

PROYECTO
HON/00/H13

ANÁLISIS
HIDROLOGICO
DE LAS CUENCAS LEAN,
SAN JUAN, PERLA Y
CANGREJAL

Análisis Hidrológico de las Cuencas Lean, San Juan, Perla y Cangrejal
Proyecto: Fortalecimiento de las Capacidades Locales para la Gestión del Riesgo en Honduras
COPECO – PNUD

**FORTALECIMIENTO EN EL MONITOREO HIDROLÓGICO Y
CAPACITACION COMUNITARIA
PARA EL MANEJO DE
SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA
EN COMUNIDADES DE LOS RIOS:
LEAN, SAN JUAN, PERLA Y CANGREJAL,
DEPARTAMENTO DE ATLÁNTIDA, HONDURAS**

Villa Tek

15 Avenida "A" 20-01 Zona 13
Guatemala, Guatemala
Tel/Fax: (502) 360-3495
Correo Electrónico: villatek@hotmail.com

INDICE

Introducción	3
Análisis estadístico de Precipitaciones en la zona	6
Río Lean	12
Río San Juan	26
Río Perla	35
Río Cangrejal	41
Conclusiones	52
Referencias	54

INTRODUCCIÓN

Cuando se trabaja en el tema de sistemas de alerta temprana con respecto a inundaciones, el primer paso que se debe realizar es el análisis hidrológico de las cuencas, que permita determinar los siguientes elementos:

- *La factibilidad técnica de implementar y operar tales sistemas de alerta temprana.*
- *La infraestructura técnica para el monitoreo de las condiciones hidrometeorológicas imperantes en la cuenca.*
- *La estructura operativa para tales sistemas.*

El análisis hidrológico de la cuenca permite establecer tiempos de concentración y tiempos de arribo de crecidas a las zonas inundables, lo que permite determinar si puede ser funcional y práctico el implementar un sistema de alerta temprana. Dicho análisis, como se verá más adelante, se realiza mediante un modelaje topográfico de la cuenca, al cual se le incorpora la hidrología de los diversos afluentes, que se basa en la precipitación que se manifiesta en toda la extensión geográfica que abarca la cuenca. Como resultado de este análisis se obtienen dos productos: los hidrogramas que representan la variación temporal de los caudales para puntos específicos de la cuenca y la distribución espacial de tales caudales a lo largo de las diversas secciones transversales situadas en las planicies de inundación.

De igual manera, el análisis hidrológico permite establecer la topología para el monitoreo hidrometeorológico (equipo a implementarse + sitios donde debe implementarse). En este sentido, el análisis hidrológico permite identificar las zonas geográficas de mayor contribución en términos de escorrentía donde es necesario instalar pluviómetros, puntos de control a lo largo de las cuencas de los afluentes y del afluente principal donde es importante medir el caudal del río para los propósitos de confirmar la posibilidad de inundaciones y aquellas zonas de las planicies de inundación donde se puede esperar inundaciones para estimar la envergadura de tales inundaciones.

Como es de esperarse, con esta información es factible identificar posibles estructuras operativas que se encarguen de operar el sistema. En Honduras, como en muchos países del mundo, se implementan sistemas de alerta temprana de dos tipos: los que son de carácter automático o semiautomático, donde los sensores de precipitación y de caudal envían de manera telemétrica la información en tiempo real a un centro de análisis donde se realizan los pronósticos de posibles crecidas y desbordamientos, información que es enviada a los centros de

operaciones de emergencia para el decreto de alertas de diversos niveles en las zonas que serán afectadas.

En contraste a estos sistemas sofisticados, también se han implementado sistemas de tipo comunitario, donde la precipitación y los niveles de río son medidos por observadores voluntarios situados en diversos sitios de las cuencas, quienes reportan estos datos vía una pequeña red de radios a un centro local de pronóstico donde se utilizan protocolos simples para determinar de igual manera la posibilidad de crecidas y desbordamientos.

En la zona de ejecución de este proyecto, que contempla las cuencas Lean, San Juan, Perla y Cangrejal, se opera un sistema de alerta temprana de tipo comunitario en la cuenca Lean. Se está procediendo a implementar sistemas de alerta en las cuencas Perla y San Juan por parte de la agencia de cooperación técnica alemana, GTZ, y como resultado de este proyecto se diseñará e implementará el sistema en la cuenca Cangrejal.

En este documento se presenta el análisis hidrológico que se ha realizado en las cuatro cuencas. Se inicia con el análisis de los datos de precipitación disponibles en estas cuencas provistos por el Servicio Meteorológico Nacional con respecto a las estaciones que se operan por esta entidad en La Ceiba y en Tela. Los registros de más de tres décadas han permitido realizar un estudio estadístico de períodos de retorno de precipitaciones de diversas intensidades. Desafortunadamente, estos datos solamente reflejan la precipitación en la zona costera y no se cuenta con datos para precipitaciones en la zona montañosa de las cuencas, para realizar un modelaje más preciso del comportamiento hidrológico de los ríos y la deducción de los hidrogramas respectivos.

Utilizando los modelos tradicionales de escorrentía y de tránsitos de avenidas en canales se han elaborado hidrogramas para diversos sitios en cada una de las cuatro cuencas, en particular para las zonas de confluencia entre afluentes, así como para sitios en particular donde se manifiestan desbordamientos que inundan a poblados rurales y zonas urbanas como en el caso de La Ceiba. Los hidrogramas se ha deducido en base a precipitaciones registradas y se han calibrado utilizando eventos especiales como precipitaciones de condiciones especiales que se manifestaron en el período de mediciones.

Una vez obtenidos los hidrogramas para los sitios específicos en cada cuenca se procedió a modelar las crecidas y desbordamientos asociados a tales caudales. Esto se realizó tomando como base modelos de una dimensión de los cuales se dispone en la actualidad. Como resultado se han obtenido mapas de amenaza para eventos con períodos de retorno de 10, 20 y 40 años. Es importante mencionar que todos los cálculos se realizaron utilizando paquetes de cómputo desarrollados por el Cuerpo de Ingenieros de los EEUU. En particular se utilizó el programa HEC HMS para el modelaje de las cuencas y para la elaboración de hidrogramas. En

contraste se utilizó el programa HEC RAS para el desarrollo de mapas de desbordamiento de cuencas en las planicies de inundación.

Toda la información sobre mapas de amenaza se estará montando en un sistema de información geográfico basado en la plataforma Arcview, que lo que permitirá su visualización y presentación de varias maneras.

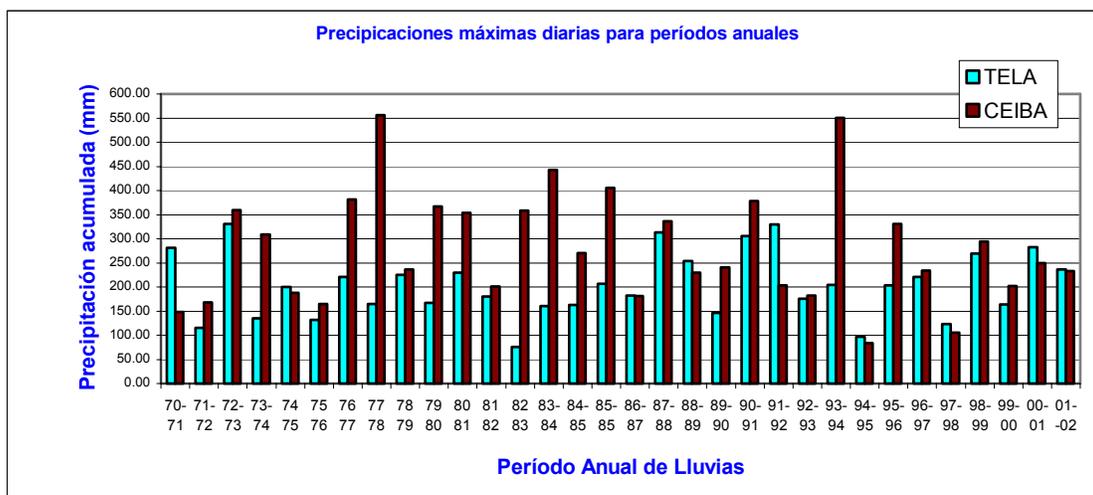
El reporte se inicia con la presentación del análisis estadístico llevado a cabo con respecto a los datos de precipitación de las estaciones de Tela y La Ceiba. Posteriormente se presentan secciones específicas para cada cuenca. En estas secciones se presentan los aspectos particulares de cada cuenca, lo que incluye la deducción de hidrogramas y zonas de desbordamiento en las planicies de inundación. La sección final contiene algunas conclusiones en torno a este estudio y un esbozo sobre las siguientes actividades a realizarse.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PRECIPITACIONES EN LA ZONA.

Cuando se realizan análisis hidrológicos, es necesario caracterizar el tipo de precipitaciones que darán como resultado crecidas de diversas magnitudes. En este caso se realizan análisis de frecuencia o de período de retorno, que comprenden el estudio de distribuciones estadísticas de valores extremos.

En este caso se han utilizado precipitaciones que se han registrado por estaciones operadas por el Servicios Meteorológico Nacional de Honduras en las ciudades de La Ceiba y Tela. Los registros de estas estaciones abarcan tres y cuatro décadas respectivamente. Un aspecto importante de reconocer es que estos registros contienen datos de los tres eventos más relevantes en el último medio siglo: el huracán Fifi en septiembre de 1994, el huracán Mitch a finales de octubre de 1998 y el huracán Michelle a finales de octubre del 2001. Tales eventos marcan la pauta en torno a los eventos extremos con períodos de retorno de dos a cuatro décadas como se verá más adelante. Sin embargo, durante el análisis de los datos también se encuentran precipitaciones diarias que sobrepasan en algunos casos a las precipitaciones asociadas a algunos de estos huracanes, pero que no corresponden a huracanes conocidos.

En la siguiente gráfica se presenta los valores extremos de precipitación anual (los valores máximos de precipitación registrados durante un día para períodos anuales) correspondiente en al período 1970 - 2002:

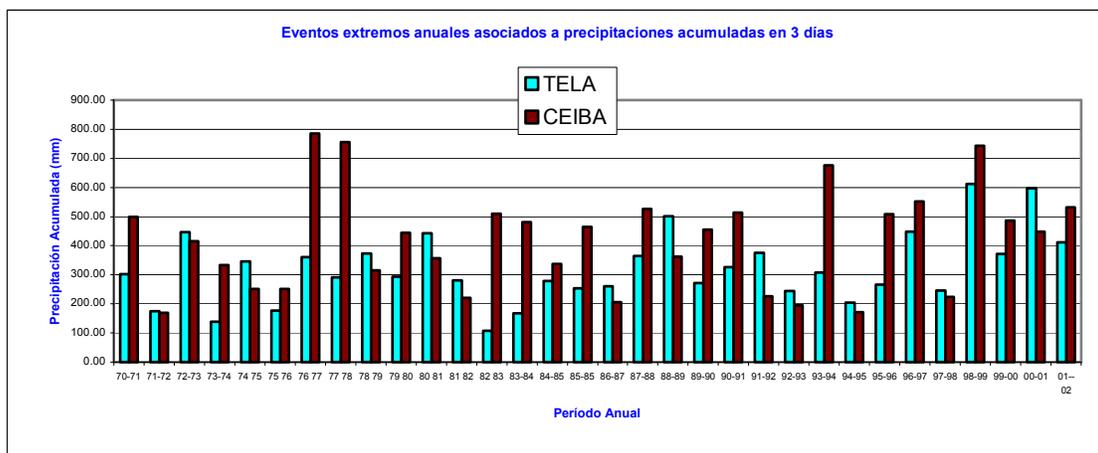


Gráfica 1: valores extremos de precipitación diaria entre 1970 y 2002.

Como se observa, en Tela el evento extremo de mayor precipitación durante un día ocurrió el día 17 de diciembre de 1972, con una precipitación acumulada durante 24 horas de 331.2 mm. El segundo evento extremo para Tela se presentó el 26 de noviembre del año 1991 con una precipitación de 330.1 mm y el tercer evento de mayor dimensión se presentó el 17 de diciembre del año 1987. Es interesante notar que las precipitaciones totales diarias asociadas a los huracanes Mitch, Fifi y Michelle no sobresalen en este registro de tres décadas. La precipitación máxima durante el huracán Mitch ocurrió el día 27 de octubre de 1998 y tuvo una magnitud de 205.1 mm. Durante el huracán Michelle, la precipitación máxima registrada se presentó el día 28 de octubre del año 2001, con una magnitud de 236 mm, ambas muy por debajo de los valores del orden de los 330 mm reportados al inicio de este párrafo.

De manera similar, la gráfica 1 muestra que en el caso de La Ceiba se registraron dos eventos de casi la misma magnitud los días 12 de noviembre del 77 y el 31 de octubre de 1993, con precipitaciones diarias acumuladas de 556.2 mm y 551 mm respectivamente. El evento siguiente en orden de magnitud se presentó el 6 de febrero de 1984 con una magnitud de 442.9 mm. En contraste, durante el huracán Mitch la precipitación máxima de 294.1 mm se presentó el 28 de octubre de 1998, mientras que durante el huracán Michelle la precipitación máxima diaria se registró el 28 de octubre del 2001.

Es interesante notar que las precipitaciones máximas diarias asociadas a estos eventos extremos se presentan fuera de la época de los huracanes y las intensidades registradas son mucho mayores que aquellas asociadas a los huracanes. Sin embargo, debe reconocerse que el impacto de los huracanes radica en las precipitaciones acumuladas durante varios días y no solamente las acumuladas durante un día. De manera similar, las grandes inundaciones que se manifiestan en estas zonas se asocian a las precipitaciones acumuladas en varios días y no solamente a la precipitación de un día en particular.

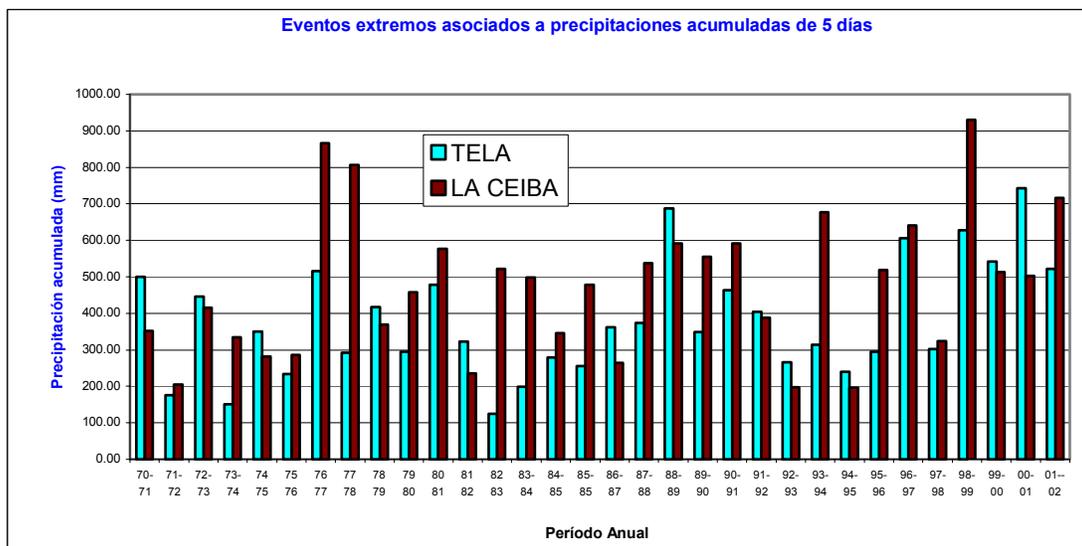


Gráfica 2: valores extremos de precipitación acumulada en 3 días entre 1970 y 2002.

La gráfica 2 muestra los valores extremos anuales de precipitación acumulada durante tres días para el período comprendido entre 1970 y 2002. En el caso de Tela ya sobresale el Mitch como el evento de mayor precipitación acumulada con 612.6 mm, siguiéndole eventos asociados a las lluvias de finales de noviembre del año 2000 (597 mm) y lluvias que ocurrieron a mediados de octubre del año 1988 (501.8 mm).

En contraste, en el caso de La Ceiba la precipitación acumulada durante 3 días tiene su máximo del 6 al 10 de octubre de 1976 (785.2 mm), siguiéndole el evento de mediados de noviembre de 1978 (756.9 mm) y la precipitación asociada al huracán Mitch (743.8 mm).

Como se observa, cuando se analizan los episodios asociados a varios días de precipitación, entonces empiezan a sobresalir eventos asociados a huracanes y eventos que se manifiestan en meses pico como octubre, noviembre y diciembre. Se puede extender el análisis para casos en los cuales se trabaja con la precipitación acumulada de 5 días. La siguiente gráfica muestra los eventos extremos anuales asociados a este caso.



Gráfica 2: valores extremos de precipitación acumulada en 5 días entre 1970 y 2002.

En el caso de Tela sobresalen eventos que se manifestaron en los períodos 2000/01, 1988/89 y los eventos provocados por Mitch. En contraste, en La Ceiba sobresalen el huracán Mitch en el período 1998/99 y los eventos de los períodos 19976/77 y 1977/78.

ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS, DISTRIBUCIONES DE VALORES EXTREMOS

Como parte de los análisis de datos se han estimado precipitaciones acumuladas para eventos con diversos períodos de retorno. En este caso el período de retorno T_E de un evento deducido en base a una serie de excedencia anual se relaciona con el período de retorno T para magnitudes deducidas de una serie máxima anual mediante la ecuación (Chow, Maidment y Mays 1994):

$$T_E = \left\{ \ln \left[\frac{T}{T-1} \right] \right\}^{-1} \quad [1]$$

Para este caso se analizaron los datos de precipitación de La Ceiba y Tela, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

La primera columna presenta el período anual, que se estableció del 1° de abril de un año al 31 de marzo del año siguiente. Las columnas tituladas 1 DIA representan los eventos extremos de precipitación máxima acumulada durante un período de 24 horas (de las 00 horas de un día hasta las 24 horas de ese día) para el período anual respectivo. Las columnas tituladas 3 DIAS representa los eventos extremos asociados a las precipitaciones acumuladas de 3 días (72 horas) para Tela y La Ceiba y las columnas tituladas 5 DIAS representa los eventos extremos para las precipitaciones acumuladas de 5 días en ambas estaciones.

Tabla I: Eventos Extremos entre 1970 y 2002.

ANO	TELA			CEIBA		
	1 DIA	3 DIAS	5 DIAS	1 DIA	3 DIAS	5 DIAS
70-71	281.69	302.01	499.62	148.08	499.62	352.30
71-72	115.06	175.26	175.26	168.66	168.91	204.98
72-73	331.22	445.52	445.52	359.41	415.04	415.04
73-74	134.80	138.40	151.80	308.61	333.25	334.70
74 75	199.70	345.60	350.80	187.96	250.95	282.19
75 76	131.40	175.90	233.30	164.59	251.71	286.77
76 77	221.10	360.50	515.80	381.25	785.62	866.39
77 78	164.40	290.90	292.40	556.20	756.90	807.40
78 79	225.50	372.90	417.30	235.90	314.90	369.90
79 80	167.50	293.90	294.60	366.90	445.10	458.30
80 81	230.10	442.30	477.60	353.80	357.00	576.70
81 82	180.70	280.00	322.90	200.70	221.30	235.00
82 83	75.60	106.80	125.60	357.90	510.30	522.20
83-84	160.00	167.40	199.00	442.90	480.40	498.00
84-85	162.50	279.00	279.00	270.80	337.40	345.80
85-85	207.00	253.20	255.60	405.60	464.80	477.50
86-87	182.30	261.40	361.50	181.10	206.40	264.00
87-88	312.70	363.60	373.80	336.30	526.70	538.20
88-89	253.30	501.80	687.30	230.00	362.00	590.90
89-90	146.70	272.00	348.60	240.60	456.30	555.10
90-91	305.70	326.40	463.20	378.10	514.30	591.20
91-92	330.10	375.00	403.70	203.60	226.60	388.70
92-93	175.50	244.20	265.90	182.90	195.80	198.20
93-94	203.90	308.10	313.60	551.00	676.80	677.30
94-95	96.50	204.20	239.90	83.00	171.00	196.20
95-96	203.00	266.60	295.60	330.30	507.90	518.60
96-97	221.30	448.30	605.90	234.30	552.40	641.20
97-98	123.00	245.70	301.70	105.70	223.50	323.90
98-99	269.10	612.60	328.60	294.10	743.70	930.10
99-00	163.30	372.40	541.50	202.10	486.70	513.50
00-01	282.00	597.50	742.10	249.80	447.90	503.20
01--02	236.20	411.80	521.70	233.00	532.50	716.50

En este análisis se ha usado la función de distribución de probabilidad de Valor Extremo de Tipo I, como lo han sugerido Chow en 1953 y Tomlinson en 1980 para precipitaciones extremas (Chow, Maidment y Mays 1994). Esta función de distribución se representa de la siguiente manera:



$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right] \quad [2]$$

donde :

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S \quad [3]$$

en este caso S representa la desviación estándar de la serie de datos extremos y la variable u se define como:

$$u = \langle x \rangle - 0.577\alpha \quad [4]$$

donde $\langle x \rangle$ representa la media de todos los datos de la serie. Utilizando la variable reducida:

$$y_T = -\ln\left\{\ln\left[\frac{T}{T-1}\right]\right\} \quad [5]$$

es posible encontrar los valores extremos teóricos para eventos con períodos de retorno de magnitud T , para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$x_T = u + \alpha y_T \quad [6]$$

Utilizando una hoja electrónica de excel se procedió a realizar los cálculos respectivos para las 3 series de precipitación (1 día, 3 días y 5 días). La Tabla II muestra los cálculos obtenidos.

Tabla II: Parámetros de las Distribuciones de Valor Extremo para Tela y La Ceiba

	TELA			LA CEIBA			PR	yt
	1 d	3 d	5 d	1 d	3 d	5 d		
PROMEDIO	203	320	379	280	419	474		
DESV EST	68	121	155	115	173	193	1	
							2	0.4
alfa =	54	96	124	92	138	153	5	1.5
u =	172	265	308	226	340	386	10	2.3
							20	3
xt(2a) =	192	300	353	260	390	442	25	3.2
xt(5a) =	253	409	493	364	547	616	40	3.7
xt(10a) =	293	481	586	433	650	731	50	3.9
xt(20a) =	332	550	675	500	749	841		
xt(25a) =	344	572	704	521	781	877		
xt(40a) =	370	618	763	565	847	950		
xt(50a) =	382	639	790	585	878	984		
Max serie	331	613	742	556	786	930		
	313	598	687	551	757	866		
	306	502	629	443	744	807		

Las dos columnas a la derecha muestran los valores de Y_T para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 40 y 50 años respectivamente. Las filas horizontales superiores muestran los parámetros estadísticos (media y distribución estándar) mientras que las filas de en medio muestran los valores calculados para las precipitaciones asociadas a estos períodos de retorno.

Finalmente, las filas inferiores muestran los 3 valores máximos de las series temporales de la tabla I. En color azul se han identificado los eventos de mayor magnitud, así como los períodos de retorno que más se acercan a dichos eventos. Por ejemplo, para el caso de Tela, la precipitación máxima registrada durante 1 día en todo el registro (1970-2002) es de 331 mm. Un evento con período de retorno de 20 años tiene una magnitud estimada de 332 mm, que se apega mucho a los 331 mm. De manera similar, en el caso de La Ceiba para el caso de precipitaciones acumuladas de 3 días se tiene un evento máximo de todo el registro de 786 mm, que casi coincide con eventos de período de retorno de 25 años.

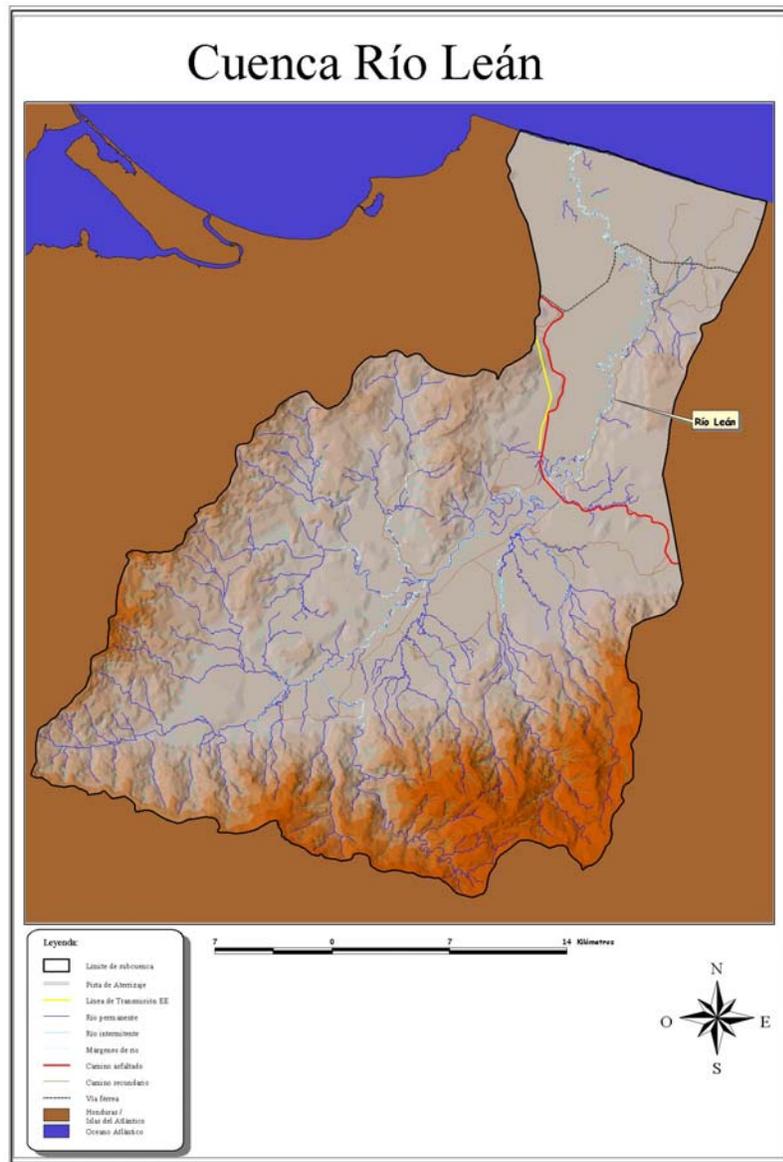
Como se ha mencionado con anterioridad, en el caso de inundaciones es importante reconocer que no se deben analizar solamente las precipitaciones acumuladas de 1 día, sino las de 3 o 5 días, que son las de mayor envergadura. Como una referencia interesante a este respecto, en las visitas a las cuencas bajas de los ríos Lean y San Juan, los pobladores coincidieron al comentar que las “llenas” como ellos les llaman a las inundaciones, se manifiestan cuando ya en la zona montañosa ha llovido al menos dos días.

Con esta información se procede ahora a presentar el análisis hidrológico que se ha elaborado para cada cuenca.

RIO LEAN

El río Lean nace en las montañas de la cordillera Nombre de Dios y tiene un caudal que fluye mayormente en la dirección Nor Este. En el segmento sur los afluentes Lean y Texiguat sirven de línea divisoria entre los departamentos de Atlántida y Yoro y el río abarca todo el municipio de Arizona, así como secciones de los municipios de Tela y Esparta. Además, en la región norte del cauce el río sirve de límite territorial entre los municipios de Arizona y Esparta. El mapa 1 muestra la cuenca del río.

Mapa 1: Cuenca del río Lean. La línea roja sólida muestra la carretera asfaltada que une todos los municipios del departamento. La línea amarilla muestra el tendido eléctrico de alta tensión y la línea negra la antigua línea del ferrocarril.



Geográficamente el río está comprendido entre las longitudes 87 grados 12 minutos Oeste y 87 grados 37 minutos Oeste y las latitudes 15 grados 26 minutos Norte y 15 grados 51 minutos Norte. En la actualidad el río desemboca en el mar Caribe o de las Antillas al norte de la comunidad Ceibita Way, pero históricamente su desembocadura ha variado a lo largo de varios kilómetros.

El río Lean es el más extenso de los 4 ríos bajo análisis, abarcando un área de 1001 kilómetros cuadrados. El río se nutre de las lluvias que nacen en la cordillera Nombre de Dios y está compuesto de más de 600 kilómetros de afluentes de diversos órdenes, desembocando en el mar caribe.



Foto 1: río Lean a la altura de El Retiro. Al fondo las bases del antiguo puente de tren.

La cuenca se nutre de precipitaciones en la cordillera Nombre de Dios, situada en el extremo sur de la cuenca, así como precipitaciones en zonas montañosas al este y al oeste del valle del Lean, una extensión territorial de más de 40 kilómetros de longitud y más de 3 kilómetros de ancho, que se inicia en la zona de Texiguat, a una altura del orden de 60 metros sobre el nivel de mar y que se dispersa en un abanico asimétrico en la desembocadura en el mar Caribe. Las siguientes fotografías muestran una sección de la cuenca alta.



Fotos 2,3 y 4: Vista a la cuenca alta desde el río Lean cerca de la confluencia con el río Mezapa

Las zonas de inundación yacen en la sección norte del valle de Lean, desde Arizona hasta las poblaciones como Nueva Go, que yacen prácticamente a orillas del mar.

Tomando como base la morfología de la cuenca, se ha desarrollado un modelo de escorrentía, el cual se presenta en la siguiente figura:

Villa Tek

15 Avenida "A" 20-01 Zona 13
Guatemala, Guatemala
Tel/Fax: (502) 360-3495
Correo Electrónico: villatek@hotmail.com

Análisis Hidrológico de las Cuencas Lean, San Juan, Perla y Cangrejal
Proyecto: Fortalecimiento de las Capacidades Locales para la Gestión del Riesgo en Honduras
COPECO – PNUD

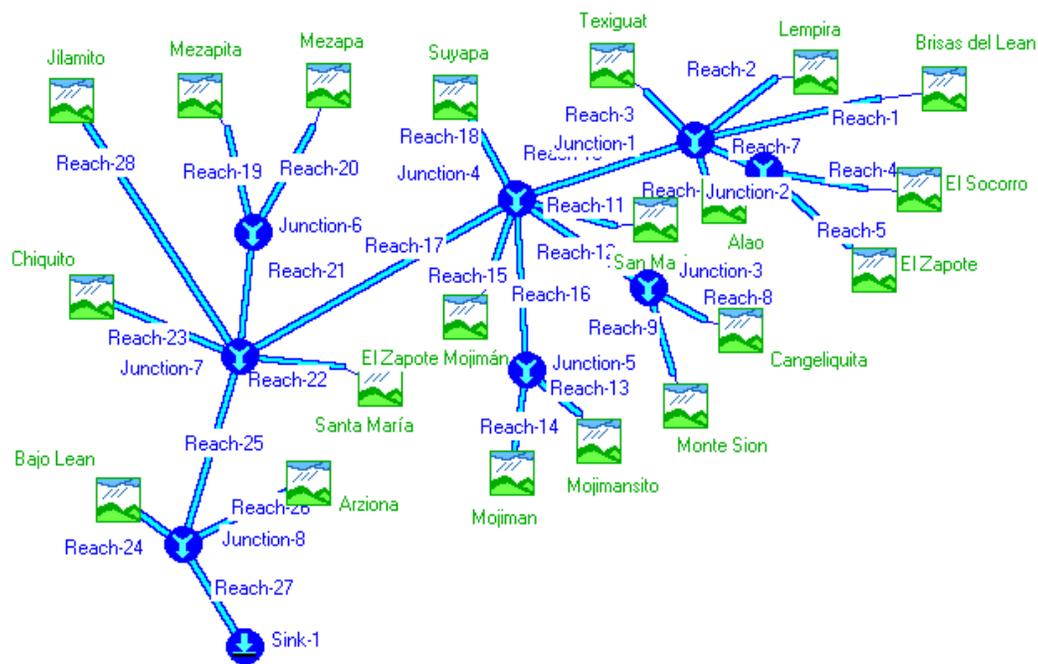


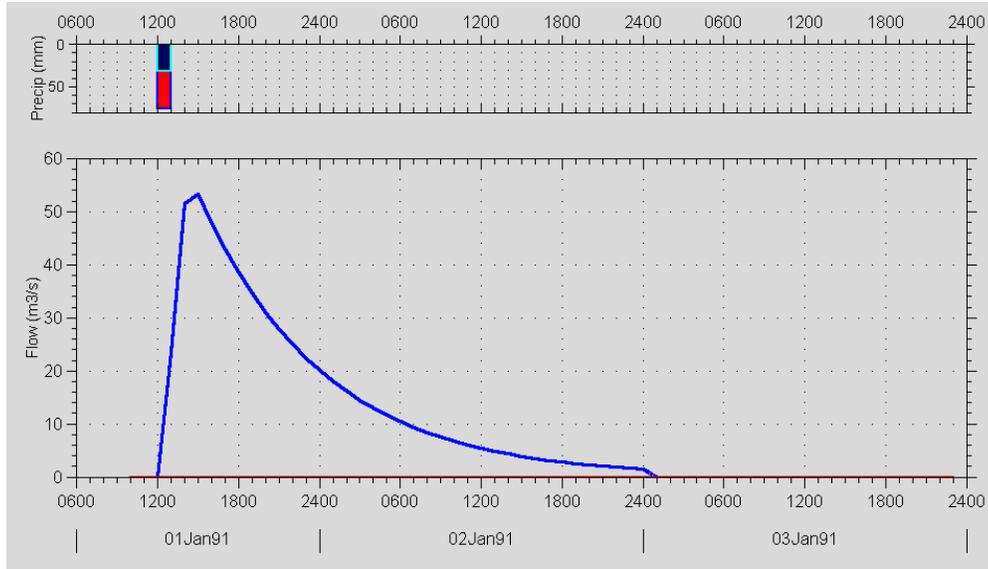
Figura 1: esquema de la cuenca, mostrando los distintos afluentes y canales tomados en consideración para el análisis hidrológico.

El afluente más lejano se origina en Brisas del Lean y el cauce fluye hasta el mar en la parte baja de la figura, de tal manera que el mar se ha simulado mediante un sumidero (sink 1). En total se modelaron 20 áreas asociadas a los afluentes de órdenes 3 y 4, áreas de escorrentía directa y se han incluido los canales de esos órdenes, así como de órdenes 5 y 6.

Dado que no se cuenta con estaciones de aforo de caudal en ningún sitio de la cuenca, se ha tenido que recurrir a modelos empíricos para la escorrentía y para el tránsito de avenidas con la meta de obtener los hidrogramas para los diversos sitios de la cuenca. En el caso de la escorrentía se usó un modelo simple de infiltración inicial del orden de 25 mm e infiltración constante posterior del orden de 10 mm por hora. Para la deducción de los hidrogramas unitarios en las diversas zonas de la cuenca se ha utilizado el modelo empírico de Snyder dado que no se cuenta con parámetros característicos para utilizar el modelo tradicional de Clark.

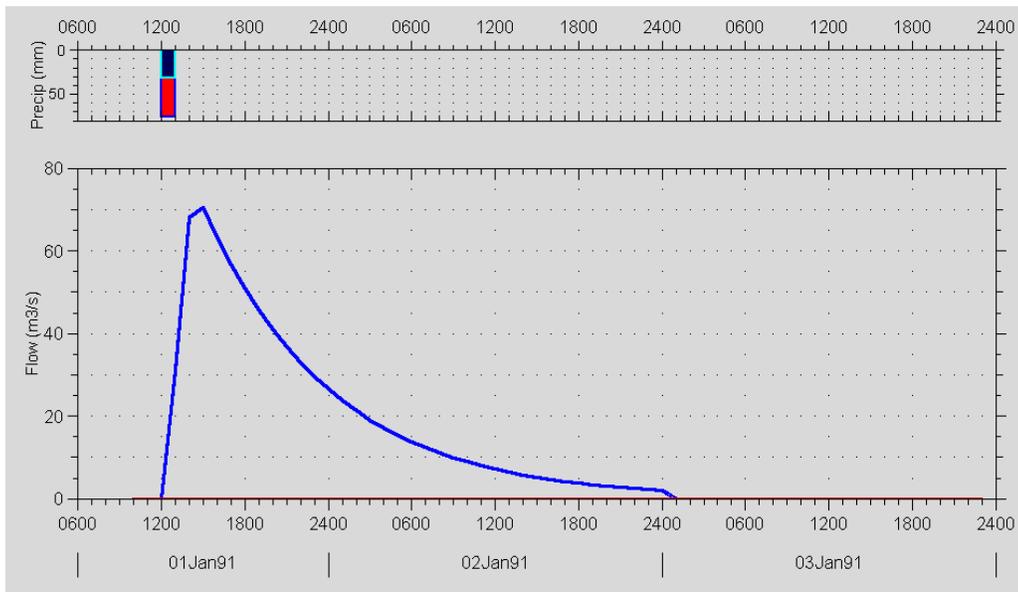
Para el tránsito de avenidas en los canales se ha utilizado el modelo de Muskingum que los procesos de almacenamiento de caudal en el canal. Dicho modelo hace uso de dos parámetros: el tiempo de tránsito de una onda a través del canal, K , y un factor de peso X que varía entre 0 y 0.5. Ambos parámetros se ajustan mediante procesos de calibración a lo largo de varios puntos de la cuenca.

Aplicando una lluvia hipotética de 75 mm sobre toda la cuenca en un período de una hora se obtienen los siguientes hidrogramas:



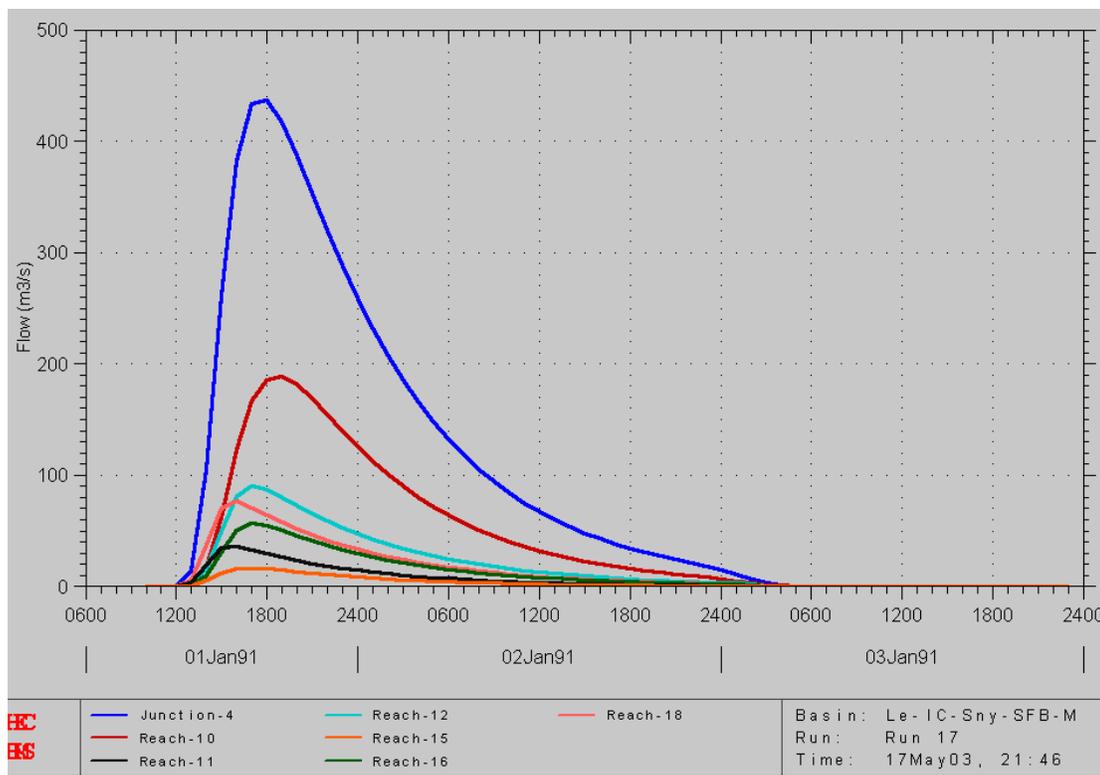
Gráfica 3: hidrograma unitario asociado a la escorrentía en el afluente Alto Lean en la zona de las Brisas del Lean, donde nace el río.

Este hidrograma representa el caudal que fluye como escorrentía hacia el canal del alto Lean a la altura de Brisas del Lean. A continuación se presenta un hidrograma equivalente para otra zona de la cuenca conocida como Jilamito, en el extremo este de la cordillera Nombre de Dios.



Gráfica 4: hidrograma unitario asociado a la escorrentía en el afluente Jilamito.

Con relación a los hidrogramas asociados a los tránsitos en canales de mayor orden, se presenta a continuación el hidrograma asociado a la confluencia de los afluentes Mojimán y Mojimancito con el río Lean cerca de las comunidades Santa Lucía y El Coco:

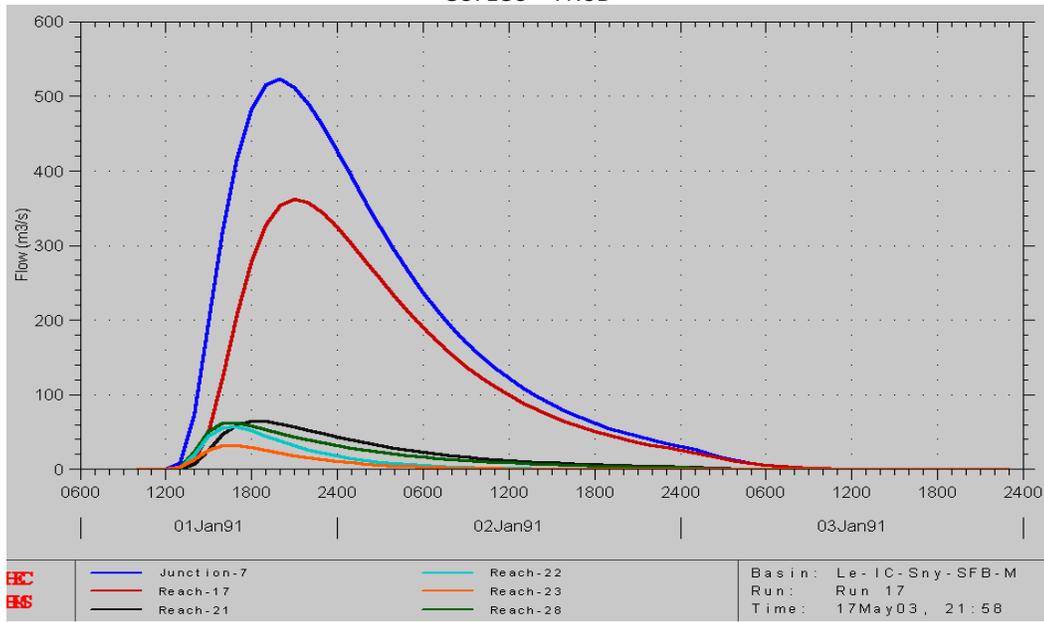


Gráfica 5: hidrograma para la zona de confluencia de los afluentes Mojimán y Mojimancito con el río Lean a la altura de El Coco.

Como se observa, los diversos afluentes y el mismo segmento de la cuenca hacen aportes al hidrograma total que se muestra con la curva de color azul. La curva de color rojo representa el caudal proveniente de la zona de la cuenca alta. Las curvas de otros colores representan los aportes de los afluentes y escurrimientos de las zonas aledañas. En este sitio el río se torna en uno de orden 6 (ver el *Estudio Morfométrico* de la cuenca) y como se observa, el caudal pico es del orden de 450 metros cúbicos por minuto y se manifiesta en este sitio de confluencia cerca de 5 horas después de que finalizó la precipitación hipotética de una hora a las 13 horas.

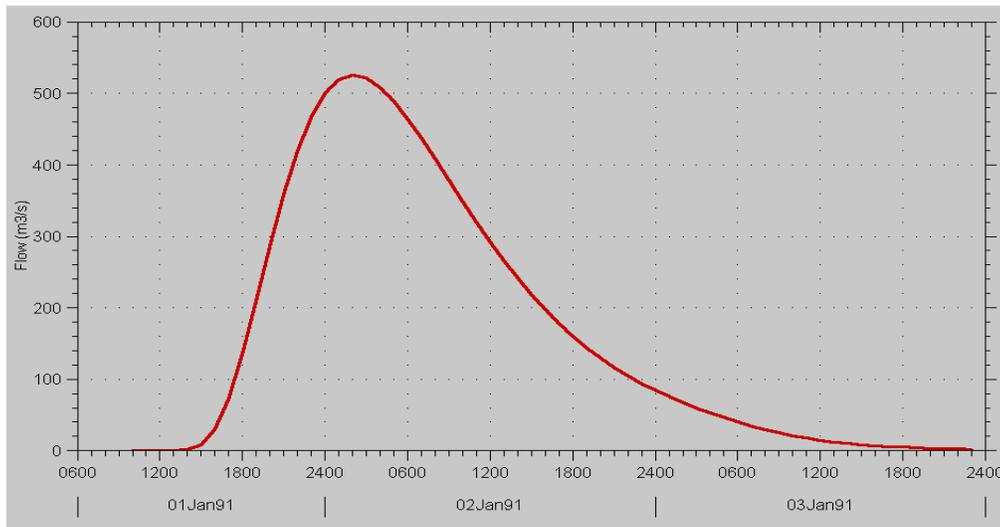
En la zona de confluencia entre el río Lean y los afluentes Jilamo y Mezapa, situada a 3 kilómetros río arriba del puente sobre la carretera asfaltada, el hidrograma respectivo tiene un pico del orden de 540 metros cúbicos por segundo y el máximo ocurre cerca de 7 horas después de que se inició la lluvia hipotética. El hidrograma se muestra a continuación:

Análisis Hidrológico de las Cuencas Lean, San Juan, Perla y Cangrejal
 Proyecto: Fortalecimiento de las Capacidades Locales para la Gestión del Riesgo en Honduras
 COPECO – PNUD



Gráfica 6: hidrograma para la zona de confluencia de los afluentes Jilamo y Mezapa con el río Lean a la altura de El Empalme.

En la zona pantanosa donde desemboca el río en el mar confluye el afluente Arizona, de tal manera que el hidrograma en esta zona toma la siguiente forma:

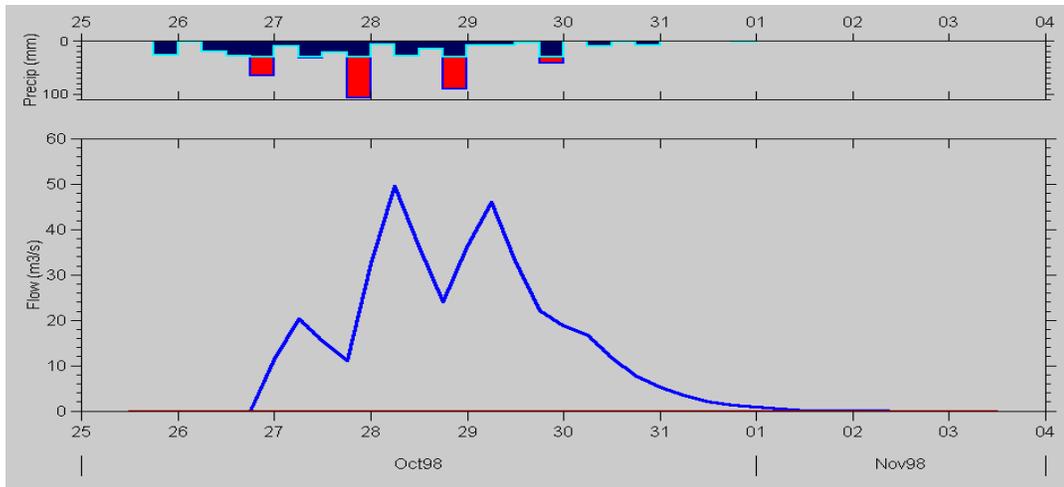


Gráfica 7: hidrograma para la zona de desembocadura del río en el mar de las Antillas.

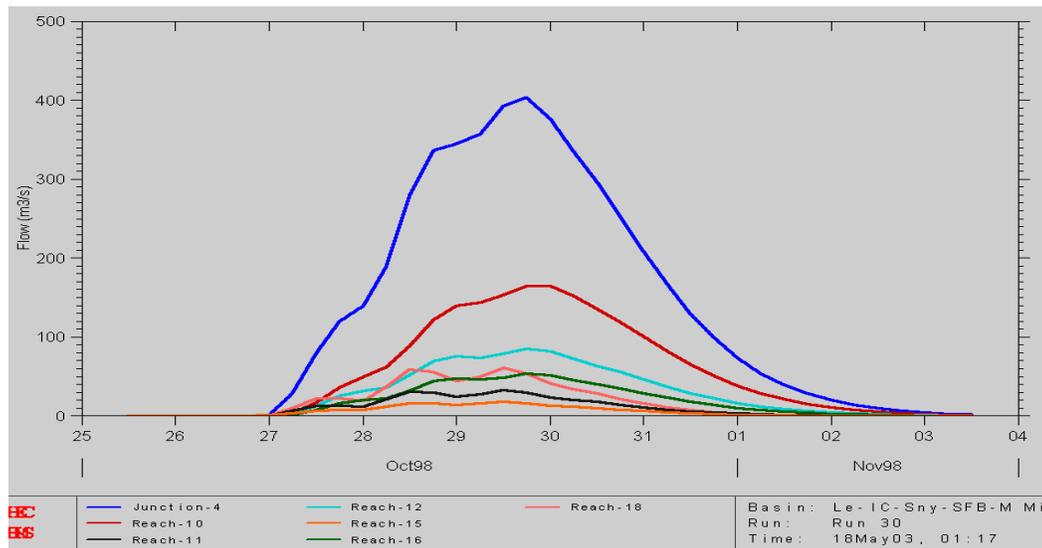
Como se observa en la gráfica 8, el pico del hidrograma se manifiesta prácticamente 14 horas después de iniciada la lluvia.

HIDROGRAMAS PARA EVENTOS COMO EL HURACÁN MITCH

Reconociendo el impacto que ha tenido este huracán en mucho del territorio de Honduras y en particular en la costa norte, se ha procedido a elaborar los hidrogramas unitarios respectivos utilizando los datos de Tela. Como se indicó en la sección anterior, este evento se puede catalogar como uno con período de retorno de 40 años. El hidrograma unitario para la zona de Brisas del Lean se presenta a continuación:

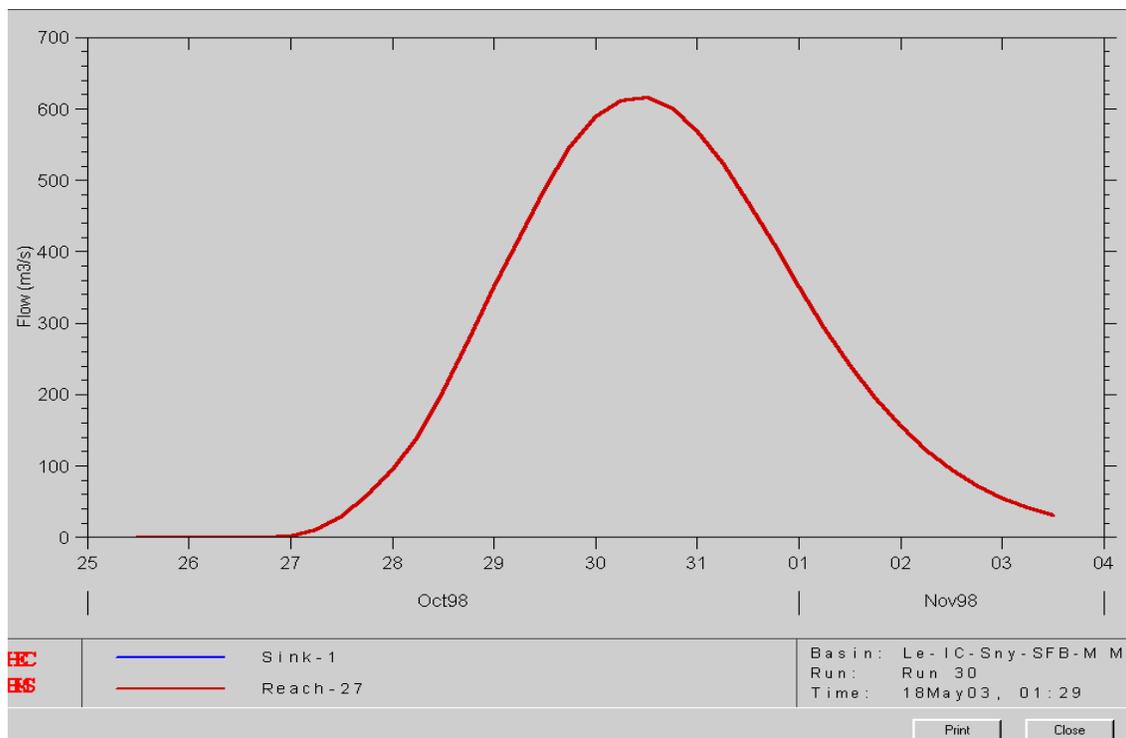


Gráfica 8: hidrograma unitario para la zona de Brisas del Lean. El doble pico aparece como resultado de las fuertes precipitaciones que se manifestaron durante las noches.



Gráfica 9: hidrograma para la zona confluencia de los afluentes Mojimán y Mojimancito y Lean.

que se presentó en la zona de la cuenca baja, así como debido a las contribuciones del río Arizona.

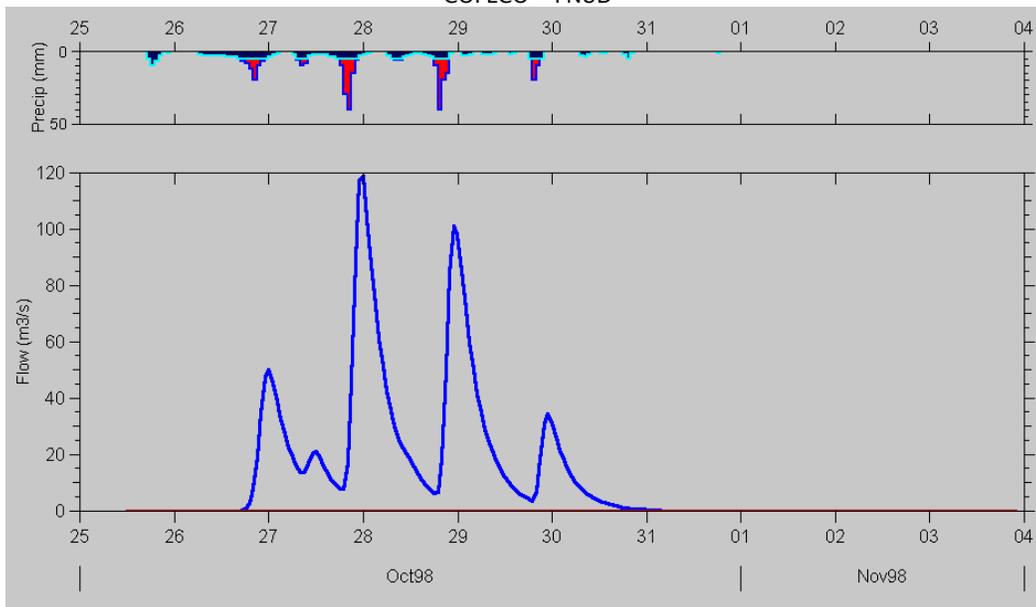


Gráfica 11: hidrograma para la zona baja de la cuenca, prácticamente llegando al mar.

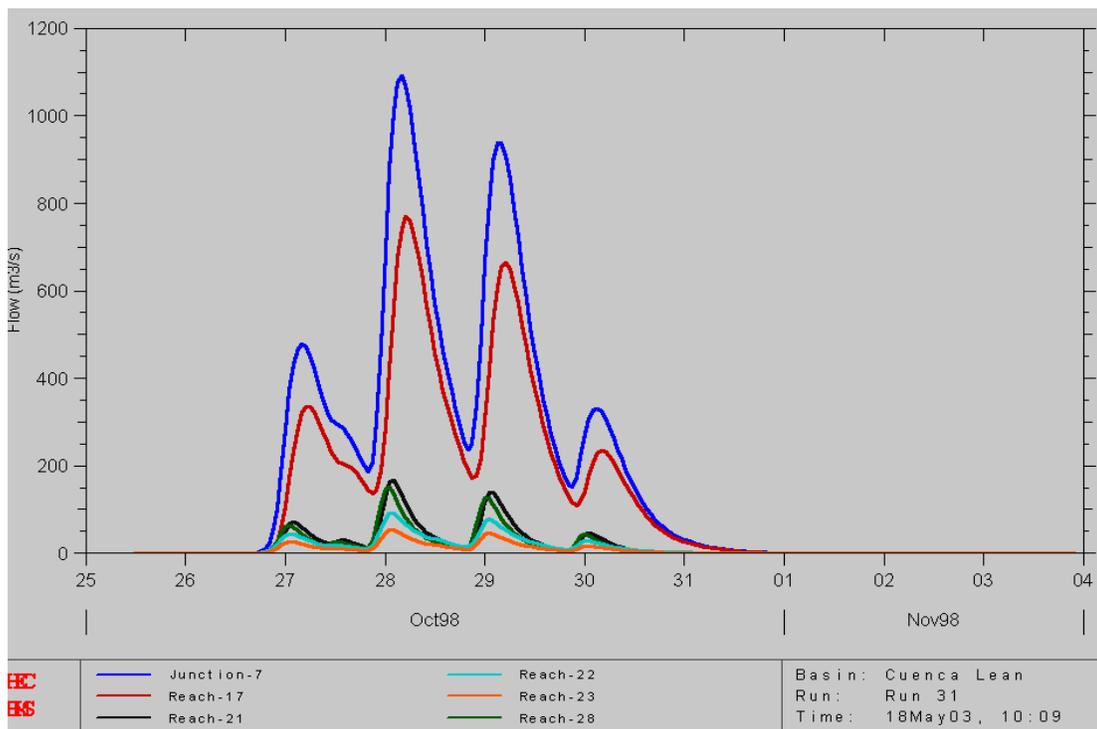
Haciendo un análisis de la distribución temporal de precipitaciones diarias de la estación de Tela, se observa que durante el período de las 6 pm a las 0:00 horas se registraron las precipitaciones más fuertes durante 3 días consecutivos. Se ha tratado de modelar la precipitación de manera horaria, distribuyendo la precipitación acumulada de 6 horas en precipitaciones de 1 hora. Posteriormente se ha incorporado esta precipitación y se obtienen los siguientes hidrogramas unitarios para todas las secciones de la cuenca. En el caso del segmento de Brisas del Lean en la parte alta de la cuenca se obtiene un hidrograma unitario que se presenta en la gráfica 13. Como se observa, en este caso se presentan picos más pronunciados en el caudal asociado a la escorrentía, así como descensos drásticos fuera de los períodos de precipitación. La parte superior de la gráfica muestra la precipitación que se modeló para cada hora durante los 5 días de la simulación.

La gráfica 14 muestra el hidrograma correspondiente a la confluencia de los ríos Mezapa, Jilamo y Lean bajo estas condiciones. Como se observa, se vuelven a observar picos específicos asociados con los eventos de alta precipitación pero de corta duración, cuyas escorrentías son acarreadas río abajo.

Análisis Hidrológico de las Cuencas Lean, San Juan, Perla y Cangrejal
 Proyecto: Fortalecimiento de las Capacidades Locales para la Gestión del Riesgo en Honduras
 COPECO – PNUD



Gráfica 12: hidrograma unitario para la zona de Brisas del Lean. Los picos aparecen como resultado de las fuertes precipitaciones que se manifestaron durante las noches. La precipitación horaria se puede observar en la parte superior de la gráfica.



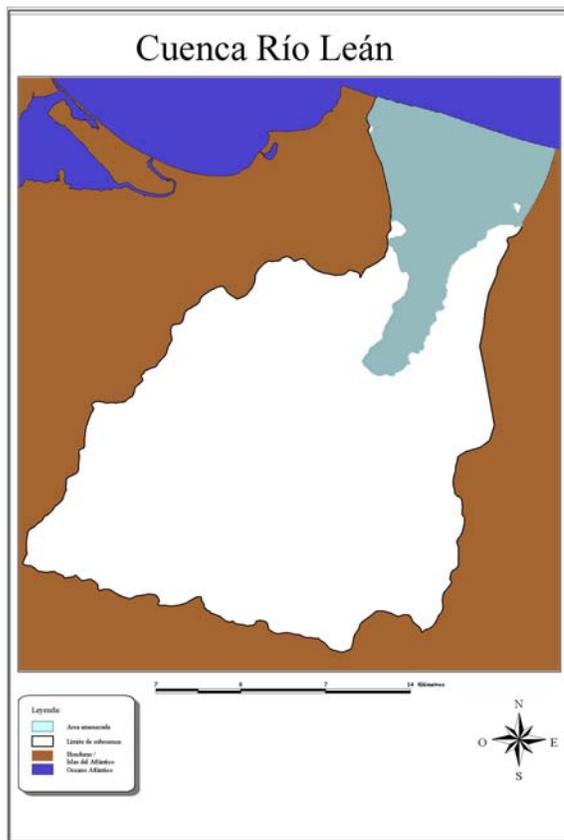
Gráfica 13: hidrograma para la zona de confluencia de los afluentes Jilamo, Mezapita y Lean.

Las diferencias tan marcadas obedecen a los procesos matemáticos que se ejecutan en el programa de simulación de hidrogramas (HEC-HMS), en particular a la hora de ingresar los tiempos y parámetros característicos para los intervalos unitarios de operación (1 hora y 6 horas). Hay que recordar que si se trabaja con precipitaciones en intervalos de diversas horas, se deben ajustar los parámetros de los diversos modelos de escorrentía y de tránsito de avenidas en caudales.

MODELAJE DE DESBORDAMIENTOS

Tomando como base los caudales aportados por el modelo en base a los diversos hidrogramas, se modelaron desbordamientos para el segmento de la cuenca baja al norte de Arizona, donde se manifiestan tales desbordamientos. El región de simulación se presenta en el mapa 2, en el cual se delimita toda la cuenca, así como el área a ser modelada.

En este caso se ha implementado un modelo de flujo asociado a los caudales de grandes intensidades asociados a estos eventos extremos.



Como parte del procedimiento se trabajó el canal removiendo los meandros y se procedió a simular las crecidas usando modelos unidimensionales de flujos. El modelaje ha requerido de la dotación de múltiples secciones transversales a lo largo de este segmento de la cuenca. para lo cual se visitó esta zona para el levantamiento de varias de estas secciones.

Mapa 2: Cuenca del río Lean mostrando el área de la cuenca baja donde se modelarán los desbordamientos del río (región de color gris).

La siguiente figura muestra como se ha modelado el segmento de la cuenca en cuestión, con y sin meandros:

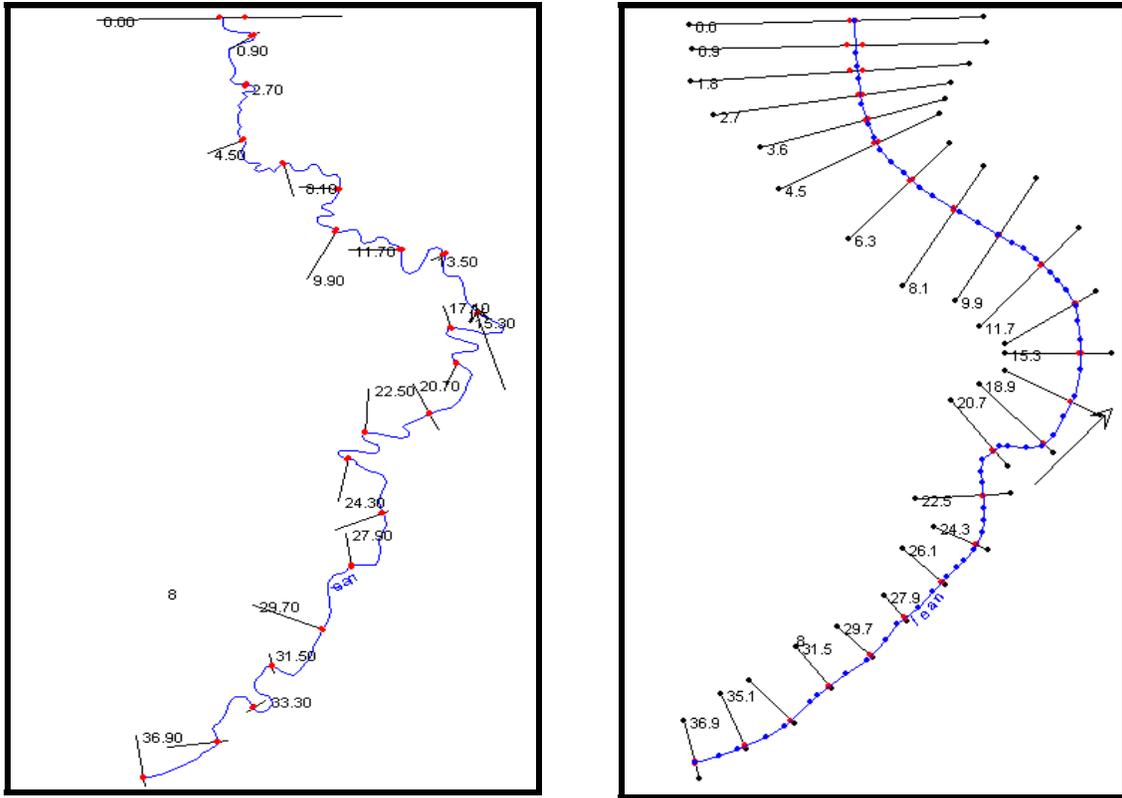


Figura 2: segmento de la cuenca baja del río Lean con y sin meandros. El río fluye de abajo hacia arriba como lo indica la flech.

El segmento mostrado abarca desde la confluencia de los ríos Jilamo y Mezapa en el extremo inferior donde se inicia el trazo hasta la desembocadura del río en el mar, que se muestra en la parte superior. Las líneas negras perpendiculares al cauce representan las secciones transversales que se han delineado para el modelaje. Sin embargo, en el caso de eventos extremos de crecidas se ha trabajado excluyendo los meandros y configurando el canal de forma prácticamente rectangular en todas las secciones como se muestra a la derecha. La simplificación se hace necesaria para poder modelar adecuadamente los procesos de inundación que se pueden presentar en toda la extensión del valle de Lean en esta zona, que de otra forma no sería posible por el tipo de modelo matemático que se está empleando y la necesidad de que las secciones transversales para que abarquen toda la anchura del valle en sus distintos segmentos.

Para el caso del huracán Mitch se obtiene la simulación que se presenta en la gráfica 3. En este caso se usó un caudal de 600 metros cúbicos por segundo, de tal manera que prácticamente todo

el valle queda inundado como resultado del desbordamiento del río, que fue lo que se observó prácticamente en todas la regiones.

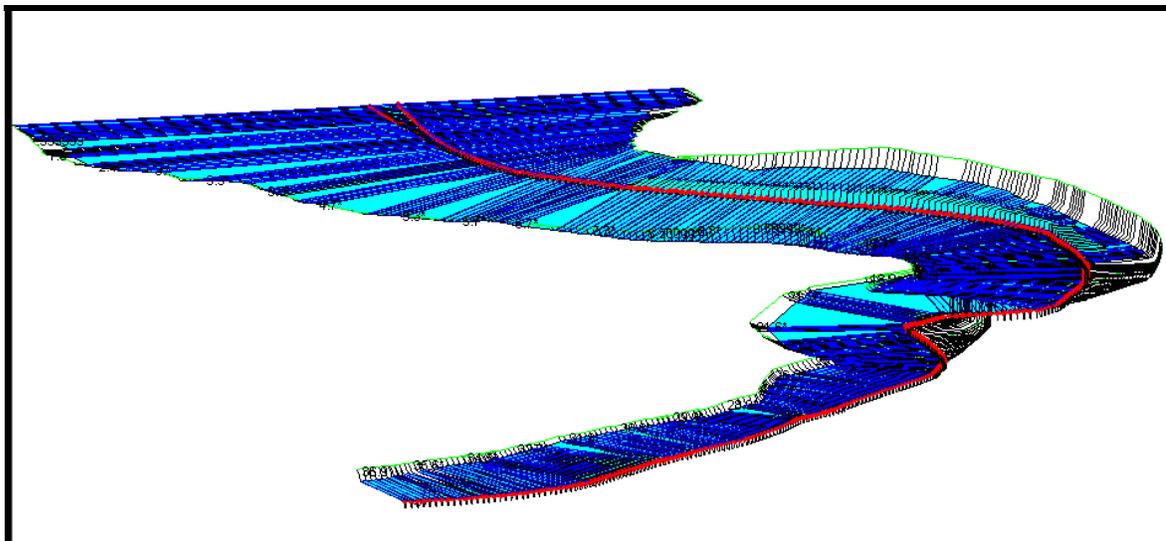


Figura 3: simulación de la envergadura del desbordamiento del río Lean en la parte baja, abarcando prácticamente todo el valle. El río fluye en este caso desde abajo hacia arriba de la figura. Al fondo a la derecha se observa el contorno la zona montañosa a la orilla este del río.

En el caso de precipitaciones menores que generen menores flujos se obtienen mapas similares. Por ejemplo, para un caudal del orden de 300 metros cúbicos por segundo se obtiene el siguiente resultado:

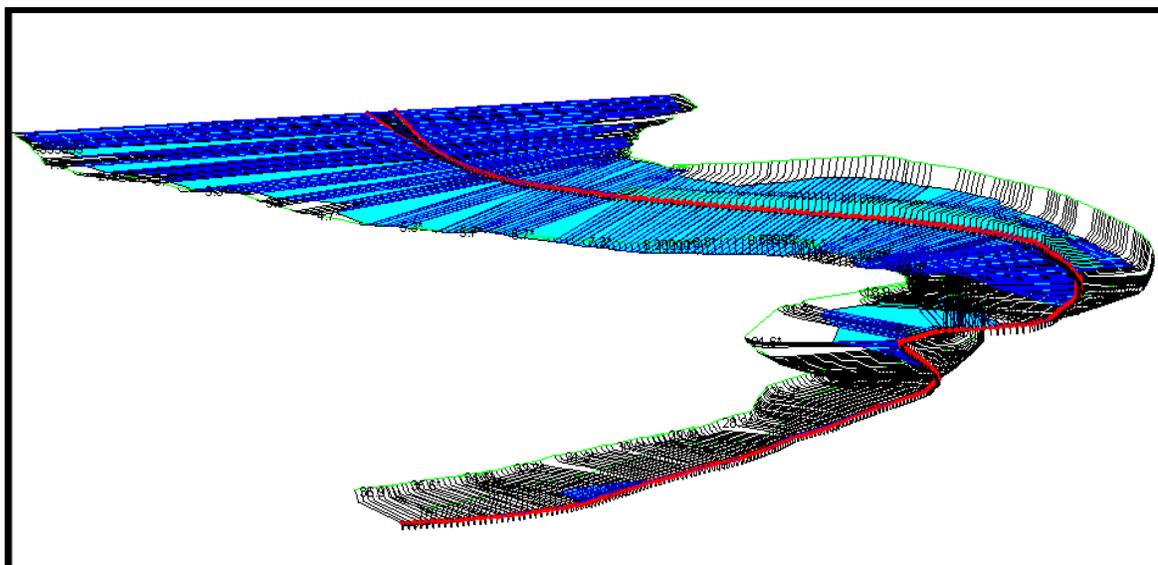


Figura 4: simulación de la envergadura del desbordamiento del río Lean en la parte baja, abarcando solamente desde la región de Flores de Lean hasta la desembocadura con el mar.

Como se observa, en este caso se manifiesta un pequeño desbordamiento aguas arriba de la comunidad Paris de Lean, que ocasiona inundaciones en la zona de Sisama y más abajo en el zona de Atenas de San Cristóbal, que experimenta desbordamientos prácticamente cada año. Al igual que en el caso anterior, la zona costera, que es prácticamente una zona de pantanos, se inunda al igual que en el caso pasado, pero no la parte más alta de la cuenca a la altura de Arizona. De la misma manera, un caudal de este tipo pone de manifiesto el problema que enfrentan comunidades como Flores de Lean y Ceibita Way, que se quedan incomunicadas porque el río se desborda prácticamente sobre la carretera después de Paris de Lean.