



**MINISTERIO DEL AMBIENTE Y RECURSOS
NATURALES (MARN)**

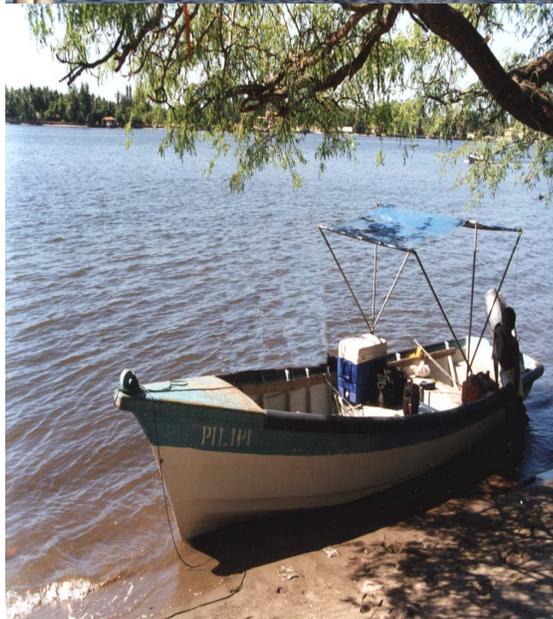
**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE DESARROLLO
SOSTENIBLE PARA EL BAJO RIO LEMPA**

PROYECTO MARN/BID/ATN/JF-7553-ES

CONSULTORIA EN HIDROLOGIA



INFORME FINAL



**Preparado
por:**



**Ing. José Hermes Landaverde Garcia
Hidrólogo**

San Salvador 30 de Septiembre del año 2003

**GOBIERNO DE LA REPUBLICA DE EL SALVADOR
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO**

“Diseño de un Programa de Desarrollo Sostenible para el Bajo Río Lempa”

Consultoría en Hidrología

(MARN/BID/ATN/JF-7553-ES)

INFORME FINAL

Preparado por:

Ing. José Hermes Landaverde García

Hidrólogo

San Salvador 30 de Septiembre del 2003

INDICE

1.0 Antecedentes.....	3
2.0 Objetivos.....	4
3.0 Tareas	5
4.0 Actividades	6
4.1 Actividades Preparatorias.....	6
4.2 Actividades desarrolladas.....	6
4.3 Herramientas de Análisis.....	7
5.0 Metodología realizada según los alcances y objetivos indicados	8
6.0 Resultados Obtenidos	38
7.0 Conclusiones y Recomendaciones	50

1.0 Antecedentes

El Bajo Río Lempa es una de las áreas con mayores problemas de inundaciones en El Salvador, donde año con año se ven afectadas unas 5,600 familias en 98 comunidades por los desbordamientos del río Lempa en su parte baja a causa de condiciones hidrometeorológicas adversas. El área cubierta y con problemas de diversa magnitud es de aproximadamente 23,000 hectáreas de tierras, fundamentalmente agrícola, en los departamentos de Usulután, San Vicente y La Paz. Los problemas fueron más evidentes durante las inundaciones acaecidas con el huracán Mitch a finales de Octubre de 1998.

Como consecuencia de todos los problemas identificados, se han realizado diferentes iniciativas financiadas por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y coordinadas por el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), con el fin de elaborar elementos claves del programa de prevención y mitigación de desastres causados por las inundaciones para el bajo Lempa. Así también el Gobierno de El Salvador a través del MARN y el BID impulsan actualmente un programa de manejo sostenible en el bajo Lempa con el objeto de implementar una solución integrada para reducir la vulnerabilidad y la pobreza de sus habitantes y reducir los daños causados por las inundaciones (MARN/BID/ATN/JF-7553-ES) y cuyos principales componentes son:

- Uso de suelos y manejo de recursos naturales
- Prevención y control de inundaciones, para optimizar el grado de protección contra éstas y
- Desarrollo de capacidades relacionadas con el manejo de riesgos a nivel local, con el fin de institucionalizar un sistema de manejo sostenible.

La cooperación técnica MARN/BID/ATN/JF-7553-ES, tiene como objetivo apoyar la preparación, el diseño y los análisis de factibilidad para el programa ES-0133. Los estudios a realizar, se desarrollan a partir de los resultados preliminares de la ATN/SF-6775-ES para llevarlos a los niveles de factibilidad y diseño. Para tal efecto, se han realizando trabajos especializados de Hidrología, Hidráulica de ríos, Economía, Producción, y Manejo de Recursos Naturales y Mitigación de Riesgos Naturales.

La presente consultoría estará enmarcada dentro de los trabajos especializados de Hidrología e Hidráulica de ríos efectuados en el Bajo Lempa, según contrato suscrito con fecha 15 de Julio del año 2002. El Primer Informe que sobre el plan de trabajo fue presentado al MARN con fecha 7 de Agosto del 2002. El Primer Informe Intermedio cuyos alcances comprendieron el diagnóstico de la situación actual de la zona desde el punto de vista hidrológico hidráulico con las bordas existentes, se presentó al MARN el día 27 de Agosto del 2003. El segundo informe intermedio se presentó el 12 de Septiembre del 2003. El borrador del Informe Final se presentó el 22 de Septiembre del 2003.

2.0 Objetivos

El presente Borrador del Informe Final comprende los alcances de los trabajos de Hidrología e Hidráulica de ríos efectuados sin y con proyecto del BID, en el área del bajo Lempa a fin de cumplir con los objetivos generales del programa de Desarrollo Sostenible para el Bajo Río Lempa y reúne y amplía los resultados obtenidos en los Informes Intermedios 1 y 2. Los objetivos específicos desarrollados en estas especialidades y durante el presente Informe Final, fueron las siguientes:

- Calcular con el modelo operativo hidrológico HEC-HMS, versión 2.2.2, la Crecida Máxima del Huracán Mitch en el sitio del puente San Marcos como punto de entrada al área de estudio del Bajo Lempa.
- Análisis Probabilístico y determinación de Crecidas para diferentes períodos de retorno en San Marcos incluyendo los huracanes históricos principales que han producido inundaciones en dicha área como el caudal máximo del huracán Mitch.
- Elaborar mapas de riesgo de inundaciones preliminares sin proyecto del BID, a una escala adecuada en las áreas críticas del Bajo Lempa para diferentes períodos de retorno.
- Realizar un modelaje y calibración de la cuenca del río Lempa hasta el sitio del puente San Marcos como punto de entrada al área de estudio del Bajo Lempa. con el modelo operativo hidrológico HEC-HMS, versión 2.2.2, Mayo del 2003, como un modelo alternativo, a fin de identificar la necesidad de una mejor cobertura de estaciones hidrometeorológicas en el diseño de un programa de monitoreo que produzca resultados más precisos en el pronóstico hidrológico.
- Realizar una simulación hidráulica del bajo río Lempa con el proyecto de incrementar el nivel de las bordas existentes y que exista más protección para la población vulnerable de las inundaciones a raíz de los resultados obtenidos y recomendaciones del diagnóstico de la situación actual presentados en el 1er. Informe.
- Preparar los insumos necesarios con el proyecto BID para el programa de prevención y mitigación de desastres causados por las inundaciones.

El propósito del presente Borrador del Informe Final es describir todas las tareas y actividades realizadas durante el período de elaboración del presente informe, así como establecer la metodología seguida para alcanzar los objetivos de la misma. Asimismo el objetivo principal es el de establecer y calibrar un Modelo Hidrológico Operativo de Crecidas con el propósito de tener un método alternativo al Modelo instalado en SNET que apoye los pronósticos hidrológicos en el Bajo Lempa especialmente en la época de huracanes y sistemas de baja presión.

3.0 Tareas

En el desarrollo de los trabajos de Hidrología e Hidráulica en el presente informe, se llevaron a cabo las siguientes tareas:

- Recopilación de información hidrometeorológica existente y especialmente información hidrometeorológica horaria correspondiente al huracán Fi-Fi ocurrido en Septiembre de 1974 para calibrar el modelo HEC-HMS, como la única información disponible.
- Visitas de campo a los embalses inferiores del río Lempa y a estaciones hidrometeorológicas claves, a la parte baja del cauce del río y su desembocadura.
- Apoyo y supervisión de los levantamientos topográficos de campo
- Organización y participación en talleres
- Cálculo de la Crecida Máxima del huracán Mitch en San Marcos con el modelo de crecidas HEC-HMS, versión 2.2.2, Mayo del 2003 (US Army Corps of Engineers).
- Calibración del modelo hidráulico de inundaciones BOSS RIVER CAD en el Bajo Lempa.
- Elaboración de mapas de inundaciones sin proyecto del BID para diferentes períodos de retorno.
- Apoyo a las áreas económicas / productivas
- Obtención de datos de las características principales de los embalses y vertederos de las centrales hidroeléctricas sobre el río Lempa.
- Apoyo a los trabajos de la Consultoría de Ingeniería Civil sobre el diseño en el mejoramiento de las obras de protección existentes en el Bajo Río Lempa.
- Preparación del Modelaje y Calibración del Modelo HEC-HMS en la Cuenca del Río Lempa con la información del huracán Fi-Fi.
- Preparación de un Programa de Monitoreo de información hidrometeorológica que amplíe la cobertura de las estaciones existentes con el propósito de mejorar los pronósticos hidrológicos.
- Modelar nuevamente el bajo Río Lempa con el BOSS RIVER CAD a fin de revisar los diseños de las obras de protección propuestas y analizar si cumplen con la capacidad hidráulica necesaria para transportar el caudal seleccionado de 10,287 m³/s para un Período de Retorno de 25 años.
- Preparar una lista de insumos necesarios con el proyecto BID para el programa de prevención y mitigación de desastres causados por las inundaciones.

4.0 Actividades

4.1 Actividades Preparatorias

Dentro de las actividades preparatorias efectuadas durante el presente informe están las siguientes:

- Visitas de campo a la zona del proyecto
- Visitas a SNET del MARN
- Obtención de información de las secciones transversales del Bajo Río Lempa levantadas a finales del año 2000 por la NOAA y complementadas en el año 2003 con la ubicación de las bordas existentes.
- Obtención de información hidrometeorológica de los huracanes Mitch (hasta donde fue posible) y Fi-Fí en la cuenca del río Lempa para la calibración del Modelo Hidrológico alternativo.
- Obtención de las características de los embalses aguas arriba del área de estudio y de los vertederos de dichas centrales.
- Supervisión y Coordinación del levantamiento topográfico en el área del Bajo Lempa y de las actividades del Ingeniero Civil.
- Asistencia a Talleres en el Bajo Río Lempa programados por la Coordinación del MARN.

4.2 Actividades desarrolladas

Se desarrollaron las siguientes actividades principales:

- Se revisaron los mapas de inundaciones elaborados por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) en Diciembre del 2001 con el objeto de determinar si eran adecuados para propósitos del presente estudio. Se concluyó que dichos mapas no representaban las condiciones actuales del bajo río Lempa, al no haberse incluido los niveles reales de las bordas existentes ni la capacidad hidráulicas de dichas bordas.
- Se apoyaron y asesoraron los trabajos topográficos del nuevo levantamiento del área del Bajo Lempa con el objeto de definir los mapas de riesgo e inundaciones sin proyecto del BID y para diferentes períodos de retorno y considerando las condiciones actuales de las bordas existentes.
- Se utilizó el modelo de simulación de crecidas HEC-HMS (US Army Corps of Engineers, Versión 2.2.2, Mayo del 2003) para determinar la Crecida Máxima del huracán Mitch en San Marcos, a partir de las descargas de la Central 15 de Septiembre durante la fecha de ocurrencia de dicho huracán.
- Se preparó un análisis frecuencial de crecida máximas con los registros existentes en la estación hidrométrica San Marcos incluyendo la crecida del huracán Mitch.

- Se efectuó un análisis de la capacidad hidráulica de las bordas existentes y se prepararon mapas de inundaciones para aquéllos caudales que sobrepasaron el nivel de dichas bordas con el modelo BOSS RIVERCAD.
- Se participó en los talleres involucrados de acuerdo a la coordinación del MARN.
- Se revisó la información del Modelo de Pronóstico Hidrológico instalado en el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) con el objeto de determinar si era adecuado para propósitos del presente estudio. Se concluyó que este Modelo es de mucha utilidad técnica y práctica y que a la fecha se ha calibrado para diferentes eventos extremos: Huracán Mitch (31 de Octubre al 1 de Noviembre del 98), Evento de Crecida del 23 de Agosto - 02 de Septiembre de 1988, Evento de Crecida del 24 de Septiembre – 01 de Octubre de 1992. Sin embargo, se considera conveniente que los pronósticos hidrológicos que se realicen con el Modelo de SNET sean siempre revisados con los resultados que se obtengan con un Modelo alternativo tal como se propone en el presente trabajo.
- Se apoyaron y asesoraron los trabajos de Ingeniería Civil correspondientes al diseño y mejoramiento de las obras de protección considerando las condiciones actuales de las bordas existentes.
- Se utilizó el modelo de simulación de crecidas HEC-HMS (US Army Corps of Engineers, Versión 2.2.2, Mayo del 2003) para calibrar un Modelo alternativo en la determinación y pronóstico de Crecidas Máximas en el bajo río Lempa especialmente en la época de huracanes y sistemas de baja presión.
- Se efectuó una revisión y análisis de la capacidad hidráulica de las bordas existentes con el nuevo nivel propuesto de dichas bordas para un caudal de 10,287 m³/s y para un Período de Retorno de 25 años, con el Modelo BOSS RIVERCAD.
- Se participó en reuniones de trabajo con las otras áreas de consultoría involucradas, de acuerdo a la coordinación del MARN.

4.3 Herramientas de Análisis

Las principales herramientas de análisis fueron las siguientes:

- Selección y calibración del modelo matemático de cuencas HEC-HMS (US Army Corps of Engineering, Versión 2.2.2, Mayo del 2003 para la simulación hidrológica de eventos máximos y tránsito de crecidas por el río Lempa y zona del bajo Lempa.
- Simulación hidráulica del Bajo Río Lempa para mapas de inundaciones y para revisar la capacidad hidráulica del Bajo Río Lempa con el nuevo nivel propuesto de bordas existentes y con el modelo BOSS RIVERCAD.

5.0 Metodología realizada según los alcances y objetivos indicados

Con el fin de poder desarrollar las actividades y tareas indicadas, es preciso describir el procedimiento que se siguió con el objeto de cumplir los objetivos específicos del estudio referentes al cálculo de la Crecida del huracán Mitch en San Marcos, el análisis probabilístico de Caudales Máximos en la Estación San Marcos y preparación de mapas de riesgos de inundaciones. Dicho procedimiento fue el siguiente:

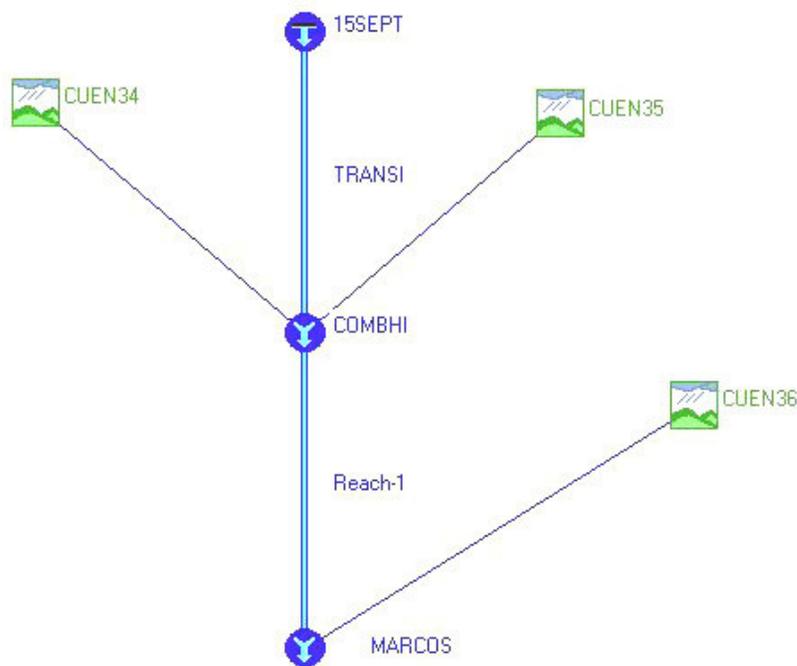
- **Recolección de los Caudales Máximos Instantáneos registrados en la estación hidrométrica San Marcos. Dichos datos fueron los siguientes:**

Tabla No. 1
Registro Histórico de Caudales Máximos Instantáneos en Est. San Marcos

Año	Mes	Caudal Máximo Instantáneo (m ³ /s)
1960		3,323
1961		3,302
1962		3,912
1963		2,726
1964		3,794
1965		2,880
1966		2,190
1967		1,940
1968		2,160
1969	Septiembre	8,921
1970	Septiembre	4,815
1971	Octubre	4,448
1972	Agosto	2,238
1973	Agosto	5,246
1974	Septiembre (huracán Fi-Fí)	7,694
1976	Junio	5,470
1977	Octubre	3,336
1978	Septiembre	3,601
1979	Septiembre	3,192
1980	Octubre	2,823
1981	Octubre	5,400
1998	Octubre (huracán Mitch, obtenido con Modelo HMS a partir de las Descargas de la Central 15 de Septiembre)	12,466

- El cálculo de la Crecida del huracán Mitch en San Marcos se realizó con el Modelo HEC-HMS, versión Mayo del 2003, a partir de las descargas de la Central 15 de Septiembre durante el huracán, más el incremento de los ríos afluentes al río Lempa entre la Central y San Marcos, según el mapa topológico siguiente:

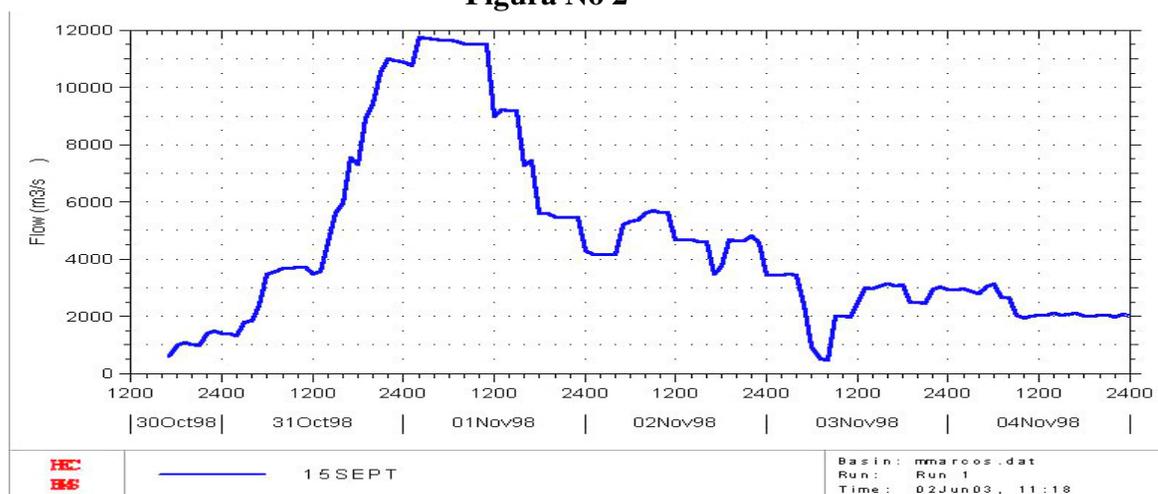
Figura No 1.



Cuenca 34=Río Acahuapa
 Cuenca 35=Río San Simón
 Cuenca 36=Río Roldán

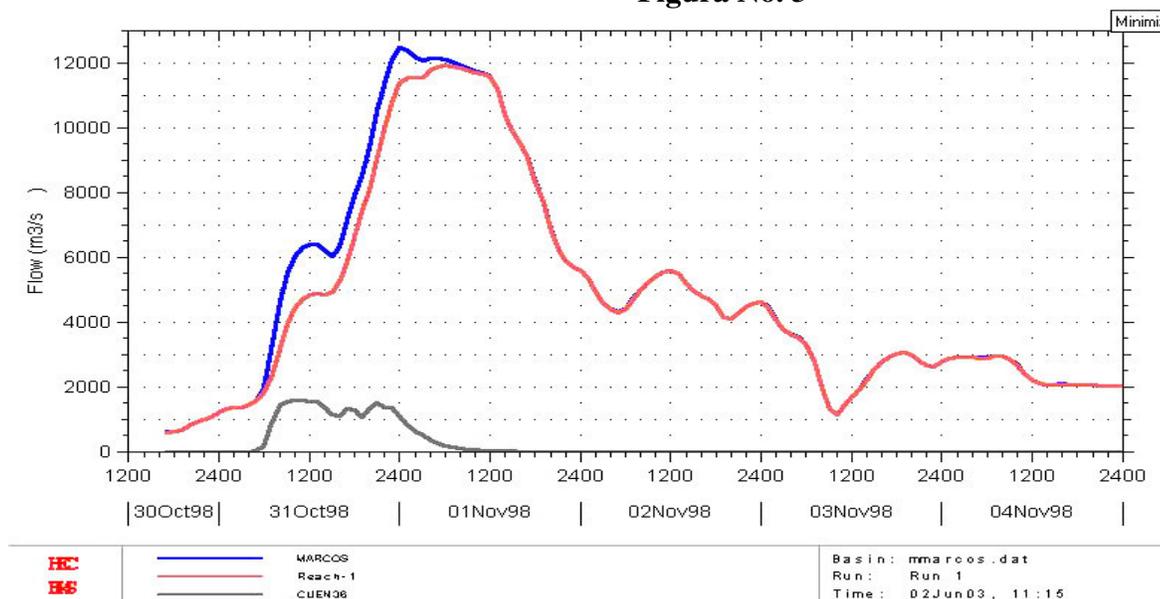
Las Descargas horarias de la Central 15 de Septiembre durante la ocurrencia del huracán Mitch, pueden apreciarse en la siguiente gráfica:

Figura No 2



La Crecida Máxima del huracán Mitch obtenida en la estación San Marcos se muestra en el siguiente hidrograma:

Figura No. 3



- **Análisis probabilístico de la serie histórica de caudales máximos instantáneos incluyendo la crecida del huracán Mitch. Se analizaron 6 distribuciones de probabilidad para estimar las crecidas correspondientes a varios períodos de retorno, las cuales fueron las siguientes:**

Normal

Log Normal con dos parámetros

Log Normal con tres parámetros

Pearson tipo III

Log Pearson tipo III

Extrema de Gumbel tipo I

Los resultados mostraron que la distribución Pearson tipo III, proporcionaba el mejor ajuste de los datos disponibles y por lo tanto, se adoptaron los resultados de dicha distribución. En el párrafo de resultados, se indican los datos de frecuencia de crecidas derivados para el río Lempa en el sitio de San Marcos.

- **Se prepararon mapas de riesgo de inundaciones, para los caudales correspondientes a los diferentes períodos de retorno estimados anteriormente, utilizando la nueva información topográfica levantada con la ubicación de las bordas existentes, así como utilizando la teoría de los perfiles hidráulicos del Modelo BOSS RIVERCAD. El cálculo de los niveles de agua alcanzados en cada sección fueron calculados según los siguientes conceptos:**

Los datos principales requeridos por el modelo BOSS RIVER CAD son básicamente los siguientes:

- Esquema general del río
- Datos geométricos de las secciones transversales del río levantadas en el tramo analizado.
- Información del coeficiente de rugosidad de Manning para estimar las pérdidas por fricción.
- Datos del caudal máximo y régimen de flujo analizado del perfil hidráulico.
- Datos de las estructuras existentes como la ubicación de las bordas.

La ecuación básica de los perfiles hidráulicos que resuelve el modelo en forma interactiva (aproximadamente 20 iteraciones por cada sección) hasta balancear el nivel final para la sección correspondiente, es la siguiente:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde :

WS_1, WS_2 = Elevaciones de la superficie en las secciones 1 y 2

V_1, V_2 = Velocidades promedio (Caudal total / Área total mojada)

α_1, α_2 = Coeficientes ponderados de la velocidad

g = Aceleración de la gravedad

h_e = Pérdidas de energía

Las pérdidas de energía entre dos secciones transversales son evaluadas por medio de la siguiente ecuación:

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Donde :

L = Descarga ponderada en el tramo entre secciones

S_f = Pendiente representativa de fricción entre secciones

C = Coeficientes de pérdidas por contracción o expansión

El factor de sección es calculado por la siguiente ecuación de Manning de donde también se obtiene la velocidad:

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{\frac{2}{3}}$$

Donde :

K = Factor de sección para cada subdivisión en la sección

n = Coeficiente de rugosidad de Manning por subdivisión

A = Area mojada para cada subdivisión

R = Radio Hidráulico para las diferentes subdivisiones (Area / Perímetro Mojado)

- **Para el cálculo del perfil hidráulico del río Lempa en los diferentes períodos de retorno, se utilizaron 34 secciones transversales del río, desde la descarga de la Central 15 de Septiembre, hasta la desembocadura. A partir de la sección No. 18 hasta la 34 corresponden al área de estudio del Bajo Lempa desde San Marcos. Las 34 secciones fueron levantadas en su totalidad en Diciembre del 2000 bajo un programa de asistencia NOAA/AID, pero no se incluyeron las bordas actuales, debido a que se iniciaba la proyección y construcción de las mismas. Entre Enero y Mayo del 2003 se realizó un nuevo levantamiento topográfico en un área de 150 kms² a partir de San Marcos, actualizando la información de las secciones de la No. 18 a la 34, con la ubicación de las bordas existentes.**

La información de la secciones transversales utilizadas en el modelo BOSS RIVERCAD con las elevaciones de las bordas existentes se muestran en los Planos del BL-1 al BL-18 del Anexo 1.

Los datos de fluctuaciones de la marea fueron limitados a la interpolación de la marea alta y baja en el Puerto La Unión y el Puerto de Acajutla, tal como se presenta en el Almanaque salvadoreño de 1998 y un estimado de la marea alta durante la ocurrencia del Huracán Mitch proporcionó un valor aproximado de 2.5 mts, por lo tanto, los valores de mareas utilizados en el presente estudio fueron de 0.0, 3.0 y 5.5 mts.

El modelo BOSS RIVERCAD está compuesto básicamente por tres módulos principales.

HEC-RAS (River Análisis System), Dambreak (modelo dinámico) y Mapping Flood para calcular los perfiles hidraulicos y los niveles de agua en cada sección transversal y para diferentes condiciones de caudal, así como para producir los respectivos mapas de inundaciones.

Se utilizaron los caudales máximos obtenidos en la tabla No. 2 para realizar la modelación hidráulica del bajo río Lempa y se analizaron 18 combinaciones posibles en función de los niveles de las mareas.

De acuerdo a los objetivos del presente trabajo se modelaron las 18 combinaciones de la siguiente manera:

3,232 m³/seg y nivel de marea aguas abajo de 0.0, 3.0 y 5.5 mts.

5,455 m³/seg y nivel de marea aguas abajo de 0.0, 3.0 y 5.5 mts.

7,347 m³/seg y nivel de marea aguas abajo de 0.0, 3.0 y 5.5 mts.

10,287 m³/seg y nivel de marea aguas abajo de 0.0, 3.0 y 5.5 mts.

12,923 m³/seg y nivel de marea aguas abajo de 0.0, 3.0 y 5.5 mts.

15,492 m³/seg y nivel de marea aguas abajo de 0.0, 3.0 y 5.5 mts.

Como resultado de los análisis anteriores se muestran en el anexo No. 1, las zonas del río Lempa en donde se inicia las fallas de las bordas existentes a medida que el caudal se incrementa. En donde el nivel de agua sobrepasa el nivel de las bordas, se ha propuesto incrementar el nivel de las mismas dejando un borde libre de 1 m.

Los mapas de inundación se han preparado como resultado que el nivel del agua calculado para un caudal específico que sobrepasa el nivel de las bordas existentes en las áreas indicadas y en función de la topografía del área total.

- **Calibración del Modelo HEC-HMS, versión 2.2.2, Mayo del 2003 en la Cuenca del Río Lempa como un Modelo alternativo para la generación de Crecidas en el Bajo Lempa.**

La calibración del Modelo HEC-HMS en la Cuenca del Río Lempa con los datos existentes y disponibles del huracán Fi-Fi de Septiembre de 1974 y nueva modelación hidráulica en el Bajo Río Lempa. Dicho procedimiento se describe en los párrafos siguientes:

Descripción de la Cuenca del Río Lempa

La cuenca del Río Lempa es una región hidrográfica localizada en las Repúblicas de Guatemala, El Salvador y Honduras; ubicada geográficamente entre los meridianos 90° 09' y 87° 46' y los paralelos 14° 41' y 13° 15'. Tiene un área total aproximadamente de 18,246 km², ocupando el 56.2% del territorio de El Salvador (10,255 km²), 14% (2,547 km²) en Guatemala y en Honduras el 30.0% (5,438 km²). El Río Lempa nace en el Sur-Este de Guatemala y Oeste de Honduras a una elevación de 1500 m.s.n.m.. Fluye en dirección Sur-Oeste y después entra a El Salvador juntándose con el Río Desague en un punto cerca del pueblo de Masahuat. El Río Desague es la descarga del Lago de Guija, el cual se extiende entre la frontera de El Salvador-Guatemala y el principal afluente a este Río es el Río Guajoyo.

El agua del Lago de Guija, el cual recoge la escorrentía de un área de 2,768 km² es utilizada para la producción de energía hidroeléctrica en la Central Guajoyo, la cual fue construida en 1962.

De Masahuat, el Río Lempa fluye en dirección Sur por cerca de 18 kilómetros y luego cruza en dirección Este, con una longitud de 85 kms hasta alcanzar nuevamente la frontera de El Salvador-Honduras. Los mayores tributarios del Río Lempa en este tramo son el Río Suquiapa, Río Sucio, Río Acelhuate y Río Quezalapa del sector Sur y el Río Metayate, Río Grande y el Río Sumpul del sector Norte.

La Central Hidroeléctrica Cerrón Grande fue construida por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) en 1977 y está ubicada sobre el Río Lempa inmediatamente aguas arriba de la desembocadura del Río Ase seco. La Central 5 de Noviembre fue construida por CEL en 1954 y está localizada sobre 25 kms aguas debajo de la presa Cerrón Grande.

El Río Torola, el cual forma parte de la frontera El Salvador-Honduras entra aproximadamente 50 kilómetros aguas abajo del sitio de la Central 5 de Noviembre. De este punto, el Río Lempa fluye en dirección Sur en una longitud de 105 kilómetros entrando nuevamente a El Salvador, hasta alcanzar el Océano Pacífico.

Los dos reservorios de las centrales antes mencionadas como el Lago de Guija, están localizados aguas arriba del sitio de la Central 15 de Septiembre que fue la última Central construida por CEL en 1984. Actualmente se realizan los Estudios de Factibilidad de un nuevo proyecto hidroeléctrico llamado El Chaparral, localizado sobre el Río Torola a unos 200 metros aguas arriba de la frontera con Honduras y cerca de la desembocadura de este río con el Río Lempa.

La Climatología General de la cuenca del río Lempa, se divide en dos estaciones: estación húmeda (Mayo a Octubre) y estación seca (Noviembre a Abril) las cuales son afectadas por el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ITC). Esta zona se desplaza de las posiciones del Sur, cerca del Ecuador en Sur América en Febrero y alcanza posiciones en el Norte de Centro América en Agosto o Septiembre. En la vecindad de la ITC, precipitaciones intensas, frecuentemente ocurren porque el aire converge de ambos lados de la zona causando que el aire se eleve, resultando un incremento de la precipitación.

Los mayores caudales en los ríos, están asociados con una condición conocida localmente como “Temporal”. La situación Sinóptica responsable por el “Temporal” es la presencia de un huracán o al menos una tormenta tropical (vientos mayores de 30 km/hora hasta 60 km/hora o mayores en un huracán) en la región del Mar Caribe. El Clásico ejemplo es la tormenta asociada con el huracán de Junio de 1934 que se movió del Sur Oeste del Golfo de Honduras hacia la cuenca del Río Lempa y regresó por el sector Norte al Golfo de Honduras. Esta tormenta estuvo en la vecindad de la cuenca por aproximadamente dos días y produjo extraordinarias cantidades de lluvia sobre la parte superior de cuenca, alcanzando valores máximos de 650 mm en ese período. Otro ejemplo más reciente ocurrió a finales de Octubre de 1998 con el huracán Mitch que provino del Norte de Honduras y tocó la frontera entre El Salvador y Honduras a la altura del río Torola para luego desplazarse paralelamente a la frontera hasta llegar al Golfo de México. La precipitación máxima de este huracán sobre El Salvador se registró en la estación de Santiago de María con un valor de 437 mm en dos días de duración comprendidos entre el 31 de Octubre y 1 de Noviembre de 1998.

Calibración Hidrológica a través del Modelo HEC-HMS

El Modelo HEC-HMS versión 2.2.2, Mayo del 2003 (US Army Corps of Engineering), es un Modelo diseñado para simular el escurrimiento superficial de una cuenca, producto de la precipitación, por medio de la representación del complejo proceso hidrológico de la cuenca del Río Lempa como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. El resultado del modelo es el cálculo de hidrogramas en los puntos de interés del río.

La cuenca del Río Lempa es representada como un grupo interconectado de subcuencas tal como se muestra en la Figura No. 4. Se considera que los procesos hidrológicos pueden ser representados por parámetros promedio dentro de una subcuenca. Los parámetros deben representar condiciones temporales y espaciales promedio, en consecuencia, el intervalo de tiempo utilizado será suficientemente pequeño como para que los promedios utilizados sean aplicables durante el intervalo de cálculo.

Dentro de los componentes del Modelo, están los siguientes:

- Desarrollo de la red de flujo del Modelo, es decir delineamiento de la cuenca y segmentación en subcuencas (Figura No 4 y mapa topológico de la Figura No. 5).
- Componente del escurrimiento superficial que incluye el hietograma de la precipitación, lluvia efectiva, Hidrograma unitario, flujo base e Hidrograma total de la cuenca.
- Componente del Tránsito de Crecidas, es decir que el Hidrograma de Entrada a un canal, un Río o Embalse es transitado en función de las características hidráulicas del canal o embalse.

Figura N°4
División de la Cuenca del Río Lempa en Sub-cuencas utilizadas en el modelo HEC-HMS.

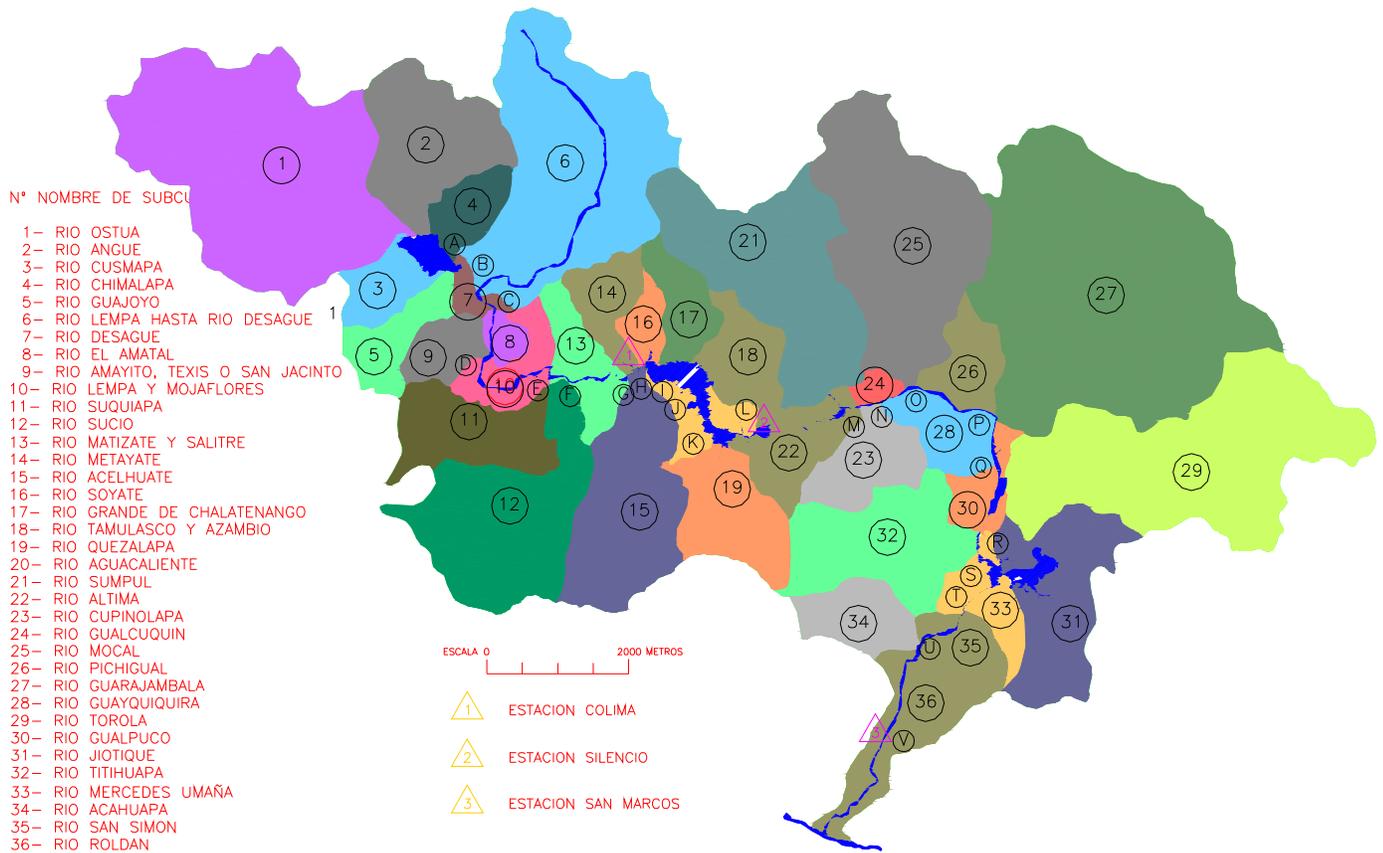
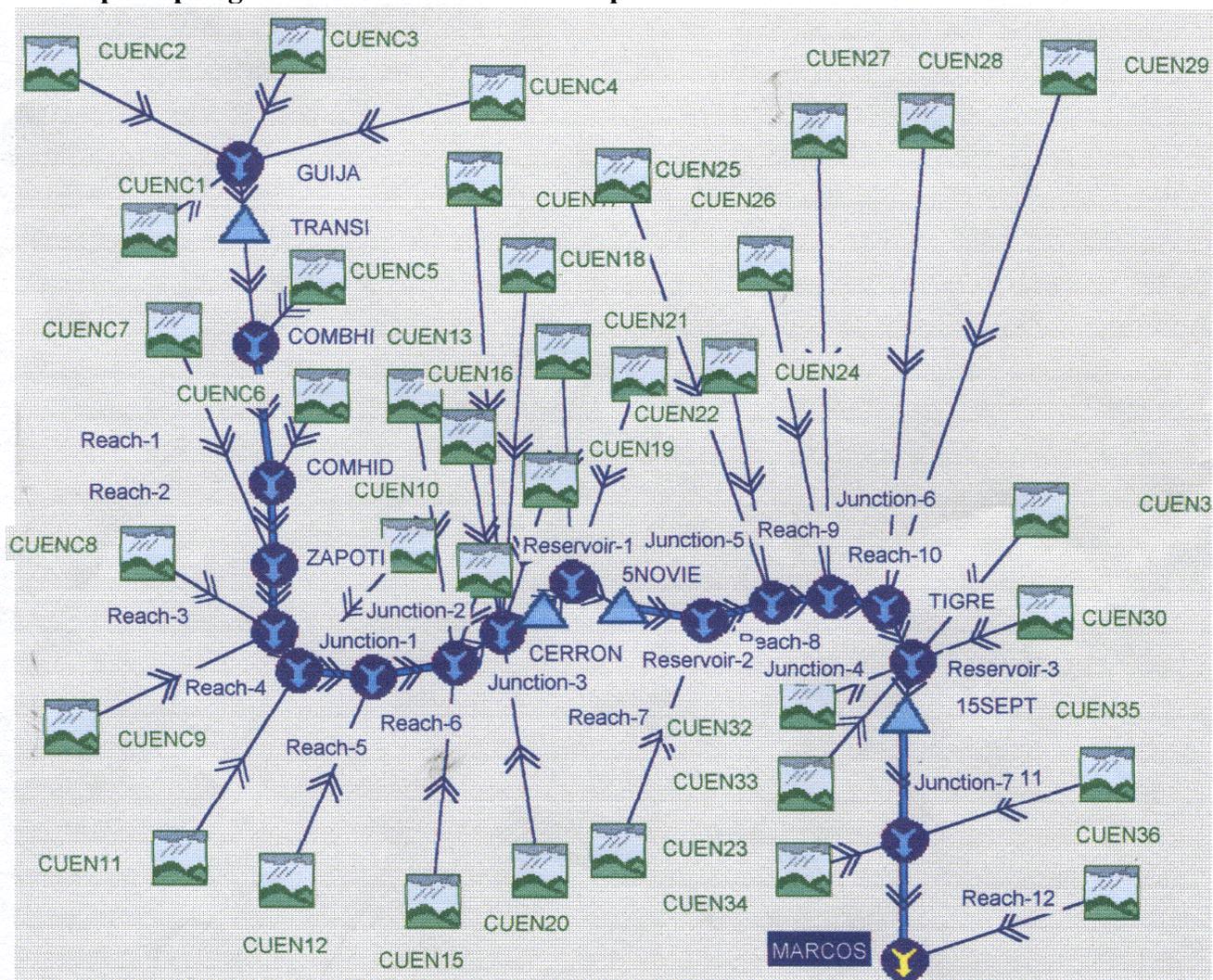


Figura N° 5
Mapa Topológico de la Cuenca del Río Lempa utilizado en el Modelo HEC-HMS

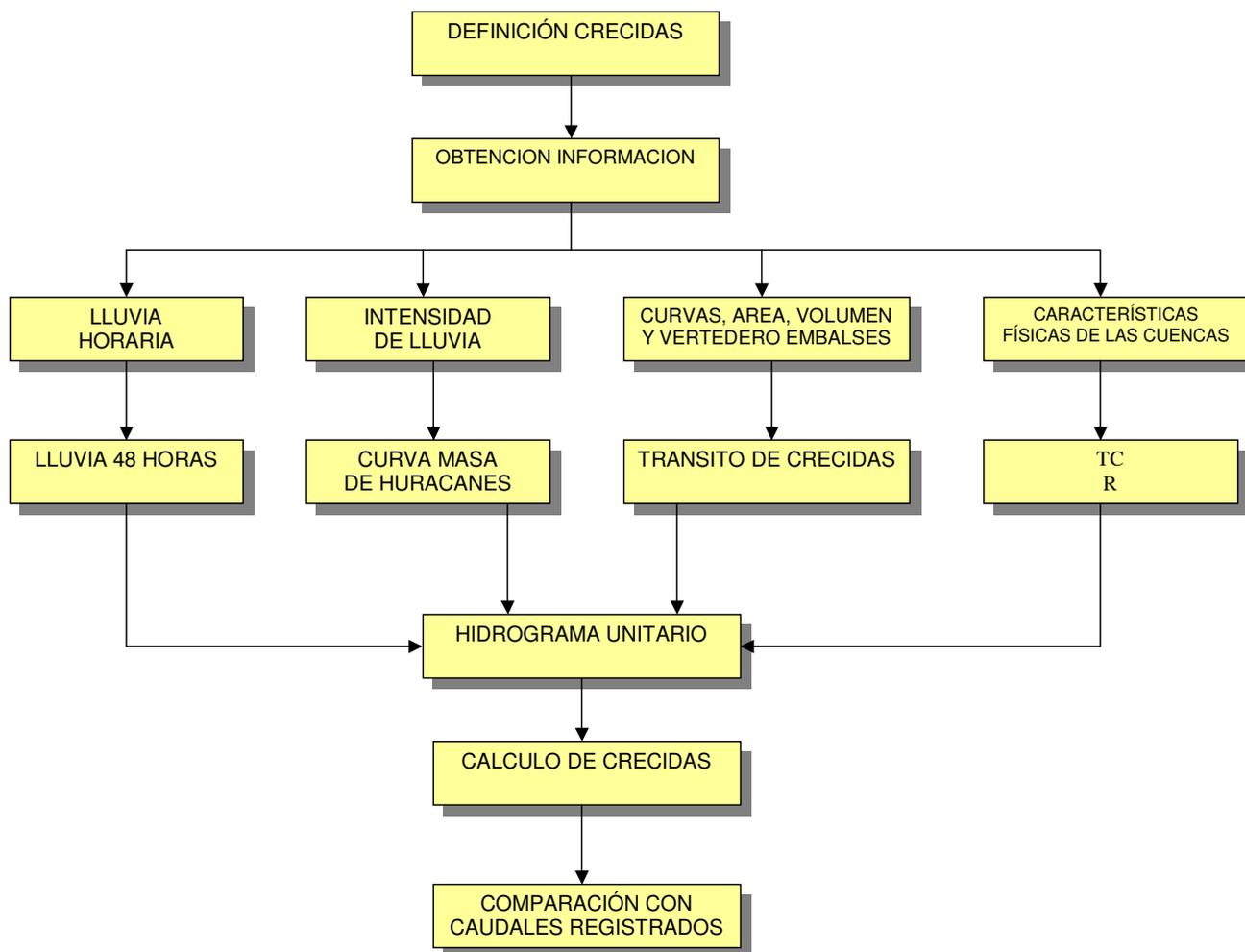


En el desarrollo del proceso lluvia-escorrentía de la cuenca del río Lempa y calibración del Modelo HEC-HMS, están involucrados los siguientes componentes:

- Determinación de la Precipitación media del huracán Fi-Fi para cada una de las subcuencas indicadas anteriormente y en base de las estaciones meteorológicas que registraron dicho evento en cada una de ellas.
- Estimación de la distribución temporal de la precipitación en cada subcuenca
- Optimización de los hidrogramas de Crecida para dicho huracán en las subcuencas con registro hidrométrico obteniendo parámetros como las Pérdidas por Retención y el Tiempo de Concentración y Almacenamiento respectivo.
- Derivación del Hidrograma Unitario
- Estimación del Flujo base

- Transformación de la Precipitación en Escorrentía para obtener el Hidrograma Calculado en aquellas estaciones con registro horario del caudal durante el huracán y el cual es optimizado con relación al Hidrograma del caudal observado durante el proceso de optimización. El Flujoograma para el proceso de calibración del Modelo HEC-HMS, se muestra en la Figura No. 6

Figura No. 6
Flujoograma en el proceso de Calibración del Modelo HEC-HMS



Hidrograma Unitario

El Hidrograma Unitario utilizado en la reconstrucción de las Crecidas del huracán Fi-Fi en las diferentes estaciones con registro hidrométrico, está basado en el Modelo de Clark, el cual usa el concepto del Hidrograma Unitario Instantáneo (HUI). Un HUI es un hidrograma teórico, resultante de una lluvia unitaria efectiva en una infinitésima duración. Esto significa que para un HUI, una lluvia unitaria efectiva es aplicada a la cuenca de drenaje en un tiempo cero. El HUI es entonces, utilizado para calcular un hidrograma unitario para cualquier duración unitaria deseada igual o más grande que el intervalo de tiempo utilizado en el cálculo del HUI.

El cálculo del HUI incluye la estimación de dos parámetros. El primer parámetro es el tiempo de concentración (T_c) definido como el tiempo de viaje de una partícula desde el punto más remoto en la cuenca, en el cauce más largo, hasta el punto de interés. El segundo parámetro es la Constante de Atenuación o Constante de Almacenamiento (R) la cual tiene una dimensión de tiempo. Este parámetro es utilizado para cuantificar el efecto de almacenamiento en el canal en el sistema de drenaje en la magnitud y forma del hidrograma de escorrentía directa.

Estimación de Parámetros.

Diferentes subcuencas hasta la estación San Marcos fueron consideradas con el objeto de determinar los parámetros del modelo de Clark, utilizando la modelación hidrológica del HEC-HMS. La información existente para el huracán FIFI en la mayoría de los pluviómetros, pluviógrafos y estaciones hidrométricas, distribuidas en la cuenca del río Lempa aguas arriba de dicha estación fue utilizada, con el objeto de optimizar los parámetros antes mencionados y utilizarlos en el cálculo de la reconstrucción de la Crecida Máxima del huracán Fi-Fi a lo largo del río Lempa.

La información disponible de lluvias y caudales fue analizada para el período del 17 al 23 de Septiembre de 1974, período el cual incluye el Huracán FIFI, con el objeto de seleccionar cuidadosamente aquellas estaciones adicionales que puedan completar la red actual de estaciones telemétricas y que apoyen una mejor precisión de los pronósticos hidrológicos.

Las subcuencas del Río Lempa, seleccionadas para la calibración y con información hidrometeorológica del Huracán Fi-Fi, fueron las siguientes:

- 1) Río Angue.
- 2) Río Guajoyo.
- 3) Río Suquiapa.
- 4) Río Acelhuate.
- 5) Río Quezalapa.
- 6) Río Metayate.
- 7) Río Tamulasco.
- 8) Río Copinolapa.
- 9) Río Titihuapa.
- 10) Río Jiotique.

Con el objeto de analizar la consistencia de la información horaria de la lluvia y la distribución temporal del Huracán FIFI en la Cuenca del Río Lempa, se prepararon curvas masas de todas las estaciones pluviográficas de la cuenca a fin de obtener un promedio de dicha distribución temporal del Huracán como se muestran en las Figuras Nos.7 y 8. Después de seleccionar las estaciones de lluvia, polígonos de Thiessen fueron elaborados en forma separada para los pluviómetros y pluviógrafos de cada subcuenca y fue calculado el área de influencia de cada una de las estaciones en las diferentes subcuencas.

Figura N° 7
Curvas Masa adimensionales de las Estaciones Meteorológicas, aguas arriba de la Central 5 de Noviembre con registros del Huracán FIFI.

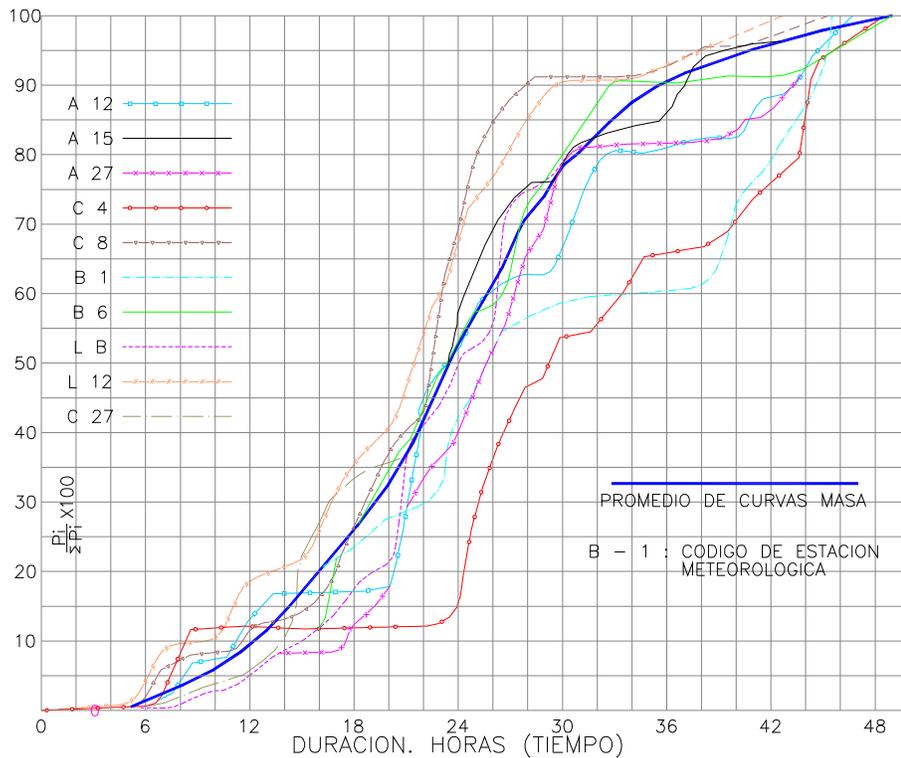
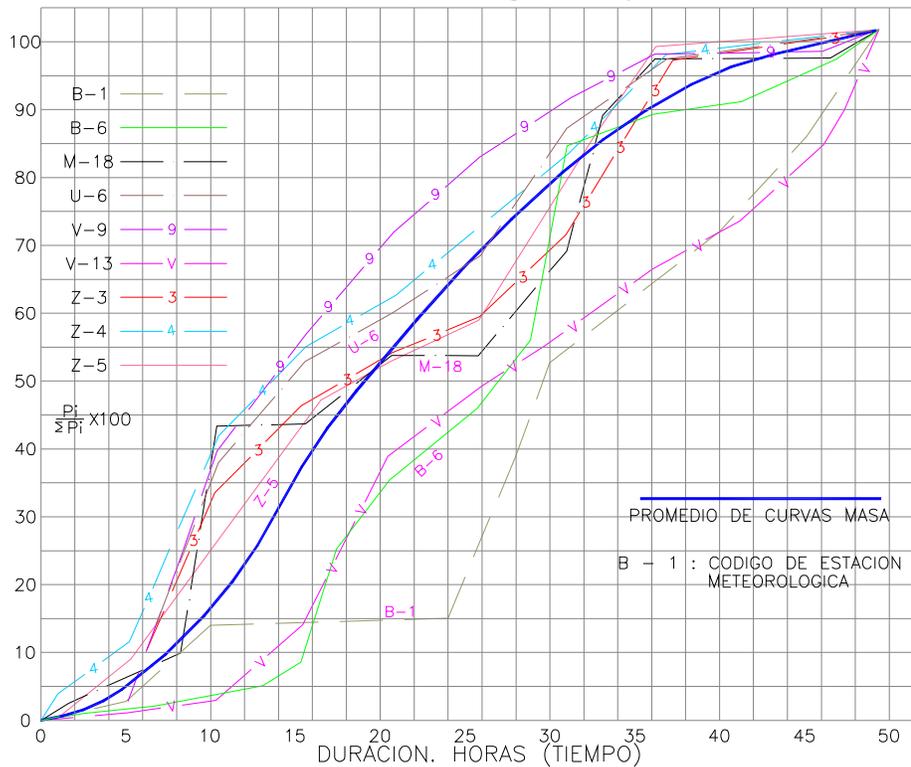


Figura N° 8
Curvas Masa adimensionales de las Estaciones aguas abajo de la Central 5 de Noviembre



La información concerniente a las lluvias diarias y horarias del período del Huracán así como los caudales horarios de las diferentes subcuencas seleccionadas fueron introducidas al modelo HEC-HMS y la técnica de optimización de este modelo fue utilizada para obtener los parámetros del modelo de Clark.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Tabla No. 2
Parámetros del modelo de Clark, Cuenca del Río Lempa hasta la estación San Marcos. Huracán FIFI.

No.	Subcuenca	A(Km ²)	L(Km)	Tc(hrs)	R(hrs)	Tc+R	R/Tc+R	S	h(mts)
1	Angue	597	45	3,25	12,04	15,29	0,79	0,0127	573
2	Guajoyo	226	40,5	4,23	11,46	15,69	0,73	0,0248	1006
3	Suquiapa	435	57	1,02	6,55	7,57	0,87	0,0244	1405
4	Acelhuate	713	65	2,43	9,53	11,96	0,8	0,0256	1665
5	Quezalapa	452	32,1	1,03	5,75	6,78	0,85	0,0239	768
6	Metayate	218	30	2,66	3,79	6,45	0,59	0,0316	949
7	Tamulasco	101	27	1,03	11,13	12,16	0,92	0,0481	1299
8	Copmolapa	294	37,5	1,44	4,49	5,92	0,76	0,0211	791
9	Titihuapa	605,7	48	1,06	2,1	3,16	0,66	0,0153	734
10	Jiotique	627,8	43	15,5	11,26	26,72	0,42	0,0342	1472

No.	Subcuenca	Tc/R	L2/»	Tp	Cp	STRTL	CNSTL	L ² /A
1	Angue	0,27	159,4	3,66	0,26	24,26	1,92	3,39
2	Guajoyo	0,37	66,14	4,31	0,31	26,54	2,09	7,27
3	Suquiapa	0,156	133,16	1,68	0,24	3,98	3,11	7,47
4	Acelhuate	0,25	165	2,81	0,25	9,91	2,89	5,92
5	Quezalapa	0,18	43,11	1,66	0,27	96,64	4	2,28
6	Metayate	0,7	28,48	2,67	0,49	14,48	0,59	4,13
7	Tamulasco	0,09	15,16	1,74	0,16	14,09	3,26	7,22
8	Copinolapa	0,32	66,65	1,78	0,31	1,41	0,27	4,78
9	Titihuapa	0,5	150,6	1,33	0,47	39,15	0,64	3,80 ,
10	Jiotique	1,37	54,06	13,66	0,66	69,16	0,68	2,95

Donde:

- Tp y Cp = Coeficiente del Hidrograma Unitario de Snyder.
 STRTL = Abstracción inicial de la lluvia en mm.
 CNSTL = Tasa uniforme de pérdidas (mm/hora)
 A = Area de la Cuenca (Km²)
 L = Longitud más larga del Río (Kms).
 Tc = Tiempo de concentración (hrs)
 R = Constante de Atenuación o constante de Almacenamiento (hrs)
 S = Pendiente del Río
 H = Diferencia de elevación (mts)

El proceso de calibración para las diferentes subcuencas se muestra en el Capítulo de Resultados. Las subcuencas 3 y 7 fueron eliminadas de la calibración, ya que no se obtuvieron buenos resultados durante el proceso, probablemente debido a que para estas subcuencas existen fallas en el registro de la información hidrometeorológica. Los datos obtenidos del modelo de Clark de los hidrogramas observados, fueron correlacionados con las características de cada subcuenca. Las siguientes relaciones fueron evaluadas:

$$(1) T_c + R = a L^b S^c$$

$$(2) \text{Valores de } \frac{R}{T_c + R}$$

$$(3) T_c/R = a + b L^2/A$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en Kms

S = Pendiente en mts/Kms

A = Area de drenaje (Km²)

a y b = parámetros de la recta de regresión

Las características de las subcuencas fueron determinadas de los respectivos cuadrantes cartográficos y las siguientes ecuaciones fueron obtenidas:

$$T_c = 0.071 \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0.715}$$

$$T_c + R = 1.245 \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0.473}$$

$$\frac{R}{T_c + R} = 0.79$$

Las Figuras Nos. 9 y 10 muestran las curvas correspondientes a las ecuaciones antes descritas.

Figura N° 9
Subcuencas del Río Lempa utilizadas en la calibración.

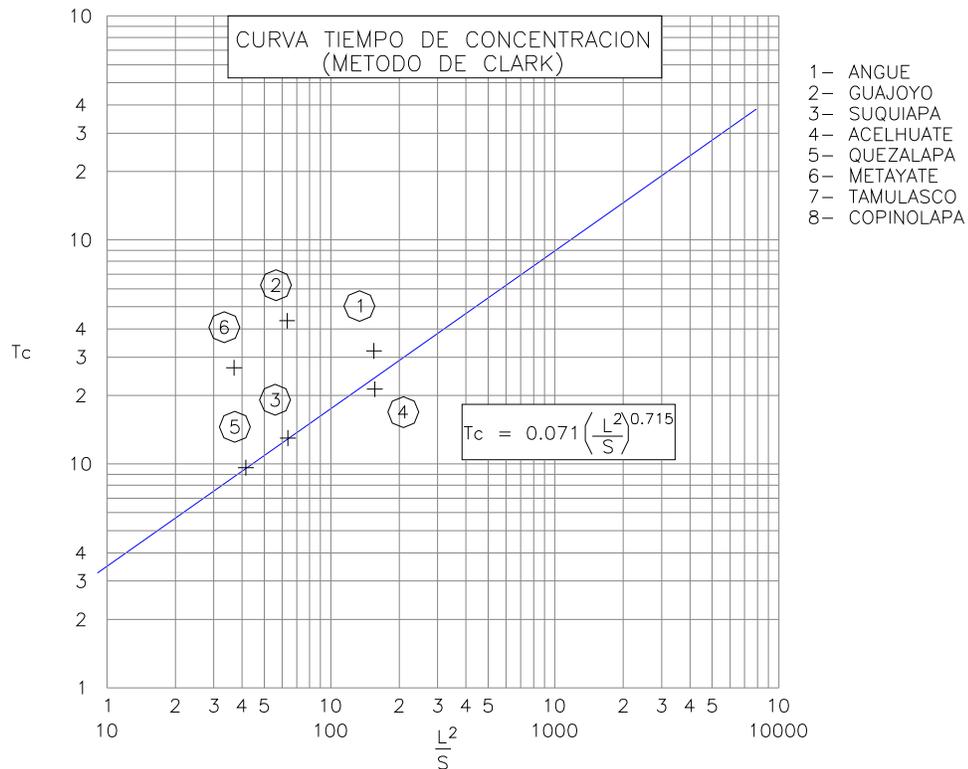
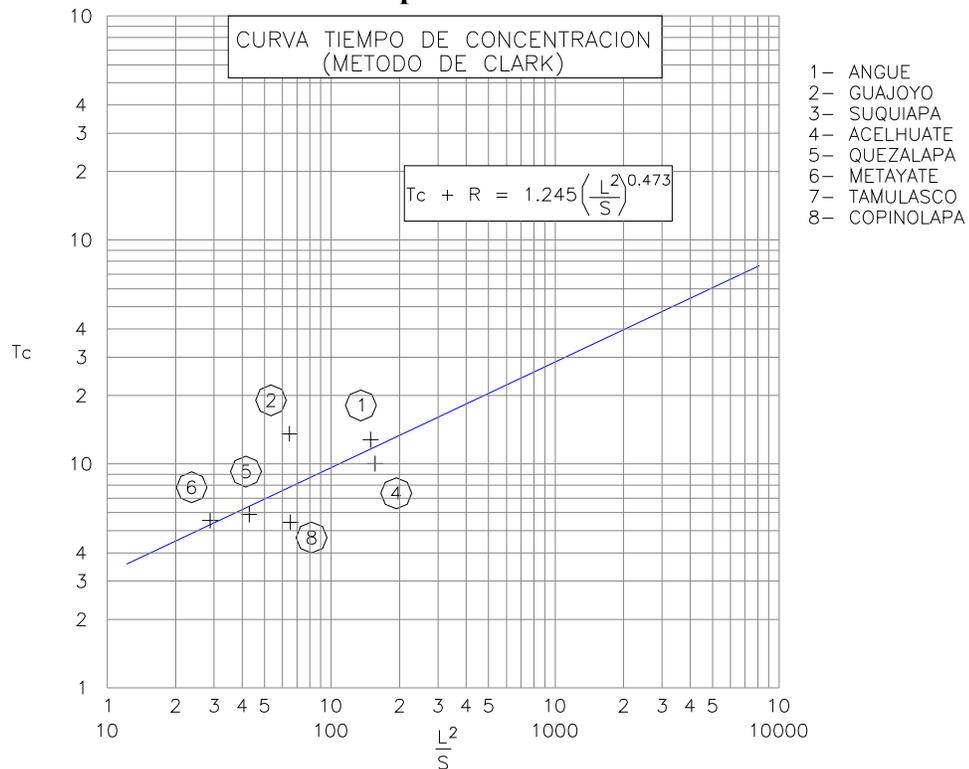


Figura N° 10
Subcuencas del Río Lempa utilizadas en la calibración.



Calibración del modelo de Clark en las Estaciones Colima, Silencio San Marcos sobre el Río Lempa.

La Cuenca del Río Lempa hasta las estaciones hidrométricas Colima, Silencio y San Marcos fue calibrada con la información concerniente al huracán FIFI y los parámetros obtenidos con las ecuaciones del modelo de Clark, utilizando la modelación hidrológica del HEC-HMS. Las estaciones hidrométricas de Colima y Silencio funcionaron hasta el año de 1976 y tienen un área de drenaje de 7342.9 Km² y 8584.5 Km² respectivamente. La estación Silencio se localiza donde es ahora la Central Cerrón Grande y la estación San Marcos con un área de drenaje de 18176.0 Km² se localiza aguas abajo de la Central 15 de Septiembre. La cuenca del Río Lempa hasta la estación San Marcos fue subdividida en 36 subcuencas y 15 subcuencas fueron consideradas hasta la Estación Colima, 21 hasta la Estación Silencio y el resto para la Estación San Marcos tal como se muestra en la Figura N° 4.

Los diferentes parámetros Tc y R fueron calculados para cada subcuenca y la precipitación media para cada una de ellas para dos días de duración, fue estimada tomando como base los polígonos de Thiessen previamente preparados para las estaciones Meteorológicas con información consistente. Asimismo, fue estimado el flujo base para las subcuencas y los valores considerados de la abstracción inicial de la lluvia y la tasa uniforme de pérdidas, en base a los resultados obtenidos en la calibración.

Un resumen de los parámetros obtenidos para las diferentes subcuencas es la siguiente:

Tabla No. 3
Parámetros del modelo de Clark
Calibración hasta las estaciones Colima, Silencio y San Marcos (Huracán FIFI)

Sub cuenca No.	Área (Km2)	Flujo base m ³ /scg	Precipitación promedio de dos días 20 y 21 Sep/74 (mm)	Abstracción inicial (mm)	Tasa uniforme pérdidas (mrn/h)	Te (horas)	R (horas)
1	1752	21,7	34	25	2	6,28	17,88
2	570	7,1	106,2	25	2	3,34	12,56
3	271	3,4	54,8	25	2	0,5	3,74
4	175	2,2	97,1	25	2	0,5	2,98
5	215	2,7	71,9	25	2	1,96	7,76
6	1386	17,2	187,8	25	2	9,04	21,7
7	91	1,1	79,2	25	2	0,5	1,45
8	71	0,9	87,5	25	2	0,5	0,76
9	170	2,1	87,5	25	2	0,6	4,49
10	210	2,6	93,1	25	2	1,27	7,12
11	450	5,6	122,1	25	3	2,33	10,2
12	850	10,5	183	25	3	3,23	12,34
13	240	3	111,1	25	2	2,05	9,46
14	190	2,4	116,1	25	2	0,77	5,27
15	720	8,9	186,8	25	3	2,73	11,2
16	105	1,3	122,7	25	2	0,8	5,22
17	225	2,8	153,8	25	2	0,7	4,93
18	260	3,2	157,5	25	2	0,5	3,81
19	418	5,2	198	25	3	1	6,25
20	115,67	1,43	146,2	25	3	0,2	1,92
20-A	92,73	1,15	154,8	25	2	0,2	2,49
21	1012	12,5	149,8	25	2	1,8	8,85
22	267	3,3	135,2	25	2	0,5	0,522
23	298	3,7	131,2	25	2	1,7	8,49
24	48,13	0,6	84,8	25	2	0,1	1,47
25	1219,36	15,1	150	25	2	2,24	9,98
26	218,1	2,7	129,7	25	2	1	6,18
27	2462,95	30,5	170	25	2	3,52	12,95
28	279,42	3,5	117,9	25	2	0,23	2,46
29	1563	19,4	165	25	2	8,96	21,59
30	107,91	1,3	59,5	25	2	0,33	3,12
31	623	7,7	158,5	25	2	1,33	7,31
32	593,57	7,4	120,2	25	2	2,56	10,78
33	232,54	2,9	115,5	25	2	0,26	2,6
34	225	2,8	177,8	25	3	1,035	6,29
35	145,36	1,8	216,1	25	3	0,17	2,05
36	290,17	3,6	213,1	25	3	0,31	2,98

Para conocer la distribución temporal de la lluvia en cada subcuenca, las curvas masas de las estaciones pluviográficas mencionadas anteriormente, fueron analizadas aguas arriba de la Central 5 de Noviembre así como aguas abajo de dicha central y posteriormente fueron introducidas al modelo HEC-HMS, para cada subcuenca tal como se muestra en las Figuras Nos. 7 y 8.

Con respecto al Tránsito de la Crecida Máxima del Huracán FIFI, por el lago de Guija y Central 5 de Noviembre, se tomó como base la información de las curvas Area-Volumen-Elevación y las descargas por vertedero, de la siguiente forma:

Tabla No. 4
Volúmenes de Almacenamiento y Descargas del lago de Guija.

Elevación (m.s.n.m.)	Volumen MM3 (condición inicial 1963)	Descargas por vertedero (mVseg)
418	34	170
419	71	185
420	110	195
421	149	205
422	188	215
423	231,3	225
424	270	235
425	318,8	245
426	359	250
427	406,3	284
428	455	323
429	506,3	371
430	560	422
431	609,4	482
432	650	568
433	712,5	1030
434	756,3	1874,7
435	806,3	2968,2
436	900	4264
437	943,8	5733,3

Tabla No. 5
Volúmenes de Almacenamiento y Descargas de la Central 5 de Noviembre.

Elevación (m.s.n.m)	Volumen MM3 (condición en 1974)	Descargas por vertedero (m ³ /seg)
168	0,00	16,80
169	2,50	247,30
170	5,00	613,89
171	9,00	1076,92
172	13,00	1619,32
173	17,00	2230,81
174	22,00	2904,33
175	27,00	3634,60
176	32,00	4417,52 :
177	38,50	5249,76
178	47,00	6128,60
179	55,00	7051,56
180	64,50	8016,74
181	76,00	9022,34
182	88,00	10066,80
183	98,00	11148,70
184	109,00	12266,80
185	115,00	13419,90
186	129,00	14607,10

Tomando como referencia la Figura N° 4, los parámetros de Muskingum estimados para el Tránsito de Crecidas por el cauce principal del Río Lempa son los siguientes:

Tabla No. 6
Parámetros de Muskingum para el Tránsito de Crecidas por el Cauce del Río Lempa.

Tramo (Figura No. 8)	Distancia (kms)	Velocidad Promedio del Río (m/seg)	Velocidad ' onda Cinemática (m/s)	Tiempo de recorrido de la onda, K (horas)	X
A-B	10,8	2	3,33	0,9	0,2
B-C	5,4	2	3,33	0,45	0,1
C-D	10,8	2	3,33	0,9	0,2
D-E	27	2	3,33	2,25	0,2
E-F	5,4	2	3,33	0,45	0,1
F-G Estación Colima	17,98	2	3,33	1,5	0,2
G-H	7,94	2	3,33	0,7	0,2
H-I	14,81	2	3,33	1,2	0,2
I-J	2,95	2	3,33	0,25	0,1
J-K	11,1	2	3,33	0,9	0,2
K-L Estación Silencio	7,94	2	3,33	0,7	0,2
M-N	6,22	2	3,33	0,52	0,2
N-O	9,86	2	3,33	0,82	0,2
O-P	19,9	2	3,33	1,66	0,2
P-Q	15,45	2	3,33	1,29	0,2
Q-R	15,56	2	3,33	1,3	0,2
R-S	11,6	2	3,33	0,96	0,2
S-T	14,12	2	3,33	1,18	0,2
T-U	13,35	2	3,33	1,11	0,2
Ü-V Estación San Marcos	21,75	2	3,33	1,81	0,2

$$\text{Velocidad de la Onda Cinemática} = \frac{5xV}{3}; \quad V = \text{Velocidad promedio del Río en m/s}$$

Los resultados del proceso de calibración en las estaciones hidrométricas Colima, Silencio y San Marcos se muestran en un resumen en el siguiente cuadro y en forma gráfica, en el Capítulo de Resultados :

Tabla No. 7
Calibración del Modelo de Clark, Cuenca del Río Lempa
Comparación de Hidrogramas del Huracán FIFI.

Estaciones en el Río Lempa	Colima			Silencio			San Marcos		
	Caudal pico (m ³ /S)	Tiempo al pico (horas)	Volumen (m ³ /seg-hora)	Caudal pico (m ³ /seg)	Tiempo al pico (horas)	Volumen (m ³ /seg-horas)	Caudal pico (m ³ /seg)	Tiempo al pico (horas)	Volumen (m ³ /seg-horas)
Hidrogruna Calculado	3349	29	80601	4328	32	107583	8028	42	294373
Hidrogmma Observado	3302	31	80405	4348	35	127497	7694	41	352660
Diferencia	47	-2	196	-20	-3	-19915	334	1	- 58287.0
Diferencia en Porcentaje	1,41		0,24	0,46		- 15.62	+4,35		- 16.53

Un breve comentario sobre los resultados obtenidos en la calibración, indica que si bien es cierto que existe alguna diferencia en volúmenes en las estaciones El Silencio y San Marcos, también es importante señalar que para fines práctico del cálculo de la Crecida del Huracán Fi-Fi, interesa la calibración lo mas cercanamente posible entre los dos hidrogramas en los caudales pico y en la forma del hidrograma, lo cual demuestra, según puede apreciarse en los resultados, una alta confiabilidad de los parámetros del Hidrograma unitario que serán utilizados en la determinación de cualquier Crecida Máxima en los sitios de interés sobre el río Lempa y especialmente en el Puente San Marcos, así como en las Centrales existentes y los futuros proyectos hidroeléctricos sobre el río Lempa.

Es conveniente señalar que para el cálculo de la Crecida Máxima en cualquier sitio del río Lempa, se tomaron en cuenta las distribuciones temporales de la precipitación del Huracán FIFI, así como, las distribuciones temporales de la Precipitación Máxima Probable (PMP, Tabla No. 8), asociadas al Huracán modelo de la Cuenca del Río Lempa y su trayectoria crítica, de acuerdo a lo indicado en el Estudio de Factibilidad de la Central 15 de Septiembre (Fuente CEL). Un punto importante sería el de incorporar las curvas masa de las estaciones indicadas en las Figuras Nos 4 y 5 durante la ocurrencia del Huracán Mitch en 1998 para fines comparativos, sin embargo se puede considerar que los resultados obtenidos durante el proceso de calibración con las curvas masa antes referidas, se pueden considerar satisfactorios, tal como se indica en los resultados de la Tabla No. 7.

Crecida Máximas en el río Lempa y Modelo Operativo .

Para la determinación de la Crecida Máxima en cualquier sitio del río Lempa y específicamente el Puente San Marcos, es necesario conocer primero los valores correspondientes a la Precipitación que ocurre sobre la Cuenca del Río Lempa y cual es obtenida actualmente por el sistema telemétrico en tiempo real de las diferentes estaciones. Inmediatamente es conveniente conocer la Precipitación Media en cada una de las subcuencas indicadas en la Figura No. 4 por medio de un mapa de isoyetas, para luego introducir las al Modelo HEC-HMS y generar la Crecida Máxima Correspondiente.

Tal como se indicó en el párrafo anterior, datos de la PMP para 48 horas de duración, son mostrados en la Tabla No. 7, han sido aplicados a las diferentes subcuencas del Río Lempa de acuerdo a la Figura N°1, en el diseño de los proyectos hidroeléctricos del río Lempa y con el objeto de conocer la distribución temporal de la PMP (Fuente CEL). Un resumen de los datos a utilizados se indican en la siguiente tabla:

Tabla No. 8
Valores de 48 horas de la PMP y distribución temporal en la Cuenca del Río Lempa (en mm)
(PMP horarias reconstruidas del Estudio de Factibilidad de la Central 15 de Septiembre, CEL 1984).

Sub área (Harza)	I	II	III	VI	IV	V	VII Y VIII	IX
Subcuenca N°	De la N° 1 a la N° 4	De la N° 5 a la N° 20	N°. 21 y 22	N°. 23, 24, 26 y 28	N°. 25	N°. 27	N°. 29	N°. 30 al N° 36
Intervalo de tiempo (hrs.)								
1	2	2						
2	2	2						
3	2	2						
4	2	4						
5	2	4						
6	4	4						
7	4	4						
8	4	4						
9	7	4						
9-10	7	4	2					
11	17	9	3					
12	17	9	3					
13	20	9	3					
14	20	9	4					
15	23	17	4					
16	23	17	5					
17	19	17	5					
18	19	25	6	2	6			
19	11	25	7	3	6			
19-20	11	25	«	3	6			
21		27	«	3	6			
22		27	10	3	8			
23		27	12	3	8			
24		23	14	5	8		4	4
25		23	16	6	10		4	9
26		23	17	8	10		4	13
27		13	18	13	12	3	5	17
28		13	19	17	12	4	6	21
29		13	20	22	14	4	9	24
29-30		7	19	33	14	5	7	33
31		7	18	35	16	6	12	37
32		7	16	36	16	9	20	37
33		7	14	30	18	11	27	37
34			12	30	20	15	28	37
35			10	27	22	19	29	29
36			8	25	20	23	37	28
37			6	16	20	27	39	11
38			4	12	18	34	33	7
39			2	8	16	38	23	5
39-40				7	14	39	16	
41				4	12	34	13	
42				3	10	26	10	
43					10	19	7	
44					8	13	7	
45					6	9	6	
46					4	7	5	
47					4	6	3	4
48						3	0	
49								
49-50								
Total	216	413	293	354	354	354	354	382

El análisis del Modelo Operativo para determinar Crecidas Máximas en la Cuenca del Río Lempa, se ha realizado bajo la condición actual del Río, es decir tomando en consideración las Centrales Hidroeléctricas actualmente en operación, por lo que la información de las curvas Area-Volumen-Elevación de dichas centrales, serán necesarias para el paso de la Crecida Máxima por sus respectivos embalses así como las curvas de descarga por los vertederos.

Dicha información se puede resumir en las siguientes Tablas:

Tabla No. 9
Volúmenes de Almacenamiento y Descarga por Vertedero y Compuerta de la Central Guajoyo

Elevación (m.s.n.m)	Volumen MM3	Descargas por Vertedero (n [^] /seg)
418	13,70	170,00
419	45,40	185,00
420	79,70	195,00
421	113,40	205,00
422	148,60	215,00
423	190,00	225,00
424	224,20	235,00
425	270,00	245,00
426	309,40	250,00
427	356,00	284,00
428	404,00	323,00
429	455,00	371,00
430	508,70	422,00
431	555,00	482,00
432	610,00	568,00
433	664,70	1.030,00
434	712,50	1.874,70
435	762,50	2.968,20
436	800,00	4.264,00
437	850,00	5.733,30

Tabla No. 10
Volúmenes de Almacenamiento y Descarga por Vertedero de la Central Cerrón Grande

Elevación (m.s.n.m.)	Volúmenes MM3	Descargas por Vertedero (i [^] /seg)
228	679,20	0,00
230	799,70	410,00
232	909,09	920,00
234	1.090,91	1.550,00
236	1.260,10	2.340,00
238	1.556,82	3.150,00
240	1.662,20	4.150,00
242	1.818,18	5.380,00
243	2.026,20	6.000,00
244	2.135,42	6.700,00
245	2.250,00	7.400,00
246	2.354,17	8.120,00
247	2.479,17	8.800,00
248	2.562,50	9.500,00
249	2.645,83	10.200,00
250	2.729,00	10.900,00

Tabla No. 11
Volúmenes de Almacenamiento y Descarga por Vertedero de la Central 5 de Noviembre

Elevación (m.s.n.m)	Volumen MM3	Descargas por Vertedero (mVseg)
173	8,20	2.230,80
174	10,70	2.904,30
175	13,60	3.634,60
176	16,90	4.417,50
177	21,00	5.249,80
178	26,00	6.128,60
179	32,00	7.051,60
180	40,70	8.016,70
181	50,00	9.022,30
182	60,00	10.066,80
183	71,00	11.149,00
184	84,00	12.266,80
185	91,00	13.419,90
186	105,00	14.607,10

Tabla No. 12
Volúmenes de Almacenamiento y Descargas por Vertedero de la Central 15 de Septiembre

Elevación (m.s.n.m)	Volumen MM3	Descarga por Vertedero (m [^] seg)
41	123,08	4.100,00
42	150,00	5.000,00
43	176,92	5.900,00
44	200,00	6.800,00
45	215,80	7.900,00
46	250,00	9.100,00
47	270,50	10.400,00
48	300,00	11.900,00
49	335,50	13.100,00
50	365,38	14.500,00
51	411,54	15.900,00
52	430,77	17.500,00
53	464,79	19.000,00
54	492,31	21.000,00
55	523,08	22.800,00
56	553,85	24.500,00
57	596,15	26.200,00
58	626,92	28.000,00
59	650,00	30.000,00
60	692,31	31.800,00

El proceso seguido en el modelo operativo HEC-HMS para el cálculo de las Crecidas en cada sitio requerido, ha sido el de obtener para cada subcuenca mostrada en la Figura N° 4 los caudales máximos, basados en los parámetros del Hidrograma Unitario de Clark, la Precipitación Media del evento en cada una de las subcuencas y su distribución temporal, así como los parámetros de el tránsito de la Crecida por el embalse y el cauce del río.

Un detalle de este proceso para el cálculo del Hidrograma total de las Crecidas Máximas con el Modelo HEC-HMS hasta el sitio del puente San Marcos es el siguiente:

- Utilizando los datos de precipitación para las subcuencas 1 al 4 que corresponden a los ríos Ostúa, Angue, Cusmapa y Chimalapa respectivamente, así como los parámetros obtenidos del Hidrograma Unitario para estas subcuencas basadas en las relaciones de las figuras N° 9 y 10, se calcula el Hidrograma total de entradas al lago de Guija.

- El Hidrograma de la Crecida al lago de Guija es transitado a través del lago, considerando las estructuras de descarga de la Central Guajoyo y las curvas elevación-área-volumen y el nivel inicial del lago de 422.0 m.s.n.m.
- El Hidrograma del caudal máximo de la subcuenca 5 (Río Guajoyo) es calculado considerando las características físicas de la subcuenca y las relaciones de las Figuras N° 9 y 10 para obtener los parámetros del Hidrograma Unitario, así como los datos de la Precipitación.
- Se combinan los Hidrogramas de salida de la Central Guajoyo y de la subcuenca 5.
- Se realiza el tránsito del Hidrograma resultante por el cauce del río en el tramo designado como A-B en la Figura N° 4, que corresponde a la desembocadura del Río Desague con el Río Lempa.
- El Hidrograma de la subcuenca N° 6 que corresponde a la Cuenca del Río Lempa hasta la desembocadura del río Desague, es calculado de acuerdo a las Figuras 9 y 10 .
- Se combina el Hidrograma transitado hasta el río Desague más la subcuenca N° 6.
- El Hidrograma resultante es transitado por el cauce del río Lempa en el tramo designado como B-C, al sitio Zapotillo.
- Se calcula el Hidrograma de la subcuenca N° 7 que corresponde al área de influencia del río Desague.
- Se combinan el Hidrograma transitado al sitio Zapotillo más la subcuenca N° 7.
- El Hidrograma resultante es transitado por el cauce del río en el tramo designado como C-D según la Figura N° 4, al sitio Paso del Oso.
- Se calcula el caudal máximo de la subcuenca N° 8 y N° 9 que corresponde al río El Amatal y el río Amayito, Taxis o San Jacinto.
- Se combinan los Hidrogramas transitados a Paso del Oso, más las subcuencas N° 8 y N° 9 dando como resultado la Crecida Máxima en el sitio Paso del Oso.
- El Hidrograma resultante es transitado por el río en el tramo D-E, hasta la desembocadura del río Suquiapa.
- Se calculan los Hidrogramas del caudal máximo de las subcuencas N° 10 y N° 11 que incluyen el área de influencia del río Lempa, el río Mojaflares y el río Suquiapa.
- Se hace una combinación de Hidrogramas, transitados al punto E más el aporte de las subcuencas N° 10 y N° 11.
- El Hidrograma total es transitado por el río Lempa en el tramo E-F hacia la desembocadura del río Sucio.

- Se calcula el caudal máximo aportado por la subcuenca N° 12 que corresponde al río Sucio.
- Se combinan los Hidrogramas transitados al punto F más la subcuenca N° 12.
- El Hidrograma resultante es transitado por el río en el tramo F-G hacia la desembocadura del río Acelhuate.
- Se calculan los Hidrogramas máximos de las subcuencas N° 13, N° 14 y N° 15 que corresponden a los ríos Matizate o Salitre, Metayate y Acelhuate respectivamente.
- Una combinación de Hidrogramas es realizada con los Hidrogramas transitados al punto G más el aporte de las subcuencas N° 13, 14 y 15.
- Se calculan los caudales máximos de las subcuencas N° 16, 17, 18, 19 y 20 que corresponden a los ríos Soyate, Grande Chalatenango, Tamulasco y Azambio, Quesalapa y Agua Caliente.
- Se combinan los Hidrogramas transitados al punto G más el aporte de las subcuencas de la N° 16 a la N° 20, dando como resultado la Crecida Máxima afluente a la Central Cerrón Grande.
- El Hidrograma de Crecida en Cerrón Grande es transitado por el embalse considerando la estructura de descarga de la Central y las curvas elevación-area-volumen. El nivel del embalse considerado al inicio de una Precipitación Máxima durante un huracán es de 238 m.s.n.m. con el objeto de evitar daños a las estructuras de la presa y de las centrales agua abajo.
- Hidrogramas del caudal Máximo de las subcuencas N° 21 y N° 22 que corresponde a los ríos Sumpul y Altina son calculados.
- Se combinan los Hidrogramas resultantes de la salida de Cerrón Grande más el aporte de las subcuencas N° 21 y 22, dando como resultado la Crecida Máxima en la Central 5 de Noviembre.
- El Hidrograma de Crecida afluente a la central 5 de Noviembre es transitado por el embalse considerando la estructura del vertedero, las curvas elevación-area-volumen y una elevación inicial del embalse de 180 m.s.n.m.
- Se transita la Descarga de la Central 5 de Noviembre por el tramo M-N hacia la desembocadura del río Copinalapa.
- Se calcula el Caudal Máximo de la subcuenca N° 23 del río Copinalapa.
- Se combinan los Hidrogramas transitados al punto N más el aporte de la subcuenca N° 23.
- El Hidrograma resultante es transitado en el tramo N-O hacia la desembocadura del río Mocal.
- Los Hidrogramas Máximos de las subcuencas N° 24 y 25 que corresponden a los ríos Gualcuquin y Mocal respectivamente son calculados.

- Una combinación de Hidrogramas es realizada con los Hidrogramas transitados al punto O más el aporte de las subcuencas N° 24 y 25.
- El Hidrograma resultante es transitado en el tramo O-P hacia la desembocadura del río Guarajambala.
- Se calcula el caudal Máxima correspondiente a las subcuencas N° 26 y N° 27 de los ríos Pichigual y Guarajambala.
- Una combinación de Hidrogramas es realizada con el Hidrograma transitado al punto P más el aporte de las subcuencas N° 26 y N° 27.
- El Hidrograma resultante es transitado en el tramo P-Q, a la desembocadura del río Torola.
- Los Hidrogramas Máximos de las subcuencas N° 28 y N° 29 son calculados considerando las características físicas de las cuencas.
- Una combinación de Hidrogramas es realizada con los Hidrogramas transitados al punto Q más el aporte de las subcuencas N° 28 y N° 29 dando como resultado la Crecida Máxima en el sitio El Tigre del río Lempa.
- Se calculan los caudales Máximos de las subcuencas N° 30 al N° 33 que corresponden a los ríos Gualpuco, Jiotique, Titihuapa y Mercedes Umaña.
- Una combinación de Hidrogramas es realizada con los Hidrogramas transitado al punto Q más el aporte de las subcuencas N° 30, 31, 32 y 33, dando como resultado la Crecida Máxima afluente a la Central 15 de Septiembre.
- El Hidrograma de la Crecida en la Central 15 de Septiembre es transitado por el embalse considerando la estructura del vertedero, las curvas elevación-área-volumen y el nivel inicial del embalse al inicio de una tormenta máxima de 45 m.s.n.m.
- El tránsito de la Descarga de la Central 15 de Septiembre es realizada por el tramo T-U, a la desembocadura del río Acahuapa.
- Se calculan los Hidrogramas Máximos de las subcuencas N° 34 y 35, que corresponden a los ríos Acahuapa y San Simón.
- Se realiza una combinación de Hidrogramas transitados al punto U, más el aporte de las subcuencas N° 34 y 35.
- El Hidrograma total es transitado en el tramo U-V, que corresponde al proyecto San Marcos.

- El caudal máximo de la subcuenca N° 36 es calculado, el cual corresponde al río Roldán.
- Una combinación de Hidrogramas es realizada con el Hidrograma transitado al punto V más el aporte de la subcuenca N° 36 dando como resultado la Crecida Máxima en en el puente San Marcos.

6.0 Resultados Obtenidos

Los productos obtenidos, al final de los trabajos de Hidrología e Hidráulica que comprenden el presente informe fueron los siguientes:

- Cálculo de la Crecida Máxima durante la ocurrencia del huracán Mitch en la estación San Marcos con un valor de 12,466 m³/s y un Período de Retorno de 50 años, según Tabla No.13.
- Caudales Máximos en la estación San Marcos para diferentes Períodos de Retorno con los siguientes valores:

Tabla No. 13
Análisis Frecuencial de Crecidas Máximas en Est. San Marcos

Período de Retorno	Caudal Máximo
	(m ³ /s)
2 años	3,232
5 años	5,455
10 años	7,347
25 años	10,287
50 años	12,923
100 años	15,492

- Modelación hidráulica del bajo río Lempa con los caudales indicados en la tabla anterior mostrando las zonas donde se inicia la ruptura de las bordas existente cuando el río alcanza el caudal de 3,232 m³/s, así como también se muestran, en el Anexo 1, los mapas del río donde se prolongan las zonas de ruptura para los otros caudales. Para un caudal igual o menor a 3,232 m³/s, las bordas tienen capacidad para transportar esos caudales siempre y cuando se reparen zonas de las bordas en donde existirían problemas de desborde e indicadas en los Planos BL-7 y BL-8 del Anexo 1 para un nivel de marea alta de 3.0 mts.
- Cuadro de niveles de bordas existentes y propuesto para evitar el desborde del río Lempa de los diferentes caudales y para diferentes escenarios de marea, cuyos resultados se muestran en los Planos del BL-1 al BL-18 del Anexo 1.
- Curvas de Descarga de cada sección transversal analizada para conocer el caudal máximo que dichas bordas podrían soportar sin sobrepasar sus niveles máximos de coronamiento en las condiciones actuales. Se considera que el caudal máximo que se puede conducir entre las bordas sin producir desbordamientos en la mayor parte de ambos márgenes del bajo río Lempa, es de 4,500 m³/s. Para asegurar el transporte de este caudal en las condiciones actuales, es necesario

aumentar el nivel de la bordas en los tramos correspondientes a las secciones indicadas, tal como se muestra en el Plano BL-8 del Anexo 1 y para un nivel de marea alta de 3 metros. Aún para un caudal de 2,000 m³/s será necesario reforzar ciertas áreas y elevar el nivel de las bordas que posiblemente hayan sufrido hundimientos, tal como se muestra en el Plano BL-7 del mismo Anexo 1 y para el mismo nivel de marea alta.

- Mapas de inundaciones para Períodos de Retorno de 5, 10 y 25 años en las condiciones actuales cuando el nivel del río sobrepasa el nivel superior de las bordas existentes en las zonas de ruptura de las mismas en caso de no realizar ninguna obra de reforzamiento de las bordas.
- Planimetría del Bajo río Lempa donde se debieron haber ubicado y construido las bordas existentes para evitar desbordes y darle mayor capacidad hidráulica al río y mayor protección a las comunidades existentes en ambos márgenes del río. Este análisis se realizó para un caudal de 10,287 m³/s y utilizando una reducción del 25% del factor de sección en las diferentes secciones del bajo río Lempa (Plano BL-29).
- Perfiles hidráulicos del bajo Río Lempa mostrando los niveles del agua en comparación con los niveles de las bordas existentes.
- Cuadros de los parámetros hidráulicos de las diferentes secciones del bajo río Lempa
- Secciones transversales con la correspondiente ubicación de las bordas y los niveles del río para los diferentes escenarios de caudales considerados y niveles de marea alta.
- Calibración del Modelo Operativo HEC-HMS en la Cuenca del río Lempa con los datos existentes del huracán Fi-Fi.

La calibración del modelo HEC-HMS en las diferentes subcuencas del río Lempa consideradas para este análisis con los datos existentes del huracán Fi-Fi, se muestran en las siguientes figuras:

Figura N° 11

Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación Los Puentes (Río Angue) con el Huracán FIFI.

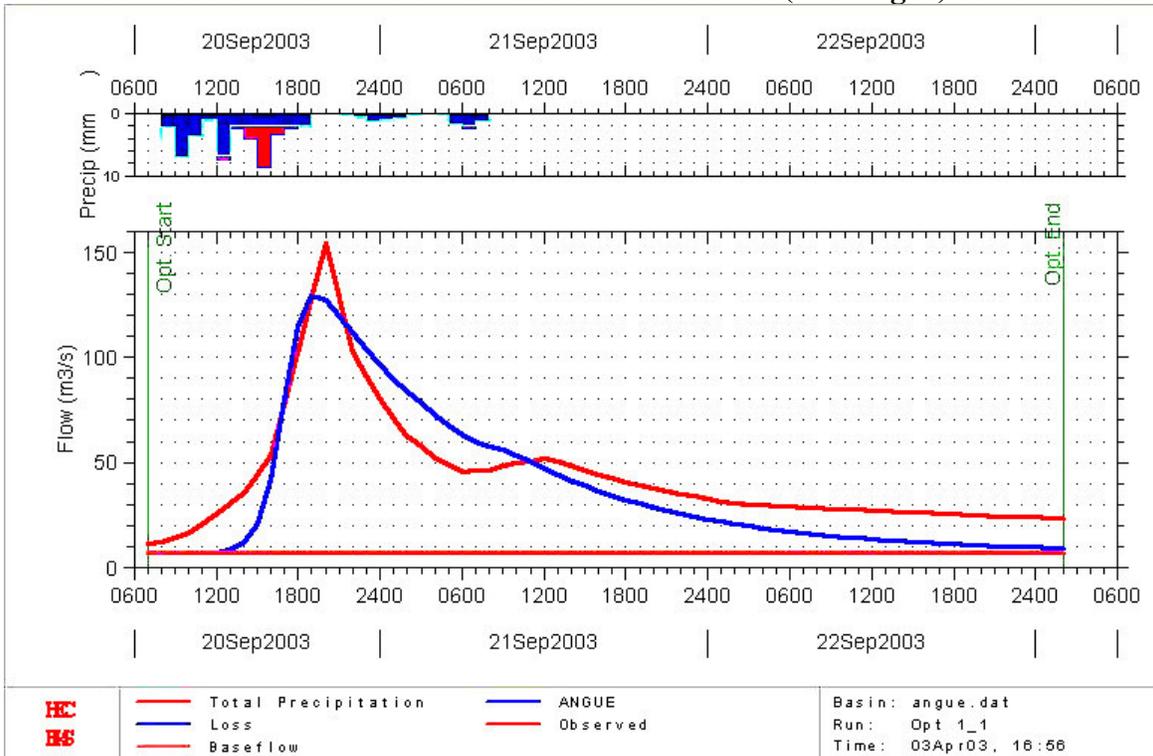


Figura N° 12

Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación San Francisco (Río Guajoyo) con el Huracán FIFI.

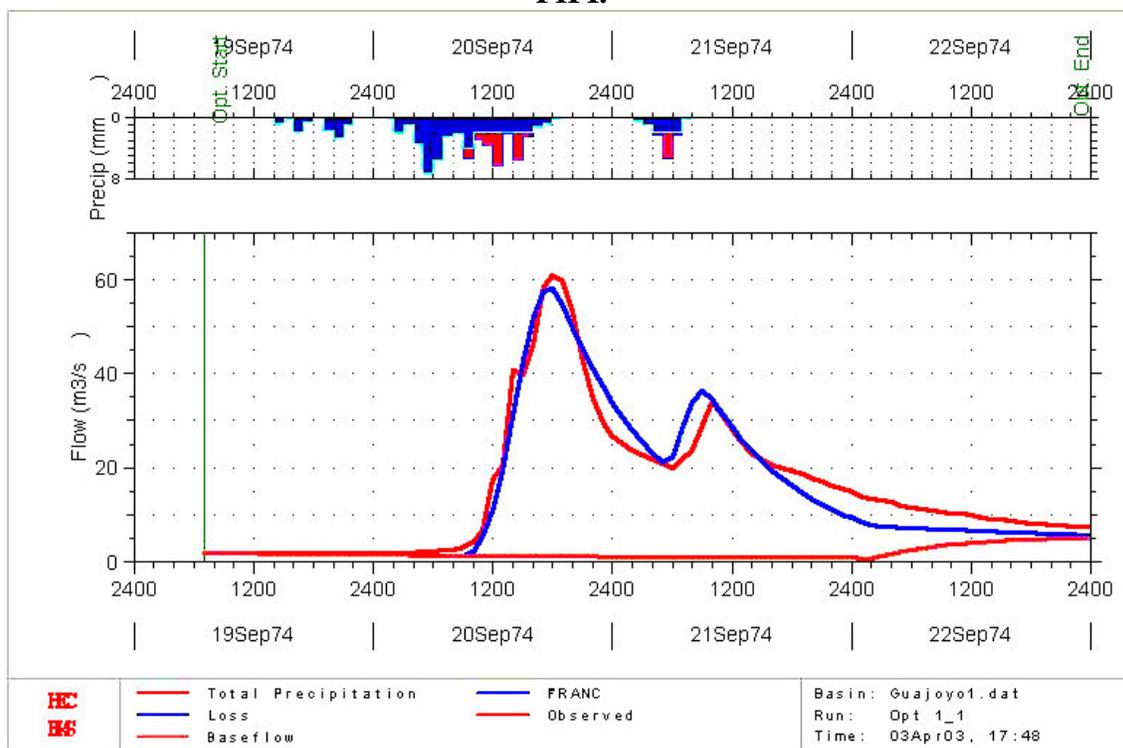


Figura N° 13

Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación Paso del Oso (Río Lempa) con el Huracán FIFI.

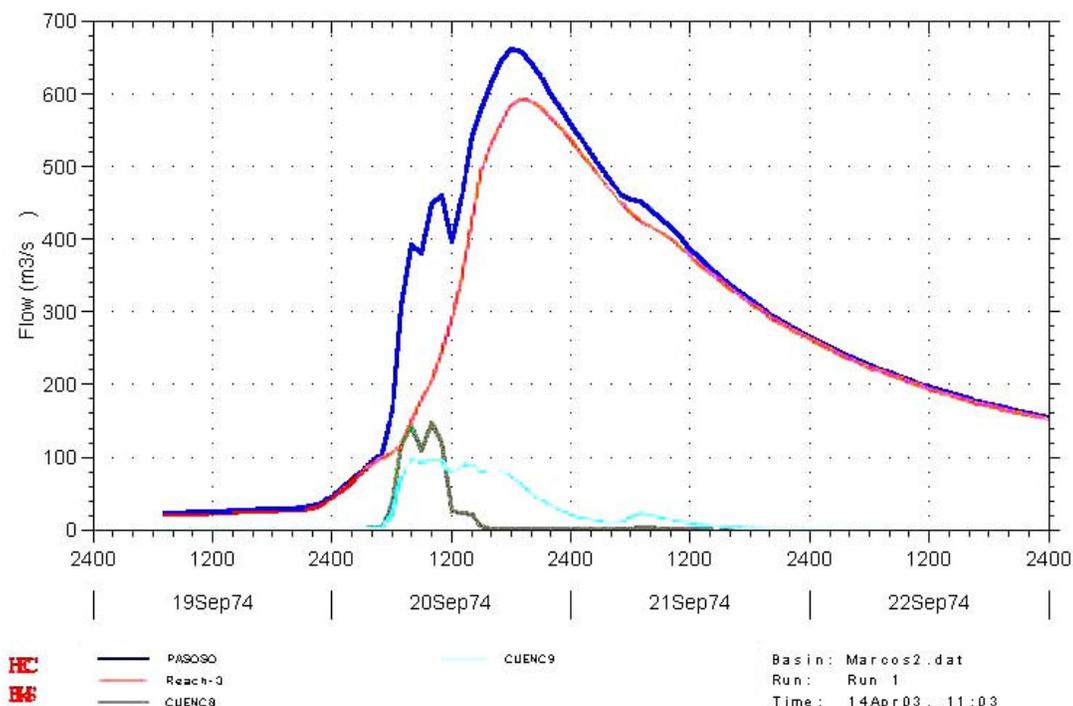


Figura N° 14

Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación Metayate (Río Metayate) con el Huracán FIFI.

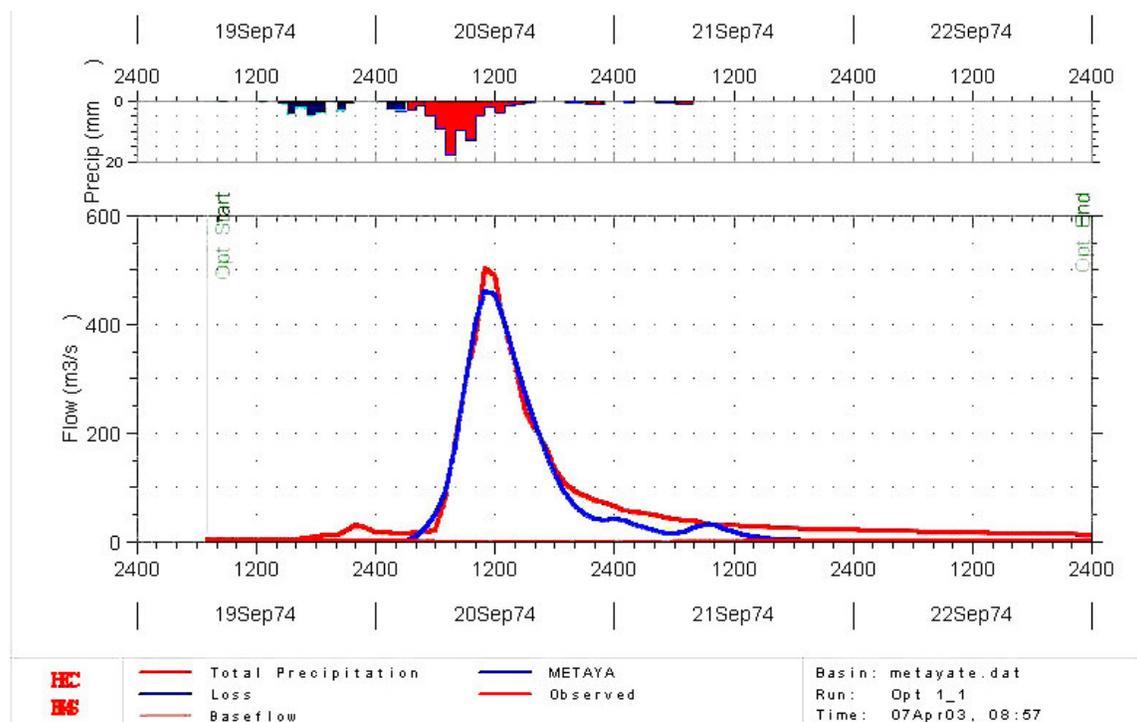


Figura N° 15
Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación Desembocadura (Río Acelhuate) con el Huracán FIFI.

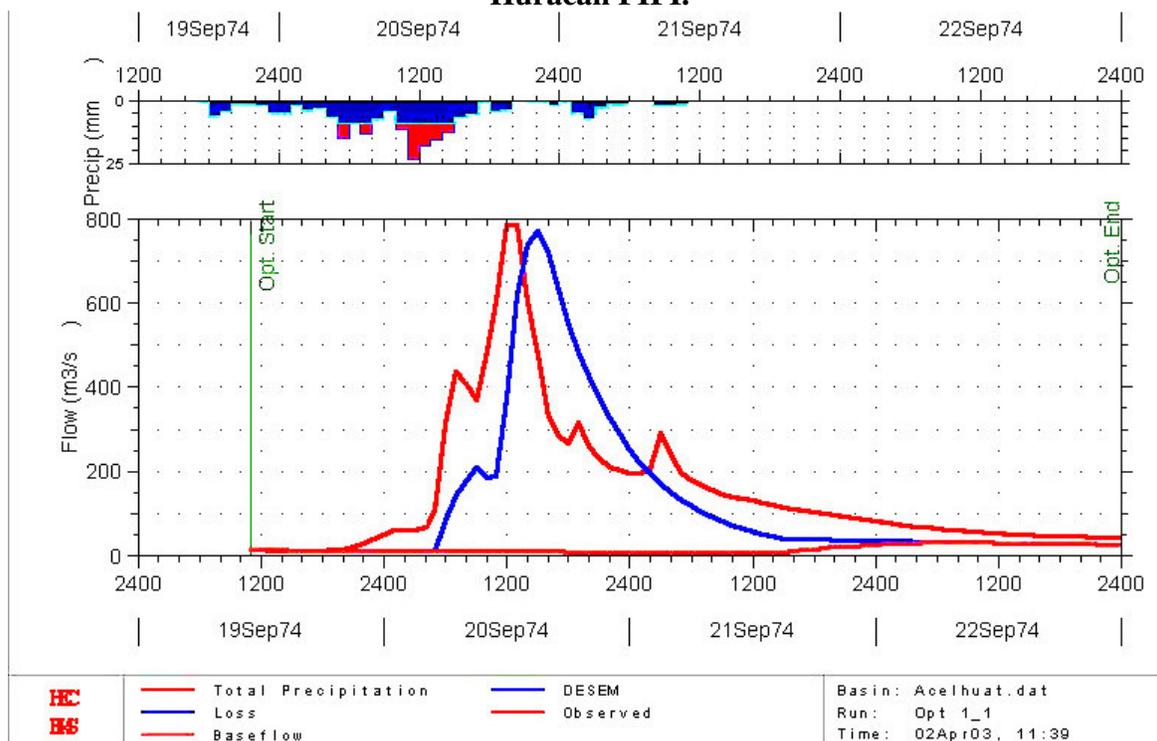


Figura N° 16
Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación Colima (Río Lempa) con el Huracán FIFI.

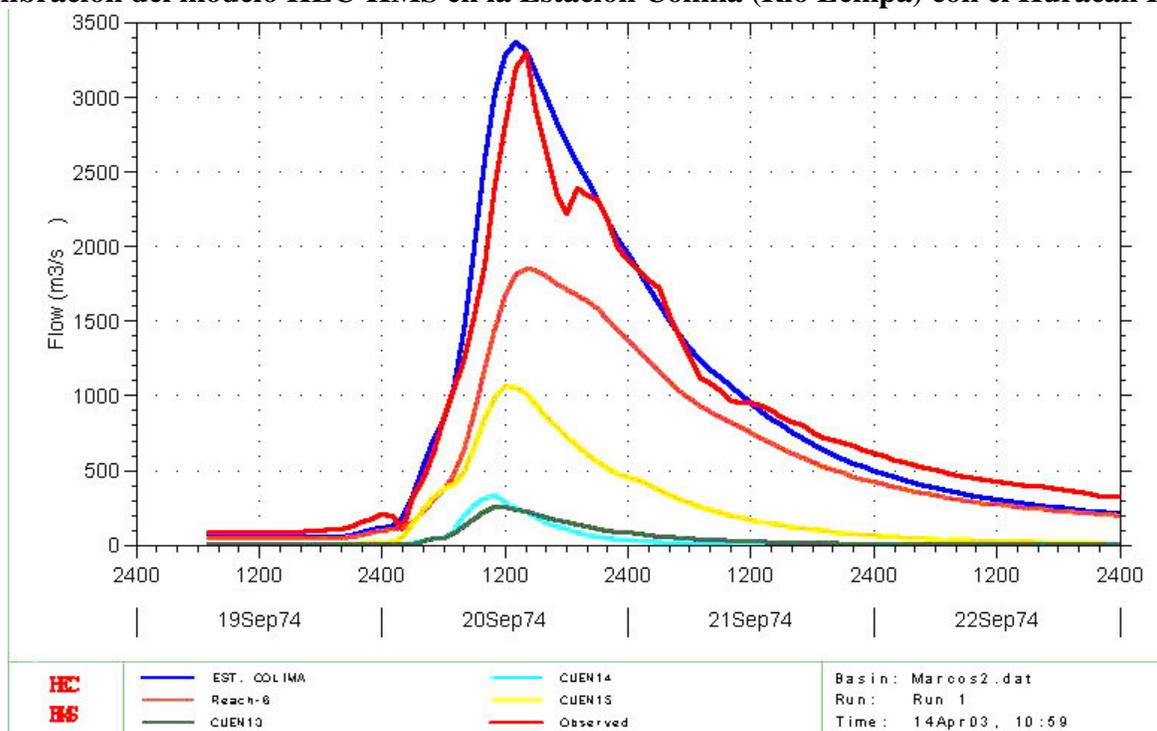


Figura N° 17

Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación El Silencio (Río Lempa) con el Huracán FIFI.

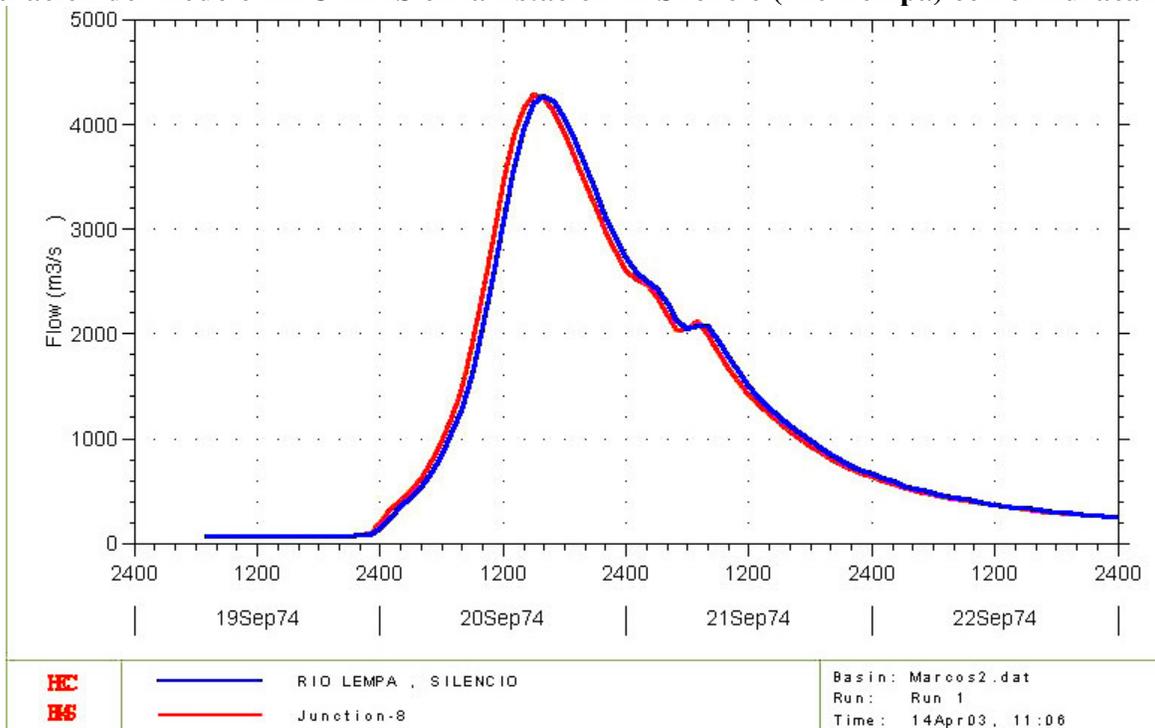


Figura N° 18

Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación Suchitoto (Río Quezalapa) con el Huracán FIFI.

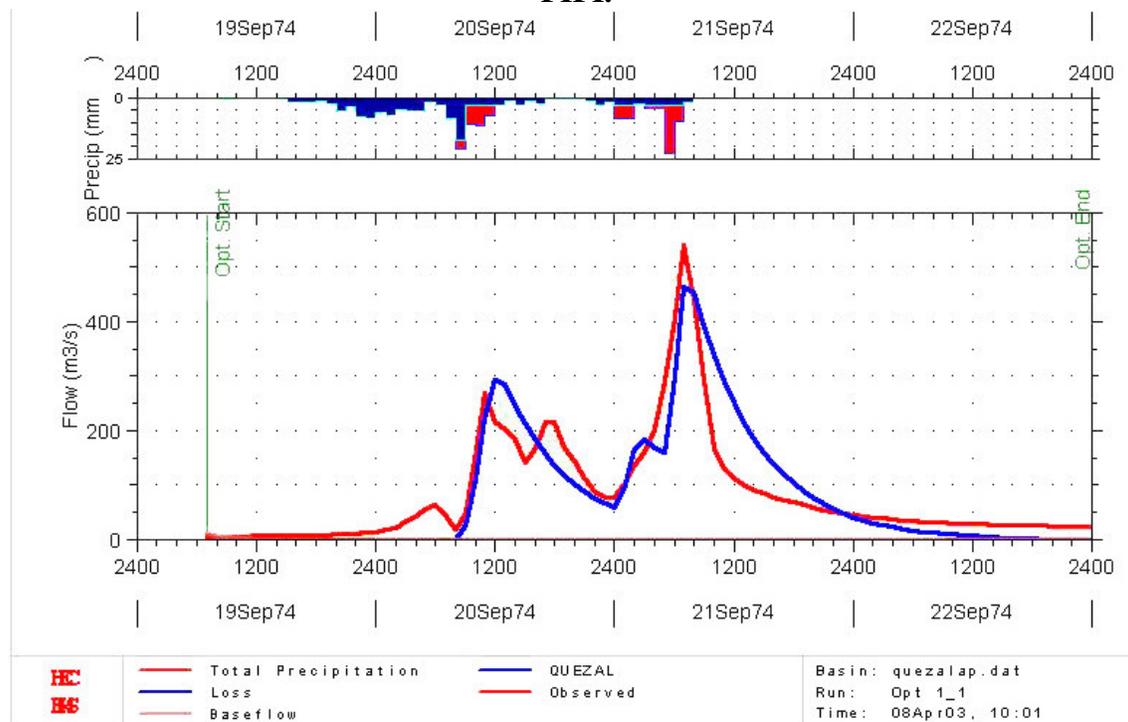


Figura N° 19

Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación La Sierpe (Río Tamulasco) con el Huracán FIFI

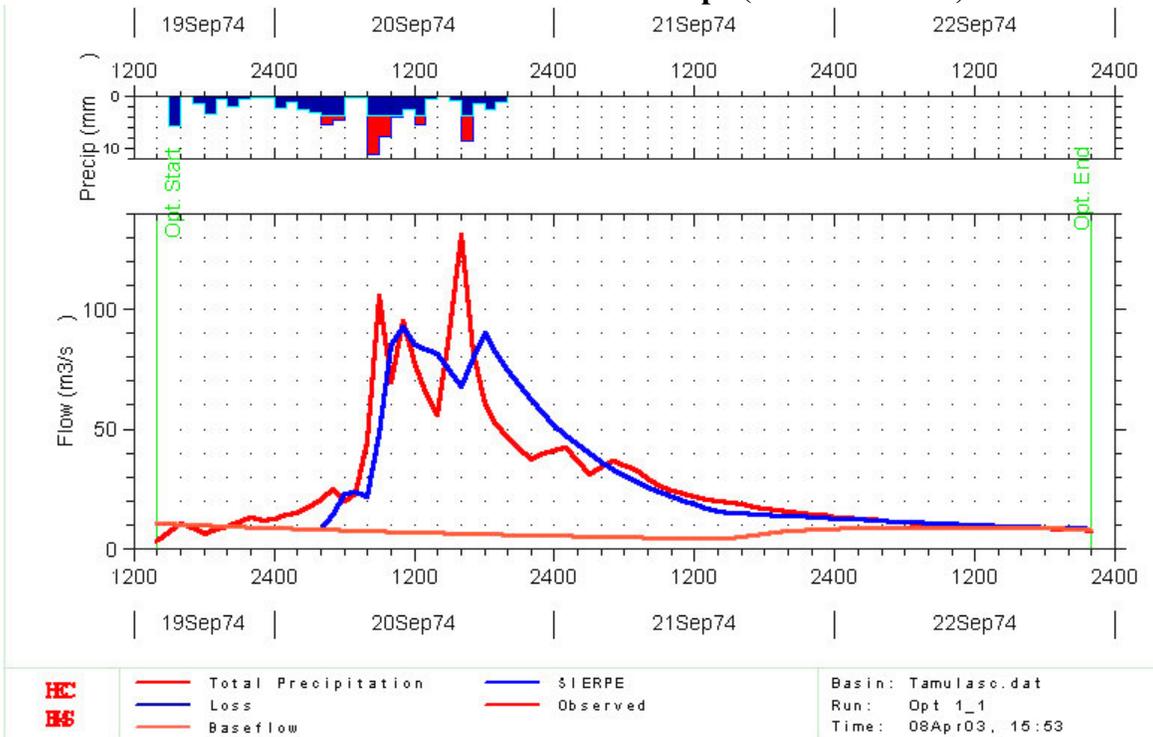


Figura N° 20

Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación Guayabo (Río Copinolapa) con el Huracán FIFI.

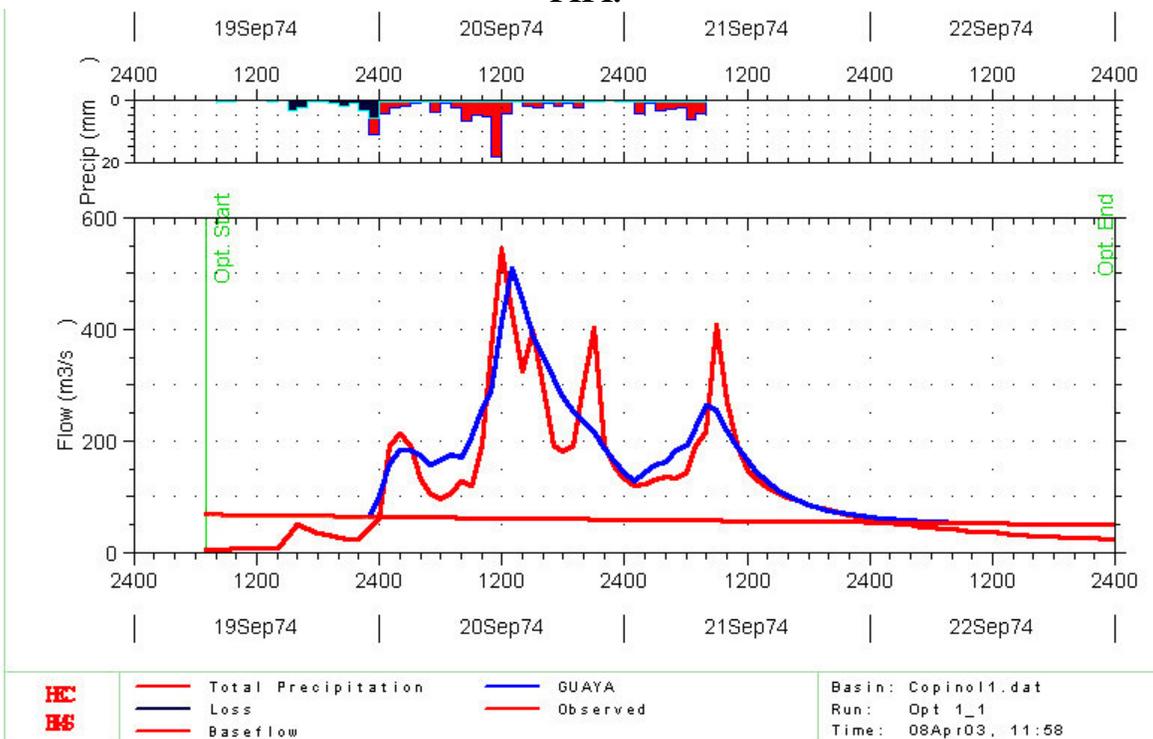


Figura N° 21
Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación Osicala (Río Torola) con el Huracán FIFI.

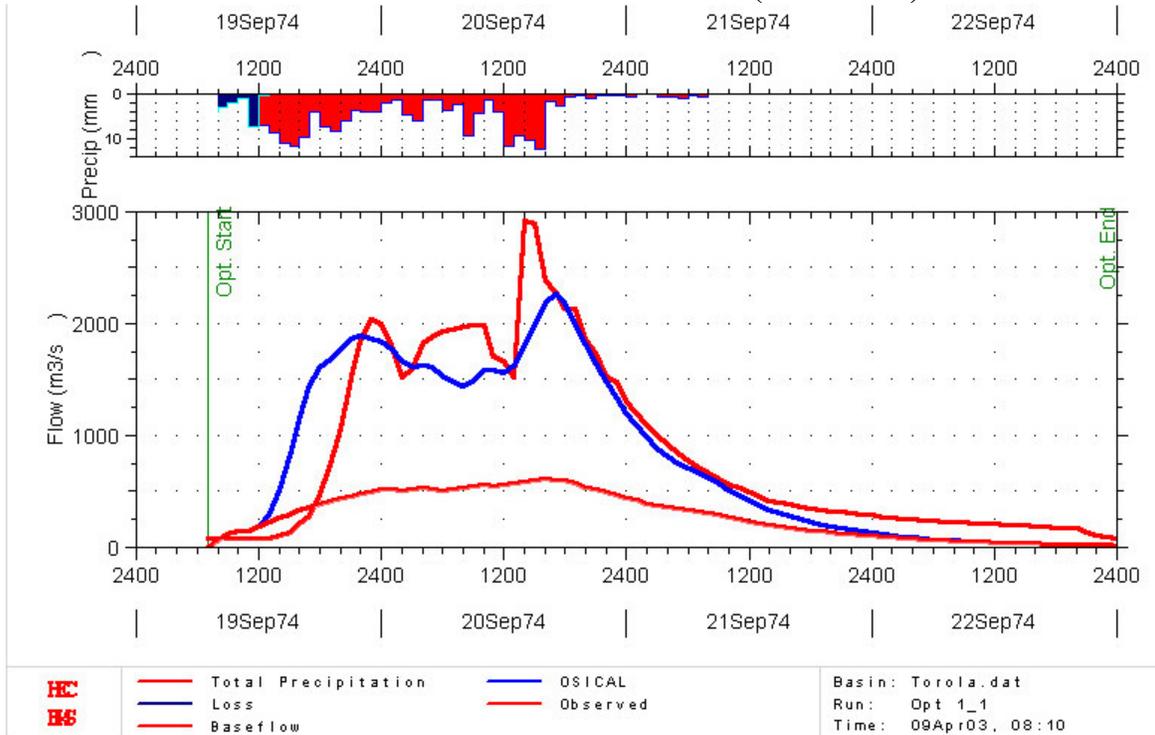


Figura N° 22
Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación Miralempa (Río Jiotique) con el Huracán FIFI.

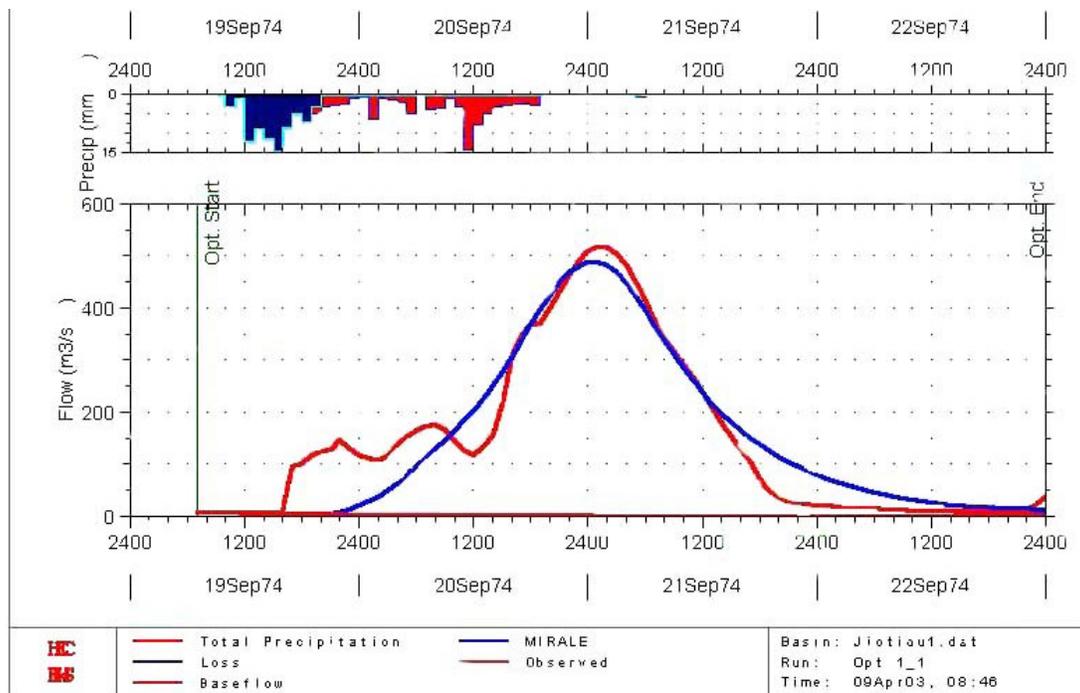
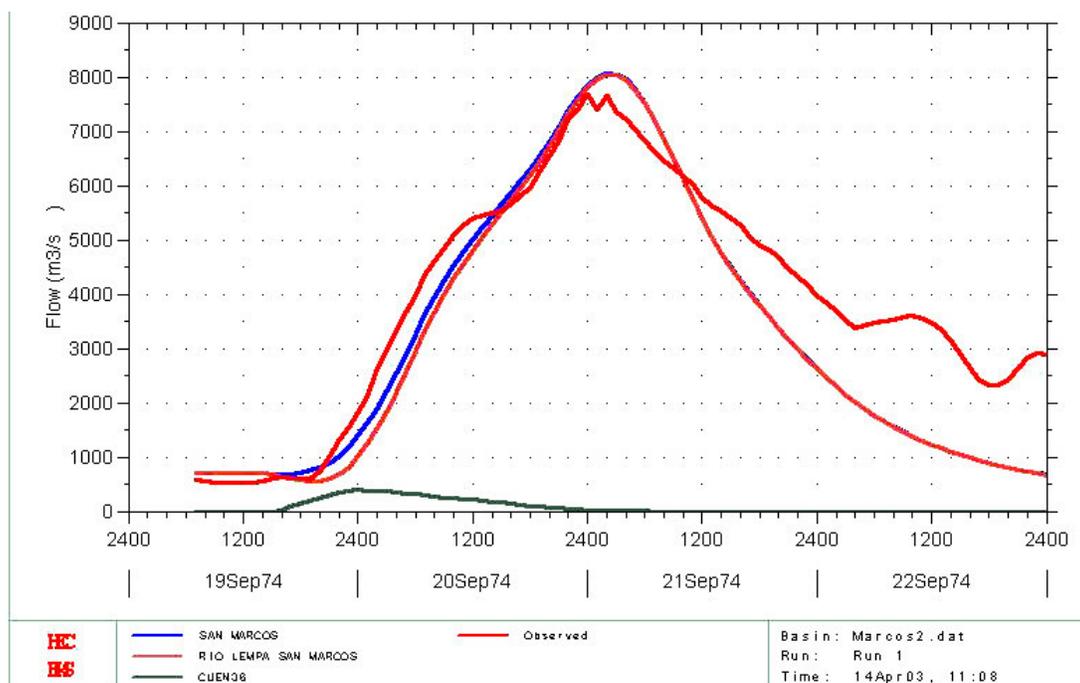


Figura N° 23

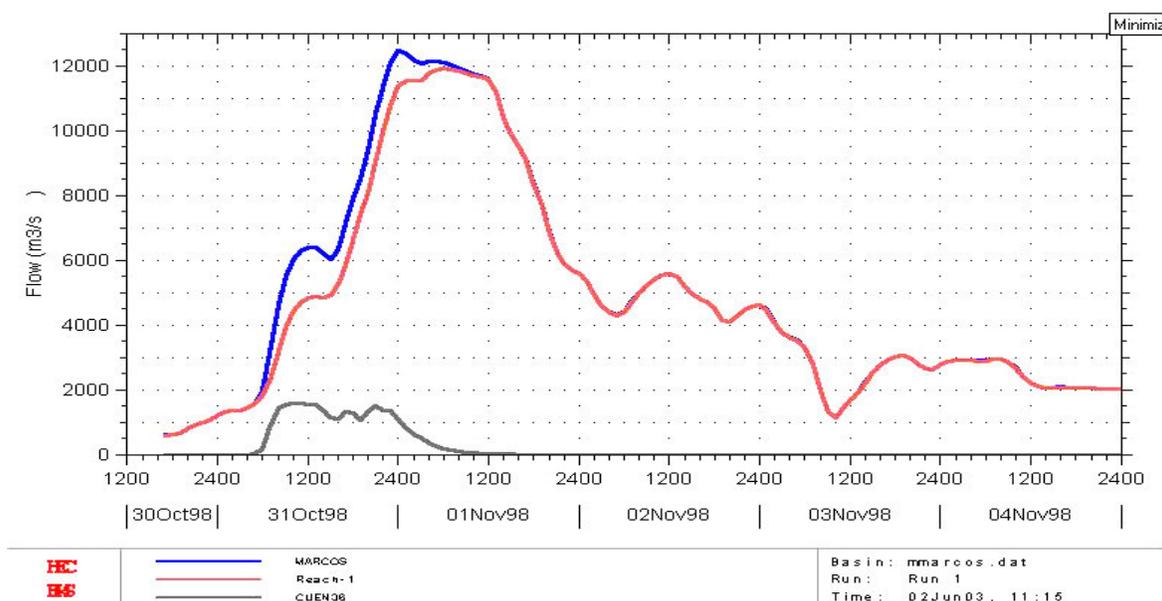
Calibración del modelo HEC-HMS en la Estación San Marcos (Río Lempa) con el Huracán FIFI.



Aplicación del Modelo Operativo HEC-HMS en la reconstrucción de la Crecida Máxima ocurrida durante el huracán Mitch.

A manera de ejemplo de la aplicación del Modelo calibrado, se presenta en la siguiente figura, el hidrograma de Crecida durante el Huracán Mitch en la estación San Marcos.

Figura No. 24
Generación de La Crecida Máxima durante el huracán Mitch en la estación San Marcos



Monitoreo de la Información Hidrometeorológica en la Cuenca del río Lempa

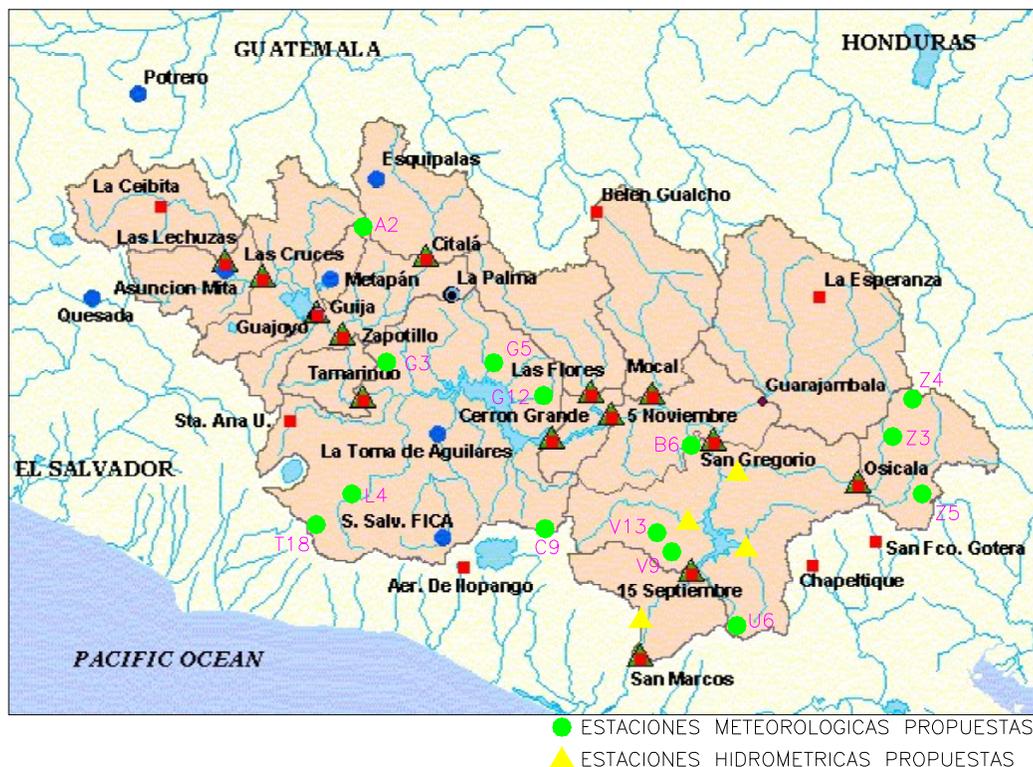
Como resultado de la Modelación Hidrológica en la Cuenca del río Lempa y con el propósito de ampliar y mejorar los pronósticos hidrológicos es conveniente que se incorporen a la red actual de estaciones telemétricas, la cual se muestra en la Figura No. 25, las siguientes estaciones hidrometeorológicas:

A-2 Montecristo	B-6 Sensuntepeque, Posta	V-13 Apastepeque
A-15 Guija	L-8 Santa Tecla	Z-3 Perquín
A-27 Candelaria de la Frontera	L-18 El Boquerón	Z-4 La Galera
C-9 Cojutepeque	M-18 Sessori	Z-5 Corinto
G-3 Nva Concepción	U-6 Santiago de María	Est. Vado García, río Titihuapa
B-1 Chorrera del Guayabo	V-9 Puente Cuscatlan	Est. Miralempa, río Jiotique
Est. Acahuapa, río Acahuapa	G-12 Concepción Quezaltepeque	T-18 Armenia

G-5 El Paraíso , 1 Estación en Esquipulas (Guatemala), 1 en Cuenca Alta río Sumpul (Honduras), 1 en Cuenca Alta río Torola y en San Jerónimo – Metapán (en El Salvador)

Transformar en estaciones telemétricas las estaciones automáticas existentes en el río Guajoyo, Suquiapa , río Sucio , Quezalapa y Tamulasco así como instalar una nueva estación en el río Grande de Chalatenango, est. El Paraíso. El costo estimado de este proyecto incluyendo obras civiles es de US\$765,000.

Figura N° 25
Red de Estaciones Telemétricas existentes y propuestas en la Cuenca del Río Lempa.



Insumos para el programa de prevención y mitigación de desastres por inundaciones

Como resultado de los trabajos hidrológicos e hidráulicos desarrollados en el bajo río Lempa, se ha podido concluir que los principales insumos al programa de prevención y mitigación de desastres, son los siguientes:

- El Diagnóstico de la situación actual de la capacidad de las bordas existentes, lo que evidencia todavía la vulnerabilidad de las poblaciones aledañas ante la llegada a la zona de caudales arriba de $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- La estimación de daños y costos directos inducidos y de las pérdidas sociales y económicas directas e indirectas asociadas a los mapas de riesgo de inundaciones cuando los caudales sean mayores a $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ y los niveles actuales de las bordas sean sobrepasados.
- La mitigación de la vulnerabilidad de la población mediante los pronósticos hidrometeorológicos con el sistema de alerta temprana que actualmente está instalado en SNET, de tal forma que la población afectada en las condiciones actuales, sea comunicada oportunamente ya que solo se dispone aproximadamente de 2 horas entre las descargas de la Central 15 de Septiembre y el puente San Marcos en condiciones de Crecida del río Lempa.

- La mitigación de la vulnerabilidad de la población mediante la ampliación y mejoramiento de las bordas existentes, elevando los niveles de la cresta para que el río Lempa tenga capacidad en ese tramo de conducir hasta 10,287 m³/s, tal como se propone en este informe, disminuyendo considerablemente los riesgos de inundaciones.
- La constante calibración y mejoramiento del sistema hidrometeorológico de pronóstico instalado en SNET, documentando las calibraciones de eventos extraordinarios actuales y pasados con una metodología similar a la descrita en este informe. Asimismo utilizar un método alternativo como el Modelo descrito en este informe para reconstruir o determinar las crecidas en el puente San Marcos.

Modelación hidráulica con las nuevas elevaciones de borda propuesta

En el Anexo 2 de este informe, se presenta el perfil hidráulico del río Lempa para un caudal de 10,287 m³/s, considerando las secciones transversales utilizadas y los niveles propuestos de borda para que el río Lempa tenga capacidad de transportar este máximo caudal y se disminuya el riesgo de inundaciones ante la eventual ocurrencia de un evento extraordinario. Se presenta además los niveles actuales de las bordas existentes para que sean comparables con los nuevos niveles de las bordas recomendados.

7.0 Conclusiones y Recomendaciones

- Se ha realizado una modelación hidrológica en el bajo río Lempa para cuantificar el caudal máximo del huracán Mitch hasta la estación San Marcos, así como también como producto de la simulación hidráulica en dicha zona, se obtuvieron los niveles máximos que alcanza el río para los diferentes Períodos de Retorno y en cada sección transversal.
- De acuerdo a las revisiones efectuadas a los estudios preliminares de hidrología realizados por el BID, en las seis zonas del bajo Lempa se concluye que los resultados obtenidos en dicho estudio son consistentes y se validan con los datos más detallados obtenidos para el presente trabajo de investigación.
- En las condiciones actuales, las bordas existentes tienen capacidad hidráulica para transportar un caudal máximo de 4,500 m³/s, siempre y cuando se realicen obras adicionales de reforzamiento de las bordas, elevando el nivel de las mismas indicadas en el plano BL-8. A partir de que el caudal se comience a incrementar como producto de una situación meteorológica atemporalada, se iniciarán problemas de desborde en determinadas zonas en la forma como se ha indicado en los Planos BL-19, BL-20 y BL-21 con el consecuente riesgo de las comunidades aledañas. En el Plano BL-22, se muestran los perfiles hidráulicos alcanzados por el río Lempa para los caudales de 5455, 7347 y 10287 m³/s donde se visualizan los niveles de agua en comparación con los niveles de las bordas en ambas márgenes del río.
- Es importante en las condiciones actuales, coordinar con CEL, sobre las descargas de la Central 15 de Septiembre para conocer con anticipación el caudal descargado por el vertedero, ya que solo se cuenta con un tiempo corto de aproximadamente 2 horas para que el caudal máximo llegue al bajo Lempa en condiciones de crecidas.
- Es necesario que SNET coordine e informe oportunamente los pronósticos hidrológicos al bajo Lempa en condiciones meteorológicas de baja presión o huracanes, de tal forma que las comunidades conozcan en tiempo y volumen la magnitud de las crecidas que estarán llegando a la zona, de tal forma que puedan ser alertadas con anticipación y si las bordas existentes estarán o no en capacidad de resistir dichos caudales máximos. Es importante señalar que actualmente se cuenta con un sistema sofisticado de alerta temprana en toda la cuenca del río Lempa y con una estación hidrométrica en San Marcos que mide los niveles del río y transmite toda la información vía satélite, la cual sería utilizada como punto de referencia para proporcionar los avisos en tiempo real de las condiciones del río Lempa como punto de entrada a la zona del Bajo Lempa.
- Se recomienda realizar obras civiles adicionales sobre las bordas existentes a fin de proporcionar mayor protección y seguridad a los pobladores del área, consistentes en elevar el nivel superior de dichas bordas ya sea con un terraplén adicional o la instalación de un tablestacado u obras de concreto, para que las obras referidas tengan capacidad hidráulica de soportar hasta un caudal máximo de 10,287 m³/s que corresponde a un Período de Retorno de 25 años, según los análisis efectuados.

- Se estima que el refuerzo a las obras existentes, durará su construcción aproximadamente 1 año, de tal forma que las obras podrían iniciarse a partir del primer trimestre del 2004, y poder tener avanzadas las obras de protección alrededor de Septiembre y Octubre que son los meses en donde frecuentemente se presentan situaciones meteorológicas desfavorables con caudales altos.
- Se ha efectuado una Modelación Hidrológica en la Cuenca del río Lempa hasta el Puente San Marcos, calibrando el modelo alternativo HEC-HMS para determinar crecidas Máximas.
- Los resultados de la calibración indican que se han estimado y se conocen ahora los parámetros para la generación de crecidas de cada una de las 36 subcuencas del río Lempa, como son:

El Tiempo de Concentración

El Almacenamiento de cada subcuenca R

Tasa de infiltración en mm/hora

Abstracción inicial de la lluvia

Parámetros del Tránsito de Crecidas en el cauce del río y embalses existentes en el río Lempa

- En base a la etapa de diagnóstico del 1er. Informe Intermedio, se realizó una nueva Modelación Hidráulica con los niveles modificados de las bordas existentes con el objeto de revisar la capacidad hidráulica del río para conducir hasta un caudal máximo de 10,287 m³/s.
- Se recomienda instalar las nuevas estaciones hidrometeorológicas propuestas en este informe a fin de incorporar sus datos al Sistema Telemétrico de SNET y obtener una mayor precisión en los pronósticos hidrológicos. El costo estimado incluyendo obras civiles sería aproximadamente de US\$765,000.
- Se recomienda siempre tener un método alternativo como el descrito en este informe, para generar Crecidas en el puente San Marcos, a fin de tener un patrón de comparación cuando sea necesario, con los resultados del modelo instalado en SNET .
- Se recomienda mantener una constante de calibración y mejoramiento del Modelo de Pronóstico instalado en SNET, documentando las calibraciones de eventos extraordinarios actuales y pasados.
- Dada los diferentes comportamientos de las subcuencas del río Lempa, se recomienda para el sistema instalado en SNET, analizar la posibilidad de aumentar las subcuencas incrementales entre dos estaciones hidrométricas y telemétricas, lo cual puede traer beneficios en los pronósticos hidrológicos. A manera de ejemplo y de acuerdo a los resultados de la Modelación Hidrológica realizada, las subcuencas del Norte del río Lempa tienen una tasa de infiltración que varía entre 1.5 a 2.0 mm/hora mientras que las subcuencas ubicadas al sur del mismo río tienen tasas de infiltración que oscilan entre 3 y 4 mm/hora considerando que son áreas volcánicas.
- Se recomienda establecer un sistema de comunicación efectiva entre SNET y las comunidades del Bajo Lempa, de tal forma que la población afectada pueda darse cuenta oportunamente de los pronósticos hidrológicos que se efectúen.

- Se considera que con la construcción de la Central Hidroeléctrica El Chaparral, próximamente, sobre el río Torola por parte de CEL, se regulará parcialmente el caudal que fluye a la Central 15 de Septiembre, disminuyendo los picos y caudal de entrada a dicha Central. Una eventual construcción del proyecto El Tigre en el futuro contribuirá a regular dichos caudales disminuyendo considerablemente los problemas del Bajo Lempa.