

# **EVALUACION HIDROLOGICA Y EROSION – SEDIMENTACION DEL RIO PIURA.**

## **I. INTRODUCCION**

El fenómeno El Niño afecta especialmente a la Costa Norte del Perú , ya que en dos oportunidades 1983 y 1998 se ha presentado el evento hidrometeorológico con una gran magnitud extraordinaria y período de retorno considerable .

Donde durante los 2 eventos se ha presentado intensas y persistentes precipitaciones que han sobrepasado las magnitudes anuales hasta entonces registradas.

En este presente estudio se realiza la evaluación del estado actual de las defensas en el río Piura en la zona urbana es decir entre: Puente Cáceres – Puente Bolognesi como consecuencia de los impactos ocurridos y ante un eminente fenómeno del niño.

Dentro de esta área de estudio se ubica las ciudades de Piura y el distrito de Castilla, las cuales están separadas por el Río Piura, donde se tiene una población estimada de 500,000 habitantes.

Como consecuencia del último fenómeno El Niño de 1998 han ocurrido graves problemas porque han paralizado la vida normal de las ciudades de Piura y Castilla provocando pérdidas económicas, incluyendo destrucción parcial del sistema de transporte terrestre así como también daños al sistema de Agua potable y Alcantarillado Urbano , inundación de ciertas áreas de Piura y Castilla con la consecuencia de la destrucción de viviendas y graves daños económicos y materiales.

Como consecuencia de las precipitaciones en la cuenca del Río Piura se registraron caudales extraordinarios durante el Fenómeno de El Niño de 1998 que fueron muy superiores a los caudales registrados en 1983, y que durante de un período de 161 días el caudal en el Río Piura alcanzo el valor máximo de 4424 m<sup>3</sup> /seg (12 de marzo 1998) mientras que el volumen de escorrentía total fue de 13.5 MMC, donde dicho caudal sobrepasaron los caudales de diseño de protección en la zona urbana(puente Cáceres y puente Bolognesi) donde todo el sistema de defensa resulto seriamente debilitado.

## **II. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Teniendo como base el “Estudio para el Tratamiento Integral del río Piura” Apéndices D, E, G y H, se ha procedido a la Evaluación de los Parámetros , Hidrología, Sedimentación, Modelo Hidráulico y Modelo Matemático de flujo.

El objetivo principal de este proyecto es la protección de las defensas ribereñas en la márgenes del río Piura en la zona urbana de Piura y Castilla comprendidas entre el puente Cáceres y Puente Bolognesi.

## **III . HIDROLOGIA**

La cuenca del Río Piura esta ubicada geográficamente cerca de la Línea Ecuatorial comprendida entre los 4 ° 40’ y 5°40’ latitud sur y 79°30’ y 81°00’ de longitud oeste, abarcando un área de 10,229.64 Km<sup>2</sup> .

En la cuenca existen varias estaciones hidrológicas para la medición de las precipitaciones y los caudales, las tres estaciones más importantes son :

- Chulucanas – Puente Ñacara
- Tambogrande
- Piura : Estación Sánchez Cerro.

El fenómeno el niño es el factor principal que provoca abundantes precipitaciones y altos caudales en el río Piura , el caudal máximo registrado alcanzo 4,424 m<sup>3</sup> /seg( 12 de marzo de 1998 ) .

El período de avenidas generalmente corresponde a Febrero – Abril mientras que el período de estiaje ocurre durante los meses de Junio – Diciembre .El objetivo principal de la hidrología es la determinación de las avenidas características que puedan ocurrir en el tramo urbano (Puente Cáceres – Puente Bolognesi) así como también su período de retorno.

### **3.1 AVENIDAS**

El análisis de las avenidas típicas para este Estudio se realiza para la sección del Puente Sánchez Cerro (represa derivadora de Los Ejidos), usando dos métodos diferentes, análisis estadístico y un modelo matemático hidrológico.

La serie de los caudales instantáneos máximos anuales, registrados en la estación Sánchez Cerro, se usa como base sólida para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de los caudales típicos en esta zona de la cuenca del río Piura. Sin embargo, usando únicamente el método estadístico no es posible definir la forma de los hidrogramas típicos de las avenidas. Dado que estos parámetros (volumen total de la avenida, forma del hidrograma, distribución de las intensidades de la avenida), son importantes para los cálculos hidráulicos en la zona urbana. De acuerdo al proyecto estudio integral del Río Piura las consultoras usan el modelo matemático hidrológico, preparado en base de las precipitaciones y otros parámetros típicos de la cuenca del río Piura, para definir todos los parámetros importantes necesarios para el desarrollo del estudio integral de la protección ribereña. Los cálculos correspondientes para cada método fueron realizados para diferentes probabilidades de ocurrencia entre 10% y 0.2%, o para los períodos de retorno entre 10 y 500 años.

### **3.2 ANALISIS PROBABILISTICO**

Para el análisis probabilístico de este estudio se usan todos los datos presentados. En el anexo 3.2 se presentan los datos de los caudales máximos instantáneos anuales, disponibles y registrados simultáneamente en las estaciones de Malacasí, Puente Ñacara, Tambogrande y Sánchez Cerro. En base a la experiencia y conocimiento de los parámetros hidrológicos, climatológicos y geográficos de la cuenca del río Piura, se analizan todos los datos disponibles. Como resultado de estos análisis fue posible determinar algunas anomalías comparando los datos de los caudales máximos desde 1972 (un efecto inesperado y muy pronunciado de la transformación de las avenidas entre las estaciones de Tambogrande y de Sánchez Cerro). Casi la misma conclusión se puede tomar y para el año siguiente 1973. De la misma manera, no se pueden tratar

como lógicos los datos de caudal máximo de 1982, registrados en la estación de Tambogrande (inicio de El Niño)

En base de los análisis de la disponibilidad y calidad de los datos disponibles, relacionados a la problemática de los caudales máximos instantáneos anuales y máximos diarios, se puede concluir lo siguiente:

- Los datos de los caudales máximos registrados en las estaciones de Malacasí, Nácara y Tambogrande, no tienen el período de observación suficientemente largo y su calidad no es adecuada, lo que determina que estos datos no puedan ser tratados y considerados como confiables para análisis estadístico para determinar avenidas típicas en la cuenca del río Piura.
- Estos datos, sin embargo, pueden ser usados para control, análisis y correlación con los datos de la estación Sánchez Cerro.
- Teniendo en cuenta la disponibilidad y confiabilidad de los datos de la estación Sánchez Cerro (1926 - 1999), se puede recomendar usar estos datos como base para el análisis estadístico de las avenidas típicas en la cuenca del río Piura (ver anexo 3.1) donde se aprecia los caudales máximos instantáneos anuales del río Piura en el Puente Sánchez Cerro.

Se ha usado datos de la estación Sánchez Cerro, como base para el análisis estadístico de las avenidas en la cuenca del río Piura. Es importante recordar que para el análisis estadístico de las avenidas en una zona específica, en nuestro caso tramo urbano del río Piura, es de suma importancia tener una serie confiable y larga de los datos medidos, en la misma zona del estudio. En el caso de la estación Sánchez Cerro, dada su ubicación y una serie de más de 75 años con mediciones confiables, que se ubica en la zona central del estudio.

De acuerdo con la literatura hidrológica mundial (Yevdjovic y otros), es muy importante tener una serie de observaciones durante un período largo (lo más largo posible), determinando que la serie observada pueda ser extrapolada, con la confiabilidad adecuada, hasta la relación 2 o como máximo 3, que en el caso específico del Estudio del río Piura, donde se analizan avenidas con período de retorno entre 100 y 150 años, el período recomendable de mediciones alcanza entre 50 y 75 años (entre 33 y 50 como extremo). De tal manera que lo considerado en la serie de datos de la estación Sánchez Cerro es adecuada para el análisis de las avenidas con período de retorno entre 100 y 150 años, que la estación se ubica exactamente en la zona central del estudio y que los datos observados, según varios estudios anteriormente mencionados, son confiables.

Según el Estudio Hidrológico Apéndice D se determina que también se han analizado series de datos con duración menor, como por ejemplo la serie de los últimos 25 ó 35 años, donde es obvio que estas series tienen parámetros estadísticos diferentes en comparación con toda la serie hidrológica observada. Sin embargo y de acuerdo con las conclusiones de varios otros estudios a nivel mundial, se considera que estas diferencias no pueden ser directamente consideradas como la confirmación de cambios

en las tendencias y parámetros principales de una cuenca. La experiencia mundial indica, que en el caso que se quiera determinar si existe un cambio en los parámetros hidrológicos principales de una cuenca, es necesario tener:

- a) Varias series, por un período muy largo, de observaciones en la cuenca donde se considera que han podido ocurrir algunos cambios.
- b) Varias series, de un período también muy largo, de las observaciones de alguna otra cuenca, con la correlación muy buena con la primera cuenca.

Si existen estos grupos de datos sería posible comparar las tendencias de correlación y eventualmente confirmar que han ocurrido cambios reales en los parámetros hidrológicos principales. Por un lado en la zona de la cuenca del río Piura y en las cuencas vecinas, no existe este tipo de disponibilidad de datos, mientras que análisis parciales, comparando datos disponibles entre diferentes cuencas, no han confirmado la existencia de fenómenos de cambio en los parámetros de las avenidas durante un período limitado. Según las recomendaciones para casos similares, el mejor método es siempre usar la serie más larga de datos disponibles, dado que solo de esta manera se está garantizando que se están analizando todos los fenómenos y las desviaciones que normalmente ocurren durante el período de análisis. Vale la pena destacar una vez más que la estación Sánchez Cerro cumple con este requerimiento y representa una de las pocas estaciones hidrológicas en el norte del Perú, con una serie tan larga y confiable de datos de mediciones y observaciones.

Como resultado de las consideraciones arriba especificada se considera que la aplicación y el uso de los datos de las mediciones en la estación Sánchez Cerro durante últimos 75 años es recomendable y de acuerdo con todos los criterios aplicables a este tipo de análisis.

Con el objetivo de definir la distribución teórica óptima se aplican cinco diferentes distribuciones teóricas. De acuerdo con los resultados de análisis de los parámetros de la distribución y las pruebas de bondad de ajuste (método Chi cuadrado y método de desviación), el mejor ajuste con los datos observados se logra usando la distribución teórica Gamma. En el Anexo 4.2 se presentan los resultados de ajuste de las diferentes distribuciones ensayadas y gráficamente los de la distribución teórica seleccionada con los datos registrados de la estación de Sánchez Cerro.

De acuerdo con lo arriba explicado, en la Tabla 7 se presentan resultados del análisis estadístico, aplicando la distribución teórica seleccionada, que definen la relación entre la probabilidad de ocurrencia y los caudales máximos instantáneos.

**Tabla 7. Probabilidad de ocurrencia de los caudales máximos instantáneos. Modelo estadístico - Río Piura - Estación Sánchez Cerro (Los Ejidos).**

Probabilidad de ocurrencia	(%)	10	4	2	1	0,5	0,2
Tr	(años)	10	25	50	100	200	500
$Q_{inst}^{max}$	[m <sup>3</sup> /s]	1801	2698	36412	4153	4919	5967

### 3.3 ANÁLISIS DE MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS

La cuenca del río Piura hasta la estación Puente Sánchez Cerro, es dividida en cuatro subcuencas con los límites hasta las estaciones hidrológicas de Malacasí, Puente Nácara, Tambogrande y Sánchez Cerro (Los Ejidos), respectivamente. Los parámetros más importantes, que se usan para el desarrollo del modelo hidrológico son las características físicas y geográficas de la cuenca, las características del suelo que influyen la escorrentía y las precipitaciones para cada estación y cada subcuenca analizada.

Por ello, uno de los parámetros claves es la incorporación de los resultados del análisis estadístico regional de las precipitaciones máximas diarias en la cuenca, permitiendo la simulación óptima de los parámetros climatológicos reales de la cuenca del río Piura.

Las intensidades de las precipitaciones se analizan en base de los datos de la estación Miraflores, y los resultados se usan, en la forma adimensional, para modelar las precipitaciones correspondientes en la cuenca del río Piura.

Para modelar cada subcuenca se calcula las intensidades de las precipitaciones máximas con los períodos de retorno respectivos, usando los resultados de los análisis estadísticos de las precipitaciones máximas diarias y la relación adimensional de las precipitaciones con duración menor que 24 horas, proveniente de la estación Miraflores, como ya se explicó anteriormente.

De tal manera, usando los datos de las precipitaciones específicas de cada subcuenca, es posible incluir parámetros hidrológicos que caracterizan cada una de las subcuencas.

El análisis de la infiltración o de las pérdidas en relación con las precipitaciones totales, determinando así las precipitaciones efectivas, en la cuenca y en cada subcuenca, se realiza aplicando el método de CN (Número de curva) SCS.

Para este objetivo se analizan mapas topográficos (IGN), de escala 1:50,000 y 1:100,000, y el tipo del suelo y su uso correspondiente, para cada subcuenca, determinando valores de CN para cada subcuenca. En la tabla 8 se muestran los valores de CN empleados. En el anexo 5.1 se presentan los demás parámetros geográficos que se emplean para la modelación.

**Tabla 8. Valores de números adimensionales de curva CN usados.**

<b>SUBCUENCA</b>	<b>Grupo Hidrológico del Suelo</b>	<b>CN (II) ponderado</b>	<b>S (mm)</b>
Bigote - Huarmaca	C	79	67.52
Chulucanas	C	81	59.58
Tambogrande	B	74	89.24
Medio Piura	A	54	216.37
Bajo Piura	(40%)A; (60%)D	73	93.95

En El texto arriba presentado se explica la determinación de los elementos principales del modelo matemático hidrológico y de acuerdo a los elementos determinados es posible realizar la simulación de la ocurrencia y la propagación de las avenidas típicas a lo largo de la cuenca, hasta la sección de la presa Los Ejidos (estación Sánchez Cerro). Según los datos

es posible definir el modelo de cada subcuenca, respetando características topográficas, climatológicas, geológicas, hidráulicas y otras de cada subcuenca.

El cálculo y la simulación se realizan aplicando las precipitaciones asociadas con la probabilidad de ocurrencia, para un período de retorno entre 10 y 500 años.

**Tabla 9. Probabilidad de ocurrencia de los caudales máximos - modelo hidrológico HEC-HMS, río Piura, Sánchez cerro (Los Ejidos).**

Probabilidad de ocurrencia	(%)	10	4	2	1	0,5	0,2
Tr	(años)	10	25	50	100	200	500
$Q_{inst}^{max}$	[m3/s]	1948	2906	3773	4546	5537	6799

Los hidrogramas de las avenidas típicas se presentan tabulados y graficados en los anexos 5.2 y 5.3 respectivamente.

#### IV. MODELO HIDRAULICO

De acuerdo al proyecto Estudio para el tratamiento integral del Río Piura en el modelo hidráulico o modelo físico se ha considerado un ensayo de una replica del problema a escala reducida.

La replica es el modelo mientras que la realidad es el prototipo. El tramo de evaluación es desde el puente Cáceres hasta el puente Bolognesi donde se ha tenido un análisis que se detalla a continuación :

##### 4.1 Consideraciones hidráulicas para desarrollar la Investigación :

Teniendo en cuenta el comportamiento real del río Piura en el tramo del estudio y varios parámetros hidráulicos que influyen este tipo de comportamiento es necesario mencionar los siguientes criterios hidráulicos que fueron usados durante la construcción, calibración e investigaciones en el modelo hidráulico:

1.- El Río Piura en la zona de las ciudades de Piura y Castilla ya tiene un cauce formado, con un sistema parcial de protección ribereña y con infraestructura bien desarrollada (calles, sistema de transporte, edificios, sistema de agua potable y alcantarillado y otros), que prácticamente impide cambios drásticos en la forma del cauce. Por esto los ensayos en el modelo hidráulico no incluyen variantes con cambios drásticos de forma y dimensiones del cauce actual.

2.- Los niveles máximos del sistema de protección y consecuentemente del agua en el río Piura durante periodo de avenidas, están también limitados por la infraestructura

existente y no pueden aumentar de manera significativa, sin eliminar el acceso de la ciudad hacia el río.

3.- El Río Piura dentro de la ciudad tiene reducida su capacidad hidráulica, dado que el ancho del río se reduce a menos que 100 m, en comparación con más de 1000m en la zona fuera de la ciudad. Por este motivo los ensayos del modelo han tenido como criterio principal garantizar y conservar la capacidad mas alta posible, dentro de las limitaciones existentes.

4.- Teniendo en cuenta los factores arriba especificados, en el caso de la protección ribereña del río Piura, no tiene sentido preestablecer un caudal de diseño, dado que los varios parámetros mencionados anteriormente no es posible cambios importantes de la caja hidráulica. En este sentido el modelo hidráulico ha procedido con una gama de caudales típicos, combinados con otros parámetros que influyen la capacidad máxima del cauce, como erosión, sedimentación, niveles máximos del pelo de agua en la zona del puente Cáceres y variación de los niveles aguas abajo del modelo, con el objetivo de analizar varios escenarios que pueden ocurrir durante el periodo de avenidas.

5.- Dadas las limitaciones arriba especificadas, la posibilidad principal de aumentar la seguridad de la operación del sistema de protección y reducir el peligro de la inundación es construir un sistema de protección que tiene alta seguridad de operación y que garantiza, al mismo tiempo, una capacidad máxima del cauce. Por esto el modelo ha analizado la posibilidad de eliminar todas las estructuras existentes que se encuentran en la zona del flujo principal del río Piura (casas, estructuras antiguas, muros y otros)

6.- La experiencia de las avenidas anteriores indica que la zona de máximo peligro de inundación es la zona del puente Cáceres, dado que aguas abajo usualmente los niveles de agua son mucho más bajos y no ponen en peligro esta parte de la ciudad. En este sentido siempre se ha tomado el puente Cáceres como punto de control y determinación de los niveles máximos, amortizando el peligro del desborde del río Piura para cada caudal utilizado.

7.- El parámetro de sedimentación y erosión tiene un impacto muy importante en la seguridad del sistema de protección. En función de la ocurrencia y secuencia de las avenidas críticas que pueden provocar inundaciones en la zona de la ciudad, pueden llegar a un cauce erosionado, que reduce el peligro de inundación, o también a un cauce sedimentado que aumenta de manera considerable el peligro de inundaciones. Por esto se ha dedicado atención especial a este problema, analizando, bajo varias condiciones de flujo, el comportamiento del río y del sistema de protección seleccionado en función de los procesos de erosión.

8.- Durante las investigaciones en el modelo se ha aplicado el criterio de que las estructuras del sistema de protección deben ser diseñadas de tal manera que garanticen la seguridad de la operación bajo condiciones de extrema erosión, que puede ocurrir en el caso de la combinación de los efectos más adversos.

## **4.2 Programa de investigaciones para el modelo hidráulico**

El programa de investigaciones se ha diseñado teniendo en cuenta la información básica disponible (caudales, niveles de agua, cotas de erosión, velocidades) y los objetivos de la investigación.

La investigación en el modelo físico se inicio con la calibración fase en la que se garantizó un similar comportamiento del modelo con el prototipo y posteriormente se realizó la investigación propiamente dicha.

La calibración se inicio representando la topografía del año 2000 y la Geotecnia del prototipo donde la topografía no representa mayor inconveniente pero la Geotecnia porque no existen relaciones entre la resistencia determinada por ensayos de penetración Standar y resistencia a la velocidad de la cortante más aún en el caso de que los estratos duros no son planos .

Debido a la dificultad de representar la Geotecnia se considera realizar el primer grupo de ensayos destinados a evaluar y efectivamente el estrato duro influye sobre la erosión , de no influir ya no se incluiría en el estrato duro, en las investigaciones posteriores. Para eso se coloco solamente un estrato arenoso que iba desde la topografía del 2000 en su parte superior hasta la cota 12.00 m.s.n.m en la parte inferior ( fondo rigidizado )se eligió la cota 12.00 debido a que la erosión en prototipo no llegaba a dicha cota.

Los resultados obtenidos confirmaron la hipótesis de que el estrato duro influye significativamente en la erosión a lo largo del tramo modelado.

La siguiente tarea fue aproximarse a una adecuada representación del estrato duro para lo cual se conservo la cota 12.0 m.s.n.m y se rigizaron las riberas según información geotécnica del prototipo. Debido a que los resultados mejoraron se empezó a establecer niveles de agua en el modelo cuando los valores de velocidades entre modelo y prototipo coincidían luego de realizar este ensayo se determinó que las riberas tenían un buen comportamiento y que en el fondo de la cota 12.00 m.s.n.m era muy baja ya que las erosiones eran muy profundas al compararlas con los registros en prototipo.

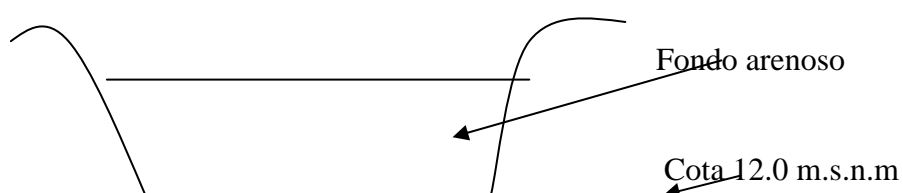
Se realizó un ensayo manteniendo las riberas rigidizadas y la cota de fondo se subió a la cota 15.0 m.s.n.m , agregando información del análisis de estabilidad estructural de las protecciones existentes (ver apéndice I)

Analizando los resultados de los ensayos realizados se puede afirmar que se logro una buena aproximación de los parámetros (erosión, velocidad, cuadro de flujo ) entre el modelo y el prototipo .

Al lograrse establecer una similitud de comportamiento hidráulico y sedimentológico entre el modelo y el prototipo, el siguiente paso fue realizar exhaustivas mediciones de velocidades, niveles y erosiones a lo largo del tramo modelado.

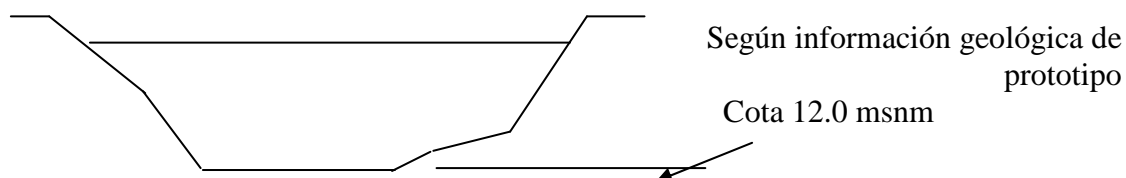
En resumen , la secuencia de los ensayos de calibración e investigación propiamente dicha consistió en :

- a) Ensayo con la hipótesis del Zapallal en la cota 12.0 m.s.n.m .
  - a.1. Zapallal en la cota 12.0 m.s.n.m y fondo arenoso.

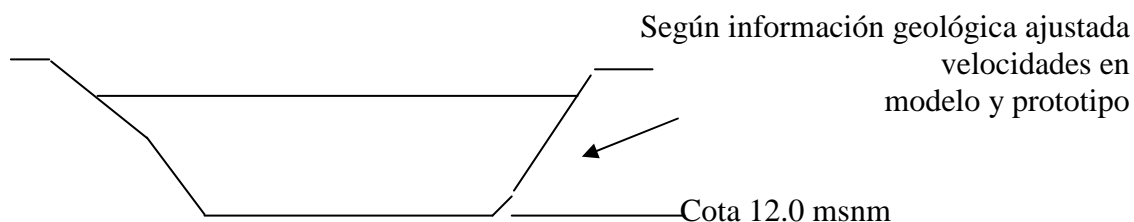




a.2. Zapallal en la cota de fondo 12.00 m.s.n.m , zonas rigidizadas según la información geotécnica del prototipo , nivel del agua en el puente Cáceres 30.50 m.s.n.m y nivel de agua en el puente Bolognesi 27.85 m.s.n.m.



a.3). Zapallal en la cota de fondo 12.00 m.s.n.m y zonas rigidizadas según datos de prototipo ajustadas con velocidades en modelo y prototipo .



b). Ensayo con la Hipótesis del Zapallal en la cota de fondo 15.0 m.s.n.m y zonas rigidizadas según resultados del ensayo anterior y análisis de estabilidad de la protección actual.

## V. MODELO MATEMATICO DE FLUJO

Esta es una herramienta de cálculo complementaria al modelo hidráulico o modelo físico donde se determina los niveles de agua, erosión sedimentación así como las velocidades de flujo en el tramo del Río Piura.

De acuerdo al proyecto Estudio para el tratamiento integral del Río Piura las consultoras han aplicado tres modelos diferentes cada una seleccionada para temas específicos usando modelos complejos generales para flujos no estables y condiciones locales.

### 5.1 Caudales

De acuerdo al gráfico 2.1 (ver anexo) el pico del hidrograma corresponde a un caudal de 4424 m<sup>3</sup>/seg. y las variaciones máximas de caudales en una hora son de 712 m<sup>3</sup>/seg /hora y 789 m<sup>3</sup>/seg/hora en la rama ascendente y descendente donde estas variaciones tan elevadas podrán estar incrementados por desembalses de la presa Los Ejidos.

Las variaciones de caudal de ese orden implican variaciones del orden de 1 m en los niveles de agua en el tramo urbano es decir el nivel de agua puede subir y bajar 1 metro en una hora.

### 5.2 Niveles de agua

De acuerdo a la tabla 2.1 ( ver anexo ) se puede observar que el máximo nivel de agua registrado en el puente Sánchez Cerro cota 29.80 m.s.n.m corresponde a un caudal de 1670 m<sup>3</sup>/seg. donde el nivel de agua fue de 0.90 menor que el valor antes mencionado.

Es decir el caudal se duplico y sin embargo el nivel del agua disminuyo en lugar de aumentar.

Es más en el año de 1998 para la avenida del caudal de 4424 m<sup>3</sup> el nivel del agua en el puente Sánchez Cerro fue también de 0.90 menor que el máximo nivel registrado en 1983 esta diferencia solo se explica por la erosión que produce en el fondo del cauce.

### 5.3 Velocidad

En el gráfico N° 2.4 se aprecia que las velocidades más altas se tiene en el puente Sánchez Cerro con valores de 4 m/seg. El Puente Sánchez Cerro es más angosto 110 m que el puente Cáceres 150 y el puente Bolognesi 130 m. La presencia de altas velocidades es la existencia de un estrato de material duro prácticamente no erosionable en la margen izquierda.

### 5.4. Modelos Seleccionados

#### 5.4.1. HEC –RAS – MODELACION UNIDIMENSIONAL

Este modelo analiza el régimen permanente para un caudal constante dada la importancia del tramo urbano donde es suficiente determinar niveles típicos para caudales seleccionados y su relación con los niveles de los diques existentes.

De acuerdo al proyecto estudio para el tratamiento del Río Piura cuyos resultados de dichos modelos se dan a continuación :

#### A. Modelación unidimensional HEC-RAS .

##### Máxima capacidad del cauce sin erosión :

Caudal obtenido : Q = 2,500 m<sup>3</sup>/seg.

Velocidades

Puente	Velocidad Prototipo (m/s)	Velocidad modelo (m/s)
Cáceres	2.6	2.5
Sánchez Cerro	4.1	3.8
Bolognesi	2.8	3.0

Observando estos resultados del cuadro en las cuales las discrepancias son menores al 8% se puede asumir como satisfactorio el cálculo realizado.

El caudal máximo encontrado es de 2500 m<sup>3</sup>/s. Para dicho caudal, la pendiente del niveles de agua, producto de las pérdidas por fricción, entre los puentes Cáceres y Sánchez Cerro según el Gráfico 2.2 debe ser aproximadamente de 0.8 m/km. En contraste, el valor de dicho

desnivel obtenido en modelo fue de 0.9 m/km, lo que indica que las pérdidas por fricción simuladas en el modelo son similares a las del prototipo. Los resultados se aprecian en el Gráfico No 4.1.

Por otro lado, las velocidades esperadas en el prototipo para el caudal 2500 m<sup>3</sup>/s y su comparación con los valores obtenidos con en modelo se observan en la siguiente tabla (ver Gráfico No. 2.4) ver anexo donde es la relación velocidad caudal para los tres puentes de la ciudad de Piura

En contraste, la máxima capacidad del cauce sin erosión encontrada en el modelo físico fue de 2390 m<sup>3</sup>/s, similar al obtenido con el modelo numérico unidimensional. Este resultado no hace mas que confirmar la enorme influencia que la erosión tiene sobre la capacidad del cauce del río Piura en el tramo urbano.

#### 5.4.2 BRI- STARS : MODELACION BIDEMENSIONAL

#### SIMULACION DE HIDROGRAMAS TIPICOS

Los Ejidos

Qmax (m/S)	Velocidad Prototipo (m/s)	Velocidad modelo (m/s)
2906	31.65	29.00
3773	33.39	30.66
4546	34.80	31.70

Puente Cáceres

Qmax (m/S)	Velocidad Prototipo (m/s)	Velocidad modelo (m/s)
2906	30.46	27.81
3773	31.89	29.16
4546	33.10	30.00

#### INCREMENTO DE CAPACIDAD EN EL PUENTE CACERES

El puente se incrementó en 50 m. Eliminando parte del terraplen existente en la margen izquierda .

La simulación de hidrogramas ha permitido observar que la zona aledaña al Puente Cáceres es muy vulnerable a ser inundada, pues en dependencia de la erosión del cauce, caudales del orden de 3000 m<sup>3</sup>/s podrían sumergir el tablero del puente e inundar la ciudad. Por dicha razón es necesario incrementar la capacidad hidráulica en dicha sección.

Se ha simulado la influencia de ampliar el puente Cáceres en 50 metros adicionales, eliminando parte del terraplén existente en la margen izquierda. La simulación se realizó para la condición con topografía año 2000 y los tres hidrogramas sintéticos. Los resultados se observan en la siguiente tabla:

Cudal máximo Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Nivel de agua (m.s.n.m)		Disminución de nivel -Δh (m)	Incremento de caudal +ΔQ (m <sup>3</sup> /s)
	Sin ampliar	Ampliado		
2906	30.45	30.26	0.19	130
3773	31.89	31.37	0.52	320
4546	33.10	32.55	0.55	350

Según puede observarse, el efecto que tiene la ampliación es la disminución de los niveles de agua, lo que a su vez se traduce en un incremento del caudal. Este incremento de capacidad en esta sección depende del hidrograma que se presente, en los casos analizados este incremento varió entre 130 a 350 m<sup>3</sup>/s.

Otra manera de incrementar la capacidad en esta sección es la elevación de todo el tablero del Puente mediante el uso de gatas hidráulicas o similares, de lo cual hay experiencia en otros puentes de la región; por ejemplo, el nuevo tablero del Puente Sánchez fue recientemente elevado 80 cm y se construyeron rampas de acceso en ambas márgenes del mismo. Del Gráfico No. 5.3 se puede observar que por cada metro adicional de gálibo, la capacidad aumenta aproximadamente en 700 m<sup>3</sup>/s.

#### 5.4.3 SMS – Modelación bidimensional con elementos finitos

El SMS : Sistema de modelación de aguas superficiales es PRE y Post procesador de programas hidrodinámicos sofisticados que trabaja resolviendo las ecuaciones diferenciales con flujo turbulento mediante la aplicación de modelos finitos.

## VI. EROSION - SEDIMENTACION

La Evaluación de la erosión y la sedimentación fue realizada teniendo en cuenta los parámetros hidráulicos , hidrológicos, sedimentológicos, morfológicos, topográficos y geológicos en toda la cuenca del Río Piura, pero con un énfasis especial al tramo urbano donde se realizará los trabajos de control y protección integral de esta parte de la cuenca .

### 6.1 ESTADO ACTUAL DE LA EROSION Y SEDIMENTACIÓN DEL TRAMO URBANO

El tramo del cauce del río Piura en la zona Urbana tiene una forma muy específica en comparación con la forma del cauce del río Piura aguas arriba y aguas abajo de la zona Urbana, el cauce del río tiene un ancho de casi un km. aguas arriba del puente Cáceres mientras que en la zona urbana el cauce principal es mas de 100 mts. de ancho éste cambio drástico en la forma del cauce es la consecuencia de la construcción de la ciudad misma y especialmente de la ubicación y forma de las estructuras en las orillas del río en ambos lados del río existen estructuras urbanas ( calles, sistema de protección, contravenidas. Sistema de agua potable y alcantarillado de energía eléctrica de telefonía y otras ) que prácticamente impiden cualquier tipo de las soluciones que necesitan la ampliación del ancho del cauce.

Según la inspección ocular y los datos de la topografía del cauce del río Piura antes y después de 1,998 se puede concluir que en la zona urbana el fenómeno principal durante el impacto de el Niño 1,998 fue la erosión mientras que la sedimentación generalmente ha ocurrido en las zonas aguas abajo zona Urbana dada que las orillas del río Piura en el tramo urbano, por los trabajos de protección ribereña y por las edificaciones en esta zona, prácticamente no pueden ser erosionadas el río sólo puede erosionar el fondo del cauce el gran estrechamiento del río en el tramo Urbano provoca velocidades muchas mas altas que aguas abajo y aguas arriba del tramo urbano donde la combinación de todos éstos parámetros ha provocado la erosión generalizada en el tramo Urbano , mientras que el material erosionado en el tramo urbano fue depositado aguas abajo en el tramo donde las velocidades y las fuerzas hidráulicas del río bajan y se establecen las condiciones para la sedimentación.

Este fenómeno también ha ocurrido durante el impacto del fenómeno de El Niño de 1,998 con la ventaja de que los caudales han crecido de manera paulatina permitiendo que cada caudal provoque una erosión correspondiente en el tramo Urbano y forme el perfil de flujo de agua en la zona Urbana cada vez mas grande donde comparando los niveles del río Piura en 1998 (caudal 4,424 m<sup>3</sup>/s) en 1983 (3,200m<sup>3</sup>/s) se puede concluir que el río Piura tenía los niveles máximos menores durante 1,998 que en 1,983 que sólo se puede explicarse como consecuencia de la erosión generalizada en el tramo Urbano.

Aparte de la erosión generalizada durante el impacto del fenómeno de El Niño de 1,998 el río Piura ha soportado también la erosión local especialmente en la zona de los puentes según las mediciones en la zona del Puente Cáceres se han detectado zonas de erosión alta de varios metros de profundidad que han puesto en peligro la seguridad del mismo puente. Estos , junto con otros impactos hidrodinámicos has provocado la caída de los dos puentes durante las avenidas de 1,998.

Es importante destacar que los puentes de la zona Urbana soportan impactos hidraulicos muy fuertes por un lado, por que se ubican en una zona con aceleración importante del río y por otro lado, por la forma no adecuada de sus elementos principales por ejemplo durante la construcción de los pilares no se ha analizado la forma hidráulica de los mismos por que puede disminuir la turbulencia del flujo y consecuentemente la erosión en la zona de los pilares. Al mismo tiempo el diseño definitivo y la construcción del puente Cáceres incluye un cambio brusco del alineamiento del río, que también tiene un impacto negativo en la situación hidráulica en esta zona y consecuentemente en la erosión local.

## **VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 Evaluación del sistema actual del Río Piura Tramo Urbano**

Los trabajos de la reconstrucción del sistema de defensa en la zona urbana deben de desarrollarse considerando todas las limitaciones de la defensa existente y de sus obras referentes.

Según la evaluación y de los datos de topografía del cauce del Río en la zona urbana antes y después del 2003 se puede concluir que en la zona urbana el fenómeno principal durante el impacto del Niño de 1998 fue la erosión mientras que la sedimentación generalmente ha ocurrido en la zona aguas abajo de la zona urbana.

Es importante tomar en cuenta que los puentes de la zona urbana soportan impactos hidráulicos muy fuertes, por un lado por que se ubican en una zona con la aceleración importante del río y por el otro lado por la forma no adecuada de sus elementos principales. Uno de los trabajos importantes que se realizara en este estudio y especialmente en el modelo físico, será recomendar medidas, dentro de los límites establecidos, de control y de mejoramiento de la situación hidráulica actual.

Generalmente se puede concluir que los cambios principales de las condiciones de flujo como consecuencia de las avenidas de 1998, se presentan a través de los cambios y erosión del fondo del cauce y de las consecuencias hidráulicas correspondientes.

Existen tramos con las defensas construidas en 1984 seriamente socavadas y destruidas. Las fallas principales se manifiestan en volteo y rotura de las tablestacas.

## 7.2 Hidrología

a) Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del proyecto Estudio para el tratamiento integral del Río Piura se ha tenido en cuenta los dos métodos de análisis .

- Análisis estadístico de avenidas máximas anuales en la estación hidrológica Puente Sánchez Cerro.
- Modelo hidrológico lluvia - escorrentía de la cuenca del río Piura hasta la estación Puente Sánchez Cerro.

b) Según la práctica internacional, se consideran caudales con un período de retorno entre 10 y 500 años, que influyen en la construcción y operación de las estructuras de protección, aunque el caudal de diseño para la zona urbana es para el período de retorno entre 20 y 100 años.

c) Del análisis probabilístico se determinan los siguientes caudales de diseño:

Probabilidad de ocurrencia	(%)	4	2	1
Período de retorno	(años)	25	50	100
$Q_{inst}^{max}$	[m <sup>3</sup> /s]	2698	3412	4153

d) Del análisis de modelo hidrológico se determinan los siguientes caudales de diseño:

Probabilidad de ocurrencia	(%)	4	2	1
Período de retorno	(años)	25	50	100
$Q_{inst}^{max}$	[m <sup>3</sup> /s]	2906	3773	4546

e) La comparación de los resultados usando dos modelos se presenta a continuación:

Probabilidad de ocurrencia	(%)	4	2	1
Período de retorno	(años)	25	50	100
Estadístico Q1	[m <sup>3</sup> /s]	2698	3412	4153
Modelo Q2	[m <sup>3</sup> /s]	2906	3773	4546
Diferencia: (Q1 - Q2) / Q2		0.07	0.09	0.09

f) La comparación de los resultados obtenidos usando dos métodos diferentes, confirma que no existe una diferencia importante entre los resultados obtenidos (menos que 10%). Estos resultados, con la diferencia tan pequeña, se pueden considerar como muy buenos y confiables, especialmente teniendo en cuenta los datos disponibles para los análisis realizados.

### 7.3 Modelo matemático de flujo :

1. El máximo nivel de agua registrado en el Puente Sánchez Cerro - cota 29.8 m.s.n.m.- corresponde a un caudal de tan sólo 1670 m<sup>3</sup>/s el 30 de enero de 1983; el 21 de abril del mismo año cuando se presentó la avenida máxima de ese año de 3200 m<sup>3</sup>/s, el nivel de agua fue 28.9 m.s.n.m., 0.90 m menor que el valor antes mencionado. Es decir, el caudal se duplicó, sin embargo el nivel de agua disminuyó en lugar de aumentar. El 16 de marzo de 1998 para la avenida máxima de 4424 m<sup>3</sup>/s, el nivel de agua en Sánchez Cerro fue también 28.9 m.s.n.m., 0.90 m menor que el máximo nivel registrado en 1983. Esta diferencia sólo es explicable por la erosión que se produce en el fondo del cauce. Los niveles de agua son mayores al inicio del periodo de avenidas, cuando el cauce aún no ha sido erosionado mucho; es decir, la capacidad del cauce se va incrementando según los caudales previos erosionan el fondo del cauce. De lo anterior se puede extraer una primera conclusión: ***No existe una relación única nivel de agua vs. caudal para el río Piura.*** La conclusión anterior indica que la capacidad del cauce en el tramo urbano de la ciudad de Piura tiene una enorme dependencia con la erosión que se presenta en dicho cauce.
2. Los datos del Puente Cáceres demuestran que el máximo nivel de agua registrado corresponde a la cota 30.50 m.s.n.m., que es exactamente la cota inferior del tablero de dicho puente; es decir ***El punto más vulnerable a inundación en Piura es la sección del Puente Cáceres.***
3. La pendiente del fondo del cauce no erosionado tiene un valor promedio de 0.3 m/km; sin embargo, debido a estrechamiento del cauce en el Tramo Urbano , la pendiente de la superficie del agua adquiere valores mayores en dependencia del caudal, habiéndose registrado valores de 1.3 m/km para el caudal de 4424 m<sup>3</sup>/s.
4. A pesar que no existe una relación definida nivel de agua – caudal, *si existe una relación definida entre la velocidad en una sección del Tramo UrbanoB y el caudal que pasa por ella.*
5. Si el cauce del río Piura, según la topografía del año 2003, fuera rígido sin posibilidad de erosionarse, una caudal de  $Q = 2500 \text{ m}^3/\text{s}$  podría tocar el tablero del puente Cáceres. De igual forma un caudal de  $Q = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$  podría sobrepasar la cota de coronación de los diques.
6. Las mayores erosiones del Tramo urbano se presentan en la sección ubicada a 100 m aguas abajo del Puente Cáceres, donde el modelo matemático predice cotas de 13.0 m.s.n.m. (y el modelo físico cotas de 12.4 m.s.n.m.)
7. La capacidad máxima en la sección del Puente Cáceres puede variar entre 2900 y cerca de 5000 m<sup>3</sup>/s, dependiendo del hidrograma de avenidas que se presenta y del nivel de erosión del cauce al inicio del mismo.
8. La ampliación del puente Cáceres en 50 metros eliminando parte del terraplén de la margen izquierda, produce un incremento de capacidad entre 130 m<sup>3</sup>/s a 350 m<sup>3</sup>/s dependiendo del hidrograma que se presente.
9. La erosión máxima en el tramo urbano es de 3 a 4 m de profundidad en la zona de tablestacas existentes y por construir .

10. Las velocidades en el tramo urbano llegan a 5 m/seg, lo que impide el uso de los sistemas de protección que no soportan velocidades tan altas. La atención especial se debe tomar durante la selección del sistema flexible de protección para garantizar su comportamiento adecuado bajo el impacto de estas velocidades altas.

#### 7.4 Modelo Hidráulico

- a) Se ha logrado reproducir adecuadamente las características hidráulicas y sedimentológicas del Río Piura en el modelo físico, esto se deduce al comparar los resultados medidos en el modelo con los registrados en prototipo para los fenómenos El Niño 1998.
- b) Al realizar ensayos sin la presencia del zapallal en el modelo, observamos que se encontraron diferencias sustanciales en el patrón de erosión, lo cual significa que el estrato duro del prototipo influye significativamente en el proceso de erosión.
- c) La capacidad del cauce obtenida para la situación sin protección diseñada, fue de 4250 m<sup>3</sup>/s.

Para determinar la capacidad máxima del cauce existen 2 condiciones que se deben cumplir y que a su vez entre ellas están relacionadas, una de ellas es la igualdad de velocidades en el Puente Bolognesi en el modelo y los registros del año 1998 y la segunda es la similitud entre las secciones erosionadas en el modelo y los registros 1998.

Al alcanzar el equilibrio correspondiente al caudal de 3900 m<sup>3</sup>/s, se obtiene una coincidencia muy buena entre el modelo y registros del prototipo. Una vez erosionado el cauce, se procede a aumentar el caudal obteniendo 4050 m<sup>3</sup>/s.

Sin embargo si dejamos que este caudal alcance el equilibrio, encontraremos que se produce mayores erosiones que las registradas en prototipo, por lo que demuestra que ya este caudal fue el máximo que se produce en modelo sin alejarnos de otros parámetros.

En la zona del Puente Cáceres se observa el efecto de curva, tanto en las líneas de corriente como en erosión de fondo, este efecto se presenta mucho más marcado en el modelo debido a que no se ha rigidizado en esta ribera y la erosión se ha desarrollado en un estrato arenoso.

- d) Se logró, colocar en el modelo, el estrato duro con un buen grado de confiabilidad debido a que los parámetros representativos del flujo como velocidad, líneas de corriente, patrón de erosión son semejantes entre modelo y prototipo para un determinado caudal.
- e) En la zona del Puente Sánchez Cerro la erosión en el modelo más bien es rectangular, debido a que en esta zona el cauce es casi recto. Sin embargo, esto tampoco es real por la presencia en el prototipo de un estrato duro en la ribera izquierda, lo que hace que la erosión en la ribera derecha se profundice.



Los puntos de máximas erosiones se presentan en la zona del Puente Cáceres cuya cota es de 15.88 m.s.n.m cuyos resultados es de la suma de efectos de erosión local y general.

- f) Para el cauce según la situación actual, La máxima velocidad se presenta en la sección 3+293. Las máximas velocidades en el tramo entre el Puente Cáceres y Sánchez Cerro se encuentran en la margen derecha, en cambio en el tramo entre Sánchez Cerro y Bolognesi las mayores velocidades se ubican en la margen izquierda.
- g) En la sección Puente Cáceres se observa la tendencia de erosión pegada hacia la margen derecha (Ver lámina N° 24). Ver anexo
- h) Las velocidades en el Puente Bolognesi oscilan entre 3.0 y 3.45 m/s para los caudales correspondientes entre 2250 m<sup>3</sup>/s y 3500 m<sup>3</sup>/s.
- i) En el modelo hidráulico se ha verificado que el río Piura dentro de la ciudad tiene una reducida capacidad hidráulica, dado que el ancho del río se reduce a menos que 100 m, en comparación con más de 1000m fuera de la ciudad. La capacidad hidráulica en el tramo estudiado directamente depende del proceso de erosión y de sedimentación, de tal manera que la capacidad máxima sólo se puede obtener con la erosión máxima del fondo del cauce.
- j) Los resultados de los ensayos en el modelo han confirmado que no se puede aumentar la capacidad hidráulica del cauce del río Piura en el tramo de estudio, con los cambios drásticos de forma y dimensiones del cauce actual, dado que las estructuras e infraestructuras en ambas riberas del río Piura impiden cambios laterales. Según los resultados obtenidos, bajo condiciones de erosión máxima y paulatina, la capacidad máxima del cauce del río Piura en el tramo urbano llega a cerca de 4250 m<sup>3</sup>/s. En el caso de ocurrencia de caudales más grandes, el cauce actual, sin cambios drásticos de su forma, no puede transportar estos caudales sin inundaciones de las zonas críticas.
- k) El Puente Cáceres si bien es cierto no reduce el ancho promedio del cauce, presenta como mayor efecto negativo la generación de líneas de corriente dirigidas hacia la ribera derecha del río.
- l) Existe una clara influencia del puente Cáceres en las secciones aguas abajo, que puede apreciarse en los perfiles de máximas erosiones en los diversos ensayos realizados. Respecto del fondo resultante en esa zona, se observan erosiones en la margen derecha y sedimentaciones en la margen izquierda.
- m) La capacidad máxima del cauce depende considerablemente de la influencia de los niveles aguas abajo de la zona urbana. Un cambio en el nivel del agua en la sección Bolognesi de 0.30 m, manteniendo el nivel de agua en la cota 30.50 msnm en el Puente Cáceres, provoca el aumento de la capacidad hidráulica del cauce en cerca de 400 m<sup>3</sup>/s. Asimismo un aumento en la misma sección Bolognesi de 0.30 m provoca una disminución de la capacidad del cauce en 350 m<sup>3</sup>/s. Por esto no se puede permitir ejecución de proyectos que pueden aumentar niveles del río Piura aguas abajo de la zona urbana, por el contrario se debe insistir en proyectos que garanticen los niveles mínimos.
- n) La pendiente del fondo del cauce no erosionado tiene un valor promedio de 0.3 m/km; sin embargo, debido a estrechamiento del cauce en el Tramo urbano, la pendiente de la

superficie del agua adquiere valores mayores en dependencia del caudal de 1.3 m<sup>3</sup>/km para los caudales máximos analizados.

- o) Los resultados del modelo hidráulico indican que la zona de máximo peligro de inundación es la zona del puente Cáceres, dado que aguas abajo usualmente los niveles de agua son más bajos y no ponen en peligro esta parte de la ciudad. En este sentido dentro del diseño definitivo y la elaboración de las reglas de operación se debe dedicar atención especial a esta estructura y a esta zona. Los resultados del modelo hidráulico demuestran que el máximo nivel de agua corresponde a la cota 30.50 m.s.n.m., que es exactamente la cota inferior del tablero de dicho puente, esto confirma al puente Cáceres como el punto más vulnerable a inundación en el tramo urbano del río Piura.
- p) Según la realización de los ensayos con ampliación de la sección Cáceres se puede afirmar que la capacidad aumenta casi 500 m<sup>3</sup>/s, pasando de 3900 a 4400 m<sup>3</sup>/s.
- q) Existen variaciones pequeñas en los valores máximos de velocidades en planta registrados en el modelo, teniendo el cauce sin protección y con protección.
- r) Del análisis de comparación de los perfiles longitudinales de erosión máxima sin y con ampliación del Puente Cáceres, observamos 3 tramos:
  - 1er tramo: Cáceres y sección 3+697: cotas de fondo erosionadas con una total coincidencia.
  - 2do tramo: Sección 3+697 – sección 4+294 (incluye Sánchez Cerro): levemente una mayor erosión para la situación con ampliación de Cáceres, ésta diferencia en promedio es de 0.80 metros.
  - 3er tramo: Sección 4+294 – Puente Bolognesi: semejantes valores de erosión general.

Se concluye que la instalación de la protección flexible no altera sustancialmente el cuadro de erosión general, a pesar de ser comparada con un caudal mayor en aproximadamente 500 m<sup>3</sup>/s.

- s) La diferencia entre el cauce con la protección actual y sin ella sólo se manifiesta en la sección del Puente Cáceres

	<b>Sin protección</b>	<b>Con protección y ampliación de Cáceres</b>
Cota más baja en la sección Cáceres	14.00 msnm	16.00 msnm

Se concluye que la protección instalada disminuye la erosión máxima en aproximadamente 2 metros.

### 7.5. Erosión – Sedimentación

- 1- El tramo del cauce del río de la zona urbana tiene una forma muy específica en comparación con la forma del cauce del río agua arriba y aguas debajo de la zona Urbana aguas arriba y aguas abajo el cauce del río tiene un ancho de 1 km mientras que en la zona urbana el cauce principal es de 100 mts de ancho . éste cambio drástico en la forma del cauce es la consecuencia de la construcción de la ciudad misma y especialmente de la ubicación y forma de las estructuras en las orillas del río.

En ambos lados del río existen estructuras urbanas ( calles, sistema de agua potable de alcantarillado de energía eléctrica de telefonía parapetos y otros) que prácticamente impiden cualquier tipo de las soluciones que necesitan la ampliación del ancho del cauce.

- 2- Las características en el Tramo Urbano es de un río aluvial que discurre sobre el material transportado por el propio río en el pasado formando su lecho granular.
- 3- Los caudales del Río Piura en la zona del estudio pueden variar entre los caudales mínimos (incluyendo periodos sin flujo de agua) hasta miles de m<sup>3</sup>/s. Es obvio que durante el periodo de avenidas el río no tiene equilibrio y ocurre erosión importante en éste tramo, mientras que durante el periodo después de las avenidas el fenómeno es totalmente contrario y ocurre la sedimentación en varias zonas especialmente en las de erosión anterior.
- 4- Uno de los parámetros principales que define las características de los sedimentos del río Piura es la gran cantidad de área deforestada por acción antropica que generan condiciones de denudación y aporte de materiales para el mayor contenido volumétrico de sedimentos en las partes intermedias y distal del río Piura.
- 5- El encauzamiento del Tramo urbano del cauce del río ha contribuido a la erosión de mas o menos 2.5 m. de la roca del basamento del tipo arcilloso cosa en condiciones naturales no se hubiera dado con la intensidad señalada.  
En el anexo 4.5 se ve la comparación de la forma del cauce del Río.

## **8. ANEXOS**