

Acciones complementarias del Plan Hídrico Integral de Tabasco

(CONTRATO SGIH-GDTT-SGOPR-UNAM-II-2012-01)

Informe Final

Director Ejecutivo

Fernando J. González Villarreal*

Coordinador General

Juan Javier Carrillo Sosa**

Subtema: ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

Juan Javier Carrillo Sosa**

Ramón Domínguez Mora *

Adrián Pedrozo Acuña *

Gabriela Gutiérrez Aviña ****

Jorge Eduardo Velázquez Suárez ***

**Elaborado para:
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**

* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM

** Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM

*** Becario, Instituto de Ingeniería, UNAM

**** Consultor externo

2012



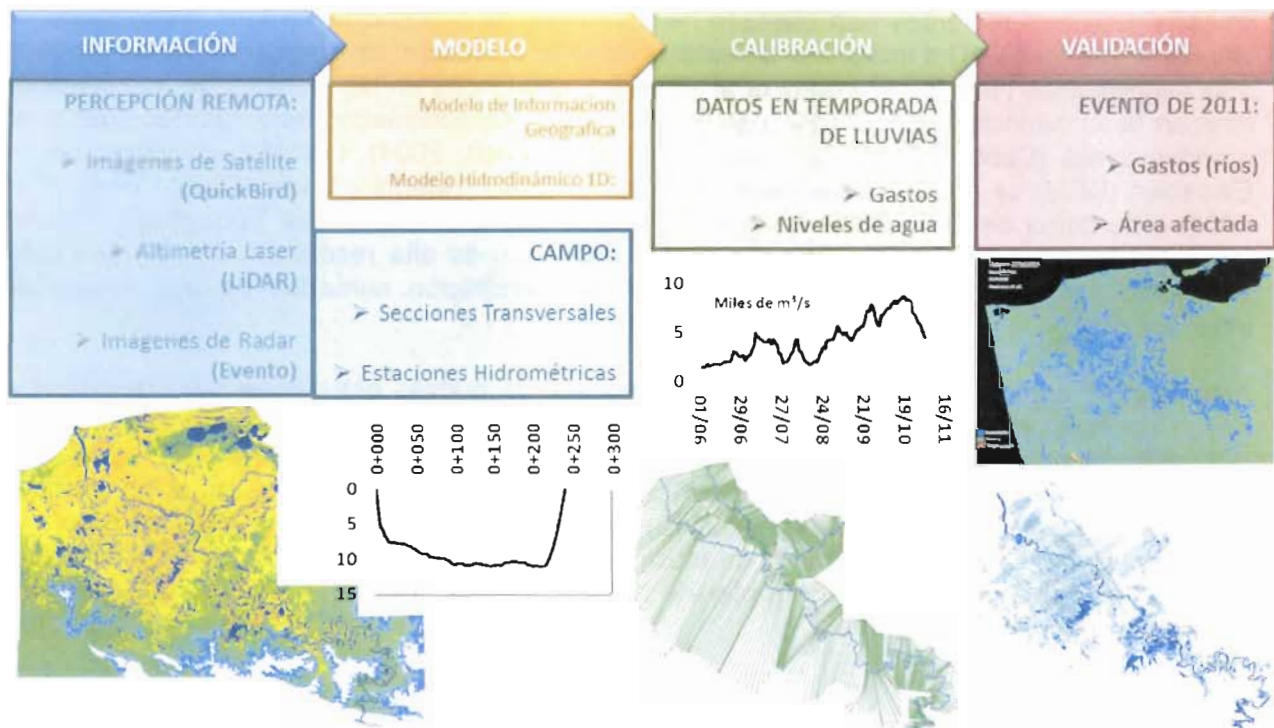
ALCANCES

Establecer la factibilidad de reducir el nivel de inundación en la zona de estudio con base en análisis hidráulicos realizados con un modelo matemático de todo este sistema drenar en forma más eficiente el sistema a través del río Grijalva, San Pedro, Palizada, Tulijá o Macuspana y evaluar la magnitud y características generales de las obras requeridas para ello.

METODOLOGÍA

La metodología empleada está compuesta por mediciones de precipitación en campo, un modelo hidrológico para la estimación de escorrentía, elevación topográfica a partir de una nube de puntos LiDAR (INEGI, 2008) y un modelo numérico unidimensional desarrollado por el Ejército de los Estados Unidos de América (HEC-RAS). La figura siguiente presenta un esquema de la metodología utilizada en este estudio, así como los materiales y modelos implementados para su éxito. Dentro de los materiales utilizados se encuentran: imágenes de satélite, datos de altimetría láser, imágenes de radar del evento de 2011, secciones transversales a lo largo de los ríos, datos de caudales y precipitación.

Tal y como se reporta, el modelo numérico una vez construido, pasa por un proceso de calibración y validación antes de ser utilizado para explorar alternativas de alivio dentro del sistema.



Esquema de la metodología utilizada en este estudio.

En esta etapa el estudio prevé la generación de manchas de inundación a fin de identificar las potenciales áreas de afectación, con particular énfasis en las localidades aledañas. Así mismo, se prueban algunas alternativas de reducción de zona inundable por medio de la simulación numérica de dragado de los ríos en la zona.

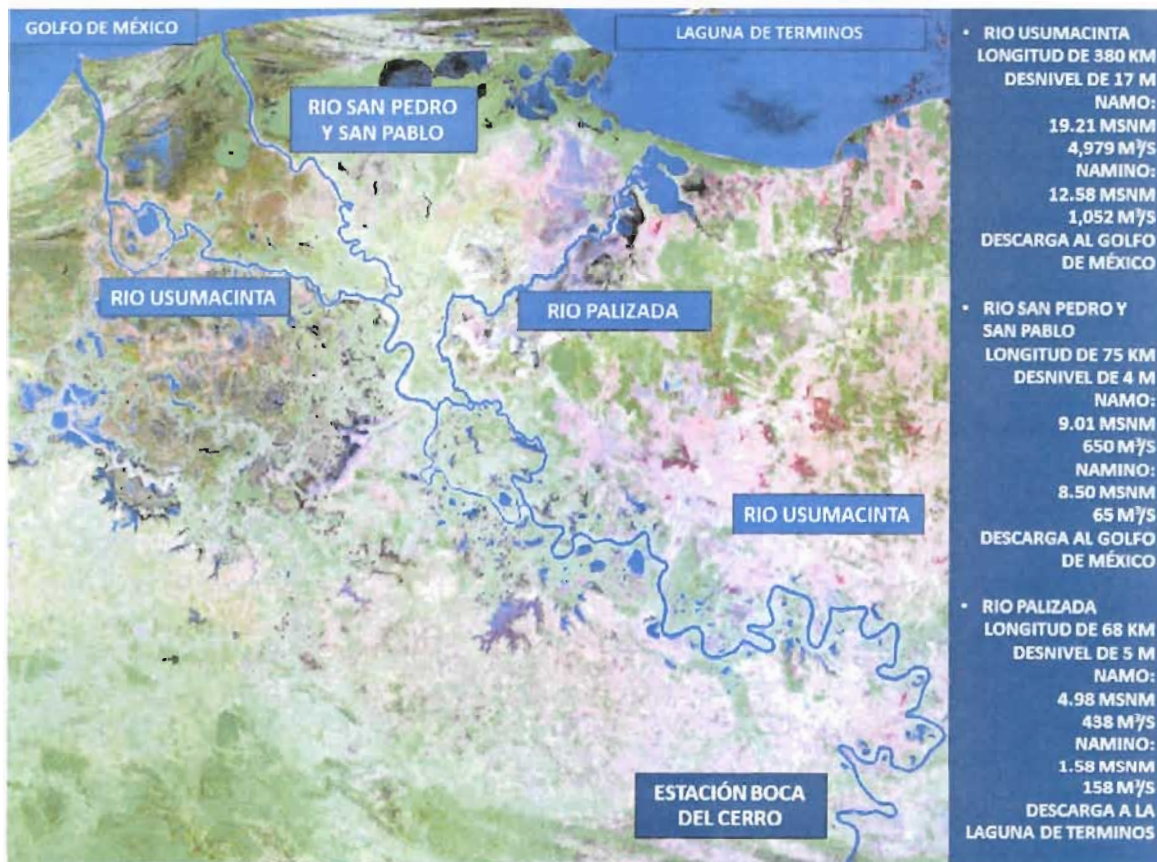
VF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

ZONA DE ESTUDIO

La figura siguiente presenta la ubicación de la zona de estudio y el dominio que será estudiado en este capítulo. En ella se aprecia la dimensión del problema en cuestión. La conformación litológica de los márgenes de los ríos y de los suelos de la región, la sinuosidad de los cauces, con abundantes meandros y las grandes descargas de sedimentos y materiales de las cuencas altas hacen de la planicie un área fácilmente erosionable y sujeta a las grandes inundaciones que se dan periódicamente en la llanura costera.

Actualmente, se presentan problemas críticos de inundaciones en 10,531 ha de la planicie costera, especialmente en la zona central de Tabasco y en las llanuras del Usumacinta, cuyas consecuencias catastróficas se ven magnificadas por el crecimiento desordenado y sin ninguna planeación de cientos de comunidades rurales y por el crecimiento explosivo de las periferias urbanas en zonas de alto riesgo.



El sistema hidráulico que se analiza en este trabajo se integra por el río Usumacinta (desde aguas arriba en Boca de Cerro y hasta su descarga al Golfo de México), además de a sus afluentes y derivaciones caracterizados por los ríos Palizada y San Pedro y San Pablo. De tal manera que se puedan además analizar los escenarios de alivio hacia estos dos cauces los cuales descargan hacia el Golfo de México y la Laguna de Términos.

a PREPARACIÓN DE ARCHIVOS DE DATOS

a.1 La zona de de los ríos

La zona de los ríos se ubica dentro de la región hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta; está integrada por los municipios Tenosique, Balancán, Emiliano Zapata, Jonuta y Centla, lugares por donde transita uno de los ríos más caudalosos de la república mexicana: el Usumacinta.



a.2 Recorrido de campo –Zona de los ríos

De forma introductoria, y para contextualizar los trabajos de campo realizados, se puede mencionar que la batimetría es el equivalente a realizar levantamientos altimétricos bajo el agua. El nombre proviene del griego βάθος, profundo, y μέτρον, medida. Dicho de otra forma, la batimetría es el estudio de las profundidades bajo el agua, de la tercera dimensión de los fondos lacustres o marinos. Un mapa o carta batimétricos normalmente muestra el relieve del fondo o terreno como curvas de nivel y puede también dar información adicional de navegación en superficie.¹

La ecosonda utiliza la propagación de ultrasonidos, produciendo un medio de reflexión con diversas superficies, usando un transductor ultrasónico (sonda).

¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Batimetr%C3%ADa>

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

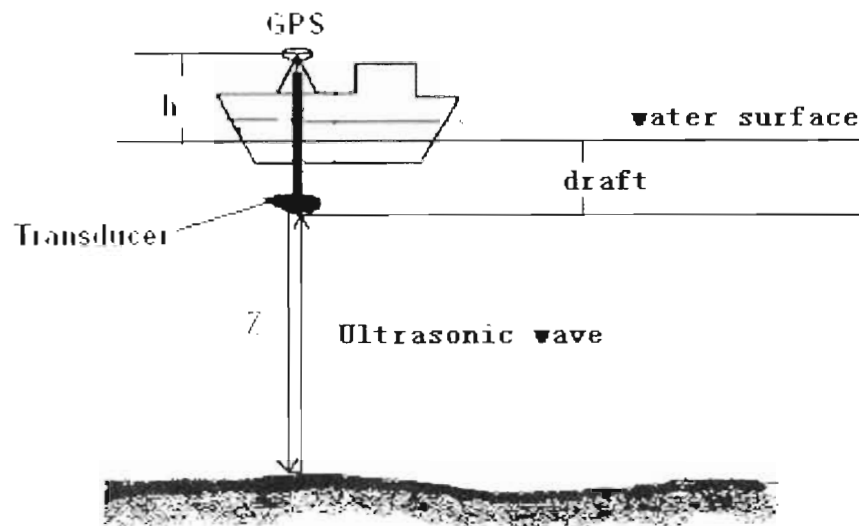


Figura 1. Esquema general del funcionamiento de la ecosonda utilizada en los trabajos de campo realizados en este estudio

Durante las mediciones, las medidas de diferentes profundidades de agua deben adoptar diferentes frecuencias. La profundidad y la frecuencia se relacionan conforme a la siguiente tabla:

Tabla 1. Rango de frecuencias contra rango de profundidades. Stonex (2004)

Dep Range [G] Rec St	Auto Change	Auto Change frequency
Auto Change	15m	14 Hz
✓ Less than 15m	30m	14 Hz
Less than 30m	60m	7 Hz
Less than 60m	120m	2 Hz
Less than 120m	240m	2 Hz
Less than 240m	300m	2 Hz
Less than 300m		

Para el caso de los trabajos realizados en este estudio, se utilizó un rango de profundidades menor de 15 metros (14Hz) para los ríos en la planicie y menor a 60 metros (7 Hz), para las mediciones en Boca del Cerro.

De forma resumida, la ecosonda utilizada es un tipo de ecosonda industrial con control digital que tiene integrada una pantalla LCD, unidad de ecosonda, procesador de datos, memoria interna y distintos tipos de conexiones para dispositivos de entrada y salida.

Ahora bien, esta visita tuvo como objetivo realizar levantamientos topográficos y batimétricos por los ríos Grijalva, Chilapa, hormiguero, Macuspana, Salto de Agua Tepetitán, Chilapilla, Bitzal y Usumacinta. En las fotografías siguientes se muestra el equipo utilizado.

Para conocer la elevación de la superficie libre del agua se realizó un geoposicionamiento con un GP diferencial, como se muestra en la figura siguiente:



Figura 2. GPS diferencial utilizado en los levantamientos topográficos

El objetivo principal de la utilización del GPS diferencial mostrado en la figura anterior fue conocer la elevación (Z) de la superficie libre del agua al momento en el que se realizaron las mediciones batimétricas.

Por otro lado, la ventaja de contar con una tarjeta de memoria acoplada a la central de recepción de datos de la ecosonda, permitió guardar una gran cantidad de lecturas con facilidad.

A continuación se describe, con ayuda de fotografías, la logística para las mediciones batimétricas realizadas en esta visita de campo.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA



Figura 3. Registros realizados durante los levantamientos batimétricos

Dentro de los principales aspectos a tomar en cuenta durante la instalación de la ecosonda se puede mencionar la localización del transductor y GPS, así como la localización en la lancha. En algunos casos, fue necesario utilizar tirantes para fijar en buena forma el transductor y el GPS, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 4. Ecosonda Stonex para el levantamiento batimétrico

Para verificar y calibrar las lecturas de la ecosonda, en varios casos se realizaron mediciones manuales de la profundidad del río con ayuda de un estadal, como se muestra en la figura siguiente:



Figura 5. Verificación manual de la profundidad en los ríos con ayuda de un estadal.

A continuación se muestran los registros de la ecosonda para las secciones transversales levantadas en distintos sitios. Cabe mencionar, que al inicio de cada batimetría fue necesario medir el calado, que en este caso, no es más que la profundidad a la que se encuentra sumergido el transductor con el fin de realizar el ajuste a las mediciones al lecho del río.

En la figura siguiente se muestran los trabajos realizados en la colonia los ídolos, en la margen izquierda del río Grijalva. Para este caso fue necesario fijar el transductor con tensores. Además de guardar los datos en la unidad central de la ecosonda, se llevó un registro manual de fotografías y puntos GPS (Garmin) para anotar referencias o detalles particulares de las mediciones y del sitio

A handwritten signature in black ink, consisting of the letters 'V' and 'F' written in a stylized, cursive manner.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA



Figura 6. Levantamientos batimétricos en la colonia Los Ídolos, en la margen izquierda del río Grijalva

En la figura siguiente se muestra la logística preparada para registrar las mediciones con la ecosonda y el registro fotográfico.



Figura 7. Levantamientos batimétricos en el río hormiguero

Los levantamientos con GPS diferencial se realizaron en lugares estratégicos, donde no se tenía ninguna referencia y no se efectuaban lecturas de escala en las proximidades. En total se levantaron 10 puntos GPS con este enfoque



Figura 8. Colocación de GPS diferencial en la margen izquierda del río Chilapa



Figura 9. Lectura de la lámina del agua en la margen derecha del río Usumacinta

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.



Figura 10. Levantamiento batimétrico en Frontera, muy cerca de la desembocadura del río Grijalva al Golfo de México



Figura 11. Levantamientos batimétricos por el río San Pedro y San Pablo



Figura 12. Levantamientos batimétricos por el río Bitzal



Figura 13. Lecturas de la ecosonda por el río Chilapa

Handwritten signature or initials in black ink, possibly 'VAF'.



Figura 14. Levantamientos batimétricos en Macuspana



Figura 15. Levantamientos batimétricos y lectura del calado en el río Puxcatán



Figura 16. Levantamientos batimétricos en el río Tepetitán

VF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.



Figura 17. Levantamientos batimétricos en Boca del Cerro



Figura 18. Remolinos en Boca del Cerro que dificultó las mediciones batimétricas principalmente para seguir una trayectoria uniforme



Figura 19. Levantamientos en Tenosique, por el río Usumacinta

VJF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA



Figura 20. Fotografía del geoposicionador de la ecosonda durante los levantamientos batimétricos realizados en el municipio de Jonuta, por el río Usumacinta



Figura 21. Levantamientos batimétricos en Chablé

Las lecturas de la ecosonda para cada sitio de medición se muestran en las figuras siguientes. La profundidad está representada en metros con un calado de 0.50 cm aprox.

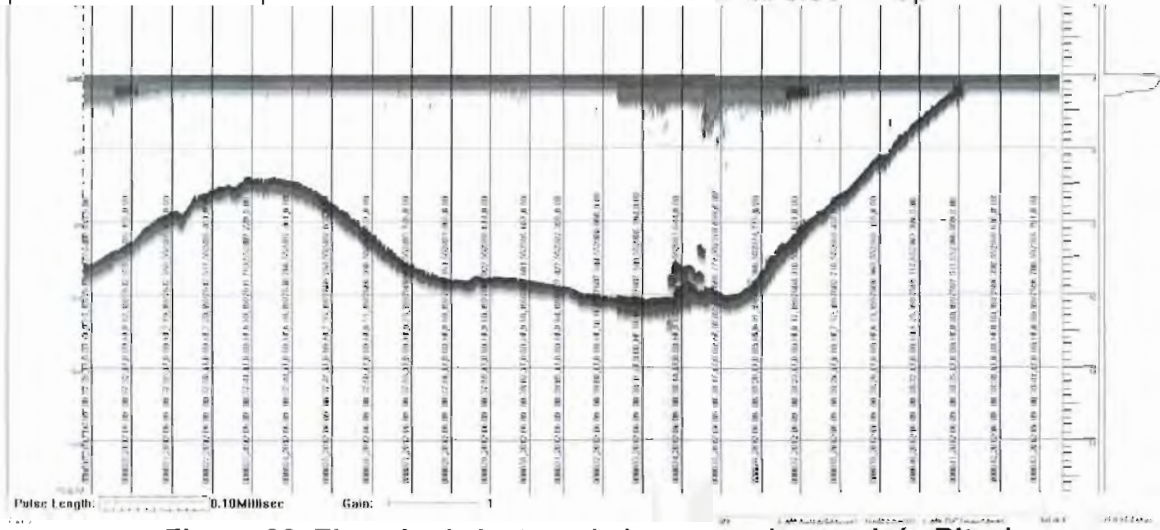


Figura 22. Ejemplo de lectura de la ecosonda por el río Bitzal.

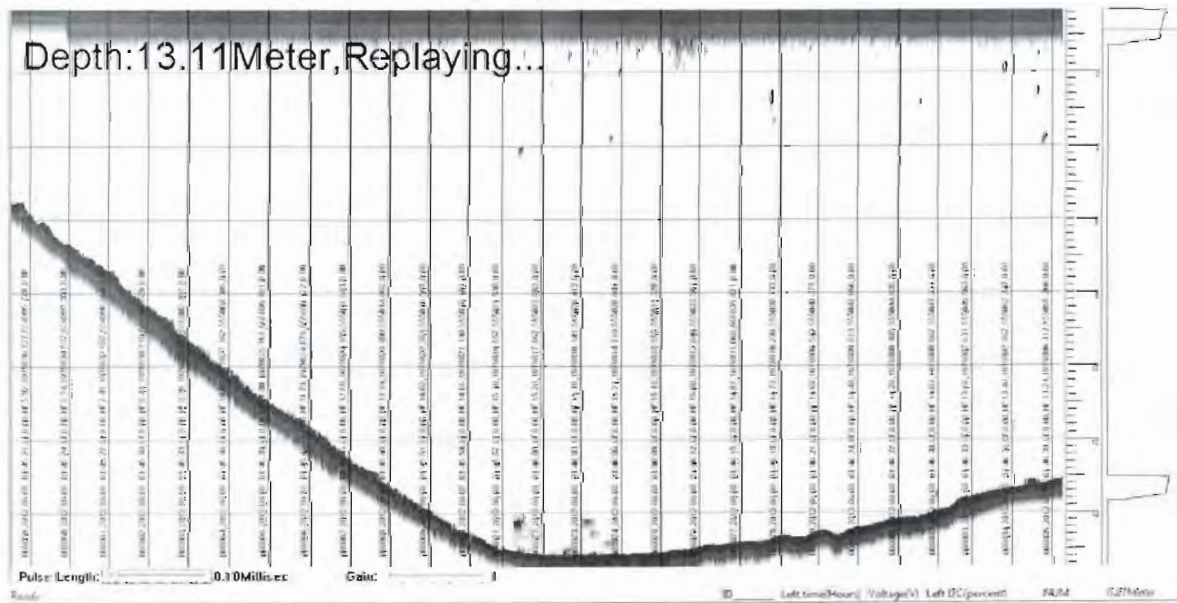


Figura 23. Ejemplo de lectura de la ecosonda en el río Chilapa

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

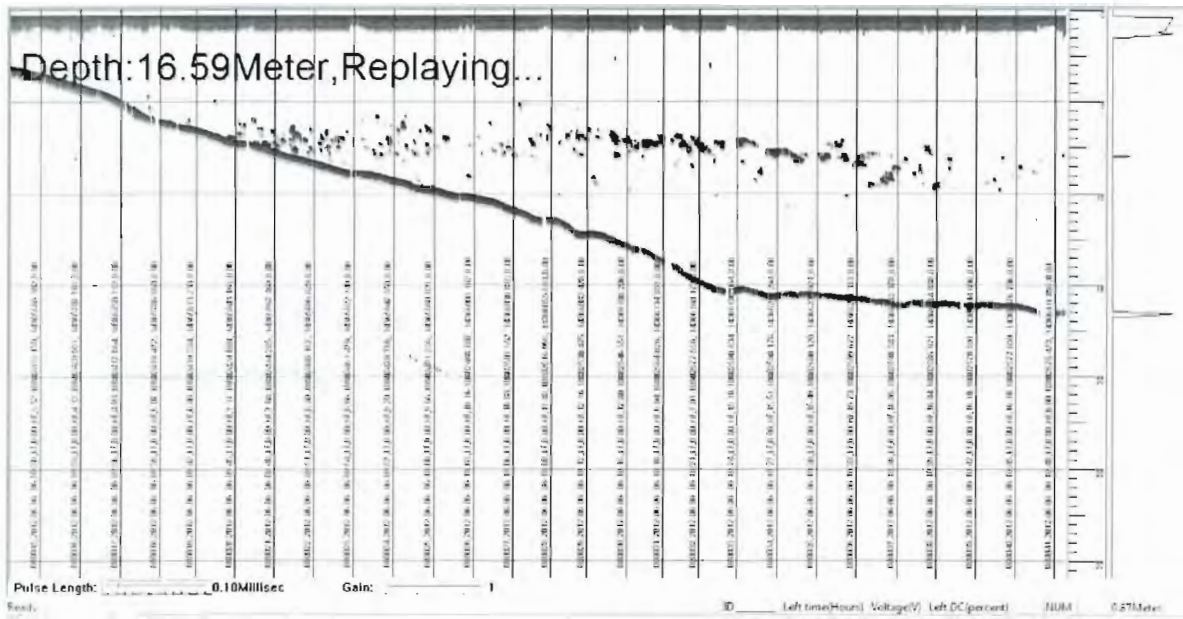


Figura 24. Ejemplo de lectura de la ecosonda en la zona tres brazos

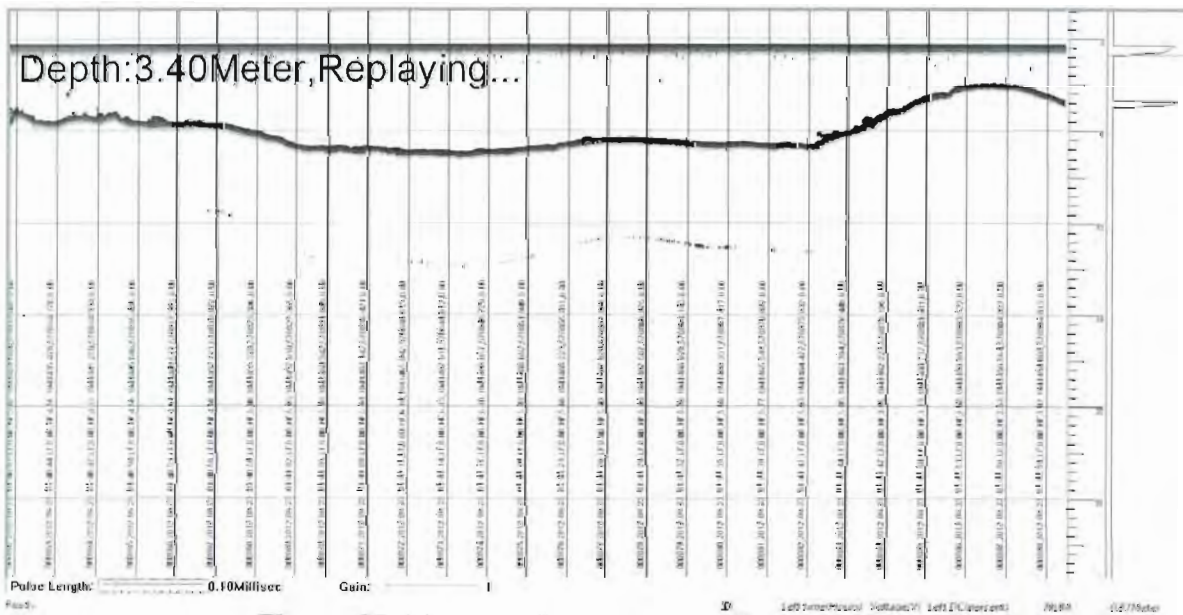


Figura 25. Ejemplo de lecturas en Salto de Agua

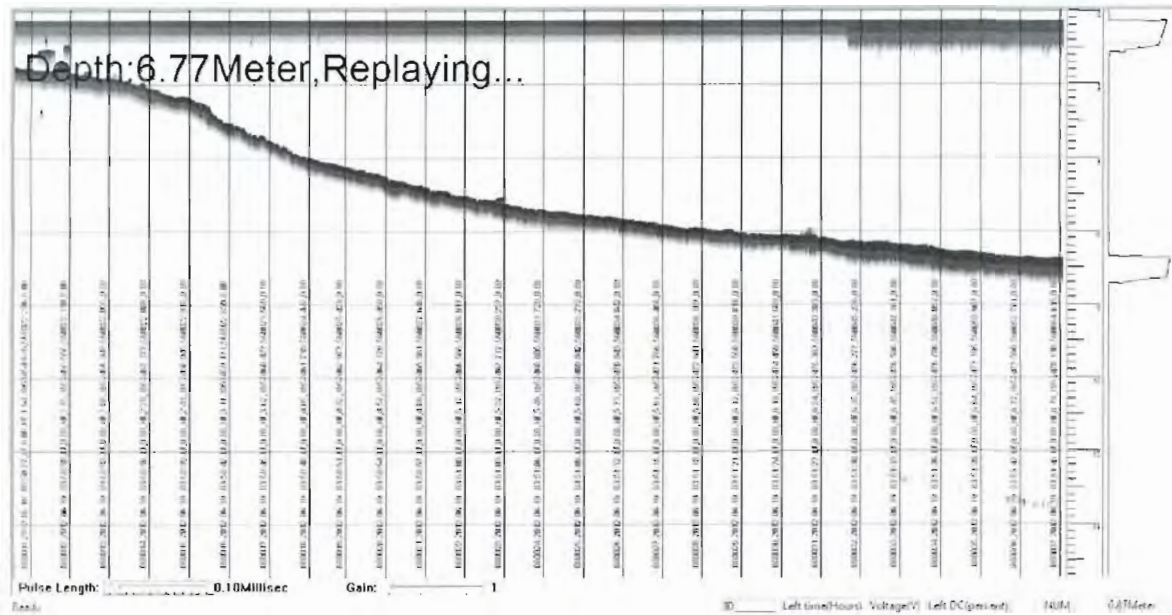


Figura 26. Ejemplos de registro de la ecosonda en Puxcatán

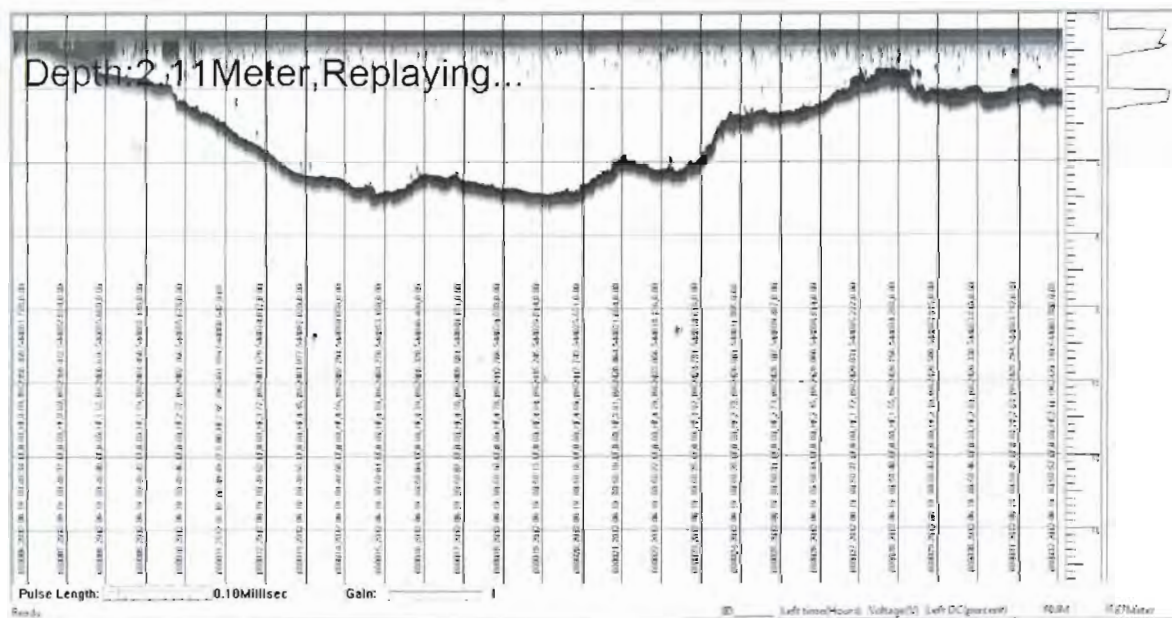


Figura 27. Ejemplo de registro de la ecosonda en Macuspana

VF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA, (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

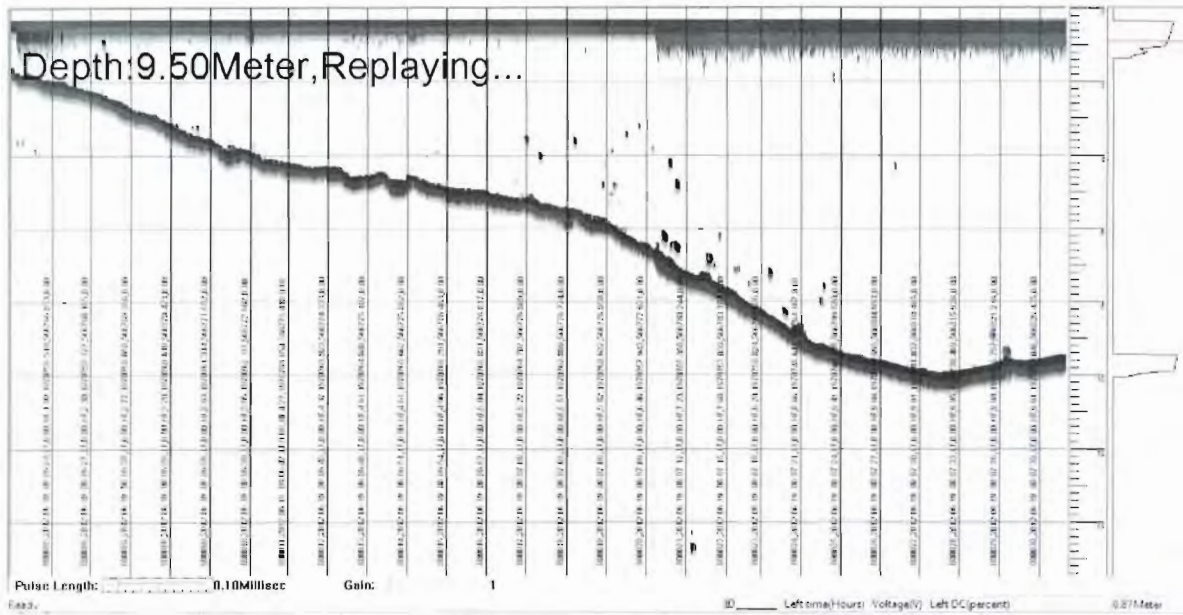


Figura 28. Ejemplo de registros de la ecosonda en Tepetitán

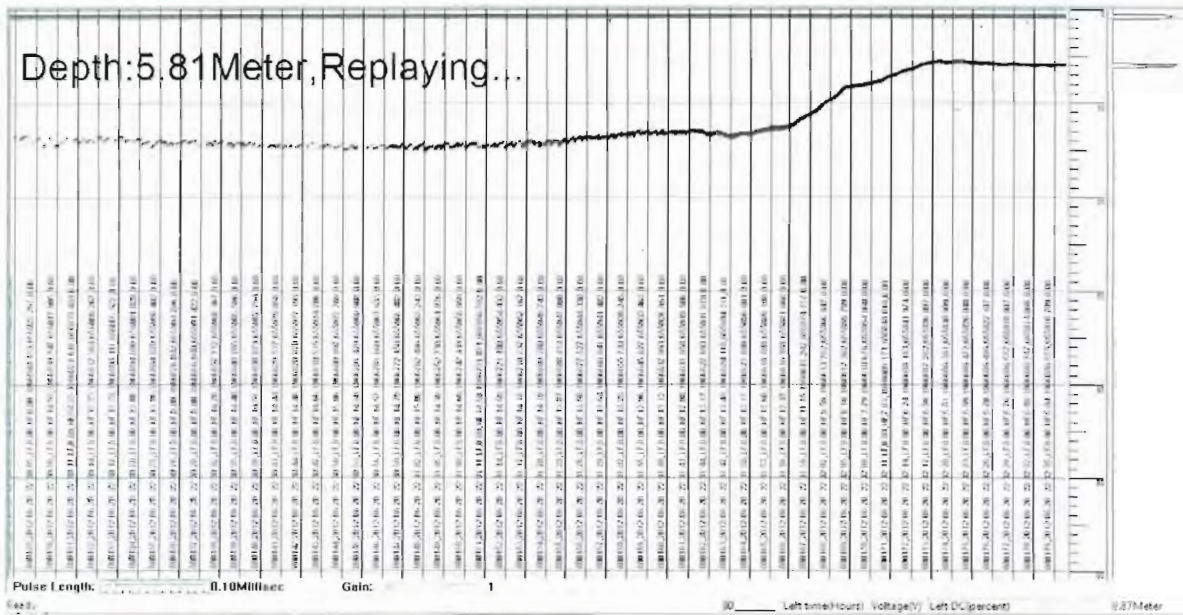


Figura 29. Ejemplo de registros de la ecosonda en Balancán

JF

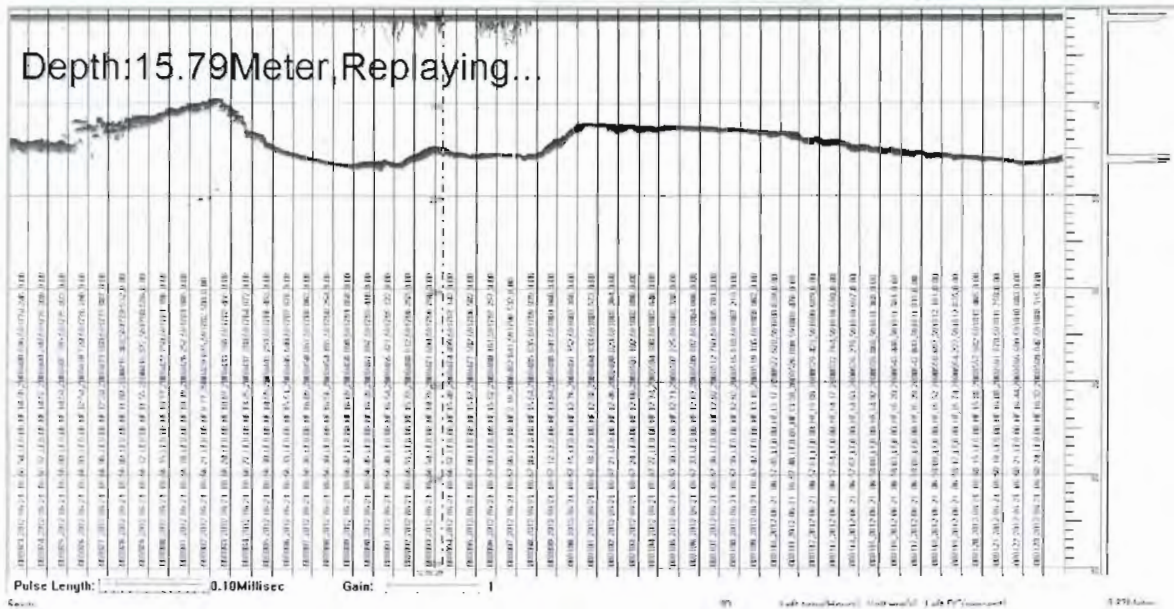


Figura 30. Ejemplo de mediciones de la ecosonda en Jonuta

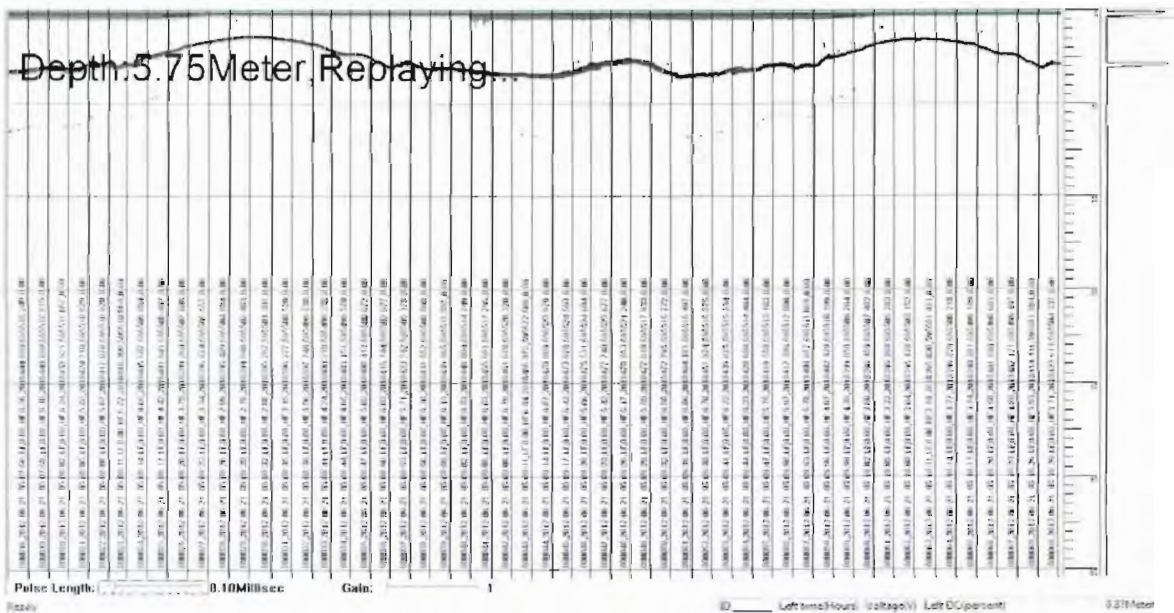


Figura 31. Ejemplo de mediciones de la ecosonda en Palizada

HF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

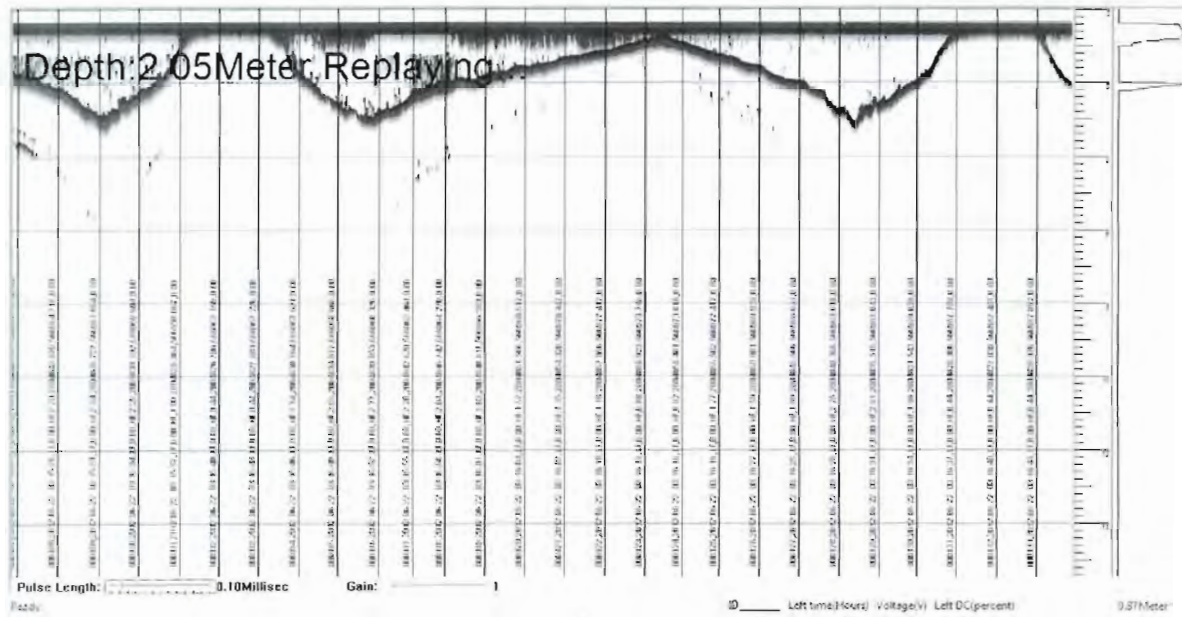


Figura 32. Ejemplo de mediciones en el sitio El Naranjo

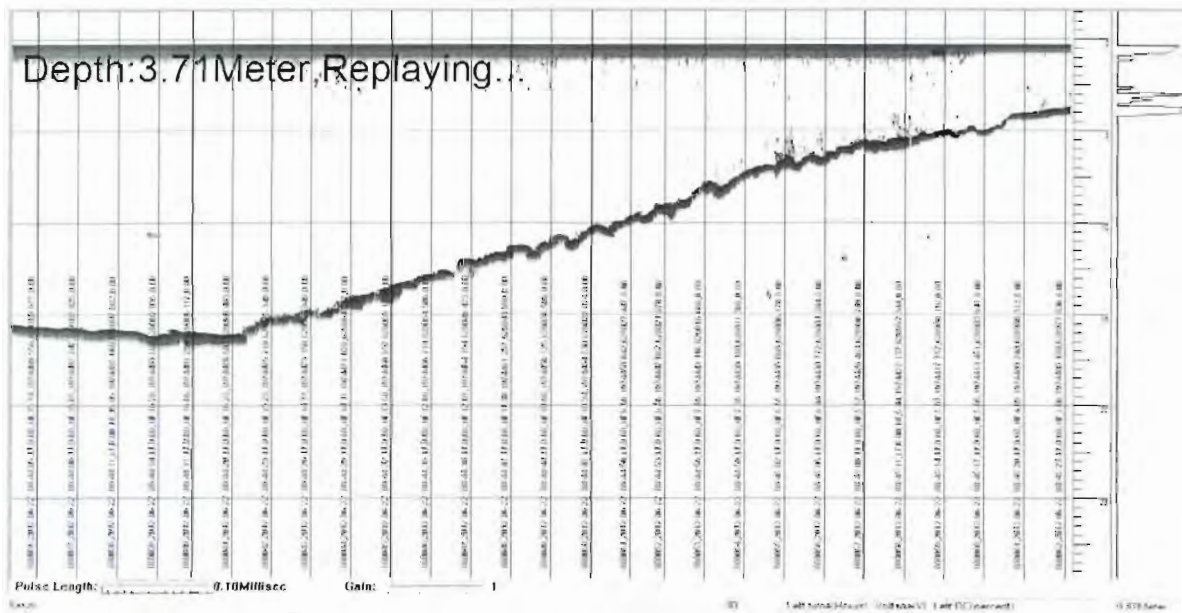


Figura 33. Ejemplo de mediciones en Chablé

NF

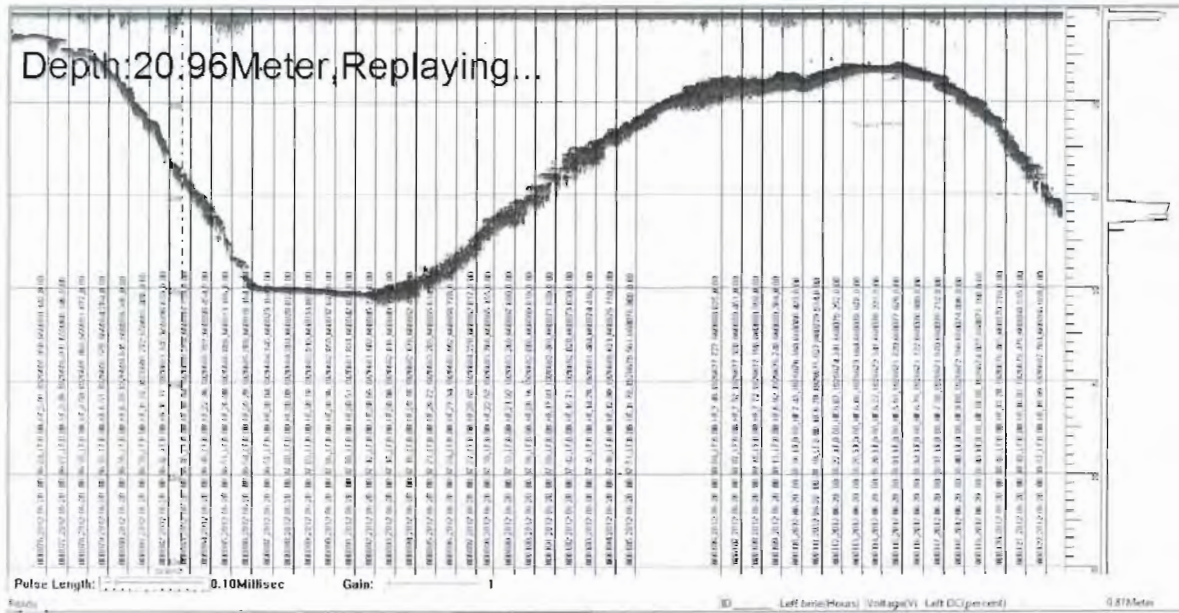


Figura 34. Ejemplo de mediciones en Boca del Cerro

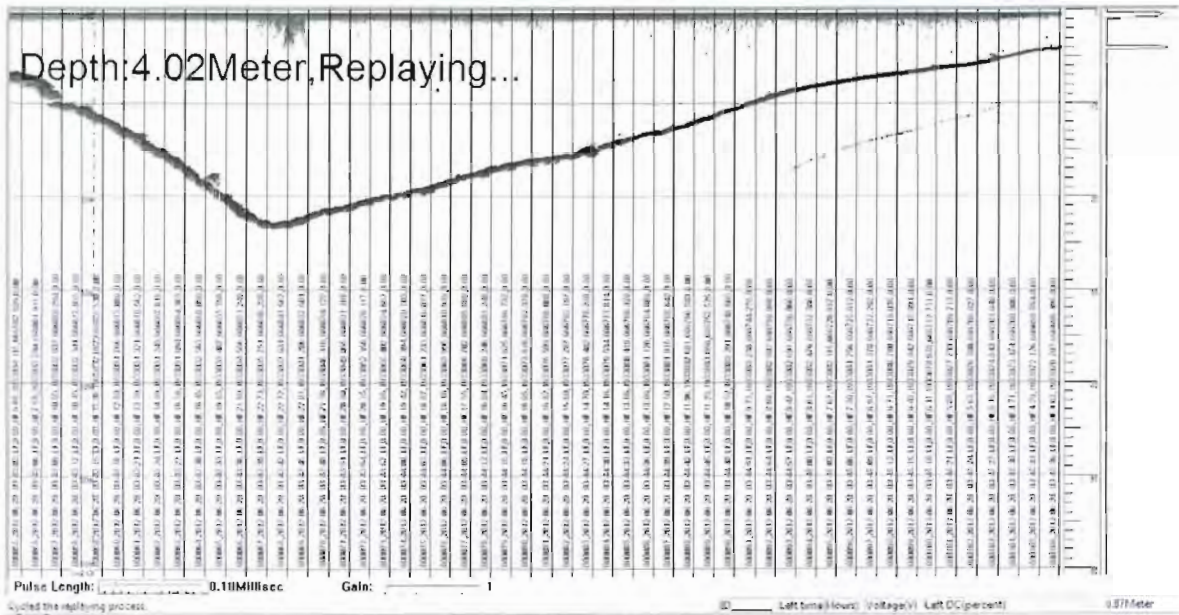


Figura 35. Ejemplo de mediciones en Tenosique

UF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÀ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

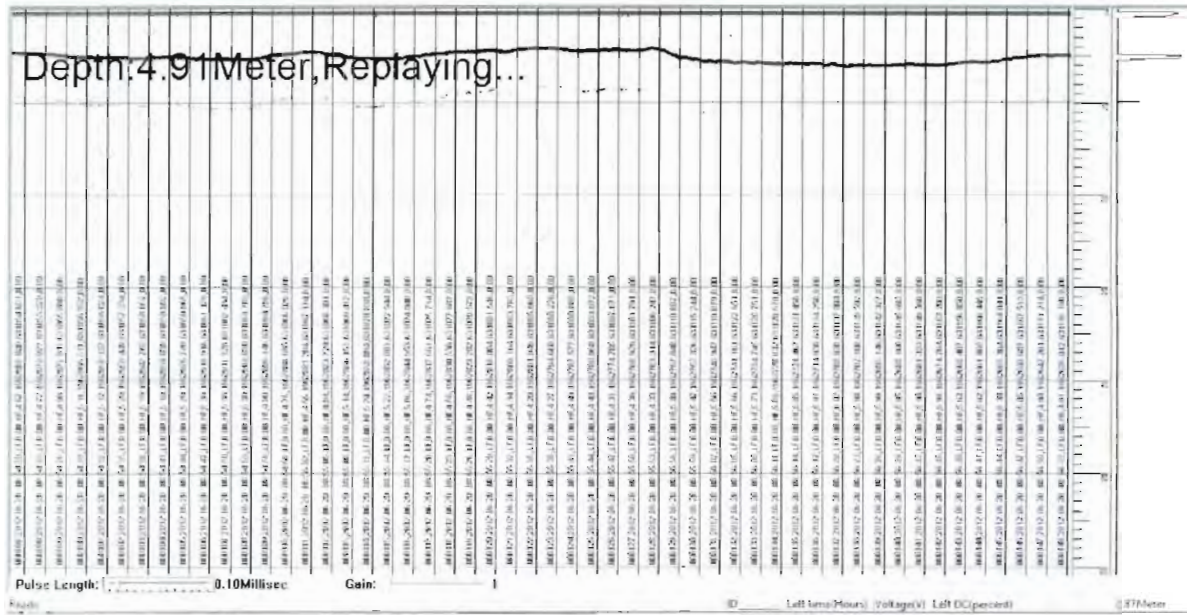


Figura 36. Ejemplo de mediciones en Emiliano Zapata

JF

b ANÁLISIS DE OPCIONES

Esta sección contiene los detalles técnicos de la modelación numérica, a través del modelo hidrodinámico unidimensional, para el sistema introducido en la Figura 1.b.1. Se presenta la puesta a punto del modelo, con los datos de secciones transversales, condiciones de frontera y la posterior simulación del evento de 2011. Posteriormente, se incluyen los resultados de modelación considerando escenarios de modelación con dragado en los ríos.

Puesta a punto del modelo numérico

El primer paso en la puesta a punto del modelo numérico consiste en la asimilación de la información de campo y los datos de altimetría láser para construir un modelo lo suficientemente detallado y estable para la correcta simulación numérica de los flujos en el sistema en estudio. A pesar de la complejidad de la zona (ver Figura 1), se divide al sistema en tres cauces principales asociados a la presencia de los ríos Usumacinta, San Pedro San Pablo y Palizada, en conjunto con un área de regulación, representada por la planicie de inundación asociada. La Figura 4 presenta el esquema geométrico utilizado para la representación del sistema hídrico.

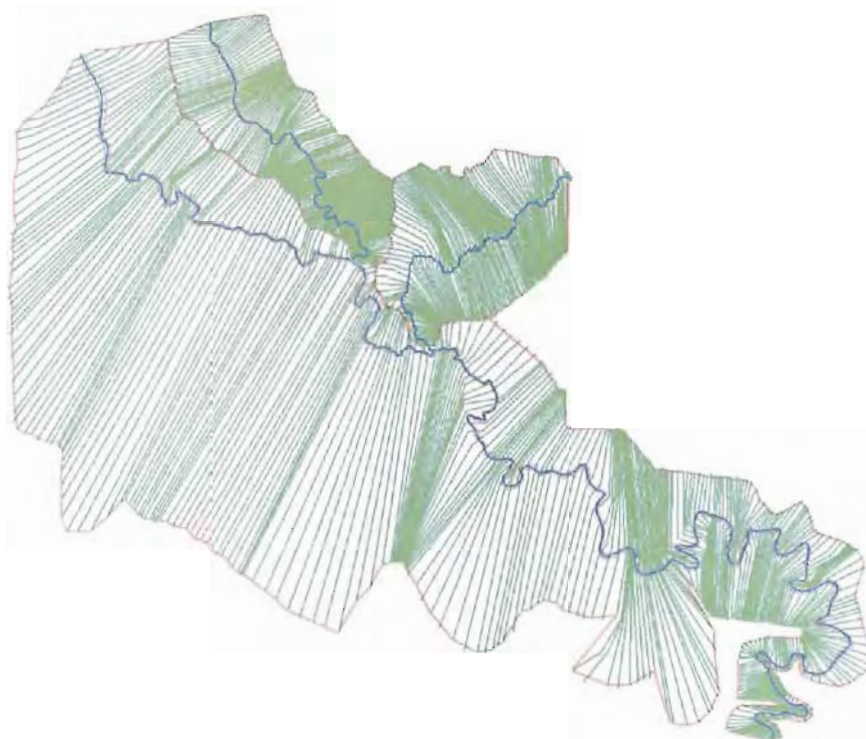


Figura 1.b.1. Trazado de la geometría del sistema Usumacinta, San Pedro-San Pablo, Palizada con sus respectivas llanuras de inundación.

El Modelo Digital de Elevación (MDE) que se seleccionó para las modelaciones numéricas proviene de un vuelo de altimetría láser realizado por INEGI en el 2008. Una perspectiva de esta información se presenta en la Figura 1.b.2.

UF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

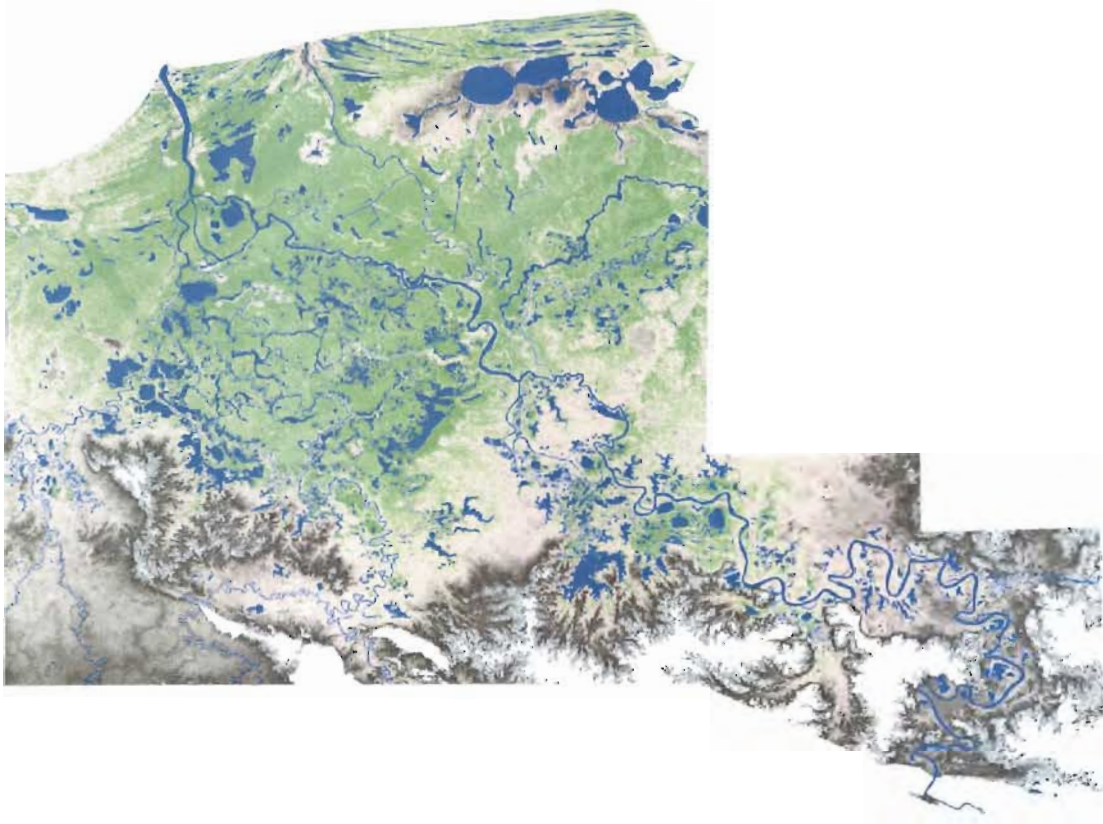


Figura 1.b.2. Modelo Digital de Elevaciones construido con datos de altimetría láser.

Condiciones de Frontera

Una vez definido el esquema numérico para la modelación, se localizaron condiciones de frontera para ubicar el forzamiento del flujo dentro del sistema. En este caso, se definieron cuatro fronteras abiertas para la llanura de inundación identificadas por:

1. La desembocadura del río Usumacinta al Golfo de México (al unirse al río Grijalva).
2. El caudal de entrada al río Usumacinta en Boca de Cerro.
3. La desembocadura del río San Pedro San Pablo al Golfo de México.
4. La desembocadura del río Palizada al Golfo de México.

Calibración del modelo bajo condiciones actuales

La Figura 1.b.3 presenta los resultados de la calibración del modelo numérico *construido*, para diferentes gastos registrados en épocas de avenidas y estiaje. Para ello, se utiliza la información de niveles en el río obtenida a través de las estaciones hidrométricas de San Pedro San Pablo, Usumacinta y Palizada. Tal y como se observa en la comparación, los niveles son

reproducidos con éxito por lo que es posible utilizar el modelo numérico para la simulación de alternativas de alivio.

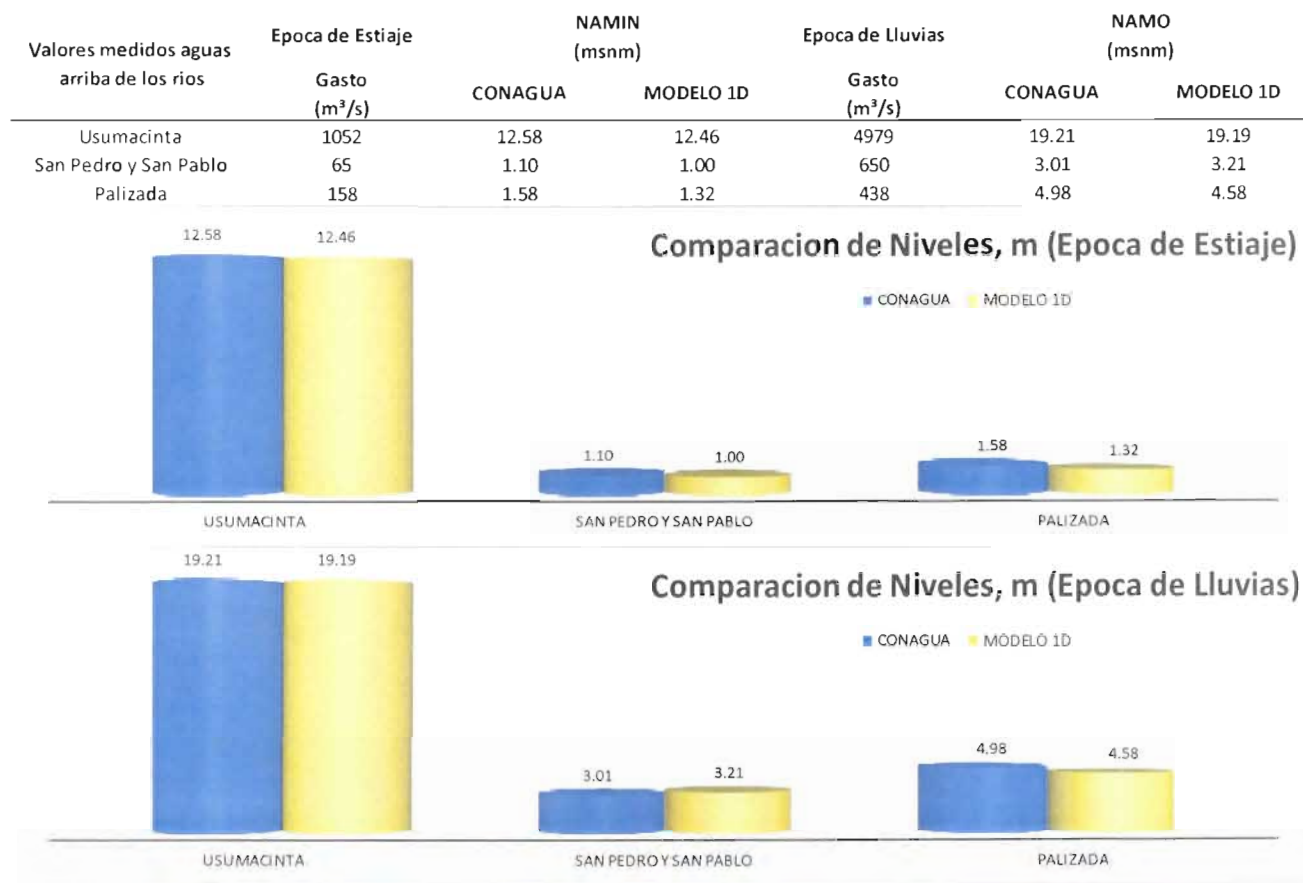


Figura 1.b.3 Resultados del proceso de calibración del modelo numérico.

Validación del área de inundación respecto al evento del 2011

Además de reproducir niveles históricos registrados en el río, se realiza un proceso de validación del modelo numérico con el evento de inundación registrado en Julio de 2011. En el que gran parte de la llanura registro inundaciones considerables.

En este caso, la comparación de resultados numéricos y datos de campo, se lleva a cabo en función del área afectada que se registró durante el evento. Para lo cual se utiliza una imagen de radar adquirida la cual se presenta en el recuadro b) de la Figura 1.b.4.

Los resultados numéricos para este fenómeno se presentan en el recuadro a), tal y como se aprecia en esta comparación la área inundada que se genera con la herramienta numérica, reproduce con éxito las condiciones observadas en el evento de 2011.

VF

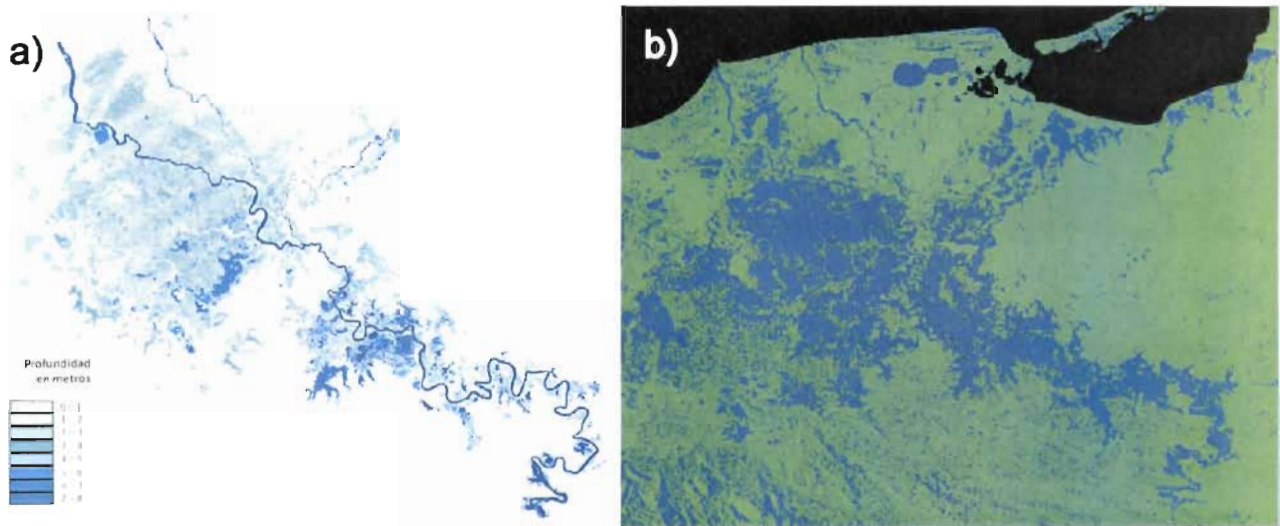


Figura 1.b.4 Resultados de modelación numérica para el evento de 2011, el recuadro muestra la imagen de radar que presenta en azul las áreas afectadas por la inundación real.

Simulación de escenarios de alivio

La calibración y validación presentada en las secciones anteriores, permite la utilización del modelo numérico para la valoración de diversas opciones de alivio al fenómeno de inundación en este sistema fluvial. Esta sección presenta los resultados referentes a estos escenarios, en la que se plantean medidas estructurales o ingenieriles, que podrían implementarse a fin de reducir los niveles y área de inundación en este sistema.

La filosofía utilizada considera como premisa fundamental, la ampliación en la capacidad de drenaje de las avenidas hacia el Golfo de México. Considerando como un aspecto fundamental dar espacio al río para ampliar su capacidad hidráulica. El objetivo de estos ejercicios numéricos consiste en analizar la efectividad de obras de dragado en el sistema de estudio. Para ello se consideran las siguientes alternativas:

- 1) Dragado de 300 m de anchura a lo largo de 22 km del río Grijalva, desde la conexión con el río Usumacinta y hasta su desembocadura al Golfo de México.
- 2) Dragado de 600 m de anchura a lo largo de 22 km del río Grijalva, desde la conexión con el río Usumacinta y hasta su desembocadura al Golfo de México.
- 3) Dragado del río San Pedro San Pablo en su zona de conexión con el río Usumacinta (6km) y en la su desembocadura al mar (15 km).
- 4) Dragado del río San Pedro San Pablo en su totalidad (74 km).
- 5) Dragado en el río Palizada 6km aguas abajo de la confluencia con el río Usumacinta.
- 6) Combinación de las alternativas 2 y 4.
- 7) Combinación de las alternativas 1 y 3.

OPCIÓN 1. Dragado a lo largo de 22 km de la desembocadura del río Grijalva después de la conexión con el río Usumacinta y hasta su descarga al mar (300m de anchura).

Esta sección presenta los resultados numéricos al considerar el incremento de la capacidad hidráulica del río Grijalva-Usumacinta en desembocadura al Golfo de México, la longitud de dragado tiene una extensión de aproximadamente 22 km, considerando desde la desembocadura del río hasta el punto conocido como tres brazos. La extensión transversal del dragado considera una sección con una anchura de dragado de 300m, con una profundidad máxima de 15m (profundidad actual ~10m).

Con esta medida, se espera que la eficiencia hidráulica de la desembocadura del río Usumacinta aumente considerablemente y se reduzca la inundación en la zona central del área de estudio. Con el propósito de analizar la eficiencia en el funcionamiento de esta medida, se considera el tránsito del gasto extraordinario observado en 2011. El resultado de la simulación numérica de esta opción se presenta en la Figura 1.b.5. En términos de la extensión del área inundada, es posible determinar que esta obra no evita la generación de eventos de inundación en el sistema.

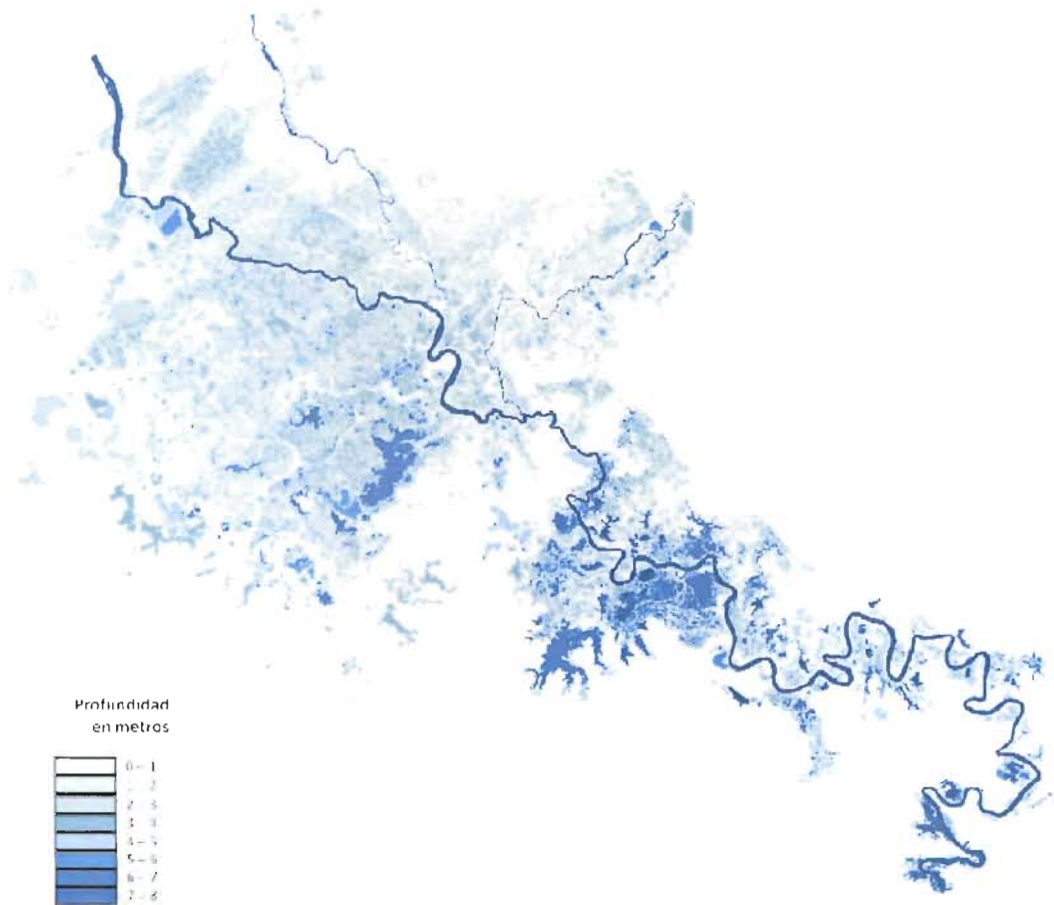


Figura 1.b.5. Resultados de la alternativa 1 bajo el forzamiento asociado al evento de la avenida extrema registrada en 2011.

V F

OPCIÓN 2. Dragado a lo largo de 22 km de la desembocadura del río Grijalva después de la conexión con el río Usumacinta y hasta su descarga al mar (600m de ancho).

En función de los resultados presentados en la Figura 1.b.5, se presenta un refinamiento de esta alternativa a fin de poder observar la eficiencia de esta medida si el dragado se realizara a lo largo de toda la sección transversal del río (600m de anchura). Naturalmente, se espera que la eficiencia hidráulica de la desembocadura del río Usumacinta aumente considerablemente y se reduzca la inundación en la zona central del área de estudio. Para ello, al igual que en el caso anterior, se consideran las condiciones de gasto asociadas al evento de 2011.

Los resultados de esta medida se presentan en la Figura 1.b.6, en la que el área afectada es similar, parcialmente reducida en algunas zonas de la planicie y con una reducción significativa de las cotas de inundación en la zona de sal si puedes.

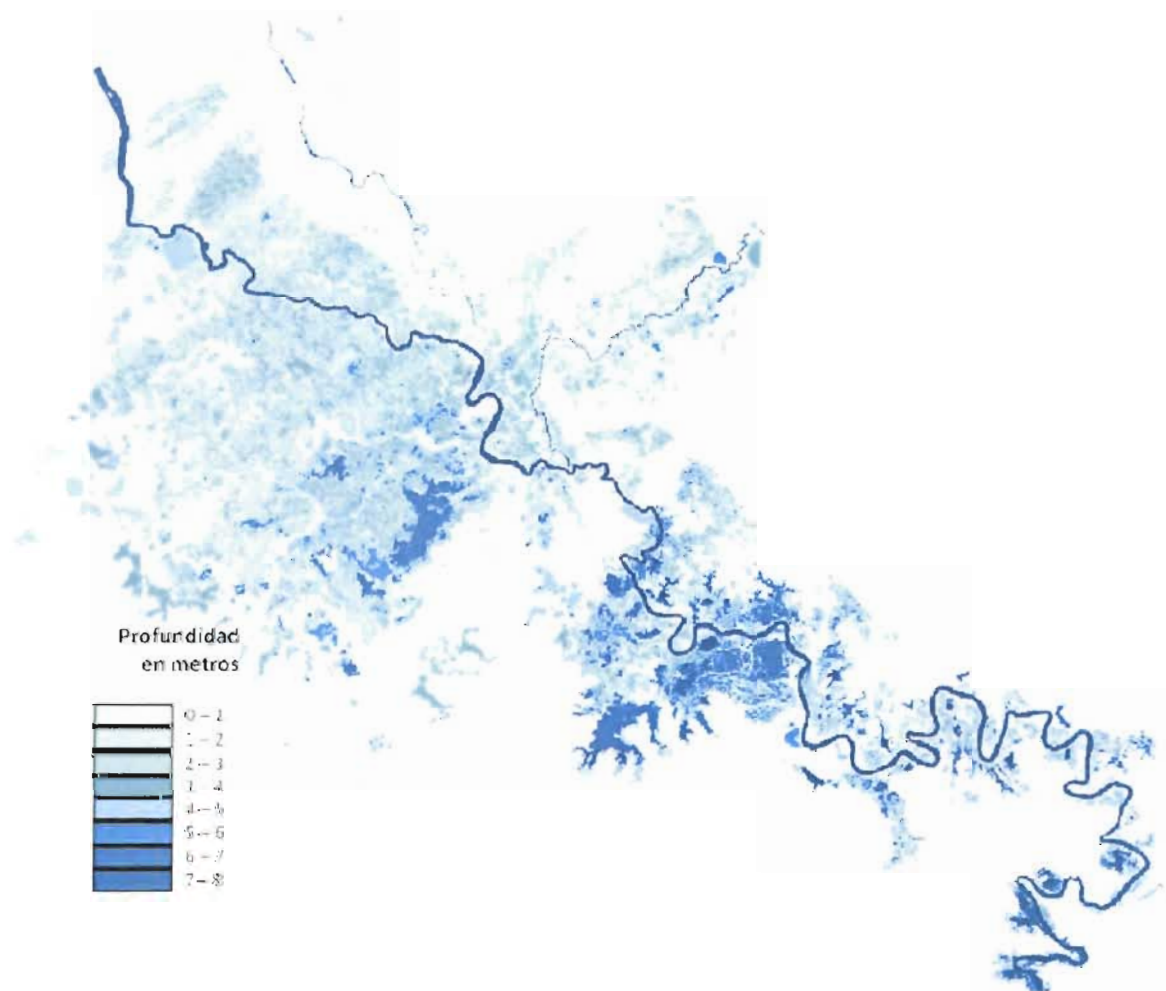


Figura 1.b.6. Resultados de la alternativa 2 bajo el forzamiento asociado al evento de la avenida extrema registrada en 2011.

Opción 3. Dragado del río San Pedro San Pablo en su zona de conexión con el río Usumacinta (6km) y en la su desembocadura al mar (15 km).

Uno de los resultados más relevantes de las simulaciones numéricas realizadas en la llanura de inundación del río Usumacinta, es la identificación de la poca eficiencia hidráulica del río San Pedro San Pablo. El azolvamiento de esta descarga natural al Golfo de México, reduce significativamente el alivio del río en condiciones de flujos de inundación. La anchura promedio del río es de 100m, con una profundidad promedio de 2m en la zona cercana a la desembocadura, mientras que en la bifurcación del río Usumacinta reporta una profundidad de 6m. Esto indica el azolve que se presenta en la región cercana a la desembocadura lo que reduce en gran medida su capacidad para descargar agua hacia el Golfo de México. Con el propósito de plantear una solución que trabaje en conjunto con los procesos naturales del sistema, se plantea el dragado de este río en dos regiones de 6km de longitud, una cercana a la bifurcación y otra cercana a la desembocadura. Se prevé que a través de esta medida se ayude al alivio del río Usumacinta. Los resultados de esta simulación se presentan en la Figura 1.b.7.

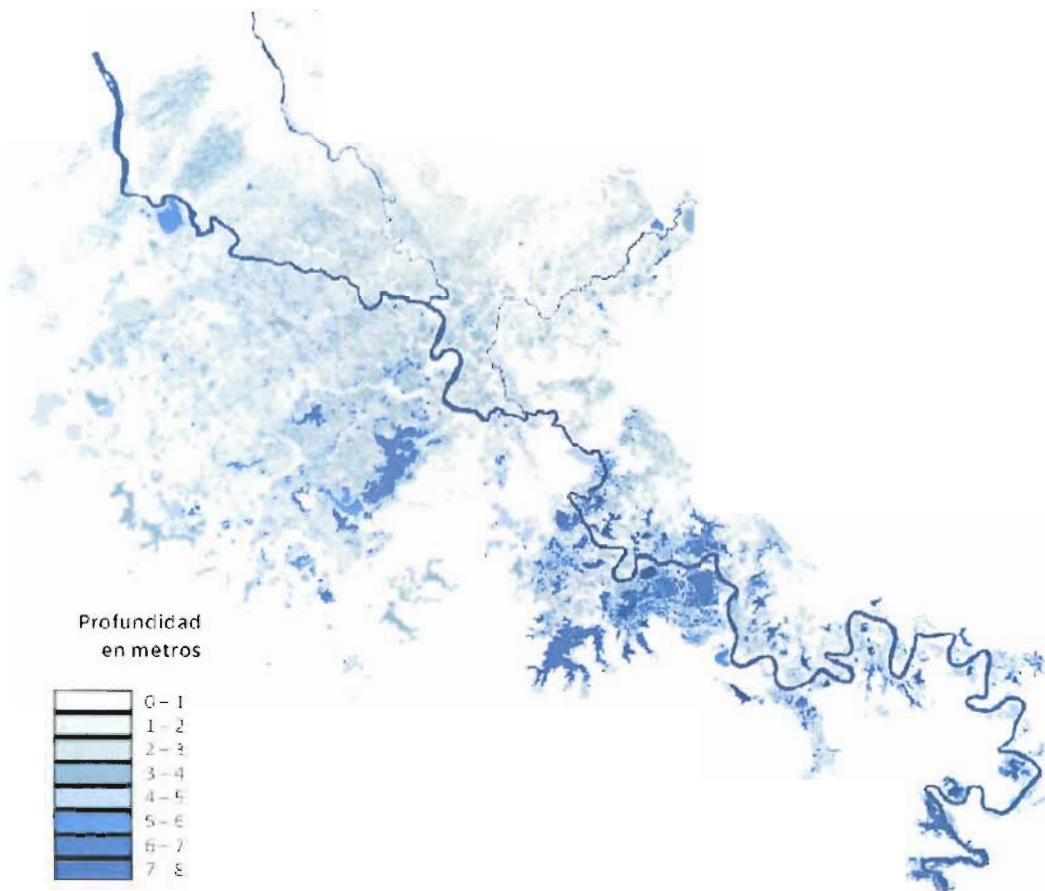


Figura 1.b.7. Resultados de la alternativa 3 bajo el forzamiento asociado al evento de la avenida extrema registrada en 2011.

Opción 4. Dragado del río San Pedro San Pablo en su totalidad, desde zona de conexión con el río Usumacinta y hasta la desembocadura al golfo de México (74 km).

Con el propósito de analizar en función del área de inundación, las ventajas de incorporar el dragado del río San Pedro San Pablo, se propone un dragado mayor en el que se considera toda la longitud del río. Los resultados se presentan en la Figura 1.b.8, en la que se aprecia poca reducción del área inundada. Cabe señalar que los niveles de inundación, si son reducidos, lo anterior se presentará en una sección posterior dentro de este informe

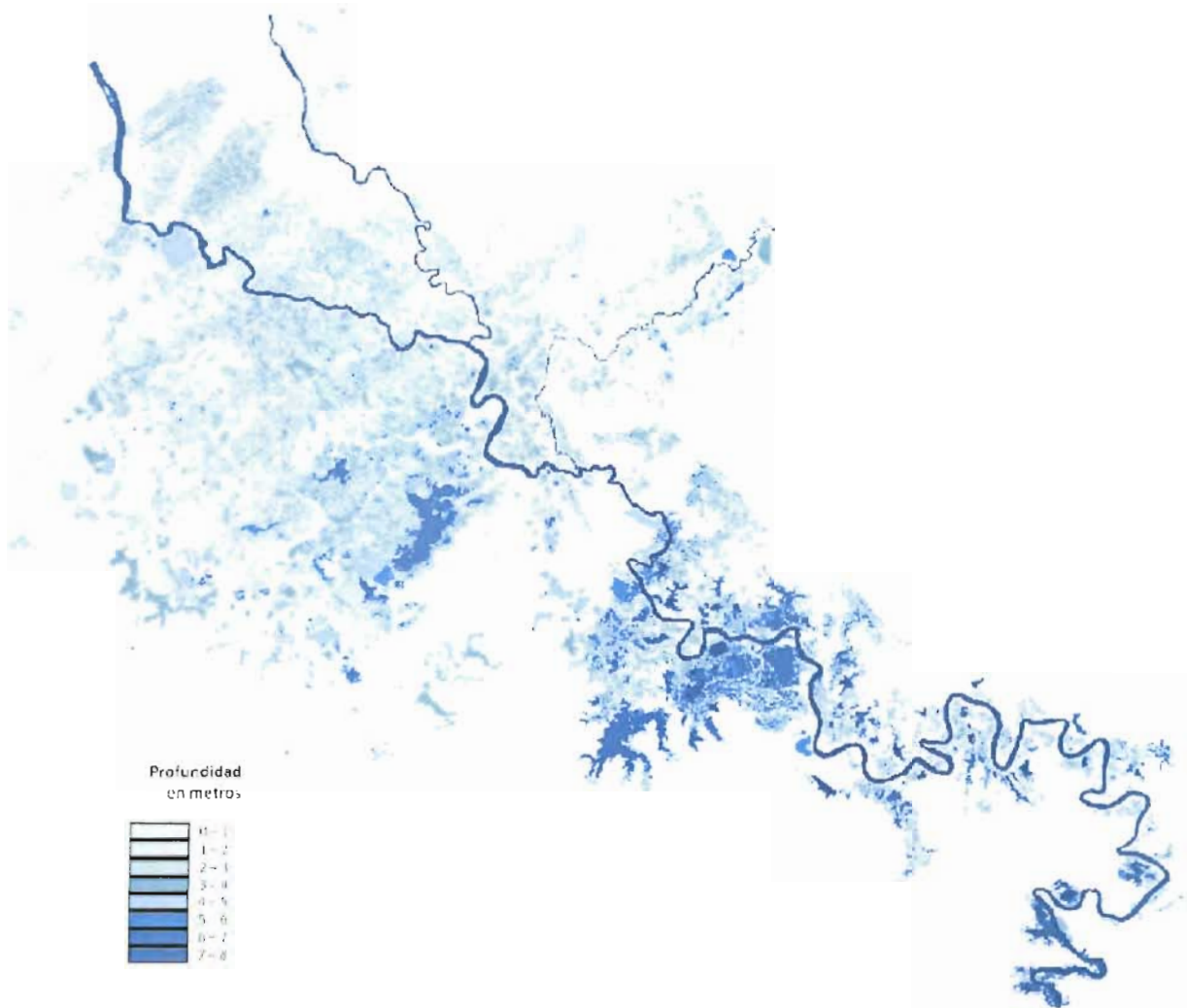


Figura 1.b.8. Resultados de la alternativa 4 bajo el forzamiento asociado al evento de la avenida extrema registrada en 2011.

Opción 5. Dragado en el río Palizada 6km aguas abajo de la confluencia con el río Usumacinta.

Otra de las opciones propuestas para el alivio de esta zona comprende el dragado del río Palizada, que considera otro drenaje natural a la Laguna de Términos. Sin embargo, cabe resaltar que esta opción es la que se considera menos viable, dado que su implementación implica el incremento del riesgo de inundación en la Ciudad de Palizada, Campeche, con lo que se transfiere un problema a otra zona de la región. A efectos de completar el análisis de todas las opciones, el estudio numérico considera un dragado en los primeros 6 km del río a partir de la bifurcación. Los resultados no revelan un gran beneficio ni en función del área afectada ni en los niveles registrados, tal y como se aprecia en la Figura 1.b.9.

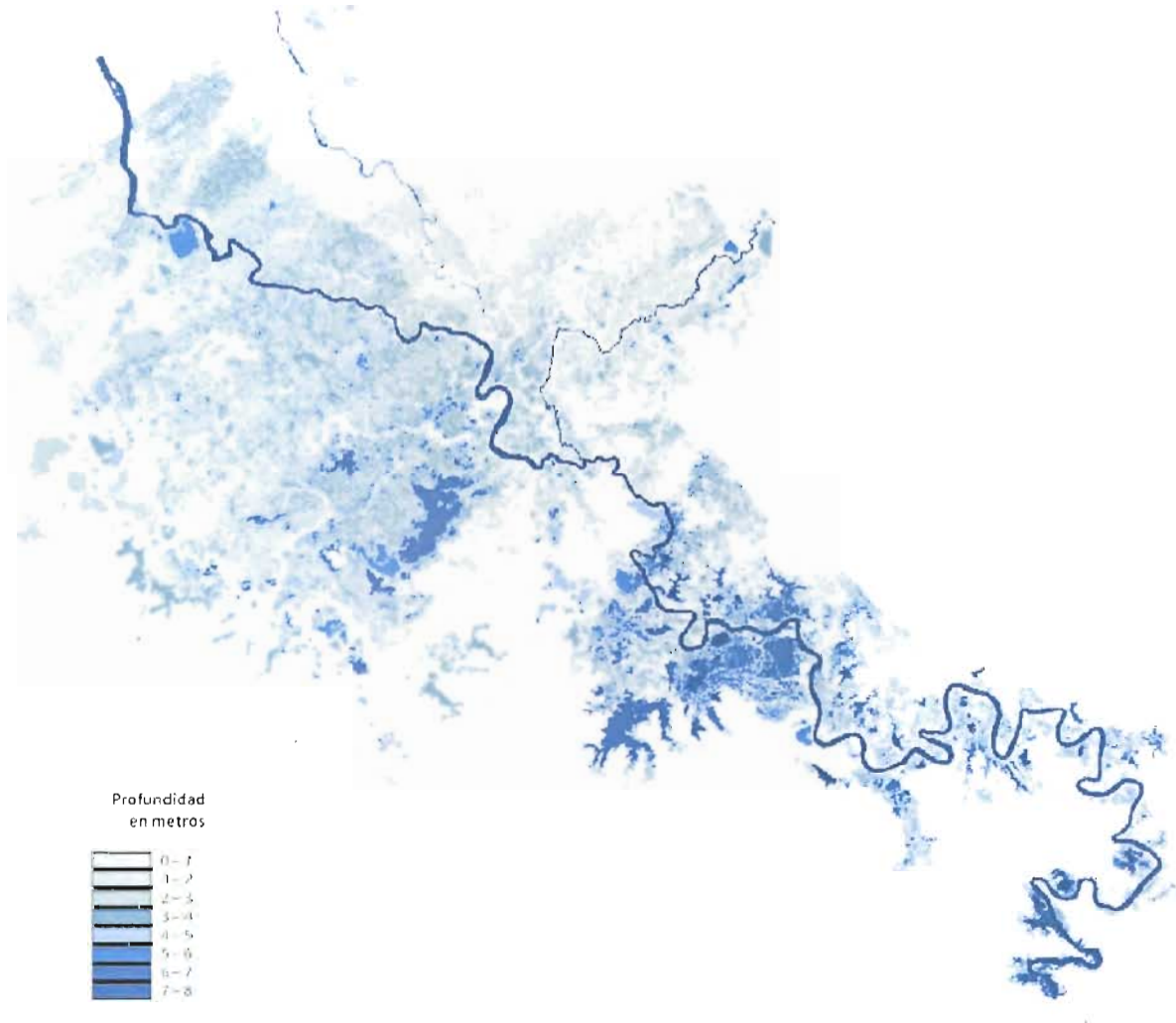


Figura 1.b.9. Resultados de la alternativa 5 bajo el forzamiento asociado al evento de la avenida extrema registrada en 2011.

UF

Opción 6. Combinación de las alternativas 2 y 4.

Al analizar que ninguna de las opciones anteriores reducen las inundaciones en el río, se consideró dentro de las alternativas la implementación de combinaciones de alternativas. Se prevé que al implementar dos opciones simultáneas se considera un manejo más integral del agua en la región, considerando una mejor eficiencia hidráulica en el drenaje de avenidas. Para este propósito se consideran ambas alternativas 2 y 4. Es decir, el dragado de la desembocadura del río Grijalva desde su conexión con el río Usumacinta (anchura 600 m) y el mejoramiento de la capacidad hidráulica del río San Pedro San Pablo en su totalidad (75 km de longitud). Los resultados de este ejercicio, se presentan en la Figura 1.b.10, donde se aprecia una reducción de ambos el área inundada y los niveles registrados a lo largo de la llanura.

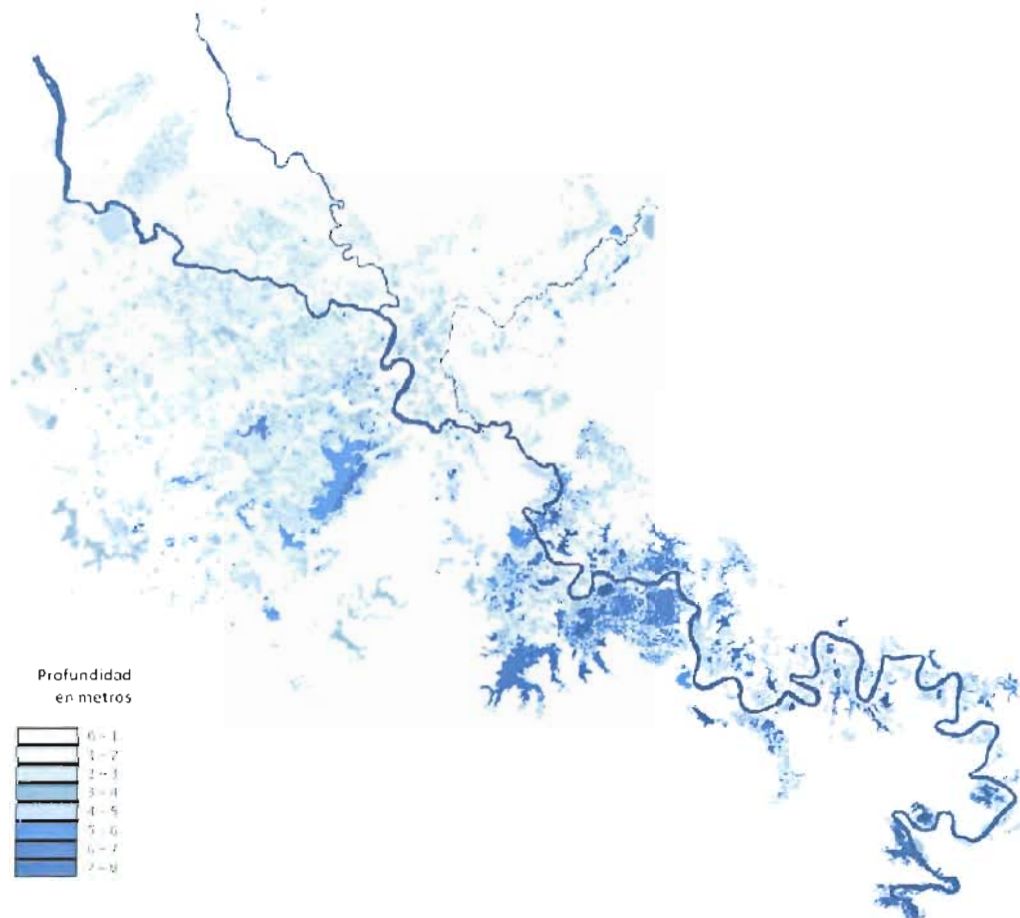


Figura 1.b.10. Resultados de la alternativa 6 bajo el forzamiento asociado al evento de la avenida extrema registrada en 2011.

Opción 7. Combinación de las alternativas 1 y 3.

Por último, otra de las combinaciones propuesta, que considera un manejo integral del agua en la región corresponde a la combinación de las opciones presentadas en las alternativas 1 y 3. Es decir, el dragado de la desembocadura del río Grijalva desde su conexión con el río Usumacinta (anchura de 300 m) en combinación con el mejoramiento de la capacidad hidráulica del río San Pedro San Pablo en la zona de su desembocadura y en la zona de la bifurcación con el río Usumacinta, el cual comprende una longitud de 15 km. Los resultados de esta alternativa se presentan en la Figura 1.b.11

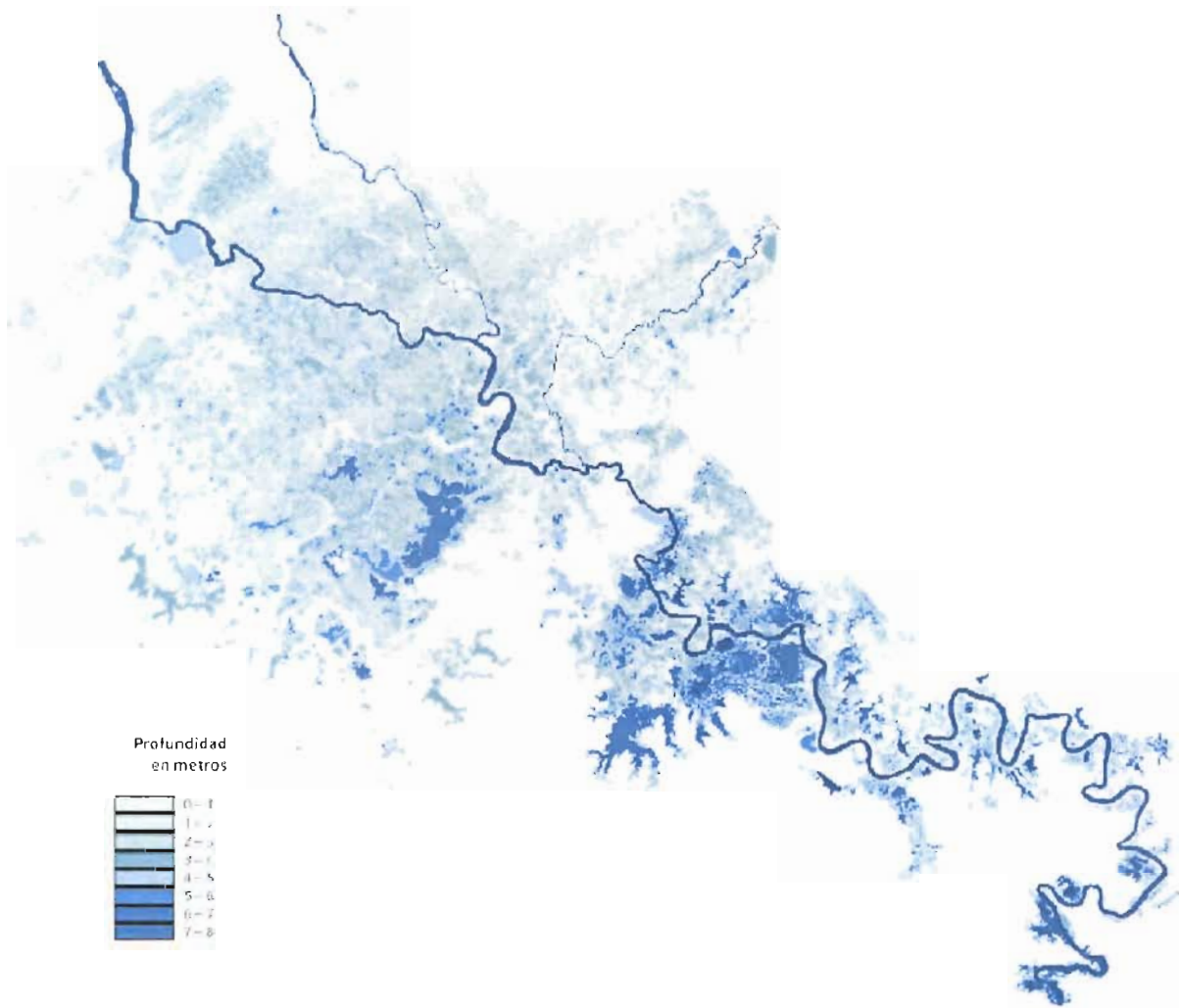


Figura 1.b.11. Resultados de la alternativa 7 bajo el forzamiento asociado al evento de la avenida extrema registrada en 2011.

JF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

Resumen del resultado de las alternativas de alivio en la llanura de inundación.

Con el propósito de valorar cuantitativamente el beneficio reportado de la implementación de cada una de las alternativas propuestas. Se presenta un resumen de los niveles registrados en diversos puntos de la llanura de inundación cercanos a zonas urbanas. La Figura 1.b.12 presenta la localización geográfica de dichos puntos.

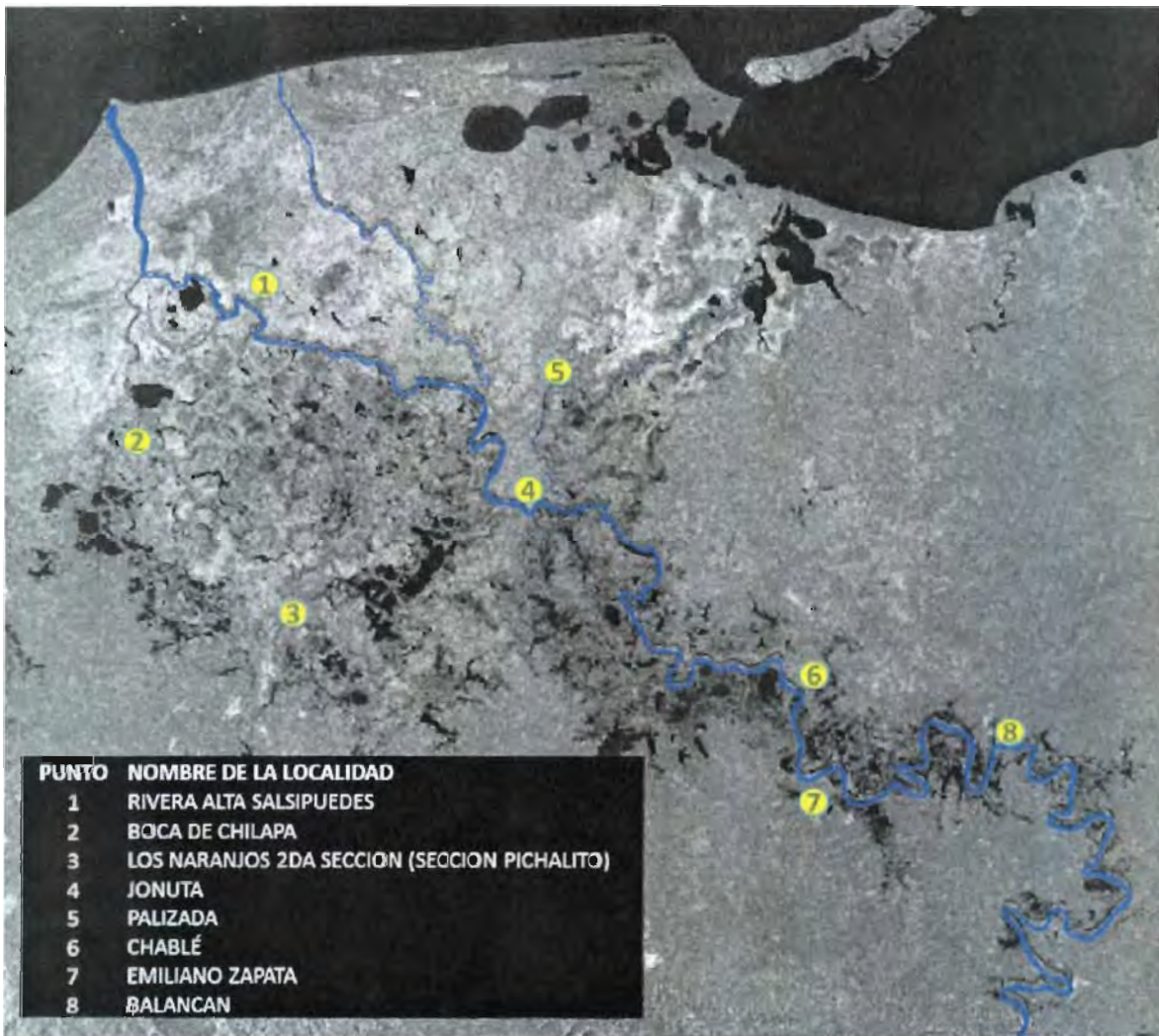


Figura 1.b.12 Localización geográfica de los puntos de análisis para las diferentes alternativas implementadas.

Por otra parte, la Figura 1.b.13 representa la diferencia entre los niveles de inundación máximos alcanzados durante el evento de 2011 y los calculados para cada alternativa de solución de dragado (para las siete alternativas propuestas en 8 puntos en la zona de estudio).

Tal y como se aprecia en la figura, los niveles inundación se reducen entre 10 cm y 65 cm para los puntos de análisis ubicados en la llanura de inundación más próxima a la desembocadura

de los ríos. Esto es natural ya que al implementar la alternativa de dragar la desembocadura del río Usumacinta al Golfo de México, se favorece al área más próxima a esta región.

De acuerdo con estos resultados en función de la reducción de niveles en las llanuras y zonas urbanas, la alternativa menos eficiente es la que corresponde a el dragado del río Palizada, el cual no reduce de forma significativa los niveles de inundación en los puntos seleccionados.

Naturalmente, la alternativa que considera el dragado del río San Pedro San Pablo en su totalidad (75km), junto con la desembocadura del río Usumacinta en toda su anchura es la que representa las mejoras más importante. Sin embargo, dado el volumen de dragado que esta implica es probable que su costo la haga inviable.

Por otra parte, un punto importante de esta figura es que para los puntos de análisis ubicados en la parte alta de la cuenca, ninguna de las alternativas reduce los niveles de inundación registrados para el evento de 2011.

Este resultado indica la necesidad de generar un plan de manejo de inundaciones que considere medidas de manejo para la zona alta del río. Es decir, los dragados propuestos en este estudio son útiles para la parte baja del mismo, con lo que se identifica la necesidad de extender el análisis realizado para estudiar las posibles medidas de mitigación en la parte alta. Se requiere salvaguardar la integridad de poblaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca como Emiliano Zapata, Balancán y Chablé.

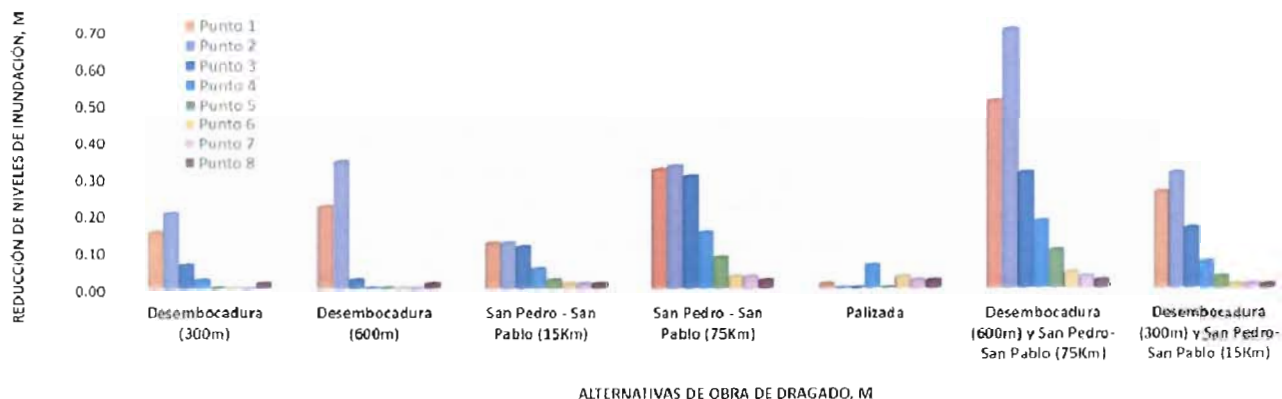


Figura 1.b.13. Reducción en los niveles de inundación en cinco puntos de interés distribuidos en las llanuras de inundación en la zona de análisis.

Por otra parte, la Figura 1.b.14 ilustra los niveles registrados a lo largo del cauce del río Usumacinta, desde la zona conocida como boca de Cerro hasta su desembocadura. En esta figura es posible apreciar el beneficio que reportan cada una de las alternativas implementadas, donde se observa que el dragado total del río San Pedro San Pablo en conjunto con la desembocadura del río Usumacinta, registran una reducción en los niveles del río de hasta de 1.2m. Mientras que alternativas menos ambiciosas reportan reducciones de hasta 0.5m en los niveles registrados a lo largo del río. Es necesario entonces implementar una análisis de costo beneficio para determinar cuál de estas alternativas es más viable desde un punto de vista técnico económico.

VJF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

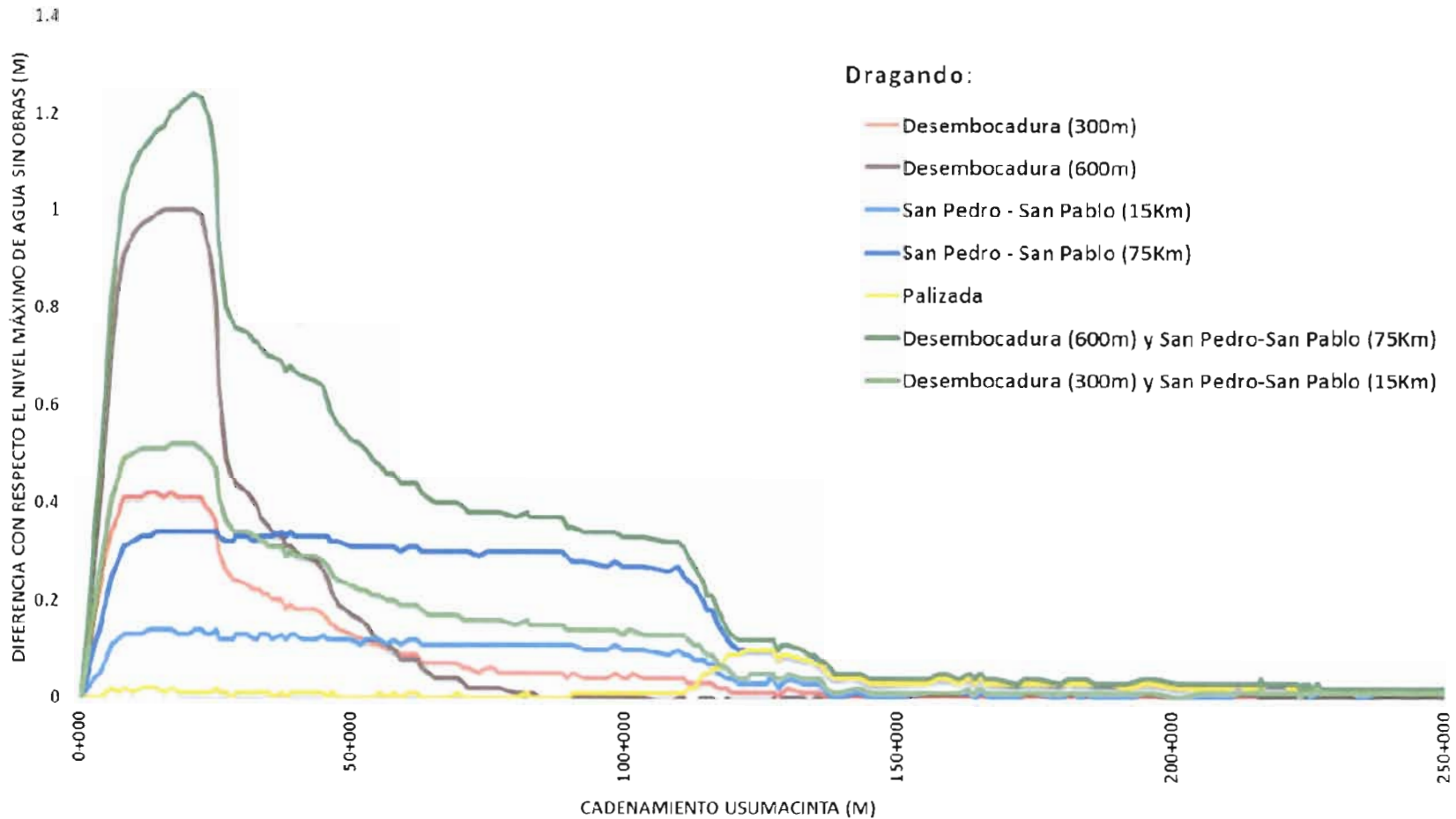


Figura 1.b.14. Resumen de resultados de las alternativas propuestas (mejoramiento en los niveles registrados a lo largo del río).

JP

Análisis de las alternativas de alivio en la llanura de inundación

Con el objetivo de complementar el análisis de los resultados presentados en la sección anterior, se presenta la cuantificación de las áreas de inundación obtenidas bajo cada escenario modelado numéricamente. Esto con el fin de establecer una relación de costo/beneficio que señale, aunque sea de forma indicativa, la mejor solución posible de las estudiadas en este trabajo de investigación. El análisis de las alternativas consiste en lo siguiente:

1. Calcular los niveles de inundación para cada alternativa, en su condición final.
2. Obtener volúmenes de dragado de acuerdo a la profundidad y anchura utilizadas en la simulación.
3. Determinar el costo de dragado para cada alternativa (para ello se utiliza un costo nominal de \$100.00 pesos/m³).
4. Comparar resultados de costo y niveles de inundación obtenidas para cada alternativa de solución a fin de establecer cuál es la más conveniente.

Cálculo de niveles de inundación

La estimación de los niveles de inundación en los puntos seleccionados (8, ver Figura 15) se llevó a cabo para el estado final del sistema, bajo todos los escenarios estudiados. Los resultados de este procedimiento se presentan en la Tabla 1.1, donde se aprecia la diferencia de niveles que se tendrían entre el resultado de cada alternativa simulada, en comparación con el nivel de inundación máximo en el evento de 2011. Este resultado es significativo, ya que indica el posible ahorro de recursos económicos para la realización de las obras propuestas.

Tabla1.b.1 Diferencia entre el nivel máximo de inundación: Sin obras - Dragado en m

PUNTO	NOMBRE DE LA LOCALIDAD	Desembocadura (300m)	Desembocadura (600m)	San Pedro - San Pablo (15Km)	San Pedro - San Pablo (75Km)	Palizada	Desembocadura (600m) y San Pedro- San Pablo (75Km)	Desembocadura (300m) y San Pedro- San Pablo (15Km)
Punto 1	RIVERA ALTA SALSIPUEDES	0.15	0.22	0.12	0.32	0.01	0.51	0.26
Punto 2	BOCA DE CHILAPA	0.2	0.34	0.12	0.33	0	0.7	0.31
Punto 3	LOS NARANJOS ZDA SECCION (SECCION PICALITO)	0.06	0.02	0.11	0.3	0	0.31	0.16
Punto 4	JONUTA	0.02	0	0.05	0.15	0.06	0.18	0.07
Punto 5	PALIZADA	0	0	0.02	0.08	0	0.1	0.03
Punto 6	CHABLÉ	0	0	0.01	0.03	0.03	0.04	0.01
Punto 7	EMILIANO ZAPATA	0	0	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01
Punto 8	BALANCAN	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01

Obtención de volúmenes y costo del dragado

A fin de cuantificar el volumen y costo del dragado propuesto en los escenarios simulados, se determinó de forma indicativa una sección tipo de la desembocadura del río Usumacinta al Golfo de México.

La Figura 1.b.15 presenta una sección transversal del río Usumacinta, cerca de su desembocadura al Golfo de México. En color rojo se indica la condición actual de la sección con una anchura de 800 m y una profundidad de 9 m. En color azul se presenta la opción de dragado que considera una anchura de 300 m y una profundidad de 14 m.

Finalmente se plantea dragar del orden de 22.2 km, exactamente en la incorporación del río Usumacinta con el río Grijalva y desde ese punto hasta la desembocadura al golfo de México.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

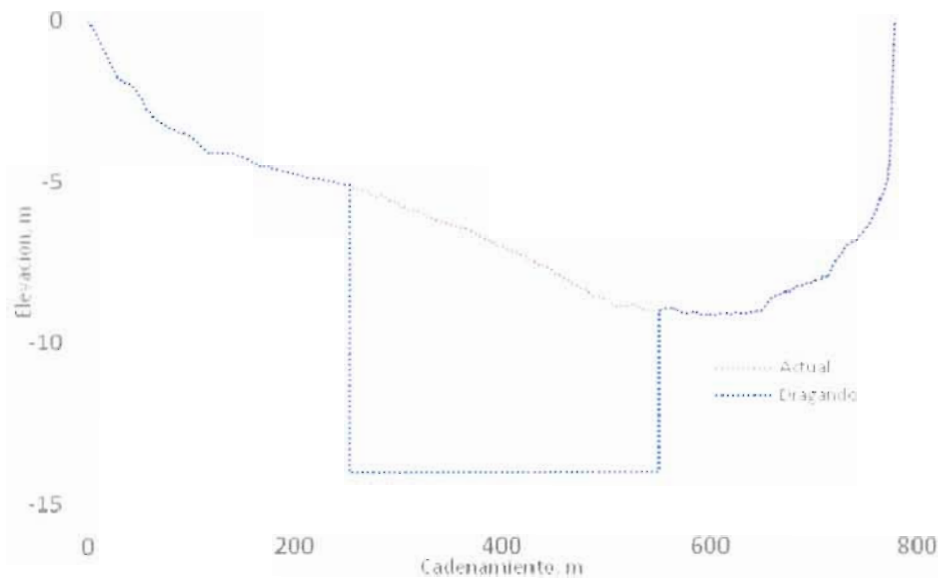


Figura 1.b.15 Sección transversal del río Usumacinta en condiciones actuales y la propuesta de dragado

Así mismo, para las condiciones de dragado en San Pedro – San Pablo y Palizada, se consideran diferentes profundidades de dragado. Estas se presentan en la Figura 1.b.12, en la que se observan dos secciones transversales, tanto para el río San Pedro – San Pablo, como para el río palizada. La primera tiene una anchura de cauce del orden de 150 m, mientras que el segundo tiene una anchura promedio de 80 m (ver Figura 1.b.16). Para determinar el volumen de dragado, se multiplicó el área transversal de dragado definida por la longitud de dragado propuesta.

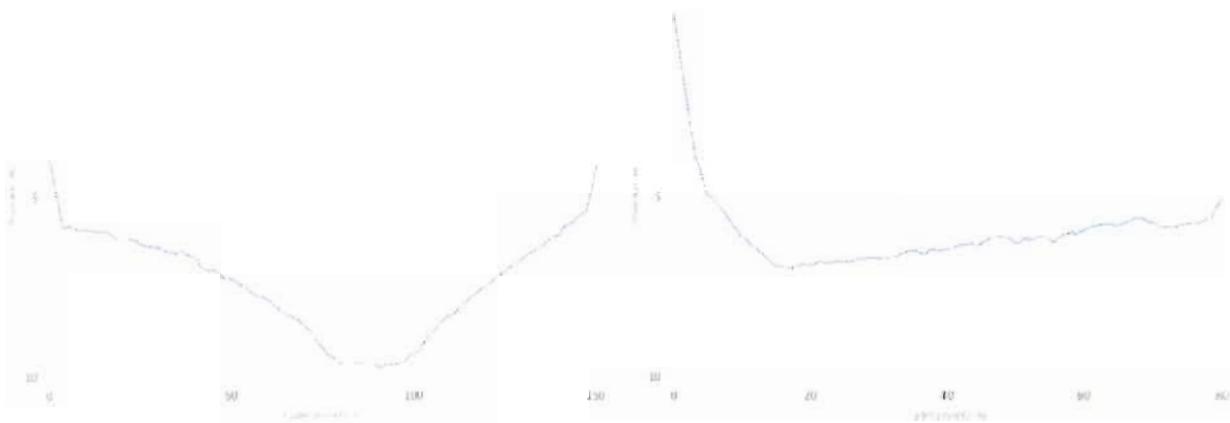


Figura 1.b.16 Secciones del río San Pedro – San Pablo y el río Palizada.

Por dragado, se entiende la operación de remoción de sedimentos en ríos, lagos, canales y puertos; con la finalidad de que al aumentar la profundidad, y por lo tanto la capacidad hidráulica del río.

La Tabla 1.b.2 presenta los resultados de longitudes de dragado estimadas, así como el volumen total de la operación y su costo en Millones de Pesos. Para determinar el costo aproximado de la obra propuesta, se utilizó un costo de dragado por metro cúbico de \$100.00 pesos/m³.

Tabla 1.b.2 Volumen de dragado para los diferentes escenarios de alivio propuestos.

ALTERNATIVA DRAGANDO:	LONGITUD A DRAGAR, KM	VOLUMEN A DRAGAR, M ³	COSTO, MDP
1 DESEMBOCADURA	22.2	33,023,393	3,302.3
2 SAN PEDRO-SAN PABLO (PARCIAL)	15.0	14,063,608	1,406.4
3 PALIZADA	30.4	11,586,996	1,158.7
4 ALTERNATIVAS 1 y 2	37.2	47,087,001	4,708.7
5 SAN PEDRO-SAN PABLO (TODO)	74.5	49,904,378	4,990.4

La Tabla 1.b.3 presenta los resultados de costo aproximado para cada dren estudiado en este capítulo. Por claridad en la comparación, se incluye el costo de dragado para cada alternativa.

Tabla 1.b.3 Costos aproximados para cada opción estudiada

ALTERNATIVA DE DRAGANDO:	COSTO, MDP
1 DESEMBOCADURA (300M)	3,302
2 DESEMBOCADURA (600M)	8,673
3 SAN PEDRO-SAN PABLO (15KM)	1,406
4 SAN PEDRO-SAN PABLO (75KM)	4,990
5 PALIZADA	1,159
6 ALTERNATIVAS 2 y 4	13,664
7 ALTERNATIVAS 1 y 3	4,709

Por otro lado la Figura 1.b.17 presenta el gráfico de comparación de los costos de cada alternativa estudiada en este proyecto. Tal y como se observa el costo más elevado de 13,664 MDP involucra los dragados más grandes que se han considerado, tanto en el río San Pedro San Pablo como en la desembocadura del río Usumacinta. Mientras que una alternativa más económica de estas alternativas tiene un costo de 4,709 MDP.

JF

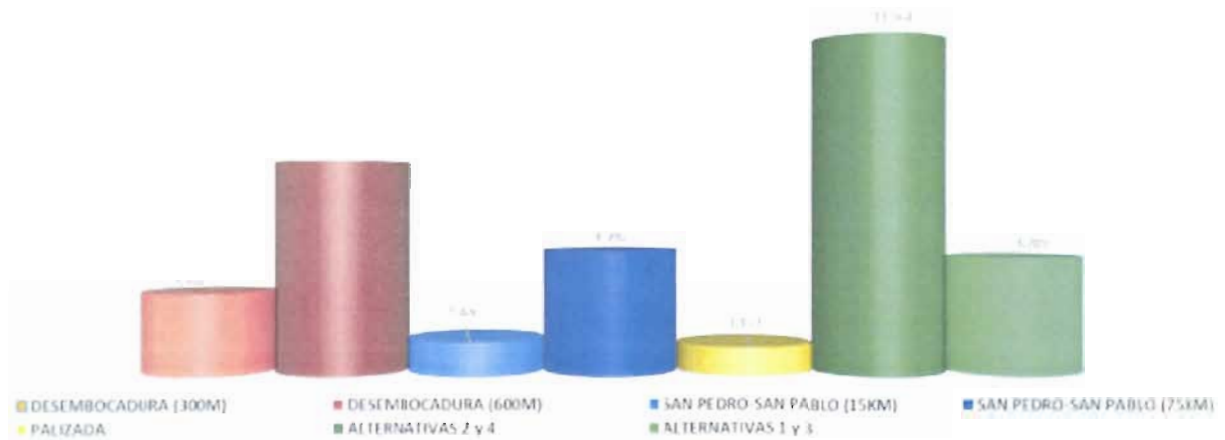


Figura 1.b.17. Costos de dragado para cada alternativa.

Con el propósito de evaluar de forma cuantitativa, el costo beneficio que reporta cada una de estas alternativas, se deben comparar la reducción alcanzada por cada alternativa respecto a los niveles de inundación registrados contra el volumen de dragado para cada escenario de alivio. Esto permitirá determinar cuál de estos escenarios representa el mejor de todos, desde un punto de vista económico y de consecuencias esperadas.

Relación entre alternativas y el costo de dragado

La Figura 1.b.18 presenta la comparación de los resultados obtenidos en función de los niveles de inundación registrados en relación con el costo para las siete alternativas propuestas y en 8 puntos localizados en la llanura de inundación del río (ver Figura 15). Los puntos de análisis, están asociados a localidades urbanas que representan poblaciones expuestas a los riesgos de inundación.

En esta Figura es más evidente la poca eficiencia de las soluciones planteadas en la parte alta de la cuenca (puntos 5-8), en donde la reducción del nivel de inundación está por debajo de los 10cm. En contraste, para aquellos puntos localizados en la parte baja del río (puntos 1-3), y en función del nivel de inversión se reportan reducciones entre los 20 y 70cm.

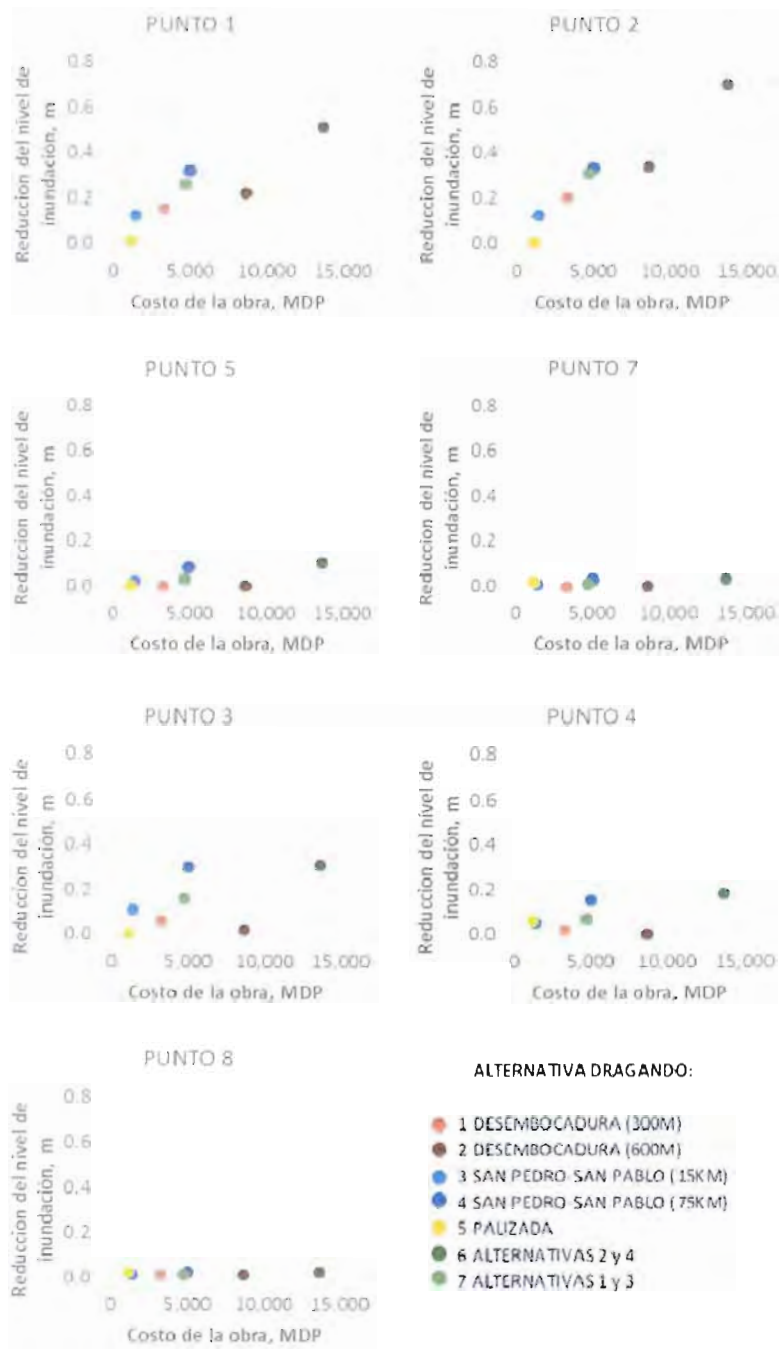


Figura 1.b.18 Relación entre la anchura del dren y el costo de dragado para los escenarios simulad

JF

ACCIONES COMPLEMENTARIAS DEL PLAN HIDRICO INTEGRAL DE TABASCO

Tabla 1.c.1 Datos arreglados de los años 2010 y 2011. Boca del Cerro.

Año	mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2010	Enero	1223	1191	1160	1128	1436	1745	2054	1989	1924	1860	1795	1797	2019	2006	1810	1772	1735	1698	1505	1363	1244	1298	1245	1192	1138	1116	1005	1010	965	1024	1083
2010	Febrero	1142	1030	1229	1541	1513	1450	1386	1323	1264	1225	1187	1136	1180	1224	1268	1220	1173	1126	1122	1085	1048	1011	806	786	780	777	774	771			
2010	Marzo	768	765	761	758	755	752	749	746	743	740	737	734	731	728	725	722	719	716	713	709	706	703	700	697	694	691	688	685	682	679	676
2010	Abril	673	670	667	664	660	657	654	651	648	645	642	639	636	633	630	627	624	621	618	615	612	608	605	602	599	596	593	590	587	575	
2010	Mayo	576	577	578	575	563	552	541	574	608	641	601	525	509	516	523	530	537	607	643	936	1213	1296	1379	1461	1345	1552	1707	1861	2030	2200	2369
2010	Junio	2538	2649	2737	2422	2214	2006	1797	1589	1506	1382	1289	1276	1262	1248	1908	2130	2402	2718	2572	2427	2281	2387	2198	2033	1699	1725	1752	1778	2289	2282	
2010	Julio	2274	2120	1966	1811	1657	1800	2155	2063	2377	2843	3309	3774	3888	4038	4493	4498	4362	4227	4092	4694	5195	5484	5672	5483	5295	5106	4187	3687	4270	4215	4160
2010	Agosto	4104	4049	4094	4153	4491	4905	4783	4661	5272	5172	5071	4849	4548	4372	4197	4022	4156	4144	4154	4222	4419	4616	4812	5051	5361	6096	6751	6779	6806	6834	6789
2010	Septiembre	6745	6701	6782	6547	6312	6077	5655	5157	4807	4701	4806	4910	5015	5189	5086	4873	4828	4707	4585	5192	5416	4945	4645	4693	4901	5108	5316	6017	6717	7198	
2010	Octubre	7680	7632	7581	7339	6947	6387	6061	5387	5301	4702	4646	4595	4333	4021	4000	3851	3702	3553	3389	3321	3214	3069	3051	3033	3015	2907	2784	2644	2818	3007	3196
2010	Noviembre	3385	3165	3078	2773	2638	2716	2795	2873	2625	2364	2174	2048	1994	1940	1886	1668	1567	1465	1572	1996	2420	2844	3424	3379	3087	3052	2929	2805	2682	2558	
2010	Diciembre	2610	2662	2095	2486	2877	3268	2986	2962	2711	2611	2454	2296	2139	1981	1810	1778	1745	1713	1681	1648	1616	1584	1552	1519	1487	1455	1422	1390	1358	1325	1293
2011	Enero	1261	1228	1196	1029	1029	995	1064	1040	1016	992	971	991	1400	1338	1713	2088	2464	2310	2101	1766	1507	1493	1479	1465	1247	1345	1421	1368	1543	1719	1895
2011	Febrero	2070	1812	1703	1510	1454	1398	1342	1330	1325	1094	1094	1086	1079	1071	1447	1682	1551	1379	1399	1418	1438	1456	1423	1412	1121	1070	1019	968			
2011	Marzo	980	991	1003	1014	1025	1037	1048	1059	1071	1082	1094	1105	1116	1128	1139	1150	1162	1173	1185	1196	1207	1219	1230	1242	1253	1264	1276	1287	1298	1310	1321
2011	Abril	1333	1344	1355	1367	1378	1389	1401	1412	1424	1435	1446	1458	1469	1480	1492	1503	1515	1526	1537	1549	1560	1571	1583	1594	1606	1617	1628	1640	1651	1662	
2011	Mayo	1674	1685	1697	1708	1719	1731	1742	1754	1765	1776	1788	1799	1810	1822	1833	1845	1856	1867	1879	1890	1901	1913	1924	1936	1947	1958	1970	1981	1992	2004	2015
2011	Junio	2027	2038	2049	2061	2072	2083	2095	2106	2118	2129	2140	2152	2163	2174	2186	2197	2209	2220	2231	2243	2254	2266	2817	2734	2650	2566	2483	2399	2315	2337	
2011	Julio	1858	1983	2109	2234	2383	2661	2873	3546	3615	3685	3755	3736	3440	3185	3272	3359	3446	3532	3295	3824	3772	3482	3195	2908	2622	2255	1660	1747	1695	1855	2014
2011	Agosto	2173	2235	2793	3352	3770	3438	3106	2773	2528	2128	1897	1739	1676	1613	1550	1684	1923	1943	1719	1801	1882	1964	2551	2885	3151	3417	3417	3417	3424	3612	3800
2011	Septiembre	4176	4811	4699	4586	4474	4211	4212	4422	4136	4051	3967	3882	3957	4084	4268	4280	4367	4454	4540	4692	4770	5014	5323	5551	5779	6007	5716	5306	4889	4664	
2011	Octubre	5037	5411	5785	6036	6187	6340	6341	6460	6578	6697	6526	6341	6300	6763	6894	7026	7158	7290	7158	7280	7268	7281	6767	6252	6115	5978	5675	5283	5122	4961	4801
2011	Noviembre	4203	4141	3858	3783	3741	3699	3657	3661	3497	3299	2979	2890	2802	2713	2558	2402	2246	2141	2111	2081	2051	1960	1862	1780	1679	1650	1621	1591	1563	1508	
2011	Diciembre	1453	1475	1475	1475	1475	1403	1351	1307	1302	1411	1520	1629	1542	1456	1394	1400	1406	1411	1417	1581	1710	1831	1641	1571	1501	1430	1451	1412	1378	1341	1325

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.



Figura 1.c.2 Estación Boca del Cerro, año 2010, Datos Originales



Figura 1.c.3 Estación Boca del Cerro, año 2010, Datos Arreglados.



Figura 1.c.4 Estación Boca del Cerro, año 2011, Datos Originales



Figura 1.c.5 Estación Boca del Cerro, año 2011, Datos Arreglados.

Con estos últimos datos se obtendrán los valores máximos para las duraciones de 1 día hasta 60 días.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL
DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y
SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA.
(MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL
FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS
PANTANOS DE CENTLA

En la tabla 1.c.2, se muestran los valores de los gastos medios máximos anuales registrados, para duraciones de 1 a 10 días. En la misma tabla se marcó con amarillo la información adicional del estudio de 2008 y con azul los valores más grandes que se tienen de registro.

Tabla 1.c.2. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en m³/s.

Boca del Cerro										
año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1949	4089	4074	4060	3990	3891	3762	3643	3531	3403	3279
1950	5157	5131	5101	5060	4986	4936	4827	4725	4620	4524
1951	3840	3754	3724	3620	3539	3442	3366	3280	3209	3139
1952	5539	5490	5454	5420	5351	5281	5197	5134	5075	5005
1953	5108	5108	5086	5061	5029	4990	4937	4888	4817	4726
1954	5239	5210	5193	5166	5140	5108	5080	5055	5039	5016
1955	5794	5786	5759	5738	5718	5695	5667	5639	5608	5556
1956	5425	5421	5390	5360	5329	5308	5267	5260	5220	5175
1957	4331	4282	4265	4273	4231	4157	4102	4014	3920	3825
1958	4236	4213	4195	4149	4086	4020	3955	3888	3838	3796
1959	3546	3510	3439	3349	3250	3185	3108	3035	2969	2931
1960	5225	5210	5194	5155	5101	5043	4991	4934	4945	4958
1961	3953	3939	3899	3844	3769	3689	3622	3565	3515	3473
1962	4566	4508	4462	4365	4278	4138	4016	3879	3744	3707
1963	5240	5174	5108	4977	4835	4714	4603	4519	4448	4397
1964	4118	4066	4022	3910	3826	3724	3630	3606	3616	3630
1965	5631	5483	5462	5462	5440	5391	5328	5279	5222	5173
1966	5815	5808	5659	5580	5485	5415	5364	5322	5287	5258
1967	6572	6425	6368	6258	6148	6071	5988	5911	5811	5710
1968	5306	5265	5241	5205	5144	5129	5124	5092	5055	5006
1969	6101	6101	6051	6004	5971	5949	5920	5873	5807	5738
1970	5789	5766	5721	5692	5670	5654	5619	5573	5520	5443
1971	4531	4432	4321	4233	4240	4216	4174	4122	4125	4146
1972	6022	5966	5932	5918	5921	5912	5892	5856	5819	5765
1973	5894	5876	5869	5865	5850	5806	5747	5653	5577	5495
1974	6168	6150	6009	5936	5817	5734	5600	5482	5337	5194
1975	6401	6399	6328	6291	6218	6152	6054	5979	5879	5792
1976	4849	4844	4838	4828	4787	4751	4697	4650	4580	4514
1977	4689	4575	4529	4443	4356	4248	4132	4002	3894	3860
1978	6041	6031	6019	5970	5917	5872	5803	5738	5642	5563
1979	6376	6370	6367	6345	6315	6287	6266	6237	6184	6156
1980	5634	5615	5606	5591	5561	5540	5500	5455	5394	5329
1981	6642	6642	6624	6603	6572	6529	6487	6429	6377	6305
1982	7593	7586	7579	7575	7565	7517	7483	7439	7427	7413
1983	5251	5227	5214	5191	5153	5126	5088	5043	5007	4951
1984	5478	5467	5450	5439	5428	5420	5400	5383	5361	5344
1985	3852	3820	3737	3682	3621	3575	3530	3515	3549	3555
1988	7553	7524	7476	7442	7381	7330	7270	7208	7153	7089
1989	7231	7226	7191	7152	7096	7039	6984	6947	6923	6919
1990	7544	7515	7451	7383	7319	7216	7088	6991	6871	6760

Tabla 1.c.2. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en m³/s.

Boca del Cerro										
año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1991	5031	4885	4833	4685	4558	4476	4421	4383	4355	4330
1992	5516	5502	5414	5333	5247	5133	5049	4972	4900	4843
1993	5774	5734	5713	5656	5592	5542	5498	5455	5407	5338
1994	4874	4813	4685	4553	4462	4379	4297	4219	4135	4046
1995	7622	7602	7595	7582	7566	7541	7519	7486	7442	7406
1996	5548	5406	5296	5195	5146	5114	5069	4971	4876	4790
1997	5605	5552	5529	5502	5474	5414	5365	5351	5343	5325
1998	7269	7239	7222	7167	7114	7035	6957	6864	6775	6676
1999	6357	6331	6314	6302	6281	6266	6236	6203	6172	6143
2000	5714	5703	5694	5665	5640	5601	5562	5511	5449	5384
2001	5042	5011	4933	4862	4789	4710	4620	4494	4401	4314
2002	4503	4483	4287	4246	4290	4258	4206	4142	4086	4041
2003	6085	5422	5150	4974	4888	4768	4717	4682	4625	4573
2004	5123	5082	5038	5021	5022	5038	5028	5002	4973	4933
2005	6319	6319	6319	6319	6316	6171	6192	6078	5943	5794
2006	6131	6123	5831	5680	5588	5486	5397	5270	5149	4985
2007	4944	4904	4799	4654	4577	4540	4542	4506	4451	4394
2008	8035	8022	7977	7900	7825	7745	7659	7516	7400	7301
2009	4790	4673	4603	4497	4378	4263	4152	4064	3970	3890
2010	7680	7656	7631	7558	7486	7396	7299	7185	7060	6956
2011	7290	7275	7276	7249	7255	7239	7209	7169	7125	7089
Max	8035	8022	7977	7900	7825	7745	7659	7516	7442	7413
Min	3546	3510	3439	3349	3250	3185	3108	3035	2969	2931
Promedio	5633	5586	5533	5477	5423	5364	5304	5240	5177	5117

En la tabla 1.c.2, se observa que los valores registrados en 2008 hasta la duración de 8 días son los más altos registrados en la estación, para 9 días el valor máximo se presenta en 1995 y para 10 días de duración el año de 1982.

Estación Salto de Agua

Se actualizó la información de gastos individuales hasta el mes julio de 2012, pero el estudio solo se realiza hasta diciembre de 2011. En la Tabla 1.c.3, se presenta la información de los años 2008, 2009, 2010 y 2011. En las gráficas se presenta el comportamiento anual de estos años. En ambos años se presentan primero con los datos originales y después con los datos arreglados, considerando que entre mediciones el comportamiento del gasto es lineal.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

Tabla 1.c.3. Datos arreglados de los años 2008 a 2011. Salto de Agua.

Año	mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
2008	1	93	811	1003	878	539	377	188	149	134	124	112	148	129	85	76	78	77	71	67	144	603	378	247	177	147	90	102	129	121	118	102	
2008	2	94	89	83	94	95	95	86	85	85	90	162	170	161	467	453	234	169	121	105	95	88	87	82	78	84	85	84	874	437			
2008	3	252	179	141	121	108	98	90	87	117	114	104	102	141	127	110	97	89	81	78	76	73	71	69	67	137	175	132	109	97	86	84	
2008	4	81	76	73	72	69	68	68	68	67	67	67	66	65	94	593	879	384	247	189	157	151	121	108	101	96	92	89	87	86	151		
2008	5	127	102	107	111	115	100	102	94	89	88	87	88	86	85	84	83	81	80	79	81	79	77	73	75	77	79	253	426	600	774	948	
2008	6	1121	1295	1356	811	380	322	331	340	350	272	205	188	187	186	185	185	184	197	250	227	217	207	197	153	158	175	193	212	231	250		
2008	7	269	261	267	199	298	398	497	333	252	234	218	198	180	162	169	175	152	142	376	610	844	773	461	298	255	228	202	175	161	147	164	
2008	8	167	171	175	178	175	189	165	171	184	156	149	141	145	149	150	151	153	154	133	122	123	119	115	110	106	83	107	118	125	134	143	
2008	9	152	160	168	176	252	357	462	568	403	326	227	226	225	225	224	224	396	746	774	844	913	982	1276	775	949	1242	1152	1062	972	617		
2008	10	1061	893	724	556	388	219	224	230	360	366	417	468	519	482	445	573	775	978	1181	1384	1095	448	395	260	238	211	187	444	381	334	287	
2008	11	240	193	145	142	132	134	142	127	112	97	115	119	282	405	549	692	835	380	236	207	172	154	136	119	118	113	109	108	103	100		
2008	12	97	95	96	120	106	99	92	85	81	82	79	124	115	107	98	89	81	73	70	72	73	75	95	86	80	77	74	70	96	156	109	
2009	1	108	107	100	93	87	89	83	92	86	89	91	94	88	151	214	191	168	146	123	100	97	94	92	89	87	84	80	77	84	93	103	
2009	2	112	122	131	379	190	144	127	111	94	84	101	85	84	83	81	80	79	89	82	70	70	69	68	71	81	81	82	83				
2009	3	83	84	85	86	86	87	88	89	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	96	99	100	101	101	102	103	104	105	105	106	
2009	4	107	108	108	109	110	111	111	112	113	114	114	115	116	117	117	118	119	120	120	121	122	123	123	124	125	126	126	127	128	129		
2009	5	129	130	131	132	132	133	134	135	135	138	137	137	127	137	220	303	386	469	553	326	263	152	155	158	162	144	142	138	151	163	176	
2009	6	189	202	343	222	248	304	360	417	304	233	225	207	225	243	261	279	297	464	454	393	331	270	249	213	219	214	220	227	233	240		
2009	7	246	261	515	428	340	252	201	150	155	192	207	221	236	227	217	208	189	174	160	146	143	152	137	142	136	130	124	138	139	133	128	
2009	8	122	116	111	115	112	97	83	84	85	86	80	93	107	120	134	147	160	174	152	224	146	163	180	197	308	335	204	206	208	210	211	
2009	9	213	215	217	219	220	222	224	226	190	158	136	141	146	151	156	161	140	310	350	390	430	403	376	348	321	294	266	239	212	184		
2009	10	191	176	161	146	130	123	122	110	103	101	99	96	106	92	280	468	658	844	1032	338	198	158	138	151	165	178	162	129	142	135	129	
2009	11	123	116	192	268	600	717	579	440	302	163	164	166	168	169	171	172	174	175	177	178	180	181	183	184	186	187	189	190	192	193		
2009	12	131	120	115	109	148	186	225	150	117	107	100	100	99	98	98	87	112	127	142	156	156	183	153	117	111	106	101	96	112	122	166	
2010	1	209	253	297	340	308	276	244	281	317	354	391	238	183	162	150	138	125	113	101	101	100	102	104	106	108	93	102	97	95	184	272	
2010	2	361	286	212	137	116	116	115	114	226	195	164	162	151	141	130	123	116	109	108	106	104	102	102	101	102	102	102	101				
2010	3	101	101	101	100	100	100	100	99	99	99	98	98	98	98	97	97	97	97	96	96	96	96	96	95	95	95	94	94	94	93	93	
2010	4	93	93	92	92	92	91	91	91	91	90	90	90	90	89	89	89	88	88	88	88	88	87	87	87	87	86	86	86	85	85		
2010	5	85	84	84	84	84	80	81	82	82	82	79	77	77	76	109	142	175	209	242	231	143	136	128	121	140	130	181	170	158	146	134	
2010	6	123	108	105	102	101	101	100	100	96	92	91	93	95	97	313	263	213	163	159	158	153	234	185	146	151	481	811	1140	673	594		
2010	7	516	437	359	281	202	158	155	254	313	285	257	228	183	166	149	132	278	424	570	858	1021	1187	1065	823	582	341	364	340	292	398	504	
2010	8	610	716	822	700	823	757	628	499	371	319	318	286	244	267	291	315	339	362	386	370	381	393	404	785	812	1273	1267	1173	1079	986	892	
2010	9	798	705	611	517	424	330	419	333	290	304	382	460	537	619	701	484	435	386	337	288	358	336	294	280	390	499	609	718	827	937		
2010	10	1046	854	662	470	278	283	248	240	222	203	185	169	174	166	162	158	153	149	145	141	142	137	132	127	122	133	129	122	131	141	150	
2010	11	160	139	163	188	161	170	179	188	164	141	136	124	123	122	120	119	118	103	368	357	347	336	243	201	181	145	208	271	334	396		
2010	12	459	1434	1141	847	554	260	229	205	173	157	164	172	179	186	193	158	123	128	128	130	125	120	119	117	122	126	131	136	129	119	111	
2011	1	109	106	104	157	136	116	103	102	100	96	92	247	435	378	321	283	206	148	132	134	114	111	109	106	106	103	357	309	261	213	165	
2011	2	117	108	107	106	102	98	93	100	231	149	257	259	261	263	196	167	139	130	122	113	104	97	89	93	89	101	113	125				
2011	3	138	150	162	174	186	198	210	222	234	246	258	270	268	262	258	254	250	248	242	238	234	230	227	223	219	215	211	207	203	199	195	
2011	4	191	187	183	179	175	171	167	183	159	155	151	147	144	140	136	132	128	124	120	118	112	108	104	100	96	92	88	84	80	86		
2011	5	91	97	94	92	107	126	120	114	107	96	97	96	95	93	92	91	90	92	90	95	92	89	86	84	83	82	83	84	85	86	87	
2011	6	88	105	102	114	127	139	165	178	136	113	114	116	117	119	111	108	105	103	100	97	95	93	90	96	103	109	116	128	141	153		
2011	7	168	179	191	204	218	460	469	1090	848	607	365	281	490	699	663	628	593	558	331	279	246	207	183	159	136	134	149	165	180	247	314	
2011	8	380	447	32	382	328	271	215	159	149	137	133	135	137	138	140	140	122	104	144	384	623	883	656	371	265	554	551	547	544	541	462	
2011	9	457	414	371	328	285	393	462	357	285	254	224	194	380	511	842	774	761	749	736	832	1223	1620	1492	1364	1236	1108	980	574	549	523		
2011	10	498	472	447	475	503	531	559	586	614	642	1156	1100	1044	988	932	876	820	764	662	513	464											

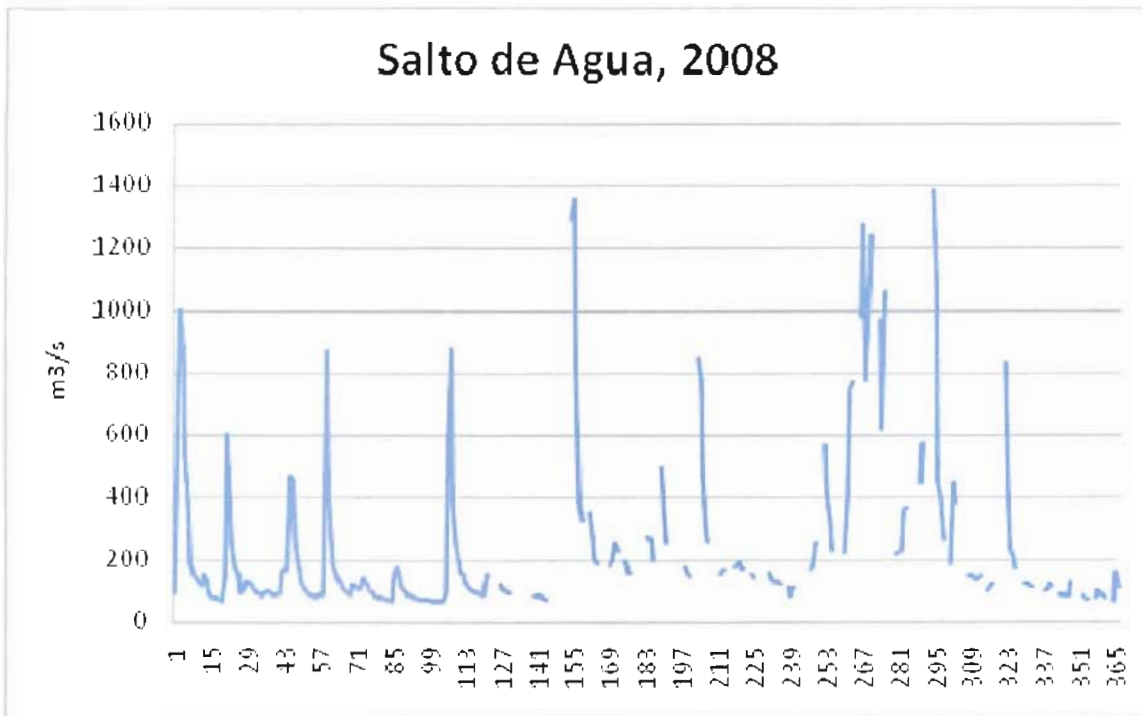


Figura 1.c.6 Estación Salto de Agua, 2008. Datos originales

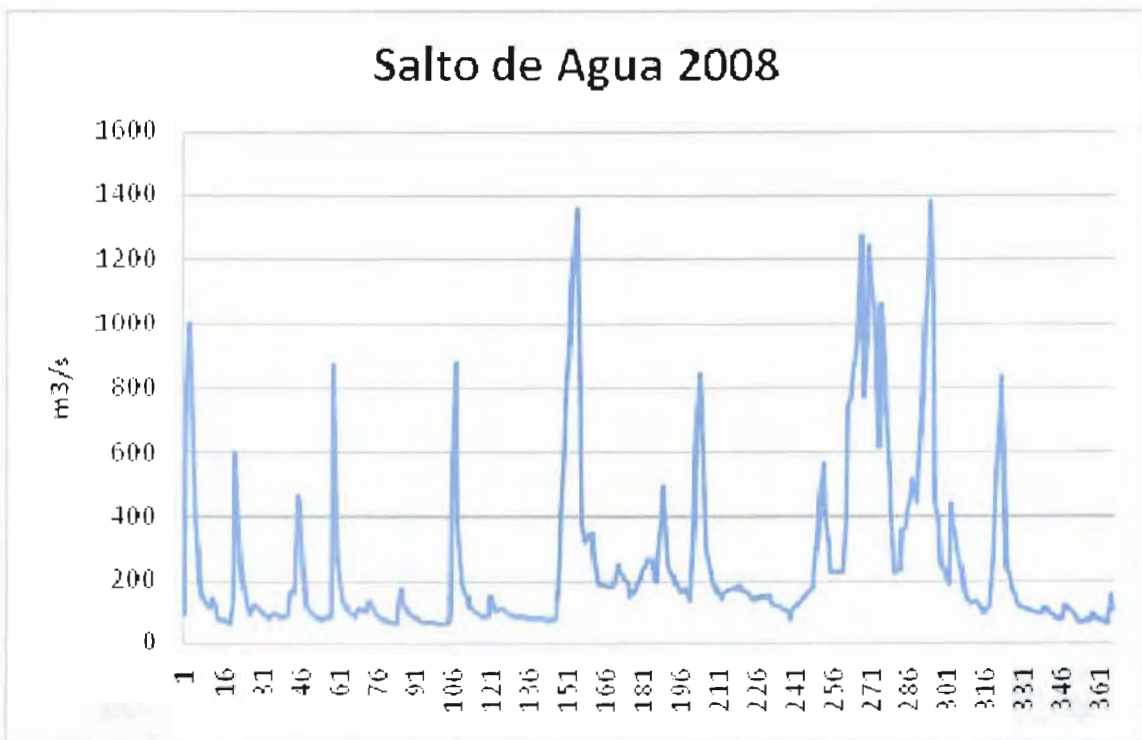


Figura 1.c.7 Estación Salto de Agua, 2008. Datos arreglados

VF

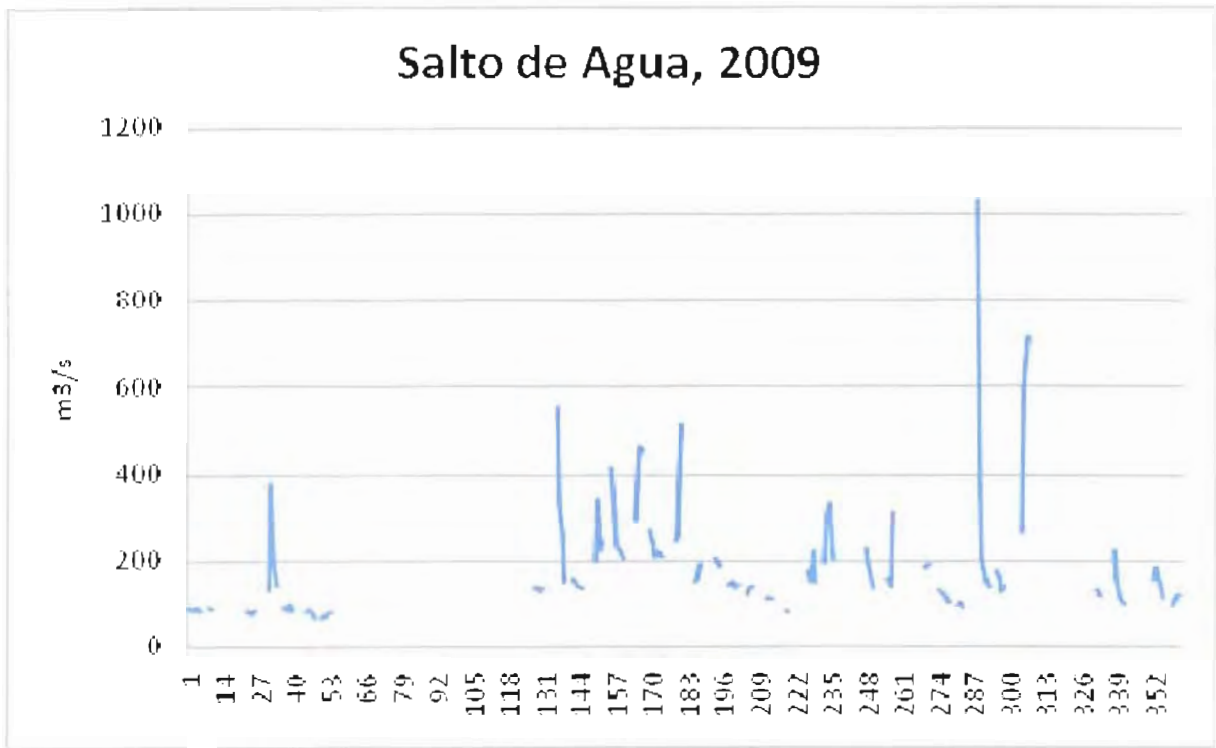


Figura 1.c.8 Estación Salto de Agua, 2009. Datos originales

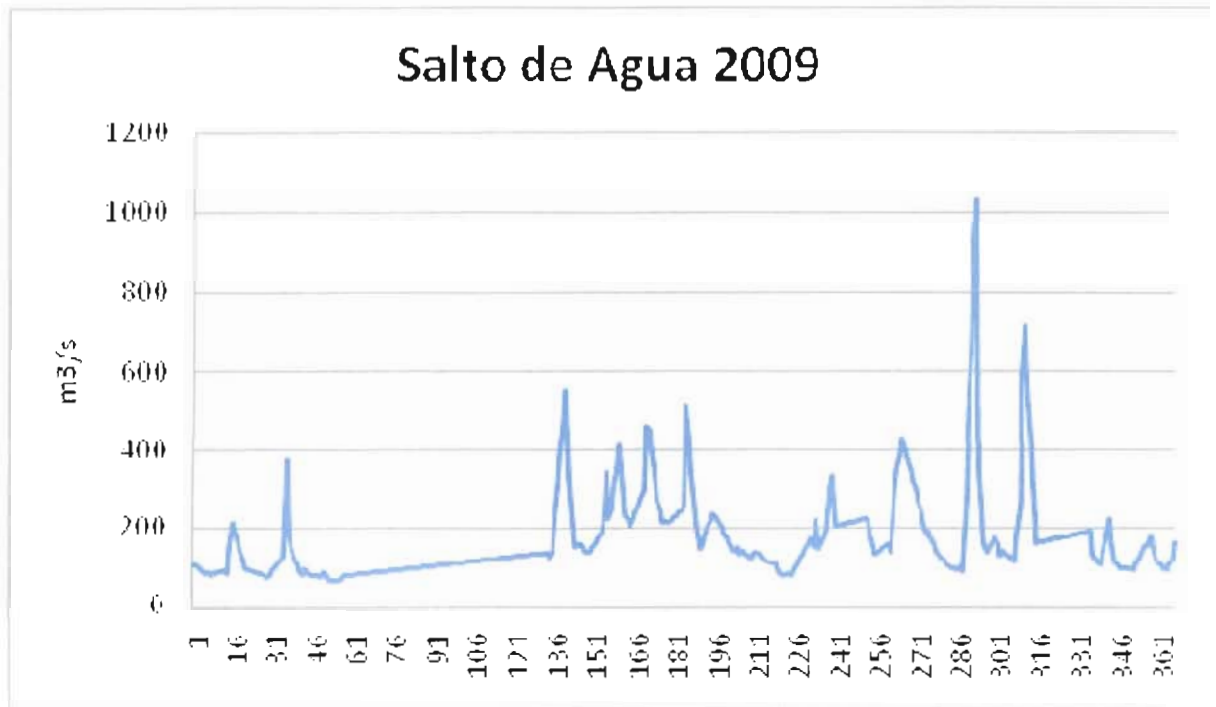


Figura 1.c.9 Estación Salto de Agua, 2009. Datos arreglados



Figura 1.c.10 Estación Salto de Agua, 2010. Datos originales



Figura 1.c.11 Estación Salto de Agua, 2010. Datos arreglados

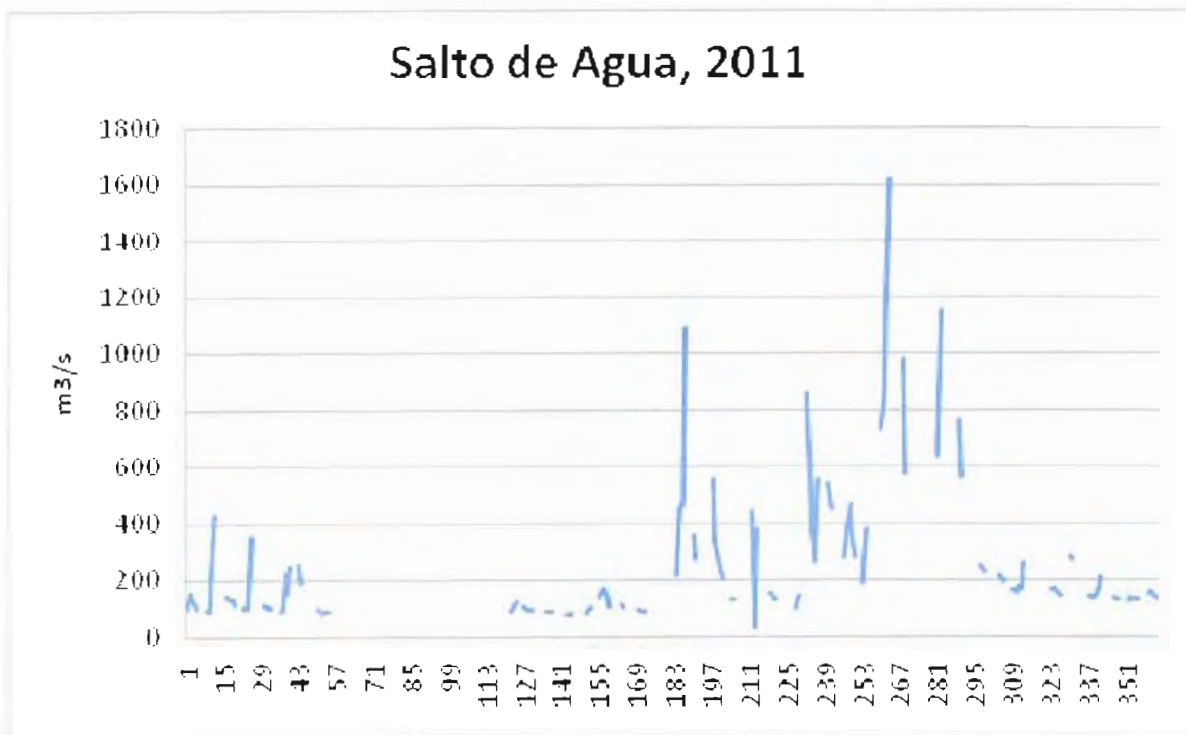


Figura 1.c.12 Estación Salto de Agua, 2011. Datos originales

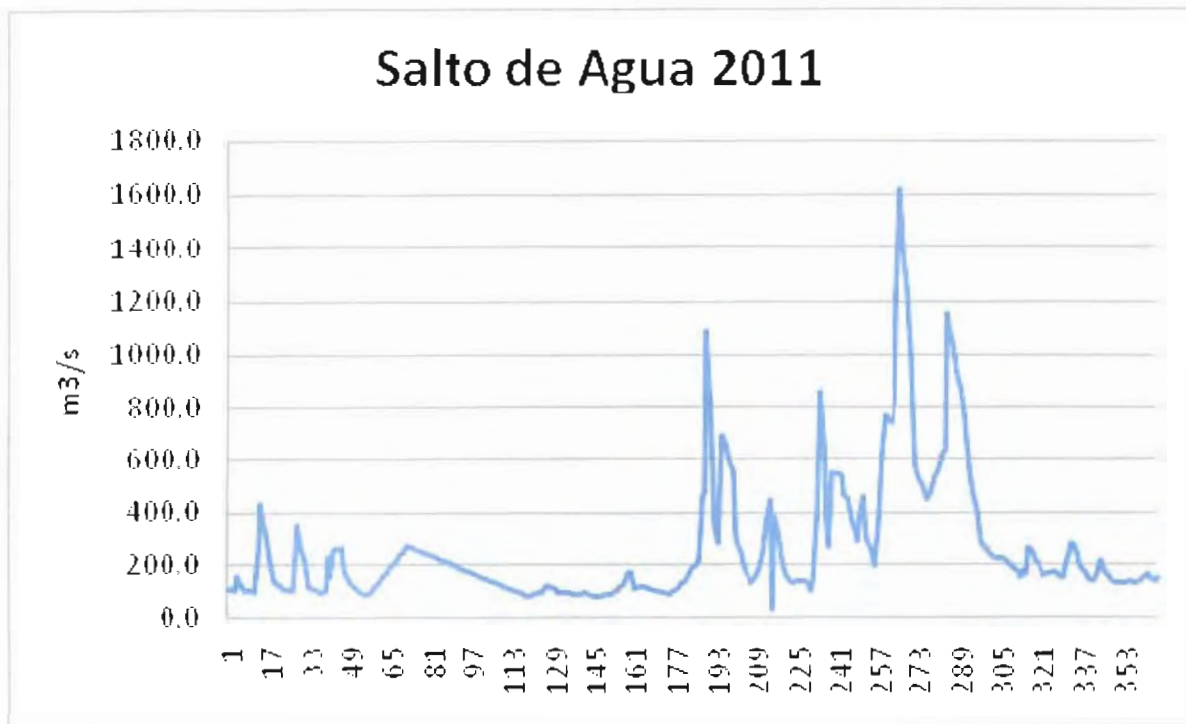


Figura 1.c.13 Estación Salto de Agua, 2011. Datos arreglados

Con estos últimos datos se obtendrán los valores máximos para las duraciones de 1 día hasta 60 días.

En la tabla 1.c.4, se muestran los valores de los gastos medios máximos anuales registrados, para duraciones de 1 a 10 días. En la misma tabla se marcó con azul los valores más grandes que se tienen de registro.

Tabla 1.c.4. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en m³/s.

Salto de Agua										
año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1953	1450	1441	1286	1184	1069	1014	965	905	860	817
1954	894	767	743	710	708	690	670	644	621	604
1955	1424	1350	1317	1233	1230	1234	1204	1162	1106	1046
1956	1237	1220	1214	1209	1181	1143	1111	1085	1041	990
1957	1260	1056	972	879	787	725	672	622	578	542
1958	1189	1183	1106	1039	971	909	883	841	805	765
1959	1426	1343	1164	1028	908	808	730	669	620	580
1960	1081	974	843	787	720	669	635	619	596	568
1961	1328	1162	1084	957	846	757	709	667	654	641
1962	1050	1020	974	905	817	749	696	651	631	616
1963	1175	1160	1043	951	869	806	771	793	795	796
1964	1672	1605	1481	1238	1083	959	864	849	819	784
1965	877	863	767	712	665	641	640	650	659	651
1966	1144	1031	947	886	797	744	771	754	740	708
1967	2022	1984	1936	1862	1772	1604	1469	1336	1235	1177
1968	1536	1291	1079	880	788	740	684	635	595	562
1969	1273	1216	1154	1034	905	852	835	806	773	753
1970	1079	1051	907	829	785	737	710	674	645	655
1971	1359	1280	1151	1001	878	780	714	663	622	588
1972	1060	860	662	560	504	489	474	456	434	410
1973	1995	1945	1870	1804	1684	1574	1463	1352	1263	1194
1974	1429	1412	1288	1172	1047	1007	930	863	800	745
1975	2431	2067	1732	1553	1317	1189	1139	1109	1075	1008
1976	1023	939	793	696	622	586	556	530	512	502
1977	1091	1023	909	777	674	600	542	494	487	476
1978	1238	1145	1080	942	869	823	803	790	771	749
1979	1174	1044	934	816	748	716	689	670	649	629
1980	1091	1070	1051	1000	961	902	855	796	759	723
1981	1310	1233	1172	1089	1007	983	975	942	954	956
1982	1017	960	906	876	837	806	769	738	727	708
1983	986	924	898	829	781	704	642	595	559	528
1984	1238	1201	1172	1098	1030	967	908	868	840	827
1985	878	845	722	693	683	661	653	640	625	601
1986	1267	1266	1215	1172	1088	990	918	861	814	769
1988	2006	1971	1931	1870	1807	1753	1676	1596	1511	1440
1990	1602	1572	1536	1459	1437	1412	1383	1335	1284	1235
1991	1157	1098	892	784	688	613	561	522	488	481
1992	1278	1268	1199	1164	1112	1055	989	938	885	831

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL
DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y
SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA.
(MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL
FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS
PANTANOS DE CENTLA.

Tabla 1.c.4. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en m³/s.

Salto de Agua										
año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1993	1060	942	815	714	634	590	557	532	509	505
1994	1034	1019	911	844	757	693	645	647	679	675
1995	1210	1103	987	903	829	766	735	729	721	702
1996	1036	957	827	735	691	643	637	633	619	594
1997	1230	1047	860	739	658	592	558	553	546	523
1998	1059	1048	974	927	889	872	848	807	768	729
1999	1815	1808	1706	1609	1536	1470	1484	1489	1434	1371
2000	1618	1285	1043	918	838	781	742	707	683	669
2001	2646	2525	2104	1823	1585	1387	1232	1148	1073	1006
2002	871	791	713	669	662	611	562	515	510	501
2003	1433	1413	1380	1266	1157	1078	999	935	879	829
2004	1523	1253	1082	904	803	841	819	774	747	725
2005	2252	1267	997	963	892	834	750	734	744	713
2006	1402	1393	1296	1182	1124	1108	1094	1073	1048	1040
2007	1544	1425	1207	1085	972	917	958	936	912	886
2008	1384	1326	1257	1180	1106	1076	1063	1051	1036	1017
2009	1032	938	844	750	668	603	545	497	457	426
2010	1434	1288	1238	1198	1156	1112	1069	1035	1007	977
2011	1620	1556	1492	1428	1387	1341	1289	1232	1177	1134
Max	2646	2525	2104	1870	1807	1753	1676	1596	1511	1440
Min	871	767	662	560	504	489	474	456	434	410
Promedio	1350	1249	1138	1044	965	907	864	827	796	766

En la tabla 1.c.4, se observa que los valores más altos para las duraciones de 1 a 3 días se presentan en el año de 2001 y para las restantes se presentan en 1988.

Estación San Pedro

Se actualizó la información de gastos individuales hasta el año 2010. En las gráficas se presenta el comportamiento anual de 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010. En estos años se presentan primero con los datos originales y después con los datos arreglados, considerando que entre mediciones el comportamiento del gasto es lineal.

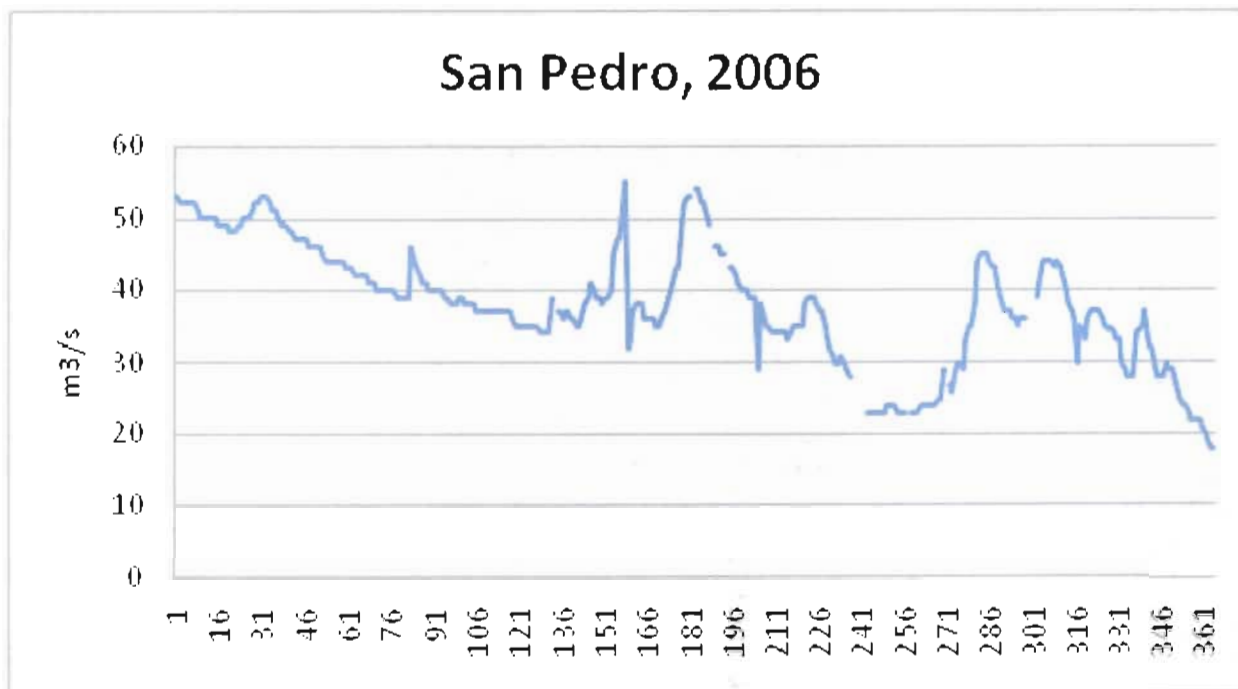


Figura 1.c.14 Estación San Pedro, 2006. Datos originales



Figura 1.c.15 Estación San Pedro, 2006. Datos corregidos

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA



Figura 1.c.16 Estación San Pedro, 2007. Datos originales



Figura 1.c.17 Estación San Pedro, 2007. Datos arreglados

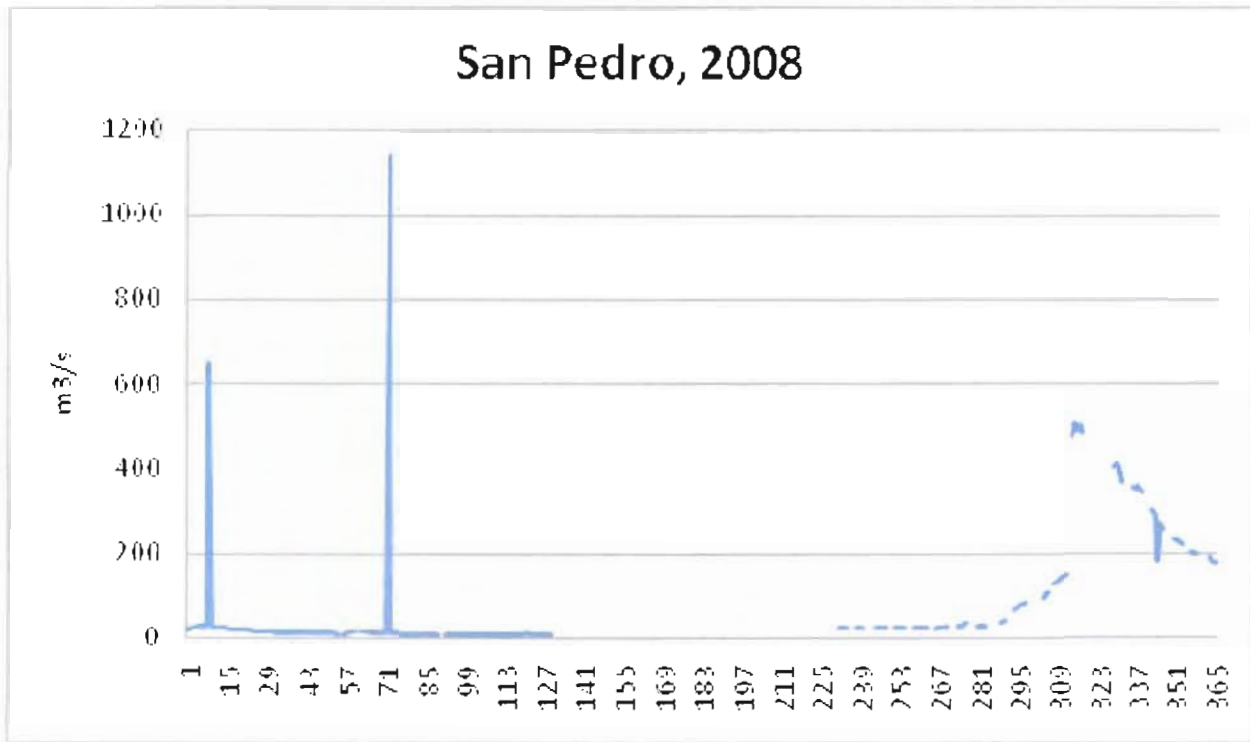


Figura 1.c.18 Estación San Pedro, 2008. Datos originales

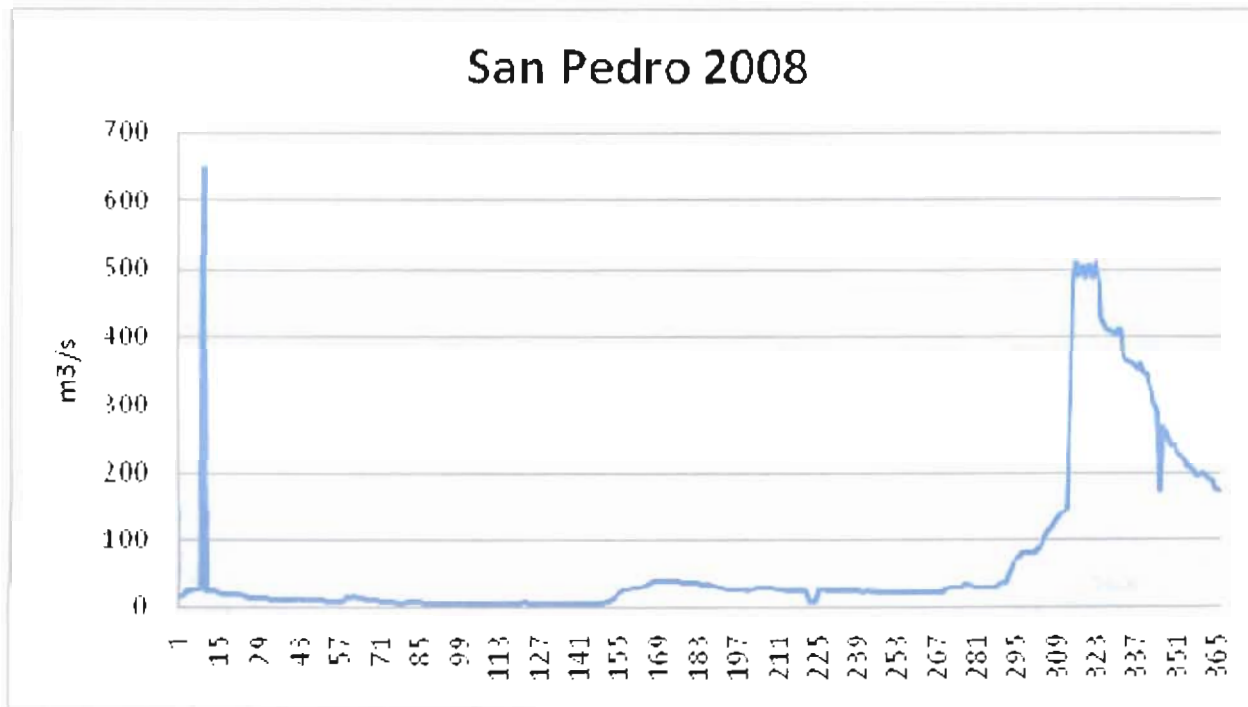


Figura 1.c.19 Estación San Pedro, 2008. Datos arreglados

VF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

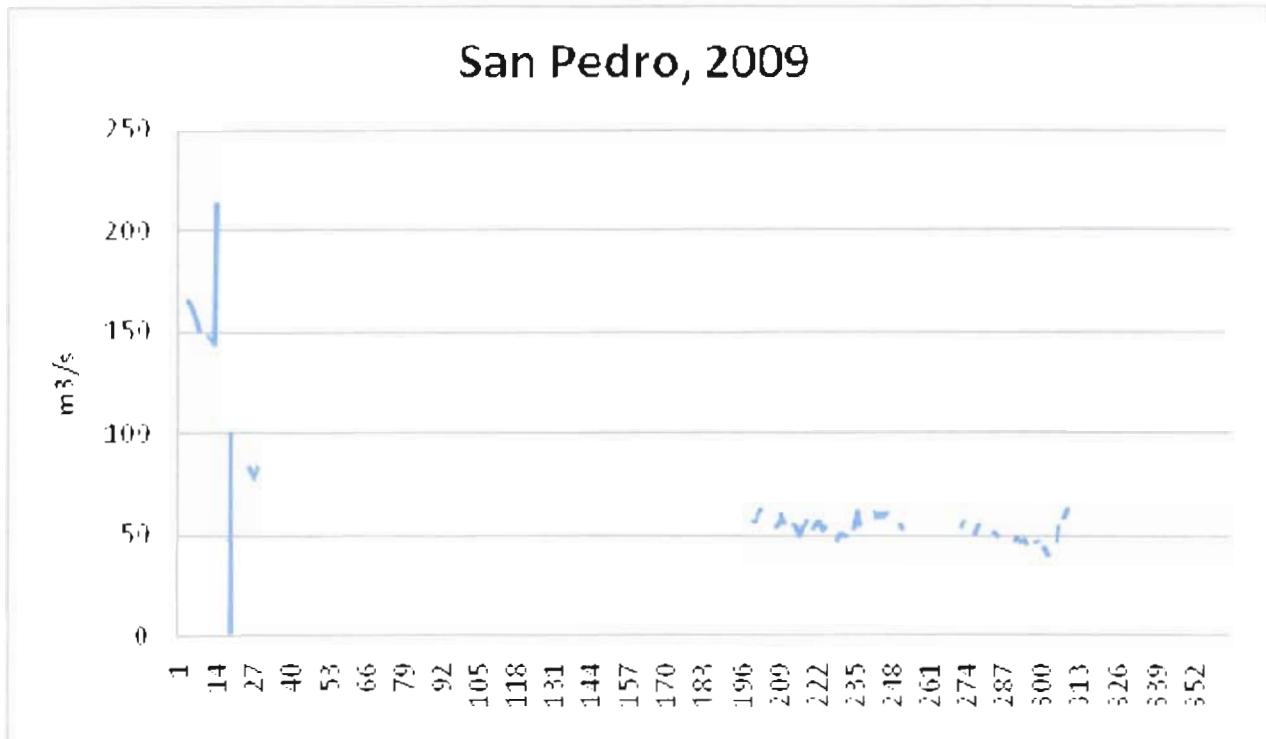


Figura 1.c.20 Estación San Pedro, 2009. Datos originales

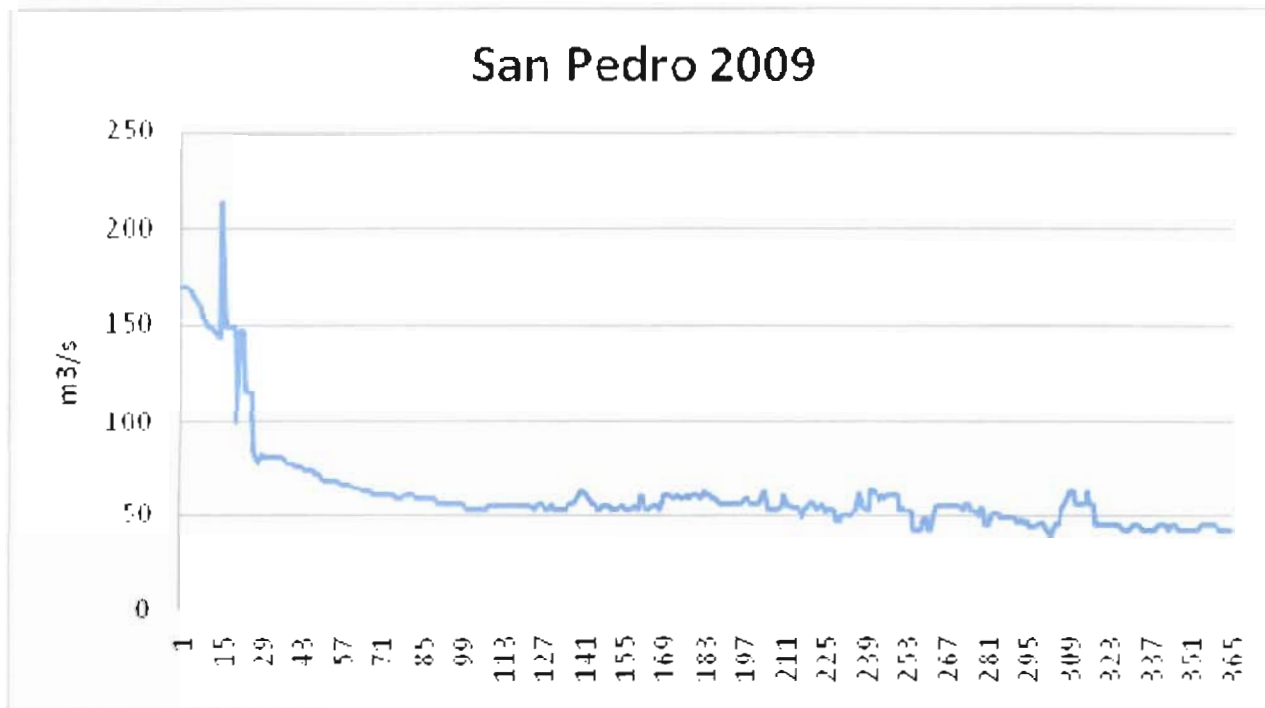


Figura 1.c.21 Estación San Pedro, 2009. Datos arreglados



Figura 1.c.22 Estación San Pedro, 2010. Datos originales

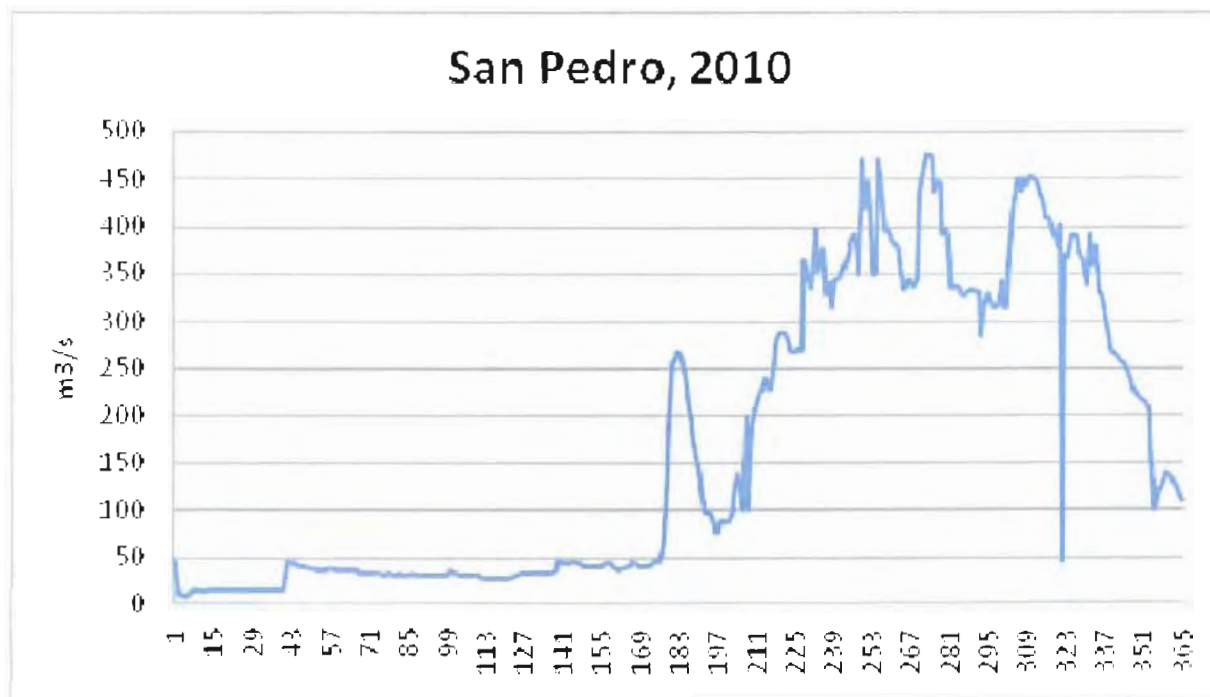


Figura 1.c.23 Estación San Pedro, 2010. Datos arreglados

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL
DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y
SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA.
(MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL
FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS
PANTANOS DE CENTLA.

Con estos últimos datos se obtuvieron los valores máximos para las duraciones de 1 día hasta 60 días.

En la tabla 1.c.5, se muestran los valores de los gastos medios máximos anuales registrados, para duraciones de 1 a 10 días. En la misma tabla se marcó con azul los valores más grandes que se tienen de registro.

Tabla 1.c.5. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en m³/s.

San Pedro										
año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1953	405	405	404	402	399	395	392	388	385	382
1954	474	465	459	460	455	449	442	438	436	432
1955	655	651	646	639	635	632	628	619	602	590
1956	583	581	567	551	546	540	533	528	523	516
1957	149	144	142	143	142	141	141	139	137	136
1958	182	182	180	179	178	177	176	174	172	169
1959	112	111	110	109	108	108	109	108	108	107
1960	247	246	246	246	245	245	244	244	243	243
1961	214	213	212	212	210	209	208	209	209	209
1962	118	117	115	116	115	115	114	113	112	111
1963	422	419	417	416	416	416	415	415	414	415
1964	102	102	101	101	100	100	100	100	98	96
1965	347	341	337	332	325	319	314	309	310	310
1966	626	622	611	596	581	569	559	549	538	528
1967	178	176	175	175	174	173	171	170	167	166
1968	257	247	241	236	229	225	224	224	223	221
1969	239	237	236	234	233	232	231	230	229	228
1970	200	193	189	187	185	183	181	181	180	179
1971	74	74	73	73	72	71	70	70	69	69
1972	154	154	153	151	150	149	147	145	141	138
1973	232	217	211	208	204	198	192	188	185	182
1974	58	58	57	57	57	57	57	56	55	55
1975	164	162	161	156	151	146	141	136	131	126
1976	150	150	149	147	146	145	144	143	140	138
1977	115	114	111	109	107	106	104	102	100	98
1978	191	191	188	186	182	180	179	179	177	175
1979	508	503	502	501	500	500	500	500	500	500
1980	485	484	483	481	479	478	477	476	474	474
1981	158	158	158	158	158	158	158	158	157	157
1982	373	373	369	368	365	362	359	356	353	350
1983	155	155	154	152	151	149	147	146	146	145
1984	293	293	292	289	287	285	281	277	274	271
1985	111	111	111	111	110	110	110	110	109	109
1987	227	218	206	200	204	202	194	190	187	186
1988	326	318	310	302	297	293	289	285	282	279
1989	503	501	499	496	494	492	490	487	484	481
1990	260	253	250	248	245	243	242	241	239	237

Tabla 1.c.5. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en m³/s.

San Pedro										
año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1991	200	196	190	191	191	188	185	186	187	185
1992	219	219	217	213	210	211	210	207	205	203
1993	181	181	181	180	179	178	177	177	176	176
1994	206	206	206	206	206	205	204	204	203	199
1999	177	177	177	177	176	175	173	171	170	169
2000	120	120	120	120	120	120	119	119	119	118
2001	28	28	28	28	27	27	26	26	26	25
2002	51	51	51	51	51	50	50	49	49	49
2003	182	177	175	175	174	174	174	174	174	172
2004	58	58	57	54	52	51	50	49	48	47
2005	117	117	116	116	115	115	114	114	113	113
2006	55	54	54	54	54	53	53	53	53	52
2007	86	86	85	85	84	84	83	82	82	81
2008	649	503	500	500	498	499	497	498	496	494
2009	214	182	171	169	168	168	167	165	163	162
2010	476	475	474	465	461	458	455	453	448	447
Max	655	651	646	639	635	632	628	619	602	590
Min	28	28	28	28	27	27	26	26	26	25
Promedio	247	241	238	236	234	232	230	228	226	224

En la tabla 1.c.5, se observa que los valores registrados en 1955 son los más altos registrados en la estación.

Estación Macuspana

El estudio anterior solo contó con información hasta el año 2007, la nueva información viene con muy pocos datos de gastos aforados; sin embargo si se cuenta con muchos más datos de mediciones de elevaciones del nivel del agua en la escala de la estación de aforos, por lo que se le ajustó una función polinómica de 2º grado a las parejas disponibles de gasto y escala, para obtener los datos faltantes, en la siguiente figura se presenta la obtención de la ecuación y en la tabla 1.c.6 los gastos obtenidos para los años de 2008 a 20011.

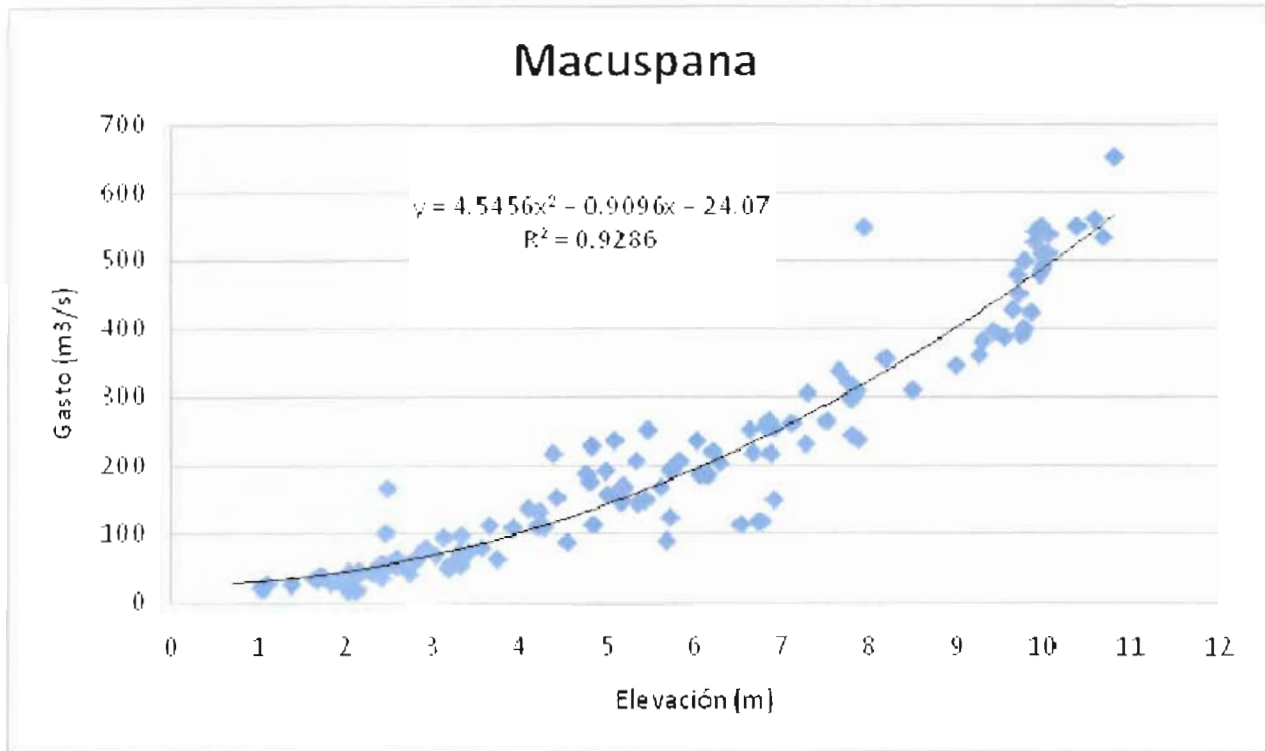


Figura 1.c.24 Ajuste función Polinómica a datos de la estación Macuspána.

ACCIONES COMPLEMENTARIAS DEL PLAN HÍDRICO INTEGRAL DE TABASCO

Tabla 1.c.6. Gastos medios máximos anuales corregidos para diferentes duraciones, en m³/s, estación Macuspana.

Año	mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2008	1	41	46	313	366	382	384	378	359	306	221	132	88	68	61	61	56	46	44	44	44	221	288	295	278	272	124	86	78	79	71	60
2008	2	53	49	45	45	43	41	39	38	38	38	37	124	126	107	198	213	194	134	82	61	53	48	44	43	41	39	38	72	166		
2008	3	164	115	78	61	52	54	54	48	66	82	68	54	108	111	84	63	53	48	44	41	40	39	38	37	39	65	67	54	47	42	40
2008	4	37	36	35	34	34	34	33	33	32	32	32	31	31	31	104	245	262	240	190	110	69	56	49	48	46	42	41	39	40	224	
2008	5	224	203	130	73	54	51	49	42	40	39	37	37	35	35	35	34	33	33	35	35	33	33	32	32	32	35	42	40	76	139	
2008	6	243	324	364	386	396	392	379	356	315	244	175	130	116	115	132	129	107	100	100	107	100	85	78	80	76	72	76	133	211	220	
2008	7	211	189	162	150	129	146	213	229	207	147	110	95	95	192	176	133	112	55	66	68	153	217	257	229	174	122	107	92	78	69	62
2008	8	65	62	61	60	57	67	72	66	67	70	67	81	82	71	61	67	74	65	51	43	37	36	45	44	29	30	31	42	34	63	61
2008	9	53	47	55	74	80	96	97	206	251	264	257	186	129	88	71	56	55	186	548	376	405	360	395	387	399	423	486	504	549	559	
2008	10	533	651	560	548	533	518	503	488	473	466	459	448	437	426	414	402	399	397	402	408	415	415	410	399	374	328	263	208	239	234	199
2008	11	163	138	123	112	103	97	91	86	82	78	75	72	69	67	64	64	101	170	146	108	88	78	71	67	62	60	57	55	53	51	
2008	12	50	57	61	54	50	46	45	45	45	44	48	69	75	69	55	49	46	44	43	41	40	40	42	69	65	52	46	43	40	41	93
2009	1	109	91	78	63	49	46	44	40	39	38	37	40	48	87	168	207	180	140	103	76	60	52	47	44	44	42	41	40	38	37	42
2009	2	105	154	122	107	122	95	73	61	54	24	24	45	43	41	41	40	37	38	37	36	35	35	34	34	35	35	34				
2009	3	34	34	73	81	59	46	44	41	39	37	35	34	34	34	34	34	33	33	34	44	45	40	39	36	34	34	33	33	32	32	32
2009	4	31	31	31	31	31	31	31	31	80	115	86	55	45	40	38	36	34	34	33	32	31	33	50	46	52	38	35	34	33	24	
2009	5	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29	29	29	29	34	110	139	102	61	46	44	40	36	35	34	33
2009	6	32	32	33	47	47	47	47	71	48	46	40	40	38	37	37	36	37	39	54	65	59	51	48	51	46	45	44	45	43	42	
2009	7	42	44	45	84	84	60	44	41	40	39	39	41	41	41	43	42	40	39	39	38	38	38	37	37	37	36	36	36	36	35	35
2009	8	35	34	34	34	37	37	37	39	55	49	41	38	37	36	53	50	41	41	48	81	88	86	68	78	121	139	133	134	197	269	268
2009	9	215	128	83	74	74	75	65	82	97	98	80	61	61	62	56	60	52	48	53	70	136	179	181	157	201	261	264	274	261	218	
2009	10	166	118	90	74	64	57	50	48	46	44	42	41	41	40	38	37	36	35	224	296	298	274	203	111	64	107	88	67	61	58	68
2009	11	46	46	46	63	131	299	345	349	341	308	238	248	270	239	178	118	90	79	71	62	57	53	51	50	49	72	116	214	230	206	
2009	12	156	96	71	60	54	57	126	144	106	75	64	58	61	60	51	45	42	42	41	44	43	50	64	57	49	44	43	41	40	39	47
2010	1	46	42	188	237	229	214	177	187	97	105	166	170	137	100	79	68	60	57	55	51	49	46	42	41	41	41	40	40	39	38	39
2010	2	162	206	204	157	93	64	54	51	48	102	67	141	150	138	110	82	64	61	56	52	48	44	40	39	40	63	65	53			
2010	3	44	41	40	39	39	39	39	39	38	38	38	38	38	37	37	37	37	37	37	53	48	41	40	47	46	41	39	38	38	61	103
2010	4	79	54	42	40	38	38	37	36	35	34	34	34	34	33	33	33	34	34	33	32	32	32	31	31	31	31	31	31	30	29	
2010	5	30	30	30	30	29	30	30	31	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	40	62	68	49	49	37	37	36	45	54	64	59	50
2010	6	42	40	39	36	36	36	42	41	37	35	34	34	33	36	44	86	128	138	122	83	64	75	106	124	129	181	262	339	370	24	
2010	7	373	373	311	302	157	111	92	92	105	145	166	146	108	84	69	63	60	107	211	288	318	349	373	382	382	371	345	321	292	238	184
2010	8	172	189	265	305	337	362	371	368	360	346	330	295	256	201	152	146	236	317	328	345	358	371	381	390	400	412	421	434	441	443	441
2010	9	445	438	429	419	412	396	379	354	313	248	234	207	198	269	331	349	352	24	318	280	224	203	192	185	211	301	368	24	421	24	
2010	10	452	459	457	449	435	413	379	325	252	187	149	129	115	106	100	95	90	86	82	78	75	72	69	67	65	63	61	46	54	112	107
2010	11	85	72	67	73	95	100	102	97	90	79	70	63	24	55	53	51	49	48	50	110	265	285	257	184	116	87	73	66	62	57	
2010	12	54	224	345	24	389	384	365	315	292	154	114	24	84	78	80	24	70	64	59	55	52	50	48	46	45	44	42	41	40	39	38
2011	1	38	39	92	113	121	94	65	51	43	39	36	37	124	224	268	256	211	134	87	68	59	54	51	49	47	45	48	111	118	88	65
2011	2	55	49	46	51	54	50	49	48	112	169	174	227	247	253	227	169	110	82	68	59	54	50	47	44	42	40	39	38			
2011	3	37	63	152	129	82	58	50	56	64	53	70	162	189	148	97	71	68	86	88	69	55	48	44	42	40	39	37	36	36	35	34
2011	4	35	35	34	34	33	33	44	51	41	37	35	34	33	33	32	32	32	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	30	30	30
2011	5	30	30	29	29	29	32	37	42	40	34	32	30	29	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27
2011	6	27	28	31	31	31	46	47	47	42	39	34	34	28	39	39	34	26	32	31	23	22	22	21	30	30	31	27	39	77	72	
2011	7	62	53	46	167	217	228	236	251	277	312	296	264	217	118	149	231	206	113	118	213	182	133	96	96	64	64	55	57	95	79	72
2011	8	98	235	337	356	355	319	268	124	88	63	51	42	55	50	17	16	44	43	46	48	47	109	206	219	196	167	184	228	254	261	305
2011	9	321	308	306	269	185	145	168	150	113	110	92	72	111	170	203	231	312	318	243	237	309	345	381	455	473	493	538	510	486	478	
2011	10	479	472	427	390	450	478	498	480	483	541	526	542	549	510	491	493	501	508	512	511	503	493	479	464	24	417	383	330	258	231	246
2011	11	221	90	147	130	167	140	119	105	95	88	95	211	258	237	177	24	99	103	233	242	203	138	99	83	74	69	64	72	199	210	
2011	12	162	108	83	71	64	60	57	114	194	207	160	106	81	69	62	57	54	52	51	50	49	47	46	45	110	113	85	68	127	114	82

Handwritten signature or initials.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL
DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y
SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA.
(MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL
FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS
PANTANOS DE CENTLA.

Con estos últimos datos se obtuvieron los valores máximos para las duraciones de 1 día hasta 60 días. En la tabla 1.c.7, se muestran los valores de los gastos medios máximos anuales registrados, para duraciones de 1 a 10 días. En la misma tabla se marcó con azul los valores más grandes que se tienen de registro.

Tabla 1.c.7. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en m³/s

Macuspana										
año	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
1956	910	896	890	862	845	817	792	771	750	730
1957	574	572	565	561	556	551	544	537	530	523
1958	635	630	628	621	613	603	593	581	572	561
1959	619	613	609	598	586	572	559	551	542	532
1960	529	522	516	511	505	496	486	477	467	458
1961	635	635	629	623	616	603	591	572	554	536
1962	456	453	448	439	432	427	420	408	401	399
1963	431	431	428	424	419	414	409	406	403	400
1964	542	539	533	528	519	512	503	493	485	478
1965	477	476	473	469	463	457	447	437	426	413
1966	459	459	455	454	450	444	431	420	412	406
1967	1278	1237	1214	1154	1092	1037	992	954	917	882
1968	563	557	552	539	526	516	504	495	482	471
1969	475	474	473	470	468	466	464	462	459	456
1970	433	433	432	431	428	423	418	412	407	400
1971	452	452	449	447	437	429	415	410	407	404
1972	543	542	537	531	523	511	501	486	464	438
1973	1015	1011	1006	1000	988	978	967	956	942	925
1974	561	560	553	544	532	517	504	482	467	455
1975	776	761	754	733	716	701	686	673	661	649
1976	639	637	629	624	615	601	592	579	567	554
1977	586	585	577	570	554	537	521	503	481	460
1978	920	913	888	864	844	818	792	771	751	734
1979	632	627	624	614	601	590	581	580	580	578
1980	648	640	636	625	614	602	592	583	574	566
1981	669	666	665	663	660	658	656	651	647	642
1982	531	527	525	522	517	511	504	497	490	483
1983	442	437	426	412	398	386	375	363	351	339
1984	553	550	549	543	539	531	524	515	507	498
1985	388	375	370	357	351	341	331	320	309	299
1986	397	396	395	393	391	387	384	378	370	363
2001	1006	998	987	980	961	826	845	858	862	865
2002	1010	1003	996	988	979	967	951	946	944	942
2003	1075	1074	1069	1065	1058	1048	1039	1024	1012	1006
2004	908	902	892	880	863	827	799	769	740	709
2005	964	963	958	944	912	880	851	850	845	841
2006	1221	1218	1214	1212	1208	1203	1198	1191	1184	1178
2007	1173	1117	1113	1105	1096	1089	1080	1069	1056	1046
2008	651	606	586	576	570	567	562	556	551	546
2009	349	347	345	336	328	313	304	300	293	281

Tabla 1.c.7. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en m³/s

Macuspana										
año	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2010	459	458	456	454	450	444	439	437	435	432
2011	549	546	539	540	534	527	522	519	518	517
Max	1278	1237	1214	1212	1208	1203	1198	1191	1184	1178
Min	347	345	336	328	313	304	300	293	281	267
Prom	670	663	657	648	637	622	611	601	591	581

En la tabla 1.c.7, se observa que para las primeras 3 duraciones los valores máximos se presentan en el año de 1967, y para las restantes duraciones los valores máximos son en el año de 2006.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA, (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Estación Boca del Cerro

En las siguientes figuras se muestran en forma gráfica los resultados obtenidos al ajustar una función de distribución de probabilidades a los gastos máximos para 1, 2, 5, 10 y 15 días de duración. Adicionalmente, en la tabla 1.c.8 se indican los valores estimados para distintos periodos de retorno y duraciones para la estación Boca del Cerro.

Tabla 1.c.8. Gastos medios estimados, en m³/s, para duraciones de 1 a 10 días y distintos periodos de retorno.

Con los datos disponibles en el año 2000

BOCA DEL CERRO ESTUDIO 2000, GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	5417	5359	5302	5236	5173	5110	5046	4983	4922	4865
5	6420	6335	6262	6194	6134	6076	6018	5960	5899	5838
10	7084	6981	6897	6828	6771	6716	6661	6607	6546	6482
20	7722	7600	7507	7436	7382	7330	7279	7228	7166	7100
50	8546	8402	8296	8223	8172	8125	8078	8031	7970	7900
100	9164	9003	8887	8812	8764	8721	8677	8633	8572	8500
200	9780	9602	9476	9400	9354	9314	9274	9232	9171	9097
500	10593	10392	10254	10175	10133	10097	10061	10024	9963	9885
1000	11207	10989	10841	10761	10721	10689	10656	10622	10561	10480
2000	11821	11586	11428	11347	11309	11280	11251	11219	11159	11075
5000	12632	12375	12204	12121	12087	12062	12037	12010	11949	11862
10000	13245	12971	12791	12706	12675	12653	12631	12607	12546	12457

Con los datos actualizados al 2007

BOCA DEL CERRO ESTUDIO 2008, GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	5377	5328	5273	5216	5161	5101	5041	4979	4919	4861
5	6259	6216	6168	6124	6078	6025	5973	5915	5855	5793
10	6843	6803	6760	6725	6685	6637	6590	6535	6474	6411
20	7403	7367	7328	7302	7267	7224	7181	7129	7069	7003
50	8127	8096	8063	8048	8021	7984	7947	7898	7838	7770
100	8671	8643	8614	8607	8586	8554	8521	8475	8415	8344
200	9212	9187	9163	9165	9149	9121	9092	9049	8990	8917
500	9926	9906	9887	9900	9891	9870	9847	9807	9748	9672
1000	10466	10449	10434	10456	10452	10435	10417	10380	10320	10243
2000	11005	10992	10982	11011	11013	11001	10987	10952	10893	10814
5000	11718	11710	11705	11745	11755	11748	11740	11709	11650	11568
10000	12257	12252	12252	12301	12316	12314	12309	12281	12222	12138

Con los datos actualizados a octubre de 2009

BOCA DEL CERRO ESTUDIO 2009, GUMBEL, datos Octubre 2009										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	5394	5344	5290	5238	5186	5102	5056	4998	4936	4873
5	6437	6385	6334	6298	6260	6193	6163	6114	6050	5979
10	7127	7074	7025	6999	6971	6915	6896	6852	6788	6711
20	7789	7735	7688	7672	7653	7608	7599	7561	7496	7414
50	8646	8591	8547	8544	8536	8505	8509	8477	8411	8323
100	9288	9232	9190	9196	9198	9177	9191	9164	9098	9005
200	9928	9871	9831	9847	9857	9847	9870	9849	9782	9684
500	10772	10714	10676	10705	10727	10730	10767	10752	10684	10579
1000	11410	11351	11315	11354	11385	11398	11444	11435	11366	11256
2000	12048	11988	11954	12002	12042	12066	12121	12117	12047	11933
5000	12891	12830	12798	12859	12910	12948	13016	13019	12948	12827
10000	13528	13467	13437	13507	13567	13615	13693	13701	13629	13504

Con los datos actualizados a diciembre de 2011

BOCA DEL CERRO ESTUDIO 2012, GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	5456	5407	5353	5295	5240	5179	5118	5054	4991	4932
5	6408	6368	6322	6276	6229	6175	6120	6057	5992	5929
10	7039	7004	6964	6925	6884	6835	6783	6721	6655	6589
20	7644	7613	7579	7548	7513	7467	7420	7358	7291	7222
50	8426	8403	8376	8355	8326	8287	8244	8183	8114	8041
100	9013	8995	8973	8959	8936	8900	8861	8801	8730	8655
200	9597	9584	9567	9561	9543	9512	9476	9416	9345	9267
500	10368	10362	10352	10355	10345	10319	10288	10229	10155	10074
1000	10951	10950	10945	10955	10950	10929	10901	10842	10768	10684
2000	11534	11537	11538	11555	11556	11538	11514	11456	11380	11294
5000	12303	12314	12321	12348	12356	12344	12324	12267	12190	12100
10000	12886	12901	12914	12948	12961	12953	12937	12881	12802	12709

VF

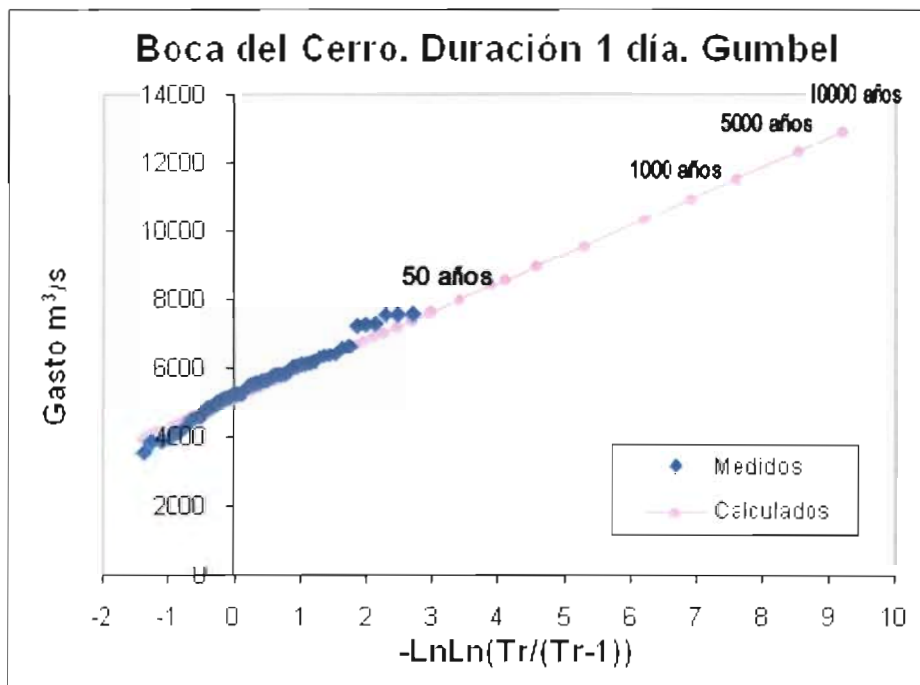


Figura 1.c.25 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 1 día.

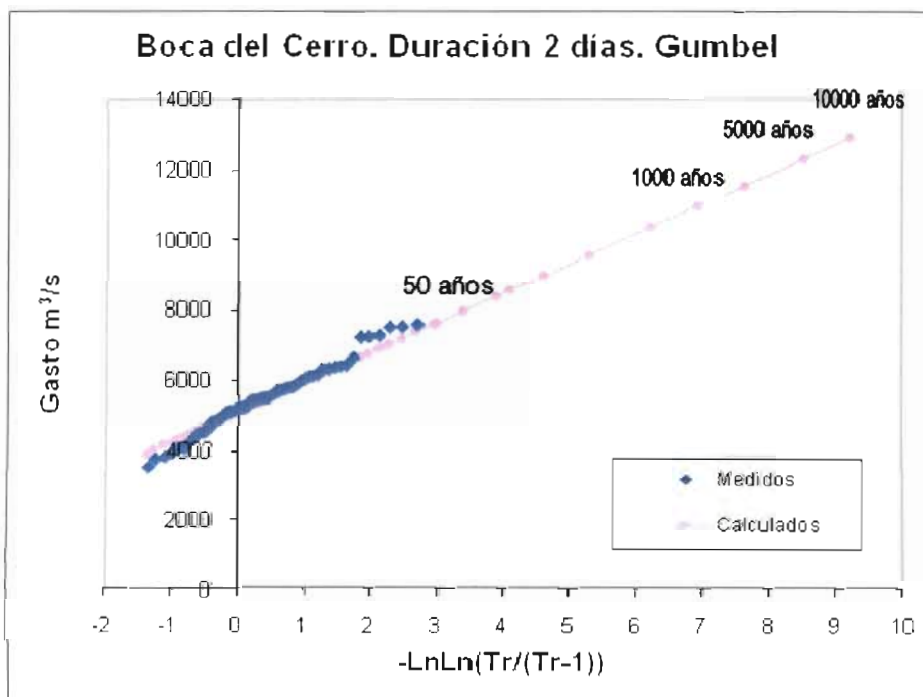


Figura 1.c.26 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 2 días.

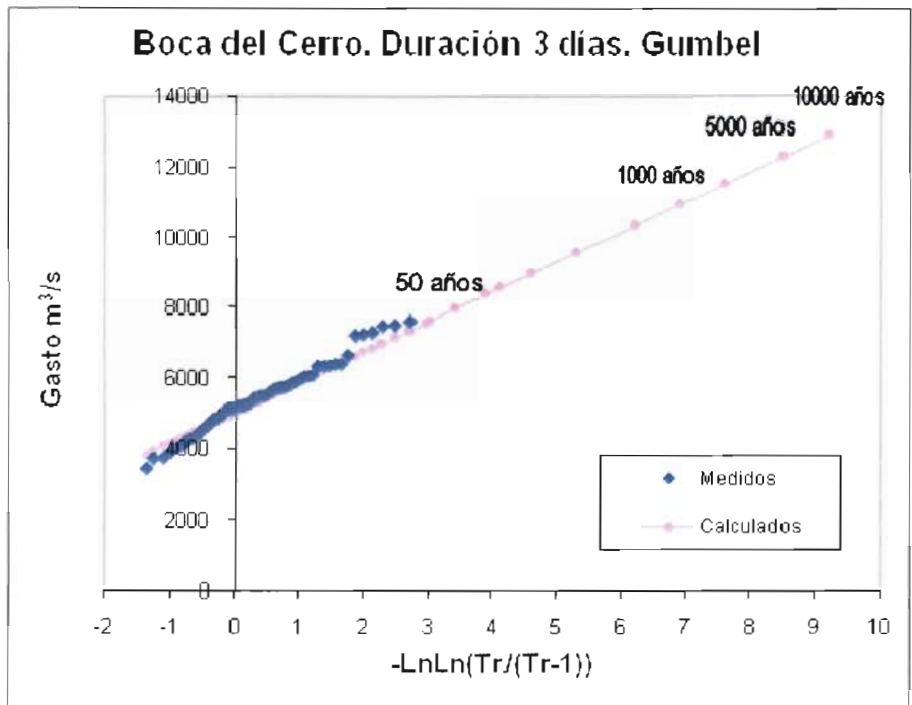


Figura 1.c.27 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 3 días.

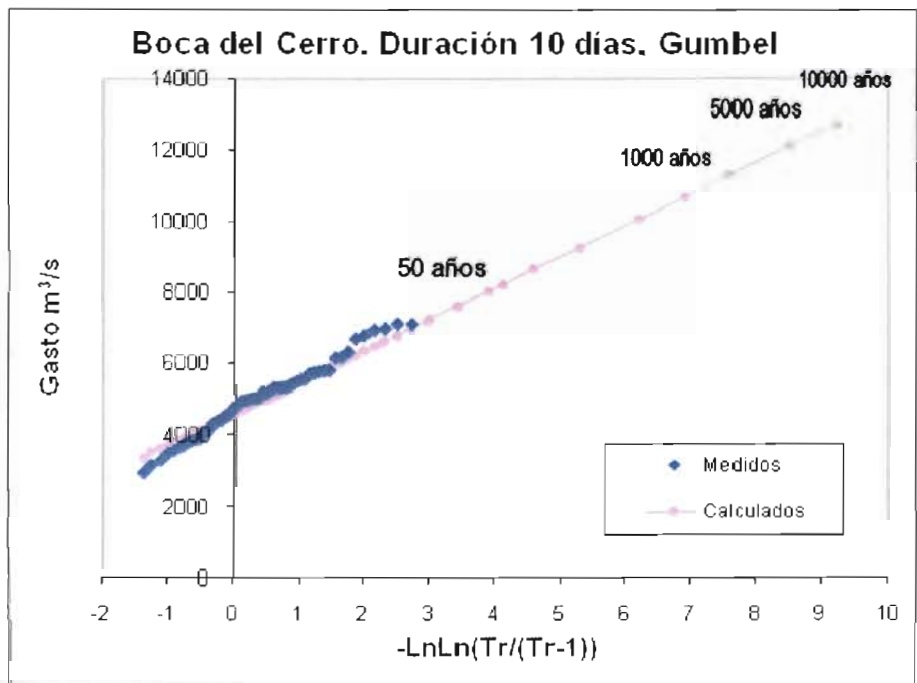


Figura 1.c.28 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 10 días.

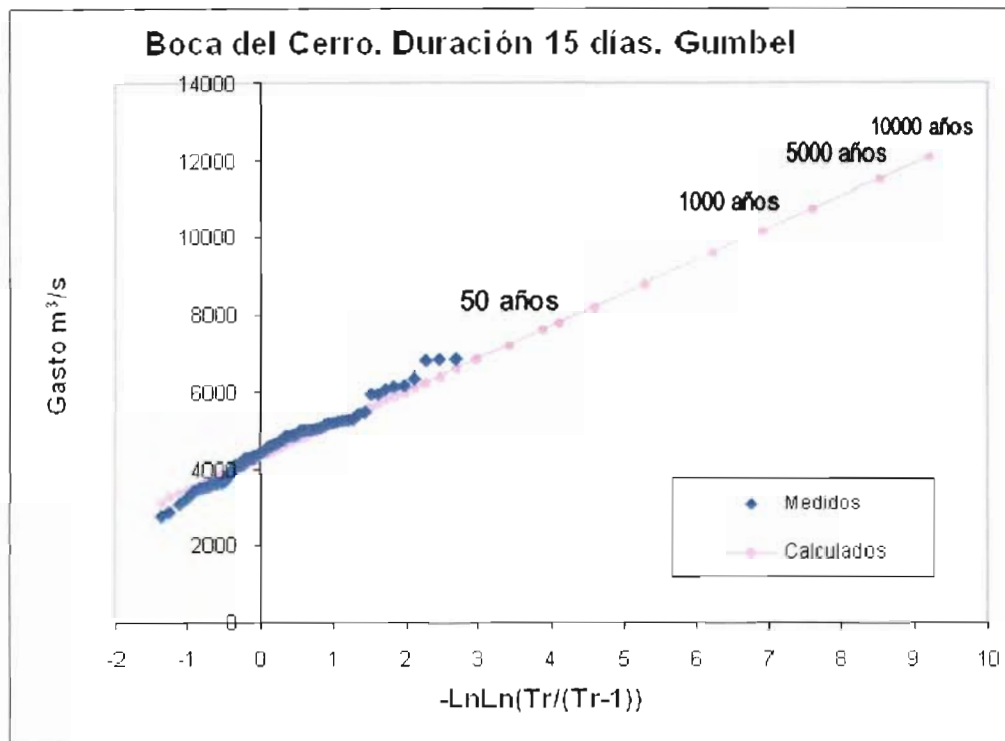


Figura 1.c.29 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 15 días.

De las figuras se observa que los valores registrados en 2007 son de los más bajos dentro del registro histórico, no obstante lo cual los valores estimados al hacer la actualización son muy similares a los que se obtuvieron en el estudio de 2000.

Los valores obtenidos en los estudios de 2000 y 2009 son muy parecidos a los del estudio actual, este último presenta valores más pequeños que los dos estudios anteriores.

Por último, conviene recalcar que en la cuenca del Usumacinta no se presentan picos aislados, de tal manera que los promedios para una duración de 10 días son sólo ligeramente menores que los correspondientes a un día.

Estación Salto de Agua

En las siguientes figuras se muestran en forma gráfica los resultados obtenidos al ajustar una función de distribución de probabilidades a los gastos máximos para 1, 2, 3, 10 y 15 días de duración. Adicionalmente, en la tabla 1.c.9 se indican los valores estimados para distintos periodos de retorno y duraciones para la estación Salto de Agua.

Tabla 1.c.9. Gastos medios estimados, en m³/s, para duraciones de 1 a 10 días y distintos periodos de retorno.

Con los datos disponibles en el año 2000

SALTO DE AGUA Estudio 2000 GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1174	1088	1027	938	863	805	763	727	700	674
5	1445	1387	1292	1195	1108	1037	983	935	895	859
10	1734	1653	1467	1365	1270	1190	1128	1072	1024	981
20	2033	1881	1636	1529	1426	1338	1268	1203	1148	1099
50	2394	2150	1854	1740	1627	1529	1449	1374	1309	1251
100	2653	2343	2017	1898	1778	1672	1585	1501	1429	1364
200	2906	2533	2180	2056	1929	1814	1720	1628	1549	1478
500	3238	2781	2395	2264	2127	2002	1898	1796	1707	1628
1000	3487	2969	2557	2422	2277	2144	2032	1923	1827	1741
2000	3735	3155	2719	2579	2427	2287	2167	2050	1946	1854
5000	4064	3397	2933	2787	2626	2474	2345	2217	2104	2004
10000	4311	3596	3095	2944	2776	2616	2480	2344	2224	2117

Con los datos disponibles en el año 2008

SALTO DE AGUA Estudio 2008 GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1285	1189	1078	985	907	851	809	775	747	719
5	1629	1502	1373	1266	1174	1104	1051	1005	963	924
10	1856	1709	1568	1453	1351	1271	1211	1158	1107	1059
20	2075	1908	1756	1632	1520	1432	1365	1305	1244	1189
50	2358	2165	1998	1864	1740	1640	1564	1494	1422	1358
100	2570	2358	2180	2037	1904	1795	1713	1637	1555	1484
200	2781	2550	2361	2210	2068	1951	1862	1778	1688	1609
500	3059	2803	2600	2438	2285	2155	2058	1965	1864	1775
1000	3270	2994	2781	2611	2448	2310	2206	2106	1996	1900
2000	3480	3186	2961	2783	2611	2465	2354	2247	2129	2026
5000	3758	3439	3200	3011	2827	2670	2549	2434	2304	2191
10000	3969	3630	3380	3183	2990	2824	2697	2575	2436	2316

UF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

Con los datos disponibles en el año 2012

SALTO DE AGUA Estudio 2012 GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1288	1193	1084	992	916	860	819	784	755	727
5	1623	1499	1374	1271	1182	1114	1063	1017	976	937
10	1845	1701	1566	1455	1358	1282	1224	1172	1122	1076
20	2058	1896	1750	1632	1527	1443	1379	1321	1262	1209
50	2333	2147	1989	1861	1746	1651	1580	1513	1443	1381
100	2540	2336	2168	2033	1909	1808	1730	1657	1579	1511
200	2746	2523	2346	2204	2073	1963	1879	1800	1714	1639
500	3017	2771	2581	2430	2288	2169	2077	1989	1893	1809
1000	3222	2958	2758	2600	2451	2324	2226	2132	2028	1937
2000	3428	3146	2936	2771	2614	2479	2376	2275	2163	2066
5000	3699	3393	3170	2996	2829	2684	2573	2464	2341	2235
10000	3904	3580	3348	3166	2991	2840	2722	2607	2476	2363

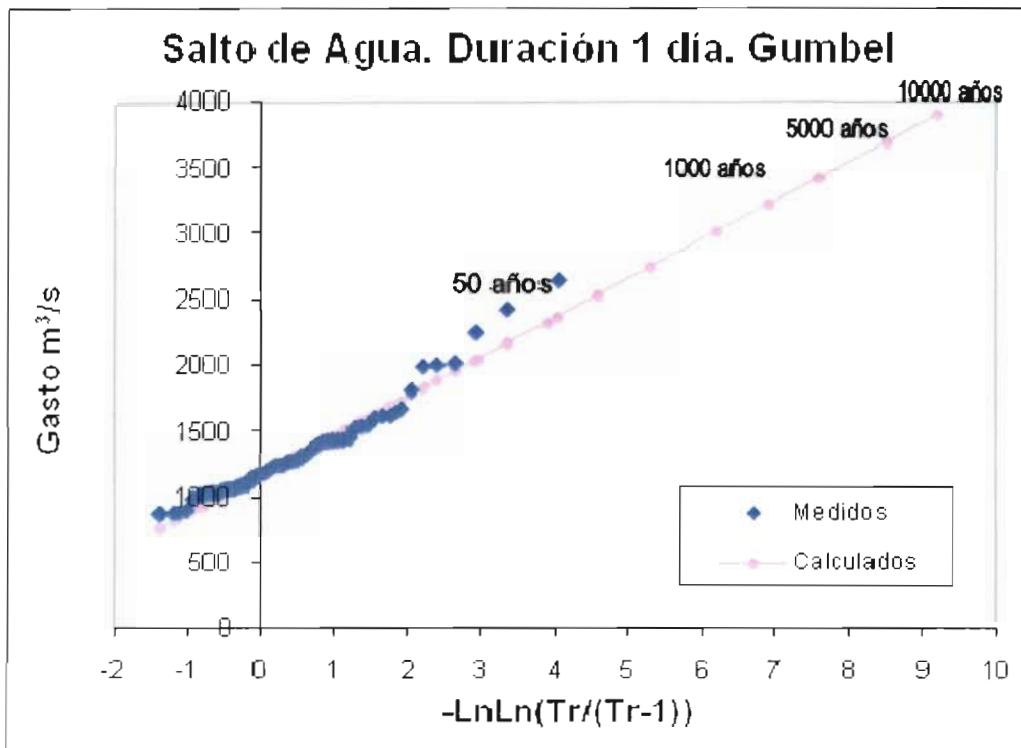


Figura 1.c.30 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 1 día.

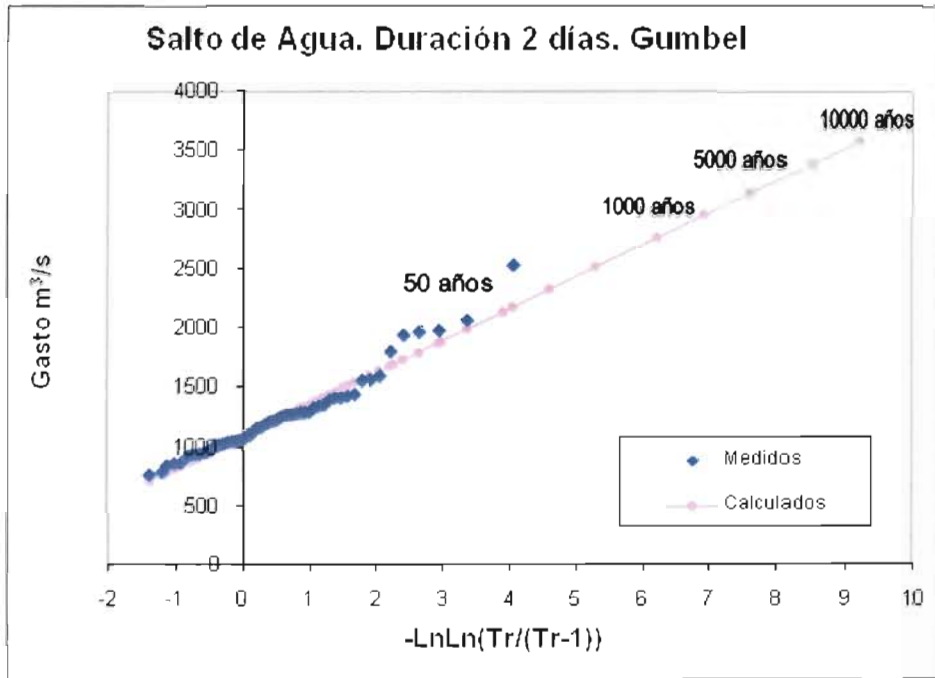


Figura 1.c.31 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 2 días.

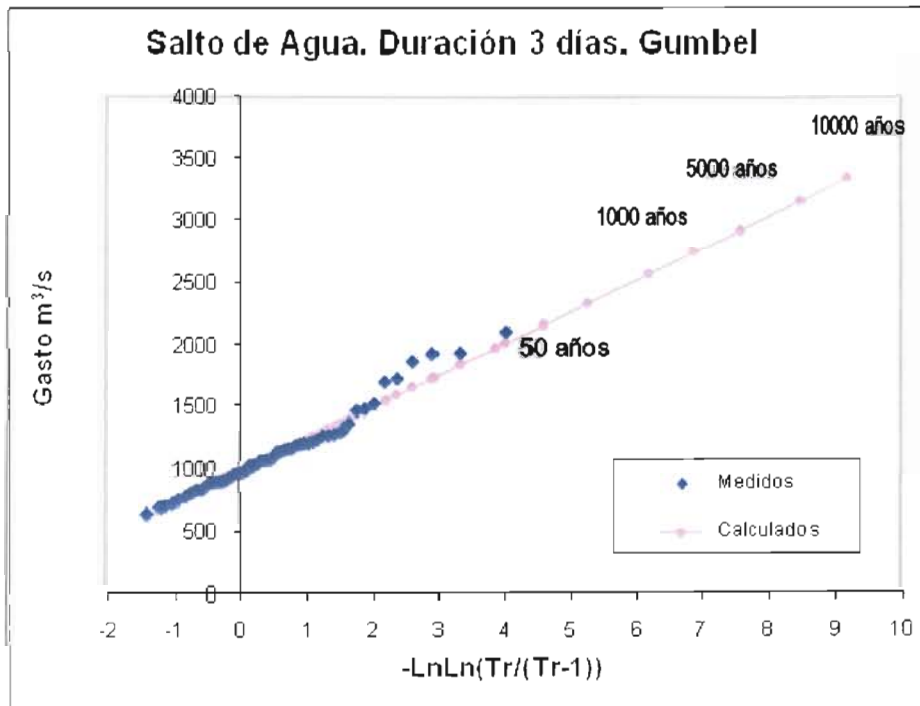


Figura 1.c.32 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 3 días.

VJF

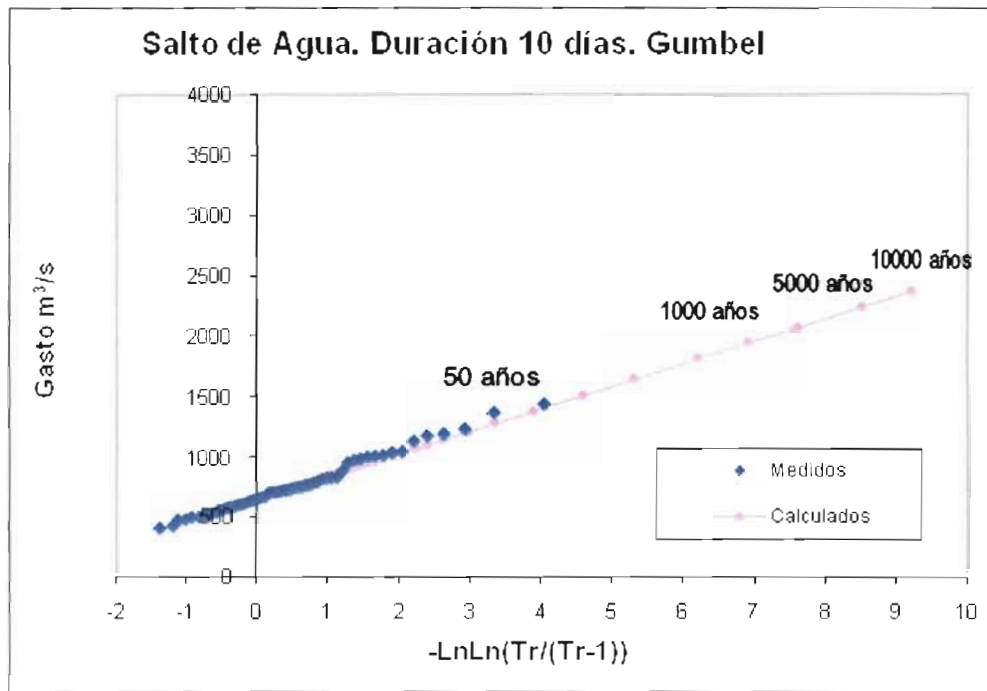


Figura 1.c.33 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 10 días.

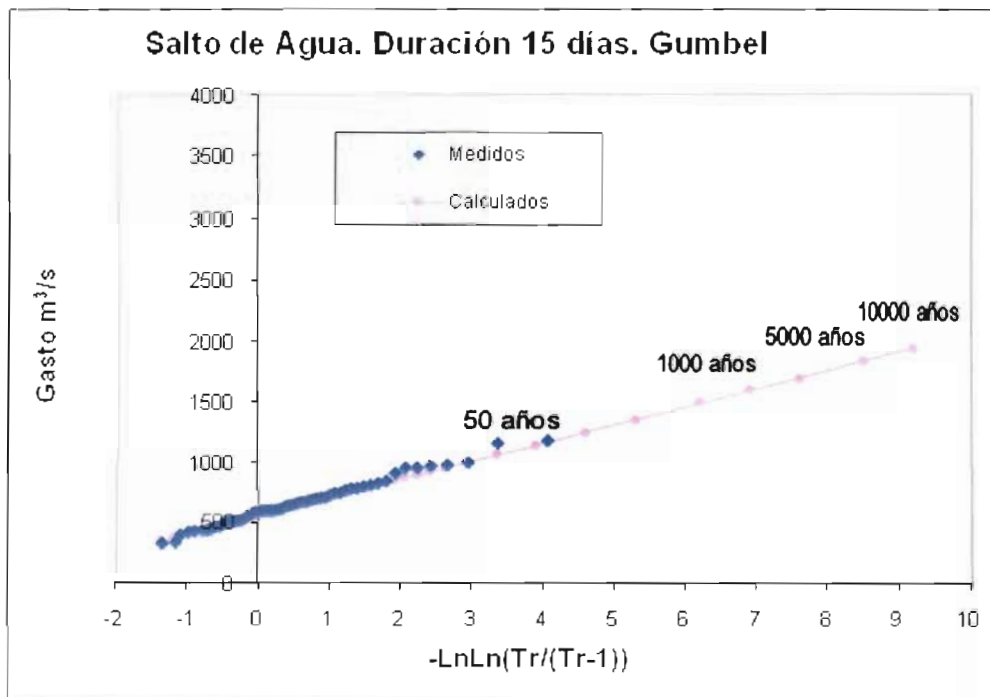


Figura 1.c.34 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 10 días.

De las tablas se observa que los valores registrados en los tres estudios son muy parecidos, ligeramente para un día el estudio de 2000 da valores más altos.

En esta estación si existe un cambio entre la duración de 1 día y la de 10 días.

Estación San Pedro

En las siguientes figuras se muestran en forma gráfica los resultados obtenidos al ajustar una función de distribución de probabilidades a los gastos máximos para 1, 2, 5, 10 y 15 días de duración. Adicionalmente, en la tabla 1.c.10 se indican los valores estimados para distintos periodos de retorno y duraciones para la estación San Pedro.

Tabla 1.c.10. Gastos medios estimados, en m³/s, para duraciones de 1 a 10 días y distintos periodos de retorno.

SAN PEDRO GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	219	215	212	210	209	207	205	204	202	200
5	366	356	352	348	345	343	340	337	334	331
10	463	449	444	440	436	432	429	426	422	418
20	556	538	533	527	522	519	514	510	505	501
50	677	654	648	640	635	630	625	620	614	609
100	767	741	734	725	719	714	708	703	695	690
200	857	828	819	810	803	797	791	785	777	770
500	976	942	933	922	913	907	900	893	884	876
1000	1065	1028	1018	1006	997	990	982	974	964	957
2000	1155	1114	1103	1090	1081	1073	1064	1056	1045	1037
5000	1273	1228	1216	1202	1191	1182	1173	1164	1152	1143
10000	1363	1314	1302	1286	1275	1265	1256	1246	1233	1223

UF

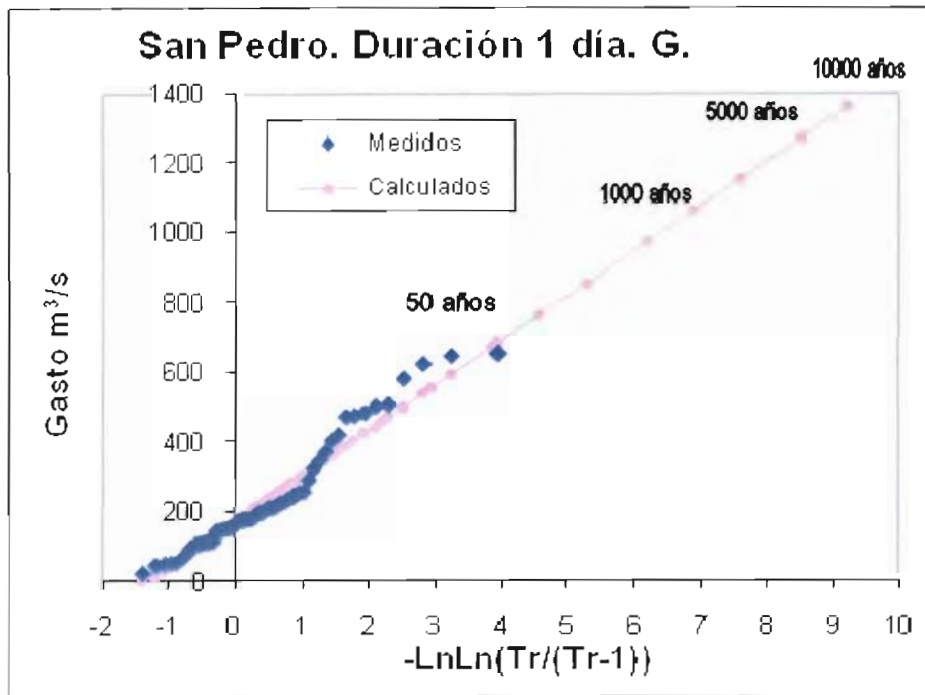


Figura 1.c.35 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 1 día.

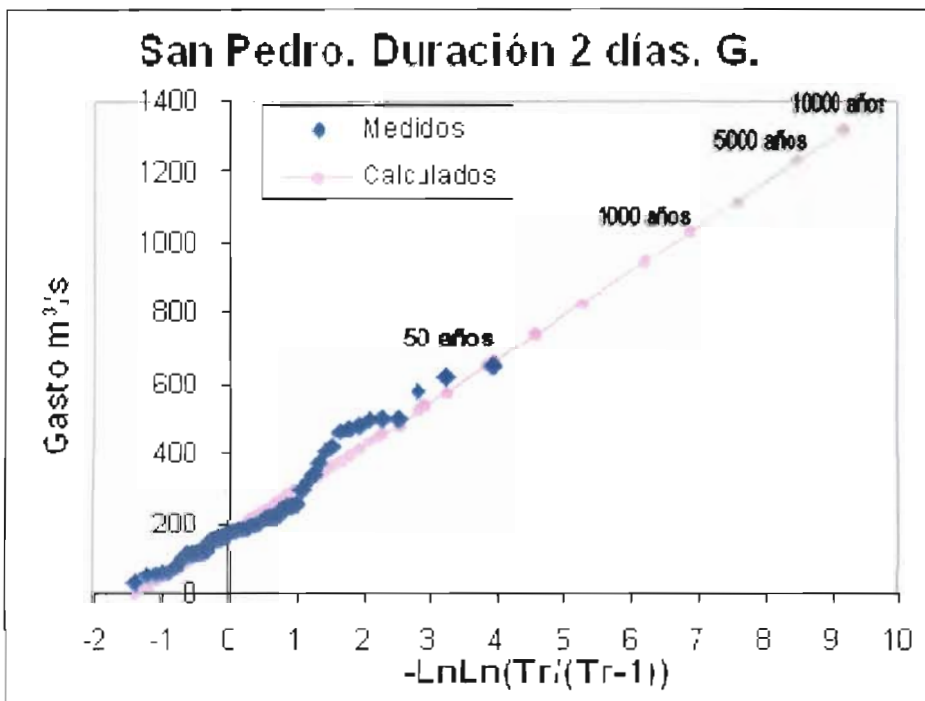


Figura 1.c.36 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 2 días.

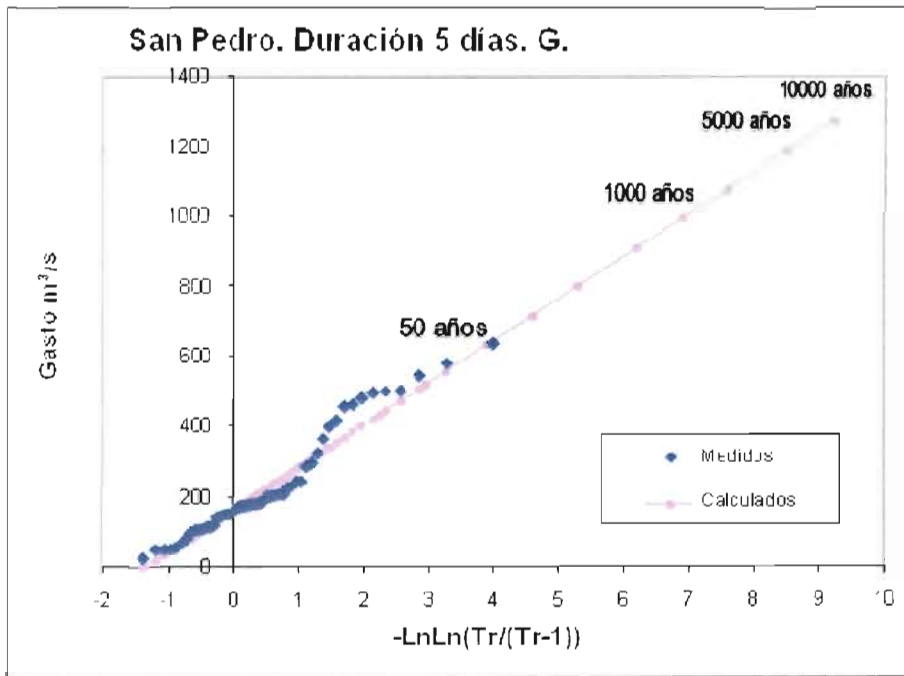


Figura 1.c.37 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 5 días.

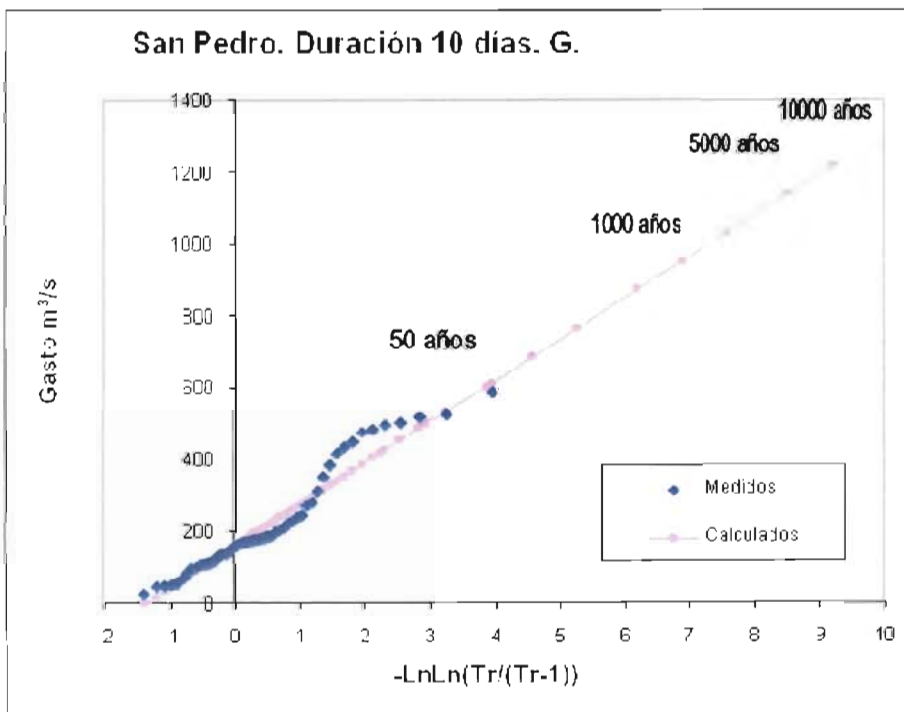


Figura 1.c.38 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 10 días.

VJF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

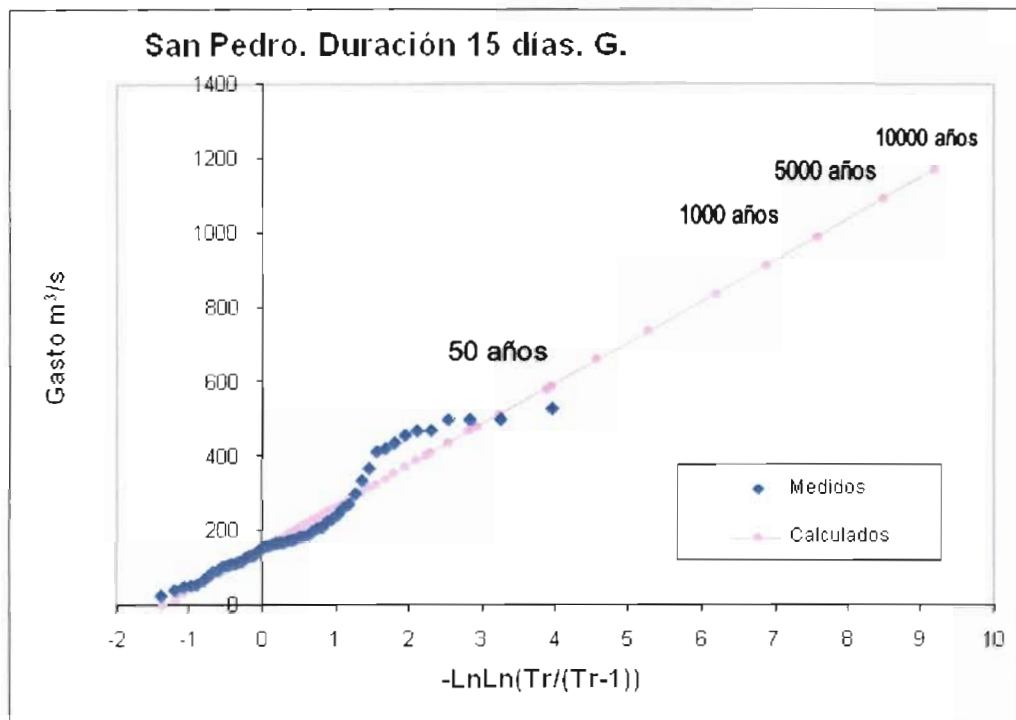


Figura 1.c.39 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 15 días.

Estación Macuspana

En las siguientes figuras se muestran en forma gráfica los resultados obtenidos al ajustar una función de distribución de probabilidades a los gastos máximos para 1, 2, 5, 10 y 15 días de duración. Adicionalmente, en la tabla 1.c.11 se indican los valores estimados para distintos periodos de retorno y duraciones para la estación Macuspana.

Tabla 1.c.11. Gastos medios estimados, en m³/s, para duraciones de 1 a 10 días y distintos periodos de retorno.

MACUSPANA ESTUDIO AÑO 2000										
Tr	DOBLE GUMBEL						GUMBEL			
	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	555	551	547	539	532	522	530	519	509	498
5	727	723	717	705	696	682	669	654	640	626
10	932	923	910	888	868	843	761	744	727	710
20	1124	1102	1086	1049	1012	975	849	830	810	791
50	1344	1309	1288	1235	1177	1127	964	941	918	896
100	1500	1455	1432	1368	1294	1235	1049	1024	999	975
200	1653	1598	1573	1498	1409	1341	1135	1107	1080	1053
500	1853	1785	1757	1667	1560	1481	1247	1216	1186	1156
1000	2003	1926	1895	1794	1674	1585	1332	1299	1266	1235
2000	2154	2067	2032	1921	1786	1689	1417	1382	1347	1313
5000	2354	2255	2213	2087	1932	1827	1530	1491	1453	1416
10000	2503	2395	2350	2213	2045	1935	1615	1574	1533	1494

MACUSPANA ESTUDIO AÑO 2008 GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	646	640	635	626	616	602	591	580	569	559
5	869	859	851	839	824	802	789	777	765	754
10	1017	1004	995	980	962	935	920	908	895	884
20	1159	1142	1132	1115	1094	1063	1046	1033	1020	1008
50	1343	1322	1310	1289	1265	1228	1209	1195	1181	1168
100	1481	1456	1443	1420	1393	1352	1332	1317	1301	1289
200	1618	1590	1576	1551	1521	1475	1453	1438	1422	1409
500	1799	1767	1751	1723	1689	1637	1614	1597	1580	1567
1000	1936	1901	1884	1853	1817	1760	1735	1718	1700	1686
2000	2072	2034	2016	1983	1944	1883	1857	1839	1820	1806
5000	2253	2211	2191	2155	2112	2046	2017	1998	1979	1964
10000	2390	2345	2324	2285	2240	2168	2138	2119	2099	2083

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

MACUSPANA ESTUDIO AÑO 2012 GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	629	623	617	609	599	585	575	565	555	545
5	849	838	830	818	804	783	770	759	748	737
10	995	981	972	957	940	915	900	888	875	864
20	1134	1117	1107	1090	1070	1040	1024	1011	998	986
50	1315	1294	1282	1262	1239	1203	1185	1170	1156	1144
100	1451	1427	1414	1391	1365	1325	1305	1290	1275	1262
200	1586	1559	1545	1520	1491	1447	1426	1409	1393	1380
500	1764	1733	1717	1690	1657	1607	1584	1566	1549	1535
1000	1898	1865	1848	1818	1783	1729	1704	1685	1667	1653
2000	2033	1996	1978	1946	1908	1850	1823	1804	1785	1770
5000	2211	2170	2151	2115	2074	2010	1981	1961	1940	1925
10000	2345	2302	2281	2244	2200	2131	2101	2080	2058	2043

Se observa en la tabla 1.c.11 que los valores son muy parecidos para los años en que se realizaron los distintos estudios, sin embargo el estudio de 2000 sigue dando el valor más alto para la duración de 1 día.

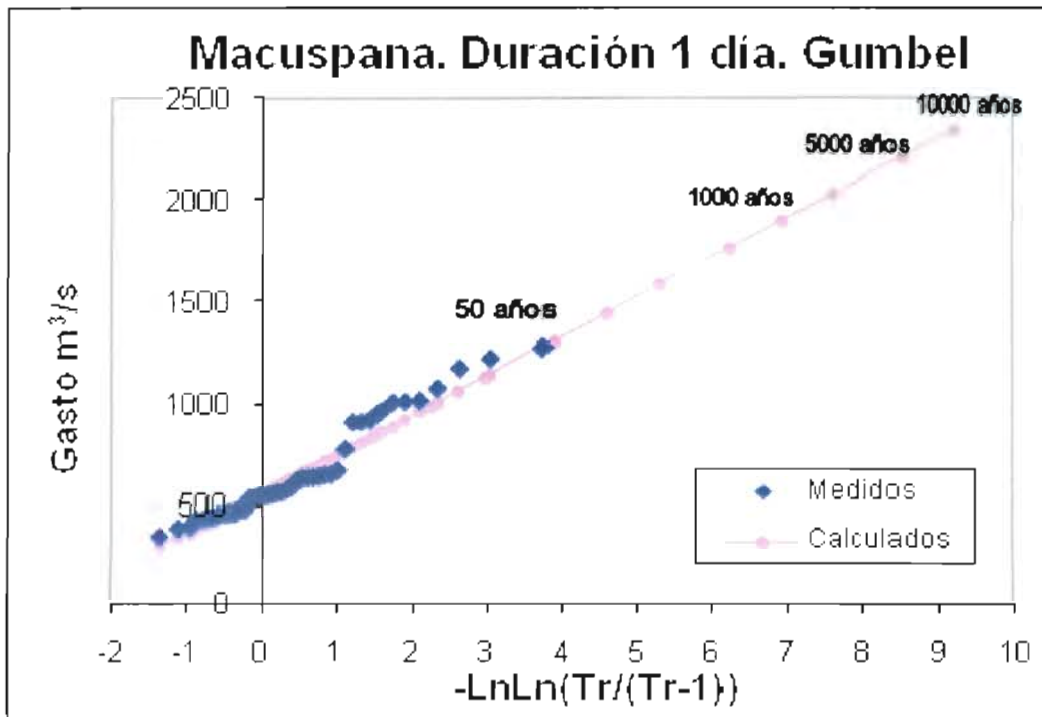


Figura 1.c.40 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 1 día.

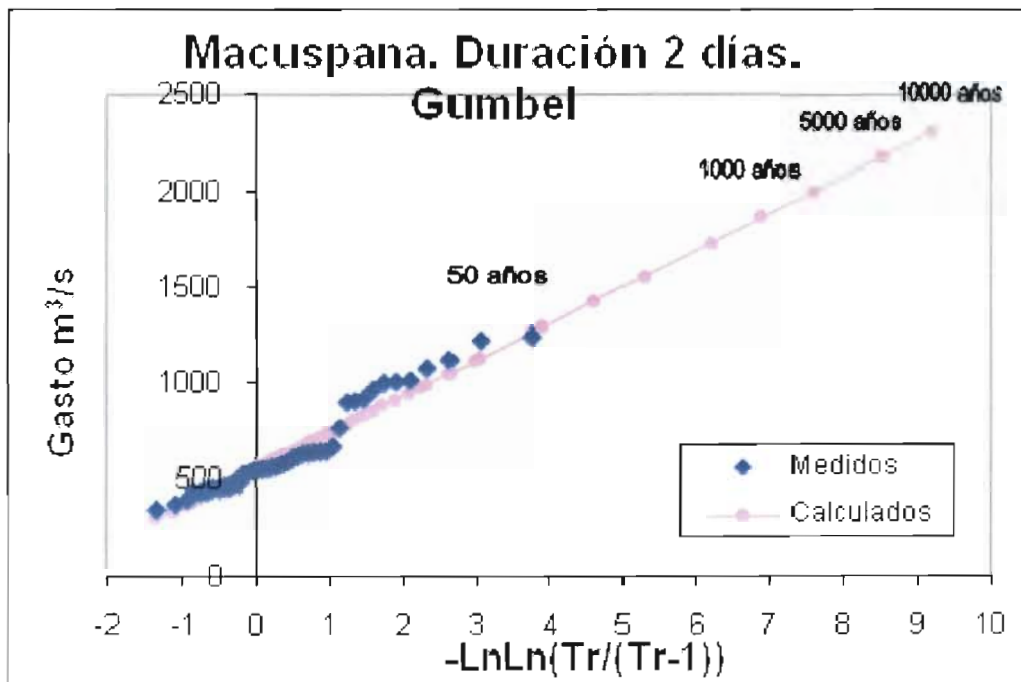


Figura 1.c.41 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 2 días.

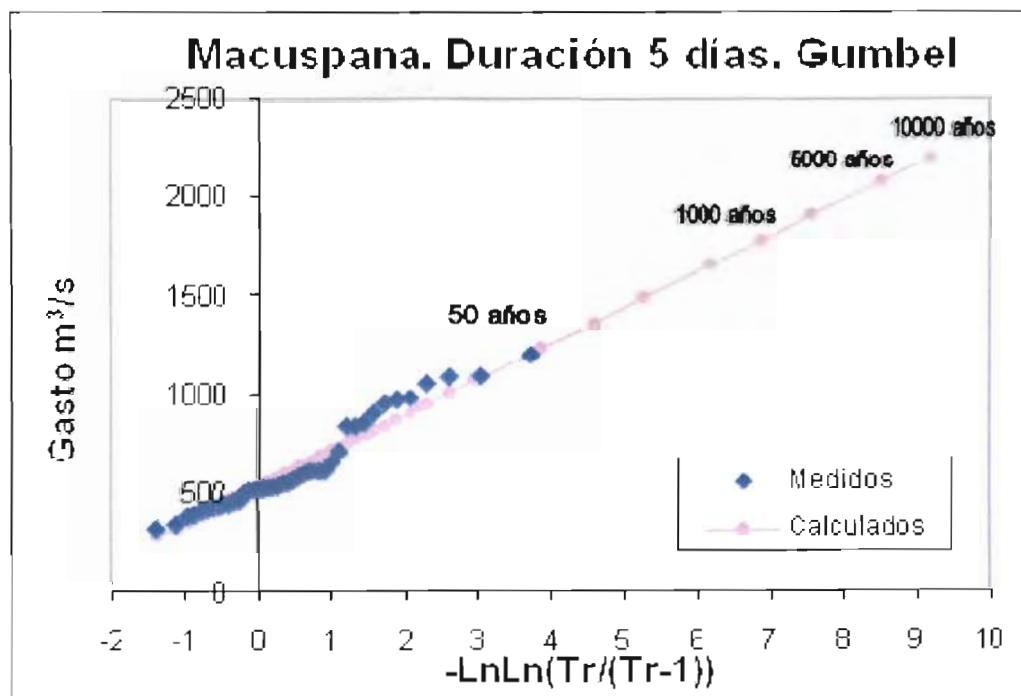


Figura 1.c.42 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 5 días.

VF

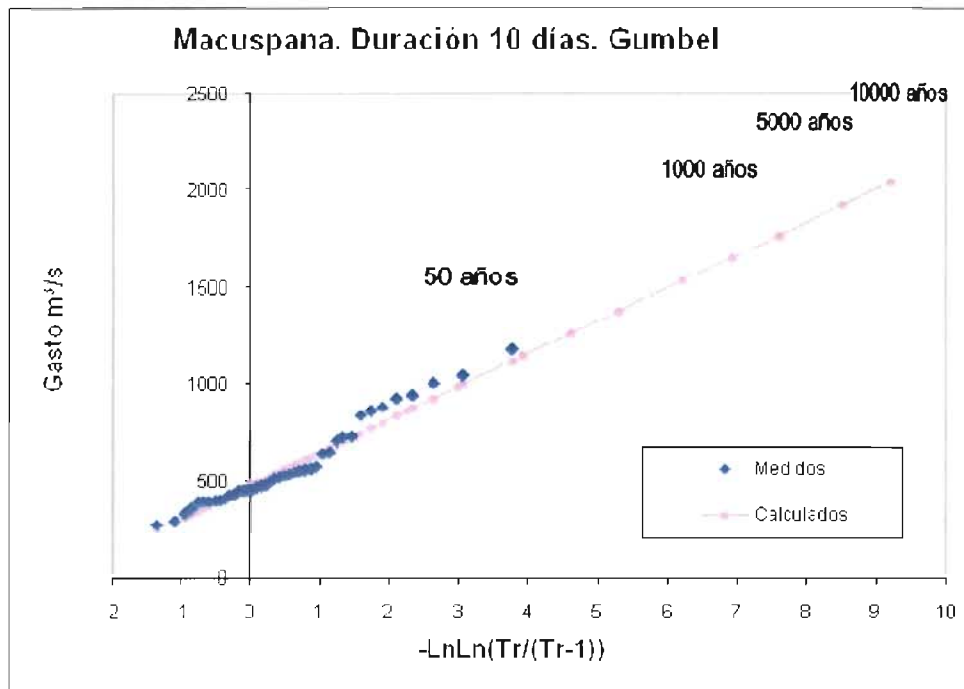


Figura 1.c.43 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 10 días.

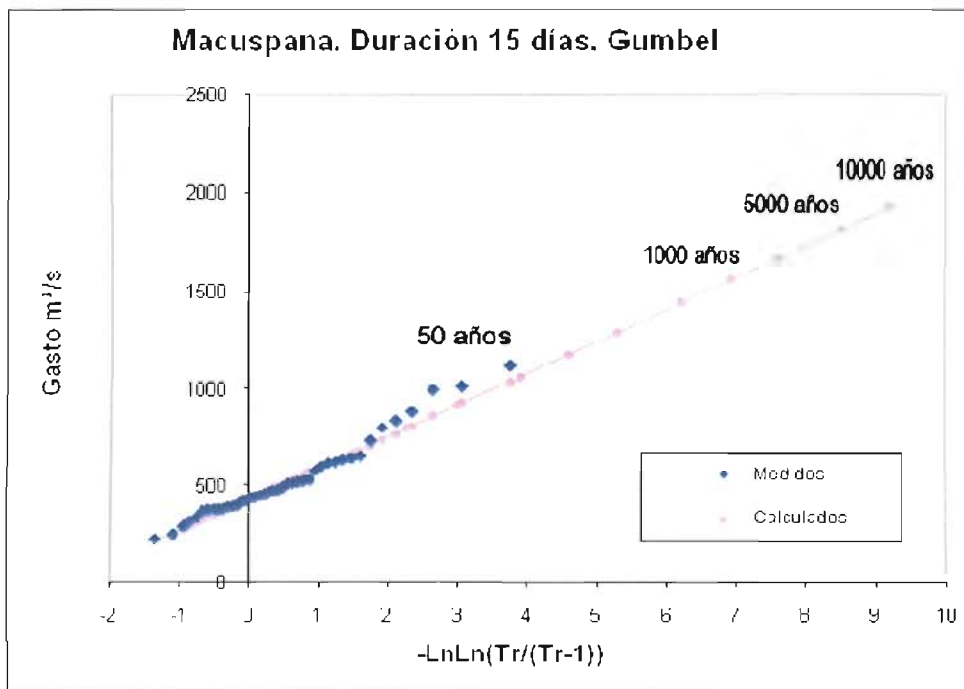


Figura 1.c.44 Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 15 días.

Estación Hidrométrica virtual, MACUSPANA mas SALTO DE AGUA (SIMULTANEIDAD)

La información diaria de gastos medios fue obtenida de la base de datos BANDAS, complementada con información proporcionada directamente por la Comisión Nacional del Agua. Así, se logró un registro continuo para cada uno de los años 1956 a 1986 y de 2001 a 2011. En esos años se contó con información tanto de Macuspana como de Salto de Agua.

A partir de la información de gastos medios diarios se obtuvieron, para cada año, los gastos medios máximos, en m³/s, para duraciones de 1 a 60 días; en la tabla 1.c.12 se muestran los valores obtenidos para duraciones de 1 a 10 días. Los valores correspondientes a los eventos más importantes están marcados con rojo. En la tabla se observa que para la duración de 1 día, hay cinco años en los que los gastos registrados fueron mayores que los de 2007, de los cuales sólo 2 (1967 y 1973) fueron mayores también para la duración de 5 días.

Tabla 1.c.12. Gastos medios diarios registrados en la estación virtual, Macuspana más Salto de Agua

SALTO DE AGUA + MACUSPANA										
año	1 Día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
1956	1973	1942	1903	1873	1855	1816	1765	1724	1680	1641
1957	1770	1565	1489	1379	1281	1193	1130	1068	1017	968
1958	1710	1697	1603	1521	1472	1439	1415	1383	1344	1304
1959	1965	1846	1700	1536	1413	1327	1255	1192	1135	1085
1960	1565	1412	1351	1258	1193	1154	1119	1096	1063	1026
1961	1724	1585	1470	1365	1268	1186	1118	1061	1016	993
1962	1429	1411	1335	1280	1206	1144	1088	1035	990	947
1963	1526	1521	1385	1303	1217	1161	1138	1179	1186	1178
1964	2151	2051	1952	1715	1547	1424	1332	1258	1199	1164
1965	1320	1305	1220	1150	1104	1056	1022	1016	1023	1026
1966	1507	1429	1332	1272	1194	1157	1138	1132	1105	1080
1967	3219	3168	3002	2897	2730	2548	2361	2215	2118	2017
1968	1834	1503	1342	1174	1130	1070	1045	1013	978	943
1969	1672	1635	1510	1418	1306	1269	1253	1230	1201	1185
1970	1441	1354	1243	1155	1099	1070	1047	1017	996	1020
1971	1703	1639	1460	1326	1187	1074	993	921	869	824
1972	1381	1254	1124	1034	968	915	870	827	782	746
1973	2822	2794	2731	2614	2535	2412	2290	2190	2110	2042
1974	1948	1893	1755	1620	1485	1431	1362	1285	1224	1163
1975	3043	2633	2324	2079	1879	1792	1749	1701	1661	1589
1976	1558	1406	1324	1241	1174	1117	1068	1048	1039	1024
1977	1541	1529	1342	1244	1165	1094	1031	975	926	880
1978	1886	1793	1735	1655	1599	1540	1497	1447	1414	1390
1979	1726	1569	1476	1369	1283	1231	1213	1190	1169	1157
1980	1633	1619	1596	1527	1464	1420	1364	1331	1290	1255

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL
DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y
SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA.
(MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL
FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS
PANTANOS DE CENTLA

SALTO DE AGUA + MACUSPANA										
año	1 Día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
1981	1874	1766	1728	1623	1586	1583	1574	1570	1580	1575
1982	1497	1422	1381	1337	1309	1266	1230	1225	1198	1171
1983	1410	1346	1290	1223	1146	1070	1003	950	904	860
1984	1726	1682	1661	1572	1517	1438	1381	1325	1287	1258
1985	1156	1146	1051	1032	1002	980	949	927	903	879
1986	1651	1640	1596	1534	1458	1363	1290	1230	1171	1119
2001	3541	3446	2955	2658	2453	2137	1996	1939	1884	1832
2002	1868	1723	1613	1627	1620	1577	1513	1453	1410	1380
2003	2415	2377	2318	2162	2046	1964	1893	1831	1775	1713
2004	2365	2123	1841	1692	1590	1500	1428	1389	1354	1325
2005	2869	1906	1755	1661	1643	1584	1522	1473	1430	1400
2006	2318	2285	2250	2232	2213	2197	2187	2178	2171	2151
2007	2501	2316	2146	2049	1977	1931	1889	1880	1876	1863
2007	2501	2316	2146	2049	1977	1931	1889	1880	1876	1863
2008	1792	1688	1628	1598	1548	1527	1529	1507	1482	1489
2009	1257	1069	943	866	820	762	711	674	647	624
2010	1687	1686	1660	1625	1586	1544	1501	1465	1432	1403
2011	1965	1919	1886	1842	1793	1750	1717	1638	1574	1521
Máx	3541	3446	3002	2897	2730	2548	2361	2215	2171	2152
Min	1156	1069	943	866	820	762	711	674	647	624
Prom	1903	1788	1676	1579	1501	1434	1380	1338	1300	1267

Análisis estadístico.

Utilizando el programa AX del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) se probaron distintas funciones de distribución de probabilidades para ajustarlas a los máximos anuales correspondientes a cada duración. Al comparar los resultados, se decidió utilizar la función de Gumbel que, como se observa en las figuras 4.1 a 4.5, se ajusta bastante bien a los datos de la muestra.

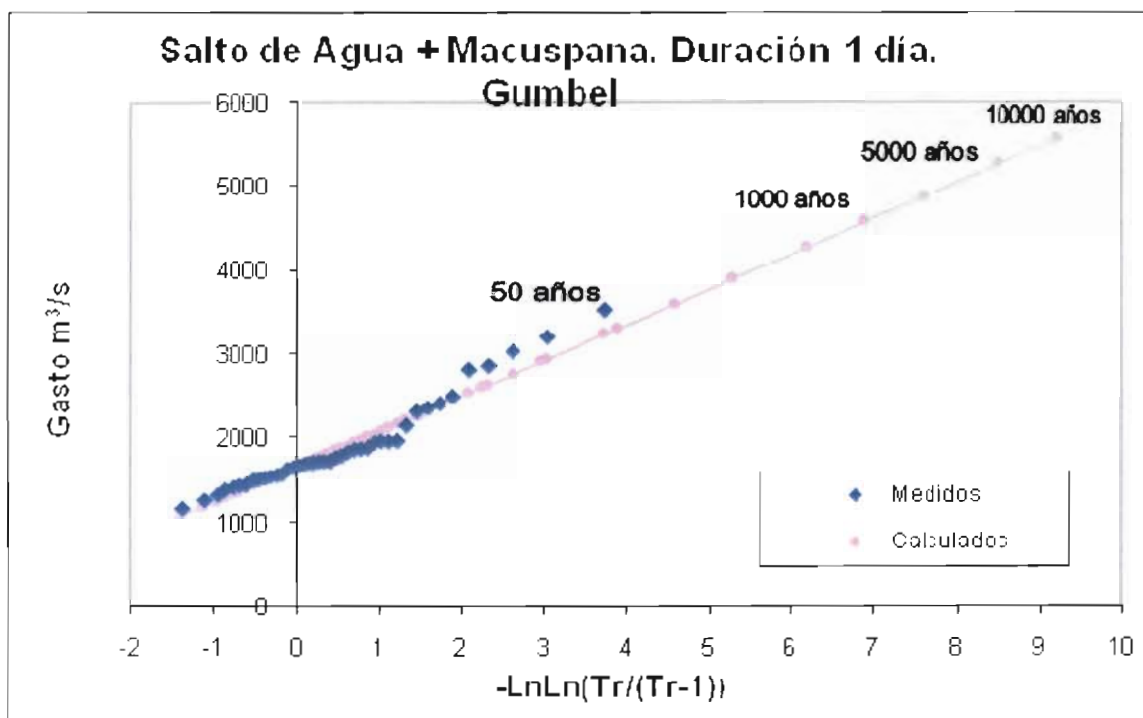


Figura 1.c.45 Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 1 día.

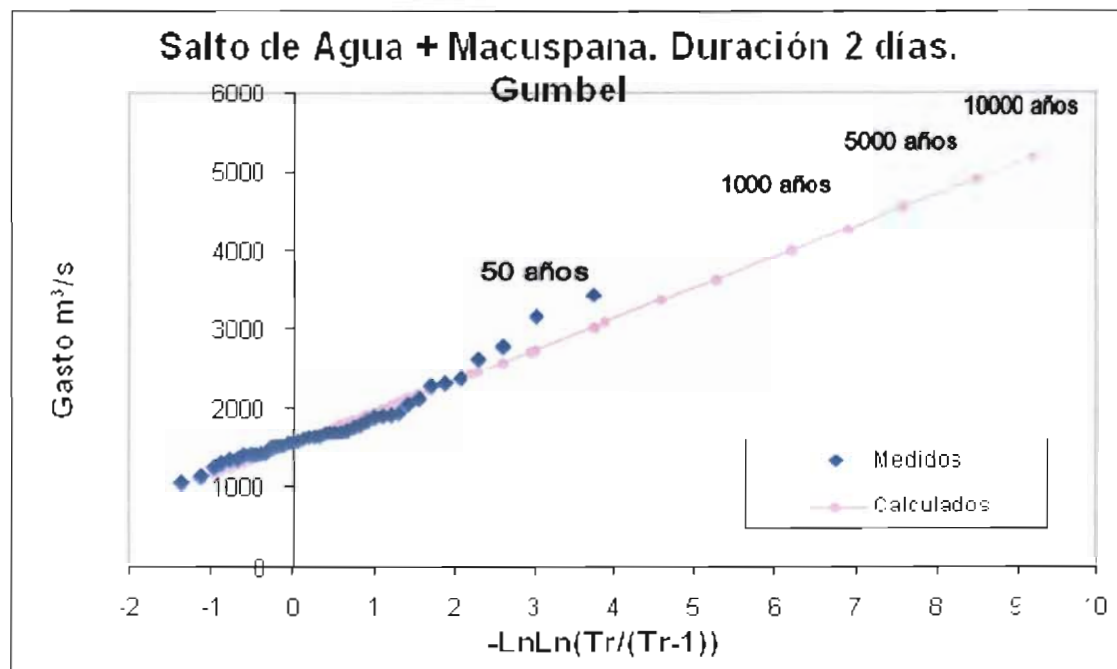


Figura 1.c.46 Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 2 días.

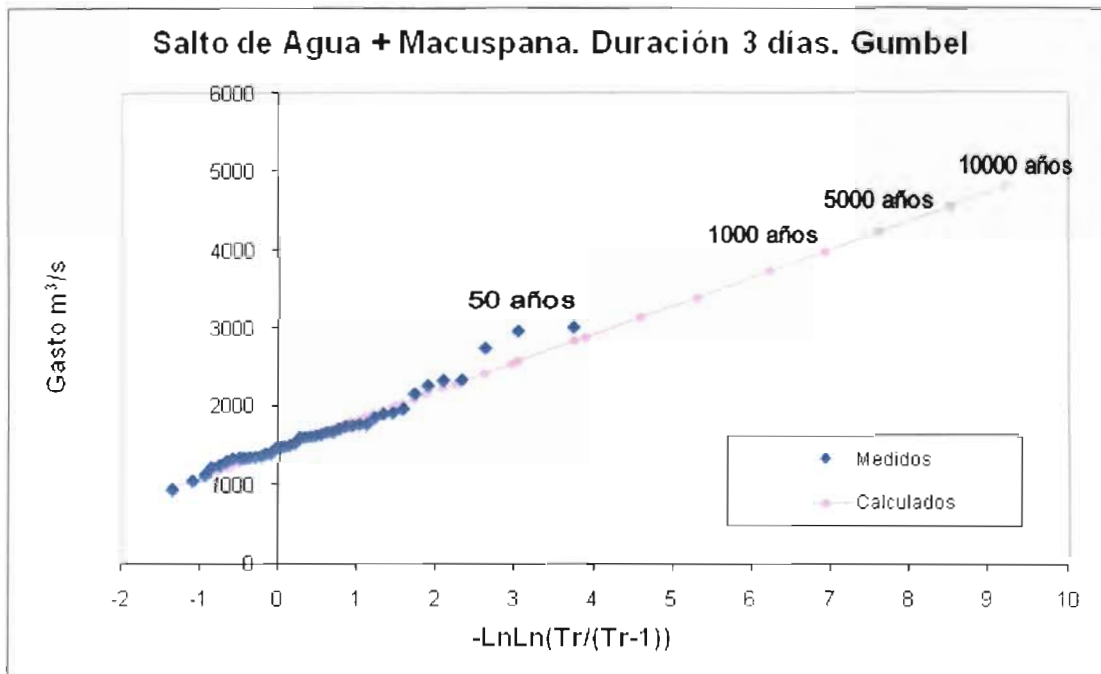


Figura 1.c.47 Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 3 días.

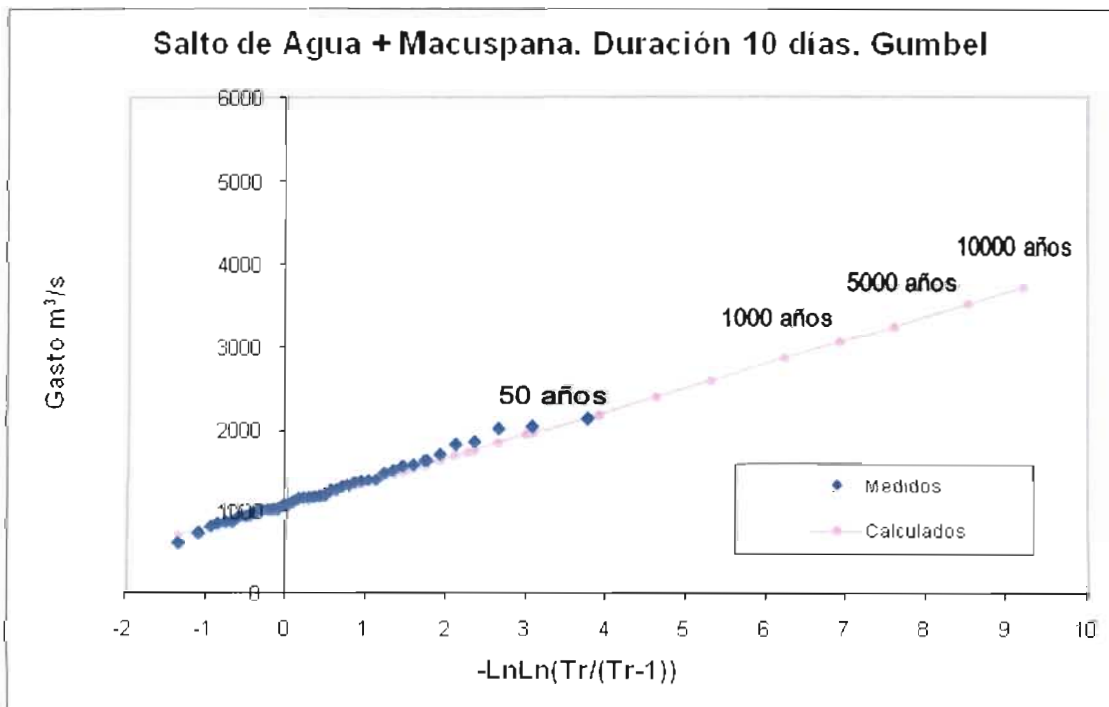


Figura 1.c.48 Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 10 días.

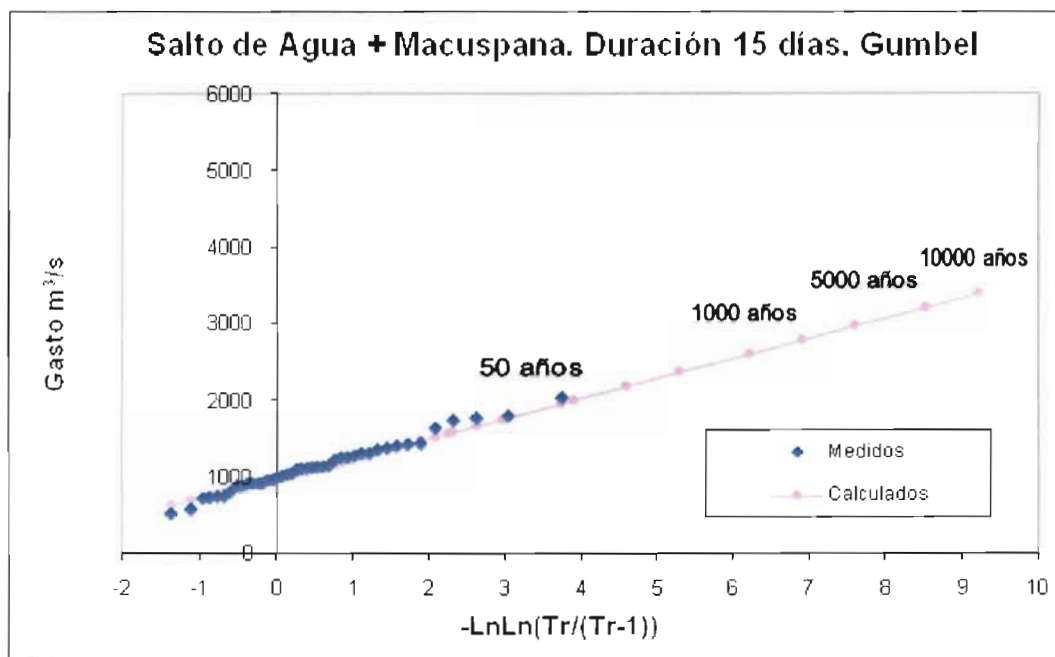


Figura 1.c.49 Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 15 días.

RESULTADOS.

En las tablas 1.c.13 y 1.c.14 se muestra la relación estimada entre gasto medio, en m³/s, duración y periodo de retorno; la tabla 1.c.13 corresponde a los resultados obtenidos en el estudio del año 2000 y la tabla 1.c.15 a los obtenidos con la información del año 2007. En la tabla 1.c.16 se presentan los resultados para el año 2012.

Tabla 1.c.13. Cuenca virtual SALTO DE AGUA+MACUSPANA, estudio del año 2000

GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1654	1573	1481	1389	1313	1253	1206	1210	1173	1139
5	2002	1910	1821	1710	1632	1576	1536	1510	1464	1421
10	2499	2389	2256	2124	2037	1975	1908	1709	1657	1608
20	3050	2924	2754	2616	2477	2355	2215	1900	1843	1787
50	3679	3535	3339	3196	2990	2791	2564	2146	2082	2018
100	4123	3967	3754	3608	3354	3100	2812	2331	2262	2192
200	4558	4389	4160	4010	3710	3402	3054	2516	2441	2365
500	5122	4940	4689	4534	4173	3797	3371	2759	2677	2593
1000	5548	5355	5085	4929	4522	4094	3609	2942	2856	2766
2000	5971	5766	5486	5326	4871	4389	3850	3126	3034	2938
5000	6539	6312	6016	5840	5336	4785	4162	3369	3270	3166
10000	6936	6723	6387	6256	5683	5061	4407	3552	3449	3338

JF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

Tabla 1.c.14. Cuenca virtual SALTO DE AGUA+MACUSPANA, estudio del año 2008

GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1835	1724	1614	1516	1437	1371	1319	1278	1241	1208
5	2330	2182	2034	1913	1818	1729	1660	1610	1569	1529
10	2658	2485	2312	2176	2071	1966	1886	1830	1786	1742
20	2973	2777	2579	2428	2312	2193	2103	2040	1994	1946
50	3380	3153	2925	2755	2626	2487	2384	2313	2264	2211
100	3685	3436	3184	2999	2860	2708	2594	2518	2466	2409
200	3989	3717	3441	3243	3094	2927	2804	2722	2667	2606
500	4390	4088	3782	3564	3402	3217	3080	2990	2933	2866
1000	4693	4369	4039	3807	3635	3436	3289	3194	3133	3063
2000	4995	4649	4296	4050	3868	3655	3498	3397	3334	3260
5000	5396	5020	4636	4371	4176	3944	3774	3665	3599	3520
10000	5699	5300	4893	4614	4409	4163	3983	3868	3800	3716

Tabla 1.c.15. Cuenca virtual SALTO DE AGUA+MACUSPANA, estudio del año 2012

GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1814	1705	1600	1507	1432	1368	1317	1276	1239	1207
5	2294	2153	2013	1898	1808	1723	1658	1608	1567	1529
10	2612	2449	2286	2158	2057	1959	1884	1828	1784	1742
20	2917	2733	2548	2407	2296	2184	2101	2040	1993	1947
50	3312	3101	2888	2729	2605	2477	2382	2313	2262	2211
100	3608	3377	3142	2970	2837	2696	2592	2517	2464	2410
200	3903	3652	3396	3210	3068	2914	2802	2721	2666	2607
500	4292	4015	3730	3527	3373	3202	3078	2991	2931	2868
1000	4586	4289	3983	3767	3603	3420	3287	3194	3132	3065
2000	4880	4562	4236	4007	3833	3637	3496	3397	3332	3262
5000	5268	4924	4570	4323	4138	3925	3772	3666	3598	3522
10000	5562	5198	4822	4563	4368	4142	3981	3869	3798	3719

COMPARACIÓN CUENCAS INDIVIDUALES CON CUENCA VIRTUAL.

En la tabla 1.c.16 y 1.c.17 se presentan los valores obtenidos de manera individual para las estaciones Salto de Agua y Macuspana. En la tabla 1.c.18 se suman de manera directa los valores para cada duración y periodo de retorno de las 2 estaciones.

Los resultados presentados en la tabla 4.3 se dividen entre los resultados de la tabla 1.c.18 de manera directa, de esta manera se obtienen los factores de simultaneidad presentados en la tabla 1.c.19.

Tabla 1.c.16 Resultados de la estación SALTO DE AGUA, Individual

Gumbel										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1288	1193	1084	992	916	860	819	784	755	727
5	1623	1499	1374	1271	1182	1114	1063	1017	976	937
10	1845	1701	1566	1455	1358	1282	1224	1172	1122	1076
20	2058	1896	1750	1632	1527	1443	1379	1321	1262	1209
50	2333	2147	1989	1861	1746	1651	1580	1513	1443	1381
100	2540	2336	2168	2033	1909	1808	1730	1657	1579	1511
200	2746	2523	2346	2204	2073	1963	1879	1800	1714	1639
500	3017	2771	2581	2430	2288	2169	2077	1989	1893	1809
1000	3222	2958	2758	2600	2451	2324	2226	2132	2028	1937
2000	3428	3146	2936	2771	2614	2479	2376	2275	2163	2066
5000	3699	3393	3170	2996	2829	2684	2573	2464	2341	2235
10000	3904	3580	3348	3166	2991	2840	2722	2607	2476	2363

Tabla 1.c.17 Resultados de la estación MACUSPANA, Individual

Gumbel										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	629	623	617	609	599	585	575	565	555	545
5	849	838	830	818	804	783	770	759	748	737
10	995	981	972	957	940	915	900	888	875	864
20	1134	1117	1107	1090	1070	1040	1024	1011	998	986
50	1315	1294	1282	1262	1239	1203	1185	1170	1156	1144
100	1451	1427	1414	1391	1365	1325	1305	1290	1275	1262
200	1586	1559	1545	1520	1491	1447	1426	1409	1393	1380
500	1764	1733	1717	1690	1657	1607	1584	1566	1549	1535
1000	1898	1865	1848	1818	1783	1729	1704	1685	1667	1653
2000	2033	1996	1978	1946	1908	1850	1823	1804	1785	1770
5000	2211	2170	2151	2115	2074	2010	1981	1961	1940	1925
10000	2345	2302	2281	2244	2200	2131	2101	2080	2058	2043

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

Tabla 1.c.18 Suma de resultados de MACUSPANA + SALTO DE AGUA, Individual

Suma de resultados										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1917	1816	1701	1601	1515	1445	1393	1349	1310	1272
5	2472	2337	2205	2089	1986	1897	1833	1776	1723	1674
10	2840	2682	2538	2412	2298	2196	2124	2060	1997	1940
20	3192	3013	2858	2722	2597	2483	2403	2331	2259	2195
50	3649	3441	3271	3124	2984	2855	2764	2683	2599	2525
100	3991	3762	3582	3424	3275	3133	3035	2947	2854	2773
200	4331	4082	3890	3724	3564	3410	3305	3209	3107	3019
500	4781	4504	4298	4119	3945	3776	3661	3556	3442	3344
1000	5121	4823	4606	4418	4234	4053	3930	3817	3695	3590
2000	5461	5142	4914	4717	4522	4329	4199	4079	3948	3836
5000	5909	5563	5321	5111	4903	4694	4554	4425	4282	4160
10000	6249	5882	5629	5410	5191	4971	4823	4687	4534	4406

Tabla 1.c.19 Factores de Simultaneidad

Factor de Simultaneidad										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	0.95	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
5	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.91	0.91	0.91
10	0.92	0.91	0.90	0.89	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.90
20	0.91	0.91	0.89	0.88	0.88	0.88	0.87	0.87	0.88	0.89
50	0.91	0.90	0.88	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.87	0.88
100	0.90	0.90	0.88	0.87	0.87	0.86	0.85	0.85	0.86	0.87
200	0.90	0.89	0.87	0.86	0.86	0.85	0.85	0.85	0.86	0.86
500	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.85	0.86
1000	0.90	0.89	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.85	0.85
2000	0.89	0.89	0.86	0.85	0.85	0.84	0.83	0.83	0.84	0.85
5000	0.89	0.89	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.84	0.85
10000	0.89	0.88	0.86	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84



d ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL FLUJO EN CAUCES Y PLANICIES EN LA ZONA DE ESTUDIO

El objetivo particular de este apartado es estudiar la problemática de las inundaciones en la zona de Centla, por medio del análisis hidráulico del flujo empleando el software Storm Water Management Model (SWMM) versión 5.0. Este software fue desarrollado por la Agencia de Protección del Ambiente (Environmental Protection Agency-EPA).

Para llevar a cabo las simulaciones fue necesario estudiar y crear un esquema unifilar simplificado de la zona de estudio, tal como se menciona en el anexo técnico del convenio. Dicha zona de estudio se ilustra en la figura 1.d.1.



Figura 1.d.1 Ríos a estudiar –Anexo técnico Convenio Acciones complementarias del PHIT año 2012

Dentro de la zona de estudio se encuentra la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, la cual se localiza al noroeste del estado de Tabasco, abarcando 302 706.625 hectáreas que representan el 12.27% de la superficie total de la entidad. Sus límites extremos son al norte con el Golfo de México en la desembocadura del río San Pedro y San Pablo, y con la ciudad de Frontera; al este con los límites territoriales del estado de Tabasco con el de Campeche.

JF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL
DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y
SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA.
(MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL
FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS
PANTANOS DE CENTLA

Al sur con el río Los Bitzales hasta su unión con el río Grijalva y al oeste con el Arroyo Las Porfías y parte de la carretera Villahermosa Ciudad del Carmen.

Como su nombre lo indica la Reserva se encuentra en su mayor parte dentro del municipio de Centla con 225 108 hectáreas; el de Jonuta con 65 651 hectáreas y en menor proporción el municipio de Macuspana con 6 280 hectáreas.

Acorde al decreto se define el establecimiento de dos zonas núcleo y una de amortiguamiento.

La Zona Núcleo I se ubica al sur del área ocupando una superficie de 57 738 ha. Limita al norte con el Arroyo Los Ídolos a partir del cual se dirige a la Laguna El Paquial hasta su unión con el río Usumacinta y con las lagunas Tocual, Cantemoc y Guanal; al sur limita con las Lagunas La Concepción, Tasajera y Landeros. Al este con el campo petrolero "Usumacinta" con las lagunas Cantemoc, Zarzal, El Retiro, Pichalito y Sargazal en el Arroyo Los Naranjos y el Campo Petrolero "Hormiguero". Al Oeste colinda con el río Grijalva, la laguna El Viento y el río Bitzal. La Zona Núcleo II mantiene una superficie de 75 857 ha y se ubica al Norte de la Reserva. Al norte su límite se ubica a 5 kilómetros al Sur aproximadamente de la carretera Villahermosa Ciudad del Carmen; y con el río San Pedro y San Pablo desde el Arroyo El Sábalo hasta el Arroyo Grande. Al Sur limita con el río Usumacinta desde la comunidad de San Miguel hasta Tres Brazos y con el río San Pedrito desde Quintín Arauz hasta el Arroyo Francisco del Real.

Al este sus límites se encuentran a 2 kilómetros aproximadamente del río San Pedro y San Pablo, desde Arroyo Grande pasando por el Campo Petrolero El Tamarindo hasta la unión con el río Usumacinta. Al oeste con el río San Pedrito desde el Arroyo Francisco del Real hasta la ranchería San Juan (Ver figura 1.d.2).

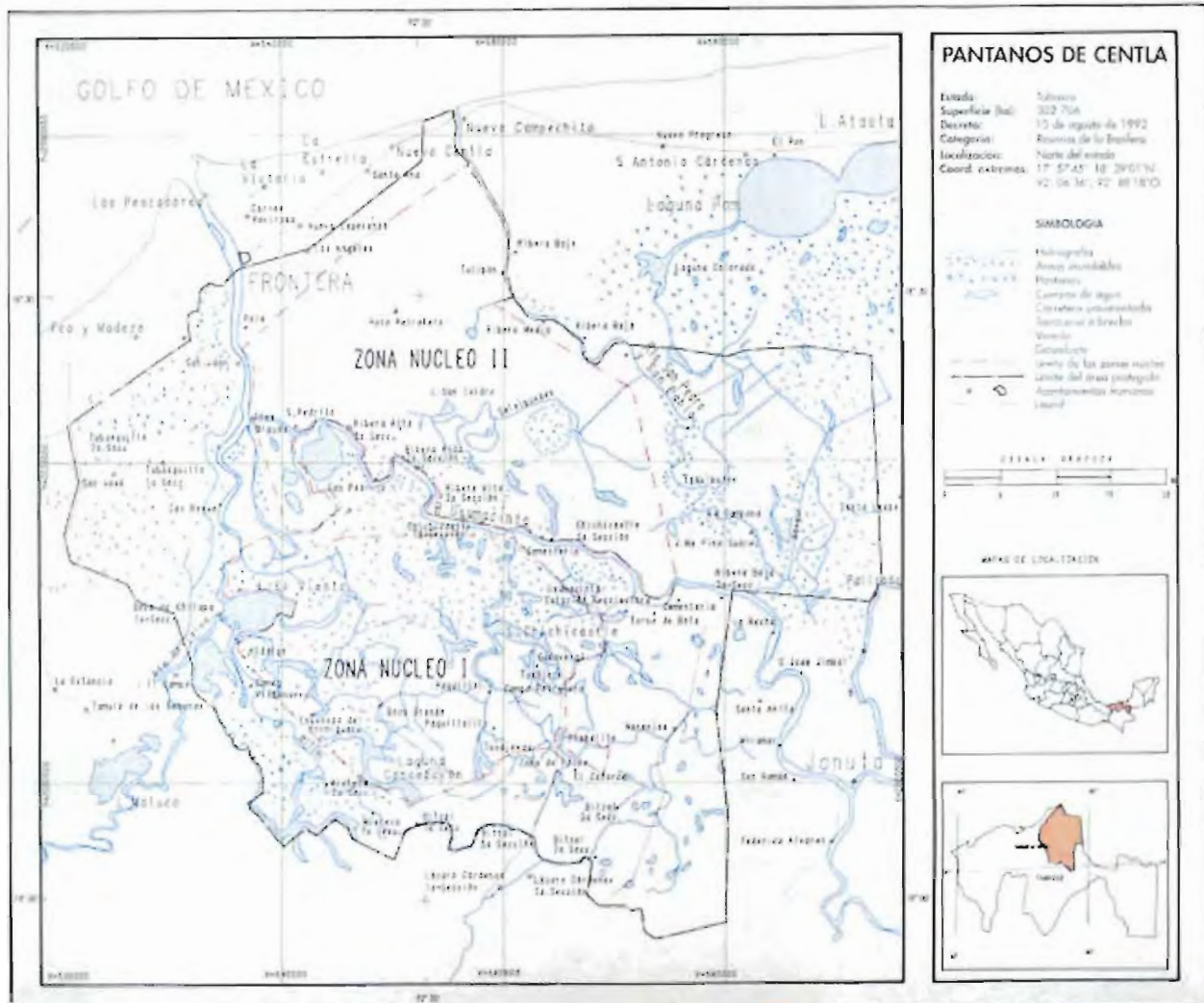


Figura 1.d.2 Delimitación de los pantanos de Centla. Decreto por el que se declara zona natural protegida 06 de agosto de 1992. DOF.

La Reserva se ubica en la provincia fisiográfica "Llanura Costera del Golfo Sur" y en la subprovincia "Llanuras y Pantanos Tabasqueños"; predominan las topofomas de llanura de barreras (playas) hacia la costa, y sobre toda la llanura costera inundable. La topografía plana con rango altitudinal de 0 m.s.n.m. junto al Golfo de México, a 7 m.s.n.m. al sur junto al río Bitzal; pero también se localizan sitios de -1. m.s.n.m. en las extensas depresiones entre llanuras fluviales (INEGI, 1989).

Hidrología de la zona

La Reserva de la Biosfera se encuentra ubicada en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta. Abarca parte de tres cuencas: Usumacinta al norte y centro de la Reserva; Laguna de Términos, al este y río Grijalva-Villahermosa, al sur y oeste de la Reserva, siendo ésta última la más extensa. Los ríos más importantes de la Reserva son el Grijalva, con un volumen anual de 27 013 millones de metros cúbicos y el Usumacinta con un volumen anual de 55 832 millones de metros cúbicos, que lo convierte en el más caudaloso de México.

UF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL
DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y
SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA.
(MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL
FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS
PANTANOS DE CENTLA.

Al centro, norte y este, la Reserva es drenada por distributarios del Usumacinta como son el Palizada, San Pedrito y San Pedro y San Pablo. Otros ríos importantes son el Bitzal el Naranjos y Palomillal que drenan hacia el río Grijalva al suroeste.

La longitud total de los cauces activos de la Reserva es de 463 km (ríos Grijalva, Usumacinta, San Pedro y San Pablo, Bitzal y Palizada) que junto con los cauces antiguos suman alrededor de 925 km de ríos. Los cauces activos son sinuosos, a veces con patrón meándrico y su importancia reside como fuente de abastecimiento de agua dulce para zonas urbanas, paisajes naturales, la pesca y como aportadores de nutrientes minerales y orgánicos que se depositan junto a los cauces en forma de sedimento durante las inundaciones anuales.

Los ríos Grijalva y Usumacinta aportan una carga suspendida de 7.6 millones de metros cúbicos, de ésta, el Usumacinta aporta el 47% y el 85.6% del gasto total anual. Los ríos Usumacinta y el San Pedro y San Pablo son afectados por intrusiones salinas del Golfo de México en la época de secas y durante los nortes hasta 30 y 22 km tierra adentro respectivamente, propiciando la formación de manglares riparios en las orillas de los cauces. En lo que respecta a sistemas lénticos en la Reserva se localizan 110 cuerpos de agua dulce con una superficie de 13,665 ha, destacando las zonas centro y sur donde se concentran el 84% de las lagunas, tales como: El Viento, El Campo, San Pedrito, Chichicastle, Tintal, Concepción, Tasajera y el Retiro; ocupando depresiones entre los ríos Usumacinta y San Pedro y San Pablo; y las lagunas el Chochal, Narváez y Alegre al este. Además de su importancia para la pesca, también lo son por sus paisajes y como vasos naturales reguladores de las inundaciones.

Por su nivel de descarga, hidrológicamente el delta Usumacinta–Grijalva, está considerado como el sistema más importante de norte y Centroamérica (INIREB, 1986) ocupando el séptimo lugar a nivel mundial.

En cuanto a las lagunas costeras destacan la del Cometa, que drena hacia el río San Pedro y San Pablo; el Coco, hacia el Grijalva, y el Corcho (municipio del Centro) que desaloja sus aguas hacia la laguna Santa Anita. Son de extensión reducida, sin embargo juegan un papel primordial en el ciclo de vida de muchas especies marinas, además de su valor paisajístico y para la pesca. Un patrón de drenaje adicional es el de drenes artificiales al este, sureste y sur de la Reserva, de acceso a pozos petroleros lacustres, calculados con una longitud de 128 km.

SIMULACIÓN CON HIDROGRAMAS MEDIDOS AÑO 2011

Para realizar el análisis de un evento en particular dentro de la zona de los ríos, es necesario contar con al menos un punto de calibración, sin embargo solo se cuenta con una estación automática aguas abajo del sistema denominada Frontera (Tres Brazos) la cual no reporta datos. Debido a esto, la calibración se realizó por medio de simular las zonas de desbordamiento sobre el río Usumacinta por medio de las imágenes de satélite del año 2011.

Las estaciones hidrométricas consideradas para la simulación como condiciones de frontera aguas arriba son:

- Estación hidrométrica Macuspana
- Estación hidrométrica Boca del Cerro
- Estación hidrométrica Salto del agua

A continuación se muestran los datos con los que se cuenta en cada una de las estaciones.

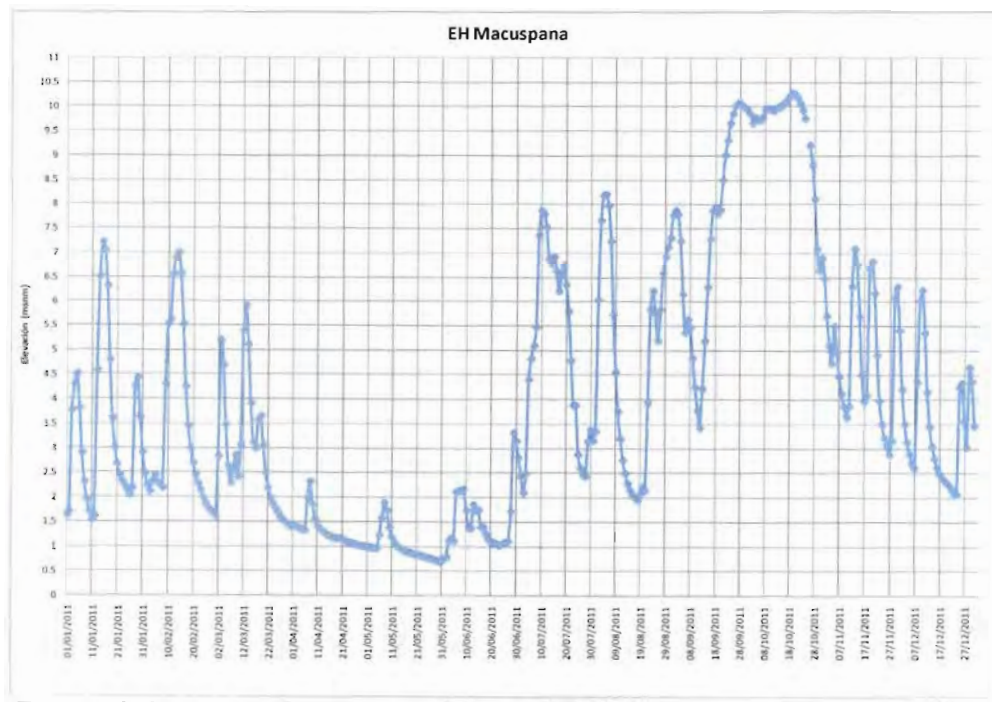


Figura 1.d. 3 Limnigrama medido en la EH Macuspana en el año 2011

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

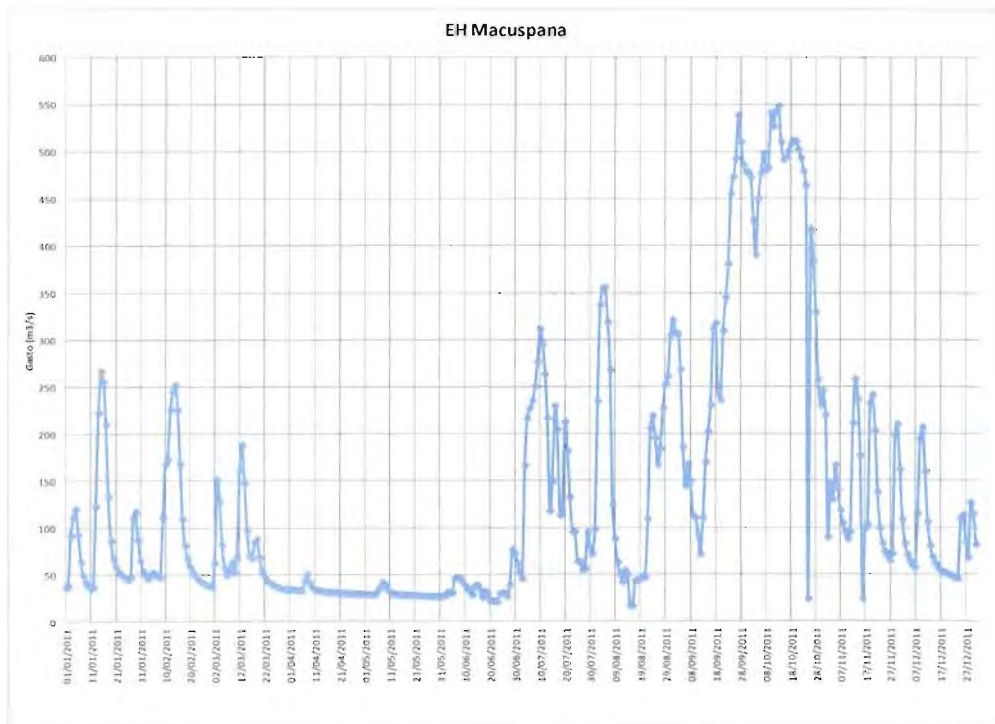


Figura 1.d. 4 Hidrograma medido en la EH Macuspana en el año 2011

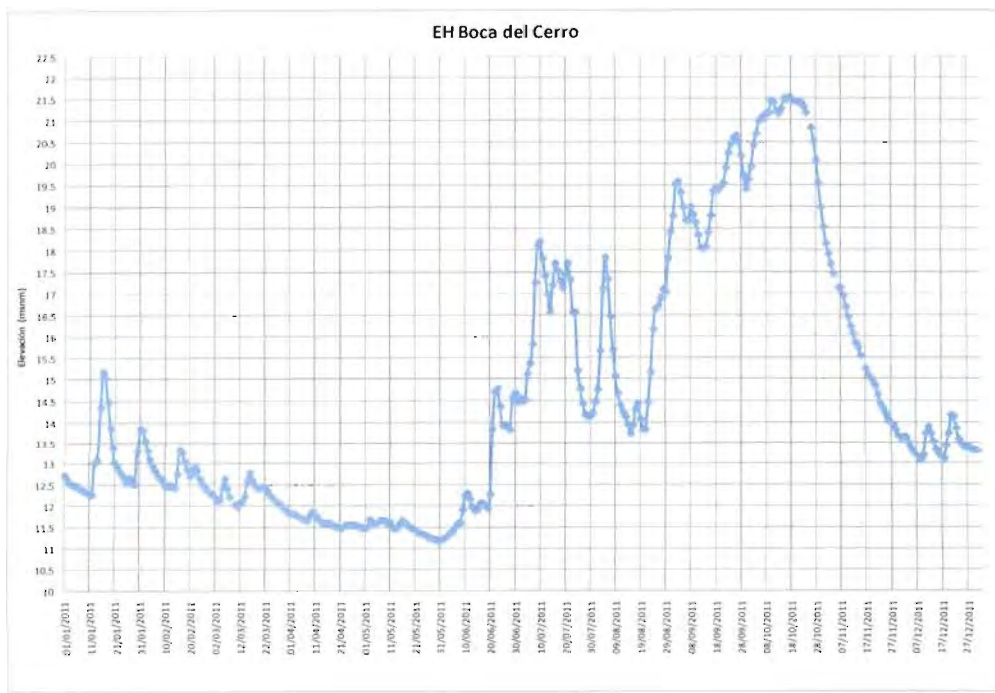


Figura 1.d. 5 Limnigrama medido en la EH Boca del Cerro en el año 2011

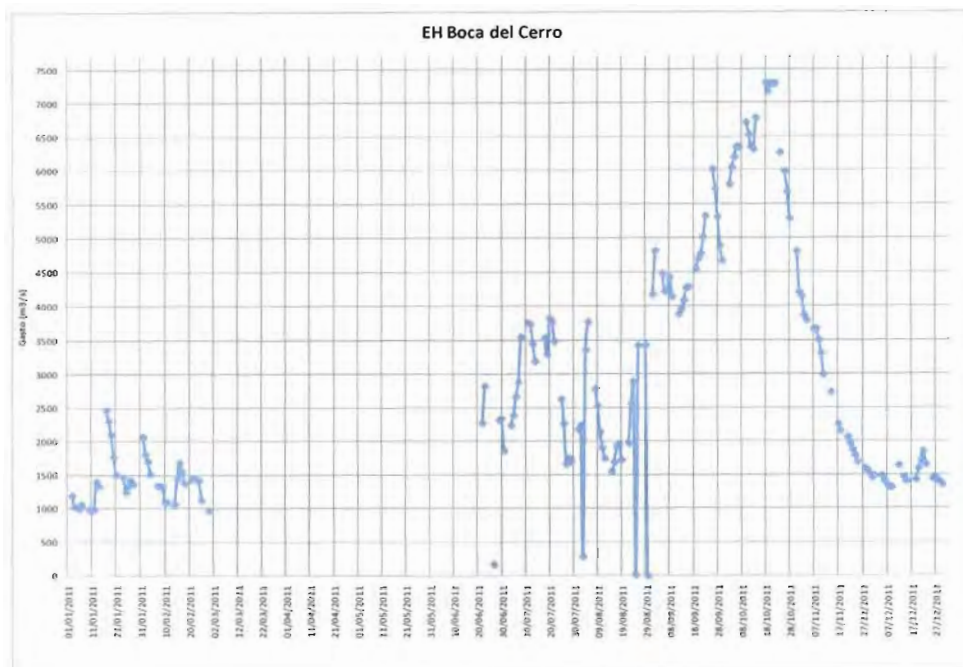


Figura 1.d. 6 Hidrograma medido en la EH Boca del Cerro en el año 2011

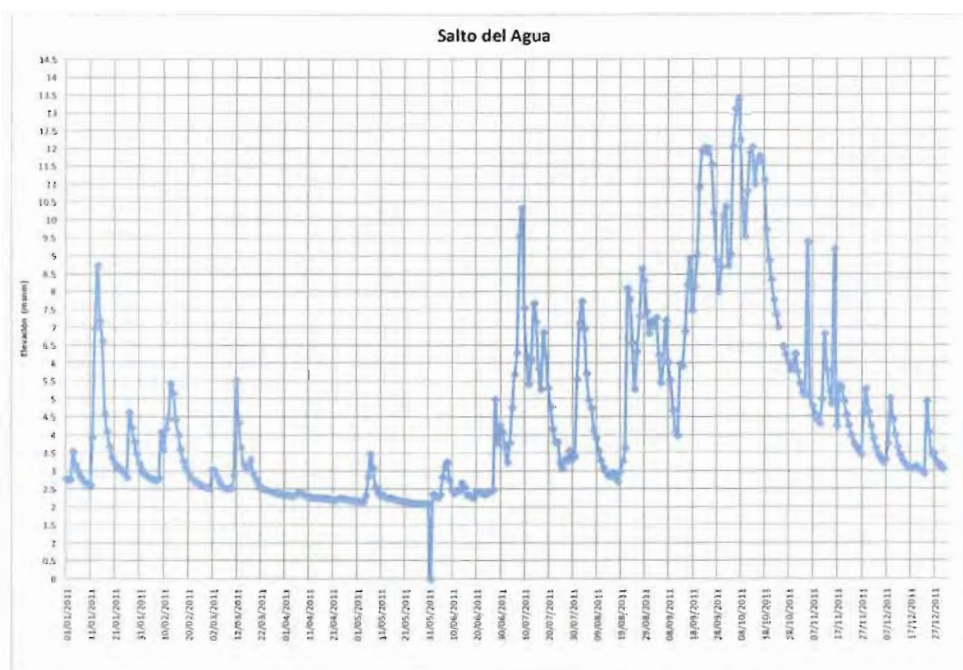


Figura 1.d. 7 Limnigrama medido en la EH Salto del Agua en el año 2011

↓ F

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

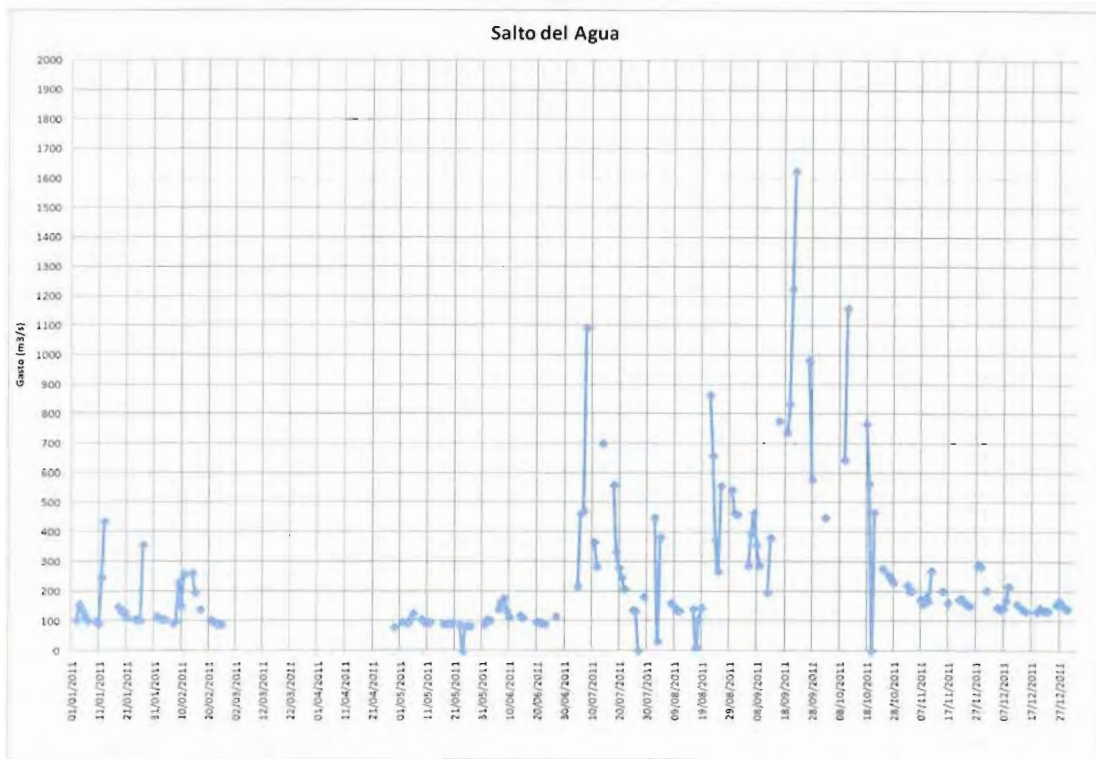
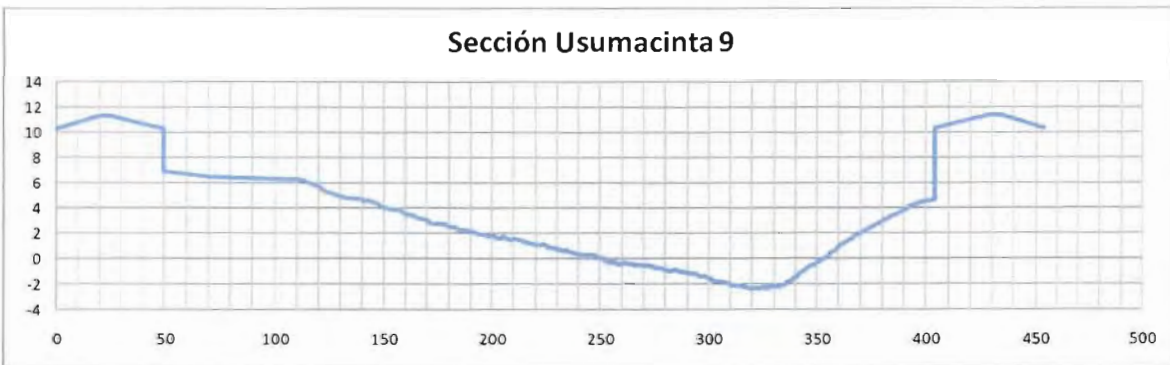


Figura 1.d. 8 Hidrograma medido en la EH Salto del Agua en el año 2011

Así mismo se generó el modelo de la Zona de los ríos en el software SWMM, con las secciones obtenidas a partir del levantamiento batimétrico (apartado 1.a). Las secciones corregidas y referenciadas al banco de nivel de INEGI son las siguientes:

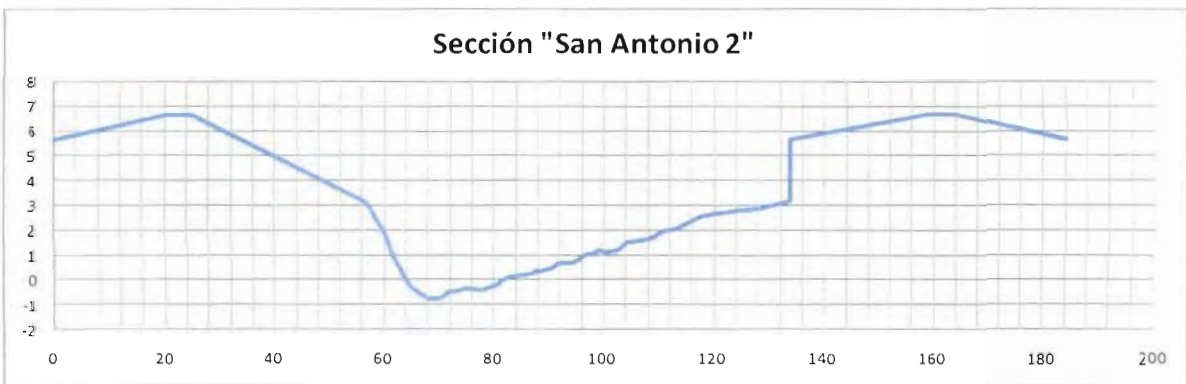
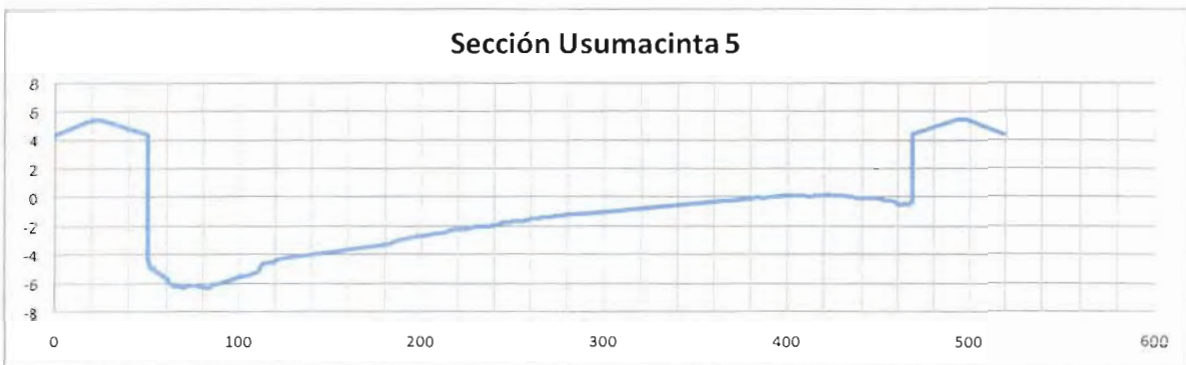
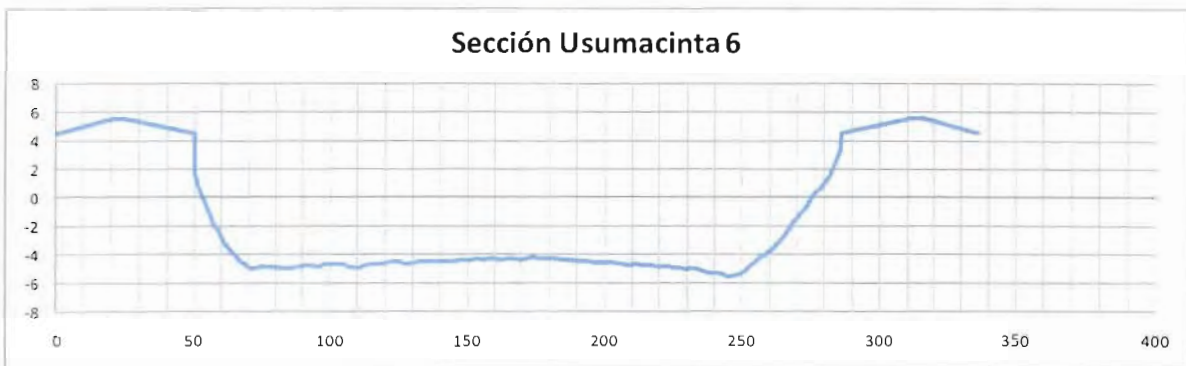


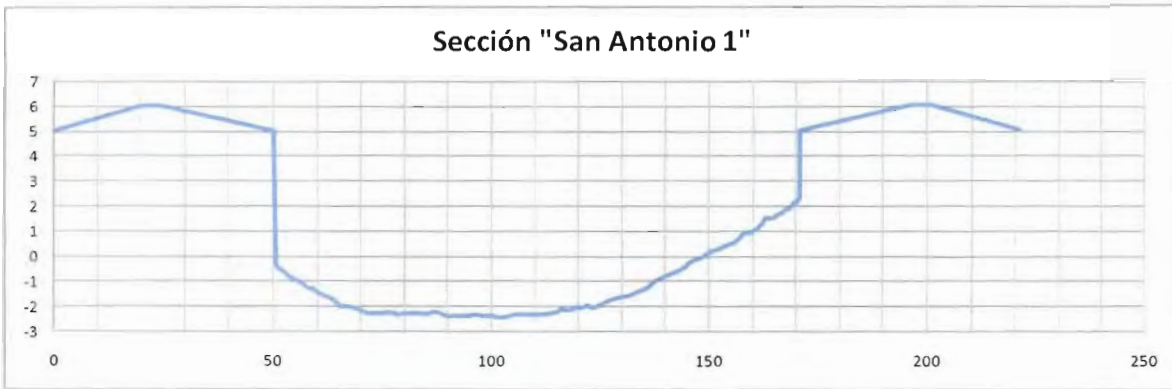
ACCIONES COMPLEMENTARIAS DEL PLAN HÍDRICO INTEGRAL DE TABASCO



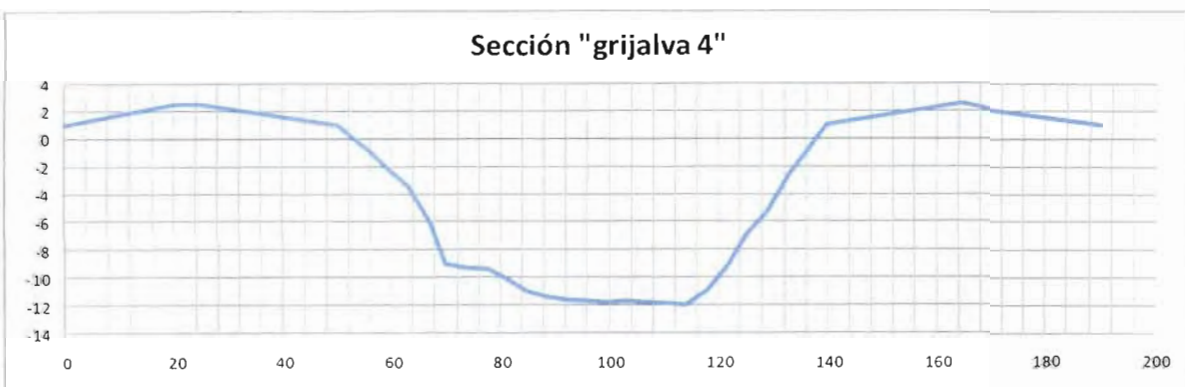
VF

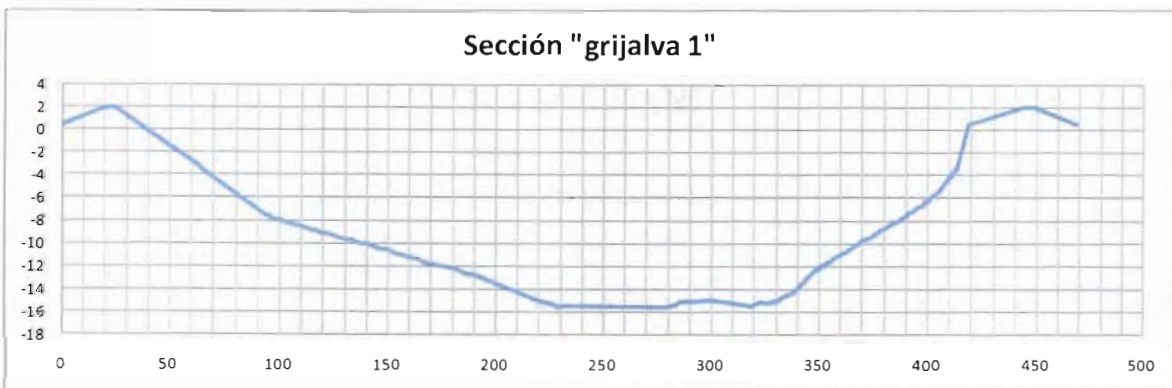
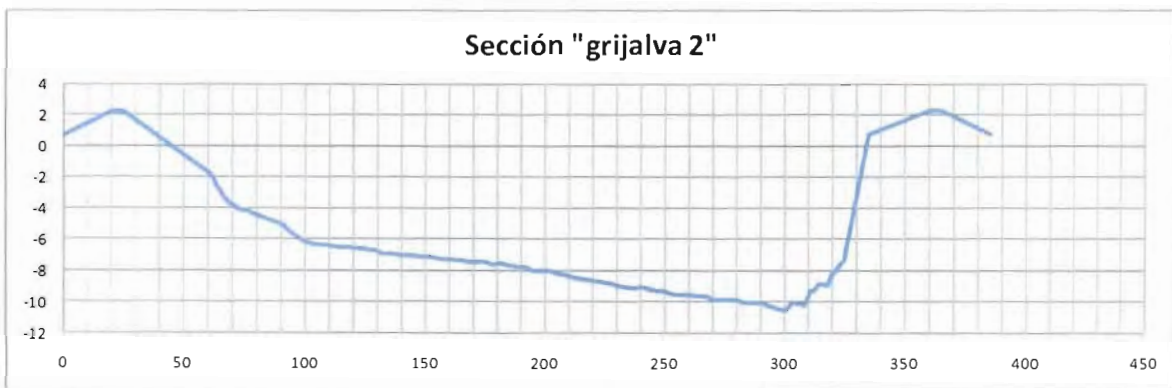
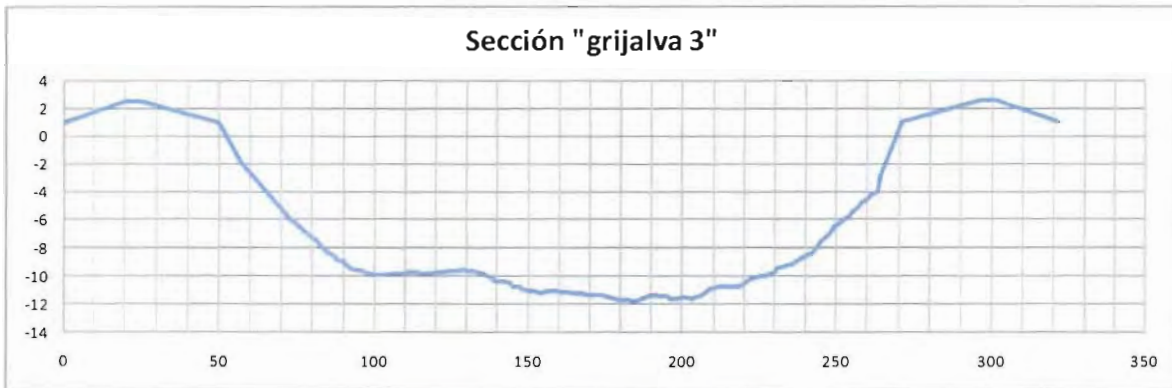
ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA





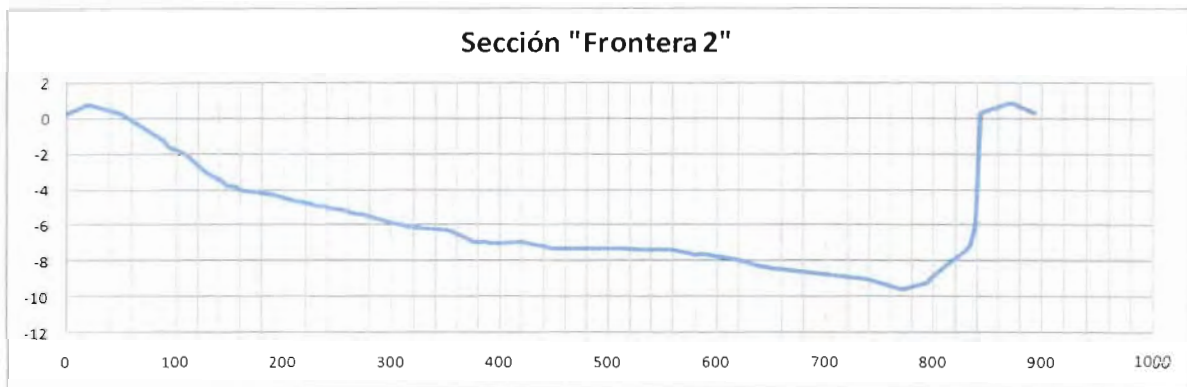
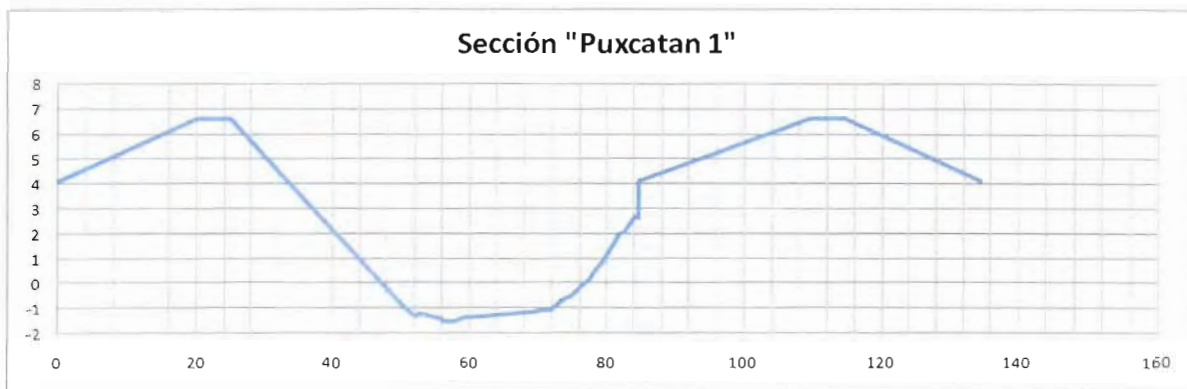
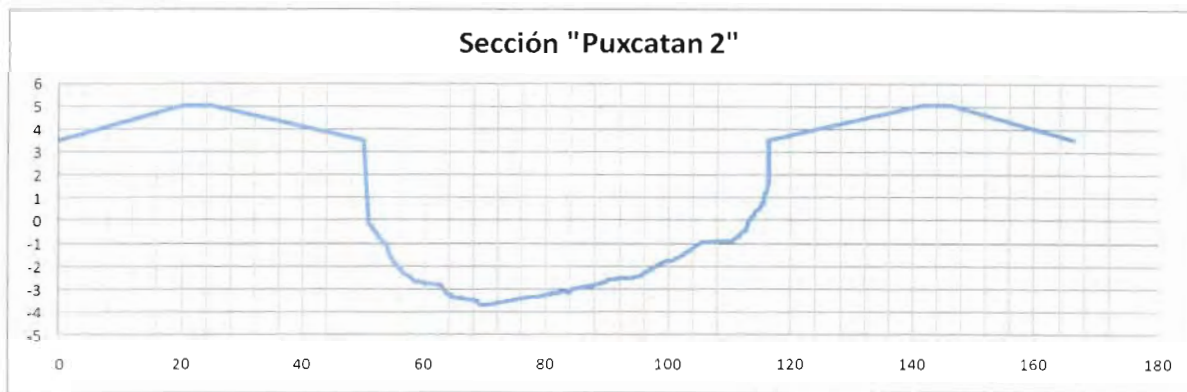
ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

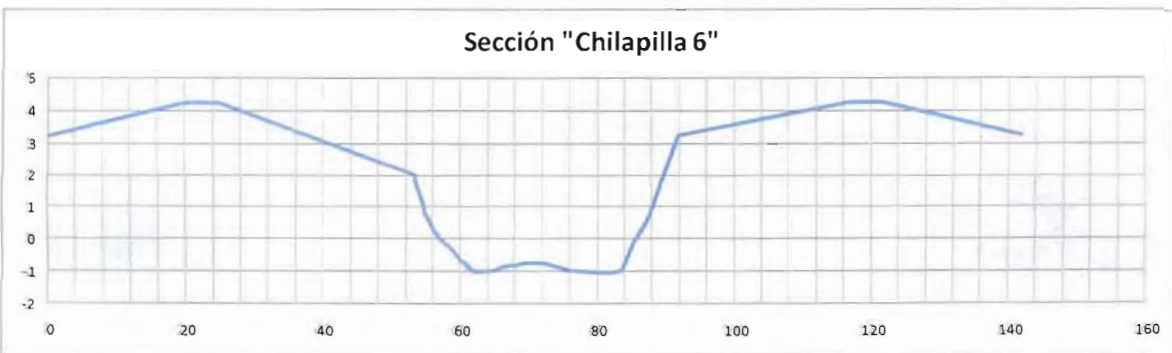
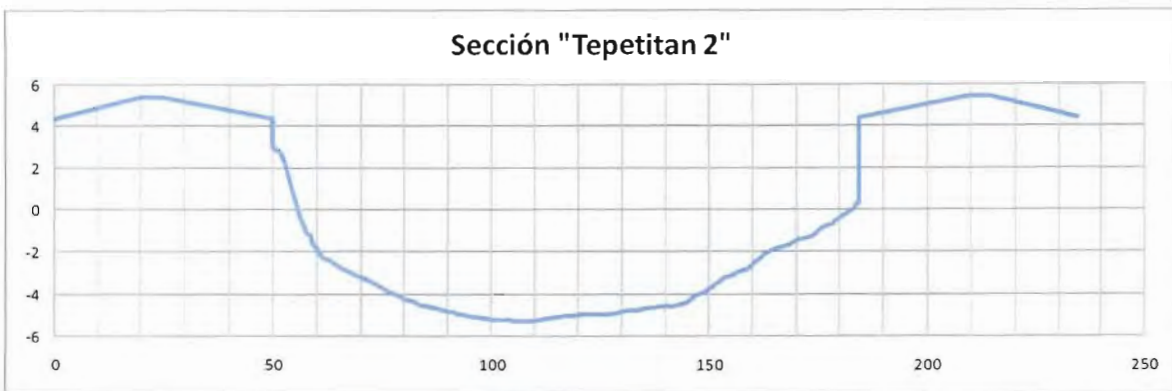
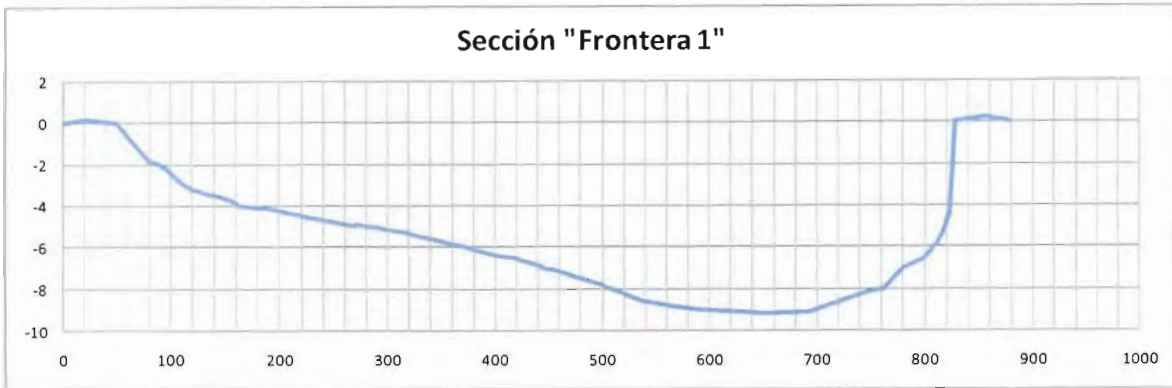




VJF

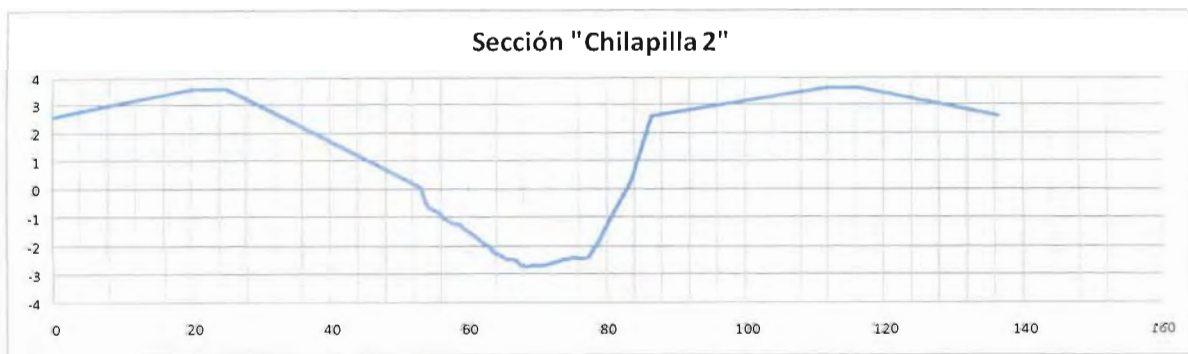
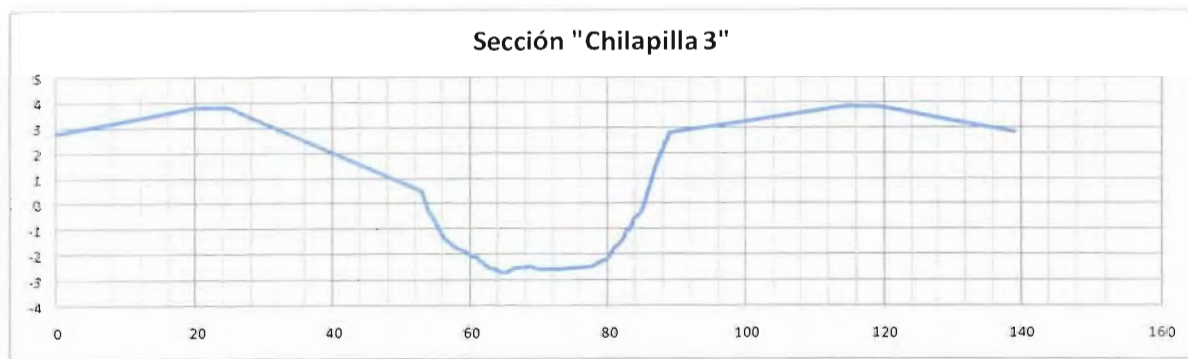
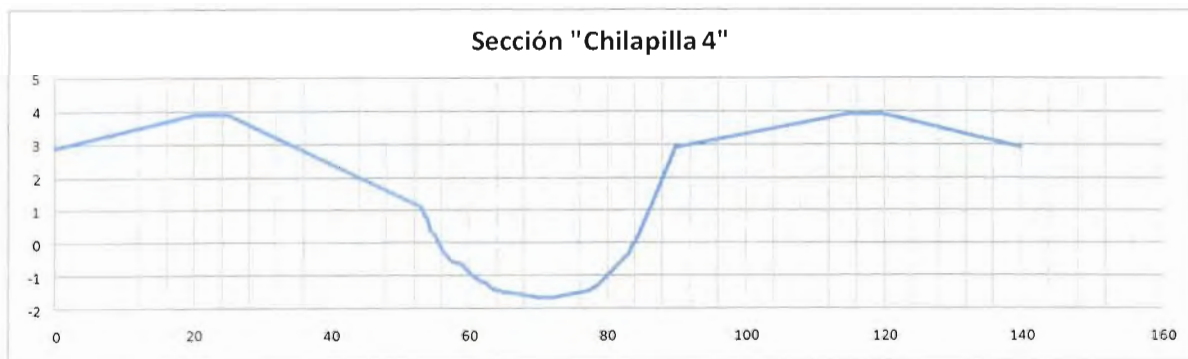
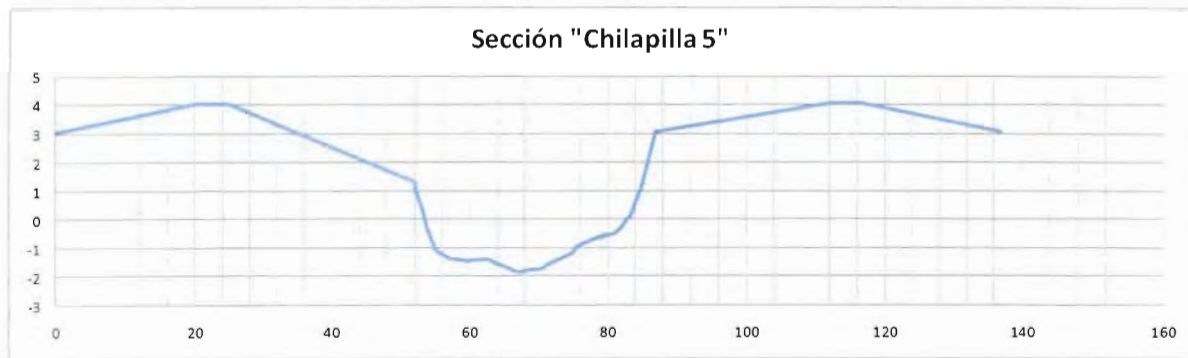
ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

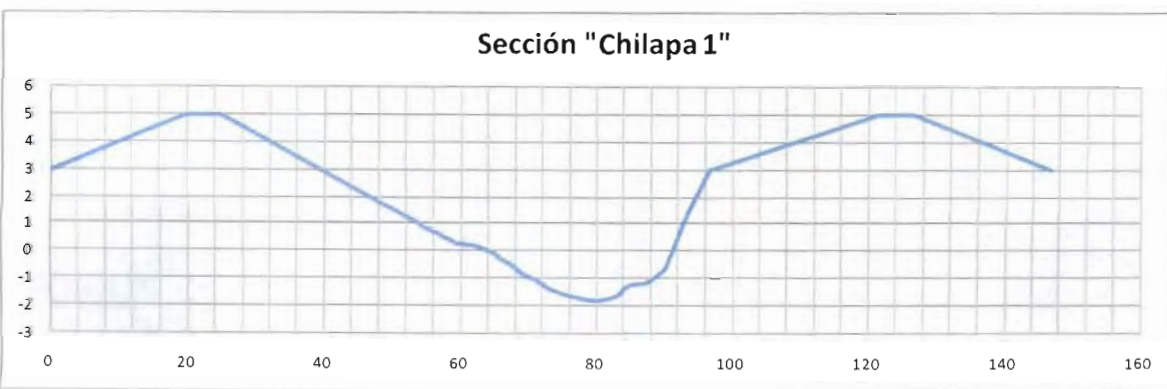
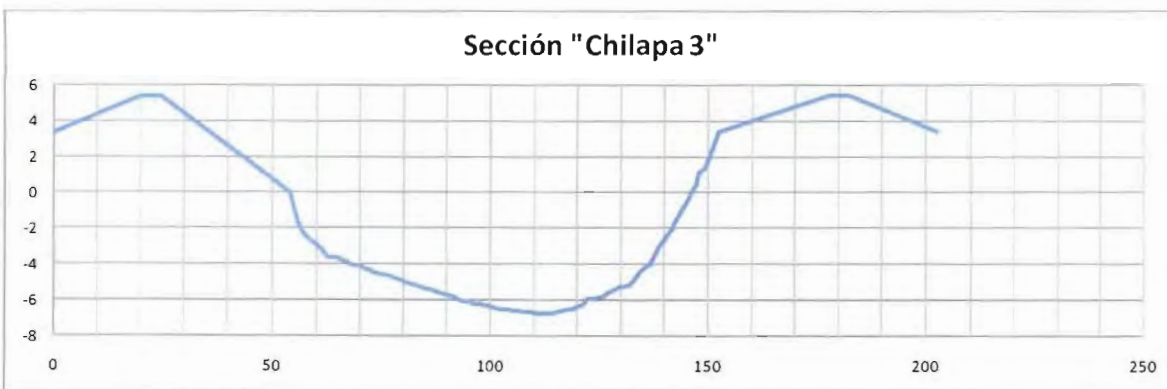
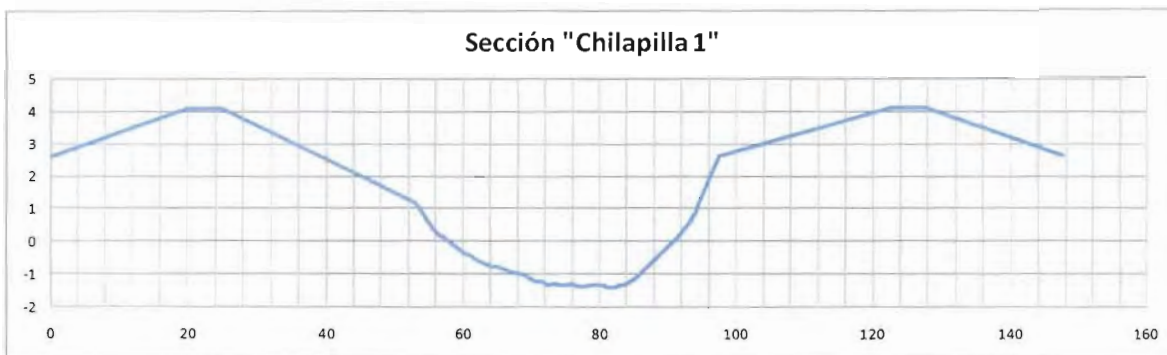




UF

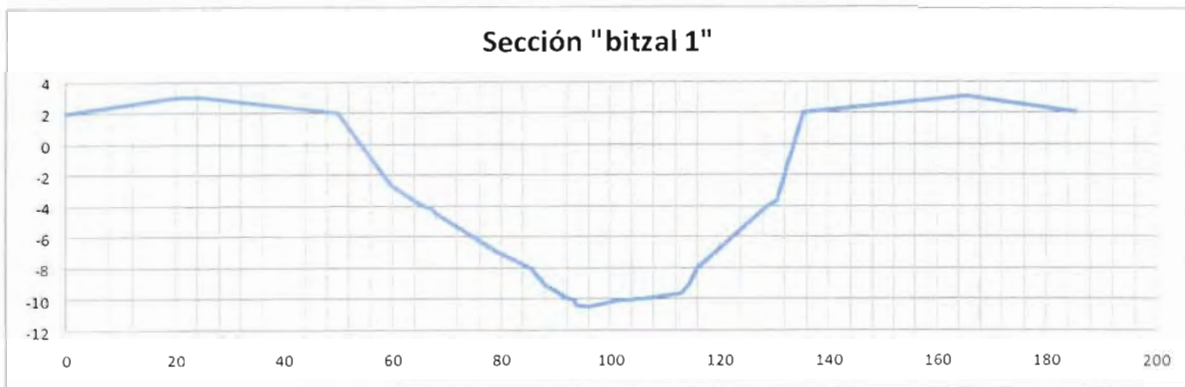
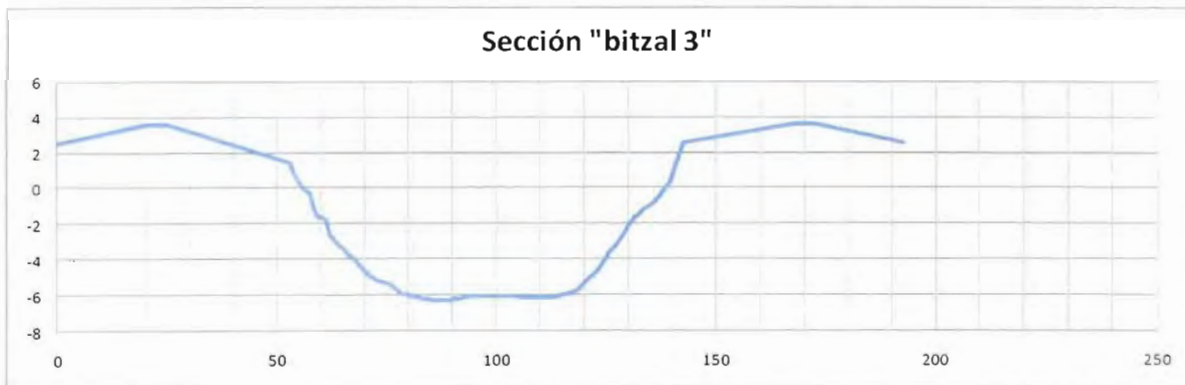
ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA, (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA



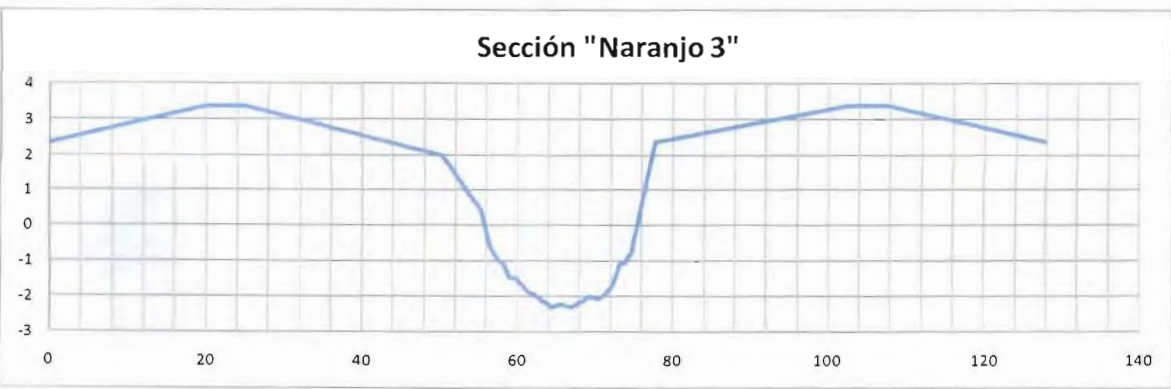
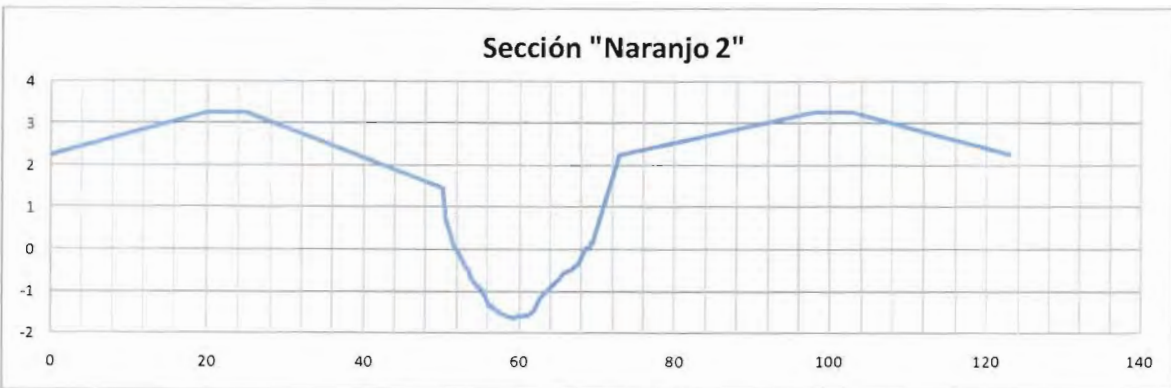
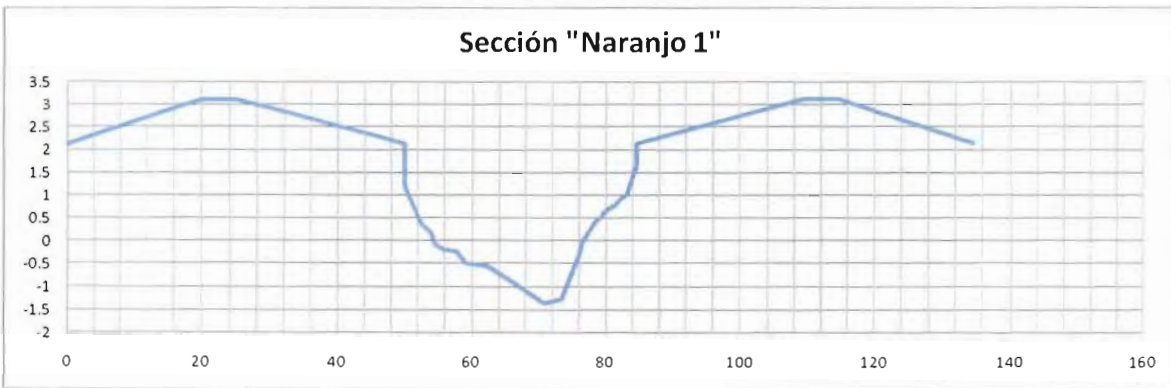
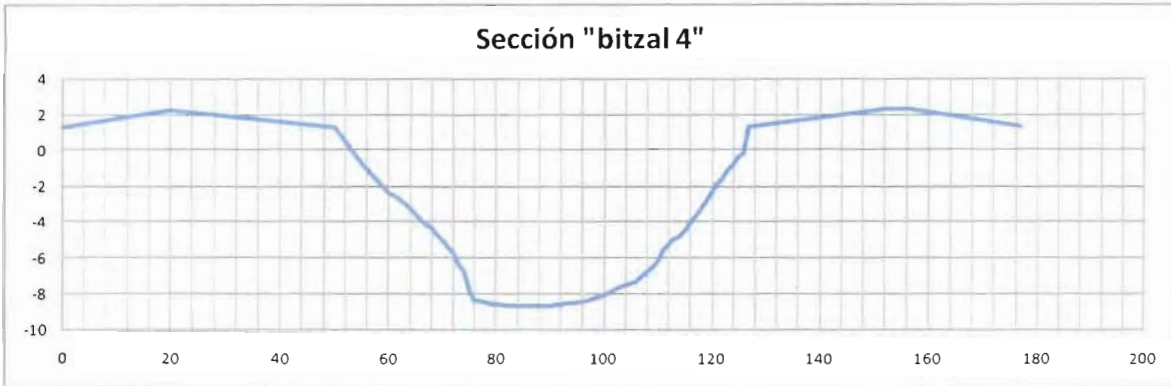


VF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA, (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

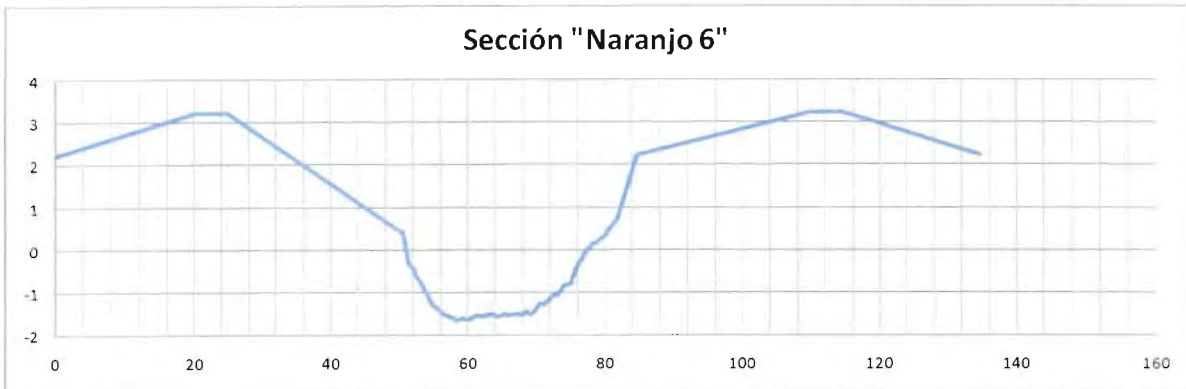
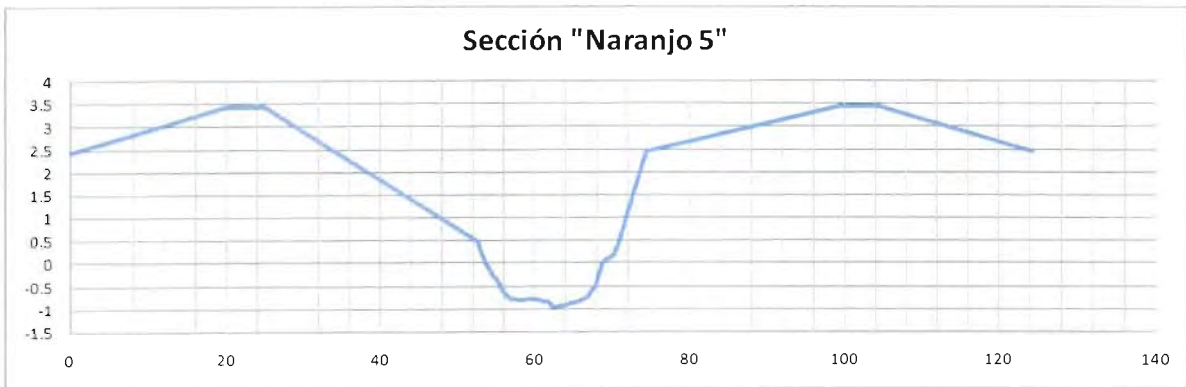
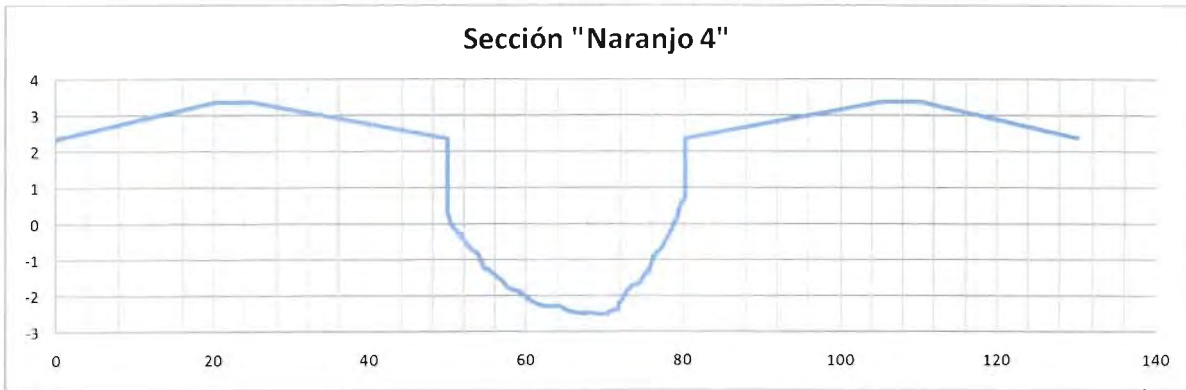


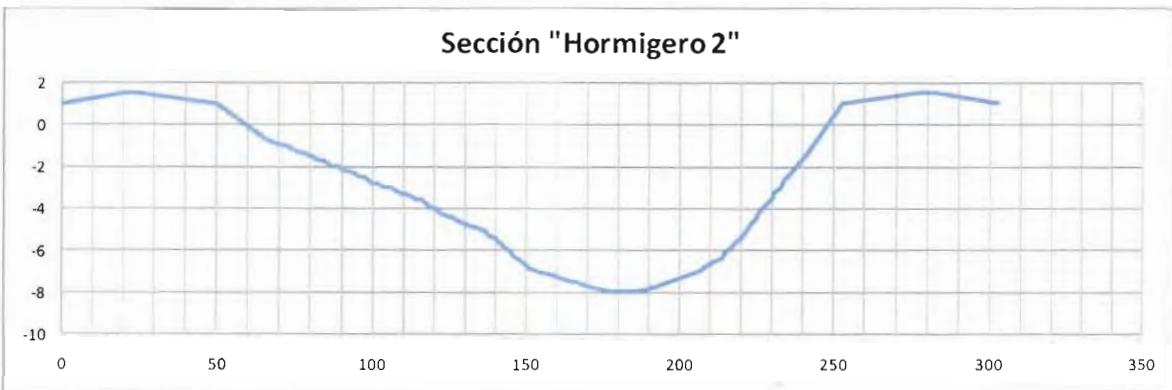
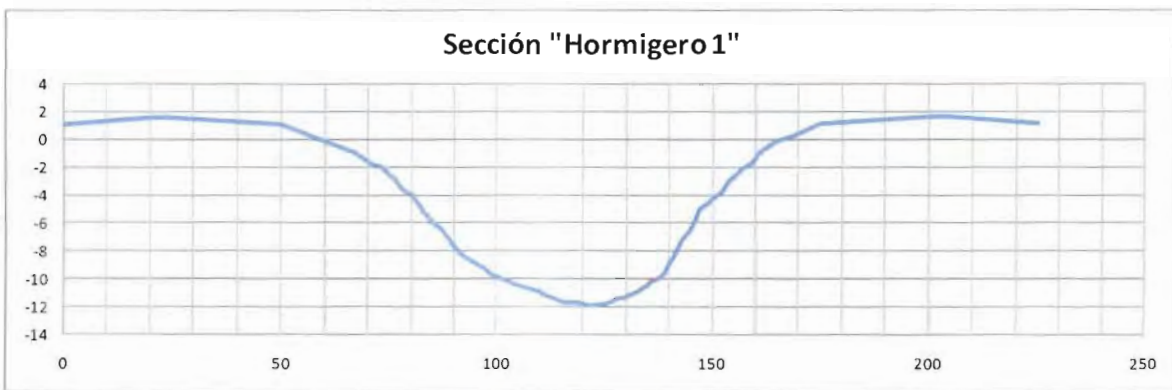
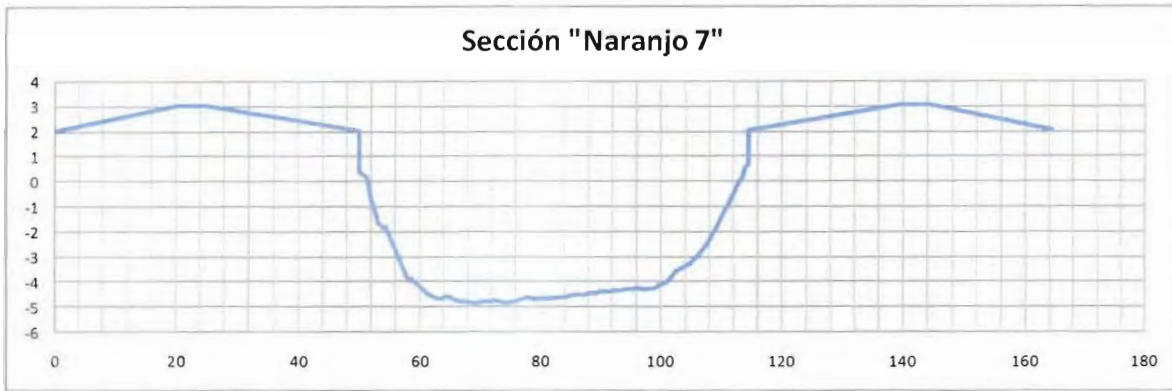
ACCIONES COMPLEMENTARIAS DEL PLAN HÍDRICO INTEGRAL DE TABASCO



Vf

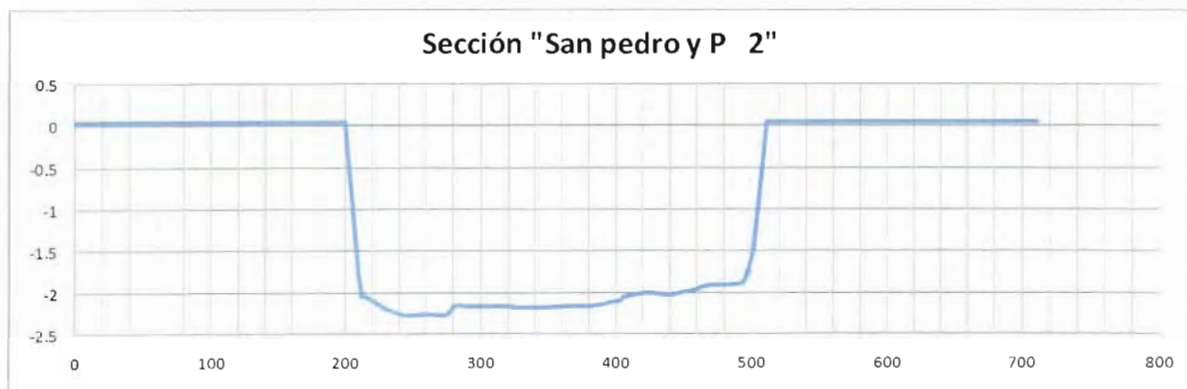
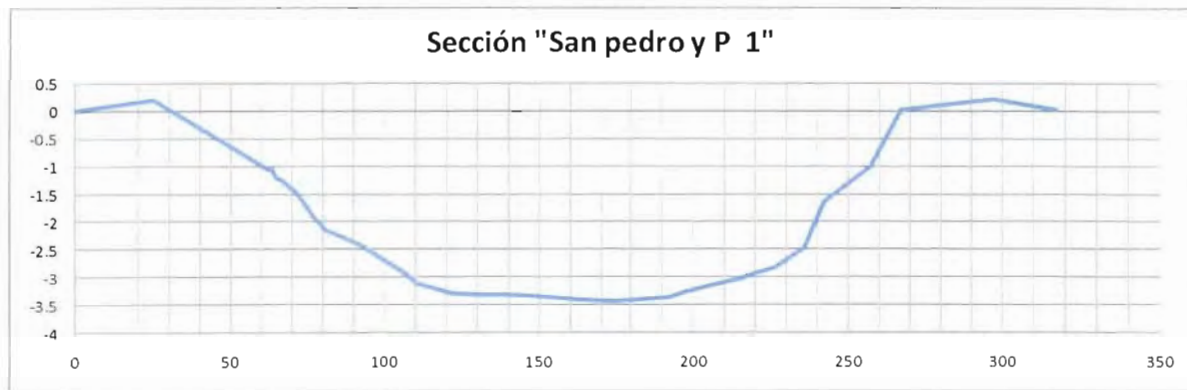
ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

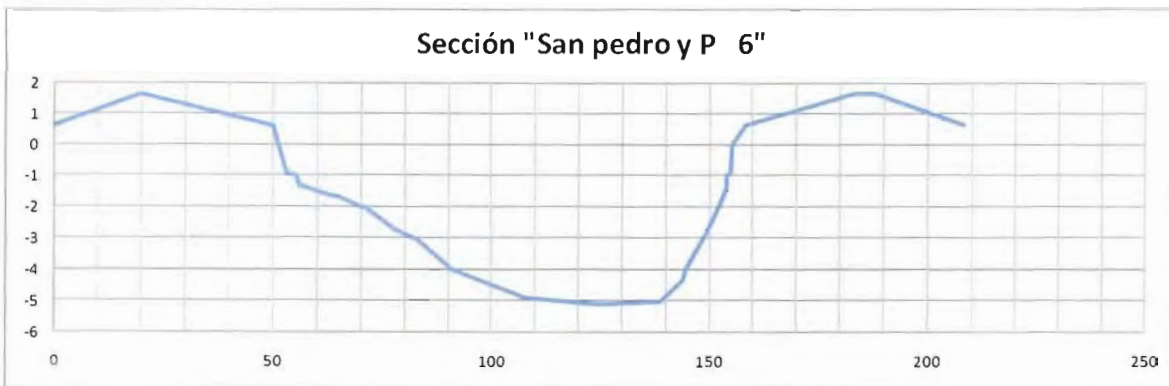
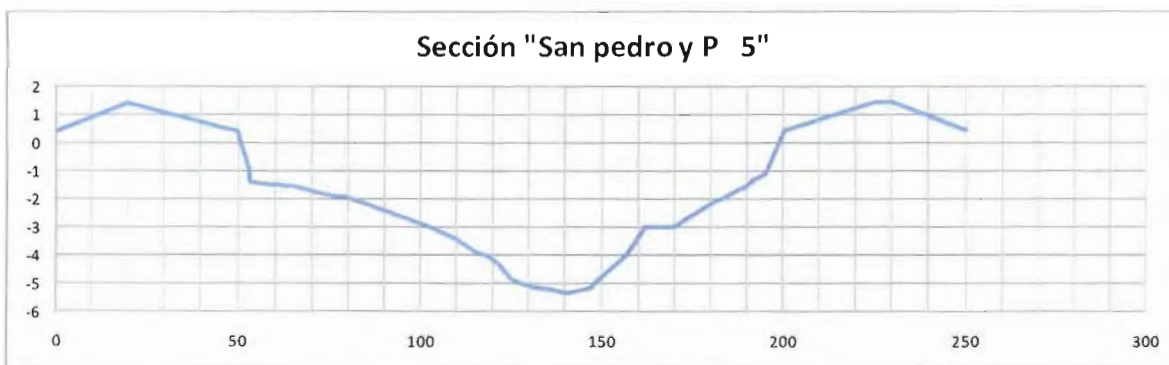
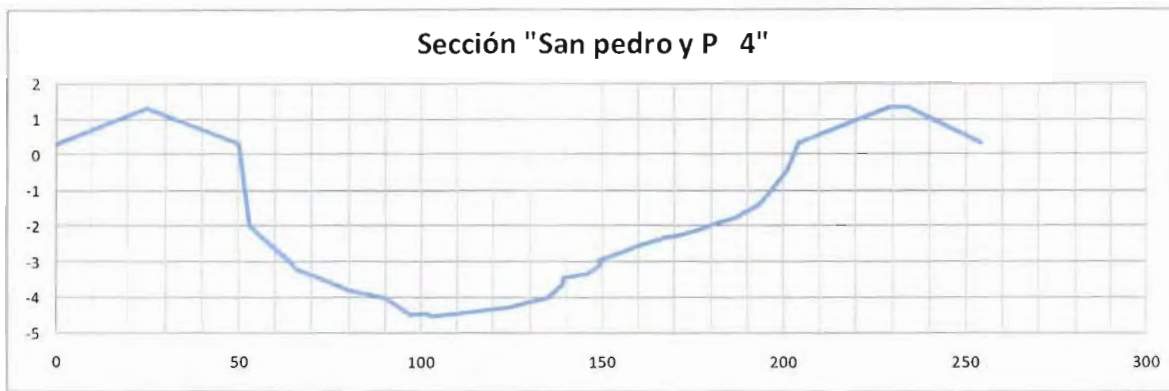




JF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA





ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA

El esquema de simulación es el que se muestra en la siguiente figura.

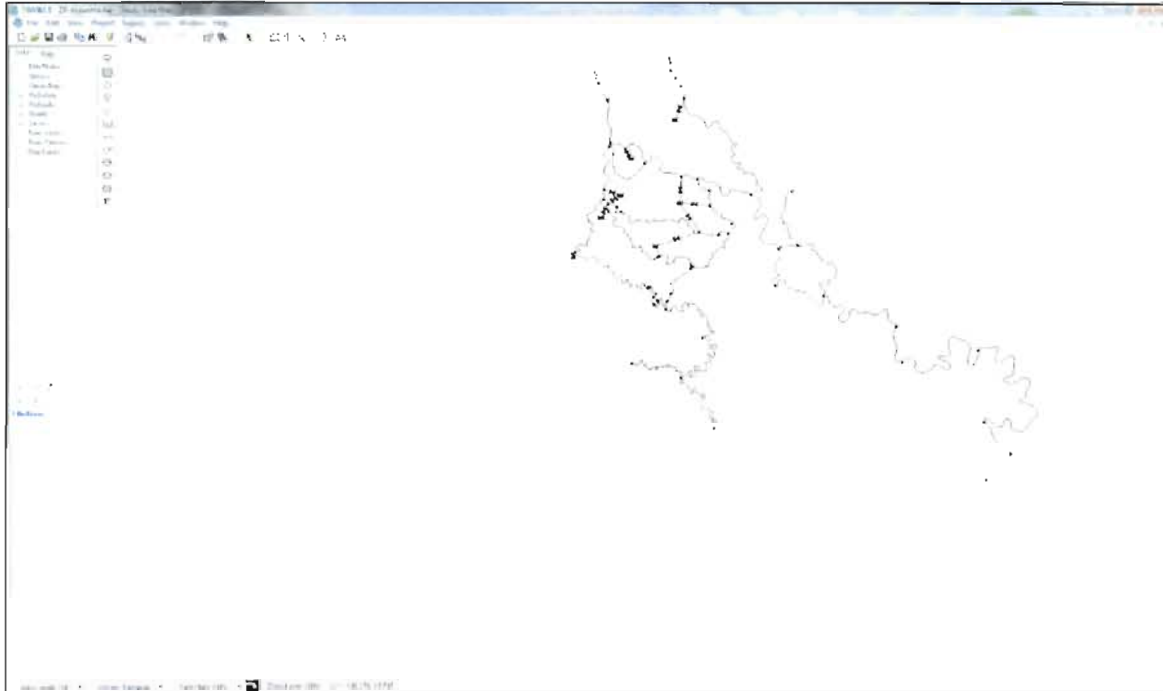


Figura 1.d. 9 Esquema unifilar Zona de los ríos -SWMM

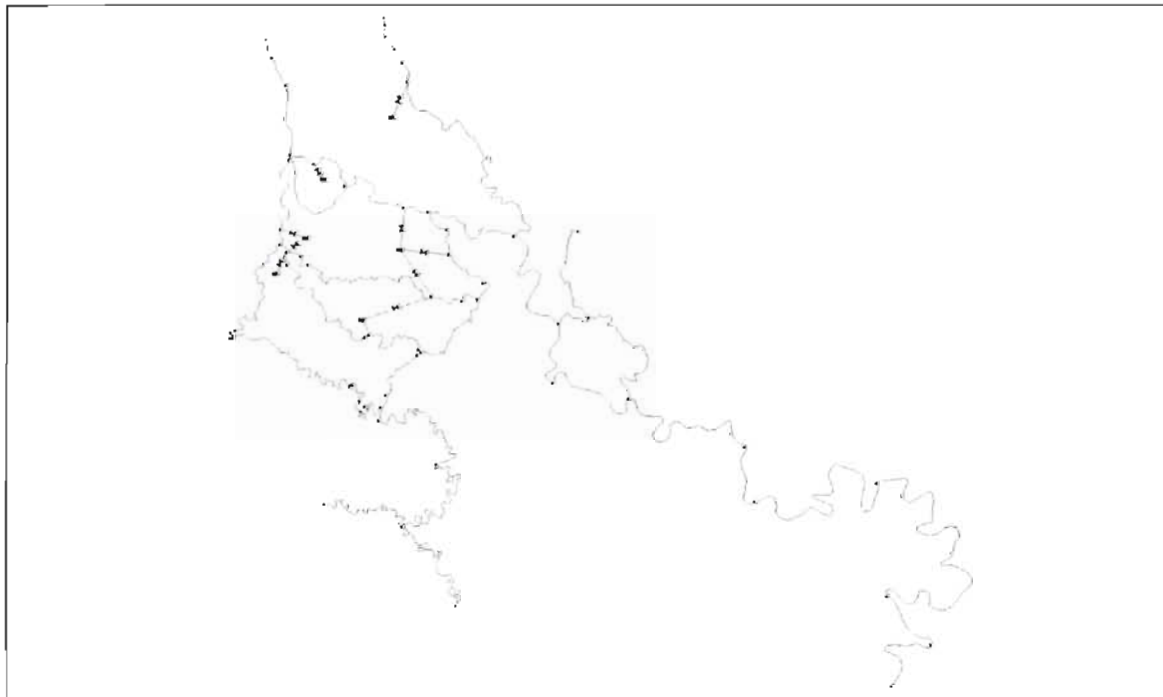


Figura 1.d. 10 Esquema unifilar Zona de los ríos -SWMM acercamiento

A handwritten signature or mark in black ink, located at the bottom right of the page. It appears to be a stylized name or initials.

Una vez generado el esquema unifilar e ingresando los datos hidrométricos en los puntos de entrada se simuló un periodo de 12 meses (01-enero-2011 al 31-diciembre-2011) comprendiendo con esto la época de secas y lluvias.

A continuación se presentan los perfiles hidráulicos obtenidos del SWMM de la zona de los ríos mostrando las zonas de desbordamiento en caso de que se presenten.

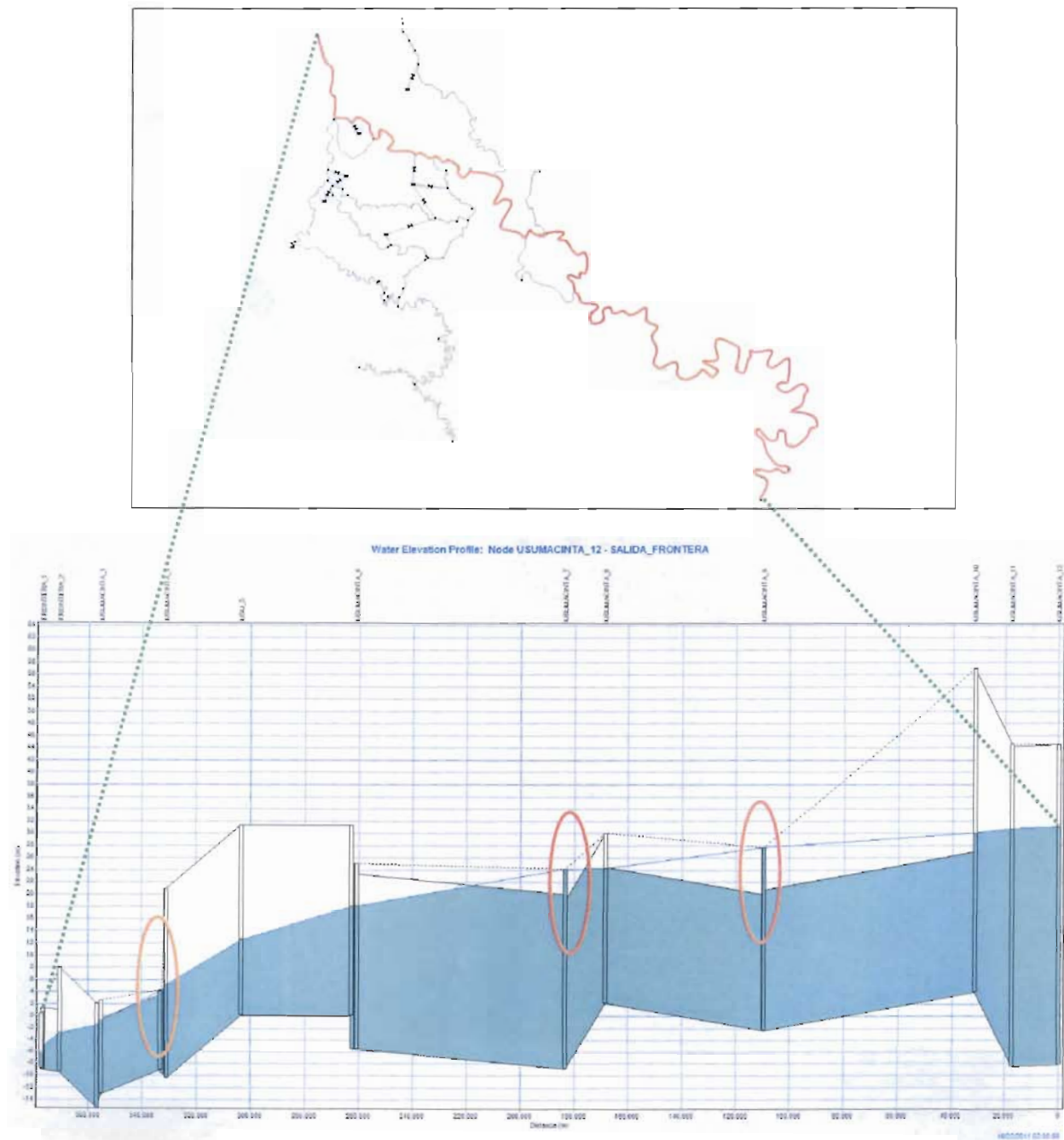


Figura 1.d. 11 Perfil hidráulico del cauce Usumacinta-Grijalva bajo en fecha 22 de octubre del 2011

JF

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL
DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y
SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA.
(MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL
FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS
PANTANOS DE CENTLA.

La figura anterior muestra el perfil hidráulico del cauce principal del río Usumacinta, desde la estación Boca del Cerro hasta su desembocadura al golfo de México (en Frontera) en la fecha 22 de octubre de 2011, siendo este el día donde se presentó el pico mayor de la avenida. Se observan tres zonas principales de desbordamiento, las cuales se indican en la siguiente tabla:

No	SECCION (ID)	Gasto desbordado (m ³ /s)
1	Usumacinta 9	1 208.59
2	Usumacinta 7	1 243.35
3	Usumacinta 3	2 886.27

Las dos primeras secciones se encuentran cercanas al límite estatal con Chiapas y el país de Guatemala, mientras que la sección Usumacinta 3 se encuentra dentro de la zona protegida de los pantanos de Centla, cerca de la laguna Chichicaste.

La siguiente figura muestra el perfil hidráulico del cauce principal del río Usumacinta, desde la estación Boca del Cerro hasta su desembocadura al golfo de México por el río San Pedro y San Pablo en la fecha 22 de octubre de 2011, siendo este el día donde se presentó el pico mayor de la avenida. Se observan cinco zonas principales de desbordamiento, las cuales se indican en la siguiente tabla:

No	SECCION (ID)	Gasto desbordado (m ³ /s)
1	Usumacinta 9	1 208.59
2	Usumacinta 7	1 243.35
3	SPySP_1	3 757.26
4	SPySP_3	2 888.82
5	SPySP_5	1 182.40

Las dos primeras secciones se encuentran cercanas al límite estatal con Chiapas y el país de Guatemala, mientras que las restantes se ubican sobre el cauce San Pedro y San Pablo cercanas a la desembocadura.

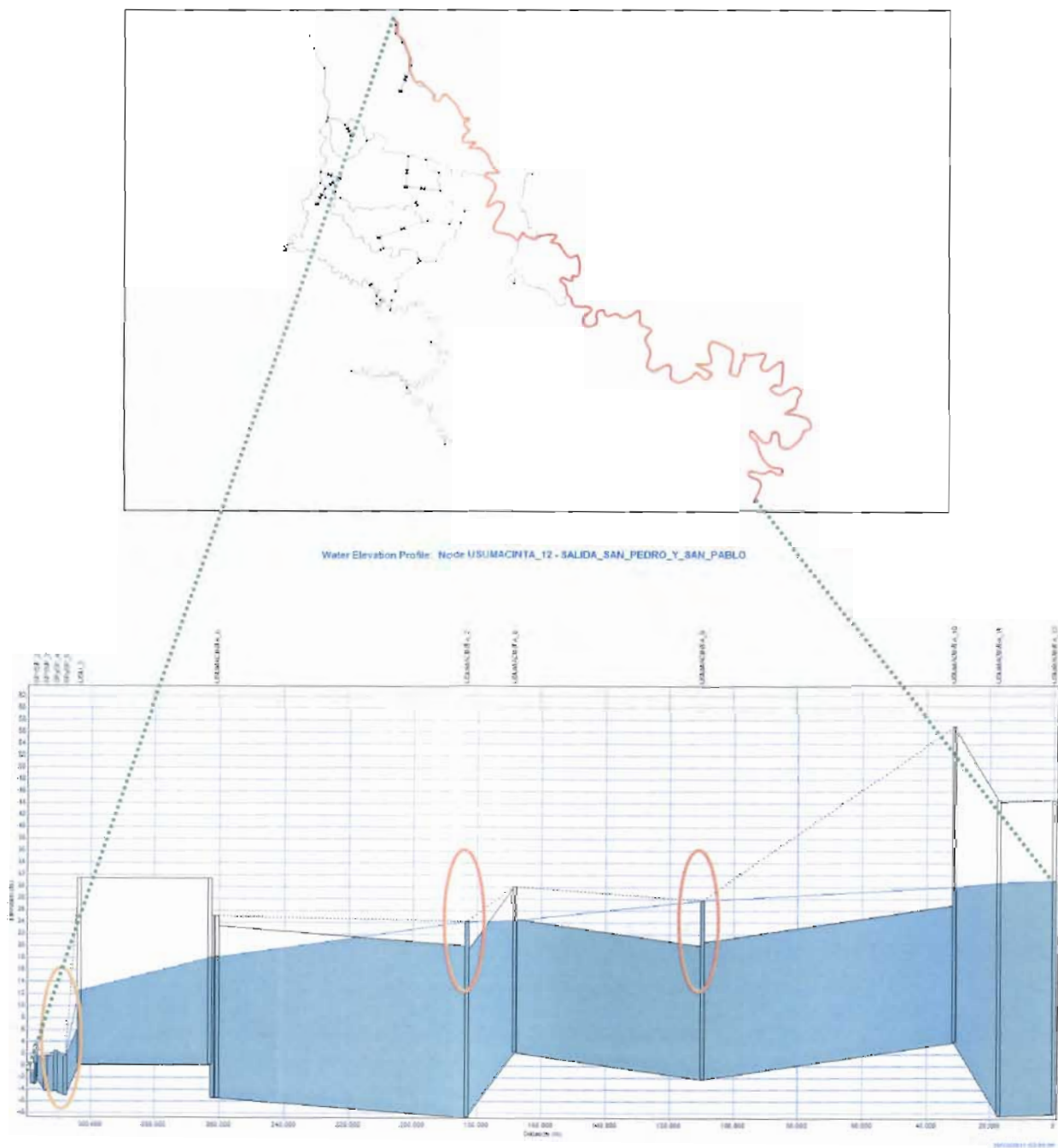


Figura 1.d. 12 Perfil hidráulico del cauce Usumacinta-San Pedro y San Pablo en fecha 22 de octubre del 2011

V.F.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE MEJORAR EL DRENADO EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS SAN PEDRO Y SAN PABLO, USUMACINTA, MACUSPANA, TULIJÁ Y PALIZADA. (MODELO ZONA DE LOS RÍOS) Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE LOS PANTANOS DE CENTLA.

En la figura siguiente se muestra el modelo de simulación con una base de las localidades del estado de Tabasco según el CENSO 2010 reportado por INEGI. Se puede observar el crecimiento desordenado de la población dentro del sistema denominado como zona de los ríos. Es importante hacer notar que dentro de la simulación realizada la sección Usumacinta 9 se encuentra la cabecera municipal de Balancán con 13,030 habitantes, esta zona se muestra dentro del círculo azul, y es un punto de desbordamiento dentro de la simulación. lo mismo ocurre con la sección Usumacinta 7 donde se encuentran localidades como: La Guayaba, Jonuta y Chabl, Emiliano Zapata.

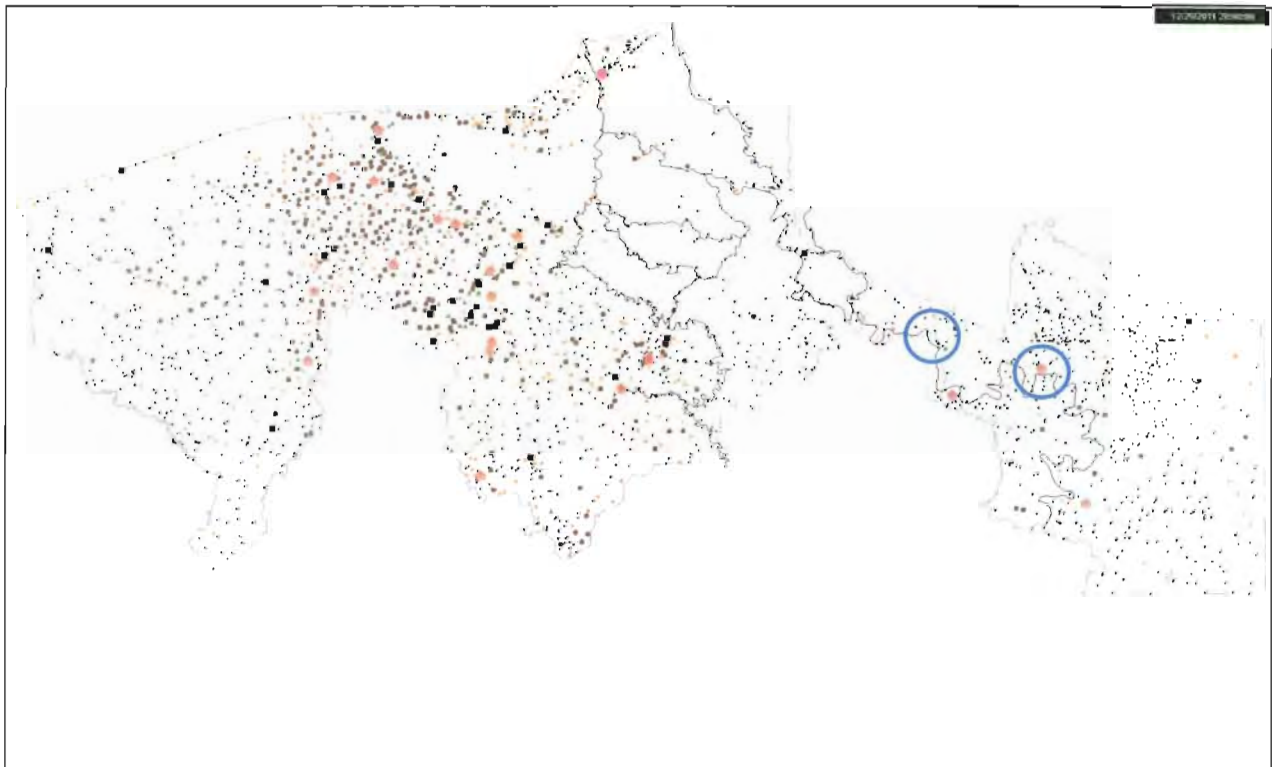


Figura 1.d. 13 Mapa de la dispersión de localidades en el estado de Tabasco; y zonas de desbordamiento simuladas en el SWMM (INEGI, 2010)

Las localidades ubicadas dentro de la zona de los ríos (ríos Chilapa, Chilapilla, Bitzal, Naranja) se encuentran dentro de la zona protegida de los pantanos de Centla. Esta zona cuenta con alrededor de 110 lagunas (Programa de conservación de la reserva pantanos de Centla, SEMARNAT) las cuales aumentan su extensión en cuanto comienzan las lluvias.

e CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA ZONA DE LOS RIOS

Una vez realizada la modelación de las alternativas propuestas y analizando los resultados presentados, se concluye lo siguiente:

- Es evidente que ninguna de las alternativas estudiadas evitan la inundación al 100%, por lo que es necesario rescatar la filosofía de convivencia con el agua dentro de esta región.
- Las opciones estudiadas en este proyecto representan medidas de mitigación exclusivamente para la parte baja de la cuenca del río, donde se aprecia que en función del nivel de inversión se pueden reducir los niveles de inundación en el río hasta en 70 cm en la vertical.
- La alternativa que reduce en mayor medida los niveles registrados en la inundación, es aquella que considera el dragado simultáneo del río San Pedro San Pablo y la desembocadura del río Usumacinta. Esta opción construye hacia el incremento de la eficiencia hidráulica del río, trabajando en conjunto con los procesos naturales de drenaje que se presentan en el río. Naturalmente, la opción que considera el dragado de todo el río San Pedro San Pablo en 75km y la desembocadura del río Usumacinta en toda su anchura representan la mayor reducción. Sin embargo, esta se asocia a un excesivo nivel de inversión.
- Es necesario implementar medidas de manejo de inundaciones de forma integrada, de tal suerte que se definan medidas para la parte baja de la cuenca (dragado en los ríos y sus desembocaduras) y también se considera la parte alta del río Usumacinta (poblaciones: Emiliano Zapata, Chablé y Balancán).
- La alternativa que considera el dragado del río Palizada es la menos eficiente de todas las probadas en este estudio. Se recomienda no utilizar esta dado que además transferiría el problema de inundación al pueblo de Palizada en Campeche.
- El plan de manejo de inundaciones para el río Usumacinta, requiere el aumento en la capacidad hidráulica de los drenajes hacia el Golfo de México a través del dragado de la desembocadura del río Usumacinta y del río San Pedro San Pablo, pero es vital considerar además medidas de protección para los poblados ubicados en la parte alta de la cuenca. Los cuales no se ven beneficiados por estas medidas.
- A pesar de que el Instituto de Ingeniería estudió y realizó los análisis hidráulicos referente al dragado de la desembocadura del río Usumacinta y San Pedro y San Pablo no se recomienda aplicar esta acción, sin antes haber realizado un estudio beneficio-costo. La CONAGUA una vez que tenga dicho estudio tendrá información suficiente para tomar una decisión.
- En general, en el tema de las inundaciones en la zona de los ríos, el Instituto de Ingeniería recomienda tomar medidas adaptativas, las cuales podrán apoyarse en un estudio social.

Referencias

- Ashley S. T., Ashley, W. S., 2006, Flood Fatalities in the United States. American Meteorological Society.
- CENAPRED, 2008. Tabasco: Características e Impacto Socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de Octubre y a comienzos de Noviembre de 2007 por el frente frío Número 4. Resumen. Secretaría de Gobernación.
- Dawson R.J., Dickson M.E., Nicholls R.J., Hall J.W., Walkden M.J.A., Stansby P., Mokrech M., Richards J., Zhou J., Milligan J., Jordan A., Pearson S., Rees J., Bates P., Koukoulas S. & Watkinson A. Integrated analysis of risks of coastal flooding and cliff erosion under scenarios of long term change. *Clim. Change* 2009, 95, (1–2), 249–288.
- DEFRA, 2005. Making space for water: Taking forward a new Government strategy for flood and coastal erosion risk management in England.
- Dutta, D., S. Herath, and K. Musiak, 2003, A mathematical model for flood loss estimation, *Journal of Hydrology*, 277, 24–49.
- EM-DAT 2011. OFDA/CRED Base de datos Internacional de desastres (International Disaster Database), Université Catholique de Louvain, Brussels, <http://www.cred.be/emdat>.
- Gallien T.W., Schubert J.E. & Sanders B.F. Predicting tidal flooding of urbanized embayments: a modeling framework and data requirements. *Coast Eng* 2011, 58, (6), 567–577.
- IMEE, 2011, Infrastructure Management and Extreme Events (IMEE), National Science Foundation, USA, http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=13353
- Michel-Kerjan, E., 2012, How resilient is your country? *Nature*, Vol. 491, p.497.
- Nicholls R.J. Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. *Phys Chem Earth* 2002, 27, 1455–1466.
- Obersteiner, M., Azar, C., Kossmeier, S., Mechler, R., Möllersten, K., Nilsson, S., Read, P., Yamagata, Y. & Yan, J. 2001 Managing climate risk. Interim report, International Institute for Applied System Analysis Schlossplatz 1, A-2361, Laxenberg Austria.
- Pedrozo-Acuña A., 2012. Inundaciones: Evaluación y manejo del riesgo. AGUA en Quintana Roo, Año 2, No.2, Enero-Marzo 2012. Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo.
- Pedrozo-Acuña, A., Mariño-Tapia, I., Enriquez, C., Medellín-Mayoral, G., González-Villarreal, F., 2012a, Evaluation of inundation areas resulting from the diversion of an extreme discharge towards the sea: A case study in Tabasco Mexico. *Hydrological Processes*, Wiley and Sons.
- Pedrozo-Acuña, A., Ruiz de Alegría-Arzaburu, A, Mariño-Tapia, I., Enriquez, C., González-Villareal, F., 2012b, Factors controlling flooding at Tonalá river mouth (Mexico). *Journal of Flood Risk Management*, Wiley and Sons.
- Pedrozo-Acuña A., Rodríguez-Rincón, J.P, Arganis-Juárez, M.L., Domínguez Mora, R., González-Villareal F. 2012c, Estimation of probabilistic flood inundation maps for an extreme event: Pánuco river, México. en arbitraje.
- Pye K. & Blott S.J. Progressive breakdown of a gravel dominated coastal barrier, Dunwich-Walberswick, Suffolk, UK: processes and implications. *J Coast Res* 2009, 25, (3), 589–602.
- Reeve, D.E., 2011, Risk and Reliability, CRC Press, ISBN-10: 0415467551, Taylor & Francis.

VF