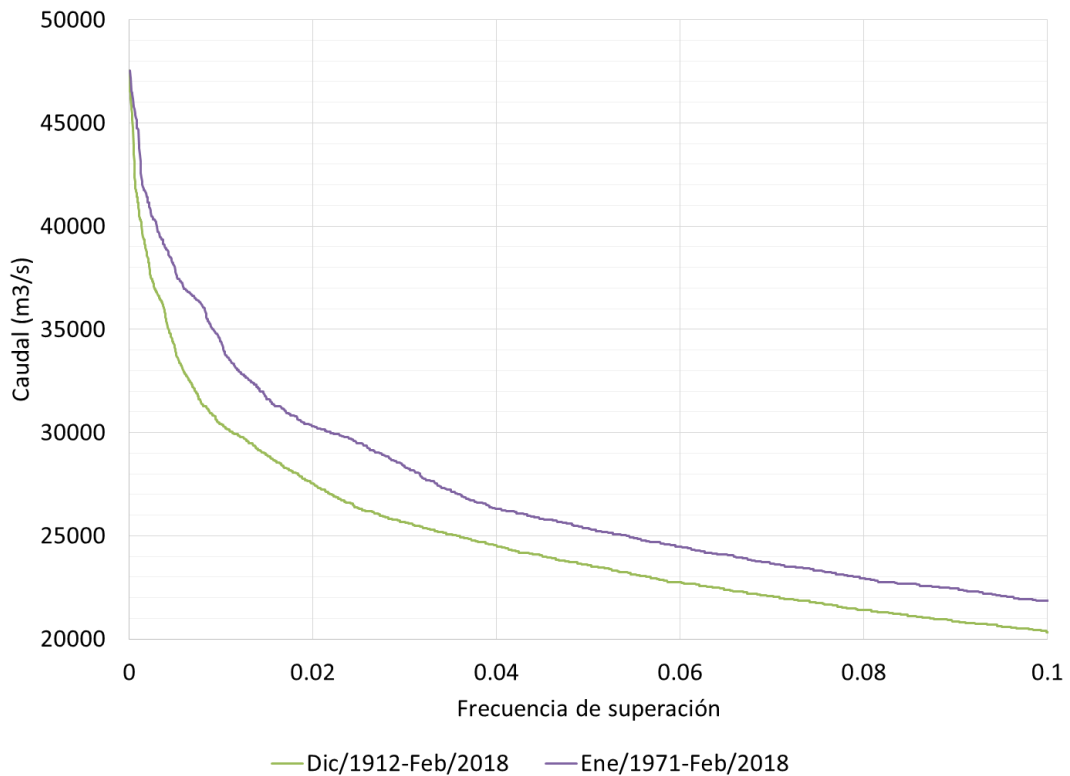
A partir de la serie de caudales también se construyó una curva de permanencia de los caudales diarios en la estación para distintas ventanas de tiempo:

- Dic/1912 a Feb/2018: la serie completa.
- Ene/1971 a Feb/2018: período representativo de Itaipú en funcionamiento.

Los resultados se presentan en la **Figura 2.11**, incluyendo una ampliación para el rango de bajas frecuencias. Se observa que los caudales tienden a aumentar para todas las frecuencias en el período más reciente respecto del completo. Este fenómeno es particularmente acentuado para los caudales bajos, que aumentaron producto de la capacidad de regulación de las represas ubicadas en el Alto Paraná.



a) Distribución completa



b) Ampliación para bajas frecuencias

Figura 2.11. Permanencia de caudales diarios en la estación Itatí para distintas ventanas de análisis

2.4 Efecto de remanso de Itatí-Itacorá

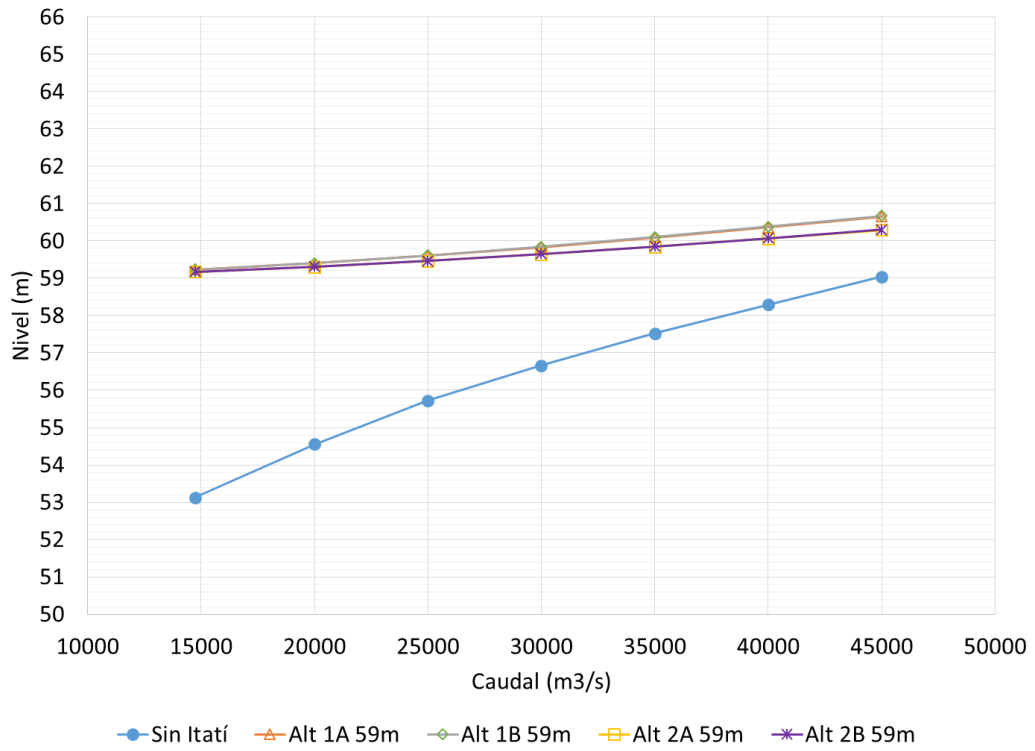
Como complemento de los mapas de inundación se calcularon, mediante el modelo unidimensional, curvas caudal-nivel para estudiar la afectación del embalse Itatí-Itacorá sobre distintas localidades ubicadas aguas abajo de Yacyretá.

En algunas de las localidades, presentadas en la **Tabla 2.2**, se cuenta con niveles de alerta y evacuación, que fueron superpuestos a las curvas caudal-nivel. Los niveles de alerta y evacuación para las localidades de la margen izquierda fueron obtenidos de los informes del PAE de Yacyretá (INA, 2015). Los ceros de escala de todas las estaciones, así como los niveles de alerta y evacuación de la ciudad de Ayolas fueron suministrados por la EBY.

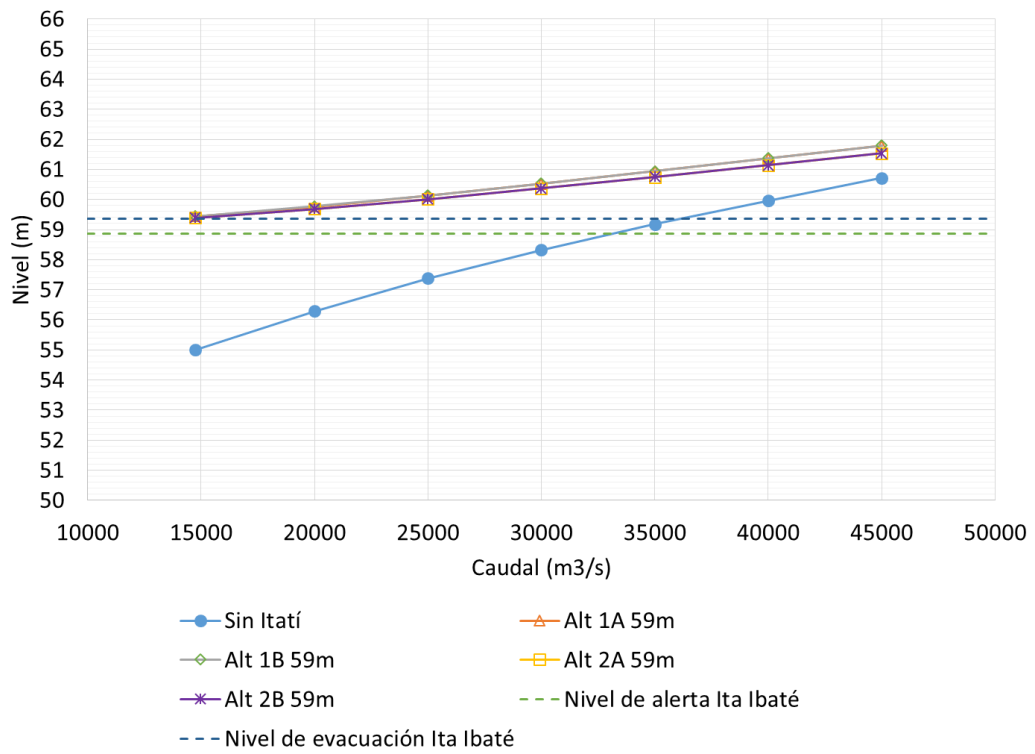
Tabla 2.2. Niveles hidrométricos de alerta y evacuación.

| Localidad | Cero de escala | Nivel de alerta | Nivel de evacuación |
|-----------|----------------|-----------------|---------------------|
| | [m IGN] | [m] | [m] |
| Ayolas | 55,33 | 3,80 | 4,50 |
| Ituzaingó | 57,41 | 3,50 | 4,00 |
| Ita Ibaté | 51,90 | 7,00 | 7,50 |

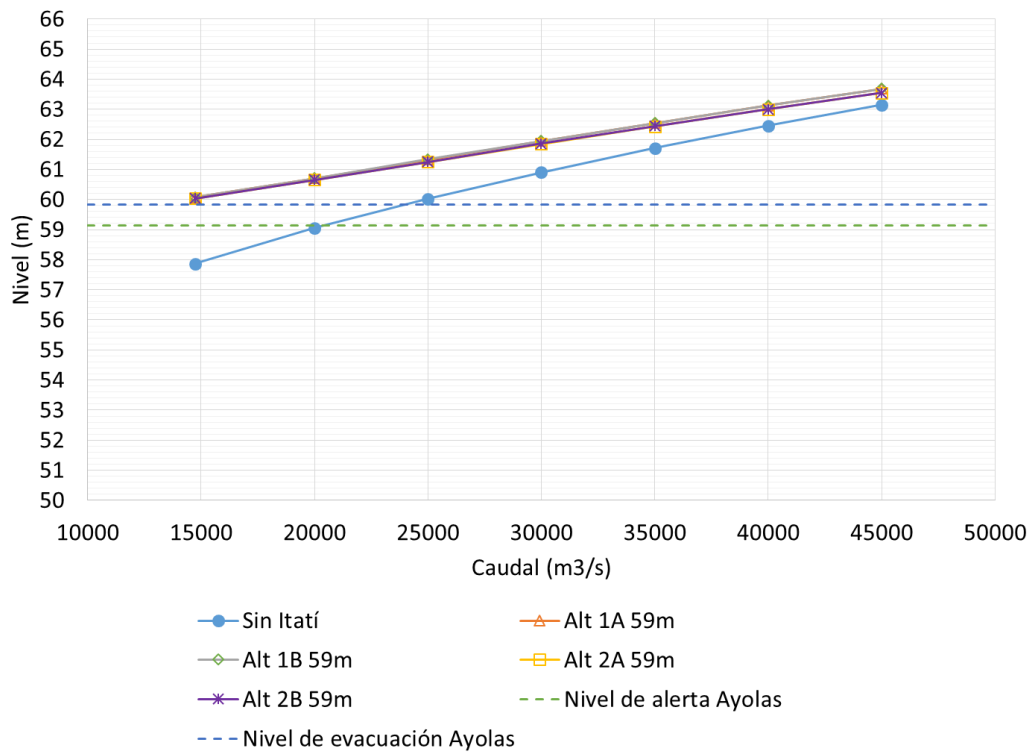
En la **Figura 2.12** se presentan los niveles en cada localidad para un nivel de embalse de 59 m en Itatí-Itacorá, mientras que en la **Figura 2.13** se muestra lo propio para un nivel de embalse de 61 m.



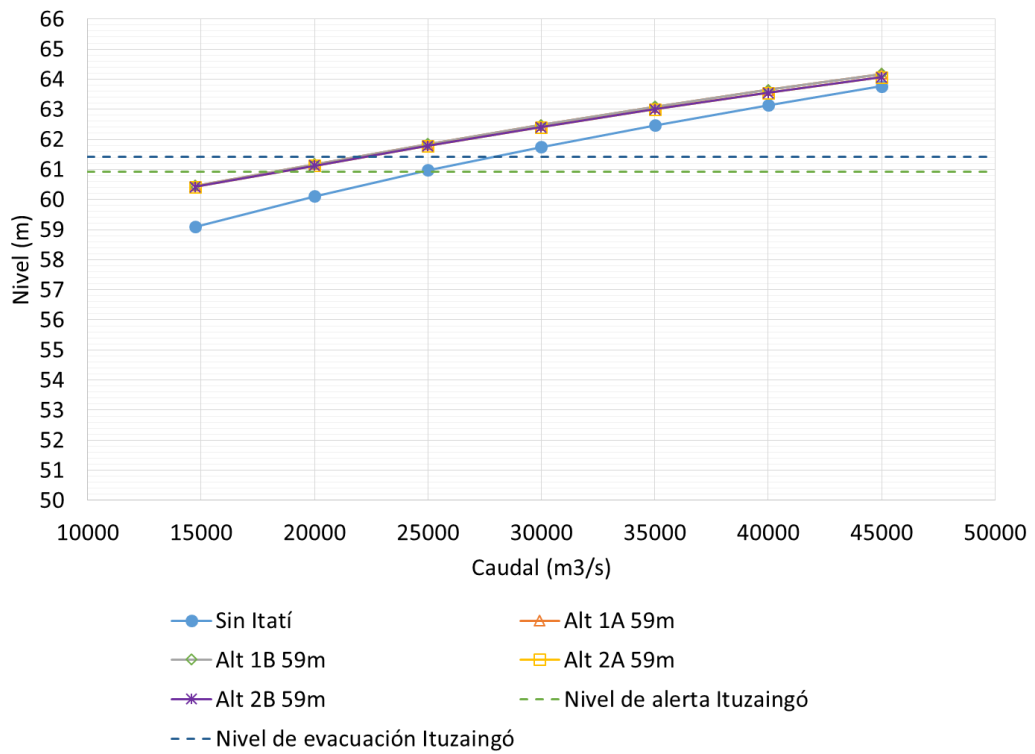
a) Yahapé y Cerrito



b) Ita Ibaté

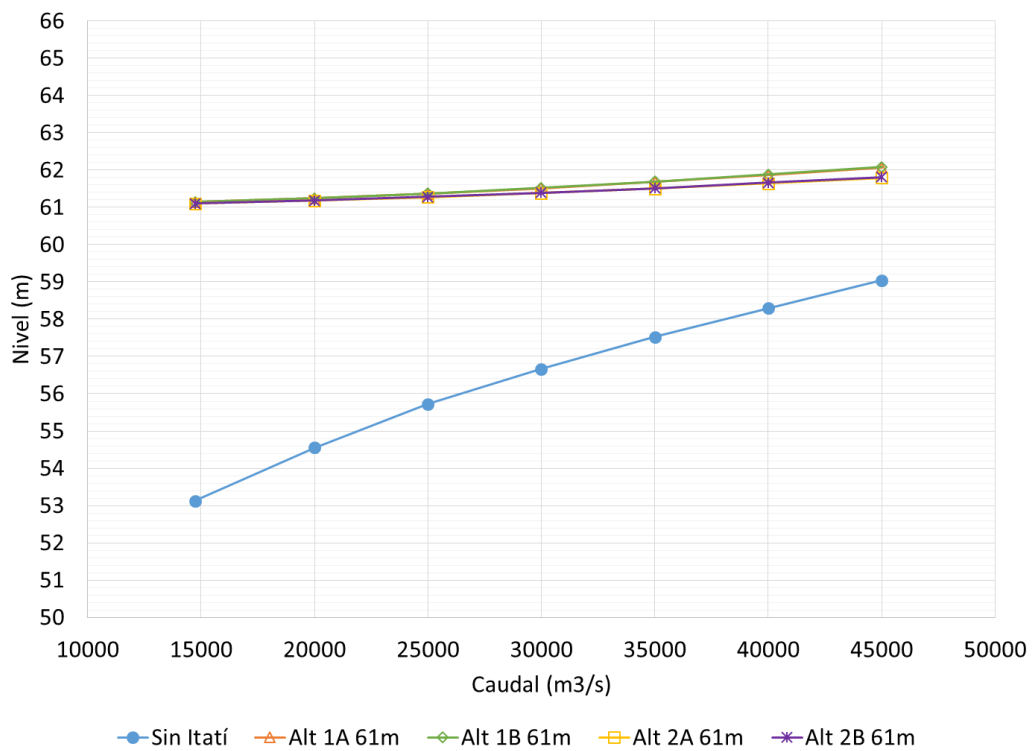


c) Ayolas

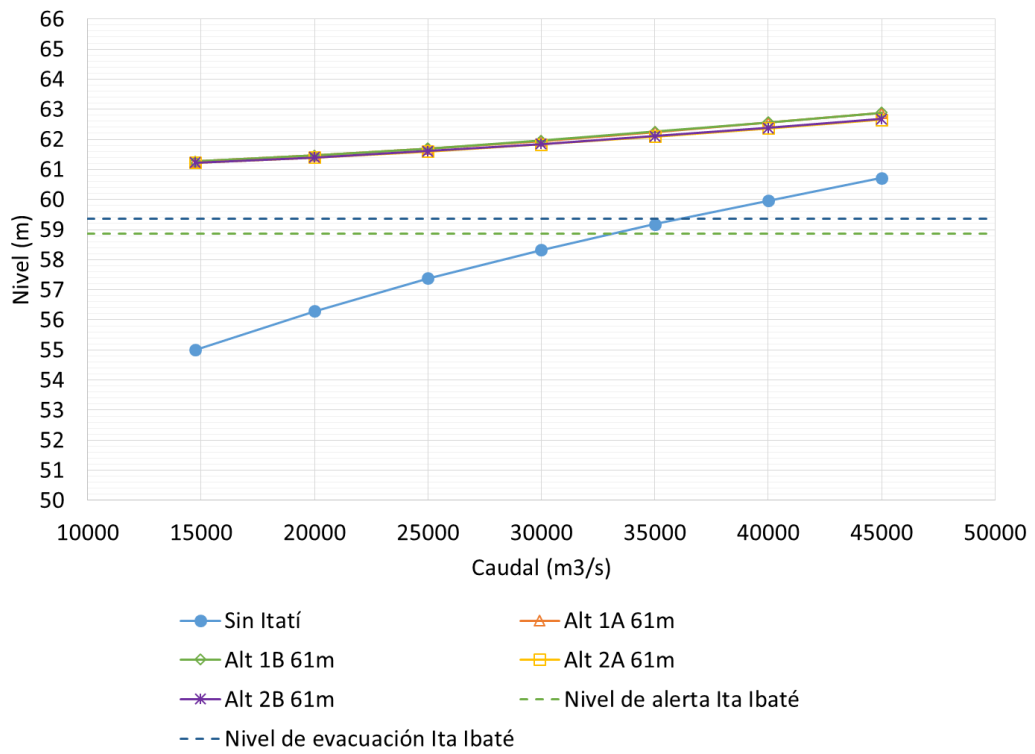


d) Ituzaingó y San Antonio

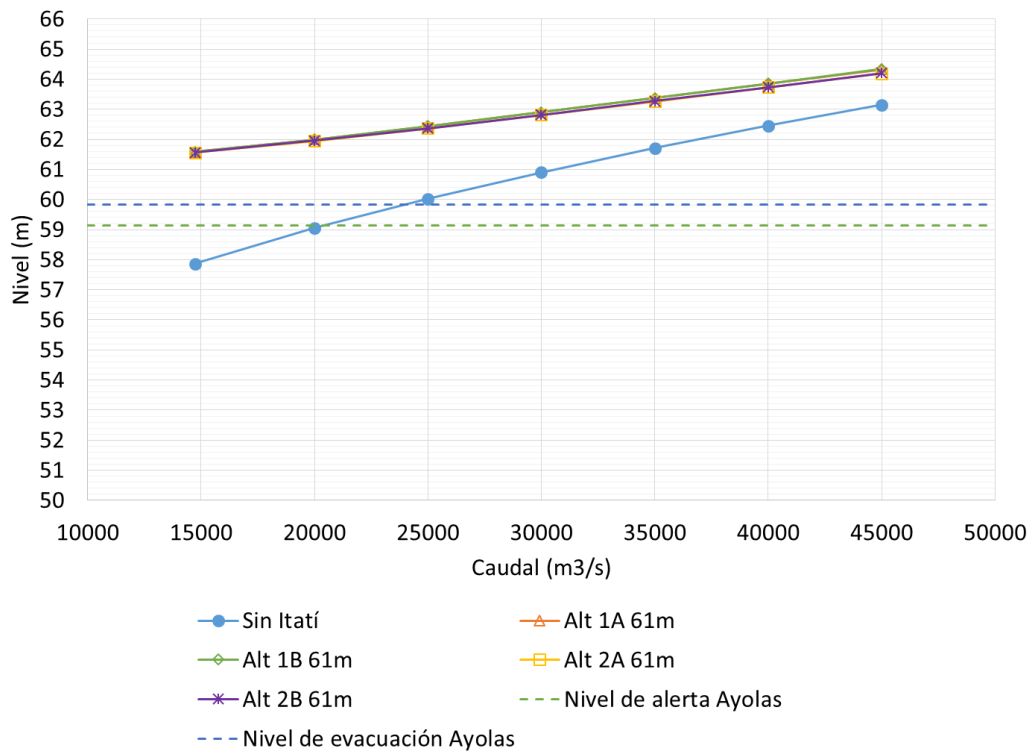
Figura 2.12. Efecto de remanso de Itatí-Itacorá a cota 59 m en varias localidades costeras



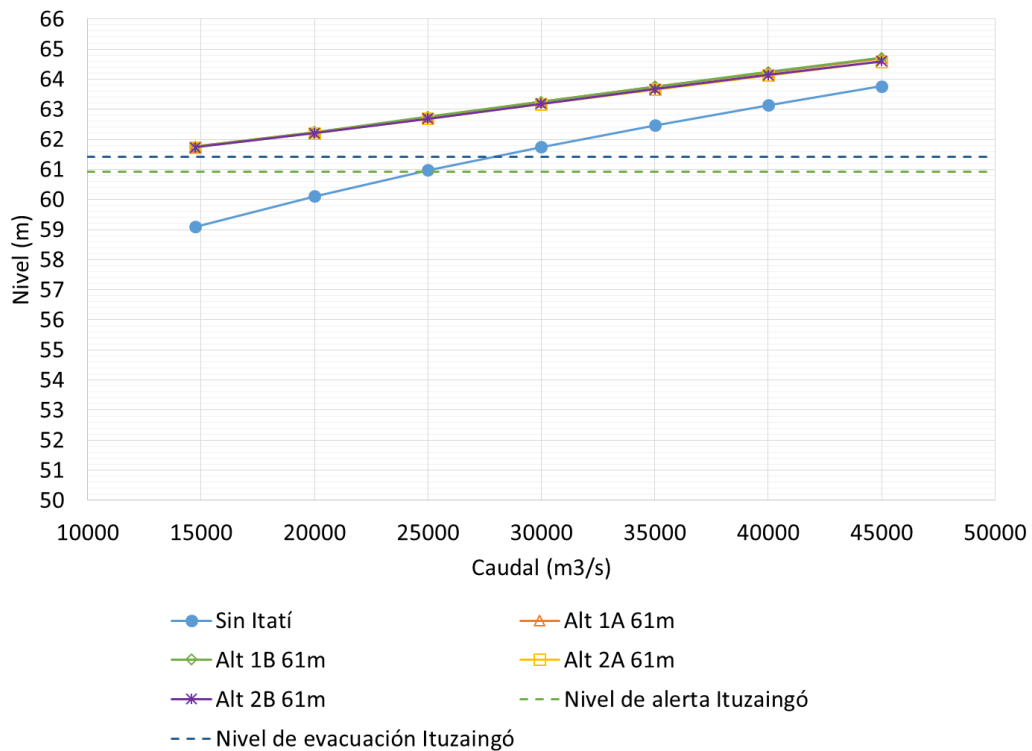
a) Yahapé y Cerrito



b) Ita Ibaté



c) Ayolas



d) Ituzaingó y San Antonio

Figura 2.13. Efecto de remanso de Itatí-Itacorá a cota 61 m en varias localidades costeras

Como era de esperarse, la sobreelevación producida por el embalse es mayor cuanto más cercana es la población al eje de la presa, y cuanto más bajo es el caudal. Además, las alternativas de cierre 1A y 1B producen niveles de afectación algo superiores a los de las alternativas 2A y 2B, sobre todo para caudales altos.

Se observa que ya con la alternativa a cota 59m se alcanzaría el actual nivel de evacuación en las localidades de Ita Ibaté y Ayolas en forma permanente (**Figura 2.12**). En el caso de Ituzaingó esto se produciría para caudales mayores a aproximadamente 22.000 m³/s, pero también resultaría permanente con el embalse a cota 61m (**Figura 2.13**).

2.5 Perfiles longitudinales

Se construyeron los perfiles longitudinales del nivel de agua para las condiciones naturales y en situación con presa para distintos caudales, entre 14.750 m³/s y 45.000 m³/s. En la **Figura 2.14** se muestra la traza de los perfiles para los 3 brazos del río Paraná: brazo Principal, brazo San José Mí y brazo Aña Cuá. Los perfiles fueron obtenidos con el modelo bidimensional, descrito en el Primer Informe Parcial.

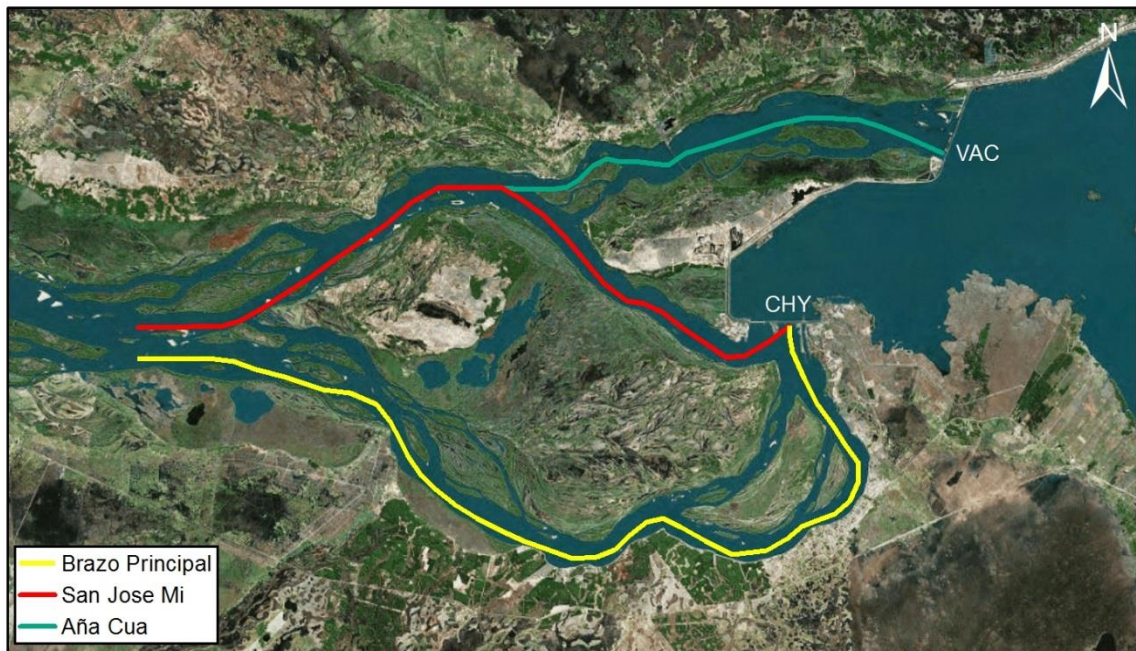


Figura 2.14. Ubicación de los perfiles longitudinales para los 3 brazos.

Los resultados se presentan en la **Figura 2.15** para la condición natural y la **Figura 2.16** y la **Figura 2.17** para la situación con presa. Se observa que a partir de la progresiva 1,069,800m se desprenden dos perfiles: el inferior corresponde al Brazo Principal y el superior al Brazo Aña Cuá; este último luego vuelve a dividirse entre el Brazo Aña Cuá, el superior, y el San José Mí, el inferior. Se observa que los niveles en la restitución del Vertedero del Brazo Aña Cuá no se ven influenciados por los niveles de la presa de Itatí (no hay efectos de remanso).

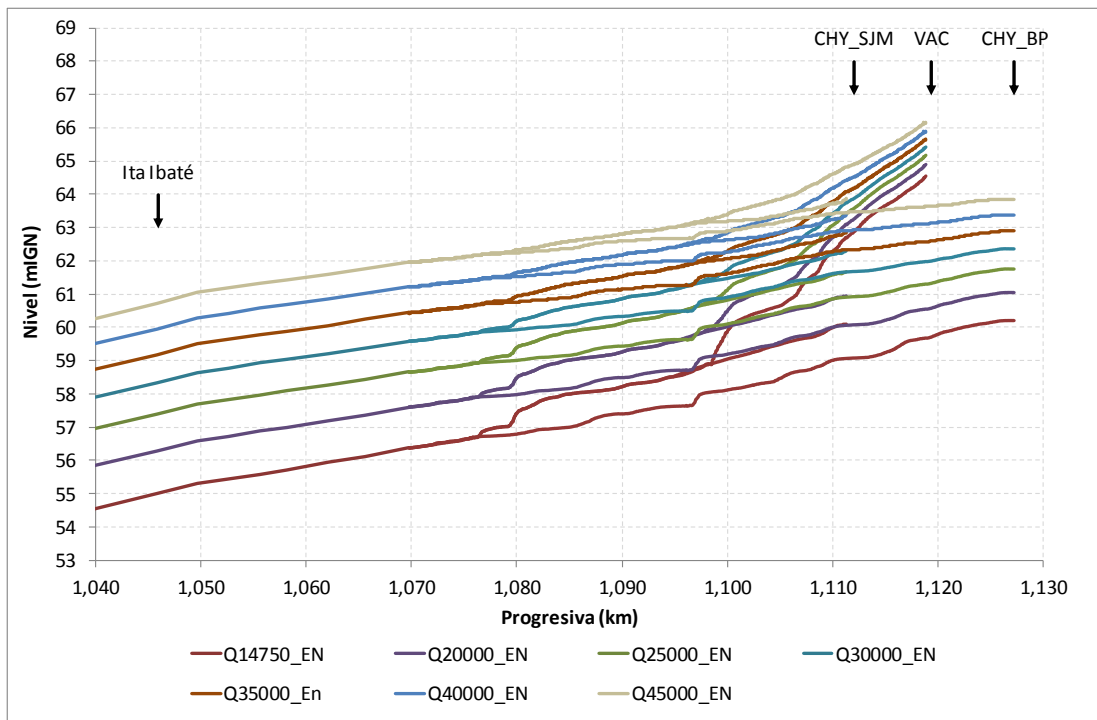


Figura 2.15. Perfiles longitudinales del nivel de agua para el escenario natural, para los brazos Aña Cua, San Jose Mí y Brazo Principal.

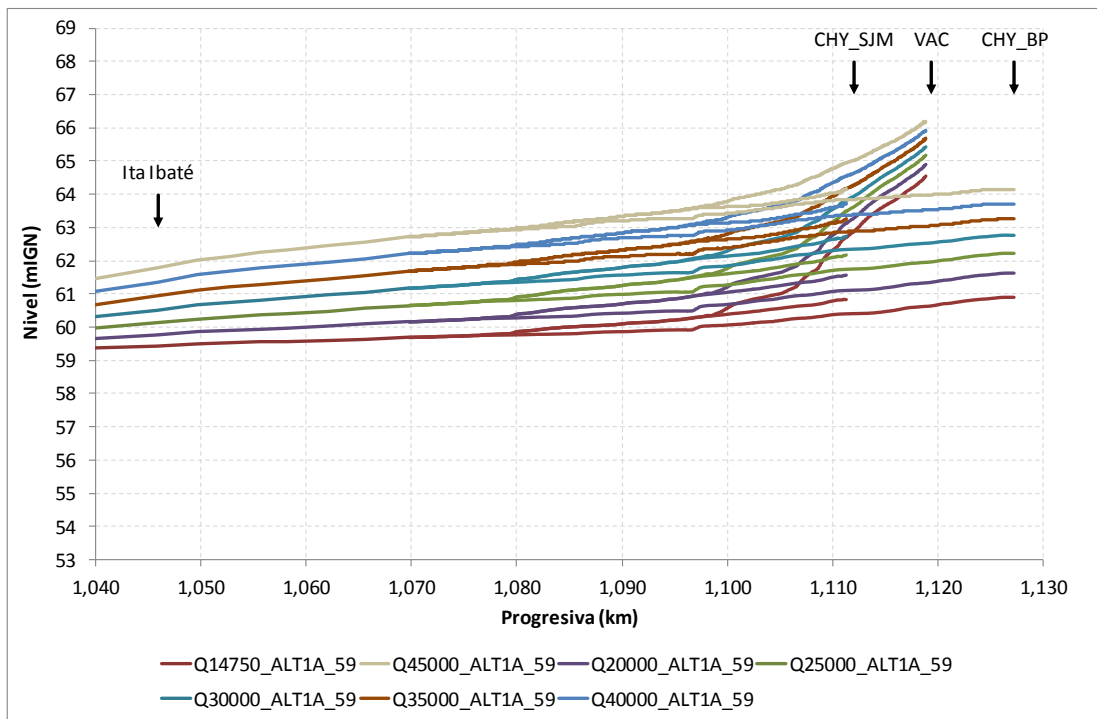


Figura 2.16. Perfiles longitudinales del nivel de agua para la Alternativa 1a a cota 59m, para los brazos Aña Cua, San Jose Mí y Brazo Principal.

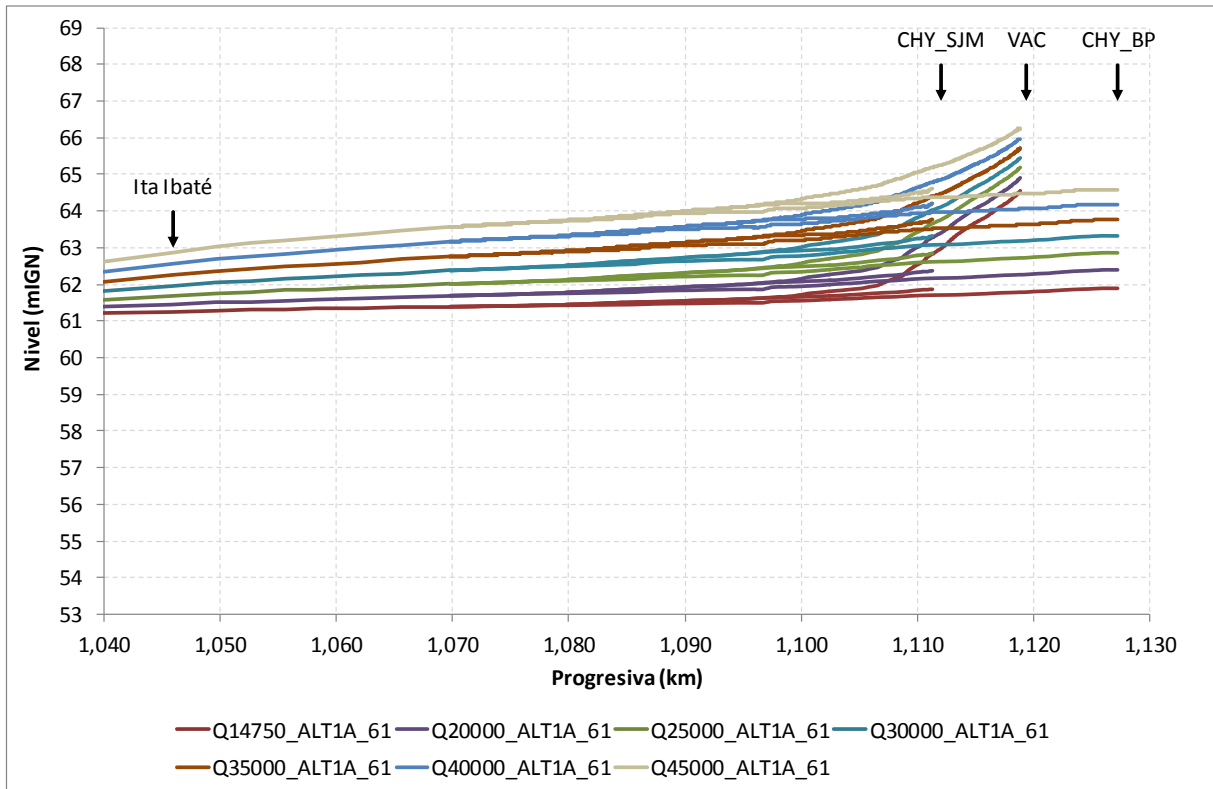


Figura 2.17. Perfiles longitudinales del nivel de agua para la Alternativa 1a a cota 61m, para los brazos Aña Cua, San Jose Mí y Brazo Principal.

2.6 Efecto sobre la restitución de Yacyretá

En el Primer Informe Parcial se recurrió al modelo bidimensional (2D) de la zona de aguas abajo de Yacyretá, desarrollado durante los estudios para el PAE de Yacyretá, con el fin de estudiar el efecto de Itatí-Itacorá con niveles de 59.0 m y 61.0 m sobre la restitución de la Central de Yacyretá. En este informe se repitió dicho análisis para varias cotas intermedias de embalse: 59.5 m, 60.0 m y 60.5 m. Los resultados para se presentan en la **Figura 2.19** para la central actual ubicada en el Brazo Principal. Como se mostró en el Primer Informe Parcial, los niveles de embalse de Itatí-Itacorá proyectados no son suficientemente altos como para afectar la restitución en el Brazo Aña Cuá.

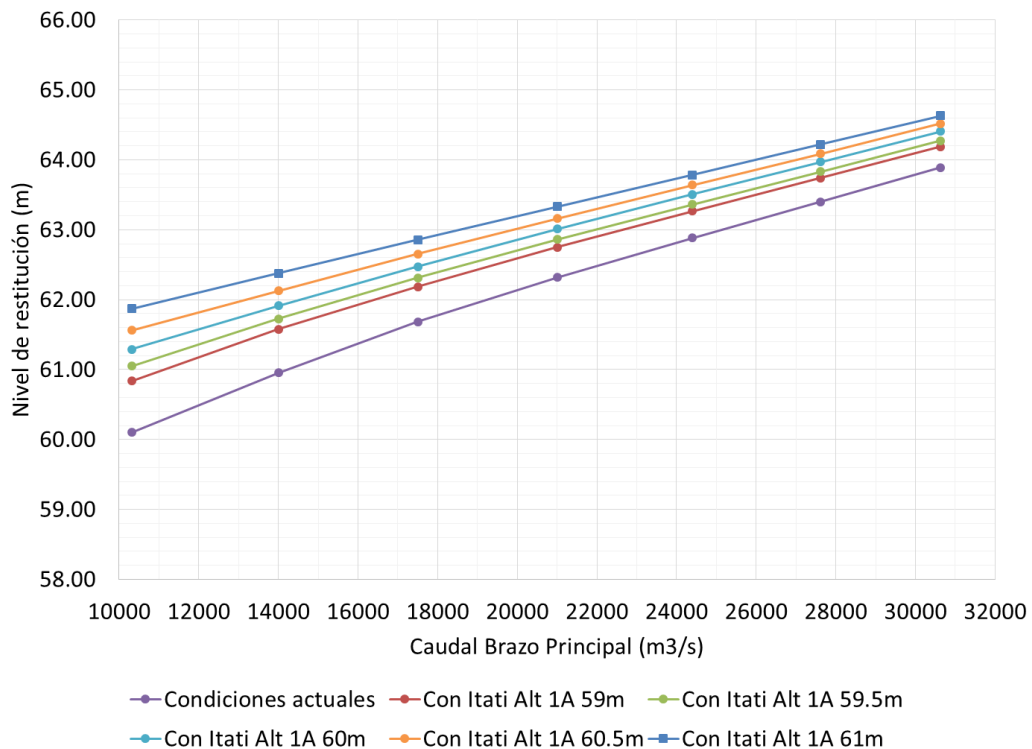


Figura 2.18. Efecto del cierre Itatí-Itacorá sobre la curva de restitución del Brazo Principal.

2.7 Crecida Máxima Probable

El caudal pico de la Crecida Máxima Probable (CMP) para la presa de Yacyretá fue establecido en 95.000 m³/s. Dadas las características actuales de operación de Yacyretá, puede considerarse que esta crecida no sería laminada. Por su parte, la futura presa de Itatí podría tener la capacidad de laminarla para atenuar ese caudal pico a 91.000 m³/s.

Se realizaron ensayos con el modelo hidrodinámico para determinar los perfiles longitudinales asociados a la CMP correspondiente a las distintas alternativas de cierres, considerando la situación de laminación y de no laminación. Para los caudales analizados los vertederos funcionan en una condición ahogada, obligando a elevar los niveles NAMO (Niveles de Aguas Máximas de Operación) de 59m y 61m y generando las curvas altura-caudal que se presentan en la **Figura 2.19**. Para la Alternativa 2 a cota 59m el vertedero queda rápidamente ahogado, por lo que se utiliza la misma curva que para la Alternativa 1 a cota 61m. Los perfiles longitudinales resultantes se presentan en la **Figura 2.20**.

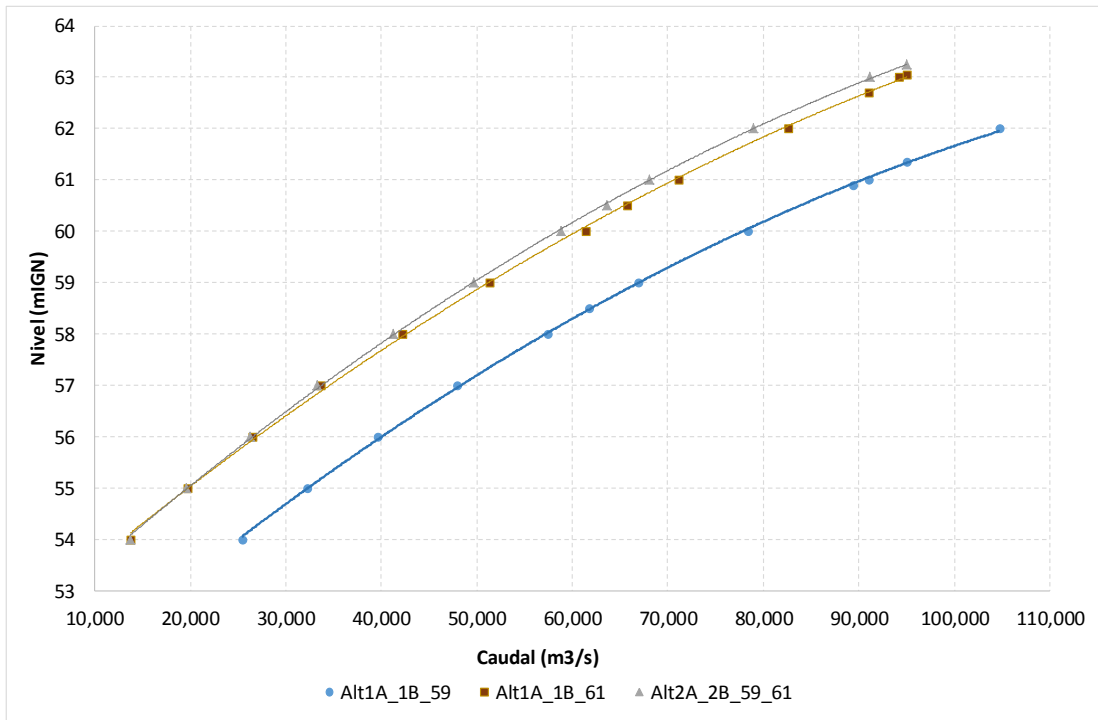


Figura 2.19. Curvas de descarga de los vertederos.

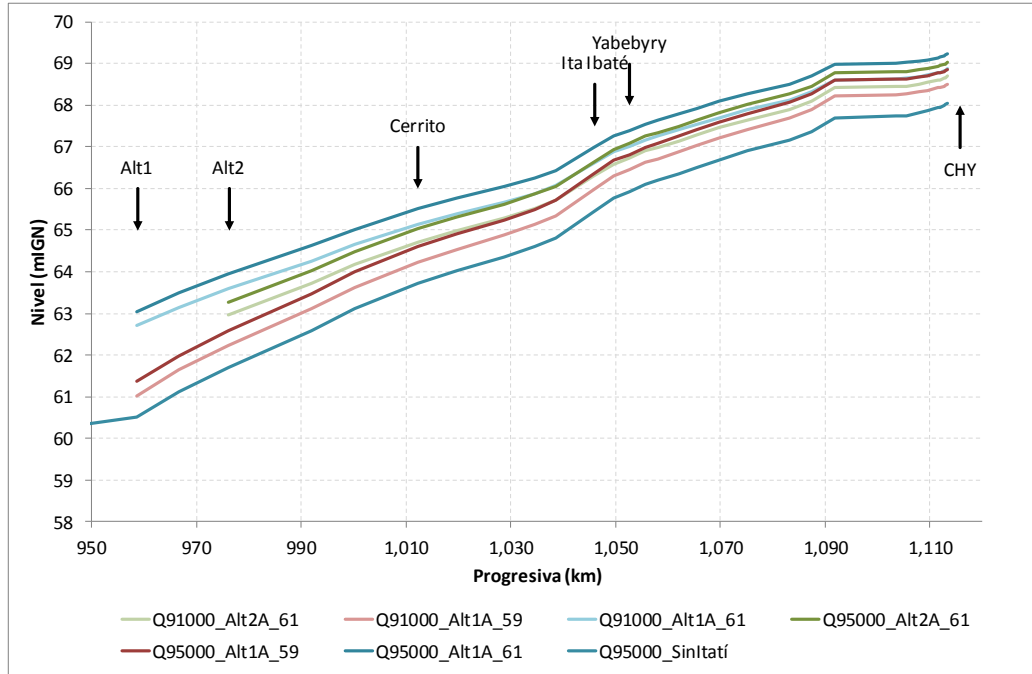


Figura 2.20. Perfiles longitudinales para escenarios con CMP.

2.8 Distribución lateral de caudales en las secciones de cierre

Se realizó una estimación de la distribución lateral de velocidades y caudales específicos en las secciones de ambas alternativas de cierre, con el objeto de asistir en el diseño de la ubicación de la central y el vertedero.

A tal fin, se utilizaron las nuevas secciones, cuya ubicación se presenta en la **Figura 2.21**. Las secciones se informaron desagregadas en varias subsecciones, numeradas desde margen derecha a margen izquierda. La sección del cierre de la Alternativa 1 está dividida en las siguientes subsecciones:

- Sección 4 1
- Sección 4 2
- Sección 4 3

En tanto la sección del cierre de la Alternativa 2 está dividida en las siguientes subsecciones:

- Sección 6 1
- Sección 6 2
- Sección 6 3 (representa un paleo cauce inundado desde aguas abajo, que no fue considerado para este análisis porque no tiene continuidad hacia aguas arriba)
- Sección 6 4

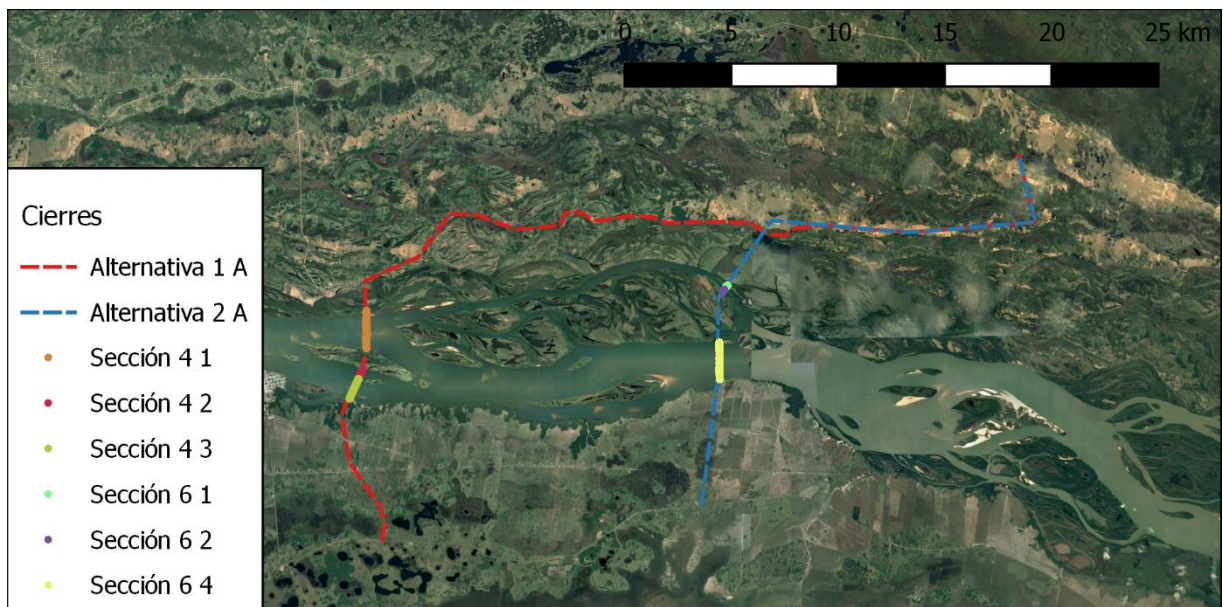


Figura 2.21. Ubicación de los relevamientos batimétricos en las secciones de cierre

Cada subsección fue tomada como puntos x, y, z. Estos fueron proyectados a un segmento transversal al escurrimiento, obteniendo puntos l, z, donde l es la progresiva lateral.

Para calcular la distribución de caudales se aplicó un modelo de distribución lateral (Weber et al., 2005). En cada sección de cierre se utilizó el nivel de superficie libre obtenido del modelo unidimensional para condiciones de caudal medio de 14.700 m³/s, y un coeficiente de Manning de 0.027, también igual al del modelo 1D. Luego se determinó iterativamente la pendiente de carga necesaria para obtener en cada caso un caudal total en la sección igual a 14.700 m³/s.

Los resultados de caudales específicos, así como los caudales totales por subsección, se presentan en la **Figura 2.22** para el cierre de la Alternativa 1 y en la **Figura 2.23** para el cierre de la Alternativa 2.

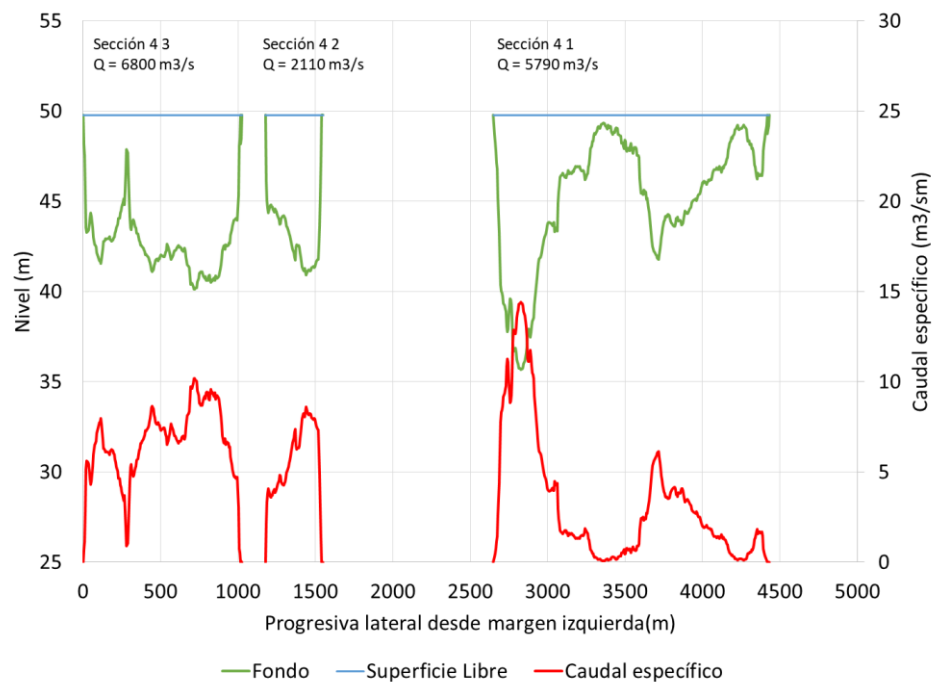


Figura 2.22. Distribución lateral de caudal medio en la sección de cierre de la Alternativa 1

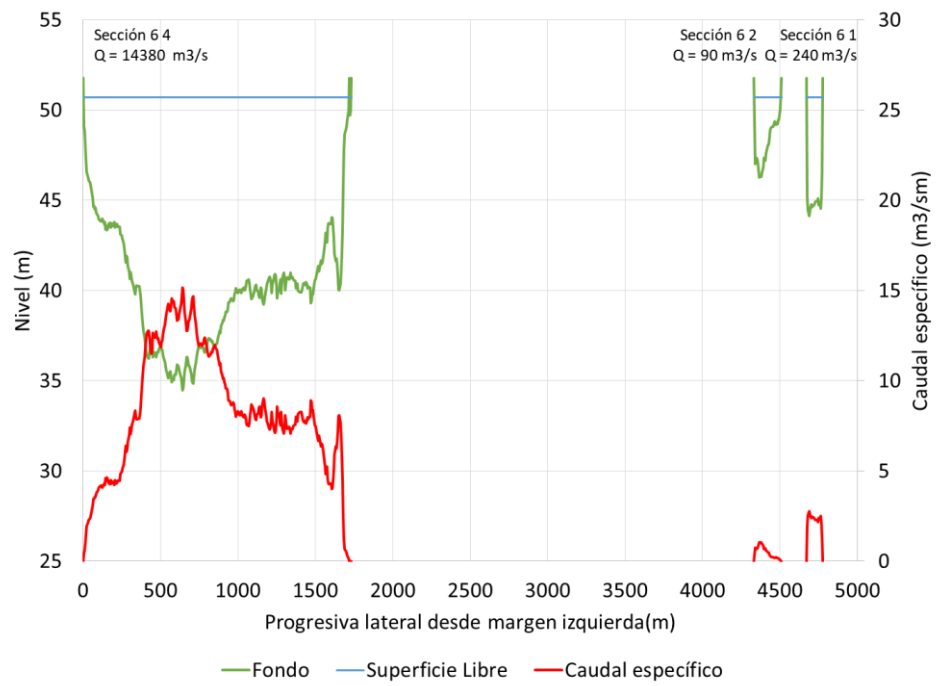


Figura 2.23. Distribución lateral de caudal medio en la sección de cierre de la Alternativa 2

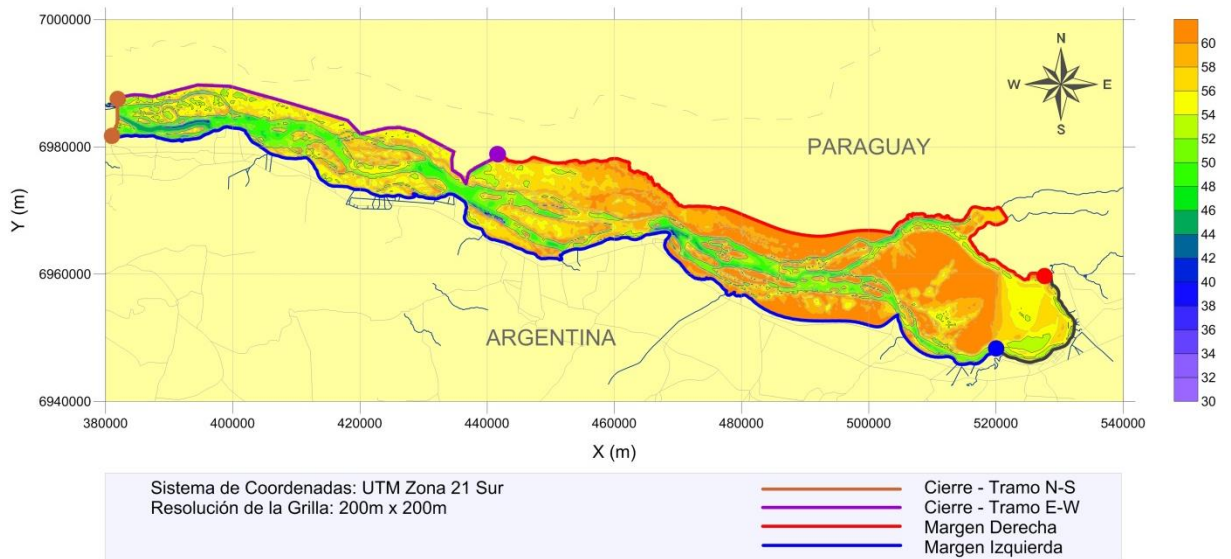


Figura 3.2. Identificación de tramos para la evaluación de los resultados en Alternativa 1B

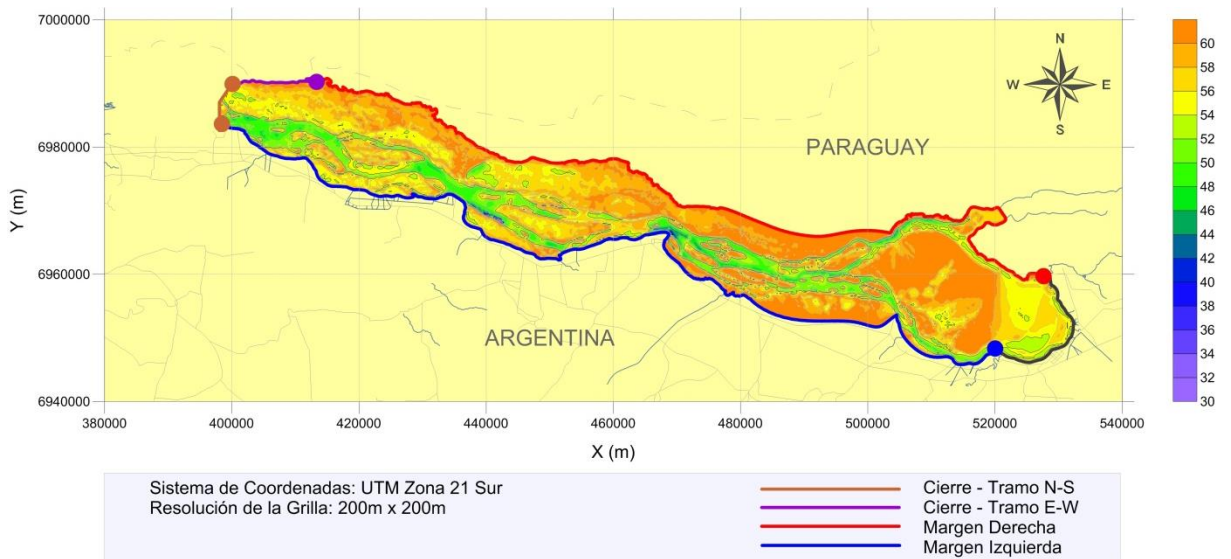


Figura 3.3. Identificación de tramos para la evaluación de los resultados en Alternativa 2A

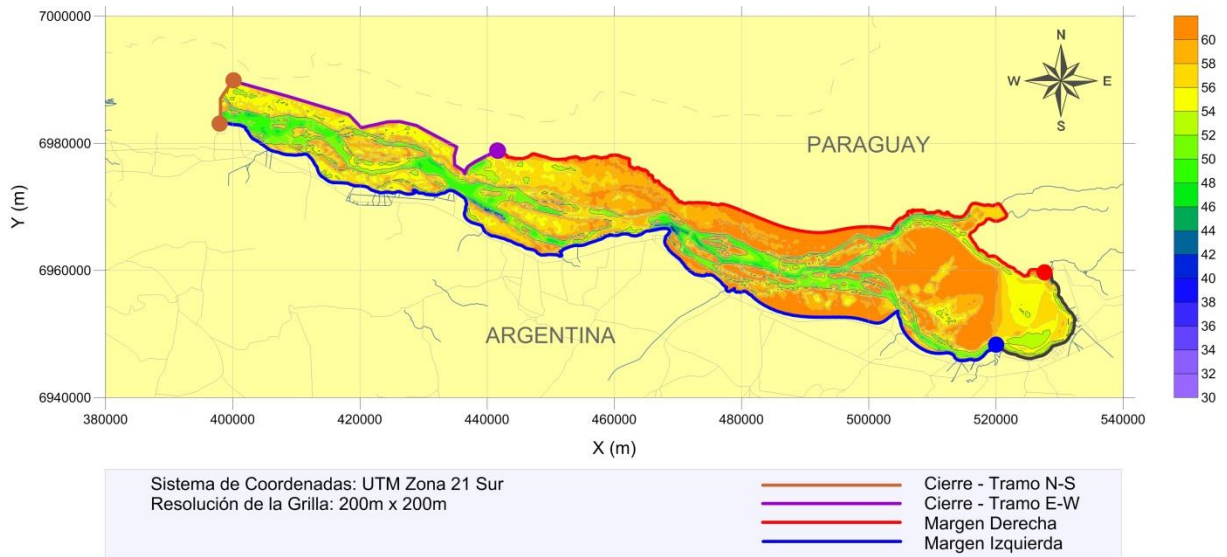


Figura 3.4. Identificación de tramos para la evaluación de los resultados en Alternativa 2B

Los escenarios de cálculo utilizados en las simulaciones de SWAN consistieron en un conjunto de valores de intensidad del viento asociados a diferentes períodos de retorno, considerando una rosa de 16 direcciones. Estos datos, presentados en la **Tabla 3.1**, surgieron de un análisis de valores extremos desarrollado a partir del registro de intensidades medias horarias en la ciudad de Posadas. Los datos de base fueron suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y abarcan un período con una extensión temporal de 25 años (1991-2015).

Tabla 3.1. Escenarios de viento para la generación del oleaje

| TR (años) | Intensidad del viento W (m/s) por dirección | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 9.4 | 9.2 | 9.8 | 9.8 | 9.9 | 7.3 | 9.3 | 9.0 | 12.2 | 12.3 | 13.7 | 10.2 | 10.8 | 8.4 | 8.9 | 9.4 |
| 5 | 10.7 | 10.7 | 11.3 | 11.7 | 11.7 | 8.2 | 10.7 | 10.8 | 15.0 | 14.1 | 15.8 | 12.4 | 13.6 | 10.1 | 10.6 | 11.3 |
| 10 | 11.6 | 11.6 | 12.4 | 12.9 | 12.9 | 8.7 | 11.5 | 12.0 | 16.8 | 15.2 | 16.8 | 13.9 | 15.4 | 11.2 | 11.7 | 12.5 |
| 20 | 12.4 | 12.6 | 13.4 | 14.1 | 14.1 | 9.3 | 12.3 | 13.1 | 18.6 | 16.2 | 17.4 | 15.3 | 17.1 | 12.2 | 12.8 | 13.7 |
| 50 | 13.5 | 13.8 | 14.7 | 15.6 | 15.6 | 10.0 | 13.4 | 14.6 | 20.9 | 17.6 | 18.0 | 17.1 | 19.4 | 13.6 | 14.2 | 15.2 |
| 100 | 14.4 | 14.7 | 15.7 | 16.8 | 16.7 | 10.5 | 14.2 | 15.7 | 22.6 | 18.6 | 18.3 | 18.5 | 21.1 | 14.6 | 15.3 | 16.4 |

Los resultados de la modelación son presentados a continuación en formato de tablas en las que se indican para cada tramo del cierre (Tramo Norte-Sur y Tramo Este Oeste) los valores máximos de altura de ola $H_{1/10}$ y su respectivo período de pico T_p .

3.1.1 Resultados para Alternativa 1A

La **Tabla 3.2** a la **Tabla 3.5** presentan los resultados correspondientes a la alternativa de cierre 1A.

Tabla 3.2. Alturas de ola $H_{1/10}$ estimadas para el Tramo Norte-Sur de la Alternativa 1A

| 1A | Cierre - Tramo Norte-Sur | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Altura de Ola Máxima $H_{1/10}$ (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 0.47 | 0.59 | 0.75 | 0.83 | 0.88 | 0.58 | 0.77 | 0.68 | 0.85 | 0.74 | 0.77 | 0.51 | 0.46 | 0.30 | 0.31 | 0.39 |
| 5 | 0.54 | 0.70 | 0.89 | 1.03 | 1.07 | 0.67 | 0.92 | 0.85 | 1.07 | 0.84 | 0.90 | 0.64 | 0.59 | 0.36 | 0.37 | 0.47 |
| 10 | 0.59 | 0.77 | 0.99 | 1.16 | 1.21 | 0.72 | 1.01 | 0.97 | 1.21 | 0.91 | 0.96 | 0.73 | 0.67 | 0.39 | 0.41 | 0.53 |
| 20 | 0.64 | 0.84 | 1.07 | 1.28 | 1.34 | 0.79 | 1.09 | 1.08 | 1.33 | 0.98 | 0.97 | 0.81 | 0.75 | 0.43 | 0.45 | 0.58 |
| 50 | 0.70 | 0.92 | 1.20 | 1.44 | 1.49 | 0.87 | 1.20 | 1.21 | 1.47 | 1.07 | 1.03 | 0.91 | 0.86 | 0.47 | 0.50 | 0.65 |
| 100 | 0.76 | 0.99 | 1.29 | 1.55 | 1.60 | 0.92 | 1.27 | 1.30 | 1.59 | 1.13 | 1.03 | 0.98 | 0.93 | 0.51 | 0.54 | 0.71 |

Tabla 3.3. Períodos de pico T_p estimados para el Tramo Norte-Sur de la Alternativa 1A

| 1A | Cierre - Tramo Norte-Sur | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Período de Pico T_p (s) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 2.19 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 3.16 | 2.88 | 2.88 | 2.63 | 2.88 | 2.40 | 2.19 | 1.82 | 1.82 | 1.99 |
| 5 | 2.40 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 2.88 | 2.63 | 2.63 | 1.99 | 1.99 | 2.19 |
| 10 | 2.40 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 3.16 | 2.63 | 2.63 | 2.19 | 1.99 | 2.40 |
| 20 | 2.63 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 2.88 | 2.19 | 2.19 | 2.40 |
| 50 | 2.63 | 3.16 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 2.19 | 2.19 | 2.63 |
| 100 | 2.88 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 2.40 | 2.40 | 2.63 |

Tabla 3.4. Alturas de ola $H_{1/10}$ estimadas para el Tramo Este-Oeste de la Alternativa 1A

| 1A | Cierre - Tramo Este-Oeste | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Altura de Ola Máxima $H_{1/10}$ (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 0.30 | 0.37 | 0.51 | 0.63 | 0.75 | 0.56 | 0.74 | 0.66 | 0.90 | 0.95 | 1.12 | 0.83 | 0.82 | 0.53 | 0.47 | 0.39 |
| 5 | 0.34 | 0.44 | 0.60 | 0.77 | 0.90 | 0.65 | 0.87 | 0.82 | 1.11 | 1.09 | 1.30 | 1.02 | 1.04 | 0.66 | 0.57 | 0.47 |
| 10 | 0.37 | 0.48 | 0.66 | 0.85 | 1.00 | 0.70 | 0.95 | 0.92 | 1.24 | 1.18 | 1.38 | 1.14 | 1.17 | 0.74 | 0.62 | 0.52 |
| 20 | 0.39 | 0.53 | 0.72 | 0.94 | 1.09 | 0.75 | 1.01 | 1.01 | 1.36 | 1.26 | 1.43 | 1.25 | 1.29 | 0.80 | 0.69 | 0.57 |
| 50 | 0.42 | 0.58 | 0.80 | 1.04 | 1.21 | 0.82 | 1.11 | 1.12 | 1.49 | 1.36 | 1.48 | 1.39 | 1.45 | 0.90 | 0.76 | 0.63 |
| 100 | 0.45 | 0.62 | 0.86 | 1.12 | 1.29 | 0.86 | 1.17 | 1.20 | 1.59 | 1.44 | 1.50 | 1.50 | 1.56 | 0.96 | 0.82 | 0.68 |

Tabla 3.5. Períodos de pico T_p estimados para el Tramo Este-Oeste de la Alternativa 1A

| 1A | Cierre - Tramo Este-Oeste | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Período de Pico T_p (s) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 1.51 | 1.82 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 3.16 | 2.88 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 2.88 | 2.88 |
| 5 | 1.66 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 2.88 | 2.88 |
| 10 | 1.82 | 1.99 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 3.16 |
| 20 | 1.82 | 1.99 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.47 | 3.16 | 3.16 |
| 50 | 1.82 | 2.19 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 4.17 | 3.47 | 3.47 | 3.16 |
| 100 | 1.99 | 2.19 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 4.17 | 3.47 | 3.47 | 3.16 |

3.1.2 Resultados para Alternativa 1B

La **Tabla 3.6** a la **Tabla 3.9** presentan los resultados correspondientes a la alternativa de cierre 1B.

Tabla 3.6. Alturas de ola $H_{1/10}$ estimadas para el Tramo Norte-Sur de la Alternativa 1B

| 1B | Cierre - Tramo Norte-Sur | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Altura de Ola Máxima $H_{1/10}$ (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 0.48 | 0.63 | 0.83 | 0.91 | 0.90 | 0.56 | 0.72 | 0.61 | 0.75 | 0.59 | 0.53 | 0.29 | 0.26 | 0.20 | 0.28 | 0.38 |
| 5 | 0.56 | 0.77 | 1.01 | 1.15 | 1.12 | 0.66 | 0.87 | 0.78 | 0.96 | 0.70 | 0.63 | 0.37 | 0.34 | 0.25 | 0.35 | 0.46 |
| 10 | 0.62 | 0.86 | 1.13 | 1.28 | 1.25 | 0.72 | 0.95 | 0.88 | 1.09 | 0.76 | 0.67 | 0.43 | 0.40 | 0.29 | 0.39 | 0.52 |
| 20 | 0.68 | 0.96 | 1.25 | 1.42 | 1.39 | 0.78 | 1.03 | 0.99 | 1.22 | 0.82 | 0.70 | 0.48 | 0.45 | 0.32 | 0.44 | 0.57 |
| 50 | 0.75 | 1.07 | 1.39 | 1.58 | 1.55 | 0.86 | 1.13 | 1.12 | 1.38 | 0.89 | 0.72 | 0.55 | 0.53 | 0.37 | 0.49 | 0.64 |
| 100 | 0.81 | 1.16 | 1.49 | 1.71 | 1.66 | 0.91 | 1.21 | 1.21 | 1.49 | 0.95 | 0.73 | 0.61 | 0.58 | 0.40 | 0.54 | 0.70 |

Tabla 3.7. Períodos de pico T_p estimados para el Tramo Norte-Sur de la Alternativa 1B

| 1B | Cierre - Tramo Norte-Sur | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Período de Pico T_p (s) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 2.40 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 2.88 | 3.16 | 2.88 | 2.88 | 2.63 | 2.63 | 1.82 | 1.51 | 1.26 | 1.99 | 2.19 |
| 5 | 2.63 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 2.88 | 1.99 | 1.82 | 1.38 | 2.19 | 2.40 |
| 10 | 2.63 | 3.16 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 2.88 | 2.19 | 1.82 | 1.51 | 2.19 | 2.40 |
| 20 | 2.88 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 2.88 | 2.19 | 1.99 | 1.51 | 2.40 | 2.63 |
| 50 | 2.88 | 3.47 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 2.88 | 2.40 | 2.19 | 1.66 | 2.40 | 2.63 |
| 100 | 3.16 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 4.17 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 2.40 | 2.19 | 1.99 | 2.63 | 2.63 |

Tabla 3.8. Alturas de ola $H_{1/10}$ estimadas para el Tramo Este-Oeste de la Alternativa 1B

| 1B | Cierre - Tramo Este-Oeste | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Altura de Ola Máxima H 1/10 (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 0.46 | 0.50 | 0.62 | 0.73 | 0.83 | 0.58 | 0.79 | 0.71 | 0.95 | 1.02 | 1.22 | 0.89 | 0.93 | 0.64 | 0.59 | 0.51 |
| 5 | 0.53 | 0.59 | 0.73 | 0.92 | 1.01 | 0.67 | 0.93 | 0.89 | 1.21 | 1.20 | 1.42 | 1.11 | 1.21 | 0.80 | 0.72 | 0.63 |
| 10 | 0.57 | 0.64 | 0.81 | 1.03 | 1.13 | 0.73 | 1.01 | 1.01 | 1.36 | 1.30 | 1.51 | 1.26 | 1.36 | 0.90 | 0.81 | 0.71 |
| 20 | 0.61 | 0.70 | 0.90 | 1.14 | 1.25 | 0.80 | 1.10 | 1.11 | 1.51 | 1.38 | 1.56 | 1.40 | 1.51 | 0.98 | 0.89 | 0.78 |
| 50 | 0.67 | 0.77 | 1.00 | 1.28 | 1.40 | 0.87 | 1.19 | 1.24 | 1.68 | 1.49 | 1.62 | 1.57 | 1.69 | 1.12 | 0.99 | 0.88 |
| 100 | 0.72 | 0.82 | 1.08 | 1.39 | 1.51 | 0.93 | 1.27 | 1.33 | 1.80 | 1.56 | 1.64 | 1.70 | 1.68 | 1.20 | 1.07 | 0.96 |

Tabla 3.9. Períodos de pico T_p estimados para el Tramo Este-Oeste de la Alternativa 1B

| 1B | Cierre - Tramo Este-Oeste | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Período de Pico T_p (s) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 2.19 | 2.40 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 3.16 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.16 | 2.63 |
| 5 | 2.40 | 2.63 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 2.88 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.16 | 2.88 |
| 10 | 2.40 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 4.17 | 3.80 | 4.17 | 3.47 | 3.47 | 2.88 |
| 20 | 2.63 | 2.88 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 3.80 | 4.17 | 3.80 | 3.47 | 3.16 |
| 50 | 2.63 | 2.88 | 3.47 | 3.80 | 4.17 | 3.16 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 4.17 | 3.80 | 3.80 | 3.16 |
| 100 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 4.17 | 4.17 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 4.17 | 4.17 | 3.80 | 3.80 | 3.16 |

3.1.3 Resultados para Alternativa 2A

La **Tabla 3.10** a la **Tabla 3.13** presentan los resultados correspondientes a la alternativa de cierre 2A.

Tabla 3.10. Alturas de ola $H_{1/10}$ estimadas para el Tramo Norte-Sur de la Alternativa 2A

| 2A | Cierre - Tramo Norte-Sur | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Altura de Ola Máxima H 1/10 (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 0.51 | 0.61 | 0.74 | 0.82 | 0.87 | 0.60 | 0.80 | 0.68 | 0.83 | 0.68 | 0.70 | 0.41 | 0.35 | 0.23 | 0.31 | 0.41 |
| 5 | 0.59 | 0.74 | 0.89 | 1.02 | 1.06 | 0.70 | 0.95 | 0.86 | 1.06 | 0.82 | 0.83 | 0.53 | 0.47 | 0.29 | 0.38 | 0.52 |
| 10 | 0.65 | 0.81 | 1.00 | 1.13 | 1.18 | 0.76 | 1.03 | 0.97 | 1.21 | 0.89 | 0.89 | 0.61 | 0.55 | 0.33 | 0.43 | 0.58 |
| 20 | 0.71 | 0.90 | 1.10 | 1.24 | 1.29 | 0.82 | 1.11 | 1.08 | 1.35 | 0.96 | 0.93 | 0.69 | 0.63 | 0.37 | 0.48 | 0.65 |
| 50 | 0.78 | 1.00 | 1.23 | 1.38 | 1.44 | 0.90 | 1.22 | 1.22 | 1.50 | 1.06 | 0.97 | 0.79 | 0.73 | 0.42 | 0.55 | 0.73 |
| 100 | 0.84 | 1.08 | 1.33 | 1.49 | 1.53 | 0.95 | 1.30 | 1.33 | 1.61 | 1.11 | 0.99 | 0.87 | 0.81 | 0.46 | 0.60 | 0.80 |

Tabla 3.11. Períodos de pico T_p estimados para el Tramo Norte-Sur de la Alternativa 2A

| 2A | Cierre - Tramo Norte-Sur | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Período de Pico T_p (s) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 2.40 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 3.16 | 2.88 | 3.16 | 2.63 | 2.63 | 2.19 | 1.99 | 1.51 | 1.99 | 2.19 |
| 5 | 2.63 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 2.88 | 2.40 | 2.19 | 1.82 | 2.19 | 2.40 |
| 10 | 2.63 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 2.88 | 2.88 | 2.63 | 2.40 | 1.99 | 2.19 | 2.40 |
| 20 | 2.63 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 2.88 | 2.88 | 2.63 | 2.63 | 1.99 | 2.40 | 2.63 |
| 50 | 2.88 | 3.47 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 2.63 | 1.99 | 2.40 | 2.63 |
| 100 | 2.88 | 3.47 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 2.88 | 2.19 | 2.63 | 2.88 |

Tabla 3.12. Alturas de ola $H_{1/10}$ estimadas para el Tramo Este-Oeste de la Alternativa 2A

| 2A | Cierre - Tramo Este-Oeste | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Altura de Ola Máxima $H_{1/10}$ (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 0.21 | 0.29 | 0.43 | 0.55 | 0.68 | 0.53 | 0.72 | 0.64 | 0.81 | 0.77 | 0.84 | 0.54 | 0.51 | 0.31 | 0.26 | 0.22 |
| 5 | 0.25 | 0.34 | 0.51 | 0.67 | 0.81 | 0.61 | 0.85 | 0.80 | 1.02 | 0.90 | 0.97 | 0.69 | 0.64 | 0.39 | 0.32 | 0.27 |
| 10 | 0.28 | 0.38 | 0.55 | 0.74 | 0.90 | 0.65 | 0.92 | 0.91 | 1.15 | 0.97 | 1.04 | 0.79 | 0.74 | 0.43 | 0.36 | 0.31 |
| 20 | 0.30 | 0.41 | 0.60 | 0.81 | 0.99 | 0.71 | 0.99 | 1.00 | 1.28 | 1.04 | 1.07 | 0.89 | 0.84 | 0.48 | 0.39 | 0.35 |
| 50 | 0.34 | 0.45 | 0.66 | 0.90 | 1.09 | 0.77 | 1.08 | 1.12 | 1.41 | 1.13 | 1.11 | 1.00 | 0.97 | 0.52 | 0.43 | 0.40 |
| 100 | 0.36 | 0.49 | 0.70 | 0.97 | 1.17 | 0.81 | 1.14 | 1.21 | 1.50 | 1.17 | 1.12 | 1.09 | 1.06 | 0.56 | 0.47 | 0.44 |

Tabla 3.13. Períodos de pico T_p estimados para el Tramo Este-Oeste de la Alternativa 2A

| 2A | Cierre - Tramo Este-Oeste | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Período de Pico T_p (s) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 1.38 | 1.66 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 3.16 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.40 | 1.82 | 1.38 |
| 5 | 1.51 | 1.66 | 3.16 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 3.47 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 2.63 | 2.63 | 2.63 | 1.82 | 1.51 |
| 10 | 1.51 | 1.82 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 2.88 | 2.63 | 1.99 | 1.66 |
| 20 | 1.66 | 1.82 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 1.82 | 1.66 |
| 50 | 1.66 | 1.82 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 1.82 | 1.82 |
| 100 | 1.66 | 1.99 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 3.16 | 2.40 | 3.47 | 1.82 |

3.1.4 Resultados para Alternativa 2B

La Tabla 3.14 a la

Tabla 3.17 presentan los resultados correspondientes a la alternativa de cierre 2B.

Tabla 3.14. Alturas de ola $H_{1/10}$ estimadas para el Tramo Norte-Sur de la Alternativa 2B

| 2B | Cierre - Tramo Norte-Sur | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Altura de Ola Máxima $H_{1/10}$ (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 0.49 | 0.56 | 0.69 | 0.80 | 0.86 | 0.60 | 0.80 | 0.69 | 0.87 | 0.73 | 0.70 | 0.40 | 0.34 | 0.24 | 0.31 | 0.42 |
| 5 | 0.57 | 0.68 | 0.83 | 1.00 | 1.06 | 0.70 | 0.94 | 0.86 | 1.11 | 0.86 | 0.83 | 0.50 | 0.45 | 0.29 | 0.39 | 0.52 |
| 10 | 0.62 | 0.76 | 0.93 | 1.12 | 1.18 | 0.75 | 1.02 | 0.99 | 1.25 | 0.95 | 0.89 | 0.58 | 0.52 | 0.32 | 0.44 | 0.59 |
| 20 | 0.67 | 0.84 | 1.03 | 1.23 | 1.30 | 0.81 | 1.10 | 1.09 | 1.39 | 1.02 | 0.93 | 0.65 | 0.60 | 0.36 | 0.48 | 0.65 |
| 50 | 0.74 | 0.94 | 1.15 | 1.38 | 1.45 | 0.89 | 1.21 | 1.23 | 1.56 | 1.13 | 0.97 | 0.74 | 0.69 | 0.41 | 0.54 | 0.73 |
| 100 | 0.79 | 1.01 | 1.24 | 1.49 | 1.54 | 0.94 | 1.29 | 1.34 | 1.68 | 1.20 | 0.98 | 0.81 | 0.77 | 0.45 | 0.59 | 0.79 |

Tabla 3.15. Períodos de pico T_p estimados para el Tramo Norte-Sur de la Alternativa 2B

| 2B | Cierre - Tramo Norte-Sur | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Período de Pico T_p (s) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 2.40 | 2.63 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 3.16 | 2.88 | 3.16 | 2.63 | 2.63 | 2.19 | 1.99 | 1.38 | 1.99 | 2.19 |
| 5 | 2.40 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 2.88 | 2.40 | 2.19 | 1.51 | 2.19 | 2.40 |
| 10 | 2.63 | 2.88 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 2.88 | 2.88 | 2.40 | 2.19 | 1.82 | 2.19 | 2.40 |
| 20 | 2.63 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 2.88 | 2.63 | 2.40 | 1.99 | 2.40 | 2.63 |
| 50 | 2.63 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 4.17 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 2.63 | 2.40 | 1.99 | 2.40 | 2.63 |
| 100 | 2.88 | 3.16 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 2.63 | 2.19 | 2.63 | 2.88 |

Tabla 3.16. Alturas de ola $H_{1/10}$ estimadas para el Tramo Este-Oeste de la Alternativa 2B

| 2B | Cierre - Tramo Este-Oeste | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Altura de Ola Máxima $H_{1/10}$ (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 0.46 | 0.49 | 0.62 | 0.72 | 0.83 | 0.58 | 0.80 | 0.72 | 0.91 | 0.96 | 1.17 | 0.87 | 0.92 | 0.63 | 0.58 | 0.51 |
| 5 | 0.52 | 0.58 | 0.72 | 0.90 | 1.01 | 0.68 | 0.95 | 0.90 | 1.14 | 1.10 | 1.33 | 1.08 | 1.17 | 0.79 | 0.72 | 0.63 |
| 10 | 0.57 | 0.64 | 0.80 | 1.01 | 1.12 | 0.73 | 1.03 | 1.02 | 1.28 | 1.18 | 1.41 | 1.21 | 1.31 | 0.89 | 0.80 | 0.71 |
| 20 | 0.62 | 0.70 | 0.88 | 1.12 | 1.24 | 0.79 | 1.10 | 1.13 | 1.42 | 1.26 | 1.46 | 1.33 | 1.43 | 0.97 | 0.88 | 0.79 |
| 50 | 0.67 | 0.77 | 0.99 | 1.25 | 1.37 | 0.87 | 1.20 | 1.26 | 1.57 | 1.38 | 1.51 | 1.47 | 1.58 | 1.08 | 0.98 | 0.88 |
| 100 | 0.72 | 0.82 | 1.06 | 1.36 | 1.47 | 0.92 | 1.27 | 1.34 | 1.70 | 1.46 | 1.53 | 1.56 | 1.68 | 1.17 | 1.07 | 0.96 |

Tabla 3.17. Períodos de pico T_p estimados para el Tramo Este-Oeste de la Alternativa 2B

| 2B | Cierre - Tramo Este-Oeste | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Período de Pico T_p (s) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 2.19 | 2.40 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 2.88 | 3.16 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 2.88 | 2.63 |
| 5 | 2.40 | 2.63 | 2.88 | 3.47 | 3.47 | 2.88 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 2.88 |
| 10 | 2.63 | 2.63 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.47 | 3.47 | 2.88 |
| 20 | 2.63 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 3.47 | 3.47 | 3.16 |
| 50 | 2.63 | 2.88 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 3.80 | 3.80 | 3.16 |
| 100 | 2.88 | 2.88 | 3.47 | 3.80 | 4.17 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 3.80 | 3.16 |

3.1.5 Resultados sobre las márgenes

La **Tabla 3.18** a la **Tabla 3.21** presentan la actualización de resultados de la predicción del oleaje correspondientes a las márgenes derecha e izquierda del embalse para la totalidad de los escenarios analizados.

Tabla 3.18. Alturas de ola $H_{1/10}$ estimadas para la margen derecha del embalse

| 1A | Margen Derecha | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Altura de Ola Máxima $H_{1/10}$ (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 0.45 | 0.40 | 0.52 | 0.59 | 0.67 | 0.50 | 0.71 | 0.71 | 1.08 | 1.09 | 1.14 | 0.77 | 0.76 | 0.50 | 0.49 | 0.48 |
| 5 | 0.52 | 0.48 | 0.62 | 0.73 | 0.82 | 0.58 | 0.85 | 0.91 | 1.39 | 1.27 | 1.33 | 0.95 | 0.98 | 0.61 | 0.59 | 0.58 |
| 10 | 0.56 | 0.53 | 0.69 | 0.81 | 0.91 | 0.62 | 0.93 | 1.04 | 1.54 | 1.38 | 1.41 | 1.07 | 1.11 | 0.68 | 0.64 | 0.65 |
| 20 | 0.60 | 0.59 | 0.76 | 0.90 | 1.01 | 0.67 | 1.01 | 1.16 | 1.77 | 1.48 | 1.46 | 1.18 | 1.24 | 0.75 | 0.70 | 0.71 |
| 50 | 0.64 | 0.65 | 0.84 | 0.99 | 1.12 | 0.73 | 1.13 | 1.32 | 1.98 | 1.62 | 1.52 | 1.31 | 1.40 | 0.85 | 0.77 | 0.78 |
| 100 | 0.68 | 0.71 | 0.91 | 1.07 | 1.21 | 0.77 | 1.21 | 1.44 | 2.10 | 1.71 | 1.53 | 1.41 | 1.52 | 0.91 | 0.82 | 0.84 |

Tabla 3.19. Períodos de pico T_p estimados para la margen derecha del embalse

| 1A | Margen Derecha | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Período de Pico T_p (s) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 2.19 | 1.99 | 2.63 | 2.63 | 2.88 | 2.63 | 2.88 | 2.88 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 3.16 | 2.40 | 2.40 | 2.19 |
| 5 | 2.19 | 2.40 | 2.63 | 2.88 | 3.16 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 2.63 | 2.40 |
| 10 | 2.19 | 2.63 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 2.63 | 2.63 |
| 20 | 2.40 | 2.63 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 3.47 | 3.47 | 4.17 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 3.47 | 2.88 | 2.63 |
| 50 | 2.40 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 4.57 | 4.17 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 3.47 | 2.88 | 2.88 |
| 100 | 2.40 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 4.57 | 4.17 | 3.80 | 3.80 | 4.57 | 3.80 | 2.88 | 3.16 |

Tabla 3.20. Alturas de ola $H_{1/10}$ estimadas para la margen izquierda del embalse

| 1A | Margen Izquierda | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Altura de Ola Máxima H 1/10 (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 0.90 | 0.96 | 1.06 | 1.09 | 1.12 | 0.61 | 0.98 | 0.61 | 0.66 | 0.59 | 0.86 | 0.74 | 0.89 | 0.67 | 0.72 | 0.80 |
| 5 | 1.05 | 1.12 | 1.23 | 1.30 | 1.32 | 0.90 | 1.10 | 0.71 | 0.80 | 0.68 | 1.02 | 0.93 | 1.18 | 0.84 | 0.90 | 0.97 |
| 10 | 1.12 | 1.20 | 1.34 | 1.43 | 1.44 | 0.95 | 1.18 | 0.80 | 0.89 | 0.74 | 1.09 | 1.07 | 1.35 | 0.96 | 1.02 | 1.07 |
| 20 | 1.19 | 1.30 | 1.44 | 1.55 | 1.56 | 1.02 | 1.25 | 0.88 | 0.97 | 0.79 | 1.13 | 1.19 | 1.42 | 1.06 | 1.14 | 1.19 |
| 50 | 1.29 | 1.42 | 1.56 | 1.69 | 1.69 | 1.10 | 1.34 | 0.99 | 1.08 | 0.87 | 1.17 | 1.35 | 1.45 | 1.20 | 1.28 | 1.32 |
| 100 | 1.37 | 1.49 | 1.66 | 1.80 | 1.78 | 1.17 | 1.40 | 1.06 | 1.16 | 0.92 | 1.19 | 1.46 | 1.54 | 1.30 | 1.38 | 1.43 |

Tabla 3.21. Períodos de pico T_p estimados para la margen izquierda del embalse

| 1A | Margen Izquierda | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Período de Pico T_p (s) | | | | | | | | | | | | | | | |
| TR (años) | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 2 | 2.63 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 2.88 | 2.88 | 2.88 |
| 5 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.16 | 3.16 | 3.16 |
| 10 | 2.88 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.47 | 3.16 |
| 20 | 3.16 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.16 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.47 | 3.47 | 3.47 |
| 50 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 3.47 | 3.80 | 3.47 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.47 | 3.47 | 3.47 |
| 100 | 3.16 | 3.47 | 3.80 | 4.17 | 4.17 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 3.47 | 3.80 | 3.80 | 4.17 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 |

3.2 Registro de vientos en San Cosme

En esta etapa del estudio se dispuso de registro de vientos obtenido en la Torre de Medición Eólica de San Cosme. Si bien se trata de una serie de datos de corta duración, la proximidad de esta localidad con la zona del proyecto sugiere la posibilidad de utilizar dicha información como un aporte complementario a los datos utilizados, correspondientes a la estación Posadas.

El registro de vientos obtenido en la Torre de Medición Eólica de San Cosme abarca el período comprendido entre el 17 de febrero y el 11 de noviembre de 2017, con algunas interrupciones temporarias. La información disponible consiste en intensidades de viento medidas cada 10 min por un anemómetro ubicado a 30 m de altura, careciendo del dato direccional.

Los valores de intensidad fueron convertidos a una altura de referencia de 10 m, debido a que es así como se utilizan en la práctica para las predicciones de altura de olas. Para ello se utilizó en denominado “Método de la Ley de Potencia”, en el cual se plantea la siguiente expresión:

$$V/V_r = (H/H_r)^{Sf}$$

siendo

V_r = velocidad del viento a la altura referencia u original

H_r = altura referencia u original

V = velocidad del viento a la nueva altura

H = nueva altura donde la nueva velocidad se desea calcular

S_f = factor de corte obtenido por métodos experimentales

En este caso, los valores utilizados fueron: V_r = velocidades registradas a 30 m; $H = 10$ m; $H_r = 30$ m; $S_f = 0.21$ (valor adoptado de tablas, correspondiente a una zona con barreras, cercos y bardas).

La **Figura 3.5** muestra la serie cronológica de intensidades disponible para San Cosme (referida a 10 m de altura) correspondiente a valores promediados en la hora, junto a la información disponible en Posadas para el años 2017 (período enero-abril). Si bien el período de tiempo para el cual ambos registros se solapan es reducido, la figura da idea de una compatibilidad aceptable en la comparación de las dos series de datos.

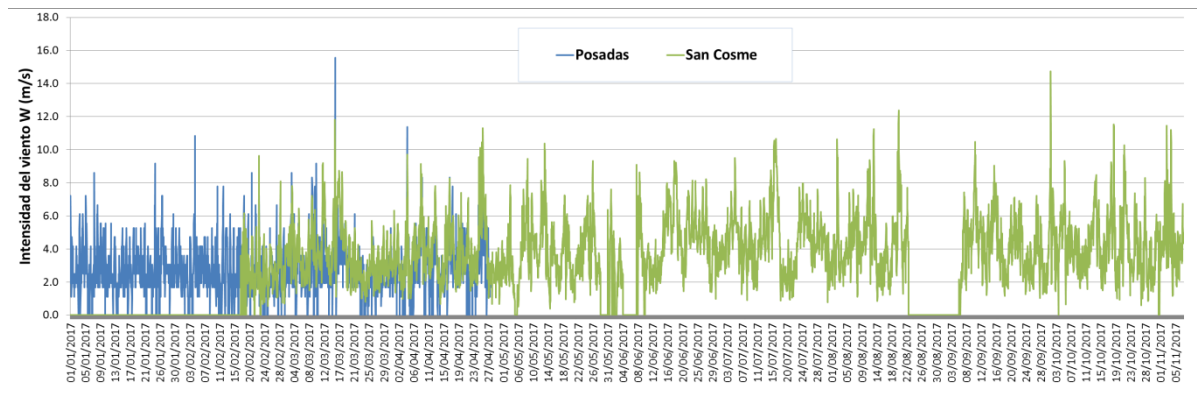


Figura 3.5. Registro cronológico del viento disponible en San Cosme y en Posadas para el año 2017

La

Tabla 3.22 presenta una síntesis estadística para ambas fuentes de información, indicando los parámetros más significativos para la caracterización de los registros de intensidad del viento.

Tabla 3.22. Resumen estadístico de los registros de viento

| Estadística descriptiva | Posadas (2001-2016) | San Cosme (Feb-Nov 2017) |
|----------------------------------|---------------------|--------------------------|
| Media | 2.71 | 4.07 |
| Mediana | 2.59 | 3.79 |
| Moda | 1.67 | 3.13 |
| Desviación estándar | 1.63 | 1.81 |
| Varianza de la muestra | 2.66 | 3.28 |
| Coefficiente de asimetría | 1.27 | 0.88 |
| Rango | 20.56 | 14.35 |
| Mínimo | 0.00 | 0.39 |
| Máximo | 20.56 | 14.74 |

3.3 Temporal del 25 de abril de 2017

El día 25 de abril de 2017 tuvo lugar un temporal meteorológico de una magnitud significativa que abarcó una extensa región del norte de la Provincia de Corrientes, durante el cual se observaron vientos de elevada intensidad soplando en forma sostenida por varias horas.

En esa fecha, las olas registradas en el olígrafo del embalse de Yacyretá alcanzaron un máximo de $H_s = 1.95$ m. Este fenómeno provocó algunos daños localizados sobre la obra de defensa del terraplén de cierre de la represa. Según estimaciones del SMN, la intensidad del viento alcanzó el valor de $W = 60$ km/h en Posadas.

Por su parte, los vientos máximos registrados en San Cosme durante el temporal alcanzaron el valor de $W = 20.0$ m/s (referido a la altura de 10 m). El registro completo de San Cosme fue utilizado para realizar una simulación de la evolución del oleaje en el embalse Yacyretá, donde los datos de viento para esa fecha resultan poco confiables.

La aplicación de SWAN para la simulación del evento mencionado permitió obtener los resultados presentados en la **Figura 3.6**. La misma muestra la comparación entre las alturas de olas significativas registrados por el olígrafo y los valores de H_s (m) estimados por el modelo. Al no tener información específica sobre la dirección del viento registrado en San Cosme, pero sabiendo por información de Yacyretá que el viento provino del cuadrante Este, para esta evaluación se realizaron tres simulaciones diferentes, suponiendo en cada caso una dirección de viento constante coincidente con el Este, el ENE y el ESE, respectivamente.

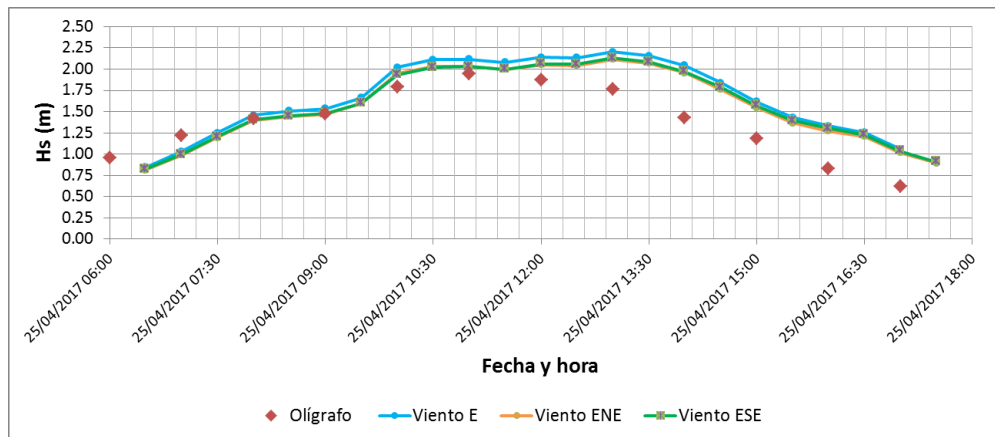


Figura 3.6. Temporal del 25 de abril de 2017 en Yacyretá

La **Figura 3.6** muestra una buena aproximación entre los valores estimados y los datos registrados en la primera mitad del evento, donde las máximas alturas de ola registradas para esa fecha se encuentran bien representadas. Para la segunda mitad del evento (a partir de las 12 del mediodía), las diferencias entre valores observados y simulados podrían explicarse por cambios en el desarrollo del temporal, que pueden reflejarse en diferencias entre las intensidades o direcciones de los vientos reinantes en cada sitio.

Los mismos datos de vientos utilizados en el caso anterior fueron aplicados para la reproducción hipotética del temporal del 25 de abril sobre el embalse de Itatí-Itacorá. La **Figura 3.7** muestra el mapa de alturas significativas del oleaje que se obtendría en tal caso para el instante de máxima intensidad del viento.

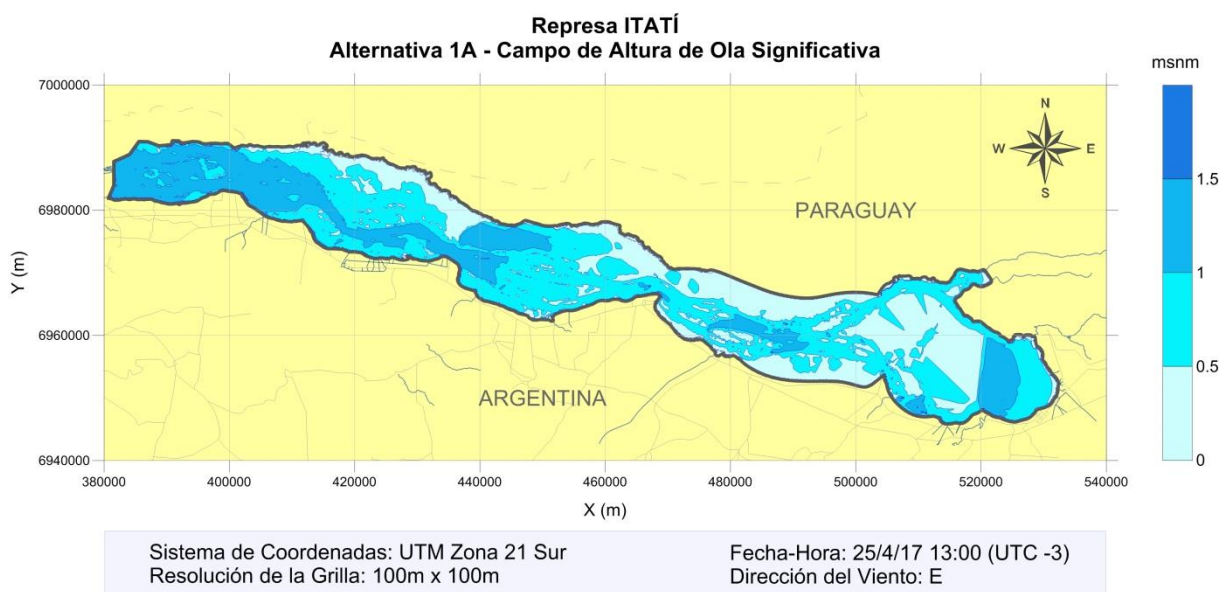


Figura 3.7. Simulación del oleaje en Itatí-Itacorá utilizando vientos del 25 de abril de 2017

Ampliando estos resultados, en la **Tabla 3.23** a la **Tabla 3.26** se indican los resultados que caracterizan la evolución del temporal sobre el embalse Itatí-Itacorá considerando las distintas alternativas de cierre proyectadas.

Del mismo modo que para el caso de Yacyretá, se evaluaron tres escenarios diferentes considerando una dirección del viento constante en cada caso: Viento E, Viento ENE y Viento ESE. A los efectos de mejorar la descripción en cuanto a la evolución del temporal, los datos de intensidad del viento utilizados en estas simulaciones corresponden a valores promediados cada 30 minutos. Los resultados indican un valor máximo de altura de ola esperable sobre el cierre del embalse para la condición de temporal analizada corresponde a la alternativa 1B, con $H_{1/10} = 1.77$ m y período de pico de $T_p = 4.05$ s.

Tabla 3.23. Resultados de la simulación del oleaje en Itatí-Itacorá con vientos del 25 de abril de 2017. Alternativa 1A

| MARGEN | FECHA - HORA | ENE | | | | | E | | | | | ESE | | | | |
|---------------|---------------|--------------------|-----------------------|----------------|---------|---------|--------------------|-----------------------|----------------|---------|---------|--------------------|-----------------------|----------------|---------|---------|
| | | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y |
| Izquierda | 25/4/17 6:00 | 0.73 | 0.92 | 2.94 | 403680 | 6980897 | 0.73 | 0.93 | 3.45 | 401657 | 6983075 | 0.70 | 0.88 | 3.45 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.92 | 1.17 | 3.45 | 401657 | 6983075 | 0.93 | 1.18 | 3.45 | 401657 | 6983075 | 0.89 | 1.13 | 3.45 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 8:00 | 1.01 | 1.29 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.02 | 1.30 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 0.98 | 1.24 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 9:00 | 1.08 | 1.37 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.09 | 1.38 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.04 | 1.32 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 10:00 | 1.45 | 1.84 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.45 | 1.84 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.25 | 1.59 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 11:00 | 1.43 | 1.81 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.28 | 1.63 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.22 | 1.55 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 12:00 | 1.29 | 1.64 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.28 | 1.63 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.22 | 1.55 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 13:00 | 1.45 | 1.85 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.32 | 1.67 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.25 | 1.59 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 14:00 | 1.20 | 1.53 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.19 | 1.52 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.13 | 1.44 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.97 | 1.24 | 4.05 | 383725 | 6982151 | 0.95 | 1.21 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 0.90 | 1.15 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| 25/4/17 16:00 | 0.88 | 1.12 | 3.45 | 403680 | 6980897 | 0.84 | 1.07 | 3.45 | 401657 | 6983075 | 0.80 | 1.02 | 3.45 | 401657 | 6983075 | |
| 25/4/17 17:00 | 0.73 | 0.92 | 3.45 | 403318 | 6981113 | 0.65 | 0.83 | 3.45 | 520024 | 6948355 | 0.63 | 0.80 | 3.45 | 436777 | 6971606 | |
| Derecha | 25/4/17 6:00 | 0.52 | 0.67 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.56 | 0.71 | 2.94 | 445693 | 6977220 | 0.60 | 0.76 | 2.94 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.63 | 0.80 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.69 | 0.88 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.74 | 0.94 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 8:00 | 0.70 | 0.88 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.76 | 0.97 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.82 | 1.04 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 9:00 | 0.73 | 0.93 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.82 | 1.04 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.87 | 1.11 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 10:00 | 0.88 | 1.12 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.98 | 1.25 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.07 | 1.36 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 11:00 | 0.85 | 1.08 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.95 | 1.21 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.05 | 1.33 | 4.05 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 12:00 | 0.86 | 1.09 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.96 | 1.22 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.05 | 1.34 | 4.05 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 13:00 | 0.89 | 1.13 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 1.00 | 1.27 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.09 | 1.39 | 4.05 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 14:00 | 0.78 | 0.99 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.89 | 1.13 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.96 | 1.22 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.60 | 0.76 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.70 | 0.89 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.76 | 0.97 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| 25/4/17 16:00 | 0.52 | 0.67 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.61 | 0.78 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.67 | 0.85 | 3.45 | 445693 | 6977220 | |
| 25/4/17 17:00 | 0.42 | 0.53 | 2.94 | 445693 | 6977220 | 0.49 | 0.62 | 2.94 | 445693 | 6977220 | 0.54 | 0.68 | 2.94 | 445693 | 6977220 | |
| Cierre | 25/4/17 6:00 | 0.67 | 0.86 | 3.45 | 381926 | 6985113 | 0.70 | 0.89 | 3.45 | 381926 | 6985113 | 0.68 | 0.87 | 3.45 | 381924 | 6987113 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.87 | 1.10 | 3.45 | 381926 | 6985113 | 0.91 | 1.15 | 3.45 | 381926 | 6985113 | 0.87 | 1.10 | 3.45 | 381926 | 6985113 |
| | 25/4/17 8:00 | 0.96 | 1.22 | 3.45 | 381926 | 6985113 | 1.00 | 1.28 | 3.45 | 381926 | 6985113 | 0.97 | 1.23 | 3.45 | 381926 | 6985113 |
| | 25/4/17 9:00 | 1.02 | 1.30 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.07 | 1.35 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.02 | 1.30 | 4.05 | 381926 | 6985113 |
| | 25/4/17 10:00 | 1.25 | 1.59 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.30 | 1.65 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.26 | 1.60 | 4.05 | 381926 | 6985113 |
| | 25/4/17 11:00 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.27 | 1.61 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.22 | 1.55 | 4.05 | 381926 | 6985113 |
| | 25/4/17 12:00 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.27 | 1.61 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.22 | 1.55 | 4.05 | 381926 | 6985113 |
| | 25/4/17 13:00 | 1.27 | 1.61 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.31 | 1.66 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.26 | 1.60 | 4.05 | 381926 | 6985113 |
| | 25/4/17 14:00 | 1.15 | 1.46 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.17 | 1.49 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 1.13 | 1.43 | 4.05 | 381926 | 6985113 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.92 | 1.17 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 0.93 | 1.18 | 4.05 | 381926 | 6985113 | 0.88 | 1.12 | 3.45 | 381926 | 6985113 |
| 25/4/17 16:00 | 0.80 | 1.01 | 3.45 | 381926 | 6985113 | 0.80 | 1.02 | 3.45 | 381926 | 6985113 | 0.76 | 0.96 | 3.45 | 384812 | 6989307 | |
| 25/4/17 17:00 | 0.63 | 0.81 | 3.45 | 381560 | 6983036 | 0.63 | 0.80 | 3.45 | 381926 | 6985113 | 0.60 | 0.76 | 3.45 | 381926 | 6985113 | |

Tabla 3.24. Resultados de la simulación del oleaje en Itatí-Itacorá con vientos del 25 de abril de 2017. Alternativa 1B

| 1B | | ENE | | | | | E | | | | | ESE | | | | |
|---------------|---------------|--------------------|-----------------------|----------------|---------|---------|--------------------|-----------------------|----------------|---------|---------|--------------------|-----------------------|----------------|---------|---------|
| MARGEN | FECHA - HORA | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y |
| Izquierda | 25/4/17 6:00 | 0.71 | 0.90 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.71 | 0.90 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.68 | 0.86 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.89 | 1.13 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.91 | 1.16 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.87 | 1.10 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 8:00 | 0.99 | 1.25 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 1.01 | 1.28 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.96 | 1.22 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 9:00 | 1.04 | 1.32 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 1.06 | 1.34 | 4.05 | 436777 | 6971606 | 1.01 | 1.29 | 4.05 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 10:00 | 1.27 | 1.62 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.30 | 1.65 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 402650 | 6982113 |
| | 25/4/17 11:00 | 1.24 | 1.58 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.26 | 1.60 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.20 | 1.52 | 4.05 | 402650 | 6982113 |
| | 25/4/17 12:00 | 1.24 | 1.58 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.26 | 1.60 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.20 | 1.52 | 4.05 | 402650 | 6982113 |
| | 25/4/17 13:00 | 1.28 | 1.63 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.30 | 1.65 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.23 | 1.57 | 4.05 | 402650 | 6982113 |
| | 25/4/17 14:00 | 1.16 | 1.47 | 4.05 | 383725 | 6982151 | 1.16 | 1.48 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.10 | 1.40 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.94 | 1.20 | 4.05 | 404650 | 6980265 | 0.91 | 1.16 | 4.05 | 436777 | 6971606 | 0.88 | 1.11 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| 25/4/17 16:00 | 0.83 | 1.06 | 4.05 | 520024 | 6948355 | 0.81 | 1.03 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.77 | 0.98 | 3.45 | 436777 | 6971606 | |
| 25/4/17 17:00 | 0.69 | 0.88 | 3.45 | 520024 | 6948355 | 0.65 | 0.83 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.63 | 0.80 | 3.45 | 436777 | 6971606 | |
| Derecha | 25/4/17 6:00 | 0.53 | 0.68 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.56 | 0.71 | 2.94 | 445693 | 6977220 | 0.60 | 0.76 | 2.94 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.64 | 0.82 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.70 | 0.89 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.74 | 0.94 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 8:00 | 0.71 | 0.90 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.77 | 0.98 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.82 | 1.04 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 9:00 | 0.74 | 0.94 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.82 | 1.05 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.88 | 1.12 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 10:00 | 0.90 | 1.14 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 1.00 | 1.26 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 1.07 | 1.35 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 11:00 | 0.87 | 1.10 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.96 | 1.23 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.03 | 1.31 | 4.05 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 12:00 | 0.88 | 1.11 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.98 | 1.24 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.04 | 1.32 | 4.05 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 13:00 | 0.91 | 1.15 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 1.01 | 1.28 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.08 | 1.37 | 4.05 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 14:00 | 0.79 | 1.01 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.89 | 1.14 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.97 | 1.23 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.61 | 0.78 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.70 | 0.89 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.78 | 0.99 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| 25/4/17 16:00 | 0.54 | 0.68 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.61 | 0.78 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.68 | 0.86 | 3.45 | 445693 | 6977220 | |
| 25/4/17 17:00 | 0.42 | 0.53 | 2.50 | 504131 | 6966588 | 0.49 | 0.62 | 2.94 | 445693 | 6977220 | 0.55 | 0.70 | 2.94 | 445693 | 6977220 | |
| Cierre | 25/4/17 6:00 | 0.71 | 0.91 | 3.45 | 381444 | 6982758 | 0.69 | 0.88 | 3.45 | 381926 | 6984867 | 0.68 | 0.87 | 3.45 | 389021 | 6988317 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.93 | 1.18 | 3.45 | 381444 | 6982758 | 0.91 | 1.15 | 3.45 | 381444 | 6982758 | 0.88 | 1.11 | 3.45 | 383600 | 6988051 |
| | 25/4/17 8:00 | 1.04 | 1.32 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.01 | 1.29 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 0.97 | 1.23 | 3.45 | 381925 | 6987073 |
| | 25/4/17 9:00 | 1.13 | 1.43 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.10 | 1.40 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.02 | 1.30 | 4.05 | 383600 | 6988051 |
| | 25/4/17 10:00 | 1.36 | 1.73 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.33 | 1.69 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.26 | 1.60 | 4.05 | 381926 | 6984867 |
| | 25/4/17 11:00 | 1.34 | 1.70 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.31 | 1.66 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.22 | 1.55 | 4.05 | 381926 | 6984867 |
| | 25/4/17 12:00 | 1.35 | 1.72 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.32 | 1.67 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 437862 | 6976500 |
| | 25/4/17 13:00 | 1.39 | 1.77 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.35 | 1.72 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.27 | 1.61 | 4.05 | 437862 | 6976500 |
| | 25/4/17 14:00 | 1.26 | 1.60 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 1.13 | 1.43 | 4.05 | 383600 | 6988051 |
| | 25/4/17 15:00 | 1.00 | 1.28 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 0.97 | 1.23 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 0.90 | 1.14 | 4.05 | 437862 | 6976500 |
| 25/4/17 16:00 | 0.86 | 1.10 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 0.83 | 1.06 | 4.05 | 381444 | 6982758 | 0.78 | 0.99 | 3.45 | 437862 | 6976500 | |
| 25/4/17 17:00 | 0.68 | 0.87 | 3.45 | 381444 | 6982758 | 0.66 | 0.84 | 3.45 | 381444 | 6982758 | 0.62 | 0.79 | 3.45 | 438815 | 6977052 | |

Tabla 3.25. Resultados de la simulación del oleaje en Itatí-Itacorá con vientos del 25 de abril de 2017. Alternativa 2A

| 2A | | ENE | | | | | E | | | | | ESE | | | | |
|---------------|---------------|--------------------|-----------------------|----------------|---------|---------|--------------------|-----------------------|----------------|---------|---------|--------------------|-----------------------|----------------|---------|---------|
| MARGEN | FECHA - HORA | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y |
| Izquierda | 25/4/17 6:00 | 0.70 | 0.89 | 3.45 | 402650 | 6982113 | 0.70 | 0.89 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.67 | 0.85 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.91 | 1.15 | 3.45 | 402650 | 6982113 | 0.90 | 1.15 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.86 | 1.10 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 8:00 | 1.00 | 1.28 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.00 | 1.27 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 0.96 | 1.21 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 9:00 | 1.06 | 1.35 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.05 | 1.34 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.01 | 1.28 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 10:00 | 1.32 | 1.67 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.31 | 1.66 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 11:00 | 1.29 | 1.64 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.27 | 1.61 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.20 | 1.53 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 12:00 | 1.29 | 1.63 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.27 | 1.61 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.20 | 1.52 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 13:00 | 1.33 | 1.68 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.31 | 1.66 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.23 | 1.57 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 14:00 | 1.20 | 1.52 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.18 | 1.50 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.11 | 1.40 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.97 | 1.24 | 4.05 | 404650 | 6980265 | 0.92 | 1.17 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 0.88 | 1.11 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| 25/4/17 16:00 | 0.85 | 1.07 | 3.45 | 404650 | 6980265 | 0.79 | 1.01 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.77 | 0.97 | 3.45 | 436777 | 6971606 | |
| 25/4/17 17:00 | 0.70 | 0.89 | 3.45 | 520024 | 6948355 | 0.64 | 0.81 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.61 | 0.78 | 3.45 | 436777 | 6971606 | |
| Derecha | 25/4/17 6:00 | 0.52 | 0.66 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.56 | 0.71 | 2.94 | 445693 | 6977220 | 0.60 | 0.76 | 2.94 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.62 | 0.79 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.70 | 0.88 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.74 | 0.94 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 8:00 | 0.69 | 0.87 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.77 | 0.98 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.82 | 1.04 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 9:00 | 0.72 | 0.92 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.82 | 1.05 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.88 | 1.12 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 10:00 | 0.88 | 1.12 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.99 | 1.26 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.07 | 1.36 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 11:00 | 0.85 | 1.08 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.96 | 1.23 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.05 | 1.33 | 4.05 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 12:00 | 0.85 | 1.08 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.97 | 1.24 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.05 | 1.34 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 13:00 | 0.88 | 1.12 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 1.01 | 1.28 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.09 | 1.39 | 4.05 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 14:00 | 0.77 | 0.98 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.90 | 1.14 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.97 | 1.23 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.59 | 0.75 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.70 | 0.89 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.78 | 0.98 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| 25/4/17 16:00 | 0.52 | 0.66 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.61 | 0.77 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.67 | 0.85 | 3.45 | 445693 | 6977220 | |
| 25/4/17 17:00 | 0.41 | 0.52 | 2.94 | 445693 | 6977220 | 0.49 | 0.62 | 2.94 | 445693 | 6977220 | 0.54 | 0.69 | 2.94 | 445693 | 6977220 | |
| Cierre | 25/4/17 6:00 | 0.65 | 0.83 | 3.45 | 398455 | 6983624 | 0.67 | 0.86 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.69 | 0.88 | 3.45 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.83 | 1.05 | 3.45 | 398455 | 6983624 | 0.86 | 1.10 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.88 | 1.12 | 3.45 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 8:00 | 0.92 | 1.17 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.96 | 1.22 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 0.98 | 1.24 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 9:00 | 0.99 | 1.25 | 4.05 | 398455 | 6983624 | 1.03 | 1.31 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.04 | 1.32 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 10:00 | 1.20 | 1.52 | 4.05 | 398455 | 6983624 | 1.24 | 1.57 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.24 | 1.58 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 11:00 | 1.18 | 1.50 | 4.05 | 398455 | 6983624 | 1.22 | 1.54 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.21 | 1.54 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 12:00 | 1.20 | 1.52 | 4.05 | 398455 | 6983624 | 1.22 | 1.55 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.22 | 1.55 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 13:00 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 398455 | 6983624 | 1.25 | 1.59 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.26 | 1.59 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 14:00 | 1.12 | 1.42 | 4.05 | 398455 | 6983624 | 1.14 | 1.45 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.14 | 1.45 | 4.05 | 399465 | 6988394 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.90 | 1.14 | 4.05 | 398455 | 6983624 | 0.92 | 1.17 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 0.93 | 1.18 | 4.05 | 399465 | 6988394 |
| 25/4/17 16:00 | 0.77 | 0.98 | 3.45 | 398455 | 6983624 | 0.79 | 1.01 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.80 | 1.02 | 3.45 | 399465 | 6988394 | |
| 25/4/17 17:00 | 0.61 | 0.78 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.64 | 0.81 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.64 | 0.82 | 3.45 | 399465 | 6988394 | |

Tabla 3.26. Resultados de la simulación del oleaje en Itatí-Itacorá con vientos del 25 de abril de 2017. Alternativa 2B

| MARGEN | FECHA - HORA | ENE | | | | | E | | | | | ESE | | | | |
|-----------|---------------|--------------------|-----------------------|----------------|--------|---------|--------------------|-----------------------|----------------|--------|---------|--------------------|-----------------------|----------------|--------|---------|
| | | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y | H _s Máx | H _{1/10} Máx | T _p | X | Y |
| Izquierda | 25/4/17 6:00 | 0.68 | 0.86 | 2.94 | 436777 | 6971606 | 0.69 | 0.88 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.66 | 0.84 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.87 | 1.10 | 3.45 | 402650 | 6982113 | 0.89 | 1.13 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.86 | 1.09 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 8:00 | 0.97 | 1.23 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.99 | 1.25 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 0.95 | 1.20 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 9:00 | 1.02 | 1.29 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 1.04 | 1.32 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.00 | 1.27 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 10:00 | 1.26 | 1.60 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.28 | 1.63 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.22 | 1.55 | 4.05 | 402650 | 6982113 |
| | 25/4/17 11:00 | 1.24 | 1.57 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.25 | 1.59 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.19 | 1.51 | 4.05 | 402650 | 6982113 |
| | 25/4/17 12:00 | 1.24 | 1.57 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.25 | 1.59 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.19 | 1.52 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 13:00 | 1.28 | 1.62 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.29 | 1.64 | 4.05 | 402650 | 6982113 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 402650 | 6982113 |
| | 25/4/17 14:00 | 1.16 | 1.48 | 4.05 | 403680 | 6980897 | 1.16 | 1.47 | 4.05 | 401657 | 6983075 | 1.10 | 1.40 | 4.05 | 401657 | 6983075 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.99 | 1.25 | 4.05 | 404650 | 6980265 | 0.93 | 1.18 | 4.05 | 404650 | 6980265 | 0.87 | 1.10 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 16:00 | 0.84 | 1.07 | 3.45 | 404650 | 6980265 | 0.79 | 1.00 | 3.45 | 436777 | 6971606 | 0.75 | 0.96 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| | 25/4/17 17:00 | 0.65 | 0.83 | 3.45 | 520024 | 6948355 | 0.63 | 0.80 | 3.45 | 436019 | 6972154 | 0.60 | 0.76 | 3.45 | 436777 | 6971606 |
| Derecha | 25/4/17 6:00 | 0.52 | 0.67 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.56 | 0.71 | 2.94 | 445693 | 6977220 | 0.61 | 0.78 | 2.94 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.63 | 0.80 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.69 | 0.88 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.76 | 0.96 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 8:00 | 0.70 | 0.89 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.76 | 0.97 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.84 | 1.06 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 9:00 | 0.73 | 0.93 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.82 | 1.04 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.89 | 1.13 | 3.45 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 10:00 | 0.89 | 1.13 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.98 | 1.25 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 1.06 | 1.34 | 4.05 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 11:00 | 0.86 | 1.09 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.96 | 1.21 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.04 | 1.31 | 4.05 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 12:00 | 0.87 | 1.10 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.97 | 1.23 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.05 | 1.33 | 4.05 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 13:00 | 0.90 | 1.14 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 1.00 | 1.27 | 4.05 | 445693 | 6977220 | 1.08 | 1.37 | 4.05 | 445693 | 6977220 |
| | 25/4/17 14:00 | 0.78 | 0.99 | 3.45 | 504131 | 6966588 | 0.89 | 1.13 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.98 | 1.24 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.60 | 0.77 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.69 | 0.88 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.81 | 1.03 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 16:00 | 0.52 | 0.67 | 2.94 | 504131 | 6966588 | 0.60 | 0.76 | 3.45 | 445693 | 6977220 | 0.69 | 0.88 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| | 25/4/17 17:00 | 0.40 | 0.51 | 2.50 | 504131 | 6966588 | 0.48 | 0.60 | 2.94 | 445693 | 6977220 | 0.55 | 0.69 | 3.45 | 524630 | 6958705 |
| Cierre | 25/4/17 6:00 | 0.65 | 0.82 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.68 | 0.86 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.69 | 0.87 | 3.45 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 7:00 | 0.82 | 1.04 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.87 | 1.10 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.88 | 1.12 | 3.45 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 8:00 | 0.91 | 1.16 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.97 | 1.23 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 0.98 | 1.24 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 9:00 | 0.98 | 1.24 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.04 | 1.32 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.04 | 1.32 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 10:00 | 1.19 | 1.51 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.26 | 1.59 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.26 | 1.60 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 11:00 | 1.17 | 1.49 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 12:00 | 1.18 | 1.50 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.24 | 1.57 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.23 | 1.56 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 13:00 | 1.21 | 1.53 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.27 | 1.61 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.27 | 1.61 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 14:00 | 1.09 | 1.39 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.15 | 1.46 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 1.14 | 1.45 | 4.05 | 398891 | 6987557 |
| | 25/4/17 15:00 | 0.87 | 1.11 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 0.92 | 1.16 | 4.05 | 398461 | 6984639 | 0.90 | 1.15 | 4.05 | 399465 | 6988394 |
| | 25/4/17 16:00 | 0.75 | 0.95 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.78 | 1.00 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.79 | 1.00 | 3.45 | 399465 | 6988394 |
| | 25/4/17 17:00 | 0.59 | 0.75 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.62 | 0.79 | 3.45 | 398461 | 6984639 | 0.63 | 0.80 | 3.45 | 399465 | 6988394 |

3.4 Evaluación del modelo de erosión utilizando datos de Itaipú

3.4.1 Erosión costera en Itaipú

La búsqueda de antecedentes en la región referidos al estudio de erosión costera en embalses debido acción del oleaje, presenta como caso de interés las evaluaciones realizadas en la represa de Itaipú.

Los trabajos desarrollados en dicho embalse consistieron en la identificación de sitios degradados, a través de un sobrevuelo por toda la costa de la margen derecha, de recorridos por agua y tierra y del levantamiento topográfico de los mismos. También incluye el análisis de datos obtenidos en el relevamiento, y de información técnica de interés tales como la magnitud de la erosión, tipos de suelos afectados, infraestructura dañada. Los resultados de estos estudios se presentan en el Informe realizado por F. R. Ramírez Cantero.

Según el Programa de Mediciones de Erosión Costera, Embalse Itaipú-MD, se cuenta con 14 estaciones de medición de erosión, ubicadas a lo largo de la costa de la margen derecha. Las mismas fueron instaladas entre los meses de octubre de 1994 y octubre de 1996. Se realizaron entre 9 y 23 mediciones para cada estación. La ubicación general de los sitios relevados se presenta en la **Figura 3.8**.

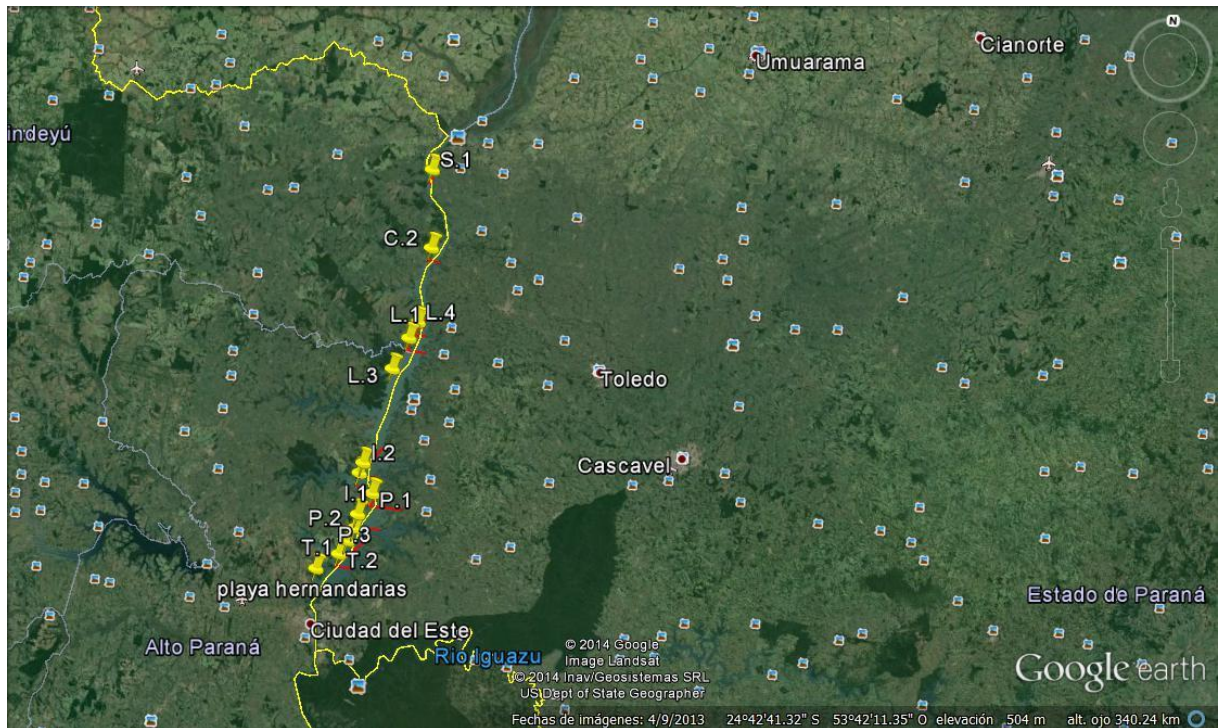


Figura 3.8. Ubicación general de los sitios relevados

Los resultados de las evaluaciones indican que la erosión costera tuvo un máximo de 2,33 m/año en la estación de T.2, ubicada en la zona del río Pirapytá, y un mínimo de 0,51 m/año en la estación S.1, ubicada en la zona Tacuarí. La **Tabla 3.27** presenta la síntesis con los resultados obtenidos para la totalidad de los relevamientos realizados. Estos tienen un orden de magnitud equiparable con los valores estimados para el embalse de Itatí mediante la aplicación del método de Elci & Work (2003), presentados en el Primer Informe Parcial.

Tabla 3.27. Resultados Programa de Mediciones de Erosión Costera. Embalse Itaipú-MD

| PUESTO MEDIC. | | Fecha | Ubicación Geográfica | | Total Ero. | Prom. | Altura | Volumen |
|---------------|-------|---------|----------------------|------------|-------------------|----------|---------|----------|
| Viento incid. | | Insta- | | | Costera / | E.Cost. | Barran- | E.Cost.p |
| Nivel E.Cost. | | lación | | | Tiempo | p/año | co | /mt. |
| | | | | | | | | de Costa |
| T.1 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 25°18,280' | 20,26 | 0,92 | 3,30 | 3,036 |
| Sur Este | Fecha | Febr/95 | Longitud Oeste | 54°31,509' | 230 meses | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel IV | Meses | 0 | | | 18 años 7 meses | | | |
| T.2 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 25°20,680' | 39,71 | 2,33 | 3,20 | 7,456 |
| Nor Este | Fecha | Jul/96 | Longitud Oeste | 54°33,007' | 205 meses | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel V | Meses | 0 | | | 16 años 6 meses | | | |
| P.1 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 25°09,729' | 27,97 mts. | 1,47 | 2,95 | 4,336 |
| S.S.E. | Fecha | Febr/95 | Longitud Oeste | 54°27,341' | 203 meses | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel V | Meses | - | | | 17 años 5 meses | | | |
| P.2 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 25°16,676' | 24,03 mts. | 1,41 | 3,00 | 4,230 |
| E.N.E. | Fecha | Jul/96 | Longitud Oeste | 54°30,215' | 218 meses | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel III | Meses | 0 | | | 17 años 11 meses | | | |
| P.3 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 25°13,545' | 22,54 | 1,61 | 3,60 | 5,769 |
| Nor Este | Fecha | Oct/96 | Longitud Oeste | 54°29,830' | 212 meses | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel V | Meses | 0 | | | 17 años 4 meses | | | |
| I.1 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 25°06,298' | 31,93 mts. | 1,95 | 3,10 | 6,045 |
| Nor Este | Fecha | Abr/95 | Longitud Oeste | 54°30,062' | 194 meses | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel V | Meses | 0 | | | (16 años 4 meses) | | | |
| I.2 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 25°04,474' | 26,57 mts. | 1,15 | 3,30 | 3,810 |
| E.N.E. | Fecha | Jul/95 | Longitud Oeste | 54°29,473' | 213 meses | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel V | Meses | 0 | | | (18 años 9 meses) | | | |

Tabla 3.27 (Cont.) Resultados Programa de Mediciones de Erosión Costera. Embalse Itaipú-MD

| | | | | | | | | |
|-----------|-------|--------|----------------|------------|--------------------------------|----------|----------|---------|
| L.1 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 24°42,153' | 30,28 mts. | 1,37 | 1,90 | 2,615 |
| E.N.E. | Fecha | Oct/94 | Longitud Oeste | 54°22,275' | 217 meses (17 años 8 mes) | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel III | Meses | 0 | | | | | | |
| L.2 | Mts. | 0 | Latitud Sur | | 16,36 mts. | 2,25 | 2,14 | 4,815 |
| Sur | Fecha | Oct/94 | Longitud Oeste | | 95 meses (7 años 1 mes) | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel IV | Meses | 0 | | | | | | |
| L.3 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 24°47,714' | 20,60 mts. | 0,89 | 3,35 | 2,980 |
| E.N.E. | Fecha | May/95 | Longitud Oeste | 54°25,066' | 221 meses (18 años 7 meses) | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel IV | Meses | 0 | | | | | | |
| L.4 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 24°39,280' | 17,87 mts. | 0,89 | 1,90 | 1,697 |
| Nor Este | Fecha | Oct/95 | Longitud Oeste | 54°20,744' | 212 meses (18 años 2 mes) | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel III | Meses | 0 | | | | | | |
| C.1 | Mts. | 0 | Latitud Sur | | 8,18 mts. | 1,56 | 3,23 | 5,039 |
| Este | Fecha | nov-95 | Longitud Oeste | | 63 meses (5 años 3 meses) | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel IV | Meses | 0 | | | | | | |
| C.2 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 24°26,146' | 20,0 mts. | 1,11 | 2,53 | 2,811 |
| Nor Este | Fecha | Nov/95 | Longitud Oeste | 54°19,167' | 213 meses (18 años 0 meses) | mts./año | - | m3/ año |
| Nivel III | Meses | 0 | | | | | | |
| S.1 | Mts. | 0 | Latitud Sur | 24°12,433' | 10,27 mts. | 0,51 | 0,70 | 0,359 |
| Nor Este | Fecha | Jun/95 | Longitud Oeste | 54°20,088' | 188 meses (18 años 5 meses) | mts./año | mts./año | m3/ año |
| Nivel II | Meses | 0 | | | | | | |
| | | | | | | | m3/m año | 54,998 |

3.4.2 Aplicación del método de Elci & Work para estimar erosión costera en Itaipú

Datos disponibles en el informe de Ramirez Cantero permiten recopilar la información necesaria para aplicar el método de Elci & Work en una ubicación puntual del embalse de Itaipú: Ivytyrokai.

La sección indicada fue ajustada al esquema simplificado, a partir del cual se estimaron los parámetros geométricos necesarios para el cálculo. La **Figura 3.9** muestra el grado de aproximación entre el perfil natural del terreno y el modelo simplificado correspondiente a la ubicación de Ivytyrokai.

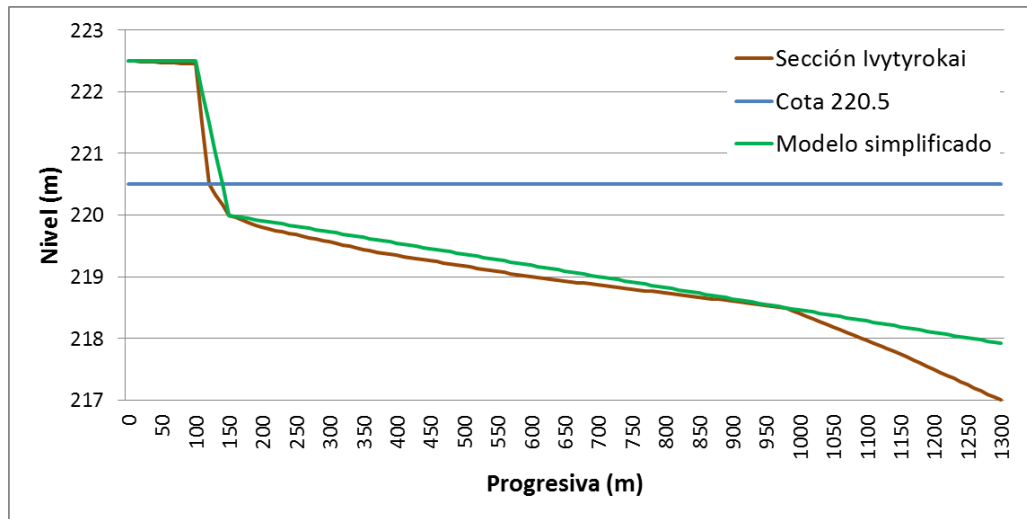


Figura 3.9. Modelo simplificado para la sección

En la **Tabla 3.28** se indican los parámetros geométricos (alturas y pendientes) que caracterizan a la sección seleccionada para el análisis.

Tabla 3.28. Características geométricas de la sección Ivityrokai.

| Parámetros de la sección | | | | |
|--------------------------|-------|--------|----------------|----------------|
| Zbluff | Ztoe | hbluff | m ₁ | m ₂ |
| 222.5 | 220.0 | 2.5 | 0.0500 | 0.0018 |

La **Tabla 3.29** muestra resultados para el cálculo de R (m/año), que se obtienen considerando diferentes valores hipotéticos de alturas de ola permanente durante todo un año. Estos valores de referencia indican el orden de magnitud que podrían alcanzar las tasas de recesión anual para la sección evaluada.

El resultado de la aplicación del método para estimar la erosión muestra un acercamiento razonable con los valores obtenidos mediante el análisis de los datos surgidos del relevamiento de campo. En efecto, para la sección de Ivityrokai los datos de oleaje (según Ramírez) indican una altura de $H_s = 1.05$ y $T_p = 3.25$ s, con lo que aplicando Elci & Work se obtendría una erosión media anual de $R = 1.08$ m (**Tabla 3.29**). La estación relevada más cercana a esta ubicación es la P1, donde los datos de campo indicaron una erosión media anual de $R = 1.47$ m.

Tabla 3.29. Resultado de la aplicación del método de Elci y Work en Ivytyrokai

| H (m) | T (s) | C | λ | Ru | R (m/año) |
|-------|-------|---------|-----------|-------|-----------|
| 0.49 | 2.10 | 0.00022 | 0.436 | 0.091 | 0.138 |
| 0.77 | 2.87 | 0.00022 | 0.462 | 0.156 | 0.493 |
| 0.78 | 2.87 | 0.00022 | 0.463 | 0.157 | 0.507 |
| 0.87 | 3.30 | 0.00022 | 0.476 | 0.191 | 0.746 |
| 0.90 | 4.10 | 0.00022 | 0.496 | 0.241 | 1.034 |
| 0.95 | 3.30 | 0.00022 | 0.480 | 0.199 | 0.896 |
| 0.98 | 3.30 | 0.00022 | 0.481 | 0.203 | 0.956 |
| 0.99 | 3.60 | 0.00022 | 0.489 | 0.222 | 1.081 |
| 1.05 | 3.25 | 0.00022 | 0.483 | 0.206 | 1.084 |
| 1.06 | 3.35 | 0.00022 | 0.486 | 0.214 | 1.146 |
| 1.14 | 3.75 | 0.00022 | 0.499 | 0.248 | 1.526 |
| 1.18 | 3.65 | 0.00022 | 0.498 | 0.246 | 1.588 |
| 1.30 | 3.75 | 0.00022 | 0.506 | 0.265 | 2.011 |
| 1.32 | 4.10 | 0.00022 | 0.517 | 0.292 | 2.315 |
| 1.35 | 4.35 | 0.00022 | 0.525 | 0.313 | 2.611 |
| 1.45 | 3.20 | 0.00022 | 0.496 | 0.239 | 2.090 |

4 APOORTE HIDROLÓGICO

4.1 Consideraciones generales

La región de estudio corresponde al tramo del río Paraná que va desde el embalse de Yacyretá hasta el cierre del Proyecto Itatí - ItaCorá. En la **Figura 4.1** se visualiza el área de aporte hidrológico, bastante más significativo sobre la margen derecha (Paraguay) que sobre la izquierda (Argentina).

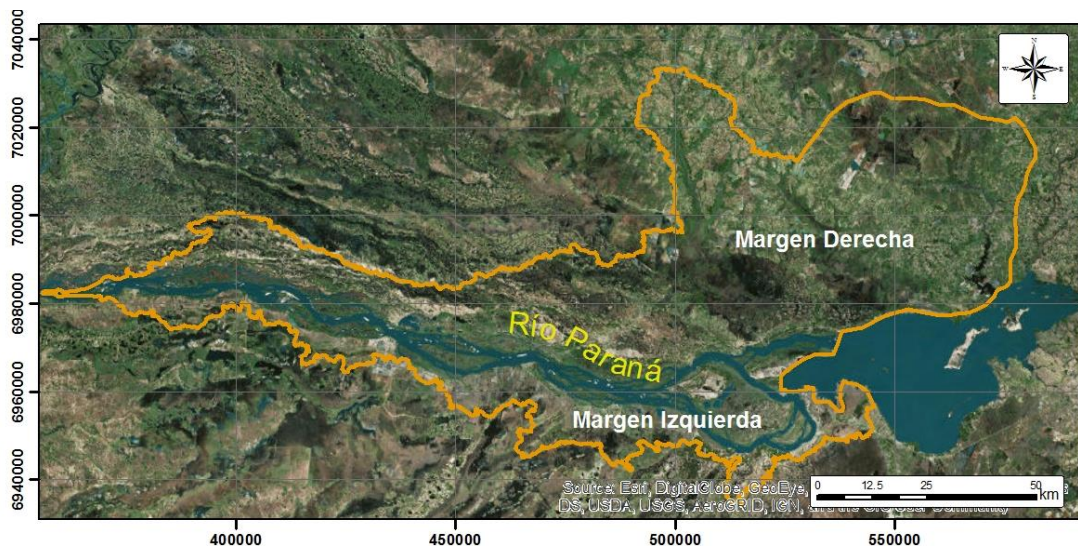


Figura 4.1. Dominio de modelación

En el Primer Informe Parcial se presentaron resultados preliminares para el aporte hidrológico desde la margen izquierda (Argentina) hacia el futuro embalse de Itatí-ItaCorá. A continuación, se desarrolla el análisis efectuado para los aportes desde la margen derecha (Paraguay).

La simulación hidrológica intenta representar la capacidad de generación de escorrentía de las cuencas en función a sus características geomorfológicas, tipo de suelo, uso de suelo y otras variables hidro-meteorológicas tales como el régimen de precipitación. La zona en donde se ubican las cuencas incrementales al futuro embalse de Itatí – Itacorá presenta características muy particulares, a saber: bajas pendientes, extensos campos de cultivo de arroz, canalizaciones y humedales. Esto dificulta la utilización de herramientas convencionales para la delimitación de cuencas, puesto que no se trata de una cuenca dendrítica y, además, en algunos casos las canalizaciones existentes alteran el patrón natural de escurrimiento.

Teniendo en cuenta estas circunstancias, la delimitación de cuencas de aporte se llevó a cabo en dos pasos. En primera instancia se utilizó una metodología automática, y en segunda instancia se efectuaron ajustes significativos en forma manual teniendo en cuenta las canalizaciones existentes en campos de arroz, los humedales, y otros factores que inciden en las áreas de aporte.

4.2 Características físicas de la margen derecha

En la Margen Derecha (**Figura 4.2**) los aportes principales de escurrimiento al embalse de Itatí – Itacorá son el Arroyo Aguapey (zona MD V), el Arroyo Atinguy (zona MD IV), el Arroyo Jaguarú (zona MD III) y el Arroyo Yabebyry (zona MD II), cuyas cuencas poseen superficies significativas, con variabilidad en el tipo y uso de suelo, y un componente de tránsito hidrológico que requiere una división en subcuencas de menor superficie. Adicionalmente, en el sector oeste se desarrollan varias cuencas de llanura de menor superficie, las cuales se han agrupado como zona MD I.

En la **Figura 4.3** se muestra cada una de las zonas de aporte divididas en subcuencas.

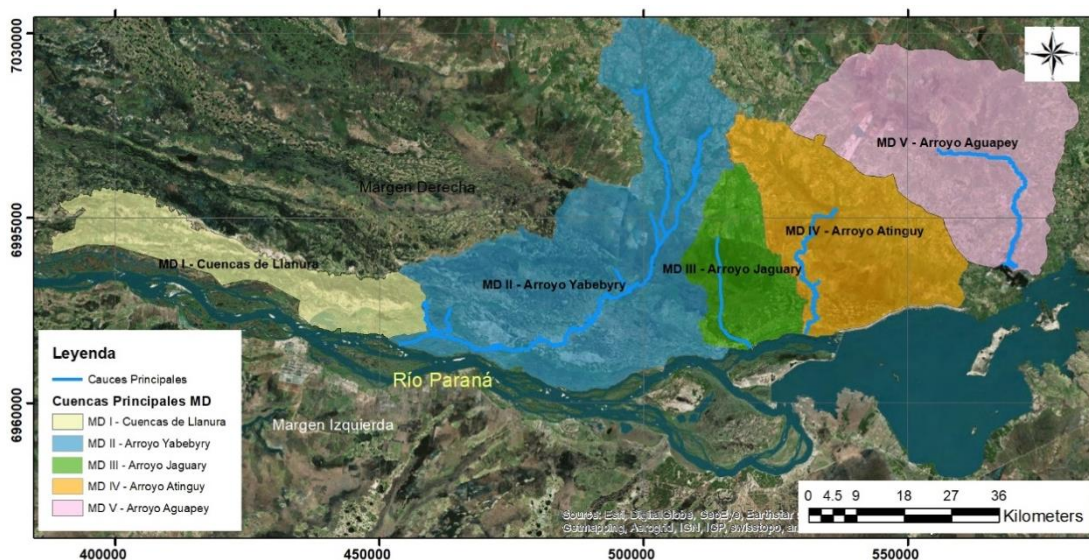


Figura 4.2. Zonas de aporte de la Margen Derecha.

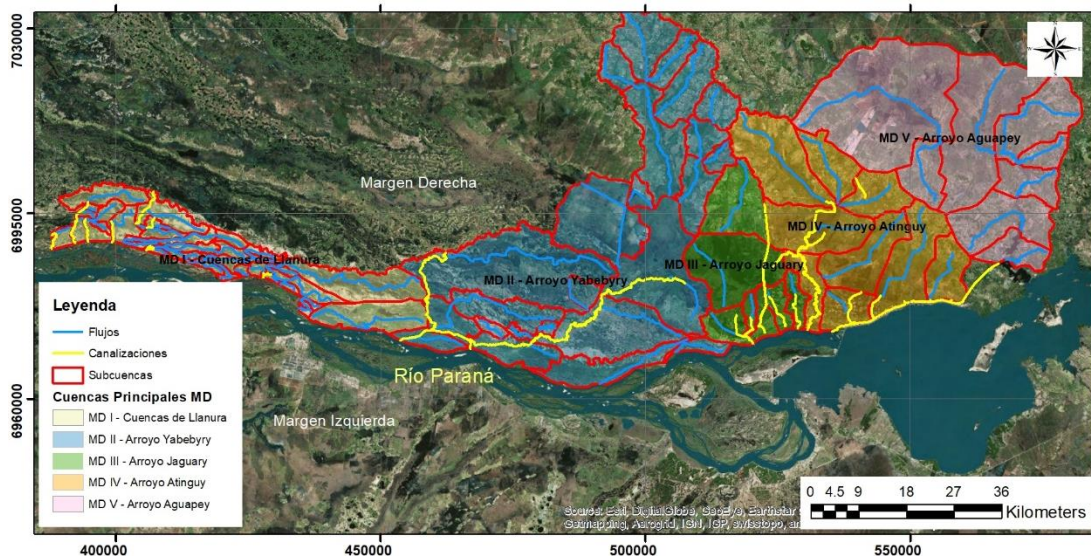


Figura 4.3. Subcuencas de aporte de la Margen Derecha.

En el Anexo se presentan los esquemas de modelación para cada zona de aporte, extraídos directamente del HEC-HMS.

El Arroyo Yabebyry se encuentra bien definido en la zona alta, pero el cauce se vuelve intermitente en la zona media. En este sector el agua del arroyo se desborda en épocas de crecida, alimentando una serie de bañados antes de continuar hacia aguas abajo. Este hecho retarda considerablemente la ocurrencia del pico de inundación, dado el tiempo que transcurre hasta llenar los bañados. Adicionalmente, conduce a la atenuación del caudal pico. Para representar este efecto de laminación se incorporó al modelo un reservorio representativo del volumen de almacenamiento disponible.

En la **Figura 4.4** se muestra una imagen donde se resaltan en líneas azules los cauces principales, y se indica en sombreado azul-verdoso la extensión aproximada del área de bañados que es regada por el arroyo. Esta área se delimitó en base a una inspección visual de la imagen satelital, considerando la extensión de suelos saturados y las características geomorfológicas del área, que permiten delimitar las zonas bajas inundables.

Para modelar el efecto de este bañado se seleccionó como elemento del HEC-HMS un reservorio lineal, el cual requiere para su caracterización dos relaciones o curvas: i) Altura-Área y ii) Altura-Descarga. La primera relación se construyó en base a las siguientes estimaciones:

- Se midió el área “superficie máxima inundable” de la **Figura 4.4**. Se asumió un nivel de agua máximo de 2 metros.
- Se estimó otro polígono de menor superficie correspondiente a la altura cero de la planicie de inundación o altura de banca llena.

Los valores resultantes se muestran en la **Tabla 4.1**.



Figura 4.4. Cauces y zona de bañados del Arroyo Yabebyry. El polígono azul-verdoso muestra la extensión aproximada del bañado, y la línea roja indica la sección transversal utilizada para estimar la relación altura-descarga.

Tabla 4.1. Relación Elevación-Área utilizada en la simulación del reservorio.

| Elevación (m) | Área (1000m ²) |
|---------------|----------------------------|
| 0 | 91951 |
| 2 | 114939 |

La relación Altura-Descarga se obtuvo asumiendo que la descarga del reservorio se produce siguiendo la ley de Manning, que implica una relación unívoca entre la altura y el caudal, y que aguas abajo se alcanza la altura normal. La línea roja de la **Figura 4.5** muestra el sitio donde se estimaron los datos geométricos para la sección, a partir de la cual se generaron niveles asociados a cada caudal. Esta relación se muestra en la **Tabla 4.2**.



Figura 4.5. El Arroyo Yavebyry se vuelve a identificar con un cauce definido, luego de la zona de bañados.

Tabla 4.2. Relación Elevación-Descarga utilizada en la simulación del reservorio.

| Elevación (m) | Descarga (m ³ /s) |
|---------------|------------------------------|
| 0.0 | 0 |
| 0.5 | 100 |
| 0.7 | 200 |
| 0.9 | 300 |
| 1.0 | 400 |
| 1.1 | 500 |
| 1.2 | 600 |
| 1.3 | 700 |
| 1.4 | 800 |
| 1.5 | 900 |
| 1.6 | 1000 |

4.3 Precipitación

Se pueden generar precipitaciones sintéticas en base a las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) generadas por Cuevas & Rolón (2010), sin embargo, estas tienen la limitación de que solamente son válidas hasta eventos de 3 horas (180 minutos) de duración (**Figura 4.6** y **Figura 4.7**).

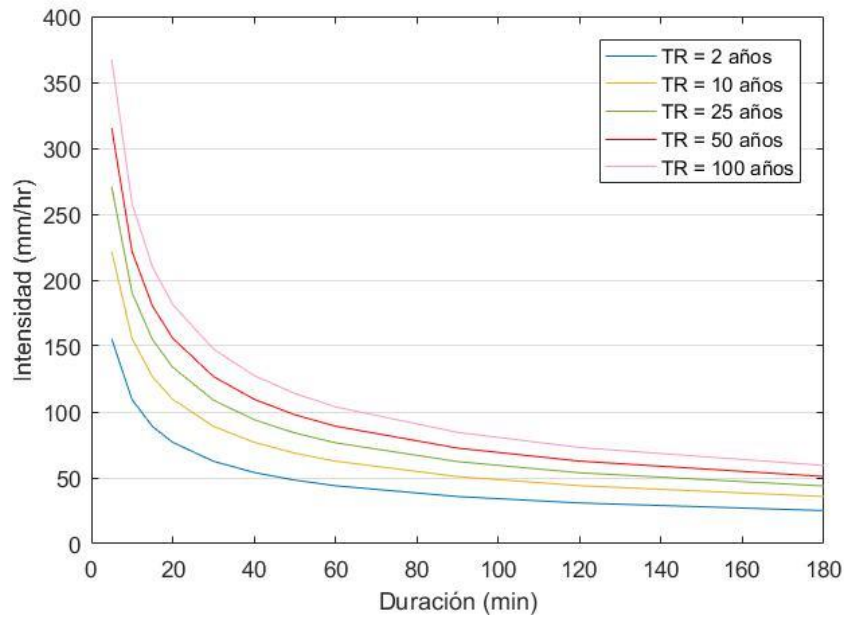


Figura 4.6. Curvas IDF de la Estación Encarnación.

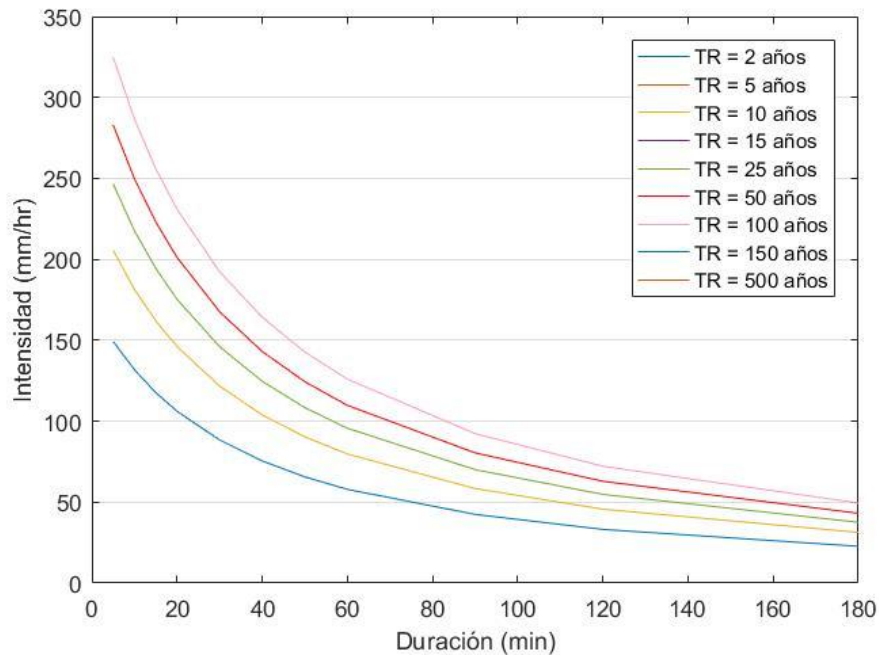


Figura 4.7. Curvas IDF de la Estación Pilar.

Dadas las dimensiones de las cuencas bajo estudio, se requiere trabajar con tormentas de duración superior a 3 horas. Entonces, se procedió a determinar valores de intensidad de precipitación para una tormenta de 24 horas de duración en las estaciones de Encarnación y Pilar a partir de las series temporales disponibles de paso diario (**Figura 4.8** y **Figura 4.9**, respectivamente). Para el efecto, se aplicó la distribución teórica de máximos de GÜMBEL, obteniéndose la precipitación máxima diaria en mm/día para distintos periodos de retorno en cada estación (**Figura 4.10** y **Figura 4.11**). Los resultados se presentan en la

Tabla 4.3.

Los valores de intensidad correspondientes a 6 y 12 horas se obtuvieron mediante interpolación. A modo de ejemplo, en la **Figura 4.12** se muestra este procedimiento para un periodo de recurrencia de 2 años.

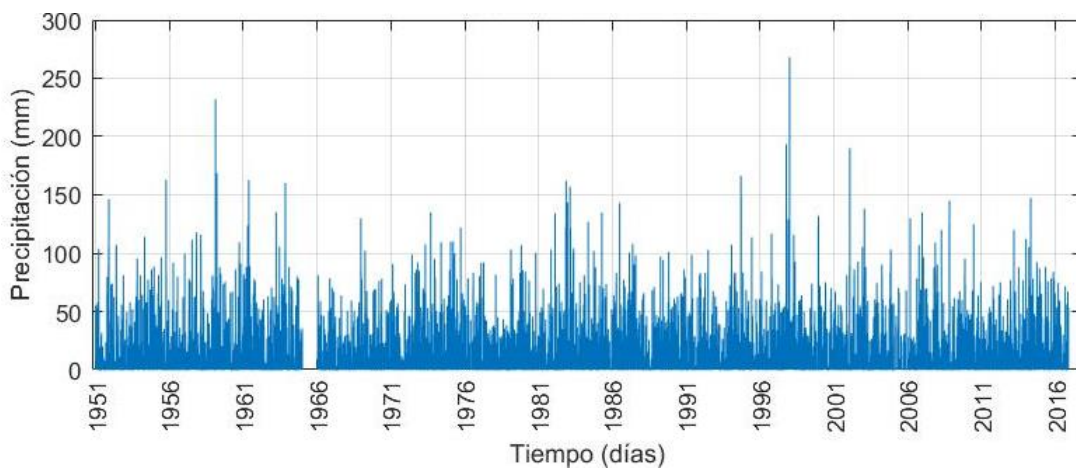


Figura 4.8. Serie de precipitación de la Estación Encarnación. Periodo: 1951 – 2016.

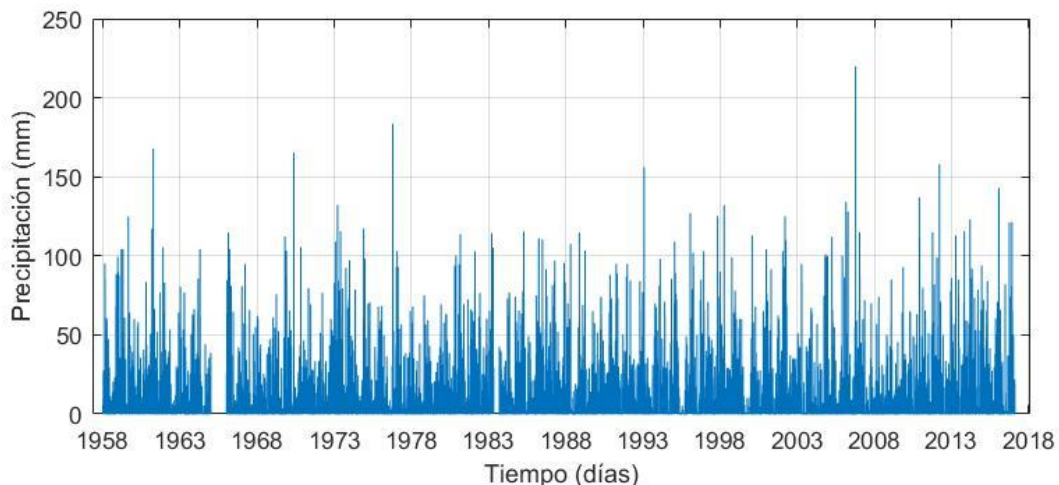


Figura 4.9. Serie de precipitación de la Estación Pilar. Periodo: 1958 – 2017.

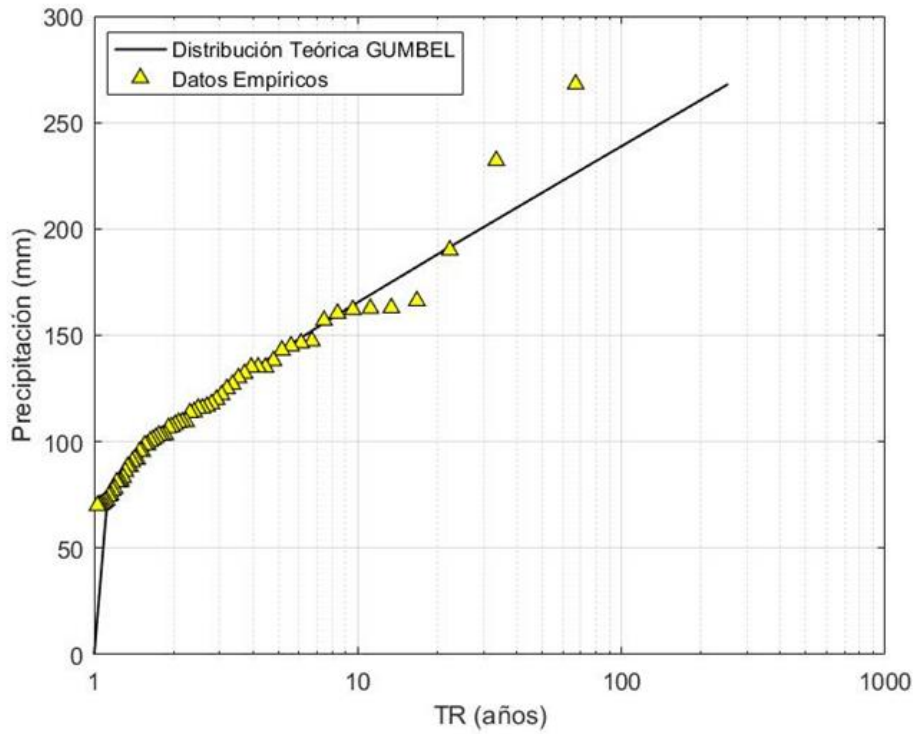


Figura 4.10. Distribución Teórica de Precipitación (GÜMBEL) para la Estación de Encarnación.

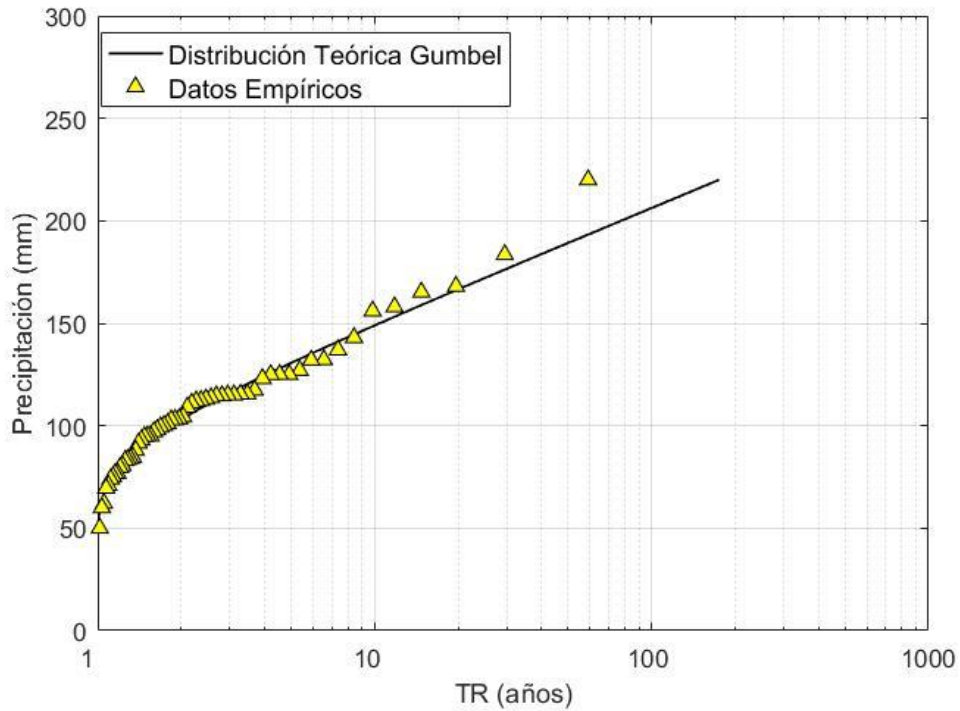


Figura 4.11. Distribución Teórica de Precipitación (GÜMBEL) para la Estación de Pilar.

Tabla 4.3. Precipitación Máxima Diaria (mm) asociada a Periodos de Recurrencia. Series de Estación Encarnación (1951 – 2016) y Pilar (1958 – 2017).

| Periodo de Recurrencia (Años) | Precipitación Máxima Diaria ENCARNACIÓN (mm/día) | Intensidad Máxima de 24 hrs ENCARNACIÓN (mm/hr) | Precipitación Máxima Diaria PILAR (mm/día) | Intensidad Máxima de 24 hrs PILAR (mm/hr) |
|-------------------------------|--|---|--|---|
| 2 | 106.72 | 4.45 | 103.05 | 4.29 |
| 5 | 142.10 | 5.92 | 130.68 | 5.45 |
| 10 | 165.52 | 6.90 | 148.98 | 6.21 |
| 25 | 195.12 | 8.13 | 172.09 | 7.17 |
| 50 | 217.08 | 9.05 | 189.24 | 7.89 |
| 100 | 238.88 | 9.95 | 206.26 | 8.59 |
| 150 | 251.59 | 10.48 | 216.19 | 9.01 |
| 500 | 289.24 | 12.05 | 245.6 | 10.23 |
| 1000 | 310.90 | 12.95 | 262.51 | 10.94 |

Curva IDF Encarnación para un TR = 2 años

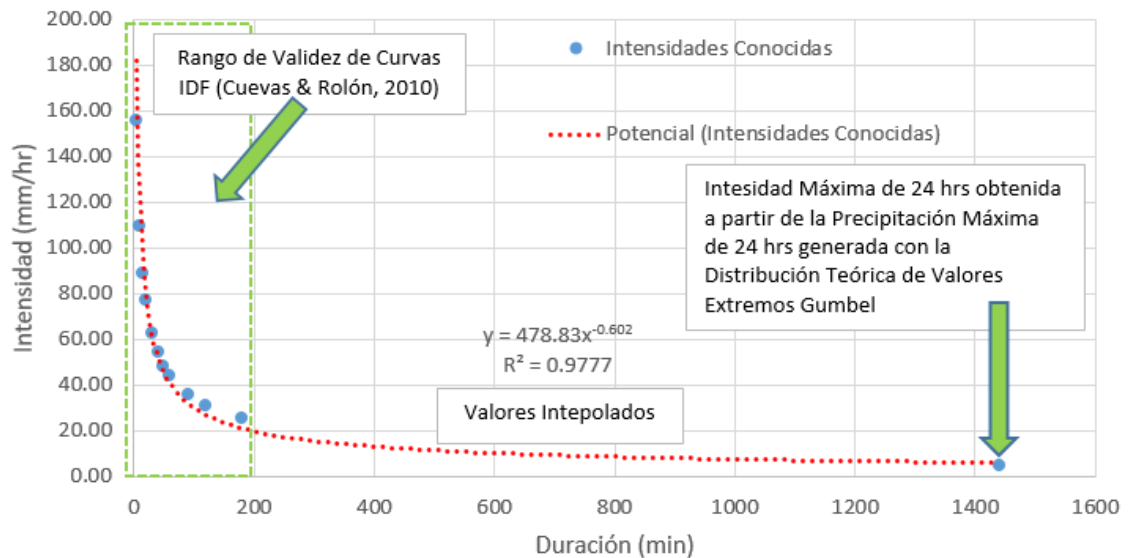


Figura 4.12. Ejemplo de Interpolación de valores de intensidad de tormenta para duraciones entre 3 y 24 hrs.

Las intensidades de tormenta superiores a 24 horas fueron generadas utilizando el mismo procedimiento. Por ejemplo, para una tormenta de 48 horas se tomaron las series de precipitación disponibles en paso diario y se realizó una suma móvil (agrupando dos días consecutivos a lo largo de toda la serie), obteniendo una serie de precipitación en paso de dos días. A esta serie se le aplicó la distribución teórica de máximos (Gümbel) y se obtuvieron precipitaciones máximas de 2 días asociadas a distintos periodos de recurrencia.

El modelo meteorológico seleccionado para simular la tormenta sintética en HEC-HMS es el *Frequency Storm*, el cual requiere intensidades de tormenta en láminas de precipitación (mm). Estas intensidades se muestran en la **Tabla 4.4** y la **Tabla 4.5**.

Tabla 4.4. Tormentas sintéticas generadas para la ciudad de Encarnación

| Duración | Intensidad (mm) | | | | | |
|----------|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| | TR = 5 años | TR = 10 años | TR = 25 años | TR = 50 años | TR = 100 años | TR = 150 años |
| 5 min | 15.86 | 18.46 | 22.58 | 26.29 | 30.61 | 33.46 |
| 15 min | 27.20 | 31.67 | 38.73 | 45.10 | 52.52 | 57.41 |
| 1 hr | 53.75 | 62.59 | 76.54 | 89.13 | 103.78 | 113.45 |
| 2 hr | 75.56 | 87.99 | 107.60 | 125.29 | 145.89 | 159.48 |
| 3 hr | 92.22 | 107.38 | 131.32 | 152.91 | 178.05 | 194.64 |
| 6 hr | 109.98 | 127.07 | 154.17 | 176.07 | 200.28 | 215.68 |
| 12 hr | 127.74 | 147.79 | 177.02 | 199.22 | 222.51 | 236.72 |
| 1 día | 145.51 | 169.53 | 199.87 | 222.38 | 244.73 | 257.76 |
| 2 días | 188.61 | 221.29 | 262.58 | 293.22 | 323.63 | 341.36 |

Tabla 4.5. Tormentas sintéticas generadas para la ciudad de Pilar

| Duración | Intensidad (mm) | | | | | |
|----------|-----------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | TR 5 | TR 10 | TR 25 | TR 50 | TR 100 | TR 150 |
| 5 min | 14.92 | 17.13 | 20.55 | 23.58 | 27.07 | 29.34 |
| 15 min | 35.29 | 40.501 | 48.59 | 55.77 | 64.00 | 69.37 |
| 1 hr | 69.47 | 79.733 | 95.66 | 109.79 | 126.00 | 136.57 |
| 2 hr | 79.58 | 91.331 | 109.57 | 125.75 | 144.33 | 156.44 |
| 3 hr | 81.82 | 93.909 | 112.66 | 129.30 | 148.40 | 160.85 |
| 6 hr | 99.15 | 117.671 | 134.35 | 151.50 | 170.24 | 182.06 |
| 12 hr | 116.48 | 137.436 | 156.03 | 173.69 | 192.09 | 203.26 |
| 1 día | 133.81 | 153.202 | 177.71 | 195.89 | 213.94 | 224.46 |
| 2 días | 167.60 | 190.238 | 218.83 | 240.05 | 261.11 | 273.39 |

4.4 Método de pérdidas

La fuente de información de tipo de suelo en la Región Oriental del Paraguay proviene del “Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra” o PRUT (Banco Mundial & MAG-Paraguay, 1995). Allí, a partir de una serie de muestras relevadas, se clasificó taxonómicamente el suelo. Además se definieron clases texturales, las cuales fueron utilizadas como base para elaborar un mapa de Grupos de Suelo de acuerdo al criterio mencionado en el Capítulo 7 del “National Engineering Handbook” (USDA - NRCS, 2009) tal como se muestra en la **Figura 4.13**.

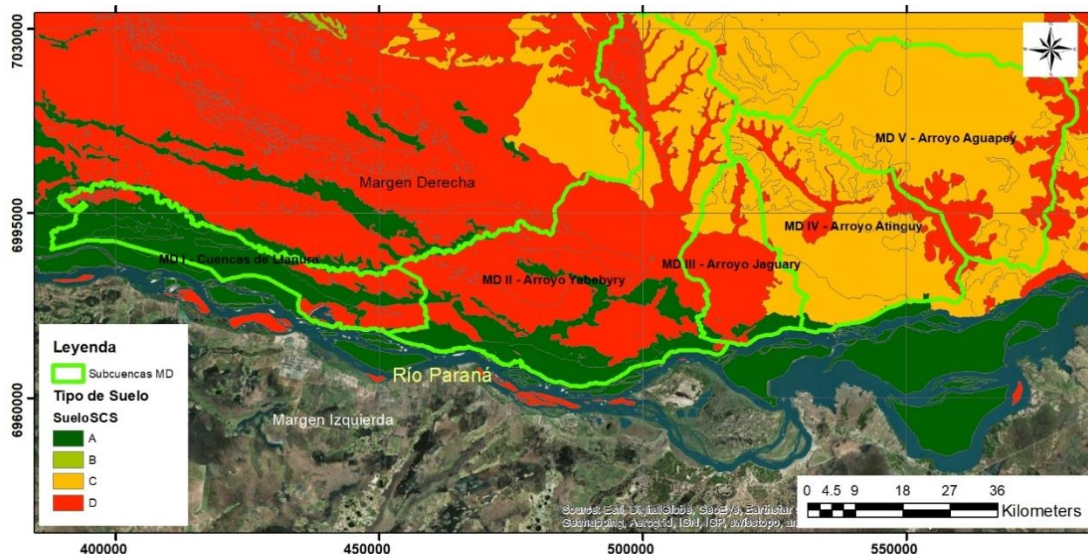


Figura 4.13. Tipo de Suelo SCS de la Margen Derecha.

Otro producto generado en el PRUT fue un mapa de uso posible de la tierra en base a las características del suelo. A partir de este mapa e imágenes satelitales se generó un mapa de uso de suelo, tal como se muestra en la **Figura 4.14**.

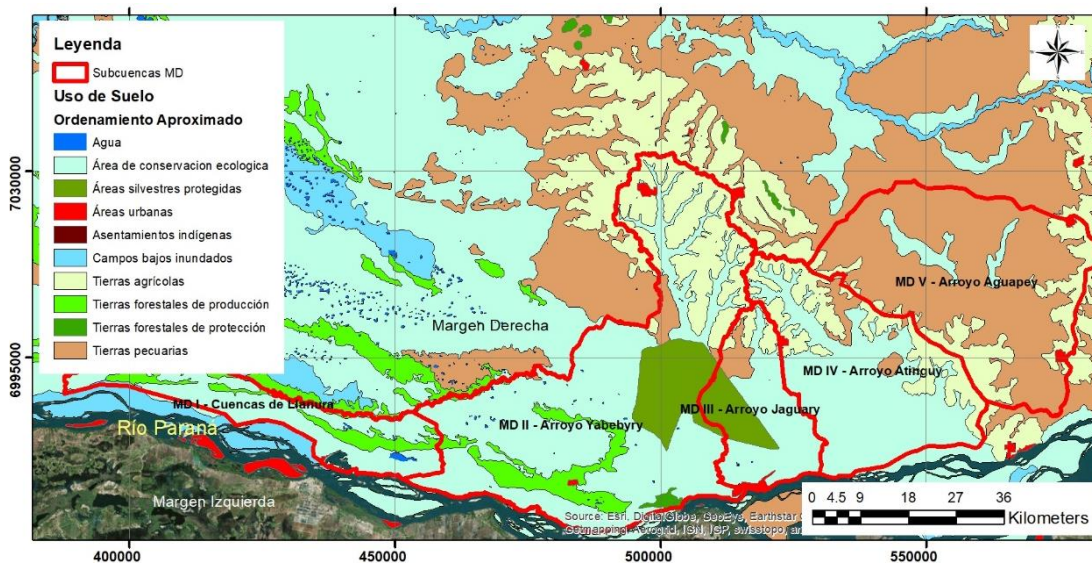


Figura 4.14. Uso de Suelo de la Margen Derecha.

El mapa de uso de suelo que se muestra en la **Figura 4.14** fue reclasificado en base al criterio de Tucci (1993), tal como se muestra en la **Tabla 4.6**.

Tabla 4.6. Criterio utilizado para realizar el cruce de Tipo y Uso de Suelo.

| USO ESTIMADO SEGÚN PRUT (Banco Mundial & MAG-Paraguay, 1995) | RECLASIFICACIÓN (Tucci, 1993) | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|-----|
| | | A | B | C | D |
| Tierras Agrícolas | Plantações Regulares em fileiras retas | 64 | 76 | 84 | 88 |
| Tierras Pecuarias | Chácaras Normais | 56 | 75 | 86 | 91 |
| Tierras Forestales de Producción | Plantações Regulares em fileiras retas | 64 | 76 | 84 | 88 |
| Tierras Forestales de Protección | Florestas Normais | 36 | 60 | 70 | 76 |
| Áreas Silvestres Protegidas | Florestas Normais | 36 | 60 | 70 | 76 |
| Áreas de Conservación Ecológica Especial | Humedales | 80 | 85 | 90 | 95 |
| Campos Bajos Inundados | Humedales | 80 | 85 | 90 | 95 |
| Asentamientos Indígenas | Florestas Normais | 36 | 60 | 70 | 76 |
| Áreas Urbanas | Zonas comerciais e de escritórios | 89 | 92 | 94 | 95 |
| Agua | Agua | 100 | 100 | 100 | 100 |

Cruzando los mapas de Tipo y Uso de Suelo en base a la **Tabla 4.6**, se obtuvo un mapa de Número de Curva, tal como se muestra en la **Figura 4.15**.

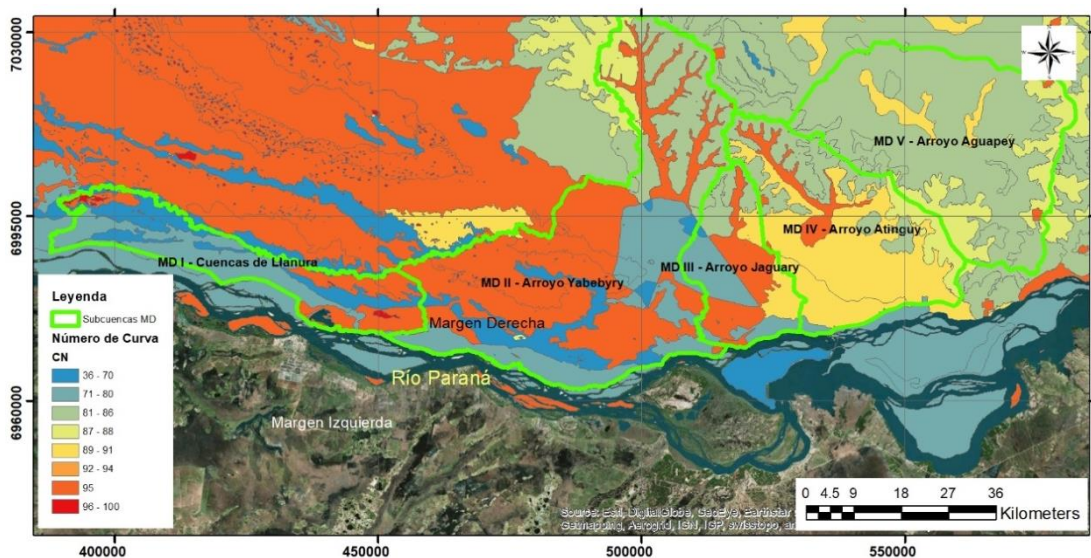


Figura 4.15. Número de Curva de la Margen Derecha.

4.5 Método de transformación de precipitación en escorrentía

El tiempo de concentración T_c , también conocido como tiempo de equilibrio de la cuenca, es un parámetro necesario para la determinación del caudal. El tiempo de concentración de una cuenca se encuentra en función de la pendiente media, la longitud del cauce, la forma de la cuenca, la cobertura del suelo, y en menor escala de otros parámetros fisiográficos. Para este estudio se utilizó la ecuación del DNOS, la cual es citada en el Manual de Hidrología Básica para Estructuras de Drenaje (DNIT, 2005):

$$T_c = \frac{10}{k} \cdot \frac{A^{0.3} \cdot L^{0.2}}{I^{0.4}}$$

donde:

T_c = Tiempo de concentración [min]

A = Área de la cuenca [ha]

L = Longitud del cauce principal [m]

I = Pendiente [%]

k = Coeficiente que depende de las características de la Cuenca (**Tabla 4.7**)

Tabla 4.7. Valores de k de acuerdo a las características de la cuenca (DNIT, 2005).

| k | Características del terreno |
|-----|--|
| 2.0 | Terreno arenoso arcilloso, mucha vegetación, mucha absorción |
| 3.0 | Terreno común, cubierto de vegetación, absorción apreciable |
| 4.0 | Terreno arcilloso, cubierto de vegetación, absorción media |
| 4.5 | Terreno arcilloso, vegetación media, poca absorción |
| 5.0 | Terreno con roca, escasa vegetación, baja absorción |
| 5.5 | Terreno rocoso, vegetación baja, muy poca absorción |

Se estableció una relación entre las características del terreno indicadas en la **Tabla 4.7** y el Tipo de Suelo SCS, con lo cual sería posible asociarles a estos un valor de k , tal como se indica en la **Tabla 4.8**.

Tabla 4.8. Asociación de entre el coeficiente k y el Tipo de Suelo SCS.

| k | Tipo de suelo SCS |
|-----|-------------------|
| 2.0 | A |
| 3.0 | A – B |
| 4.0 | B |
| 4.5 | C |
| 5.0 | D |
| 5.5 | D |

Asumiendo situaciones desfavorables, y como hipótesis conservadora, los valores adoptados del coeficiente k de acuerdo al tipo de suelo se especifican en la **Tabla 4.9**.

Tabla 4.9. Criterio asumido para determinación del parámetro k .

| Tipo de suelo | k |
|---------------|-----|
| A | 2.5 |
| B | 3.5 |
| C | 4.5 |
| D | 5 |

Considerando el criterio asumido según la **Tabla 4.9**, se generó un mapa del valor de coeficiente k en la zona de estudio, tal como se muestra en la **Figura 4.16**.

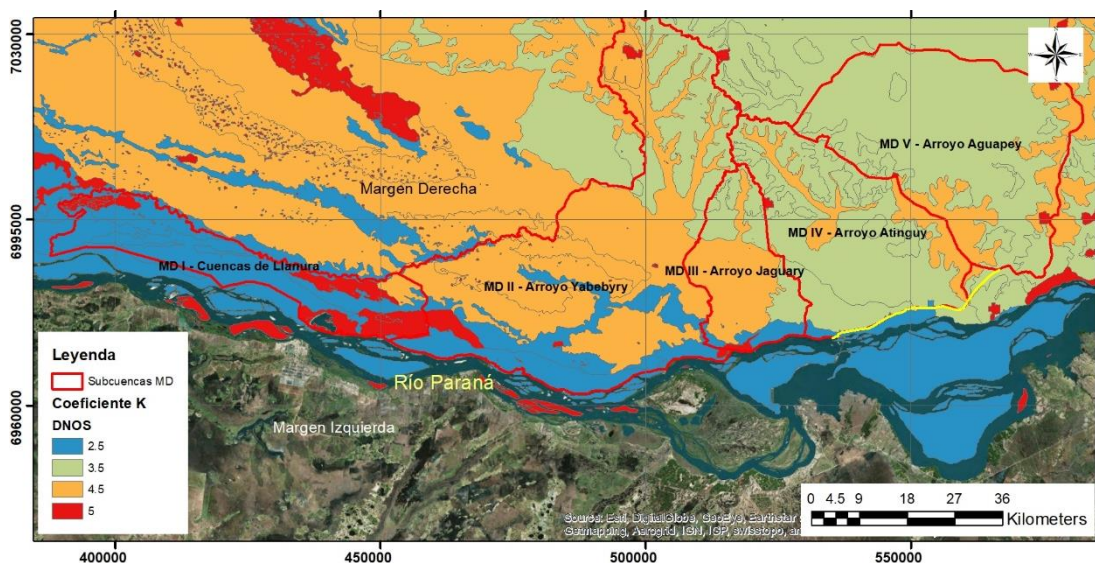


Figura 4.16. Valores del coeficiente k en función al Tipo de Suelo.

4.6 Hidrogramas para margen derecha

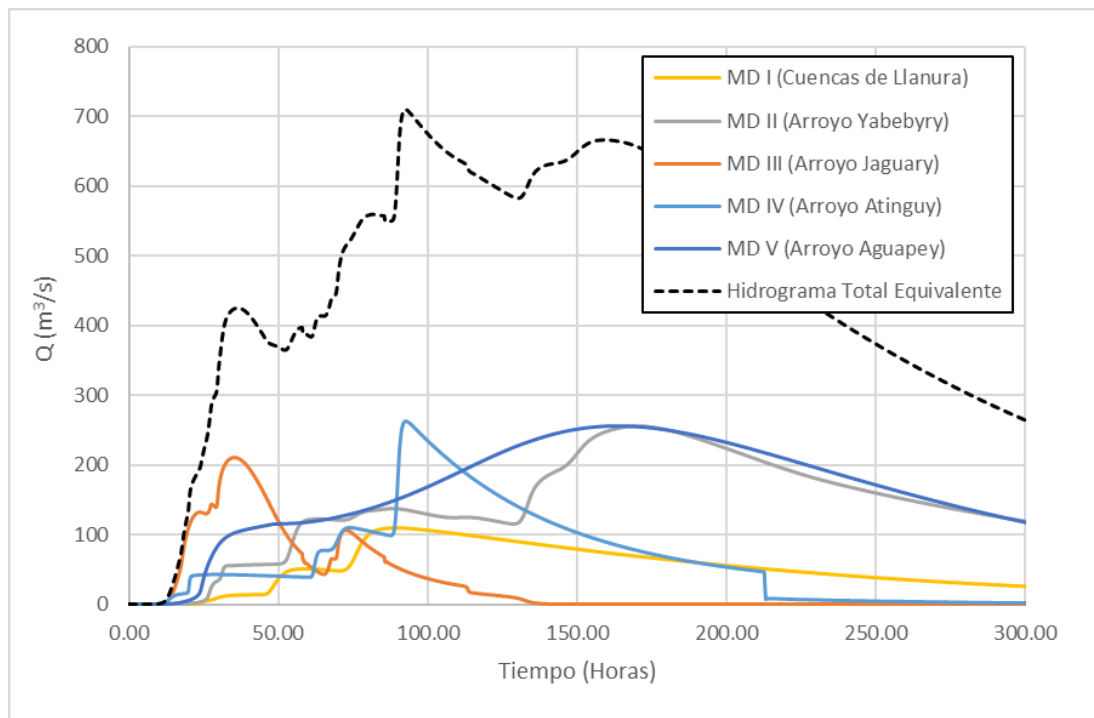
Teniendo en cuenta la ubicación espacial de las estaciones de precipitación utilizadas y los tiempos de concentración de las subcuencas de cada grupo de cuencas, las tormentas utilizadas para la simulación se resumen en la **Tabla 4.10**.

Tabla 4.10. Tormentas Sintéticas utilizadas para cada grupo de cuencas

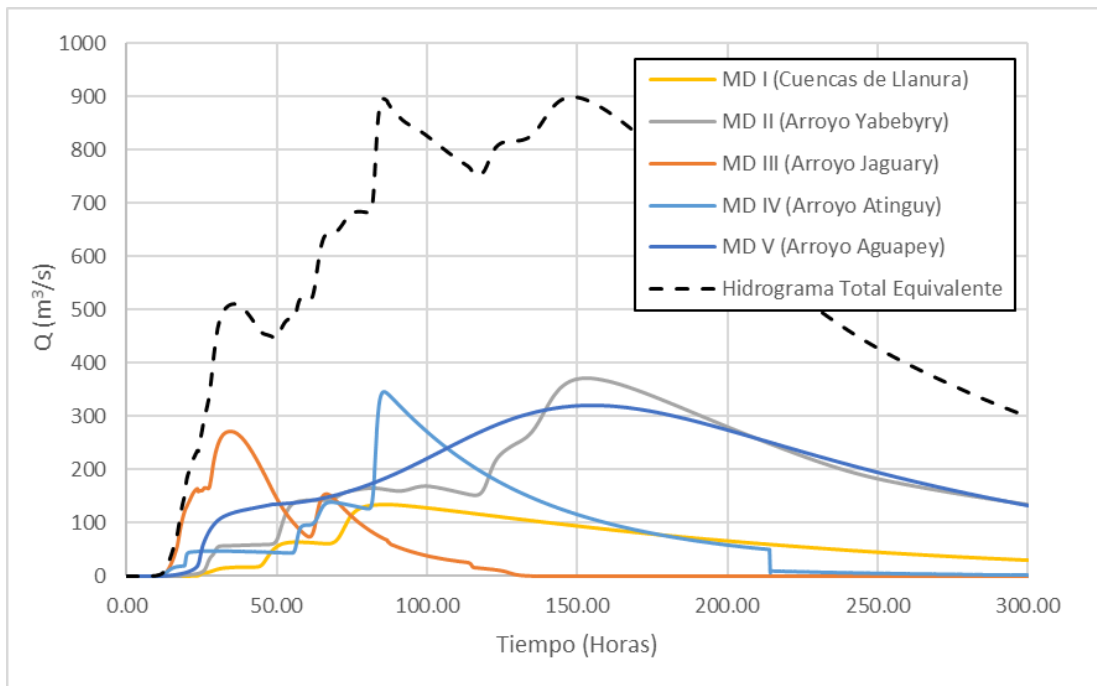
| GRUPO DE CUENCAS | Estación | Duración de Tormenta (hr) |
|---------------------------|-------------|---------------------------|
| MD I - Cuencas de Llanura | Pilar | 48 hrs |
| MD II - Arroyo Yabebyry | Encarnación | 48 hrs |
| MD III - Arroyo Jaguary | Encarnación | 24 hrs |
| MD IV - Arroyo Atinguy | Encarnación | 24 hrs |
| MD V - Aguapey | Encarnación | 48 hrs |

En la **Figura 4.17** se muestran los caudales máximos incrementales por cuenca al embalse Itatí-Itacorá, asociados a los periodos de retorno de 5, 10 y 50 años.

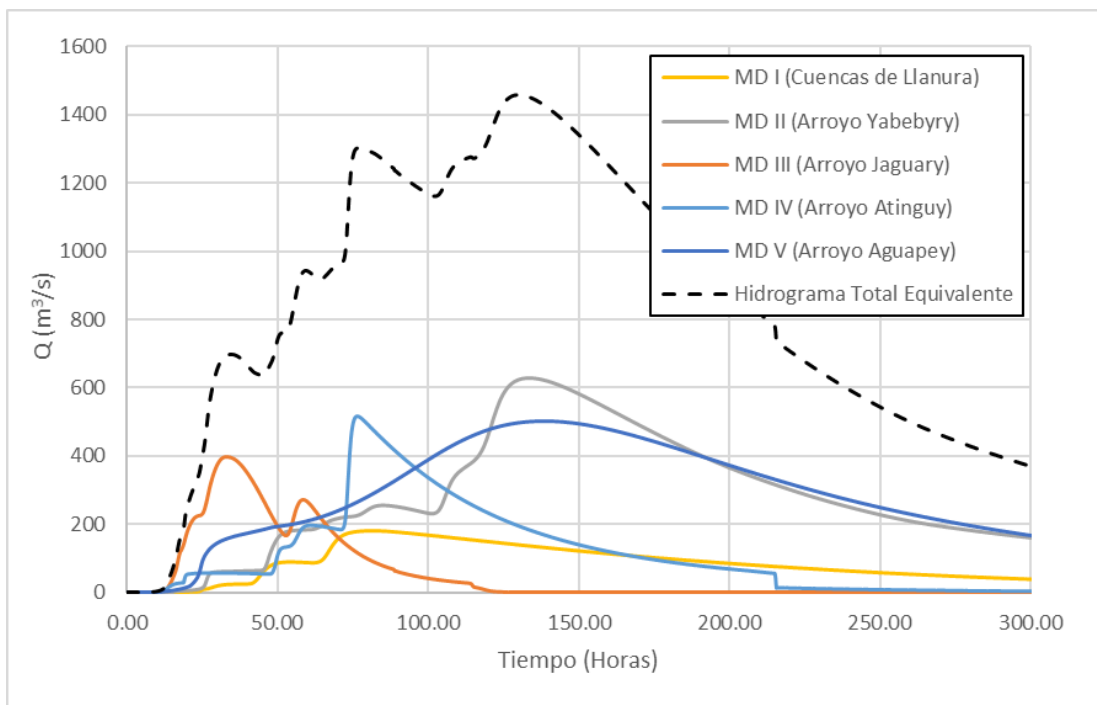
Por otro lado, a los fines del diseño de un canal a pie de presa para las Alternativas de cierre 1B y 2B (**Figura 4.18**) se obtuvieron los hidrogramas puntuales presentados en la **Figura 4.19**. En la **Tabla 4.11** se resumen los caudales máximos puntuales para el diseño del canal a pie de presa para cada alternativa de cierre.



a) TR = 5 años



b) TR = 10 años



c) TR = 50 años

Figura 4.17. Hidrogramas de las cuencas incrementales (MD) al embalse Itatí-Itacorá para distintos tiempos de recurrencia (TR).

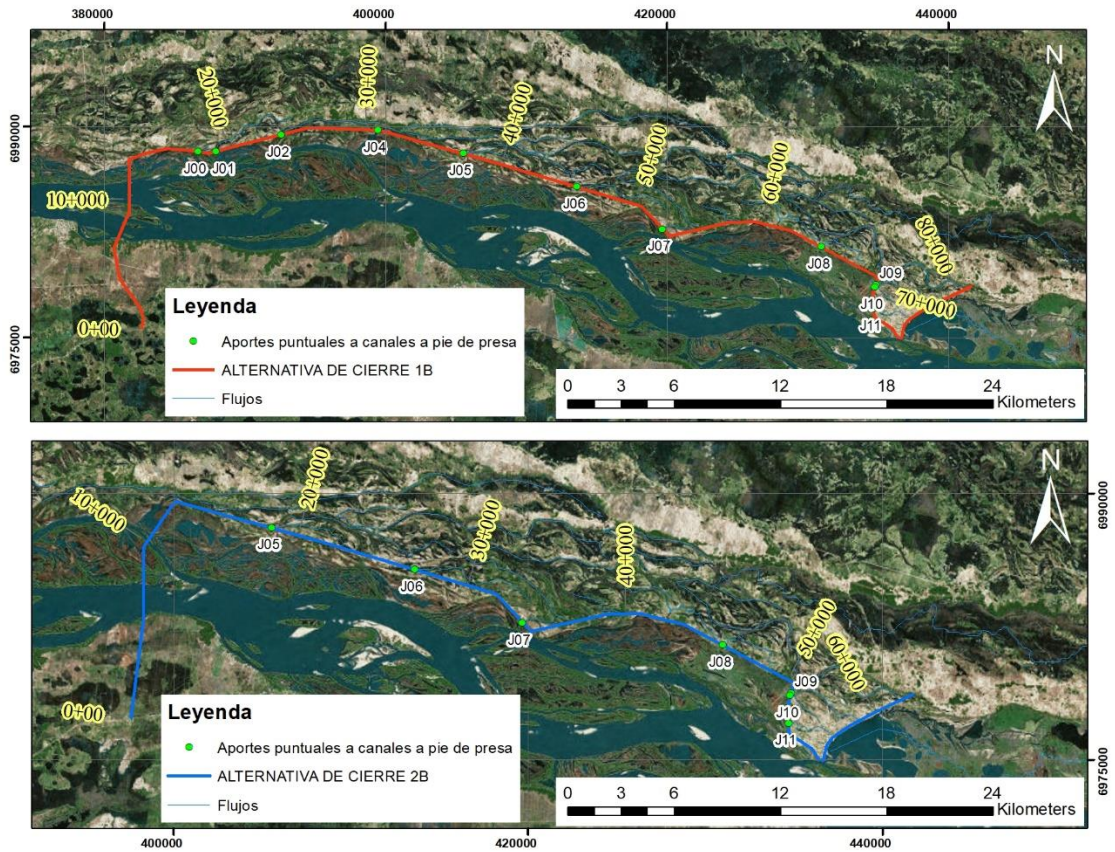
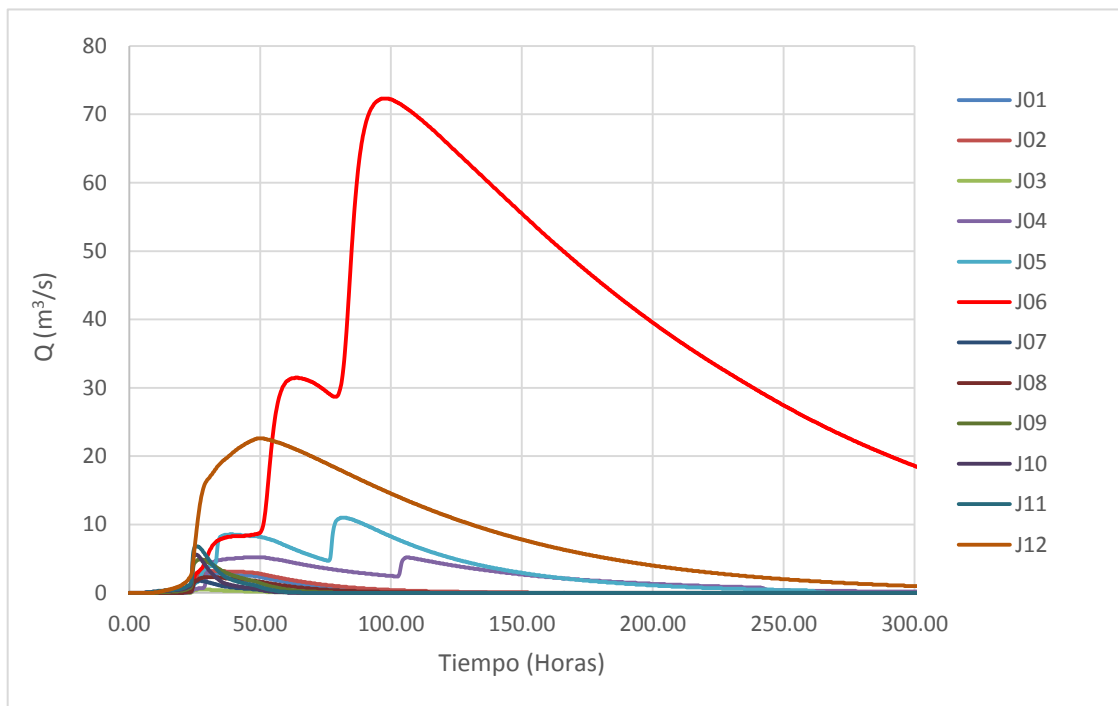
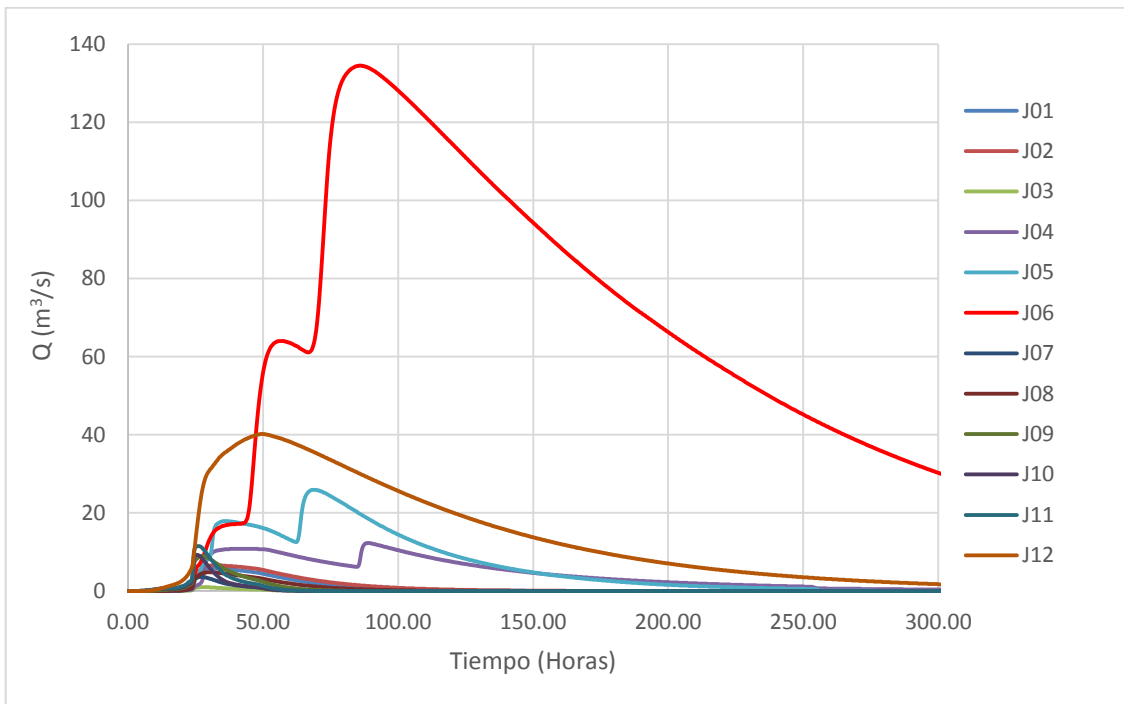


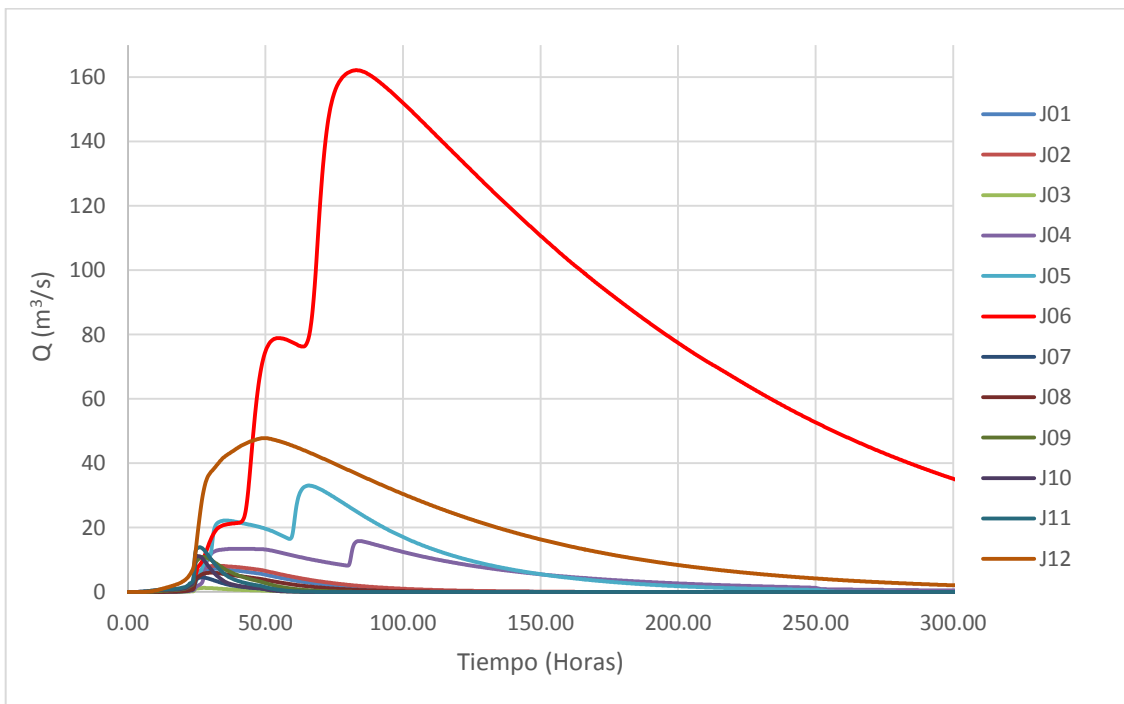
Figura 4.18. Aportes puntuales a canal de pie de presa para las Alternativas 1B y 2B



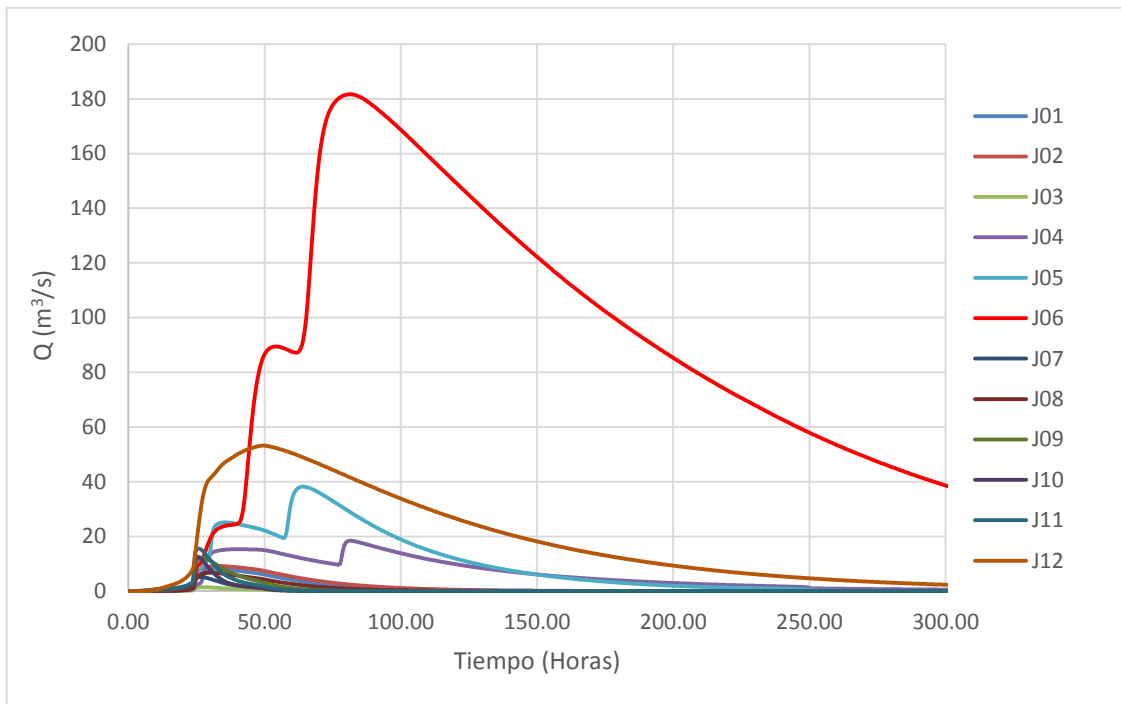
a) TR = 2 años



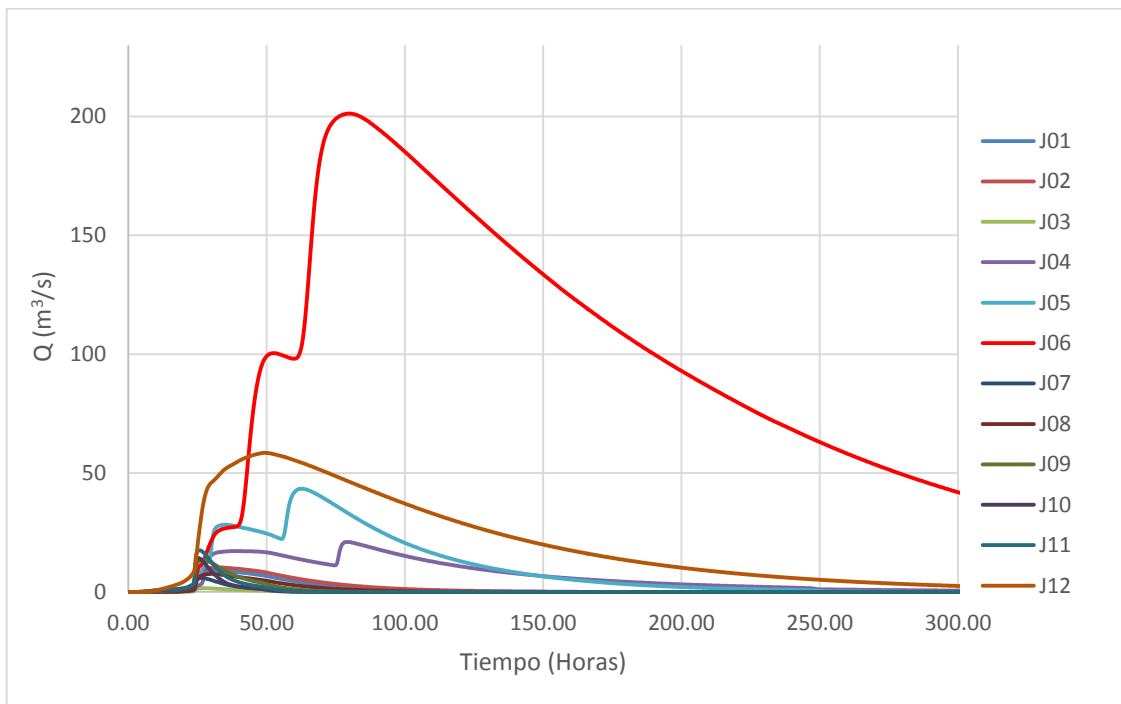
b) TR = 10 años



c) TR = 25 años



d) TR = 50 años



e) TR = 100 años

Figura 4.19. Hidrogramas de diseño para los canales a pie de presa para distintos tiempos de recurrencia (TR).

Tabla 4.11. Caudales de diseño para canal a pie de presa (Alternativa de cierre 1B y 2B)

| Nodo | Progresiva (Alternativa 1 B) | Progresiva (Alternativa 2 B) | Q pico (m ³ /s) | | | | |
|------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | TR02 | TR10 | TR25 | TR50 | TR100 |
| J00 | 17+836 | - | 0.50 | 1.00 | 1.30 | 1.40 | 1.60 |
| J01 | 19+143 | - | 2.80 | 5.90 | 7.20 | 8.20 | 9.20 |
| J02 | 23+921 | - | 3.20 | 6.60 | 8.20 | 9.20 | 10.30 |
| J04 | 30+897 | - | 5.20 | 12.30 | 15.80 | 18.40 | 21.00 |
| J05 | 37+174 | 18+463 | 11.00 | 25.90 | 33.10 | 38.20 | 43.40 |
| J06 | 45+609 | 26+898 | 72.30 | 134.50 | 162.20 | 181.70 | 201.20 |
| J07 | 52+598 | 33+886 | 1.80 | 3.60 | 4.60 | 5.10 | 5.90 |
| J08 | 64+574 | 45+863 | 2.30 | 4.80 | 6.00 | 6.70 | 7.60 |
| J09 | 69+705 | 50+994 | 4.90 | 9.00 | 10.90 | 12.10 | 13.60 |
| J10 | 69+863 | 51+152 | 5.60 | 9.30 | 11.20 | 12.60 | 14.30 |
| J11 | 71+432 | 52+722 | 6.80 | 11.50 | 13.90 | 15.50 | 17.50 |

5 CONCLUSIONES

Las siguientes son las principales conclusiones de esta fase de los estudios:

- Utilizando el modelo hidrodinámico unidimensional se determinaron las curvas clave para la sección Itatí y para las secciones de los dos cierres propuestos, en el rango de caudales desde 10.000 m³/s hasta 95.000 m³/s, con paso cada 5.000 m³/s.
- Utilizando la serie temporal de niveles registrados en la estación Itatí, convertida a serie de caudales mediante la curva clave, se obtuvieron los caudales pico asociados a distintos períodos de recurrencia.
- Utilizando la misma serie, se construyeron curvas de permanencia de los caudales diarios para distintas ventanas de tiempo: una completa y dos parciales cada vez más concentradas hacia el presente. La permanencia de caudales se ha venido incrementado para caudales inferiores a aproximadamente 15.000 m³/s, producto de la regulación en el río impuesta por la cadena de embalses brasileños y, en menor medida, por la de Yacyretá. Además, se observa una mayor permanencia para la ventana completa que para las ventanas parciales.
- Se utilizó el modelo hidrodinámico unidimensional para determinar relaciones caudal-nivel para distintas localidades ubicadas aguas abajo de Yacyretá afectadas por el embalse Itatí-Itacorá a cota 59 m y cota 61 m. La sobreelevación producida por el embalse es mayor cuanto más cercana es la población al eje de la presa, y cuanto más bajo es el caudal. Las alternativas de cierre 1A y 1B producen niveles de afectación algo superiores a los de las alternativas 2A y 2B, sobre todo para caudales altos.
- Se utilizó el modelo hidrodinámico bidimensional para construir perfiles longitudinales del nivel de agua para las condiciones naturales y la situación con presa para distintos caudales, entre 14.750 m³/s y 45.000 m³/s, a lo largo de los 3 brazos del río Paraná: brazo Principal, brazo San José Mí y brazo Aña Cuá. Los niveles en la restitución del Vertedero del Brazo Aña Cuá no se ven influenciados por los niveles de la presa de Itatí (no hay efectos de remanso).
- Se utilizó el modelo bidimensional para completar el cálculo del efecto de Itatí-Itacorá sobre la restitución de la Central de Yacyretá, para niveles de embalse entre 59.0 m y 61.0 m, cada 0.5 m.
- Se utilizó el modelo hidrodinámico unidimensional para determinar los perfiles longitudinales asociados a la CMP correspondiente a las distintas alternativas de cierre, considerando la situación de laminación y de no laminación del embalse de Itatí-Itacorá.

- Se realizó una estimación de la distribución lateral de velocidades y caudales específicos en las secciones de ambas alternativas de cierre, utilizando un modelo unidimensional de distribución lateral.
- Se utilizó el modelo de olas para completar la predicción de la agitación para las diferentes alternativas de cierre del embalse. Específicamente, se obtuvieron los valores máximos de altura de ola $H_{1/10}$ y su respectivo período de pico T_p para cada tramo del cierre (Tramo Norte-Sur y Tramo Este Oeste) y para las márgenes derecha e izquierda del embalse. Si bien las alturas de ola máximas no difieren sustancialmente entre las cuatro configuraciones de cierre analizadas, los valores correspondientes a la alternativa 1B serían los más elevados.
- Se dispuso de registros de vientos de la Torre de Medición Eólica de San Cosme. De su análisis surge que existe una compatibilidad razonable entre estos y los de la estación Posadas, utilizados en el estudio.
- Se utilizó el modelo de olas para cuantificar la agitación que se produciría en el embalse de Itatí-Itacorá bajo la acción del temporal ocurrido el 25 de abril de 2017, para las distintas alternativas de cierre. Resultó una permanencia de olas de al menos 5 horas con alturas significativas superiores a 1.0 m. La máxima altura de ola esperable sobre el cierre del embalse corresponde a la alternativa 1B, con $H_{1/10} = 1.77$ m y período de pico de $T_p = 4.05$ s.
- Evaluaciones de erosión costera en el embalses de Itaipú debido a la acción del oleaje indican tasas entre un máximo de 2,33 m/año y un mínimo de 0,51 m/año, valores que resultan compatibles con los estimados para el embalse de Itatí-Itacorá mediante la aplicación del método de Elci & Work, presentados en el Primer Informe Parcial. Además, esta metodología aplicada al propio embalse de Itaipú provee tasas compatibles con las observadas.
- Los aportes hidrológicos principales de escurrimiento al embalse de Itati – Itacorá por la margen derecha son el Arroyo Aguapey (zona MD V), el Arroyo Atinguy (zona MD IV), el Arroyo Jaguarú (zona MD III) y el Arroyo Yabebyry (zona MD II). Adicionalmente, en el sector oeste se desarrollan varias cuencas de llanura de menor superficie (las cuales se han agrupado como zona MD I).
- A partir de las series temporales de precipitación diaria en las estaciones de Encarnación y Pilar, se determinaron valores de intensidad de precipitación para distintos períodos de retorno asociados a tormentas de 24 y 48 horas de duración, las cuales fueron utilizadas para determinar hidrogramas de aporte de las distintas cuencas, de acuerdo a sus tiempos de concentración.
- Análogamente, se obtuvieron hidrogramas a pie de presa para las alternativas de cierre 1B y 2B. Los caudales pico son parámetros de diseño para el canal a pie de presa.

REFERENCIAS

Banco Mundial & MAG-Paraguay. (1995). Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra. Asunción, Paraguay: Banco Mundial & Ministerio de Agricultura y Ganadería de Paraguay.

Cuevas, L., Rolón, Á. (2010). Actualización de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de Precipitación en el Paraguay. Asunción: Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción.

DNIT (2005). Manual de Hidrología Básica para Estructuras de Drenaje. Brasil: Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte (DNIT).

Elci, S., Work, P.A., (2003). Prediction of Reservoir Shoreline Erosion. Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference. University of Georgia, Athens, Georgia.

INA (2015). Estudio de Impacto de Fallas de Yacyretá para El PAE (Plan de Acción ante Emergencias), Etapa II, Segundo Informe Parcial. Proyecto LHA 353, Informe LHA 02-353-15, Ezeiza, Abril.

ITAIPU (2017). Levantamiento Batimétrico Río Paraná. Tramo Yacyretá – Paso de la Patria. Itaipú.

Tucci, C. (1993). Hidrología - Ciencia y Aplicación. Porto Alegre, Brasil: UFRGS/ABRH.

USDA - NRCS. (2009). National Engineering Handbook (Chapter 7: Hydrologic Soil Group). Washington D.C.: United States Department of Agriculture (USDA).

Weber, J.F., Menéndez, A.N., Tarrab, L. (2005). Distribución Lateral de Velocidades en Cauces Naturales, Ingeniería del Agua, Vol. 12, Nº 3, Setiembre, 277-289.

ANEXO: MODELOS CONCEPTUALES Y PARÁMETROS UTILIZADOS EN HEC-HMS

En las siguientes figuras las subcuencas se representan con la letra S seguida del número de subcuenca. Una línea fina indica dónde la subcuenca se conecta directamente, y una línea gruesa azul indica los tramos de ríos a través de los cuales se simula el proceso de tránsito. Este proceso de tránsito es particularmente importante en esta zona, donde se tienen extensas planicies y humedales asociados a los cauces, en los cuales se produce un significativo efecto de laminación.

a) MD I – Cuencas de Llanura

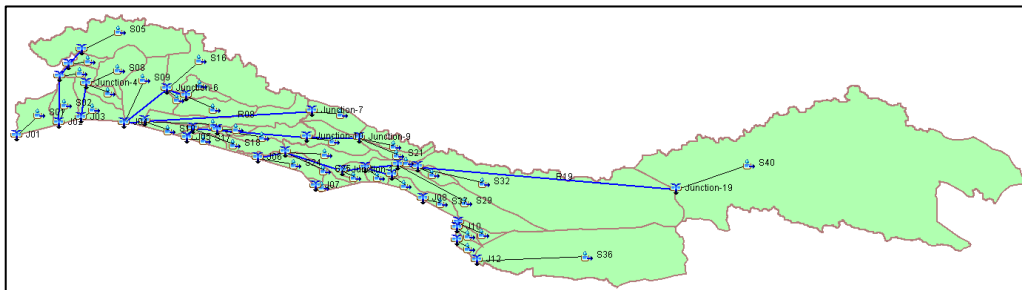


Figura 0.1. Esquema de Modelación MD I (Cuenca de Llanura).

Tabla 0.1. Parámetros utilizados en Cuenca MD I.

| Cuenca | Subcuenca | Área (km ²) | CN | L (m) | Pendiente (%) | K | Tc (hr) | Tlag (min) |
|--------------|-----------|-------------------------|----|-------|---------------|-----|---------|------------|
| MD I - Oeste | 01 | 13.02 | 80 | 6552 | 0.075 | 2.0 | 11.7 | 421 |
| MD I - Oeste | 02 | 11.76 | 80 | 6964 | 0.098 | 2.0 | 10.3 | 372 |
| MD I - Oeste | 03 | 4.59 | 79 | 4276 | 0.041 | 2.0 | 10.0 | 361 |
| MD I - Oeste | 04 | 3.95 | 71 | 3512 | 0.126 | 2.0 | 5.9 | 211 |
| MD I - Oeste | 05 | 49.28 | 82 | 12271 | 0.029 | 3.8 | 15.2 | 548 |
| MD I - Oeste | 06 | 12.83 | 75 | 5615 | 0.120 | 2.0 | 9.4 | 338 |
| MD I - Oeste | 07 | 5.05 | 76 | 3420 | 0.055 | 2.0 | 8.8 | 316 |
| MD I - Oeste | 08 | 15.80 | 69 | 6020 | 0.048 | 2.0 | 14.6 | 525 |
| MD I - Oeste | 09 | 27.86 | 69 | 11594 | 0.038 | 2.0 | 21.6 | 777 |
| MD I - Oeste | 10 | 5.17 | 80 | 6738 | 0.091 | 2.0 | 8.3 | 297 |

| Cuenca | Subcuenca | Área (km ²) | CN | L (m) | Pendiente (%) | K | Tc (hr) | Tlag (min) |
|--------------|-----------|-------------------------|----|-------|---------------|-----|---------|------------|
| MD I - Oeste | 11 | 23.68 | 75 | 19043 | 0.019 | 2.0 | 30.0 | 1081 |
| MD I - Oeste | 12 | 12.46 | 75 | 5572 | 0.080 | 2.0 | 10.9 | 392 |
| MD I - Oeste | 13 | 1.42 | 74 | 2357 | 0.134 | 2.0 | 3.9 | 140 |
| MD I - Oeste | 14 | 14.14 | 75 | 7867 | 0.040 | 2.0 | 16.0 | 577 |
| MD I - Oeste | 15 | 7.08 | 65 | 4959 | 0.111 | 2.0 | 7.8 | 281 |
| MD I - Oeste | 16 | 49.27 | 66 | 16418 | 0.020 | 2.1 | 34.7 | 1248 |
| MD I - Oeste | 17 | 4.47 | 80 | 4966 | 0.060 | 2.0 | 8.8 | 316 |
| MD I - Oeste | 18 | 10.90 | 80 | 10967 | 0.036 | 2.0 | 16.6 | 597 |
| MD I - Oeste | 19 | 12.25 | 76 | 10448 | 0.034 | 2.0 | 17.2 | 621 |
| MD I - Oeste | 20 | 13.48 | 77 | 7378 | 0.071 | 2.0 | 12.4 | 447 |
| MD I - Oeste | 21 | 6.24 | 78 | 6672 | 0.055 | 2.0 | 10.6 | 383 |
| MD I - Oeste | 22 | 9.34 | 71 | 6295 | 0.094 | 2.0 | 9.6 | 345 |
| MD I - Oeste | 23 | 3.27 | 80 | 4178 | 0.254 | 2.0 | 4.3 | 156 |
| MD I - Oeste | 24 | 9.39 | 80 | 7535 | 0.124 | 2.0 | 8.9 | 321 |
| MD I - Oeste | 25 | 5.21 | 80 | 7156 | 0.081 | 2.0 | 8.8 | 316 |
| MD I - Oeste | 26 | 15.44 | 80 | 11479 | 0.024 | 2.0 | 21.7 | 783 |
| MD I - Oeste | 27 | 4.73 | 80 | 3308 | 0.207 | 2.0 | 5.0 | 181 |
| MD I - Oeste | 28 | 3.80 | 80 | 4788 | 0.082 | 2.0 | 7.3 | 264 |
| MD I - Oeste | 29 | 30.47 | 77 | 18435 | 0.010 | 2.0 | 40.9 | 1471 |
| MD I - Oeste | 30 | 1.65 | 80 | 2224 | 0.085 | 2.0 | 4.8 | 174 |
| MD I - Oeste | 31 | 4.47 | 75 | 4150 | 0.112 | 2.0 | 6.6 | 238 |
| MD I - Oeste | 32 | 126.46 | 82 | 37199 | 0.014 | 3.5 | 36.7 | 1320 |
| MD I - Oeste | 33 | 4.14 | 89 | 4829 | 0.115 | 3.9 | 3.4 | 122 |
| MD I - Oeste | 34 | 2.28 | 95 | 2276 | 0.167 | 5.0 | 1.6 | 59 |
| MD I - Oeste | 35 | 3.41 | 94 | 3167 | 0.149 | 5.0 | 2.1 | 74 |
| MD I - Oeste | 36 | 106.73 | 90 | 27579 | 0.012 | 4.4 | 27.8 | 1002 |
| MD I - Oeste | 37 | 4.72 | 80 | 4647 | 0.115 | 2.0 | 6.8 | 245 |
| MD I - Oeste | 38 | 1.68 | 80 | 2092 | 0.349 | 2.0 | 2.7 | 98 |

| Cuenca | Subcuenca | Área (km ²) | CN | L (m) | Pendiente (%) | K | Tc (hr) | Tlag (min) |
|--------------|-----------|-------------------------|----|-------|---------------|-----|---------|------------|
| MD I - Oeste | 39 | 7.58 | 80 | 3455 | 0.096 | 2.0 | 7.9 | 286 |
| MD I - Oeste | 40 | 372.70 | 92 | 48005 | 0.018 | 3.8 | 44.1 | 1587 |

b) MD II – Arroyo Yabebyry

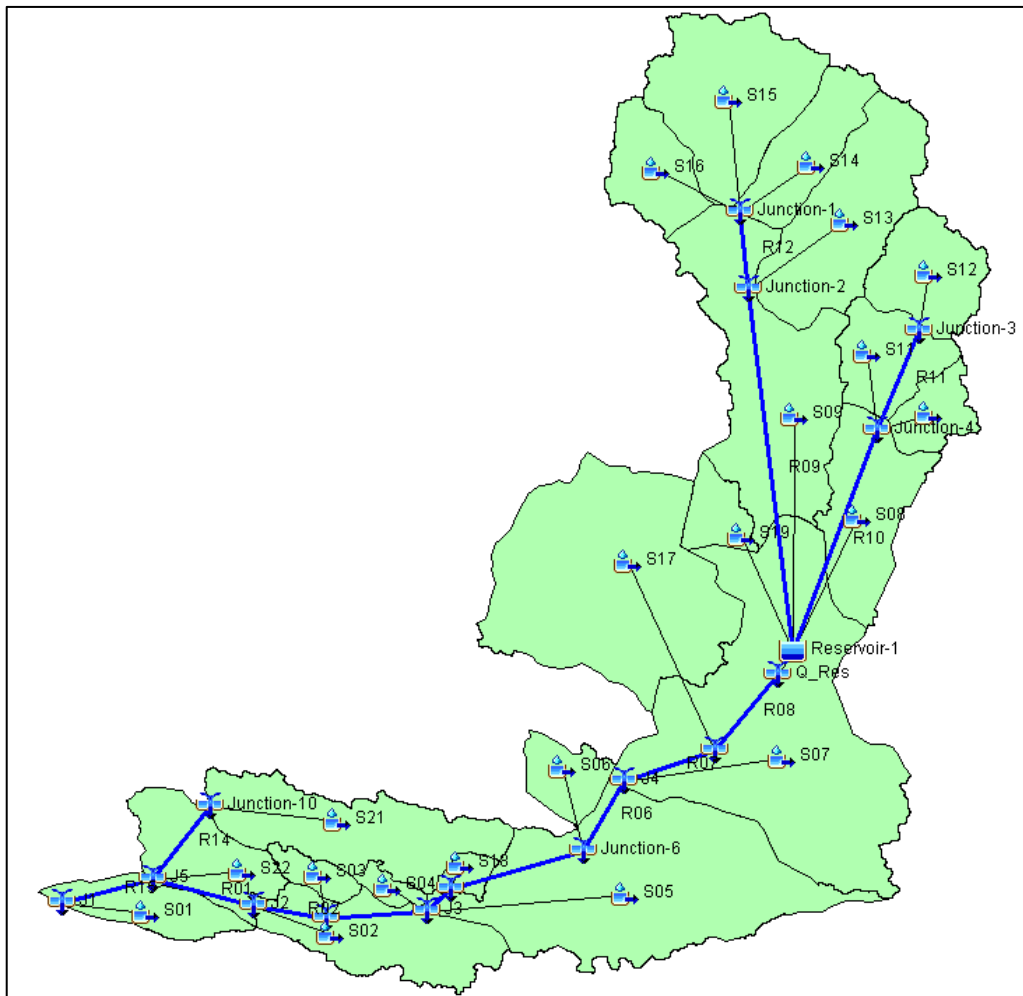


Figura 0.2. Esquema de Modelación MD II (Arroyo Yabebyry).

Tabla 0.2. Parámetros utilizados en Cuenca MD II – Arroyo Yabebyry.

| Cuenca | Subcuenca | Área (km ²) | CN | L (m) | Pendiente (%) | K | Tc (hr) | Tlag (min) |
|------------------|-----------|-------------------------|----|-------|---------------|-----|---------|------------|
| MD II - Yabebyry | 01 | 36.76 | 80 | 12245 | 0.010 | 2.2 | 37.2 | 1338 |
| MD II - Yabebyry | 02 | 73.76 | 76 | 19252 | 0.039 | 2.1 | 30.2 | 1087 |
| MD II - Yabebyry | 03 | 12.98 | 64 | 6134 | 0.076 | 2.0 | 11.5 | 413 |
| MD II - Yabebyry | 04 | 8.19 | 73 | 5774 | 0.032 | 2.7 | 10.2 | 369 |
| MD II - Yabebyry | 05 | 207.19 | 85 | 43328 | 0.022 | 3.4 | 37.6 | 1355 |
| MD II - Yabebyry | 06 | 25.83 | 90 | 7787 | 0.019 | 3.7 | 14.0 | 505 |
| MD II - Yabebyry | 07 | 272.73 | 79 | 34063 | 0.026 | 3.5 | 35.0 | 1261 |
| MD II - Yabebyry | 08 | 71.82 | 83 | 10989 | 0.094 | 3.4 | 11.7 | 421 |
| MD II - Yabebyry | 09 | 148.69 | 89 | 30655 | 0.066 | 3.5 | 19.6 | 707 |
| MD II - Yabebyry | 10 | 24.49 | 86 | 6827 | 0.607 | 3.2 | 3.8 | 137 |
| MD II - Yabebyry | 11 | 44.21 | 87 | 9079 | 0.358 | 3.3 | 5.8 | 210 |
| MD II - Yabebyry | 12 | 51.51 | 86 | 7641 | 0.391 | 3.2 | 5.8 | 211 |
| MD II - Yabebyry | 13 | 100.12 | 86 | 18932 | 0.305 | 3.2 | 9.6 | 344 |
| MD II - Yabebyry | 14 | 48.42 | 85 | 14058 | 0.335 | 3.2 | 7.1 | 254 |
| MD II - Yabebyry | 15 | 104.23 | 87 | 15815 | 0.277 | 3.6 | 8.6 | 309 |
| MD II - Yabebyry | 16 | 42.24 | 88 | 12187 | 0.336 | 4.0 | 5.2 | 186 |
| MD II - Yabebyry | 17 | 206.24 | 91 | 21472 | 0.006 | 4.0 | 46.8 | 1686 |
| MD II - Yabebyry | 18 | 8.72 | 74 | 6425 | 0.015 | 2.7 | 14.6 | 525 |
| MD II - Yabebyry | 19 | 21.68 | 85 | 7089 | 0.023 | 3.5 | 12.9 | 463 |
| MD II - Yabebyry | 21 | 92.08 | 89 | 25094 | 0.029 | 3.6 | 22.2 | 801 |
| MD II - Yabebyry | 22 | 54.88 | 86 | 10533 | 0.045 | 3.7 | 13.1 | 471 |

c) MD III y IV – Arroyo Jaguary y Atinguy

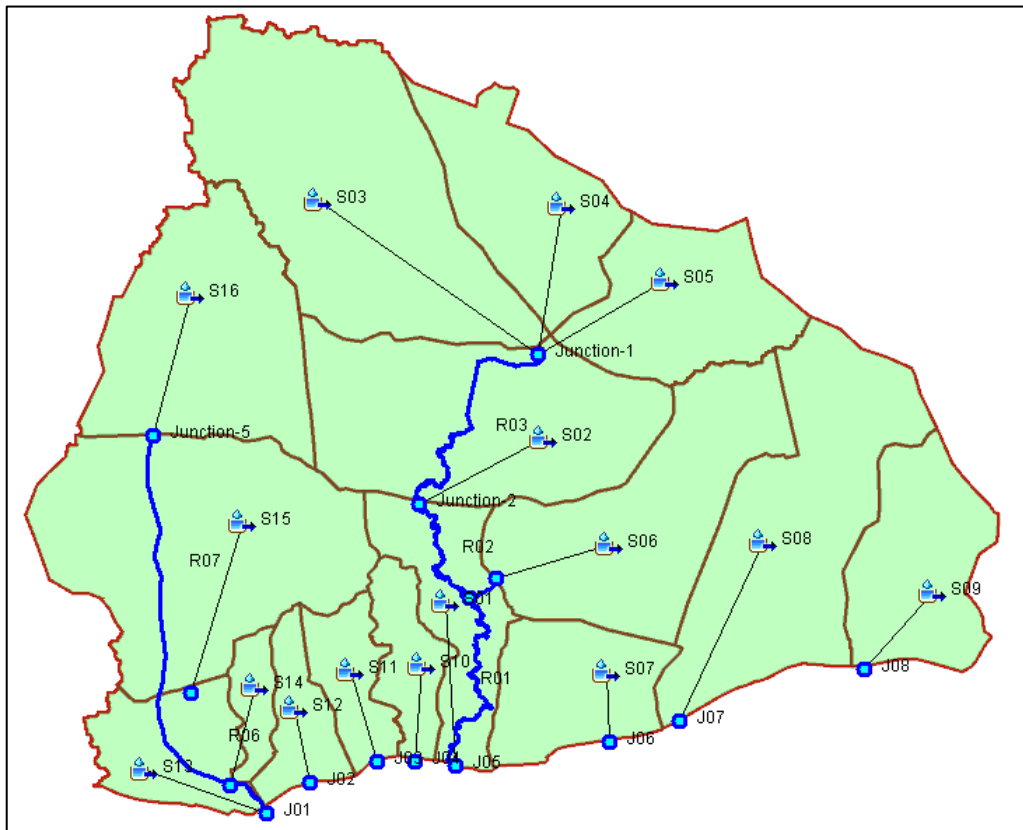


Figura 0.3. Esquema de Modelación MD III y IV (Arroyo Jaguary y Atinguy).

Tabla 0.3. Parámetros utilizados en Cuenca MD III y IV – Arroyo Jaguary y Atinguy.

| Cuenca | Subcuenca | Área (km ²) | CN | L (m) | Pendiente (%) | K | Tc (hr) | Tlag (min) |
|-------------|-----------|-------------------------|----|-------|---------------|-----|---------|------------|
| MD III y IV | 01 | 64.14 | 88 | 32218 | 0.033 | 2.9 | 25.0 | 901 |
| MD III y IV | 02 | 161.27 | 90 | 19239 | 0.039 | 3.2 | 25.1 | 904 |
| MD III y IV | 03 | 210.22 | 87 | 28922 | 0.138 | 3.2 | 17.6 | 632 |
| MD III y IV | 04 | 85.86 | 86 | 17324 | 0.176 | 3.1 | 11.7 | 420 |
| MD III y IV | 05 | 84.19 | 88 | 12161 | 0.143 | 3.3 | 11.0 | 397 |
| MD III y IV | 06 | 133.56 | 89 | 22056 | 0.101 | 3.0 | 17.7 | 636 |
| MD III y IV | 07 | 63.16 | 89 | 9106 | 0.014 | 2.9 | 27.0 | 972 |
| MD III y IV | 08 | 159.89 | 88 | 28000 | 0.087 | 3.2 | 19.6 | 706 |
| MD III y IV | 09 | 80.79 | 88 | 11874 | 0.254 | 3.4 | 8.2 | 294 |
| MD III y IV | 10 | 31.77 | 88 | 10319 | 0.039 | 2.8 | 15.3 | 551 |

| Cuenca | Subcuenca | Área (km ²) | CN | L (m) | Pendiente (%) | K | Tc (hr) | Tlag (min) |
|-------------|-----------|-------------------------|----|-------|---------------|-----|---------|------------|
| MD III y IV | 11 | 31.69 | 87 | 8063 | 0.030 | 2.8 | 16.2 | 582 |
| MD III y IV | 12 | 29.90 | 86 | 9779 | 0.020 | 3.0 | 18.4 | 663 |
| MD III y IV | 13 | 50.81 | 91 | 11292 | 0.014 | 3.6 | 21.4 | 771 |
| MD III y IV | 14 | 16.98 | 88 | 8035 | 0.014 | 3.9 | 13.4 | 482 |
| MD III y IV | 15 | 192.96 | 85 | 14537 | 0.012 | 3.9 | 32.5 | 1170 |
| MD III y IV | 16 | 132.23 | 87 | 17069 | 0.241 | 3.2 | 11.2 | 405 |

d) MD V – Arroyo Aguapey

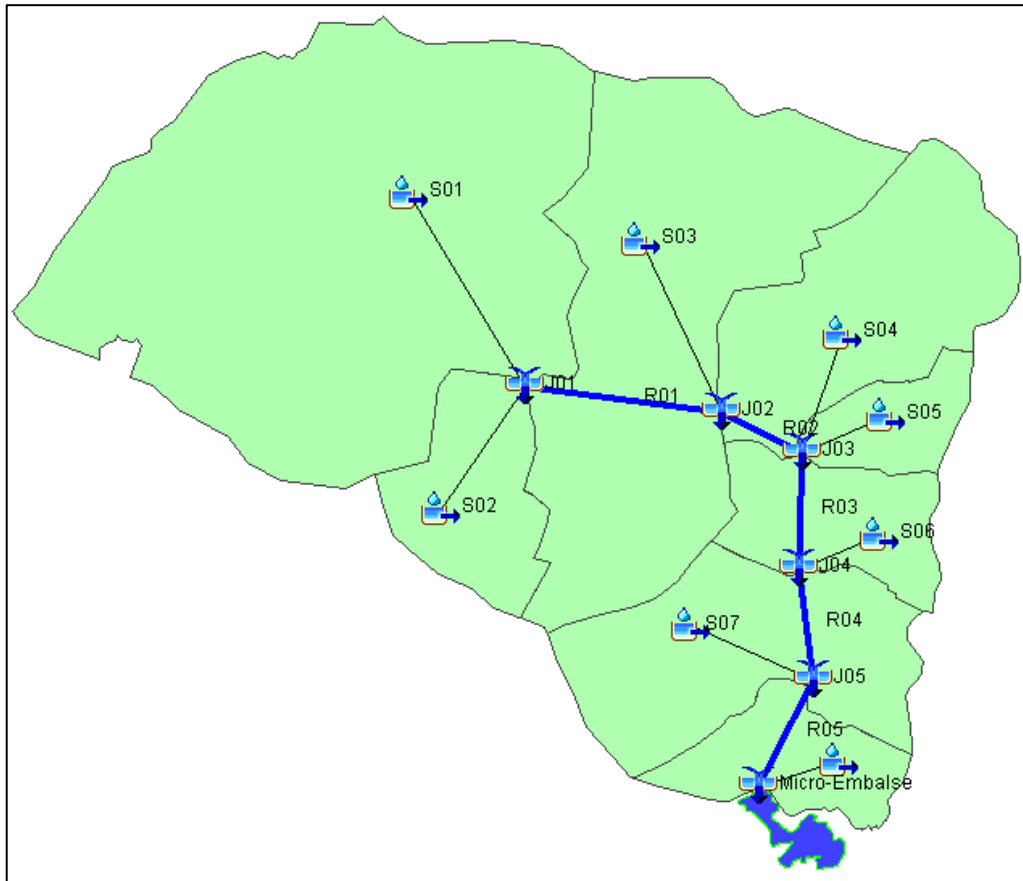


Figura 0.4. Esquema de Modelación MD V (Arroyo Aguapey).

Tabla 0.4. Parámetros utilizados en Cuenca MD V – Arroyo Aguapey.

| Cuenca | Subcuenca | Área (km ²) | CN | L (m) | Pendiente (%) | K | Tc (hr) | Tlag (min) |
|----------------|-----------|-------------------------|----|-------|---------------|-----|---------|------------|
| MD V - Aguapey | 01 | 532.93 | 76 | 36119 | 0.103 | 3.0 | 29.5 | 1060 |
| MD V - Aguapey | 02 | 80.03 | 79 | 16430 | 0.104 | 3.4 | 12.7 | 457 |
| MD V - Aguapey | 03 | 318.40 | 76 | 21653 | 0.056 | 3.1 | 28.2 | 1016 |
| MD V - Aguapey | 04 | 153.29 | 79 | 33494 | 0.070 | 3.4 | 20.7 | 745 |
| MD V - Aguapey | 05 | 39.96 | 81 | 11850 | 0.264 | 3.5 | 6.4 | 231 |
| MD V - Aguapey | 06 | 71.25 | 78 | 13431 | 0.354 | 3.3 | 7.4 | 266 |
| MD V - Aguapey | 07 | 154.53 | 81 | 19749 | 0.150 | 3.5 | 13.3 | 478 |
| MD V - Aguapey | 08 | 60.91 | 76 | 10753 | 0.325 | 3.1 | 7.3 | 264 |