

HURACAN MITCH: Caudal de Creciente en Tramos de Ríos Seleccionados en Honduras

—Por Mark E. Smith, Jeffrey V. Phillips, y Norman E. Spahr

INTRODUCCION

El Huracán Mitch inició como depresión tropical en el Mar Caribe el 22 de octubre de 1998. Para el 26 de octubre, Mitch se había fortalecido y llegado a categoría de tormenta 5, como lo define la Escala de Huracanes Saffir-Simpson (Centro Nacional de Datos Climatológicos, 1999a) y para el 27 de octubre ya amenazaba la costa norte de Honduras (fig. 1). Después de haber tocado tierra dos días más tarde (29 de octubre), la tormenta se desvió hacia el sur y hacia el oeste a lo largo de todo Honduras, trayendo destrucción en todo el país antes de llegar a la frontera de Guatemala el 31 de octubre.

De acuerdo al Centro Nacional de Datos Climatológicos de la Administración Atmosférica y Oceánica Nacional (Centro Nacional de Datos Climatológicos, 1999b), el Huracán Mitch se encuentra entre los cinco huracanes más fuertes registrados en el Atlántico en términos de sus vientos sostenidos, presión barométrica y duración. El Huracán Mitch fue también una de las peores tormentas en el Atlántico en términos de pérdida de vidas humanas y propiedades. El número de muertos que se estimó en toda la región fue más de 9,000; miles de personas fueron reportadas como desaparecidas. Las pérdidas económicas en toda la región se estimaron en más de \$7.5 billones (Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos, 1999).

Honduras sufrió la devastación más extensa durante la tormenta. El Gobierno de Honduras reportó más de 5,000 muertos y más de \$4 billones en pérdidas económicas. Los oficiales hondureños estimaron



Restos de un puente vehicular recién construido en el Río Choluteca al norte de Choluteca después del Huracán Mitch. El puente fue diseñado para hacer convergir los flujos de agua por en medio de su luz principal.

que el Huracán Mitch destruyó 50 años de desarrollo económico. Además de las pérdidas humanas y económicas, intensos deslizamientos e inundaciones marcaron el paisaje hondureño—los procesos hidrológicos y geomorfológicos a lo largo del país se verán probablemente afectados durante varios años.

Como parte de la respuesta del Gobierno de los Estados Unidos al desastre, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) realizó mediciones post-inundación del caudal de creciente en 16 sitios de algunos ríos a lo largo de Honduras (fig. 2). Tales mediciones, llamadas mediciones "indirectas," se utilizan para determinar el caudal de creciente cuando mediciones directas (utilizando molinetes de aforo o estudios de tinte por ejemplo) no pueden llevarse a cabo. Las mediciones indirectas de caudal de creciente se basan en inspecciones del canal del río posterior a la inundación (huellas de aguas altas observadas, secciones transversales y propiedades hidráulicas) y modelos computacionales de caudales de creciente. La determinación de los caudales de creciente asociados con el Huracán Mitch ayudará a los científicos a comprender la magnitud de este devastador huracán. La información de caudales de creciente es también crítica para el diseño apropiado de estructuras hidráulicas (como puentes y bordos), delimitación de límites teóricos de inundación y desarrollo de la relación entre nivel y caudal en los sitios de monitoreo de flujos.



Figura 1. Ruta del Huracán Mitch desde el 26 de octubre hasta el 1 de noviembre, 1998. Modificación de Reich y otros (2001).

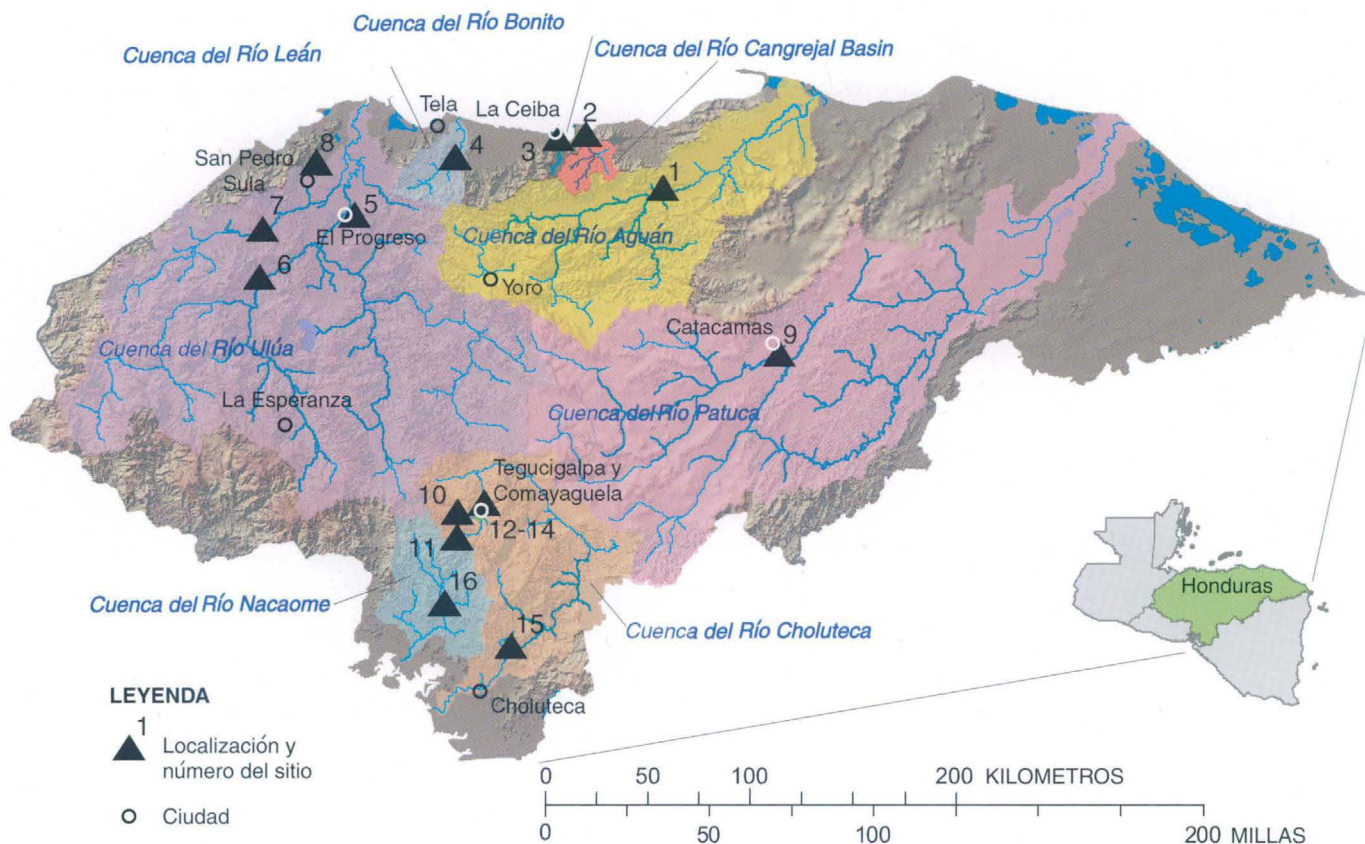


Figura 2. Se llevaron a cabo mediciones indirectas en las principales cuencas de drenaje y otras áreas seleccionadas de Honduras.

CARACTERÍSTICAS HIDROMETEOROLÓGICAS

Precipitación antes del Huracán Mitch

El norte de Honduras normalmente recibe una gran cantidad de lluvia durante los meses lluviosos de septiembre y octubre. Tormentas tropicales y huracanes afectan rutinariamente la costa norte, mientras que la región central y sur del país rara vez experimentan precipitaciones e inundaciones como ocurrieron durante el Huracán Mitch. Al norte de Honduras, el promedio de precipitación de largo período (1967–97) en La Ceiba es de 214 milímetros (8.43 pulgadas) para septiembre y 407 milímetros (16.0 pulgadas) para octubre. En el centro y sur de Honduras, el promedio de precipitación de largo período para septiembre es de 173 milímetros (6.81 pulgadas) en Tegucigalpa y 377 milímetros (14.8 pulgadas) en Choluteca; el promedio de precipitación de largo período para octubre es de 112 milímetros (4.41 pulgadas) en Tegucigalpa y de 301 milímetros (11.9 pulgadas) en Choluteca (Servicio Meteorológico Nacional de Honduras, comunicación por escrito, 1998).

Una comparación de la precipitación antes del Huracán Mitch (del 1–30 de Septiembre y del 1–24 de Octubre 1998) y los promedios de larga duración para el mismo período se muestran en la figura 3. Los puntos ploteados muestran que durante el período anterior al Huracán Mitch la costa norte (La Ceiba) era de alguna manera más seca de lo normal. Sin embargo, las condiciones pre-huracán, generalmente eran mas húmedas de lo normal en la parte central y sur de Honduras (Tegucigalpa y Choluteca). Esta situación exacerbó la inundación causada por el Huracán Mitch en el centro y sur de Honduras, saturando el suelo y llenando los embalses casi a su capacidad total.

Precipitación Asociada con el Huracán Mitch

La precipitación total medida y reportada durante el Huracán Mitch fue de 1,905 milímetros (más de 75 pulgadas) en algunas áreas afectadas por la tormenta (Centro Nacional de Datos Climatológicos, 1999b). Los totales diarios de precipitación del 25–31 octubre en las estaciones seleccionadas de registro de datos en Honduras se muestran en la figura 4. Las regiones al noreste del país fueron las primeras en experimentar los efectos de la tormenta. Desde el 25–31 de octubre, La Ceiba recibió 875 milímetros (34.4 pulgadas) de lluvia; Yoro, en el Valle Aguan recibió 520 milímetros (20.5 pulgadas); Tela recibió 565.5 milímetros (22.3 pulgadas); y San Pedro Sula (La Mesa) recibió 368 milímetros (14.5 pulgadas) (Servicio Meteorológico Nacional de Honduras, comunicación por escrito, 1998).

Las fuertes lluvias golpearon la parte central de Honduras a medida que el Huracán Mitch se movía hacia el sur desde la costa norte. Del 25–31 de octubre de 1998, La Esperanza (Departamento de Intibucá) recibió 167 milímetros (6.57 pulgadas) de lluvia; Catacamas (Departamento de Olancho) recibió 257 milímetros (10.1 pulgadas) de lluvia; y la capital, Tegucigalpa, recibió 254 milímetros (10.0 pulgadas). La tormenta causó extensas inundaciones en Tegucigalpa y Comayagüela. Además, las fuertes lluvias produjeron numerosos deslizamientos, incluyendo el extremadamente destructivo deslizamiento El Berrinche, el cual destruyó cientos de casas en la Colonia Soto en Tegucigalpa. El deslizamiento en El Berrinche removió aproximadamente de 5 a 7 millones de metros cúbicos de material (Edwin L. Harp, Servicio Geológico de los Estados Unidos, comunicación por escrito, 1999).

La precipitación máxima ocurrió en el sur-centro de Honduras, cuando el Huracán Mitch moviéndose lentamente colisionó con un frente situado en el suroeste de Honduras. La ciudad de Choluteca recibió

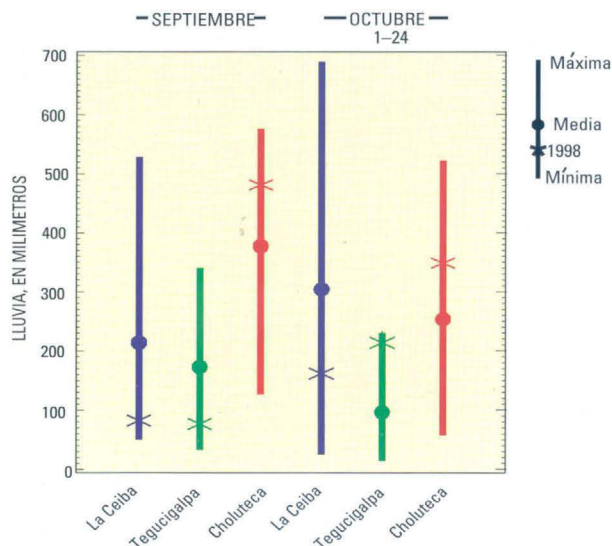


Figura 3. Precipitación de septiembre de 1998 y de los primeros 24 días de octubre de 1998, comparada con la precipitación de largo período (1967-97) media, máxima y mínima para los mismos períodos en los sitios seleccionados.

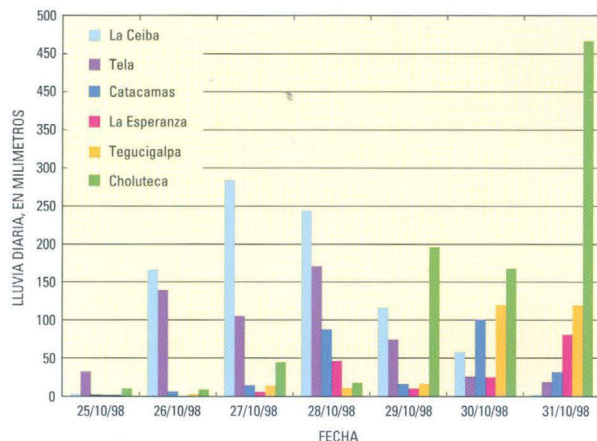


Figura 4. Precipitación diaria durante 25-31 de octubre de 1998 en los sitios seleccionados

893 milímetros (35.2 pulgadas) de precipitación del 25-31 de octubre, la mayor parte de ella cayó del 29 al 31 (fig.4). La fuerte lluvia causó extensas inundaciones, erosión en los canales y depósito de sedimento en el área de Choluteca. Además de la pérdida de muchos puentes y carreteras, se estima que 4,400 viviendas fueron destruidas y 6,600 viviendas fueron dañadas en el Departamento de Choluteca (USAID/Honduras, comunicación por escrito, 1999).

Características de las Cuencas

Las características de las cuencas y de los ríos varían dramáticamente a lo largo del país. Los sistemas de ríos que comienzan en las montañas centrales de Honduras, drenan hacia el norte al Mar Caribe o hacia el sur al Océano Pacífico. Muchos de los sistemas principales de ríos fluyen del interior de las montañas del país al Mar Caribe. A lo

largo de la costa norte del país, numerosos ríos—incluyendo el Río Cangrejal, Río Bonito y Río Perla—drenan las escarpadas montañas costeras cerca de la ciudad de La Ceiba. Al noreste de Honduras, el Río Aguán desemboca en el Mar Caribe y drena las extensas plantaciones frutales, propiedad de productores comerciales. El Río Patuca (fig.2), formado por la confluencia del Río Guayape y el Río Guayambre, drena el más remoto departamento del este de Honduras llamado Gracias a Dios.

El Río Ulúa, formado por varios tributarios mayores en el noroeste de Honduras, drena la región montañosa que rodea al Valle de Sula y desemboca en el Mar Caribe. El Valle de Sula es una de las regiones agrícolas más importantes de Honduras y sustenta a San Pedro Sula, la segunda ciudad más grande de Honduras.

Los sistemas principales de los ríos que fluyen hacia el sur al Océano Pacífico incluyen el Río Choluteca y el Río Nacaome. La parte alta de la cuenca del Río Choluteca está situada en terreno montañoso, con un rango de elevación mayor a los 2,290 metros (7,510 pies) sobre el nivel del mar. El Río Choluteca está formado por la confluencia del Río Guacerique y el Río Grande, en la ciudad Capital de Tegucigalpa, la cual está situada en un valle montañoso a una elevación aproximada de 1,000 metros (3,280 pies) sobre el nivel del mar.

El Río Choluteca fluye hacia el norte de Tegucigalpa, luego gira hacia el sur y fluye hacia la ciudad de Choluteca antes de desembocar en el Océano Pacífico. La cuenca del Río Nacaome está ubicada al oeste de la cueca del Río Choluteca y también desemboca en el Pacífico.

MEDICIONES INDIRECTAS EN AREAS SELECCIONADAS INUNDADAS POR EL HURACÁN MITCH

El USGS realizó 16 mediciones indirectas de caudales de creciente asociados con las inundaciones del Huracán Mitch en 8 cuencas de los ríos de Honduras (fig. 2). Los sitios medidos fueron seleccionados basados en el impacto de la inundación en los centros poblacionales, en las características hidrológicas de inundación en todo el país y en la necesidad de datos hidrológicos para ser utilizados en los planes de reconstrucción y diseño. La selección de los tramos específicos a medirse fue basada en la conveniencia hidráulica y la estabilidad del canal; debido a la magnitud de las inundaciones, se encontraron pocos tramos ideales. Técnicas estándares del USGS para mediciones indirectas de caudales de creciente fueron utilizadas (Benson and Dalrymple, 1967), incluyendo análisis de área-pendiente (Dalrymple and Benson, 1967), análisis de apertura contraída (puentes) (Matthai, 1967) y análisis de alcantarillas (Bodhaine, G.L., 1968). Caudales de creciente, propiedades hidráulicas y características del canal fueron computadas en Unidades Inglesas, convertidas al Sistema Internacional de Unidades (métrico), y luego redondeadas a tres cifras significativas para su presentación en este reporte.

Un resumen de los caudales de creciente computados, áreas de contribución de drenaje, las fechas y horas aproximadas de los picos (si se conocen) y las características hidráulicas de las inundaciones se muestran en la tabla 1. Seguidamente se encuentra una descripción de las condiciones hidráulicas en los sitios seleccionados.

Costa Norte

Muchos de los sistemas de los ríos drenan las escarpadas montañas situadas a lo largo de la costa norte de Honduras. Las severas inundaciones de estos ríos durante el Huracán Mitch causaron daños a las carreteras y puentes a lo largo de la autopista de la costa. El acceso terrestre a la

Tabla 1. Caudales de creciente determinados para los tramos de los ríos seleccionados

[km², kilómetros cuadrados; m³/s, metros cúbicos por segundo; dd/mm/yy, día/mes/año; m/s, metros por segundo; m, metros; m/m, metro por metro; PM, por la tarde]

Sitio	Nombre del sitio	Latitud/ longitud (grados decimales)	Area de drenaje (km ²)	Caudal de creciente (m ³ /s)	Fecha de creciente (dd/mm/yy)	Tiempo estimado del pico (0000–2400)	Velocidad promedio (m/s)	Ancho promedio (m)	Profun- didad promedio (m)	Pendiente hidráulica ¹ (m/m)
1	Río Aguán cerca de Clifton	N 15.4949 O 86.3733	7,460	19,700	Desconocido	Desconocido	3.34	1,660	3.59	0.0017
2	Río Cangrejal cerca de La Ceiba	N 15.7482 O 86.7572	483	6,680	29/10/98	0000–0600	7.16	108	8.69	0.0106
3	Río Bonito cerca de La Ceiba	N 15.6980 O 86.8548	81.1	3,710	Desconocido	Desconocido	5.99	75.0	8.86	0.0408
4	Río Leán cerca de Arizona	N 15.6416 O 87.3254	737	2,740	Desconocido	Desconocido	^{2,3} 2.06	^{2,3} 359	^{2,3} 2.68	0.0083
5	Río Pelo cerca de El Progreso	N 15.3909 O 87.7810	35.2	309	29/10/98	1200–1500	5.33	14.3	4.10	0.0301
6	Río Ulúa cerca de Chinda	N 15.1078 O 88.2027	8,510	11,000	29/10/98	PM	6.13	159	12.5	0.0035
7	Río Chamelecón cerca de El Tablón	N 15.3208 O 88.2044	2,680	4,700	29/10/98	2330	5.47	131	6.58	0.0041
8	Río Choloma en Choloma	N 15.6185 O 87.9547	79.7	490	29/10/98	PM	2.92	114	1.69	0.0084
9	Río Guayape cerca de Catacamas	N 14.7611 O 85.8398	7,940	8,890	Desconocido	Desconocido	5.22	156	11.1	0.0032
10	Río Guacerique aguas arriba de la Represa de Los Laureles	N 14.0713 O 87.2825	179	1,260	31/10/98	0000	5.56	53.1	4.31	0.0086
11	Río Grande aguas arriba de la Represa de Concepción	N 13.9983 O 87.3120	102	1,190	31/10/98	0300	6.18	43.4	4.48	0.0139
12	Río Grande cerca de Tegucigalpa	N 14.0717 O 87.2111	421	⁴ 2,340	31/10/98	0000–0200	³ 2.87	³ 103	³ 7.93	0.0140
13	Río Chiquito en Tegucigalpa	N 14.1044 O 87.1993	77.8	167	31/10/98	0000	³ 2.46	³ 23.2	³ 2.93	0.0285
14	Río Choluteca cerca de Tegucigalpa	N 14.1222 O 87.2107	802	⁴ 4,360	31/10/98	0030	5.83	105	7.29	0.0097
15	Río Choluteca en Colonia Apacilagua	N 13.4744 O 87.0739	6,350	14,300	30/10/98– 31/10/98	2300–0300	5.90	235	10.9	0.0051
16	Río Nacaome cerca de Pespire	N 13.6698 O 87.3656	1,390	7,000	30/10/98	2100	4.76	180	8.24	0.0026

¹Pendiente hidráulica basada en el perfil de la marca alta del agua.

²Propiedades hidráulicas mostradas son para la porción del flujo dentro del cauce principal (1,980 m³/s).

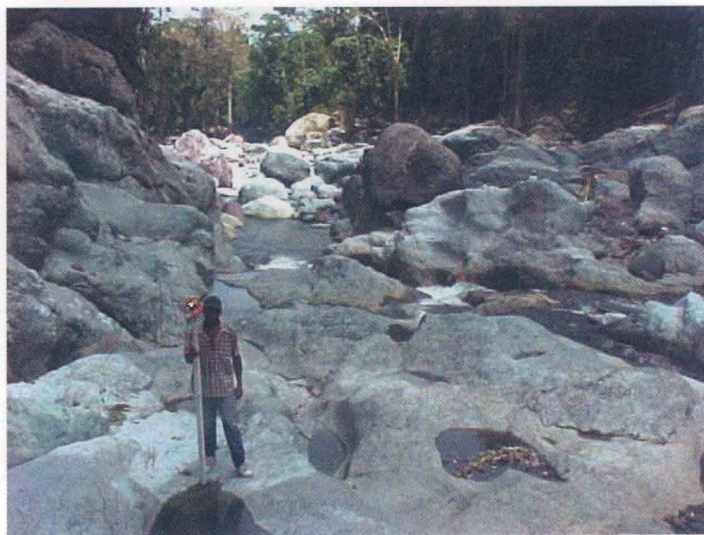
³Propiedades hidráulicas de las secciones transversales cercanas (sitio de medición de puente).

⁴Caudal de creciente posiblemente afectado por las represas aguas arriba.

Ciudad de La Ceiba se vio interrumpido por varios días después de la inundación (sin embargo, el aeropuerto se mantuvo abierto).

El Río Cangrejal y el Río Bonito son característicos de los empinados ríos en la costa norte. Ambos ríos drenan las escarpadas montañas costeras, justo al sur de La Ceiba.

Se midió el caudal de creciente para el Río Bonito (Sitio 3) en su angosto cañón, aguas arriba del punto de descarga sobre la planicie costera (el cual puede ser caracterizado como un abanico aluvial de cantos rodados y rocas). El canal del río está compuesto de una serie de pozos y rápidos empinados, confinados por paredes de roca. El lecho consiste de basamento y rocas grandes, las cuales van desde 1.5 a más de



Viendo aguas abajo del basamento rocoso y rocas grandes que componen el canal del Río Bonito (Sitio 3).

9 metros (4.9 a más de 30 pies) de diámetro. El tramo aparentemente no se vio afectado por el depósito de material pequeño (arena y grava).

El caudal de creciente computado de 3,710 metros cúbicos por segundo (m^3/s) (131,000 pies cúbicos por segundo, pies^3/s) está sujeto a un grado alto de incertidumbre (más del 25 por ciento) debido a las condiciones de canal no uniforme y de pendiente alta. Las velocidades de flujo computadas van desde 4.33 a 7.65 metros por segundo (14.2 a 25.1 pies por segundo). El ancho del canal en la superficie libre va desde 56.4 a 93.6 metros (185 a 307 pies) y la pendiente hidráulica (basada en las huellas de aguas altas de la creciente) fue de 0.0408 metro/metro.

Río Aguán

El Valle Aguán es el hogar de extensas plantaciones de banano, palma africana y otras frutas. El Huracán Mitch destruyó al menos 70 por ciento del cultivo y los campos fértiles fueron inundados de sedimento. Las pérdidas económicas fueron devastadoras.



Viendo de izquierda a derecha en la sección transversal, aguas arriba del tramo en estudio del Río Aguán (Sitio 1). La anchura del flujo en la sección transversal fue de 1,800 metros (5,900 pies).

El Valle Aguán es ancho y plano, rodeado de montañas pronunciadas; las escorrentías de estas montañas drenan directamente en el Río Aguán desde los escarpados cañones a lo largo de toda la longitud del valle. Todos los puentes en el valle fueron destruidos o seriamente dañados y los procesos de erosión/sedimentación alteraron sustancialmente el canal.

Debido a lo ancho y extenso del valle, se obtuvieron pocos tramos propicios para las mediciones. La inundación se limitó a una anchura de aproximadamente 1.7 kilómetros en las inmediaciones de Clifton, aguas arriba del pueblo de Sabá y aguas abajo de la confluencia con el Río Jaguaca. Se determinó la geometría de tres secciones transversales en el tramo limitado (apenas menos de 1.3 kilómetros en longitud) y el caudal de creciente fue computado por medio de la utilización del método de área-pendiente (Sitio 1). El caudal de creciente de $19,700 \text{ m}^3/\text{s}$ (696,000 pies^3/s) fue el mayor flujo medido en Honduras por el USGS. El ancho promedio del canal en la superficie libre fue de 1,660 metros (5,460 pies) y la pendiente hidráulica fue de 0.0017 metro/metro.

Cuenca del Río Ulúa y el Valle de Sula

Se llevaron a cabo cuatro mediciones de caudal de creciente en la cuenca del Río Ulúa, para ayudar a caracterizar la inundación en el Valle de Sula. La parte baja del Valle de Sula experimenta inundaciones sustanciales anualmente durante la época lluviosa, pero la inundación causada por el Huracán Mitch fue un evento de magnitud no registrada. Mediciones de caudal de creciente se llevaron a cabo en el canal principal del Río Ulúa y en los Ríos Chamelecón, Choloma y Pelo (todas parte de la cuenca del Río Ulúa).



Viendo aguas abajo en el tramo de estudio del Río Ulúa cerca de Chinda (Sitio 6). Nótese la socavación en cada banco, indicando la extensión de la inundación.

La medición del caudal de creciente del Río Ulúa fue hecha cerca del pueblo de Chinda (Sitio 6). El sitio está localizado en terreno montañoso aguas arriba del Valle de Sula, donde el río se ve limitado por un canal profundo, más o menos uniforme; la fotografía muestra el tramo medido y los bancos lavados por la inundación. El área de drenaje en este sitio ($8,510 \text{ km}^2$; $3,280 \text{ mi}^2$) es menor que la mitad del área de drenaje de la parte baja de la cuenca ($20,600 \text{ km}^2$; $7,950 \text{ mi}^2$), de la estación hidrométrica del Río Ulúa en Guanacastales), pero la medición del flujo en sí en el valle fue imposible debido a la expansión del área inundada. El caudal de creciente computado cerca de Chinda fue de $11,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (388,000 pies^3/s), por el método de área-pendiente; el caudal de creciente de los flujos combinados en la parte baja del valle fue mucho mayor. El ancho promedio del canal en la superficie libre cerca de Chinda

fue de 159 metros (522 pies), y la pendiente hidráulica fue de 0.0035 metro/metro. El tramo recto estaba bien situado para las mediciones de área-pendiente. El canal fue generalmente uniforme a lo largo del tramo y no fue sustancialmente afectado por la erosión/sedimentación durante la inundación.

Cuenca Alta del Río Choluteca

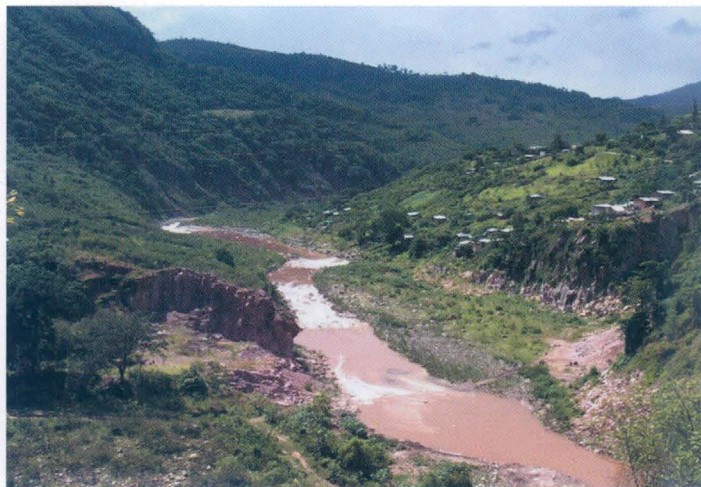
Se realizaron tres mediciones de caudal de creciente en la cuenca alta del Río Choluteca, aguas arriba de Tegucigalpa. Las mediciones en el Río Guacerique, aguas arriba de la Represa de Los Laureles (Sitio 10) y en el Río Grande, aguas arriba de la Represa de Concepción (Sitio 11), caracterizan los caudales de creciente de los dos principales sistemas de río que drenan la montañosa cuenca alta del Río Choluteca. Estas cuencas exhiben una respuesta rápida de escorrentía de precipitación, típico de los terrenos montañosos. Los caudales de creciente fueron similares en magnitud (tabla 1) y no fueron influenciados por almacenamiento aguas arriba o por desviación. Los canales de ambos ríos están bien profundizados y los picos de inundación causados por el Huracán Mitch fueron restringidos al canal principal en cada tramo de estudio. La sección transversal del canal del Río Guacerique (Sitio 10), fué generalmente trapezoidal, compuesto de piedra y rocas pequeñas. El ancho promedio del canal en la superficie libre fue de 53.1 metros (174 pies) y su pendiente hidráulica de 0.0086 metro/metro. La sección transversal del canal del Río Grande (Sitio 11) fue una no uniforme, compuesta primordialmente de un basamento rocoso y rocas grandes. El ancho promedio del canal en la superficie libre fue de 43.4 metros (142 pies) y su pendiente hidráulica fue de 0.0139 metro/metro.

Se hizo una segunda medición del Río Grande (Sitio 12) en los suburbios de Tegucigalpa, aguas abajo de la Represa de Concepción y justo aguas arriba de la confluencia con el Río Guacerique. El caudal de creciente en este sitio fue afectado por el almacenamiento de agua en la Represa de Concepción, la cuál descargó un flujo máximo de 850 m³/s (30,000 pies³/s) por sobre el aliviadero (Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados, comunicación por escrito, 1998). Sin embargo, el caudal de entrada del tributario del Río San José también contribuyó al caudal de creciente medido de 2,340 m³/s (82,500 pies³/s). La inundación fue confinada en el canal principal, 103 metros (337 pies) de anchura hasta la aproximación del puente del Bulevar de las Fuerzas Armadas. El canal está compuesto de arena, grava y algo de piedra y estuvo sujeto a gran depósito de material durante la inundación.

Tegucigalpa y la Parte Baja de la Cuenca del Río Choluteca

El Río Choluteca está formado por la confluencia del Río Guacerique y el Río Grande en Tegucigalpa. Se hizo una medición del caudal de creciente del Río Choluteca, aguas abajo de Tegucigalpa (Sitio 14); el pico computado fue de 4,360 m³/s (154,000 pies³/s). Este caudal de creciente fue probablemente afectado por el almacenamiento de las represas aguas arriba, tanto del Río Grande (Represa de Concepción) y el Río Guacerique (Represa de Los Laureles). El canal en el tramo de estudio era por lo general recto y uniforme y el flujo fue confinado al canal principal. El ancho promedio del canal en la superficie libre fue de 105 metros (343 pies), y la pendiente hidráulica fue de 0.0097 metro/metro.

Las mediciones de picos de flujo del Río Choluteca aguas abajo de Tegucigalpa (Sitio 14), del Río Chiquito en Tegucigalpa (Sitio 13), y del Río Grande cerca de Tegucigalpa (Sitio 12), proveen de una percepción interior de la distribución de los caudales de creciente en la parte alta de la cuenca del Río Choluteca. Sin embargo, el tiempo de concentración de estos picos se vio afectado indudablemente por el almacenamiento en las Represas de Concepción y Los Laureles.



Vista aguas abajo del tramo en estudio del Río Choluteca cerca de Tegucigalpa (Sitio 14).

El caudal de creciente en la parte baja del Río Choluteca fue medido en la Colonia Apacilagua (Sitio 15), aguas arriba de la ciudad de Choluteca. Choluteca, un centro poblacional importante de 80,000 personas, está situado al lado izquierdo de la margen del Río Choluteca. La ciudad sufrió grandes daños causados por la inundación durante el Huracán Mitch. El caudal de creciente en el sitio de Apacilagua es de aproximadamente 25 kilómetros a lo largo del río (16 millas a lo largo del río), aguas arriba de Choluteca y fue seleccionado debido a que las aguas de inundación fueron confinadas a una anchura menor de 183 metros (600 pies) entre dos acantilados verticales de rocas. Varias viviendas aguas arriba de Apacilagua fueron destruidas, pero el pueblo en sí, el cual está situado en el lado derecho del río, sobre un acantilado de 15 metros (49 pies) de elevación sobre el lecho del río, no fue inundado.

El caudal de creciente computado de 14,300 m³/s (506,000 pies³/s) fue medido utilizando un computo de área-pendiente de tres secciones. El ancho promedio del canal en la superficie libre fue de 235 metros (772 pies); la pendiente hidráulica de las huellas de aguas altas fue de 0.0051 metro/metro. De acuerdo a los residentes del lugar, el caudal pico ocurrió el viernes 30 de octubre tarde por la noche. Esta información revela que el caudal de creciente en Apacilagua fue el resultado de las escorrentías de precipitación en la parte baja de la cuenca, en lugar del flujo progresivo aguas abajo de la ola de inundación que afectó a Tegucigalpa. El caudal de creciente en Tegucigalpa ocurrió temprano por la mañana, el sábado 31 de octubre.



Vista aguas abajo del tramo en estudio del Río Choluteca en la Colonia Apacilagua (Sitio 15). La profundidad del agua de inundación llegó casi a la punta del acantilado de 15 metros (centro de la fotografía).

Otros Sitios Medidos

En un esfuerzo por caracterizar las inundaciones que produjo el Huracán Mitch en todo el país, se llevaron a cabo mediciones de caudales de creciente en el Río Nacaome (Sitio 16) al sureste de Honduras, en el Río Guayape (Sitio 9) parte centro-oriental de Honduras y en otros ríos tributarios de las cuencas principales (tabla 1). Estas dieciséis mediciones, además de otros datos de flujo y precipitación disponibles, contribuyen al entendimiento total del Huracán Mitch y sus efectos en Honduras desde un punto de vista hidrológico.

DUDAS ASOCIADAS CON LAS MEDICIONES DE CAUDAL DE CRECIENTE

El Huracán Mitch causó inundaciones extremas, lo cual puso a prueba las limitaciones de las técnicas de medición indirecta. Varios factores afectaron indudablemente la calidad y la confiabilidad de las mediciones (Costa y Jarett, 1981; Flaxman, 1974; Jarrett, 1986; Randall y Humphrey, 1984). Primero, debido al tiempo que transcurrió entre la inundación y las inspecciones de campo, las lluvias subsecuentes y el deterioro de las huellas de aguas altas, se originó incertidumbre en cuanto a la identificación de los niveles máximos de la inundación. En cualquier inundación de gran proporción, las huellas de aguas altas están sujetas a alguna interpretación, debido al oleaje, la obstrucción producida por los escombros y cosas por el estilo. La calidad en las huellas de aguas altas varió considerablemente y los análisis se vieron frecuentemente sujetos a la interpretación de los hidrólogos del USGS.

La cantidad de sedimento arrastrado por las inundaciones también afectó la calidad de las mediciones. Los tramos ideales de estudio—canales estables y uniformes con poca erosión o sedimentación—no pudieron encontrarse todo el tiempo. En los sitios donde el movimiento sustancial de sedimento era aparente, la geometría del canal pudo haber sido muy diferente durante el pico de la inundación. Por lo tanto, estos sitios están sujetos a incertidumbre adicional en las mediciones de su flujo.

La selección de los coeficientes de rugosidad es otra fuente de incertidumbre. Inundaciones de la magnitud del Huracán Mitch están más allá de las limitaciones de muchos criterios convencionales para el análisis de inundación. Por ejemplo, los coeficientes de rugosidad que refleja el movimiento de rocas del tamaño de un automóvil en el canal rocoso y impinado del Río Bonito, por lo regular estarán sujetos a un gran margen de incertidumbre.

Para finalizar, el Huracán Mitch afectó la estabilidad del sistema de los ríos a lo largo de Honduras. Muchos ríos cambiaron su curso o bien ajustaron la configuración de su canal para acomodar los flujos de inundación producidos por el Huracán Mitch. El cambio en los canales posterior al pico de la inundación o la desviación parcial del flujo durante el pico de la inundación, afectaría la confiabilidad de los cómputos basados en las condiciones posteriores a la inundación.

MAGNITUD DE LA INUNDACION DEL HURACAN MITCH

Cierto número de caudales de creciente causados por el Huracán Mitch en Honduras, aparecen entre los más grandes del mundo. Una gráfica de los caudales de creciente registrados en el mundo en relación con el área de drenaje de la cuenca se muestra en la figura 5. Una curva empírica "envolvente" caracteriza el caudal de creciente como una función del área que contribuye en el drenaje, basada en las inundaciones máximas observadas en los ríos de las cuencas de diversos tamaños. Costa (1987) definió la curva empírica para inundaciones record en los Estados Unidos (fig. 5) y comparó esas inundaciones con las más grandes inundaciones registradas en China y en el resto del mundo (Rodier and Roche, 1984). Como se muestra en la figura, los picos del Huracán Mitch están ploteados cerca de las inundaciones record observadas en todo el mundo. El pico de inundación para el Río Bonito

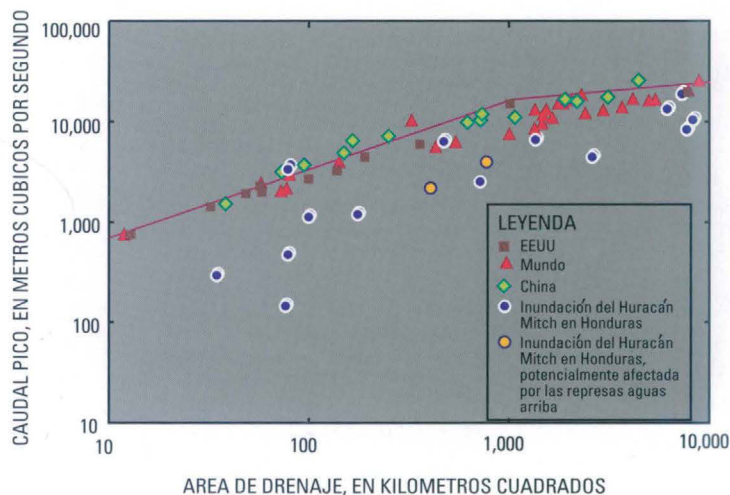


Figura 5. Comparación de los caudales de creciente durante el Huracán Mitch y las más grandes inundaciones registradas en el mundo. La curva empírica envolvente, desarrollada para las inundaciones documentadas en los Estados Unidos, caracteriza los caudales de creciente en términos del área que contribuye al drenaje.

(Sitio 3) al norte de Honduras (caudal registrado de $3,710 \text{ m}^3/\text{s}$; área de drenaje de 81.1 km^2) excede la envolvente y puede calificarse como un record mundial de inundación. Por supuesto que la incertidumbre descrita en la sección anterior es muy relevante durante eventos tan extremos.

Las declaraciones de los oficiales y los residentes a lo largo de Honduras confirmaron que los niveles de inundación del Huracán Mitch fueron más altos que los niveles de cualquier otro huracán durante el siglo 20. El personal del USGS entrevistó residentes en muchas áreas del país. Los niveles de inundación del Huracán Mitch reportados, excedieron los documentados durante el Huracán Greta (1978), Huracán Fifi (1974), Huracán Hattie (1961) y otras tormentas del siglo 20. Los relatos de los testigos oculares, además de la comparación gráfica de los caudales de creciente que se muestran en la figura 5, enfatizan la importancia histórica del Huracán Mitch en Centro América y su significado hidrológico en términos de record mundial de inundaciones.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El Huracán Mitch figura entre las peores tormentas registradas en el Atlántico. Honduras sufrió la más extensa devastación, a medida que la tormenta atravesaba todo el país. Además de las asombrosas pérdidas humanas y económicas, las intensas inundaciones y deslizamientos han alterado drásticamente los procesos hidrológicos y geomorfológicos a lo largo de Honduras.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos, en cooperación con la Agencia del Desarrollo Internacional de los Estados Unidos, condujo 16 mediciones de caudales de creciente producidos por el Huracán Mitch en 8 cuencas hidrográficas del río de Honduras. Los sitios medidos fueron seleccionados basados en el impacto ocasionado por la inundación en los centros poblacionales, en la caracterización hidrológica de la inundación a lo largo del país y en la necesidad de datos ha ser utilizados en el planeamiento de reconstrucción y diseño. Los resultados de estas mediciones proveen a las autoridades Hondureñas y a las organizaciones internacionales de información hidrológica de gran valor para la mitigación de futuros daños por inundaciones, para el diseño y la reconstrucción de la infraestructura nacional y para el manejo de los recursos hídricos de la nación a largo plazo.

Basándonos en comparaciones de las más grandes inundaciones registradas en el mundo, la inundación del Huracán Mitch en Honduras, ciertamente califica como un evento hidrológico extremadamente raro. Aunque los análisis estadísticos de la magnitud de estas inundaciones (recurrencia de 100 años, 500 años, etc.) está más allá del alcance de este estudio, la documentación de los caudales de creciente del Huracán Mitch contribuye al entendimiento de un desastre natural el cual afectará el panorama y a la gente de Honduras por muchos años más.

REFERENCIAS CITADAS

- Benson, M.A., and Dalrymple, Tate, 1967, General field and office procedures for indirect discharge measurements: Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, book 3, chap. A1, 30 p.
- Bodhaine, G.L., 1968, Measurement of peak discharge at culverts by indirect methods: Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, book 3, chap. A3, 60 p.
- Costa, J.E., 1987, A comparison of the largest rainfall-runoff floods in the United States with those of the People's Republic of China and the world in W.H. Kirby, S.Q. Hua and L.R. Beard, eds, Analysis of extraordinary flood events: Journal of Hydrology, v. 96, p. 101-115.
- Costa, J.E., and Jarrett, R.D., 1981, Debris flows in small mountain stream channels of Colorado and their hydrologic implications: Bulletin of the Association of Engineering Geologists, v. XVIII, no. 3, p. 309-322.
- Dalrymple, Tate, and Benson, M.A., 1967, Measurement of peak discharge by the slope-area method: Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, book 3, chap. A2, 12 p.
- Flaxman, E.M., 1974, Potential errors in peak discharge estimates obtained by indirect methods: Portland, Oregon, U.S. Soil Conservation Service, West Technical Service Center, Engineering Technical Note no. 5, 15 p.
- Jarrett, R.D., 1986, Evaluation of the slope-area method for computing peak discharge, in Selected Papers of the Hydrological Sciences, 1986: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2310, p. 13-24.
- Matthai, H.F., 1967, Measurement of peak discharge at width contractions by indirect methods: Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, book 3, chap. A4, 44 p.
- National Climate Data Center, National Oceanographic and Atmospheric Administration, 1999a, The Saffir/Simpson Hurricane Scale: <http://www.ncdc.noaa.gov/ol/satellite/satelliteseye/educational/saffir.html>. Accessed 3 November, 2000.
- National Climate Data Center, National Oceanographic and Atmospheric Administration, 1999b, Mitch: the deadliest Atlantic hurricane since 1780: <http://www.ncdc.noaa.gov/ol/reports/mitch/mitch.html>. Accessed 3 November, 2000.
- Randall, M.L., and Humphrey, J.H., 1984, Estimating peak flows in unstable channels using indirect methods, in Elliott, C.M., River Meandering—Conference Rivers '83, New Orleans, Louisiana, October 24-26, 1983, Proceedings: American Society of Civil Engineers, p. 574-585.
- Reich, C.D., Halley, R.B., and Hickey, T.D., 2001, Coral reefs in Honduras: status after Hurricane Mitch: U.S. Geological Survey Open File Report 01-133, 4 p.
- Rodier, J.A. and Roche, M., 1984, World catalogue of maximum observed floods. IAHS-AISH Publ. 143: 354 p.
- U.S. Agency for International Development, 1999, USAID/Guatemala—Central American program Mitch special objective: improved regional capacity to mitigate transnational effects of disasters: <http://hurricane.info.usaid.gov/spoca.html>. Accessed 31 December, 2001.

Reconocimientos

Los autores agradecen en gran manera la asistencia del personal Hondureño y del USGS que colaboró con las inspecciones de campo y el cómputo de datos de caudal. Contrapartes Hondureños de las siguientes organizaciones participaron en las inspecciones de campo llevadas a cabo de abril a junio de 1999:

- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA)
- Comisión Ejecutiva Valle de Sula (CEVS)
- Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA)
- Municipalidad de Choluteca
- Municipalidad de La Ceiba
- Municipalidad de El Progreso
- Municipalidad de Catacamas
- La Standard Fruit Company

Los autores agradecen a Dave B. Stewart (USGS), quien computó las áreas de drenaje en cada sitio medido y a Irving A. Henrichsen (residente de La Ceiba), quien proveyó invaluable asistencia durante el levantamiento topográfico del Río Cangrejal. Agradecimientos especiales a James G. Rankl (jubilado del USGS), quien completó las revisiones técnicas de las mediciones indirectas. También los autores agradecen a Alene J. Brogan por el esquema del manuscrito y a John M. Evans por las ilustraciones.

La Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID) financió y administró esta actividad, como parte de las actividades de respuesta al desastre por parte del Gobierno de los Estados Unidos en Honduras. El estudio no se hubiese podido llevar a cabo sin este apoyo.

Para información adicional escriba a:

Chief, International Water Resources Branch
U.S. Geological Survey
National Center, Mail Stop 420
12201 Sunrise Valley Drive
Reston, VA 20192

Copias de este reporte pueden ser compradas en:

U.S. Geological Survey
Information Services
Box 25286
Federal Center
Denver, CO 80225



Printed on recycled paper