

# Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la microcuenca La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras

**Lisandro Rivera Torres**

*lisanri@yahoo.com*

**Hernán Solís**

*CATIE. hsolis@catie.ac.cr*

*hsolis48@yahoo.com*

**Francisco Jiménez**

*CATIE. fjimenez@catie.ac.cr*

**Jorge Faustino**

*CATIE. jfaustino@cablecolor.hn*

*faustino@catie.ac.cr*



El problema fundamental del río La Soledad es su alto nivel energético, ya que presenta velocidades altas con fuerte poder erosivo. Es conveniente establecer mecanismos de monitoreo e instaurar un sistema de alerta, que permita conocer el comportamiento de sus afluentes.

## Resumen

El estudio se realizó en la microcuenca del río La Soledad de Valle de Ángeles, Francisco Morazán, Honduras, con el fin de establecer lineamientos de base para diseñar esquemas de ordenamiento territorial urbano para los sitios críticos a inundaciones en la microcuenca. La evaluación de la vulnerabilidad se realizó mediante el siguiente procedimiento: reconocimiento del área de estudio y recopilación de información; selección de variables socioeconómicas y biofísicas; propuesta metodológica para estimar la vulnerabilidad de la microcuenca.

La microcuenca La Soledad presenta una vulnerabilidad global alta a inundaciones (62%). La vulnerabilidad institucional es la más alta. Se proponen estrategias a largo y corto plazo y medidas correctivas y preventivas para reducir la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones.

Los mapas de amenaza de inundación obtenidos con los modelos hidrológico, hidráulico y del SIG, sumados a la información socioeconómica de las planicies de inundación, constituyen herramientas muy útiles y accesibles para los líderes locales y nacionales encargados de la planificación y control de esas áreas.

**Palabras claves:** Inundación; manejo de cuencas; vulnerabilidad; modelación hidrológica; modelación hidráulica; SIG; río La Soledad; Honduras.

## Summary

**Evaluation of the danger and vulnerability to floods in the micro-watershed La Soledad, Valley of Angels, Honduras.** The study was carried out in the Río La Soledad micro-watershed, Valle de Angeles, Francisco Morazán, Honduras. Its purpose was to define headlines for the development of urban land management strategies in areas prone to floods. Vulnerability was determined with the following procedure: evaluation of the study area and collection of information; selection of socioeconomic and biophysical variables; methodological proposal to evaluate the vulnerability in the micro-watershed.

La Soledad micro-watershed presents a high global vulnerability to floods (62%). The institutional vulnerability is the highest. Long and short-term strategies are proposed, including corrective and preventive measures to reduce danger and vulnerability in flood prone areas.

Flood prone area maps developed with the hydrologic, hydraulic and GIS models, as well as the socio-economic data, are a useful and accessible tools to local and national decision makers for land use planning.

**Keywords:** Flooding; watershed management; vulnerability; hydrologic modeling; hydraulic modeling; GIS; La Soledad river; Honduras.

Las repetidas inundaciones que se han presentado en los últimos años constituyen el principal evento natural que afecta al territorio hondureño. Valle de Ángeles es una zona turística muy importante por su belleza natural, clima, ubicación y distancia con respecto a Tegucigalpa. En Valle de Ángeles, el huracán Mitch provocó daños a las obras de infraestructura vial y a los servicios básicos de agua y energía eléctrica. El huracán y las inundaciones asociadas pusieron en evidencia la

vulnerabilidad de la microcuenca La Soledad, en Valle de Ángeles, a los desastres naturales, por la carencia de planes de prevención, ausencia de líneas de acción preventiva y de mitigación de catástrofes.

Entre el total de 298 municipios que hay en el país, se seleccionaron los 60 más vulnerables y se eligieron los primeros 15 para trabajar en la primera etapa del Proyecto de Mitigación de Desastres Naturales (PMDN 2002). Valle de Ángeles es uno de esos municipios.

El presente estudio permitirá establecer lineamientos de base para diseñar esquemas de ordenamiento territorial urbano para los sitios críticos a inundaciones en la microcuenca La Soledad. Tales lineamientos servirán, además, como instrumento en el proceso de toma de decisiones para los entes municipales o manejadores de la cuenca. Para evaluar la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones y proponer estrategias preventivas y correctivas se emplearon modelaciones hidrológicas (mo-

delo HEC-HMS) e hidráulicas (modelos HEC-RAS y HEC-GeoRAS), para calcular los niveles y planicies de inundación de los ríos más peligrosos. Las planicies de inundación se mapearon con el modelo HEC-GeoRAS y el software ArcView; además, se tomaron en cuenta una serie de variables socioeconómicas y biofísicas.

## Metodología

### Aspectos generales

El presente estudio comprende una serie de fases consecutivas que incluyen la recopilación de información sobre lluvias y de uso del suelo para las modelaciones hidrológicas e hidráulicas con ArcView, a fin de generar mapas de amenazas de inundación que, junto con información recabada en la comunidad, permitirán evaluar la amenaza en y la vulnerabilidad de la microcuenca La Soledad.

La microcuenca La Soledad es de tercer orden y pertenece a la subcuenca del río Yesguare, parte alta de la cuenca del río Choluteca en la vertiente del Pacífico (FOCUENCAS 2001). La microcuenca tiene un área de 29,22 km<sup>2</sup> (área de modelación) y se localiza geográficamente entre 14°08'24" y 14°11'24" Norte, y entre 87°01'12" y 87°06'00" Oeste.

### Recopilación de información hidrometeorológica

En la microcuenca La Soledad no hay estaciones pluviométricas ni pluviográficas, razón por la cual la información se recolectó de estaciones aledañas. La falta de información hidrológica constituye una limitación importante para conocer el aporte de los distintos ríos. La información pluviográfica se obtuvo de la estación Tegucigalpa, ubicada en el Aeropuerto Internacional Toncontín. La separación del centro del área de la microcuenca a esta estación es de 21,4 km, la elevación es de 1000 msnm.

La información pluviométrica se recopiló de la estación Santa Lucía, a 8,7 km del centro del área de la microcuenca y elevación de 1500 msnm.

### Análisis estadístico

Los datos de precipitaciones máximas diarias anuales (en milímetros) se tomaron de los registros de 1985 a 2001 (17 años); se consideraron los dos días continuos de mayor precipitación mensual en el año. La información se tabuló y se procedió con el análisis de distribución Log-Pearson III. Este análisis se realizó en hoja electrónica de Excel para obtener el número de datos, media, desviación estándar y coeficiente de sesgo (U.S. Water Resources Council 1982).

### Modelación hidrológica

La modelación hidrológica consideró los afluentes permanentes del río La Soledad (Agua Amarilla, San Francisco, Los Jutes, El Carrizal y Agua Dulce) y los no permanentes (Los Pinos, La Seca y La Pradera). El análisis hidrológico se realizó por medio del modelo hidrológico HEC-HMS (2000), el cual permite calcular el caudal en la cuenca, para lo que se requiere la distribución espacial en períodos de retorno de 2, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años y el cálculo de la distribución temporal de la lluvia, el cual se obtuvo del hietograma del huracán Mitch y el método de número de curva del Servicio de Conservación de Suelos.

### Procesamiento en el sistema de información geográfico

Los parámetros de entrada para el HEC-HMS se obtuvieron del procesamiento con ArcView 3.2 de los mapas de modelo de elevación digital, drenajes principales, textura, uso de suelo y cobertura, límites de cuenca y subcuencas, cálculo del número de curva (CN) y ubicación de estaciones meteorológicas.

Para calcular el valor del número de curva de escorrentía de cada subcuenca CN(II) se tomaron en cuen-



La Quebrada Agua Amarilla tiene una alta velocidad de socavación, un caudal pico considerable y drena por donde hay mayor concentración de población, lo que causa graves daños a la infraestructura.

Fotos: PMDN.



ta las variables cobertura y profundidad del suelo, condición hidrológica y textura del suelo según grupo hidrológico. Por medio del SIG se calcularon los valores de CN para cada subcuenca. (Solís 2001).

#### Modelación hidráulica

La modelación hidráulica consideró los afluentes permanentes del río La Soledad. El modelo HEC-RAS (2001) requiere de valores de entrada de datos geométricos, de caudal, de la sección transversal y el sistema esquemático del río. Se utilizó el modelo Hec-GeoRas (Villegas 2002) con un modelo de elevación digital del terreno (MED) con una resolución de 10 m.

#### Análisis de las planicies de inundación y sitios críticos

La definición de las planicies de inundación se basó en el conocimiento local, el criterio de los hidrogeólogos del PMDN y la modelación hidráulica. Para recopilar el conocimiento local, se celebraron tres talleres en la ciudad de Valle de Ángeles patrocinados por el PMDN, con la participación de los principales actores del municipio.

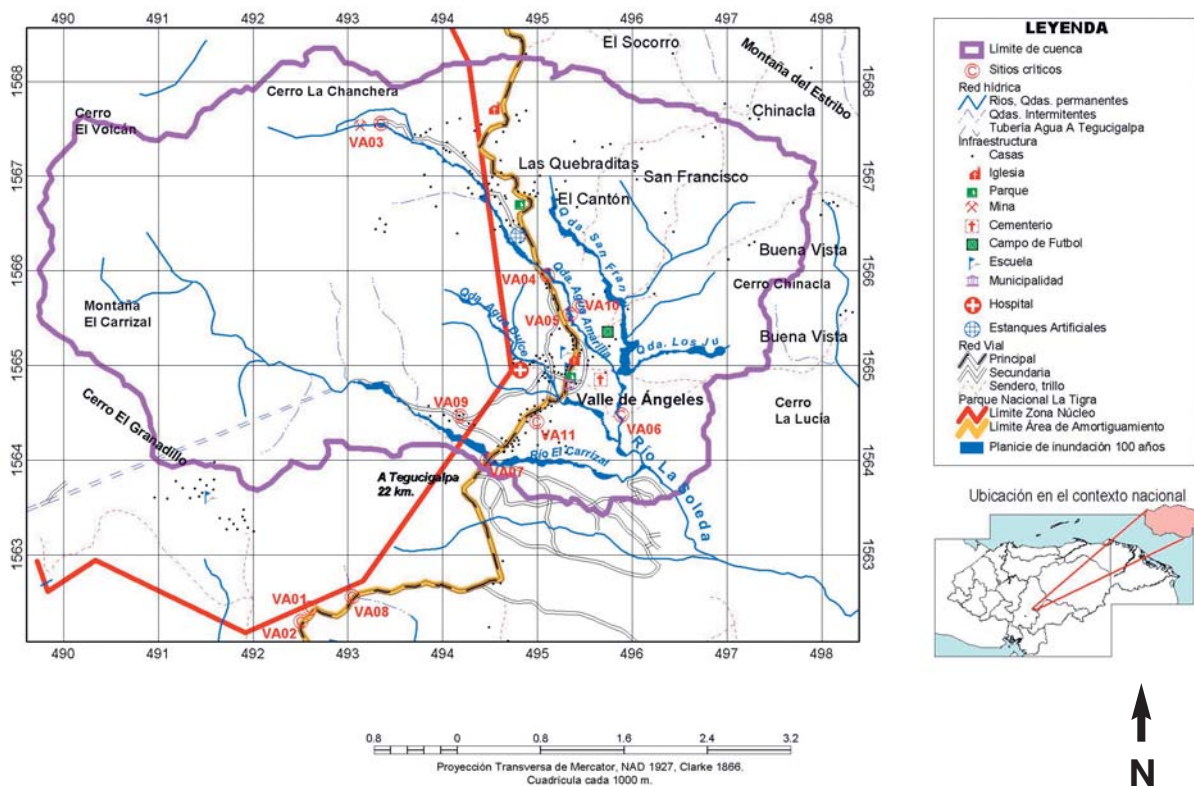
En el primer taller se seleccionaron 11 sitios críticos vulnerables a inundación (Figura 1). Cada sitio fue visitado para elaborar fichas descriptivas, con la participación de informantes de la comunidad; también se mapearon y ubicaron en la

respondiente hoja cartográfica. En el Cuadro 1 se presenta un ejemplo de ficha de sitio crítico (PMDN 2002).

#### Procedimiento metodológico para evaluar la vulnerabilidad

La evaluación de la vulnerabilidad de la microcuenca La Soledad se basó en la metodología generada por Cáceres (2001). Se analizó la vulnerabilidad de variables socioeconómicas (educativa, institucional, social, política, económica, ideológica) y de variables biofísicas (física, técnica y ecológica).

Se desarrolló una matriz con el fin de obtener la información necesaria para determinar el grado de



**Figura 1.** Mapa de sitios críticos a inundación en Valle de Ángeles y límite del Parque Nacional La Tigra, Honduras

vulnerabilidad. Se utilizó una escala de cinco índices posibles de caracterización y ponderación para cada tipo de vulnerabilidad. El índice de vulnerabilidad se definió en Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo (4, 3, 2, 1 y 0, respectivamente). La escala de vulnerabilidad se definió en forma porcentual: de 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100, que corresponden a vulnerabilidades Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta, respectivamente. Una presentación detallada de la metodología está disponible en Rivera (2002).

### Resultados y discusión

La microcuenca del río La Soledad, según modelación hidrológica para el periodo de retorno de 100 años, presenta en la salida un caudal pico de 199,26 m<sup>3</sup>/s (Cuadro 2). El río tiene un alto nivel energético, cauce muy estrecho y velocidades altas en distancias cortas con pendientes fuertes. Todas estas condiciones naturales favorecen la ocurrencia de inundaciones en Valle de Ángeles (Cuadro 3).

Hirt *et al.* y Hargreaves, citados por Rivera (2000), analizan la fisiografía del territorio de Honduras con respecto a los ríos, y concluyen que los ríos van desde casi 2000 msnm hasta 0 msnm en una distancia corta. Esto hace que la pendiente sea mayor y que los ríos se encuentren en cauces muy pronunciados (en forma de “V”) y posean un patrón de drenaje dendrítico circular. Este factor hace que los ríos sean poco eficientes en la evacuación del agua precipitada.

Los resultados obtenidos con la modelación hidráulica demuestran que la geomorfología y la conducta hidráulica de los ríos de la microcuenca La Soledad presentan condiciones similares al resto del territorio hondureño. La quebrada Agua Amarilla es la que ocasiona más daños porque tiene una alta velocidad de socavación y un número de Froude superior al resto (super-

**Cuadro 1.**

Ficha de sitio crítico El Edén, Quebrada Agua Amarilla

<b>Ficha de sitios críticos</b>	<b>Código: VAI4</b>
Municipio Valle de Ángeles	Departamento Francisco Morazán
Lugar	El Edén, Quebrada Amarilla, Río La Soledad
Coordenadas	Longitud: 14°09'53"      Latitud: 87°02'15"
Amenaza	Inundación y alta velocidad del agua
Problemas	- Destrucción de alcantarillas - Daños y destrucción de casas - Incomunicación entre Valle de Ángeles y San Juancito - Interrupción de agua potable y energía eléctrica
Recomendaciones	- Planificación urbana - Rediseño de puente - Protección de márgenes con espigones

**Cuadro 2.**

Caudales estimados para el período de retorno de 100 años

Subcuenca	Precipitación (mm)	Caudal pico m <sup>3</sup> /s	Área de drenaje km <sup>2</sup>	Caudal específico m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
Agua Amarilla	226	42,1360	6,030	6,99
San Francisco	226	45,1230	6,160	7,32
Los Jutes	226	6,0219	0,740	8,14
Unión A	226	92,3630	12,930	7,14
Agua Dulce	226	23,5550	3,290	7,16
Los Pinos	226	3,8481	0,480	8,02
Unión B	226	119,3200	16,700	7,14
El Carrizal	226	77,9050	11,740	6,64
La Seca	226	1,9441	0,240	8,10
Unión C	226	196,0300	28,680	6,84
La Pradera	226	4,4460	0,540	8,23
Unión D	226	199,2600	29,220	6,82

crítico); además, su caudal pico es considerable, su longitud es mayor que las demás quebradas, y drena por donde hay mayor concentración de población.

La quebrada San Francisco tiene una alta velocidad, un espejo de agua considerable, un número de Froude alto y un caudal pico similar al de Agua Amarilla. Los Jutes, en cambio, no representa un mayor peligro pues su comportamiento hidráulico es bajo. El Carrizal tiene un caudal pico y un espejo de agua mayores que los otros afluentes; sin embargo, su velocidad y número de

Froude son bajos. Para efectos de inundación, este río no representa un peligro mayor para la población de Valle de Ángeles.

En sus condiciones institucionales es donde la cuenca es más vulnerable (Cuadro 4 y Figura 2), por falta de planes de prevención de inundación, falta de coordinación interinstitucional y capacitación al personal técnico de las instituciones en temas relacionados con las inundaciones. La vulnerabilidad técnica también es alta; las obras hidráulicas tienen poca capacidad hidráulica y diseños inadecuados.

**Cuadro 3.**

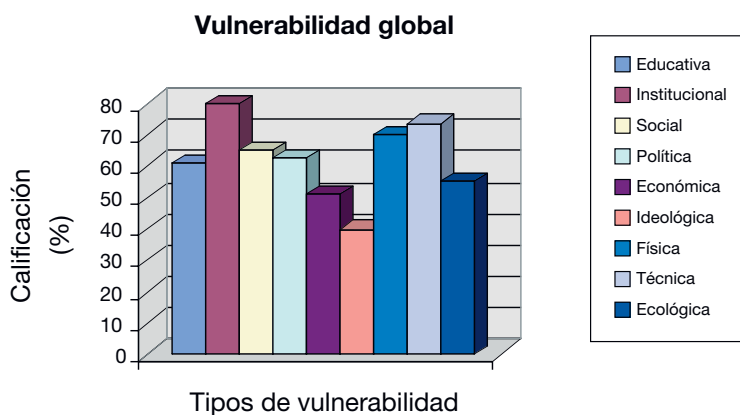
Características hidráulicas del río La Soledad para el período de retorno de 100 años, Valle de Angeles, Honduras

Subcuenca	Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad del canal (m/s)	Espejo de agua (m)	Número de Froude	Longitud (m)
Agua Amarilla	42,14	4,48	14,59	1,63	3956
San Francisco	45,12	3,89	24,1	1,52	2031
Los Jutes	6,02	2,85	6,92	1,61	979
El Carrizal	77,90	3,47	34,86	1,35	3434
Agua Dulce	23,56	3,88	12,05	1,45	2447

**Cuadro 4.**

Resultado general de la evaluación de la vulnerabilidad de la microcuenca La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras

Tipo de vulnerabilidad	Promedio por vulnerabilidad	Total máximo posible	Vulnerabilidad existente (%)	Valoración de la vulnerabilidad
Educativa	2,45	4	61,2	Alta
Institucional	3,20	4	80,0	Alta
Social	2,60	4	65,0	Alta
Política	2,50	4	62,5	Alta
Económica	2,05	4	51,2	Media
Ideológica	1,60	4	40,0	Baja
Física	2,80	4	70,0	Alta
Técnica	2,95	4	73,8	Alta
Ecológica	2,20	4	55,0	Media
Vulnerabilidad global	2,48	4	62,0	Alta



**Figura 2.** Tipos de vulnerabilidad y su calificación en la microcuenca La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras

En cuanto a la vulnerabilidad física, los servicios básicos de agua y energía eléctrica se ven afectados cada vez que ocurren eventos de intensidad media de lluvia. La vulnerabilidad social también es alta por el poco liderazgo y falta de organización comunitaria, al igual que la vulnerabilidad económica, porque los predios para construir están fuera del alcance de las posibilidades económicas de los habitantes de Valle de Ángeles (alrededor de US\$23,5/m<sup>2</sup>), quienes con sus bajos ingresos (alrededor de US\$4,0/día) no tienen más posibilidades que construir en áreas de riesgo a inundaciones.

La vulnerabilidad política resultó alta por la falta de aplicación de las leyes. Lo mismo sucede con la vulnerabilidad educativa, porque la mayor parte de la población no escucha programas radiales ambientales y la generalidad de los productores no recibe asistencia técnica. La vulnerabilidad ecológica, pese a tener valores por debajo de la vulnerabilidad global, es la que potencialmente presenta mayor tendencia a incrementarse, por la falta de tierras aptas para cultivos, falta de leña y plagas que atacan el bosque de pinar.

La vulnerabilidad ideológica de la población de Valle de Ángeles resultó ser la más baja, porque sólo ante la amenaza y presencia de inundaciones surge el espíritu de unión.

En general, la microcuenca La Soledad se califica con vulnerabilidad “alta”, pero si se aplicaran medidas correctivas y preventivas se podría reducir a vulnerabilidad media.

### Estrategias para reducir la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones

#### Estrategias a largo plazo

El Comité de Emergencia Municipal debería utilizar esta información como base para trabajar en la prevención y mitigación de inundaciones, así como para formular y gestionar proyectos.

El Proyecto FOCUENCAS es la única institución que está trabajando en el manejo de la microcuenca La Soledad. Es urgente incrementar la presencia de las instituciones gubernamentales y organizaciones de apoyo, con el fin de reforzar las debilidades institucionales, así como la participación activa y coordinada de las instituciones en la formulación y ejecución de planes de prevención. También se debería fomentar el manejo de la microcuenca mediante un enfoque integral de una red de municipios, y promover la participación de las comunidades en la prevención y mitigación de las inundaciones.

#### Estrategias a corto plazo

Es urgente dar prioridad y agilizar los trabajos de reconstrucción de la infraestructura dañada, principalmente en la quebrada Agua Amarilla. Además, se deben crear espigones para proteger los bancos del río, así como las pilas y los estribos de los puentes para evitar socavación; hay que depositar rocas grandes en las curvas cóncavas del cauce, donde el golpe del agua se concentra y es más fuerte.

Hay que evitar la construcción de pilas centrales en puentes de luz

reducida pues bloquean el flujo de agua y aumentan la posibilidad de atascamiento de árboles y piedras.

Se debe evitar la construcción de alcantarillas, pues se bloquean fácilmente y provocan el rompimiento de las carreteras. Al cruzar cuerpos de agua, las tuberías de conducción de agua deben ubicarse en sitios seguros para evitar que sean destruidas durante las inundaciones.

En las áreas con potencial de urbanización deben delimitarse las planicies de inundación de mayor peligro, según los mapas de amenazas. La Municipalidad debe hacer cumplir las ordenanzas.

A lo largo de la quebrada Agua Amarilla, después del huracán Mitch se han construido muros dentro de las planicies de inundación, los cuales son obstáculos para el agua y deben ser eliminados.


Es conveniente establecer mecanismos de monitoreo e instaurar un sistema de alerta, que permita conocer el comportamiento de los afluentes del río La Soledad. Los agricultores deben recibir capacitación en la aplicación de prácticas de conservación de suelos y reducción de la deforestación, con el fin de disminuir las altas tasas de escurrimiento.

Los trabajos de planificación y uso de la tierra a nivel rural y de ordenamiento territorial a nivel de la ciudad deben ser prioritarios. También es conveniente establecer jornadas de trabajo comunitario con estudiantes de último año de Bachillerato en los diferentes institutos del municipio para crear conciencia y promover la adopción de medidas de prevención de desastres naturales.

#### Conclusiones

Mediante la modelación hidrológica e hidráulica se logró elaborar un mapa de amenazas, básico para la planificación del desarrollo urbano de Valle de Ángeles. Este mapa es una herramienta base fácil de interpretar por la población y la Municipalidad.

El problema fundamental del río La Soledad es su alto nivel energético, ya que presenta velocidades altas con fuerte poder erosivo. En los sitios críticos o susceptibles a daños por inundaciones, se prescribieron trabajos para reducir el impacto.

La estimación y evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica es tan importante como la biofísica porque permitió percibir la situación real de la población. 

#### Literatura citada

- Cáceres, K. 2001. Degradación y vulnerabilidad a desastres naturales de la Microcuenca Los Naranjos, Lago de Yojoa, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 110 p.
- HEC-RAS (River Analysis System). 2001. Hydraulic reference manual Version 3.0. Davis, CA, US Army Corps of Engineers. p. irr.
- HEC-HMS (Hydrologic modeling system). 2000. Technical reference manual Davis, CA, US Army Corps of Engineers. p. irr.
- FOCUENCAS (Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Local para el Manejo de Cuencas y la Prevención de Desastres Naturales). 2001. Diagnóstico y línea base de la microcuenca del río La Soledad Valle de Ángeles, Honduras.
- PMDN (Proyecto de Mitigación de Desastres Naturales). 2002. Componentes de análisis de vulnerabilidad, identificación de medidas y diseño de un plan de capacitación a nivel municipal. Tegucigalpa, Honduras, PMDN-CATIE.
- Rivera, S. 2000. Estrategia del manejo integrado de cuencas hidrográficas en Honduras: una propuesta de desarrollo sostenible. Proyecto de Desarrollo Forestal, ESNACIFOR-USAID. Consultado el 10 de noviembre del 2002. Disponible en: [http://rds.org.hn/forestal/calidad\\_de\\_vida/cuencas/cuencas\\_honduras\\_porRivera.pdf](http://rds.org.hn/forestal/calidad_de_vida/cuencas/cuencas_honduras_porRivera.pdf)
- Rivera Torres, L.H. 2002. Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la microcuenca La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 176 p.
- Solís, H. 2001. Apuntes del curso de bases hidrológicas para el manejo de cuencas hidrográficas. Turrialba, CR, CATIE.
- U.S. Water Resources Council. 1982. Guidelines for determining flood flow frequency. Reston, VA, U.S. Geological Survey.
- Villegas, V. 2002. Hec-GeoRas 3.0. Manual en castellano. Consultado el 10 de junio del 2002. Disponible en <http://home3.worldonline.es/juanmavi/sig.htm>