

# EDICION ESPECIAL PARA HONDURAS

## Manual para el Diseño, Instalación, Operación y Mantenimiento de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Inundaciones

Módulo I  
OBSERVACIÓN Y MONITOREO  
HIDROMETEOROLÓGICO

Módulo II  
PRONÓSTICO DE CRECIDA

Programa  
Centroamericano  
para la  
Alerta Temprana  
ante Inundaciones  
en Pequeñas Cuencas  
(SVP) y Reducción  
de la Vulnerabilidad:  
Desarrollo de una  
Plataforma Regional



Organización de los  
Estados Americanos

ISBN 978-0-8270-5455-4 (v.1)

# EDICION ESPECIAL PARA HONDURAS

## Manual para el Diseño, Instalación, Operación y Mantenimiento de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Inundaciones



Organización de los  
Estados Americanos



Federal Foreign Office



**Organización de los Estados Americanos**

1889 F St. N.W. Washington D.C. 20006, USA

## OAS Cataloging-in-Publication Data

Manual para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas comunitarios de alerta temprana ante inundaciones.

p. : ill. ; cm. (Programa Centroamericano para la Alerta Temprana ante Inundaciones en Pequeñas Cuencas (SVP) y Reducción de la Vulnerabilidad : Desarrollo de una Plataforma Regional)

ISBN 978-0-8270-5455-4 (v.1)

ISBN 978-0-8270-5456-1 (v.2)

1. Floodplain management--Central America--Handbooks, manuals, etc. 2. Floods--Early warning systems--Central America--Handbooks, manuals, etc. 3. Disaster preparedness--Early warning systems--Central America. I. Organization of American States. Department of Sustainable Development. II. Series.

GB1399 .P76 2010

Producción: Departamento de Desarrollo Sostenible

Secretaría General

Organización de los Estados Americanos

Mayo 2010

Las opiniones y puntos de vista expresados en este documento son exclusivamente para fines informativos y no representan las opiniones, ni las posiciones oficiales de la Organización de los Estados Americanos, su Secretaría General, ni de ninguno de sus Estados Miembros.

### **Derecho de autor**

© (2010) Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Publicado por el Departamento de Desarrollo Sostenible. Todos los derechos reservados bajo las Convenciones Internacionales y Panamericanas. Ninguna porción del contenido de este material se puede reproducir o transmitir en ninguna forma, ni por cualquier medio electrónico o mecánico, incluyendo fotocopiado, grabado, y cualquier forma de almacenamiento o extracción de información, sin el consentimiento previo o autorización por escrito de la casa editorial.

# AGRADECIMIENTOS

La elaboración y publicación de este Manual no habrían sido posibles sin el apoyo de las personas que se indican a continuación.

Por su compromiso e incasable empeño que ayudaron a impulsar la elaboración de este Manual en beneficio de nuestras comunidades más vulnerables y el constante desarrollo de nuestras naciones, por medio de su aporte profesional, sus insumos técnicos y su participación para el trabajo en que se basa esta publicación:

En Honduras, Juan José Reyes, Director del Departamento SAT, y Oscar Mencía, Director de Preparación y Respuesta, ambos de la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO).

En Belice, Rudolph Williams, Director del Departamento de Hidrología del Instituto Meteorológico Nacional, y Ramón Frutos, Hidrólogo Consultor.

En Guatemala, Víctor Manuel Pérez González, Jefe del Departamento de Hidrología del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH); Jairo Arreaga, Jefe del Departamento de Sistemas de Alerta Temprana de la Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (SE-CONRED), Karen Arredondo y Oscar Cáceres, quienes laboran en este Departamento.

En El Salvador, Ana Deisy López Ramos, Directora General del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), Mauricio Martínez, Coordinador del Centro de Pronóstico Hidrológico del SNET, Joaquín Guzmán y Enrique Anaya Von Beck, Hidrólogos Consultores.

En Nicaragua, Isaías Montoya Blanco, Director General de Recursos Hídricos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Silvia Martínez España, Directora del Departamento de Recursos Hídricos del INETER, y Mariano Flores Guerrero, quien trabaja en el Departamento de Soporte Técnico de Informática del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED).

En Panamá, Luz Graciela de Calzadilla, Gerente del Departamento de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A (ETESA), Jannette Ellis, Coordinadora de Organización Comunitaria del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), y Eberto E Anguizola, Hidrólogo Consultor.

En República Dominicana, Héctor Rodríguez M (qepd), Jefe del Departamento de Recursos Hídricos del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), Bolívar Ledesma, Director del Departamento de Meteorología de la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET), Gustavo Lara, Director de la Cruz Roja Dominicana, y Fidel Pérez, Hidrólogo Consultor.

Nuestro reconocimiento y especial agradecimiento a todos los miembros de las comunidades de Douglas Village, San Román, Santa Cruz y San Antonio, en **Belice**; Municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa, Comunidades San Rafael Sumatán, El Naranjo, El Carrizal, Cerro Colorado, Seguridad Safari, Ingenio Pantaleón, Municipalidad de San Pedro Yepocapa, Aldea El Socorro, Aldea Canoguitas, Aldea Santa Ana Mixtán, Aldea Texcuaco, Caserío Chontel, Aldea Santo Domingo Los Cocos, Aldea Santa Odilia, Aldea Santa Marta del Mar, Barra del Coyolate, y Aldea Rama Blanca en **Guatemala**; San Felipe, ubicada en el Cantón San Felipe, Municipio de Concepción Batres, Departamento de Usulután, en **El Salvador**; de las ciudades de Estelí y Condega, en **Nicaragua**; y en **República Dominicana** a las comunidades de las provincias de Barahona, Bahoruco, Independencia, San Juan y Azua, como Jaquimeyes y El Peñón, los poblados de Tamayo, Ubilla y Batey, los barrios Mesopotamia y El Cepillo de la ciudad de San Juan de la Maguana; Padre de Las Casas y Guayabal, Las Canitas, las Yayas de Viajama, y Los Cacaos.

Deseamos agradecer igualmente por su apoyo e insumos técnicos durante el proceso de implementación del proyecto y en las recomendaciones para la realización de este Manual, a todas las organizaciones que trabajan con SATIs en Centro America, específicamente al Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales (CEPREDENAC); y a las ONGs Acción contra el Hambre en Guatemala, CARE El Salvador, Agro Acción Alemana en Nicaragua, y la Cruz Roja Dominicana.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento al Gobierno de Alemania, a través del Ministerio de Relaciones Exteriores, por el apoyo financiero que hizo posible la elaboración de este manual; a la Plataforma Global para la Promoción de la Alerta Temprana de las Naciones Unidas (UN/GPPEW por sus siglas en inglés), en especial a Sandra Amlang, a Stefanie Dannenmann y a Douglas Pattie, por su estímulo, paciencia y aportes decisivos; y a la Oficina Regional para las Américas de la Secretaría de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, UNISDR Américas.

Este Manual se realizó bajo la coordinación y supervisión del Equipo Técnico de la Secretaría General de la OEA (SG/OEA):

Pablo González, Jefe de la Sección de Manejo del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático, Departamento de Desarrollo Sostenible, y Coordinador General de la elaboración del Manual, quien redactó la Introducción y contribuyó con sugerencias a lo largo del desarrollo del Manual, para mejorar la publicación.

Javier López Medina, Coordinador e Hidrólogo Principal del Proyecto "Programa Centroamericano para la Alerta Temprana ante Inundaciones en Pequeñas Cuencas (SVP) y Reducción de la Vulnerabilidad: Desarrollo de una Plataforma Regional", quien fue responsable por la supervisión técnica y contribuyó con conocimiento y experiencia en la preparación de los Módulos I y II, y en la compaginación del Manual, incluyendo la conceptualización, formulación y elaboración de los Módulos III y IV.

Pedro Tax, Hidrólogo Consultor de Guatemala, quien hizo una contribución sustancial a la conceptualización, formulación y elaboración de los Módulos I y II.

Rosa Trejo, Asistente del Proyecto, quien apoyó la preparación y revisión de esta publicación.

## PROLOGO

El Gobierno de Honduras, a través de la Comisión Permanente de Contingencias, COPECO, participó en la elaboración de este Manual para el Diseño, Instalación, Operación y Mantenimiento de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Inundaciones y llevó adelante un proceso de consulta y validación, junto con las siguientes organizaciones de gobierno, agencias de cooperación y organizaciones no gubernamentales (ONG):

- Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH)
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN)
- Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA)
- Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE)
- Comisión para el Control de Inundaciones en el Valle de Sula
- Comité de Emergencia Municipal de Marcovia, Departamento de Choluteca
- Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en Honduras
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en Honduras
- GOAL
- Ayuda en Acción
- Plan Internacional en Honduras

El proceso de validación se dio en dos niveles:

- Análisis del contenido del Manual como una iniciativa de COPECO en el cual participaron agencias gubernamentales, ONG y agencias de cooperación internacional; y
- Desarrollo del Taller Institucional Manual SAT Inundaciones realizado el 09 de Abril de 2003, en el Salón Presidencial de COPECO, con el apoyo del Departamento de Desarrollo Sostenible de la Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral (OEA/DDS) de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, en el marco de la asistencia técnica que esta organización brinda para el Fortalecimiento de las Capacidades de COPECO para la Alerta Temprana ante Inundaciones, con el financiamiento de la República Popular de China.

Participaron en este proceso de validación más de 40 expertos, representando por lo menos 12 organizaciones. Como resultado de este proceso, COPECO adopta este Manual, en su Edición Especial para Honduras, como el instrumento orientador y guía para el Diseño, Instalación, Operación y Mantenimiento de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Inundaciones.

Presentan esta Edición Especial para Honduras,

Lisandro Rosales  
Ministro Comisionado  
Comisión Permanente de Contingencias, COPECO  
Honduras

V. Sherry Tross  
Secretaria Ejecutiva  
Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral  
Secretaría General OEA



# 1. INTRODUCCIÓN

Este manual ha sido preparado para orientar a técnicos y profesionales encargados del diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas comunitarios de alerta temprana ante inundaciones. El mismo fue elaborado en el marco del *Programa Centroamericano para la Alerta Temprana ante Inundaciones en Cuencas Menores (SVP) y Reducción de la Vulnerabilidad: Desarrollo de una Plataforma Regional* que el Departamento de Desarrollo Sostenible de la Secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral (OEA/DDS) de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos ejecuta en colaboración con la Plataforma Global para la Promoción de la Alerta Temprana de las Naciones Unidas (UN-PPEW en sus siglas en inglés) y la Secretaría de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR en sus siglas en inglés), con el financiamiento del Gobierno de Alemania.

Este manual recoge la experiencia del OEA/DDS desarrollada desde 1995, cuando en colaboración con la Oficina de Asistencia Humanitaria de la Comisión Europea (ECHO) y los gobiernos de Irlanda y Turquía inició el SVP, implementando Sistemas de Alerta Temprana ante Inundaciones (SATIs) en más de 20 cuencas menores en Honduras, con un número similar en Guatemala y Nicaragua. En 2008, con el apoyo del Gobierno de Alemania, el SVP extendió sus esfuerzos al resto de los países de la región y a la República Dominicana. De igual manera, este manual es el resultado de un análisis cuidadoso de otras experiencias que se han venido desarrollando desde ese entonces en la región. Muy particularmente, este manual recoge la experiencia en Centroamérica del Programa de Preparación a Desastres de ECHO (DIPECHO).

Este manual se basa en el *Manual para el Diseño e Implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en Cuencas Menores*, que el OEA/DDS publicara en 2001, y el que en 2006 la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (FICR) publicara, con el apoyo técnico del OEA/DDS y el financiamiento del Consorcio ProVention. Ambos manuales proveen información para que, como parte de talleres de capacitación, los miembros de las comunidades puedan diseñar, construir, instalar y monitorear los instrumentos de medición para identificar y comunicar alertas tempranas.

También se ha revisado el Manual del Participante<sup>1</sup> preparado como material base para el curso Sistemas de Alerta Temprana que se ha dictado en Honduras.

Durante los últimos 15 años se han desarrollado en los países que conforman el Istmo Centroamericano y en República Dominicana más de 80 SATIs, los

---

1 Proyecto de Manejo Integrado de Recursos Naturales. USAID/MIRA-COPECO.

cuales han aplicado parcialmente los manuales elaborados por el OEA/DDS y la FICR. Una característica común en la mayoría de estos SATIs ha sido la carencia de un análisis hidrológico que permita conocer el comportamiento de la cuenca y la respuesta ante determinados eventos meteorológicos, lo cual permitiría definir y validar los umbrales de alerta y aumentar los tiempos para la respuesta ante una emergencia.

Otra característica sobresaliente ha sido la falta de integración de información de pronóstico de crecidas que proveen los organismos nacionales de hidrometeorología. En los últimos años se ha venido observando un creciente uso y disponibilidad de sistemas de alta tecnología, tales como el radar Doppler y los sistemas de observación atmosférica satelitales, que permiten desarrollar modelos y pronósticos de tiempo y, con ellos, dar avisos con mayor tiempo de anticipación. Estos avisos, en una región donde prevalecen tiempos de concentración muy cortos –a veces de hasta menos de una hora y en muchos casos de hasta menos de 30 o 15 minutos, los cuales producen frecuentes inundaciones ‘repentinas’, pueden aumentar el tiempo de preparación, y consecuentemente, mejorar los tiempos de respuesta. Sin embargo, la falta de integración de la información que esta tecnología provee contribuye a una preparación y respuesta ineficientes.

Este nuevo manual entonces integra estas consideraciones expandiendo su alcance y contenido, proponiendo técnicas y metodologías para realizar análisis hidrológicos que permitan una mejor definición de umbrales, así como también la elaboración de pronósticos de crecidas. Ambos como parte integral de los SATIs.

Asimismo, se integran nuevos conocimientos y experiencias desarrolladas en los países de la región. Por ejemplo, la guía para el diseño y operación de sistemas de alerta temprana que la Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de Guatemala (SE-CONRED) estaba elaborando al momento de la preparación de este manual, proveyó información valiosa para la orientación sobre las acciones que se deben tomar para la organización comunitaria ante la presencia de eventos que pudieran ocasionar daños en las comunidades.

Finalmente, es el deseo del OEA/DDS que este manual complemente los manuales orientados a los miembros de la comunidad ya existentes, sirviendo de guía a las agencias de cooperación internacional, a donantes bilaterales y multilaterales, a organismos no gubernamentales, a los organismos gubernamentales rectores en esta materia, a los gobiernos locales y a todas y todos aquellos que participen en el diseño, implementación, operación y mantenimiento de SATIs.

## **1.1. QUÉ ES UN SATI**

La demanda para implementar sistemas comunitarios de alerta temprana ante inundaciones, SATIs, está creciendo en Centro América, debido a la necesidad de tomar acciones que permitan reducir la pérdida de vidas humanas en las comunidades vulnerables ante el desbordamiento de los ríos.

La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, EIRD, define a los sistemas de alerta temprana como<sup>2</sup> “el conjunto de capacidades necesarias para generar y difundir información de alerta que sea oportuna y significativa, con el fin de permitir que las personas, las comunidades y las organizaciones amenazadas por

---

<sup>2</sup> 2009 UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. <http://www.unisdr.org/eng/terminology/UNISDR-Terminology-Spanish.pdf>.

una amenaza se preparen y actúen de forma apropiada y con suficiente tiempo de anticipación para reducir la posibilidad de que se produzcan pérdidas o daños”.

Esta definición abarca los diferentes factores necesarios para lograr una respuesta eficaz ante las alertas emitidas.

Un sistema de alerta temprana, SAT, consiste en la transmisión rápida de datos que active mecanismos de alarma en una población previamente organizada y capacitada para reaccionar. El suministro de información oportuna se realiza por medio de las instituciones encargadas, lo que permite a las personas expuestas a la amenaza tomar acciones para reducir el riesgo y prepararse para una respuesta efectiva.

De acuerdo con el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central, CEPREDENAC<sup>3</sup>, se entiende por:

**Alerta temprana:** Situación que se declara, a través de instituciones, organizaciones e individuos responsables y previamente identificados, que permite la provisión de información adecuada, precisa y efectiva previa a la manifestación de un fenómeno peligroso en un área y tiempo determinado, con el fin de que los organismos operativos de emergencia activen procedimientos de acción preestablecidos y la población tome precauciones específicas para evitar o reducir el riesgo al cual está sujeto.

**Sistema de alerta temprana:** Comprende la suma de las políticas, estrategias, instrumentos y acciones particulares referidos a la identificación y monitoreo de amenazas, vulnerabilidades y riesgo, el diseño e implementación de alertas o alarma relacionada con la ocurrencia inminente de eventos peligrosos; los preparativos para la respuesta a emergencias y la ejecución de los mismos.

De acuerdo con la EIRD<sup>4</sup>, un sistema de alerta temprana necesariamente comprende cinco elementos fundamentales:

- Conocimiento del riesgo;
- Seguimiento de cerca o monitoreo;
- Análisis y pronóstico de las amenazas;
- Comunicación o difusión de las alertas y los avisos; y
- Capacidades locales para responder frente a la alerta recibida.

Una debilidad o falla en cualquiera de estos elementos da por resultado que falle todo el sistema.

También se utiliza la expresión “sistema de alerta de principio a fin” para hacer énfasis en el hecho de que los sistemas de alerta temprana deben abarcar todos los pasos, desde la detección de una amenaza hasta la respuesta comunitaria.

3 Glosario Actualizado de Términos en la Perspectiva de la Reducción de Riesgo a Desastres. CEPREDENAC.

4 2009 UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. <http://www.unisdr.org/eng/terminology/UNISDR-Terminology-Spanish.pdf>.

Lograr la sostenibilidad operativa a largo plazo de un SAT requiere un compromiso político y una capacidad institucional duradera, las cuales dependen a su vez de la concientización pública y la apreciación de los beneficios de un SAT efectivo.

Debe existir una fuerte integración entre sus componentes. Debe entenderse que un SAT es mucho más que un instrumento de medición o de comunicación y que el conocimiento científico para pronósticos de amenazas y emisión de alertas. El SAT debe ser visualizado como un sistema de información diseñado para facilitar la toma de decisiones de manera que faculte a sectores vulnerables y grupos sociales a mitigar los daños y pérdidas potenciales que puedan derivarse de ciertas amenazas. Los grupos sociales a mitigar los daños y pérdidas potenciales que puedan derivarse de ciertas amenazas.

## 1.2. TIPOS DE SATI

Hoy en día se reconocen dos tipos de sistemas de alerta temprana ante inundaciones. Los operados por los servicios hidrometeorológicos nacionales, conocidos como SATIs Centralizados y los operados por las comunidades, conocidos como SATIs Comunitarios.

El SATI Centralizado es un sistema que utiliza tecnología que requiere de conocimiento técnico experto en lo que se refiere a la observación y monitoreo del fenómeno y en la elaboración del pronóstico de crecida. La observación y monitoreo se basa en redes telemétricas de estaciones de lluvia y nivel de los ríos, que permiten pronósticos de crecida precisos y con anticipación. Se apoya en redes de observación global, como el radar, que permiten desarrollar modelos y pronósticos de tiempo, y utiliza una base científica que requiere la participación de profesionales con conocimiento y entrenamiento avanzado para desarrollar modelos hidrometeorológicos, en los cuales se basan los pronósticos de crecidas. Estos pronósticos permiten la difusión de avisos con antelación a las alertas, aumentando así el tiempo de preparación.

El SATI Comunitario, por otro lado, es un sistema sencillo que se caracteriza por el uso de equipos de bajo costo y de fácil manejo, operados por miembros de las comunidades, tanto en las componentes de observación y monitoreo del fenómeno como en la comunicación de la alerta. Están basados en la participación activa de voluntarios de las comunidades que viven en la cuenca donde se ha establecido el SATI. Los voluntarios cumplen funciones de trabajo en la respuesta, pero también participan en tareas de prevención, con obras de mitigación de bajo costo y que no requieren de conocimiento técnico experto. El papel del voluntario en el control y monitoreo hidrometeorológico es de vital importancia en estos sistemas.

La Figura 1.1 muestra, a manera de ejemplo, la red de observación y monitoreo de la cuenca del río Coyolate, en Guatemala. Los puntos triangulares de la cuenca alta son los relacionados con el monitoreo de la lluvia; y los que tienen un círculo rojo son los de control de niveles del río principal y sus afluentes. Los puntos inferiores de la cuenca baja son los que se llaman estaciones de respuesta, y están relacionados con las zonas donde se producen las inundaciones.

En una ilustración sencilla en la Figura 1.2 se presenta una red de observación y monitoreo, donde los puntos rojos representan los controles de lluvia o estaciones pluviométricas y el cuadro verde el control de niveles del río o estación limnimétrica.

La participación comunitaria y sus líderes son fundamentales para el éxito de un sistema comunitario de alerta temprana ante inundaciones. El diálogo comunitario con los administradores del SATI es esencial. Las actividades permanentes de observación y monitoreo del fenómeno son importantes. La comunicación eficiente de los avisos y alertas debe ser oportuna y la preparación de los planes de contingencia y respuesta son imperativos. La capacitación de los líderes y voluntarios es parte fundamental del SATI, lo que permite el avance en el conocimiento del sistema y la preparación de elementos e insumos de riesgo.

Este manual se desarrolla bajo un nuevo enfoque integral de los SATI, el cual parte de la premisa que “no existe la disyuntiva entre Sistemas ‘Centralizados’ y ‘Comunitarios’. Lo que existe es la necesidad de que las comunidades participen activamente en la operación de los mismos, desde la identificación y evaluación del riesgo, el diseño de los mismos, la observación de lluvia y niveles de ríos y colecta de datos, hasta la comunicación de la alerta, y la respuesta”. De igual modo existe la necesidad de integrar información hidrológica y de pronóstico de tiempo y crecidas generada por sistemas ‘Centralizados’ a los sistemas ‘Comunitarios’, y a la vez calibrar los sistemas de observación y monitoreo ‘Centralizados’ con información y observaciones locales.

Existe entonces un único Sistema donde se integra el conocimiento e información generada y colectada tanto por las comunidades como por las instituciones rectoras a nivel nacional, y donde se integran todas las componentes y fases del Sistema con un único propósito, el de dar avisos y alertas oportunas que permitan una preparación y respuesta eficientes y eficaces para salvar vidas, pertenencias y medios de vida. Este manual adopta esa definición única e integradora de los SATI Comunitarios.

### **1.3. COMPONENTES DE UN SATI**

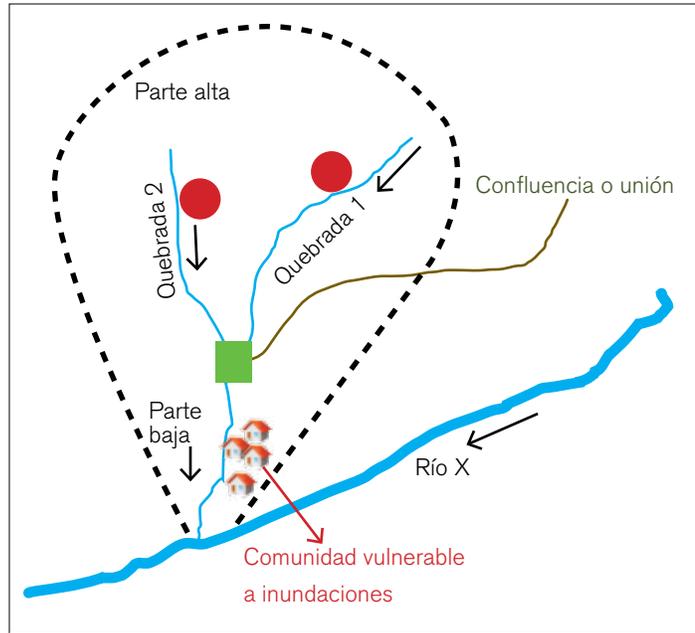
El Manual para el Diseño e Implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en Cuencas Menores, OEA 2001, presenta cinco pasos para el diseño y operación de un SATI:

- a. Organización comunitaria;
- b. Reconocimiento de la cuenca menor;
- c. Medición de lluvia y nivel de agua de los ríos;
- d. Funcionamiento del sistema de alerta; y
- e. Evaluación de la situación, difusión de la alerta y plan de emergencia.

**FIGURA 1-1:** Puntos de observación SAT Cuenca río Coyolate, Guatemala



**FIGURA 1-2:** Esquema básico de estaciones de monitoreo en un SAT



◀ Puntos de observación en la parte alta de la cuenca evalúan la lluvia, puntos intermedios evalúan nivel de río. Los puntos inferiores representan los puntos de respuesta (comunidades que sufren inundaciones)

Este esquema es retomado por la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja en el Manual para el desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones en Cuencas Menores. Mientras que otros, tales como la SE-CONRED de Guatemala, reconocen cinco fases de un SATI: (1) Monitoreo; (2) Pronóstico; (3) Emisión de la Alerta; (4) Comunicación de la Alerta; y (5) Evacuación.

La implementación de un SATI comprende una serie de etapas que pueden agruparse en dos: (i) una etapa técnica, referida a la instrumentación, medición hidrometeorológica y pronóstico; y (ii) una etapa social, referida a la organización comunitaria requerida para garantizar la operación apropiada de los sistemas de alerta ante inundaciones.

Este nuevo enfoque integrador utilizado en este manual recomienda la estructuración de un SATI en dos libros y cuatro módulos, Ver Figura 1.3:

- a Libro I: Consideraciones hidrológicas
  - a.1 Módulo I: Observación y monitoreo hidrometeorológico; y
  - a.2 Módulo II: Pronóstico de crecidas.
- b Libro II: Consideraciones organizativas

b.1 Módulo III: Identificación y Comunicación de la alerta; y

b.2 Módulo IV: Comunicación de la alerta.

El libro I aborda aspectos relacionados con la selección de los equipos para la observación y monitoreo de la lluvia y el nivel del río, criterios para su ubicación e instalación, forma de tomar las lecturas y de almacenar los datos observados. Igualmente, aborda aspectos relacionados a las características morfológicas de la cuenca, estimación del tiempo de concentración, estimación de lluvia máxima para un determinado periodo de retorno e identificación de umbrales de alerta.

El libro II aborda aspectos relacionados con la organización comunitaria, capacitación, definición de medidas a tomar ante una eventual emergencia, identificación de las alertas y sistema y forma de comunicación de las alertas. Para fines prácticos, en el Módulo III se fusionan los aspectos relacionados con la identificación y la comunicación de la alerta.

**FIGURA 1-3:** Sistema Comunitario de Alerta Temprana ante Inundaciones





Programa  
Centroamericano para  
la Alerta Temprana  
ante Inundaciones en  
Pequeñas Cuencas  
(SVP) y Reducción de la  
Vulnerabilidad: Desarrollo  
de una Plataforma  
Regional

**Manual para el Diseño,  
Instalación, Operación  
y Mantenimiento de  
Sistemas Comunitarios  
de Alerta Temprana ante  
Inundaciones**

**MÓDULO** |

**OBSERVACIÓN Y MONITOREO  
HIDROMETEOROLÓGICO**

Este Módulo forma parte del **Libro I: Consideraciones hidrológicas**. En él se describe el ciclo hidrológico, las características morfométricas de una cuenca de drenaje, el tiempo de concentración, la relación lluvia-escorrentía, el tiempo de traslado de la escorrentía superficial, el tiempo de traslado de la crecida, los equipos para el monitoreo de la lluvia y el nivel de los ríos, así como las instrucciones básicas para su instalación y lectura.



# CONTENIDO

<b>1. El Ciclo Hidrológico .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Inundación, área de influencia .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Tipos de inundaciones.....</b>	<b>7</b>
<b>4. Características morfométricas de la cuenca.....</b>	<b>8</b>
4.1. Características físicas.....	8
4.2. Tiempo de concentración.....	9
<b>5. Relación precipitación-escorrentía.....</b>	<b>12</b>
<b>6. Tiempo de Traslado de la Escorrentía Superficial.....</b>	<b>14</b>
<b>7. Tiempo de Traslado de Crecidas.....</b>	<b>15</b>
<b>8. Equipos para monitoreo de lluvias y niveles de ríos.....</b>	<b>15</b>
8.1. Medición de la lluvia.....	15
8.2. Medición de niveles de ríos.....	16
8.3. Trabajos previos a la definición de equipos.....	18
8.4. Selección de equipos.....	19
8.4.1. Pluviómetro Convencional.....	19
8.4.2. Pluviómetro con registrador de Datos.....	19
8.4.3. Estación pluviométrica automática y transmisor GPRS.....	20
8.4.4. Miras, escalas o limnímetros.....	21
8.4.5. Sensor de nivel automático con registrador y transmisor Goes.....	21
8.4.6. Sensor de Nivel de río y Pluviómetro con Leed's.....	22
8.4.7. Equipo automatizado.....	23
8.5. Puntos de ubicación de equipos de monitoreo, instrucciones de instalación.....	24
<b>9. Instrucciones para lectura de datos observados.....</b>	<b>27</b>
9.1. Lectura de datos de lluvia.....	27
9.2. Lectura de datos de nivel de los ríos.....	28
9.3. Carácter de la toma de datos.....	29
9.4. Procedimientos para guardar la información observada.....	31
9.5. Interpretación de los datos observados.....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: La cuenca hidrográfica.....	1
Figura 1-2: Cuenca y sub-cuenca hidrográfica.....	2
Figura 1-3: Cuencas hidrográficas de Nicaragua.....	2
Figura 1-4: cuenca alta, media y baja.....	3
Figura 1-5: El ciclo hidrológico.....	4
Figura 2-1: Canal de inundación y llanura de inundación.....	6
Figura 2-2: Esquema de una inundación.....	6
Figura 4-1: Forma de cuenca y elevaciones.....	10
Figura 4-2: Punto de nacimiento y Punto de análisis. Río principal.....	10
Figura 4-3: Perfil topográfico río Coyolate.....	11
Figura 7-1: Tiempo de traslado de crecida. 02 de noviembre 2009.....	16
Figura 8-1: Pluviómetro de la casa delta OHM, Italia.....	17
Figura 8-2: Escalas para registro de niveles en un SATI.....	17
Figura 8-3: Integración monitoreo de lluvia y nivel del río.....	17
Figura 8-4: Algunos modelos de pluviómetros.....	20
Figura 8-5: Ilustración de medidores de nivel de río.....	21
Figura 8-6: ilustración de estaciones pluviométricas automáticas.....	22
Figura 8-7: Sensor de nivel de río para SATIs. SE-CONRED Guatemala.....	23
Figura 8-8: Densidad mínima recomendada de estaciones pluviométricas.....	24
Figura 8-9: Mapa de lluvia promedio anual. Panamá.....	25
Figura 8-10: Cuenca del río Reventazón-Pasismina. Costa Rica.....	26
Figura 8-11: Red de monitoreo básica para el SATI de la cuenca Reventazón.....	26
Figura 9-1: Procedimiento de lectura de pluviómetros. Fuente FIRC-OEA.....	29
Figura 9-2: Formularios de toma de datos de lluvia.....	30
Figura 9-3: Interpretación y análisis hidrometeorológico de series observadas.....	33
Figura 9-4: Análisis de datos observados.....	33

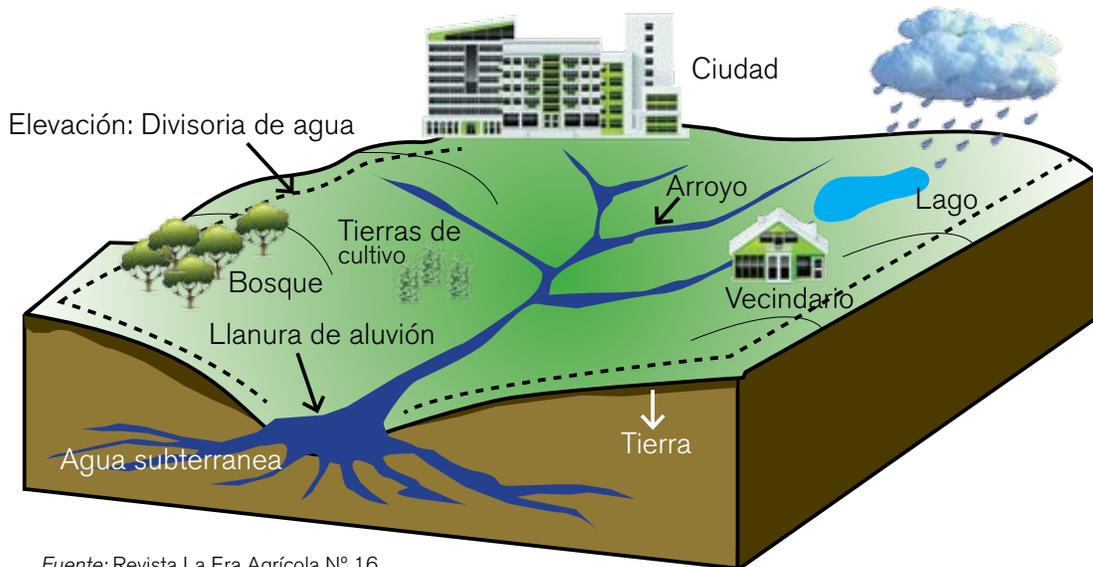
# 1. EL CICLO HIDROLÓGICO

Una cuenca hidrográfica es una superficie de drenaje natural, donde convergen las aguas que fluyen a través de valles y quebradas, formando de esta manera una red de drenajes o afluentes que alimentan a un desagüe principal, que forma un río. Cuando el punto de desagüe es el mar, se trata de una cuenca hidrográfica abierta. De otra manera, se trata de una cuenca cerrada o endorreica.

La cuenca abierta es aquella en la que las aguas corren por arroyos y ríos hasta el mar. Una cuenca cerrada es aquella donde el agua tiene como destino final lagos y lagunas en donde el agua se estanca para luego infiltrarse o evaporarse.

Las cuencas son áreas naturales que recolectan y almacenan el agua que utilizamos para el consumo humano y animal, para los sistemas de riego agrícola, para dotar de agua a las ciudades y hasta para producir la energía eléctrica que alumbramos nuestros hogares.

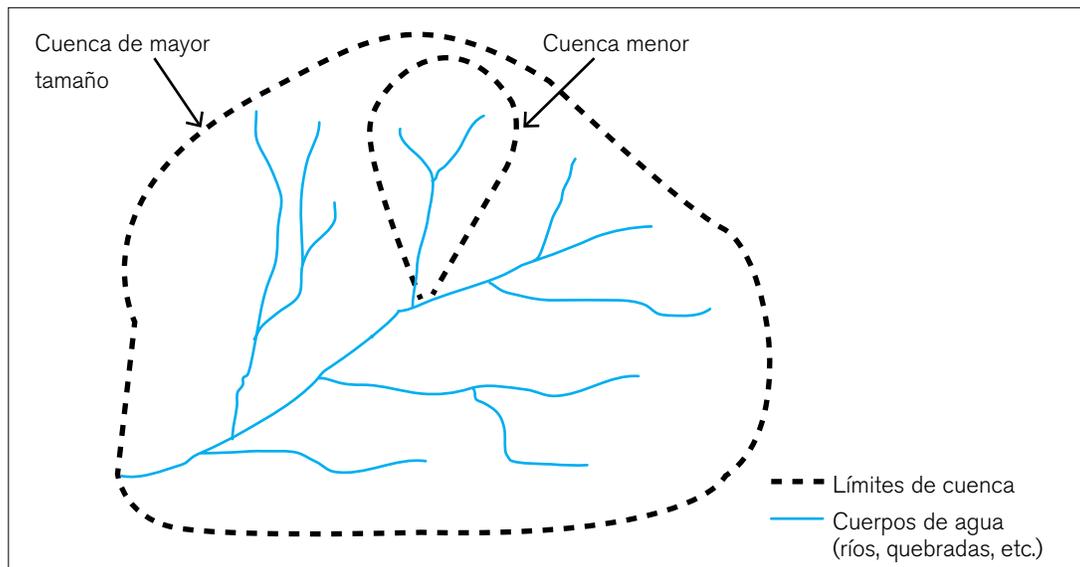
La cuenca tiene forma cóncava, como un cucharón, donde escurre el agua que llueve hacia las quebradas y a los ríos. El borde de ese cucharón llamado cuenca, lo conforman las montañas más altas alrededor de esos ríos y quebradas. Ver Figura 1.1.



Fuente: Revista La Era Agrícola N° 16.

**FIGURA 1-1:** La cuenca hidrográfica

La representación más sencilla de una cuenca es pensar en una hoja. El borde de la hoja sería el límite de la cuenca (divisoria) y las venas del interior representarían los ríos y quebradas. Cada vena conforma una cuenca menor. Varias cuencas menores forman una cuenca mayor. Se usa también el concepto de subcuenca para llamar a la cuenca menor. Ver Figura 1.2.



**FIGURA 1-2:** Cuenca y sub-cuenca hidrográfica<sup>1</sup>

La cuenca está delimitada por un parte aguas o línea divisoria. Para abordar un estudio hidrológico, el primer paso es delimitar la cuenca, lo cual se hace uniendo los puntos más altos del terreno. Por lo general, los servicios hidrológicos nacionales han definido las cuencas principales en cada país. Ver ejemplo en Figura 1.3.

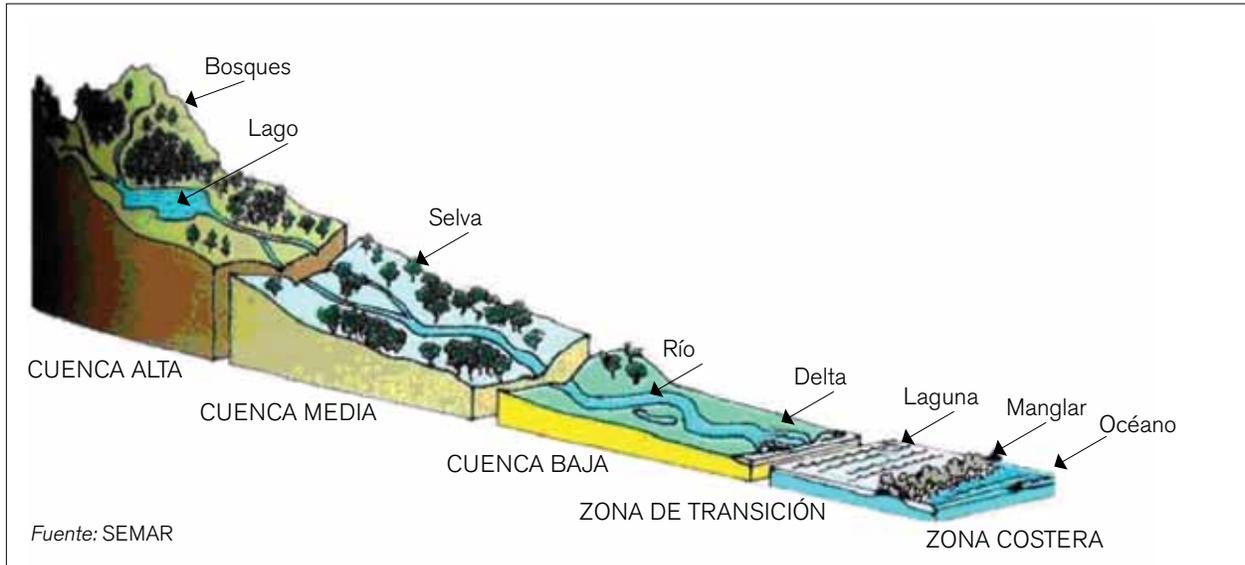


Fuente: INETER, Nicaragua

**FIGURA 1-3:** Cuencas hidrográficas de Nicaragua

<sup>1</sup> Manual para el diseño e implementación de un sistema de alerta temprana de inundaciones en cuencas menores. OEA 2001.

El relieve de la cuenca es muy importante: La parte alta se identifica como cuenca alta, siendo la cuenca baja la zona de menor altura sobre el nivel del mar. La Figura 1.4 hace un esquema representativo de la cuenca hidrográfica.



**FIGURA 1-4:** cuenca alta, media y baja

El ciclo hidrológico, también conocido como ciclo del agua, describe el movimiento vertical y horizontal del agua en el estado gaseoso, líquido o sólido, entre la superficie, el subsuelo, la atmósfera y los océanos terrestres.

La siguiente ecuación define los principales parámetros que forman parte del Ciclo Hidrológico:

$$P = \text{Evap} + \text{Esc sup} + \text{Esc sub} \pm \Delta \text{almac} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Siendo P, precipitación, el agua que se precipita en forma de lluvia; Evap, evaporación, el agua que se evapora hacia la atmósfera; Esc sup, escorrentía superficial, el agua que escurre en o hacia ríos, lagos, lagunas, etc.; Esc sub, escorrentía subterránea, el agua que escurre de manera subterránea;  $\Delta$  almac, el cambio en el almacenamiento de los cuerpos de agua.

Se interpreta entonces que la precipitación es igual a la suma de la evaporación, la escorrentía superficial, la escorrentía subterránea y el cambio en el almacenamiento de los cuerpos de agua. A esta relación se le conoce como balance hídrico.

En una cuenca, el hidrólogo analiza el ciclo del agua para definir qué parte de la lluvia se transforma en escorrentía superficial o caudal del río, lo cual es determinante en el diseño y operación de un sistema de alerta temprana ante inundaciones.

Existen diversos esquemas del ciclo hidrológico, siendo su finalidad común la de proporcionar un gráfico sencillo que muestre las diferentes formas y estados en que se presenta el agua. Ver Figura 1.5.

El proceso del ciclo hidrológico se da de manera continua. La evaporación pasa por un proceso de condensación y las lluvias entonces alimentan las aguas en la cuenca. Se producen escurrimientos en la superficie y ríos; hay filtración y los sistemas naturales participan en la transpiración, las aguas llegan nuevamente a los océanos y se inicia el aporte en la evaporación.



**FIGURA 1-5:** El ciclo hidrológico

## 2. INUNDACIÓN, ÁREA DE INFLUENCIA

Se define como inundación, el aumento anormal en el nivel de las aguas que provoca el que los ríos se desborden y cubran en forma temporal la superficie de las tierras que se ubican en sus márgenes<sup>2</sup>.

Entre las causas más comunes de las inundaciones están las de carácter natural, como por ejemplo:

- Lluvias persistentes sobre una misma zona (temporales), durante cierto lapso de tiempo.
- Lluvias muy fuertes, aunque sea por tiempo corto.
- Ascenso repentino de las mareas, debido a temporales o tormentas.
- Obstrucción de los cauces de ríos, debido a derrumbes o sismos.
- Rompimiento súbito de una gran represa, que puede darse por una sobrecarga en el aumento del caudal de las aguas, o por sismo.

Las inundaciones son una de las catástrofes naturales que mayor número de víctimas producen en el mundo. De acuerdo a un informe sobre manejo de cuencas de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología de México, CONACYT, se ha calculado que en el siglo XX unos 3.2 millones de personas murieron por este motivo, lo que es más de la mitad de los fallecidos por desastres naturales en el mundo en ese período. Este informe menciona también, que las inundaciones representan el 68% de los eventos desastrosos registrados entre 1960-1995 en México y Centro América<sup>3</sup>.

Las inundaciones entonces, son el fenómeno de mayor frecuencia en la región centroamericana, asociadas o no a ciclones tropicales, y se manifiestan prácticamente todos los años con diferentes magnitudes.

Se conocen como zonas inundables aquellas zonas que son anegadas durante eventos extraordinarios (aguaceros intensos, crecientes poco frecuentes o avalanchas). Las zonas inundables pueden clasificarse de acuerdo a las causas que generan las inundaciones. Estas causas son las siguientes:

- Encharcamiento por lluvias intensas sobre áreas planas;
- Encharcamiento por deficiencias de drenaje superficial;
- Desbordamiento de corrientes naturales;
- Desbordamiento de ciénagas.

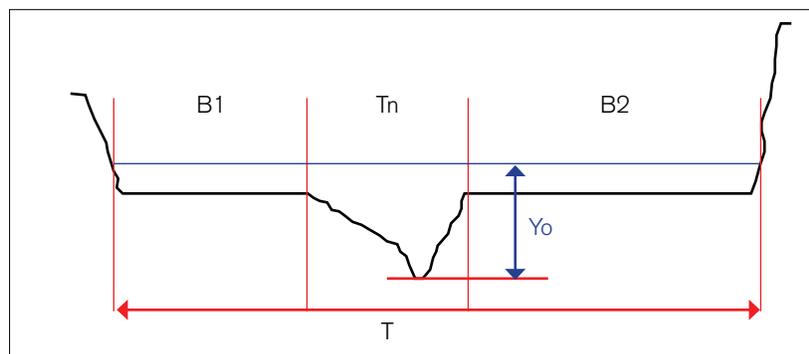
Cuando se presenta la inundación por desbordamiento del canal principal, ver Figura 2.1, el espejo de agua queda conformado por la boca del canal principal ( $T_n$ ) y las llanuras ( $B_1$ ,  $B_2$ ), formando una anchura  $T = T_n + B_1 + B_2$ . El nivel del agua en la sección depende del caudal, de las características hidráulicas del canal y

<sup>2</sup> Programa Educativo para Emergencias, Compendio general sobre desastres. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, Costa Rica 1992. <http://www.reliefweb.int/rw/lib.nsf/db900SID/KKEE6FQMY8?OpenDocument>

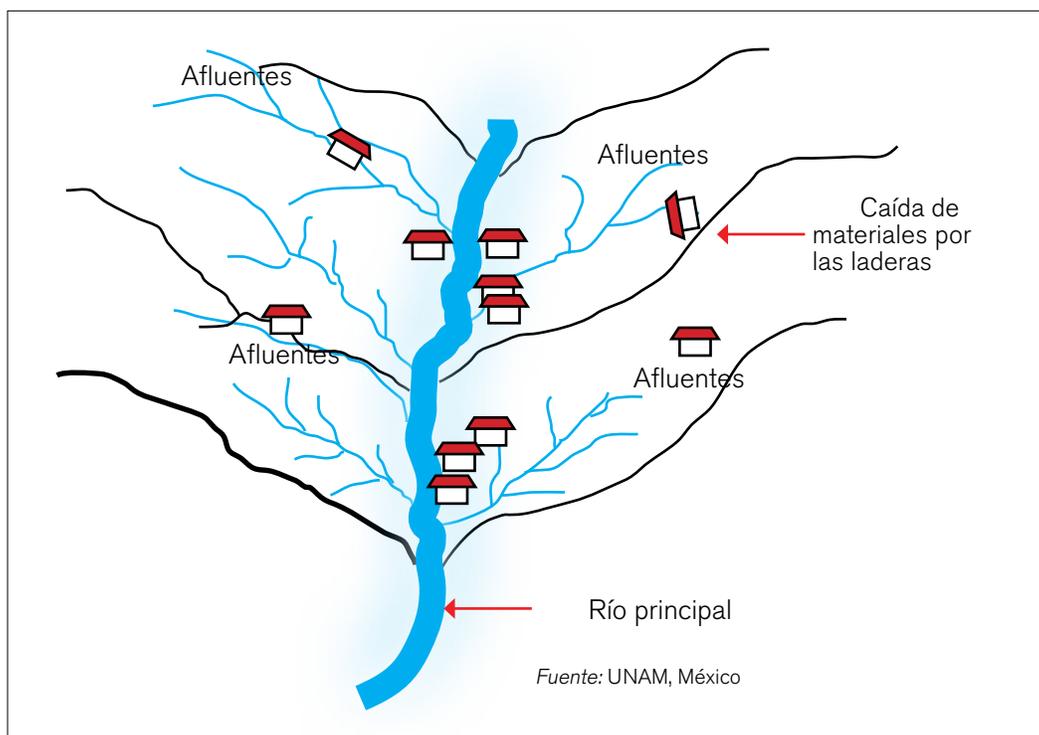
<sup>3</sup> Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Veracruz, Manejo sustentable de Cuencas, Área 1. México, 2008.

del ancho de la zona inundable. El valor de  $Y_o$  es la profundidad máxima del agua en la sección. La Figura 2.2 presenta un esquema de una inundación.

Son muy pocos los casos en los cuales es posible solucionar los problemas de inundaciones de forma permanente. Algunas de las razones más importantes que no permiten la solución son el costo de las obras de control, los conflictos socioeconómicos de las regiones que conllevan intereses en el uso de la tierra, y la escasa factibilidad económica de este tipo de proyectos. Por esta razón se utilizan los términos Control de Inundaciones o Mitigación de los efectos de las Inundaciones para indicar que estos proyectos tratan de prevenir daños mayores y ofrecen protección hasta un cierto nivel de riesgo.



**FIGURA 2-1:** Canal de inundación y llanura de inundación



**FIGURA 2-2:** Esquema de una inundación

### 3. TIPOS DE INUNDACIONES

De acuerdo a los conceptos que maneja el Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador, SNET, las inundaciones pueden clasificarse de acuerdo al tiempo de duración en:

- Inundaciones muy rápidas producidas por lluvias de intensidad muy fuerte, pero de poca duración (menos de 1 hora);
- Inundaciones producidas por lluvias de intensidad fuerte o moderada y duración inferior a 72 horas; e
- Inundaciones extraordinarias producidas por lluvias de intensidad débil con valores fuertes pero muy cortas y locales, y de una duración superior a 3 días.

En las primeras, la cantidad de lluvia totalizada no supera los 80 mm. Usualmente producen inundaciones locales en las ciudades y pueblos (inundaciones de plazas, garajes, etc., debido a problemas de drenaje) o en pequeñas cuencas con mucha pendiente, produciéndose las llamadas “flash-floods” o inundaciones súbitas. Éstas últimas son peligrosas para los pueblos costeros y zonas turísticas próximas a la zona del litoral.

Una predicción meteorológica a corto término de la cantidad, intensidad y lugar afectado por las lluvias es prácticamente imposible. El radar meteorológico y los modelos de mesoescala podrán ser buenas herramientas para su previsión a muy corto plazo. Pese a esa posibilidad, la mejor previsión frente a estos episodios es la educación de la población.

Las segundas, inundaciones producidas por lluvias de intensidad fuerte o moderada y duración inferior a 72 horas, ocurren cuando las lluvias afectan a ríos con mucha pendiente o con mucho transporte sólido. En estos casos, las inundaciones pueden ser catastróficas.

Es posible distinguir entre dos categorías:

- Inundaciones catastróficas producidas por lluvias de fuerte intensidad durante dos o tres horas, y una duración total del episodio inferior a 24 horas. Pese a que la zona más afectada puede no ser muy grande (cuencas comprendidas entre 100 y 2000 km<sup>2</sup>), las lluvias o el mal tiempo afectan áreas superiores a los 2000 km<sup>2</sup>. En este caso el tiempo de respuesta es muy corto y puede provocar muchas muertes. Pese a que la predicción meteorológica a corto término permite alertar del riesgo de lluvias fuertes, la incertidumbre sobre la cantidad, intensidad, duración y la zona más afectada por las lluvias es todavía grande;
- Las inundaciones catastróficas producidas por lluvias de intensidad fuerte y moderada durante dos o tres días. La zona afectada puede ser muy grande (más de 2000 km<sup>2</sup>). En este caso el tiempo de respuesta puede ser muy corto para la parte alta de los ríos, pero el valor máximo de la crecida del río puede llegar a un día, o más, después de que se hayan producido las máximas intensidades pluviométricas. Habitualmente, hay tiempo suficiente para activar los planes de emergencia.

Las terceras inundaciones, disponen de un tiempo de respuesta suficiente para laminar la crecida utilizando los embalses, y para desplegar los sistemas de socorro necesarios por los organismos encargados en cada país. En general no hay pérdida de vidas humanas y los daños materiales son inferiores a los del caso 2.

Estas inundaciones no son frecuentes.

Otras clasificaciones consideran el origen que las genera:

- Pluviales (por exceso de lluvia): Ocurren cuando el agua de lluvia satura la capacidad del terreno y no puede ser drenada, acumulándose por horas o días sobre el terreno;
- Fluviales (por desbordamiento de ríos).

La causa de los desbordamientos de los ríos y los arroyos debe atribuirse en primera instancia a un excedente de agua, igual que la sequía se atribuye al efecto contrario, la carencia de recursos hídricos. El aumento brusco del volumen de agua que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, produce lo que se denomina como avenida o riada.

Una avenida es el paso por tramos de un río, de caudales superiores a los normales, que dan lugar a elevaciones de los niveles de agua.

Pero la razón más importante del desbordamiento de los ríos es sin duda, la provocada por las avenidas, fenómeno que solo o en combinación con las causas anteriormente citadas, provoca el rebosamiento de los cauces y la consiguiente inundación de sus márgenes. Son por ello especialmente vulnerables las zonas muy llanas, los meandros y los puntos en los que los ríos se estrechan o pierden profundidad por falta de dragado, especialmente en las desembocaduras, donde se acumula el limo y la tierra arrastrada por la corriente.

## 4. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA

### 4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Para poder entender el proceso de las inundaciones es importante conocer la zona de estudio. El conocimiento de las características físicas, tales como la pendiente y las elevaciones (la más alta, donde inicia el río, la más baja, el punto final) pueden ayudar a comprender el proceso lluvia-escorrentía y el traslado de esta última por el cauce de los ríos y afluentes.

La naturaleza juega un papel muy importante en el equilibrio del ciclo del agua. Una parte del agua que llega a la superficie de la tierra es aprovechada por los seres vivos; otra se filtra o escurre en el terreno hasta llegar a los ríos, lagos, lagunas o un océano. A este fenómeno se le conoce como escorrentía.

Las grandes cantidades de lluvia que caen en las partes altas van incrementando el volumen de la escorrentía, la que recoge el material suelto que encuentran a su paso, tal como partículas de roca y materiales orgánicos, los que son transportados hacia las partes bajas y se descargan en un río principal. De esta manera se forman grandes avenidas de agua cargadas de sedimentos.

El río principal recibe toda el agua y las partículas del suelo erosionado que escurre por medio de los afluentes en las laderas deforestadas. En las zonas por donde pase este río provocará fuertes e intensas inundaciones e incluso va a arrastrar todo lo que a su paso encuentre. Así, las zonas donde no había problemas con el cauce del río, ahora tendrán problemas de inundación, arrastre y azolvamiento. Aunado al aumento de escorrentía de las aguas de lluvia y a la erosión del suelo, aceleradas por la deforestación, se presenta una inestabilidad de las laderas, lo que se traduce en movimientos de terrenos, derrumbes y flujos de lodo.

Una interpretación de las Figuras 1.4 y 4.1 puede ayudar a comprender el fenómeno del transporte de las lluvias en la cuenca y cómo se convierten en escorrentía (caudal) y producen grandes avenidas. Las características físicas tienen su influencia en el tiempo de traslado de las aguas de la cuenca alta a la cuenca baja; la forma de la cuenca influye también en el tiempo de traslado. Una cuenca larga requiere más tiempo de traslado que una cuenca corta. Las curvas de nivel y la definición del río principal se observan en la Figura 4.2, en la cual se han ubicado los puntos de inicio de la corriente y el punto final de interés para evaluar el caudal. Se observa también la curva de nivel o interpolación de la curva de nivel para las elevaciones del inicio y fin ( $E_i$  y  $E_f$ ), valores importantes para encontrar el tiempo de traslado de las lluvias.

La ecuación usada para definir la pendiente,  $S$  es:

$$S = (E_i - E_f) / L \text{ (Ecuación 3)}$$

Siendo  $L$  la longitud de la corriente. Si se usan metros para la dimensión de elevación y longitud se obtiene un parámetro adimensional. Algunos atributos topográficos de las cuencas se definen en la Tabla 4.1.

La superficie de la cuenca es el área total ( $A$ ) que vierte al punto para el que se define la cuenca. Normalmente se da en kilómetros cuadrados. La longitud de la cuenca es el tamaño en kilómetros del eje mayor de la cuenca, normalmente el río principal. La forma de la cuenca es la forma de su proyección horizontal. Horton<sup>4</sup> define el parámetro factor de forma como la relación del área de la cuenca y la longitud del río principal elevado al cuadrado.

$$A/L^2 \text{ (Ecuación 4)}$$

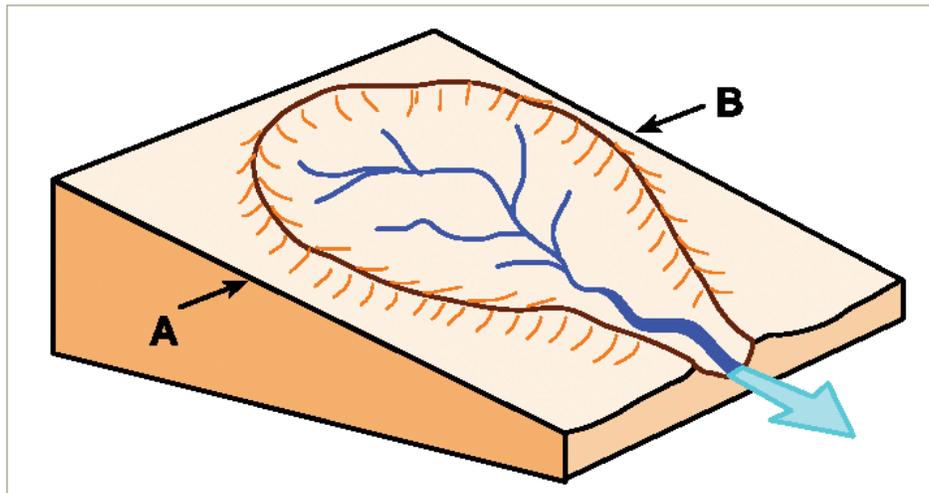
El relieve de la cuenca es un indicador de la elevación de su superficie respecto a un plano de referencia, normalmente el nivel de mar (msnm), expresado en metros.

## 4.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

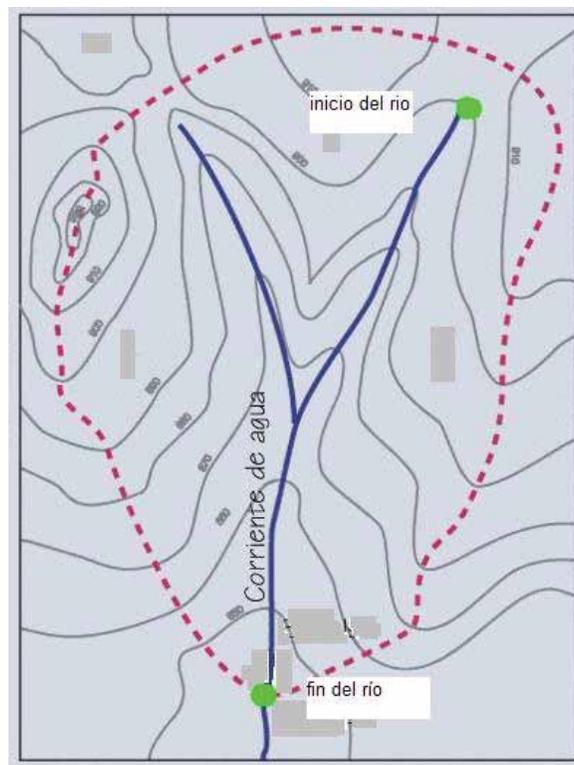
El tiempo de concentración es el tiempo que tarda la escorrentía superficial en recorrer la cuenca, desde la parte alta hasta el sitio de interés. Para el caso de inundaciones, es el punto de análisis del problema de inundación, que puede ser una comunidad, una estructura o una obra.

El punto de inicio (ver Figura 4.2) se localiza en la cuenca alta. Normalmente coincide con el inicio del río, punto que se le conoce como nacimiento. Existen diversas ecuaciones para calcular el tiempo de concentración. En este Manual se abordará el método de Kirpich. Otras versiones para calcular el tiempo de concentración se pueden obtener de libros o textos de hidrología.

<sup>4</sup> Tema 2, La cuenca vertiente; Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.



**FIGURA 4-1:** Forma de cuenca y elevaciones



**FIGURA 4-2:** Punto de nacimiento y Punto de análisis. Río principal

**Tabla 4.1.** Atributos topográficos de las cuencas vertientes (Gregory y Walling, 1985)

Escala: Dimensión	Cuenca	Red de drenaje	Tramo de río	Sección transversal del cauce
Superficie	Área de drenaje de la cuenca	Área que vierte a los cauces	Área del tramo	Superficie de la sección transversal del cauce
Longitud	Longitud de cuenca Perímetro de la cuenca	Densidad de drenaje Longitud de cauces	Longitud del tramo Sinuosidad	Anchura de la sección
Forma	Forma de la cuenca	Forma de la red de drenaje Diseño de drenaje	Forma de cauce Sinuosidad	Forma de la sección
Relieve	Desnivel de la cuenca Pendiente de la cuenca	Desnivel de la red de drenaje Pendiente de la red de drenaje	Desnivel del tramo Pendiente del tramo	Profundidad

Previo al cálculo del tiempo de concentración,  $t_c$ , es necesaria la determinación de las elevaciones del nacimiento y punto final y la longitud del río principal. El uso de mapas a escala 1:50,000 o 1:25,000 son buenas herramientas (los Institutos Geográficos Nacionales preparan regularmente estos mapas). El trazo del perfil del río principal es conveniente. Dependiendo del análisis de la cuenca, se pueden definir puntos intermedios con sus elevaciones, tiempos de concentración, etc. La Figura 4.3 muestra el perfil del río principal de la cuenca del río Coyolate, Guatemala.

La ecuación del tiempo de concentración según Kirpich es la siguiente:

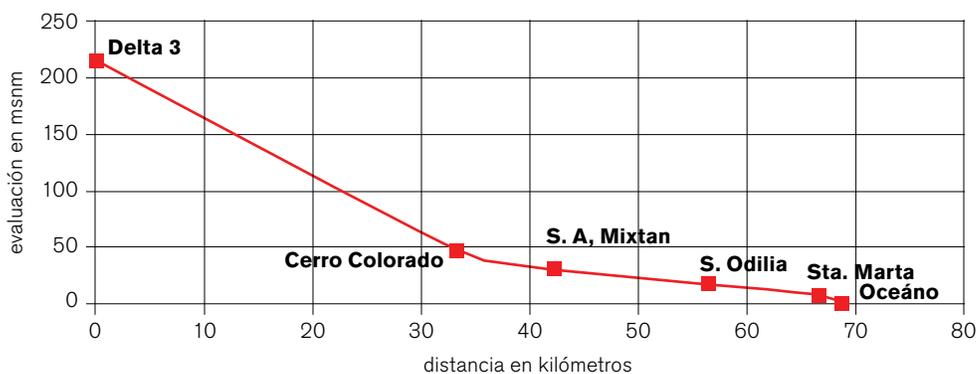
**(Ecuación 5)**

**Fórmula de Kirpich**

$$t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde: L: longitud del río – m.  
 H: diferencia del nivel – m.  
 $t_c$ : tiempo de concentración – min.

**Perfil topográfico del río coyolate de Delta 3 a Océano**



**FIGURA 4-3:** Perfil topográfico río Coyolate

H se puede definir como la diferencia entre las elevaciones máxima y final ( $E_i$  y  $E_f$ ) de acuerdo con la Figura 4.2.

Ejemplo:

	SITIO	DISTANCIA km
1	Nacimiento del río	0
2	Delta 3	73.2
3	San Antonio de Mixtán	109.1
4	Santa Odilia	123.5
5	Desembocadura del río en el Océano	141.9

Información básica para estimar pendiente y tiempo de concentración

Cálculo de la pendiente,  $S = (E_i - E_f) / L$ :

TRAMO	$E_i - E_f$	L	$(E_i - E_f) / L$	
	m	m	m/m	%
1-2	2086	73200	0.03	2.85
1-3	2270	109100	0.02	2.08
1-4	2285	123500	0.02	1.85
1-5	2300	141900	0.02	1.62

Se acostumbra expresar la pendiente del terreno, S, en porcentaje (%); el cual se obtiene multiplicando el resultado por 100. La interpretación de la pendiente de acuerdo al resultado de 0.03 m/m es que por cada metro de longitud del río hay una diferencia de elevación de 0.03 metros.

Cálculo del tiempo de concentración,  $t_c = 0.0195 (359003 / (214 - 30))^{0.385}$

TRAMO	$E_i - E_f$	L	$L^3$	$L^3 / E_i - E_f$	$(L^3 / (E_i - E_f))^{0.385}$	$0.0195 * ((L^3 / E_i - E_f)^{0.385})$	
	m	m				min	Hora min
1-2	2086	73200	3.92223E+14	1.88026E+11	21,906.57	427.18	7h 7'
1-3	2270	109100	1.2986E+15	5.72069E+11	33,621.54	655.62	9h 55'
1-4	2285	123500	1.88365E+15	8.24356E+11	38,699.39	754.64	12h 34'
1-5	2300	141900	2.85724E+15	1.24228E+12	45,318.39	883.71	14h 43'

Los valores de  $t_c$  se han calculado desde el nacimiento del río Coyolate hasta los puntos definidos en la Tabla 4.1.

## 5. RELACIÓN PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA

Haciendo la interpretación del ciclo hidrológico se define que el ingreso al sistema son las lluvias. Parte de las lluvias se transforman en escurrimiento o caudal que se transporta en los ríos. Parte se infiltra en el suelo, alimentando las corrientes subterráneas y otra parte se evapora del suelo, de las plantas o de la atmósfera.

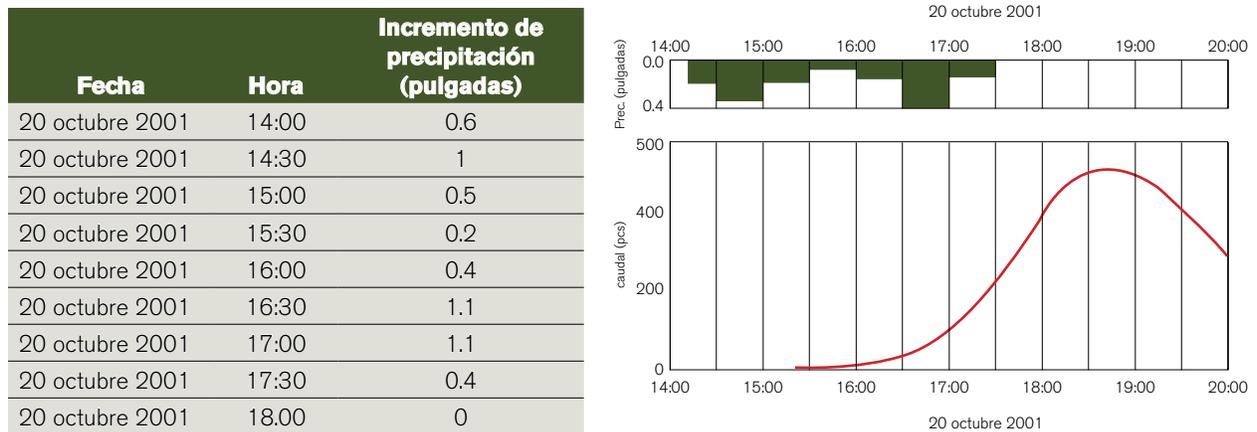
La contribución de las lluvias al escurrimiento es uno de los procesos más importantes del ciclo del agua. Los servicios hidrológicos definen la relación lluvia-escorrentía como el coeficiente de escorrentía, Ce. Esta relación se obtiene del volumen del escurrimiento y el volumen de las lluvias en milímetros. Un valor alto de Ce es indicativo de un gran volumen de agua que escurre por la red de ríos de una cuenca; caso contrario sucede si el valor de Ce es bajo.

Teniendo un Ce igual a 0.46 en una cuenca cuya precipitación media anual es 1500 mm, la escorrentía superficial calculada será equivalente a 700 mm. Esto indica que en esta cuenca, el 46% de la lluvia se transforma en escorrentía superficial que pasa por los ríos de la cuenca.

En la medida en que Ce se acerca a 1 (uno), la lluvia que se transforma en escorrentía superficial se acerca al 100%.

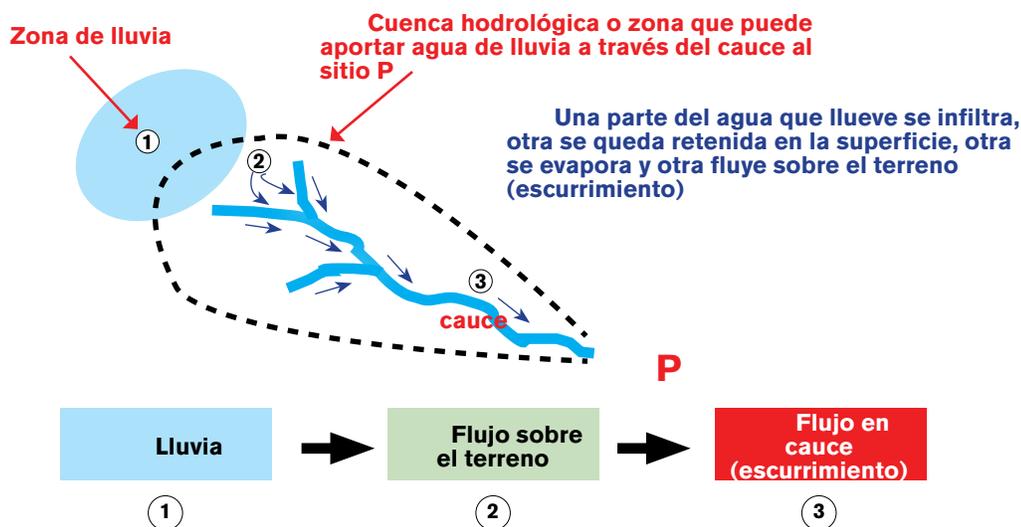
Los hidrólogos presentan un esquema similar al de la Figura 5.1 para representar la relación lluvia-escorrentía. En el ejemplo, se tiene una lluvia que se lee cada treinta minutos. De las 16.00 a las 16.30 horas llovió 1.4 pulgadas. La respuesta hidrológica a esta lluvia se define como un hidrograma (curva de la derecha). Se indica en el eje vertical el valor del caudal y en el eje horizontal el tiempo. Se nota una creciente de la curva de caudal hasta llegar a un máximo cerca de los 460 cfs (pies cúbicos por segundo) que ocurre a las 18.45 horas aproximadamente. Nótese el desfase de tiempo entre el origen de la lluvia y el inicio de caudal.

**FIGURA 5-1:** Proceso lluvia-escorrentía



Es importante tener en cuenta, que durante el proceso lluvia-escorrentía existe una dependencia del tipo de suelo y su estado de saturación, es decir, la humedad del suelo. Un suelo sin humedad tiene más capacidad de que ocurra más infiltración de agua y que esta llegue a las capas de agua subterránea. Durante la época de lluvias, los suelos están bastante húmedos, por lo que hay más escurrimiento. Esto significa que hay más cantidad de agua transportada en los cauces de los ríos.

La Figura 5.2 presenta un esquema del proceso lluvia-escorrentía, la generación inicial de las lluvias y su transformación final como escurrimiento en el punto final de interés P.

**FIGURA 5-2:** Transformación de la lluvia en escorrentía

Fuente: CENAPRED. O. Fuentes/R. Quaas

## 6. TIEMPO DE TRASLADO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Las lluvias se trasladan de la cuenca alta a la cuenca baja. En primer lugar se debe entender la intensidad de las lluvias; que pueden ser lluvias intensas o lluvias moderadas que tardan mucho tiempo; estas lluvias se trasladan de la cabecera de la cuenca (haciendo referencia a la Figura 4.2, arriba del punto definido como 'inicio del río', es decir por los límites de la cuenca, línea roja) hacia el punto definido como 'fin del río'. Esto da lugar entonces, a una inundación que puede ser repentina o lenta, la cual depende también de la pendiente de la zona de inundación.

Por otro lado, el análisis de las lluvias o tormentas para propósitos de inundaciones, requiere contar con un grupo de datos históricos de lluvias de tipo diario, es decir, el volumen de lluvia que cae en un día. Los análisis requieren contar con datos de las máximas lluvias para definir el orden de las lluvias para pronóstico hidrológico.

El pronóstico de inundaciones para un punto de interés depende del tiempo de concentración. Se usa el término "tiempo de precipitación" como sinónimo, en este caso, al "tiempo de concentración"; con la interpretación del tiempo en que tardan las lluvias de trasladarse de la cabecera de cuenca hasta el punto de interés de la evaluación. Este tiempo se considera como el tiempo de traslado de las lluvias; debe entenderse que se usa el vocablo "traslado de la lluvia", pero lo que sucede en realidad es una conversión de las lluvias a caudal o escorrentía.

## 7. TIEMPO DE TRASLADO DE CRECIDAS

Cuando se habla de traslado de crecidas, debe entenderse como el proceso que desarrolla una crecida al trasladarse de un punto X a un punto Y del río. Cuando se habla de una inundación, el tiempo de concentración es equivalente al tiempo de traslado de la crecida.

La Figura 7.1 muestra un ejemplo para una cuenca de Guatemala. El tiempo de traslado de la crecida del punto de monitoreo Puente Orellana al punto Gualán es de 11 horas aproximadamente (cerca a las 16.00 horas del día del registro). El nivel del pico de la crecida de ese día, registrado por las estaciones hidrológicas del Servicio Hidrológico de Guatemala, se presenta en la Figura 7.1. Para Gualán se lee un valor de 2.40 metros aproximadamente. Este valor de nivel pico se llama también nivel máximo de la crecida, o simplemente crecida.

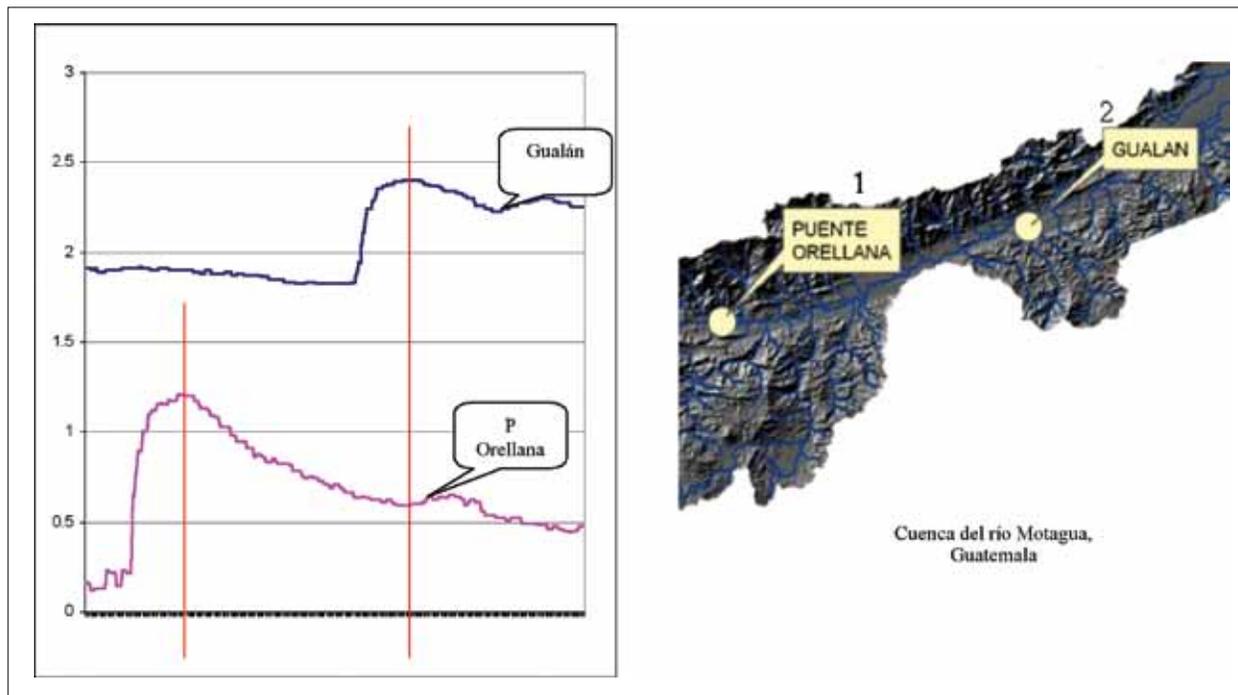
Este tiempo de 11 horas es el tiempo de traslado definido con las observaciones de monitoreo continuo del Servicio Hidrológico. Donde no existe monitoreo continuo, el voluntario debe leer la llegada de la crecida. Este control por parte del voluntario es complicado, mayormente si la crecida sucede en la noche; pero se deben hacer las lecturas cuando se pueda; de tal manera de tener crecidas leídas que sirvan para cuantificar el tiempo de traslado. Lo anterior se supera si se instalan equipos automáticos o semiautomáticos para el registro del nivel del río. El tiempo de concentración dado por el método de cálculo de Kirpich es teórico, calculado en la Oficina. El tiempo de traslado de crecidas es el observado durante el monitoreo hidrometeorológico.

## 8. EQUIPOS PARA MONITOREO DE LLUVIAS Y NIVELES DE RÍOS

El objetivo hidrometeorológico en un SATI es obtener registros de las lluvias y de los niveles del río principal y sus afluentes para determinar la relación lluvia-escorrentía y los umbrales de alerta. Para ello es básico realizar un monitoreo de la lluvia y de los niveles del río en la cuenca.

### 8.1. MEDICIÓN DE LA LLUVIA

La medición de la lluvia en una cuenca se realiza por medio de pluviómetros. Estos son parte de las redes de meteorología de cada país. Los diseños de pluviómetros siguen el criterio de ser una caja receptora de un volumen de agua en un tiempo determinado. Algunos equipos tienen mecanismos de medición de este volumen, otros son sólo colectores. Actualmente existen medidores automáticos conectados a un registrador para llevar una secuencia de la lluvia por horas, días, etc.



**FIGURA 7-1:** Tiempo de traslado de crecida. 02 de noviembre 2009

El equipamiento que requiere un SATI se establece en los objetivos y tipo de sistema a implementar; los medidores pueden ser sencillos, o con cierta tecnología. La guía proporcionada más adelante, puede servir de base para la selección de los equipos de medición de lluvia.

La Figura 8.1 presenta una ilustración de un pluviómetro acoplado a un registrador de datos sencillo (equipo de fabricación europea).

## 8.2. MEDICIÓN DE NIVELES DE RÍOS

Al igual que la medición de la lluvia, la medición de los niveles o caudales de un río se realiza por medio de equipos, algunos sencillos, como reglas limnimétricas, o bien, equipos de tecnología de punta, que incluye la transmisión de datos vía satélite o a través de la telefonía celular.

Algunos SATI comunitarios han implementado medidores por medio del pintado de puntos fijos cercanos al cauce del río, tal como el pilar de un puente, de una estructura o bien un árbol macizo. El uso de reglas limnimétricas es una opción de bajo costo. Estas reglas se colocan como un sistema de escalas (las reglas son de tipo metálico y numeración en centímetros). La Figura 8.2 presenta una ilustración de un sistema para medir niveles de ríos en un SATI.

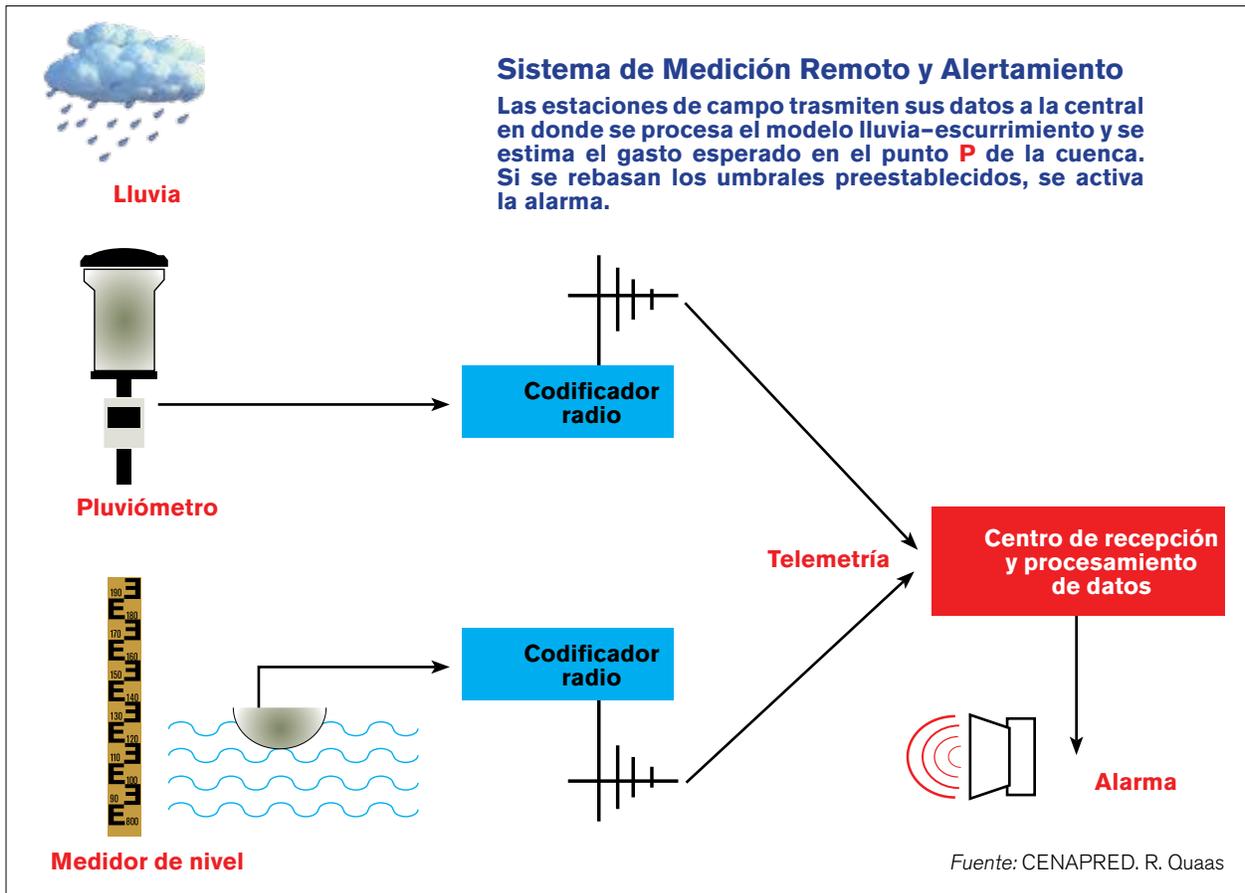


**FIGURA 8-1:** Pluviómetro de la casa delta OHM, Italia



**FIGURA 8-2:** Escalas para registro de niveles en un SATI

La Figura 8.3 muestra la integración del monitoreo hidrometeorológico de un SATI y cómo llegan los datos al centro de procesamiento para la emisión de las alertas.



**FIGURA 8-3:** Integración monitoreo de lluvia y nivel del río

### 8.3. TRABAJOS PREVIOS A LA DEFINICIÓN DE EQUIPOS

El uso de los datos hidrometeorológicos leídos por los voluntarios en un SATI, es fundamental para definir los pronósticos y tomar la decisión del traslado de avisos y alertas para prevenir las inundaciones. La participación de los técnicos de los organismos que intervienen en las tareas de operación o de implementación del SATI es importante, pues cumplen la función de ser administradores del sistema, usando criterios técnicos y tecnológicos para los análisis respectivos.

El conocimiento inicia con la delimitación de la cuenca, lo cual debe hacerse con el uso de mapas cartográficos con una resolución adecuada, donde se muestran las curvas topográficas o curvas de nivel. Se establecen las coordenadas geográficas de los puntos relevantes y se identifica el río principal y sus afluentes. El conocimiento de los comunitarios es importante para definir los cauces que son más caudalosos durante la época de lluvias. Así mismo, se debe establecer el probable régimen de las lluvias.

La definición del punto de nacimiento del río principal, las elevaciones, longitud de los canales, la pendiente, pueden ser indicadores de corrientes rápidas o lentas. El apoyo que pueden suministrar los mapas de precipitación y los datos hidrológicos y meteorológicos ayudan a entender el conocimiento de la cuenca. Se deberá conocer el cubrimiento de estaciones de monitoreo de lluvia y el número de estaciones pluviométricas e hidrométricas que existan. Se colectan estadísticas de datos de lluvia diaria y otros datos.

Se identifican también las zonas más susceptibles a inundaciones, se establece la periodicidad de las mismas, para lo cual los comunitarios son los mejores informantes. Mediante entrevistas se pueden obtener los antecedentes de zonas de inundación, así como los niveles alcanzados; además, pueden suministrar información valiosa sobre el comportamiento de las lluvias. Es conveniente el reconocimiento de campo para complementar el conocimiento de la cuenca.

Una vez establecida la identificación de la cuenca con el trazo del río principal y de sus afluentes mayores, se trazan las sub-cuencas; esto es importante para establecer los puntos de ubicación de los equipos de monitoreo. Completado el trazado de la cuenca, se establece la línea o ruta de flujo de agua que puede provocar una inundación, y cómo puede ser la contribución de cada sub-cuenca o las combinaciones que se pueden dar según la contribución de ellas.

La ubicación de los equipos depende de dos factores: primero, del sitio en donde se espera que ocurran inundaciones. Esto significa que los equipos de medición deben estar ubicados aguas arriba del punto definido como de inundación; y segundo, que exista una vivienda cuyos moradores quieran participar voluntariamente en la observación de las lluvias y/o del nivel del río. Es conveniente instalar el pluviómetro en las cercanías de la casa de un voluntario. Colocados los medidores de lluvia, se establece el plan de lecturas y envío de información. La capacitación es vital para los buenos resultados. Los voluntarios cumplen aquí un papel importante. Los medidores de nivel de río o equipos a instalar se colocan regularmente en el punto definido de inundación y en los puntos para definir los avisos y alertas.

## 8.4. SELECCIÓN DE EQUIPOS

Actualmente existen diversos tipos de equipos para registrar lluvias y niveles de ríos, desde artesanales hasta aquellos que utilizan tecnología satelital. Algunos SATIs instalados en la década de los 90's utilizaron equipos caseros o fabricados por los mismos comunitarios. Ahora se cuenta con medidores de lluvia de bajo costo, como el pluviómetro Trucheck fabricado con material plástico, con un costo aproximado de US\$ 10.00.

Fabricantes de equipos hidrometeorológicos ofrecen diversos equipos con tecnología avanzada. Existen equipos con registradores electrónicos y con componentes que permiten transmitir la información desde el equipo a la Oficina usando sistemas como el satélite o la telefonía celular.

Se presentan, a manera de ejemplo, tres opciones de equipamiento para registrar lluvia y nivel de ríos para un SATI. Esta referencia debe ser ajustada de acuerdo al presupuesto y requerimientos del SATI a implementar.

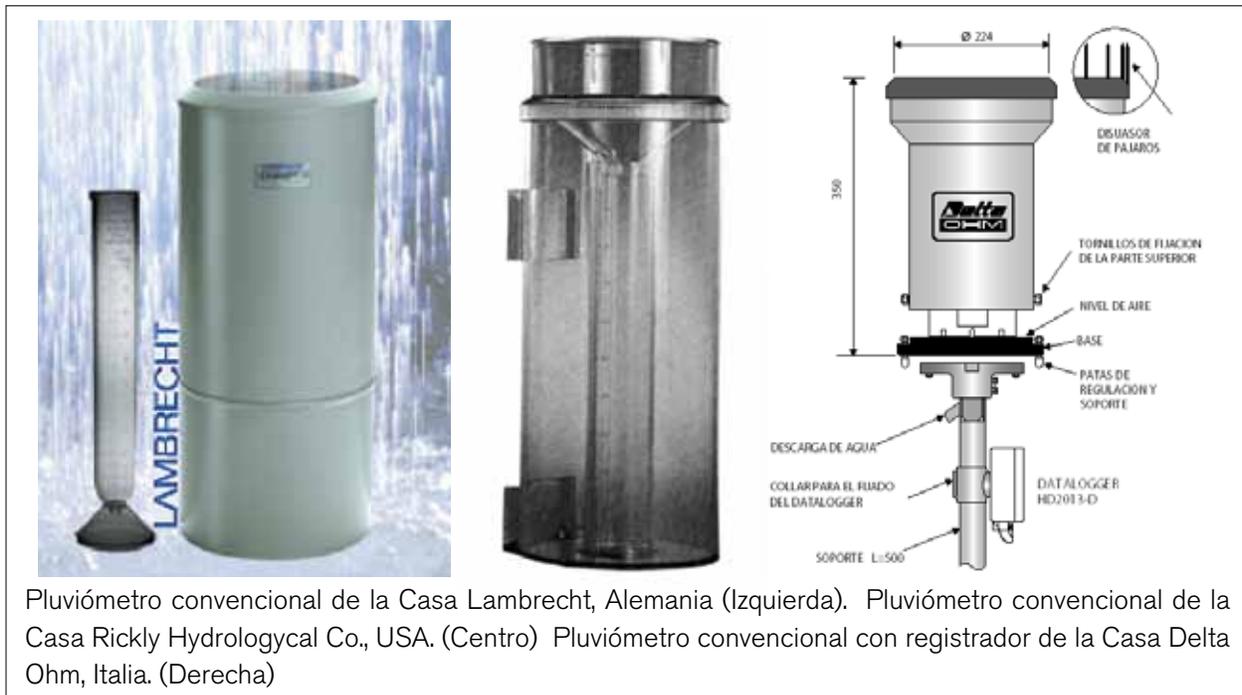
### 8.4.1. Pluviómetro Convencional

Con este tipo de pluviómetro se pueden obtener registros de lluvia acumulados en 24 horas o en tiempos determinados por los operadores del SATI. Este pluviómetro reúne los estándares establecidas por la Organización Meteorológica Mundial. Medidores de este tipo funcionan en muchas estaciones meteorológicas y pluviométricas de Centro América. En la Figura 8.4 se presenta un modelo de este tipo de pluviómetro. Sus características básicas son las siguientes:

- Colector de 200 cm<sup>2</sup>;
- Robusto y fácil de instalar;
- Cilindro de Zinc plateado;
- Probeta graduada para lectura directa;
- Costo aproximado US\$ 600.00.

### 8.4.2. Pluviómetro con registrador de Datos

Varios proveedores pueden suministrar este tipo de pluviómetro con datalogger. Existen pluviómetros con diversas versiones y características que van desde equipos muy robustos a livianos. Los sistemas de registro y alimentación de energía pueden variar, lo cual incide en sus costos. Como un ejemplo, se indican las características principales del HD2013. En la Figura 8.4 se presenta un modelo de este tipo de pluviómetro. Sus características básicas son las siguientes:



**FIGURA 8-4:** Algunos modelos de pluviómetros

- Colector de 400 cm<sup>2</sup>;
- Material anticorrosivo;
- Control por cubeta basculante;
- Registrador o Datalogger tipo HD2013D con display;
- Energía con batería de Litio de 3.6 V;
- Capacidad de almacenamiento 128,000 impulsos;
- Software DeltaLog6;
- Conexión a PC;
- Costo aproximado US\$ 2000.00.

### 8.4.3. Estación pluviométrica automática y transmisor GPRS

Estaciones de tipo meteorológico de diversos tipos pueden ser suministrados por proveedores o fabricantes. Muchas fábricas tienen representantes a nivel de Latinoamérica. Información relacionada con estos pluviómetros puede ser consultada en sitios WEB. Una estación automática meteorológica puede variar desde 1 sensor a varios que miden lluvia, temperatura de suelo, etc. A manera de ejemplo se ilustra la estación pluviométrica automática en tiempo real **I-metos RAIN**. En la Figura 8.5 se presenta un modelo de este tipo de pluviómetro. Sus características básicas son las siguientes:

- Registro de lluvias en tiempo real;
- Memoria de almacenamiento de 512 Kb. (almacenamiento de 2-3 semanas);
- Registros cada 5 minutos;
- Transmisor GPRS, para ver datos procesados en WEB (máximos, medios, por hora, etc.);
- Panel solar y batería interna recargable;
- A este modelo se le pueden agregar hasta 36 sensores, tales como temperatura, viento, etc.;
- Costo aproximado US\$ 4,000.00.



**FIGURA 8-5:** ilustración de estaciones pluviométricas automáticas

#### 8.4.4. Miras, escalas o limnímetros

Los controles de nivel de un río pueden establecerse con un sistema de reglas o escalas limnimétricas. Generalmente vienen con marcas en centímetros. Las redes hidrológicas nacionales utilizan este tipo de medidor. En la Figura 8.6 se presenta un modelo de este tipo de limnómetro. Sus características básicas son las siguientes:

- Material anticorrosivo;
- Longitud de 1 metro;
- Fácil de instalar y mantenimiento;
- Costo aproximado US\$ 30.00.

#### 8.4.5. Sensor de nivel automático con registrador y transmisor Goes

Los equipos automáticos de diversa variedad pueden ser suministrados por proveedores europeos y americanos. Sensores de nivel sumergidos y no sumergidos pueden ser una opción; registradores sencillos y

robustos pueden ser incorporados, así como transmisión por celular o satélite, etc. En la Figura 8.6 se presenta un modelo de este tipo de limnómetro. Las características básicas del modelo H 500XL incorporado con Smart gas H-355 y sensor H 350LITE son:

- Plataforma colectora de datos con display;
- Sensor con opción de medida de 0-15 psi de presión;
- Unidad de gas-compresor, sistema de burbuja;
- Registro de 16 Mb (expandible);
- Comunicación a PC;
- Energía de 12 V;
- Transmisión de datos por GOES (opciones celulares o radio);
- Costo aproximado US\$ 14,000.00.



**FIGURA 8-6:** Ilustración de medidores de nivel de río

#### 8.4.6. Sensor de Nivel de río y Pluviómetro con Leed's

Algunas instituciones de manejo de desastres a nivel de Centro América están trabajando en el diseño y construcción de pluviómetros y sensores de nivel que funcionan con un LEED de colores para identificar umbrales de lluvia o del nivel del río y con alarmas sonoras. La SE-CONRED en Guatemala, en casi todos los SAT's que opera ha instalado un sensor de nivel que se ilustra en la Figura 8.7.

Estos equipos comúnmente se integran a los sistemas de radio comunicación en la casa del voluntario y permite la facilidad de lecturas y toma de datos. Algunos requieren una fuente de energía (baterías comunes).



**FIGURA 8-7:** Sensor de nivel de río para SATIs. SE-CONRED Guatemala (se observa leeds de lectura)

Costa Rica, Honduras y Nicaragua están también haciendo uso de sensores similares. Se hacen también esfuerzos para mejorar estos equipos, los cuales son contruidos por los técnicos de las Oficinas de Protección Civil y de Emergencia, lo que facilita el mantenimiento y sustitución cuando son dañados. La SE-CONRED y ACH (Acción contra el Hambre) están haciendo esfuerzos para incorporar un registrador electrónico a este tipo de sensores.

Características básicas del sensor de nivel del río tipo SE-CONRED:

- Pieza longitudinal de 2-3 metros
- Contactos de nivel a cada 20-30 centímetros
- Leed con 10 señales, señal siete a señal 10 (escala verde y roja)
- Energía 12 voltios
- Costo aproximado US\$ 150.00

#### 8.4.7. Equipo automatizado

Algunos Servicios de Protección Civil han identificado la importancia de apoyar los SATI's con equipos meteorológicos e hidrológicos automatizados, que registran datos en un registrador automático y que pueden transmitir los datos. Estos equipos deben ser resistentes a la intemperie, como los usados por los Servicios Hidrometeorológicos. Existen algunos equipos menos sofisticados, con una variabilidad de costos. La intención del uso de equipo automatizado es que cumplen dos funciones: el monitoreo y el apoyo al análisis del SAT, como la validación del pronóstico.

## 8.5. PUNTOS DE UBICACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO, INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN

Para seleccionar los sitios en donde se ubicarán los equipos de medición de lluvias y de niveles del río, es necesario:

- Elaborar el mapa cartográfico de la cuenca para implementar el SATI (se utilizan hojas cartográficas, generalmente de escala 1:50,000) con mapas físicos o bien seguir procedimientos con SIG (Sistemas de Información Geográfica). Casi todas las Oficinas de Protección Civil cuentan con Técnicos en SIG;
- Identificar los ríos principales, elevaciones principales, por ejemplo: elevación del nacimiento del río principal. Se identifican las comunidades;
- Recabar toda la información de campo o entrevistas (principalmente con los comunitarios) sobre inundaciones históricas, régimen de lluvias, etc. Se hace un análisis preliminar de la información;
- Identificar las sub-cuencas, considerando los afluentes que trasladan más caudal;
- Utilizar los mapas de precipitación como ayuda para entender el régimen de las lluvias. Colectar información sobre las estaciones hidrometeorológicas en la zona o áreas cercanas;
- Usar todo tipo de información, datos, mapas, documentos, etc. para apoyar el diseño del SATI.

De acuerdo a los criterios mínimos de la Organización Meteorológica Mundial, OMM, una red de medidores de lluvia (pluviometría) debe enmarcarse en las unidades por kilómetro cuadrado que indica la Figura 8.8. En ella se indica si ya ha existido control o es nuevo.

Esta tabla define el área para colocar una unidad de medición. Lo conveniente es dividir la cuenca en zonas, es decir zona montañosa, zona intermedia (ondulante) y zona costera. Con el área de cada zona, se define entonces el número de pluviómetros a instalar.

Unidad fisiográfica	Densidades mínimas por estación (superficie en km <sup>2</sup> por estación)	
	Sin registro	Con registro
Zonas costeras	900	9 000
Zonas montañosas	250	2 500
Llanuras interiores	575	5 750
Zonas escarpadas/ondulantes	575	5 750
Pequeñas islas	25	250
Zonas urbanas		10 a 20
Zonas polares y áridas	10.000	100 000

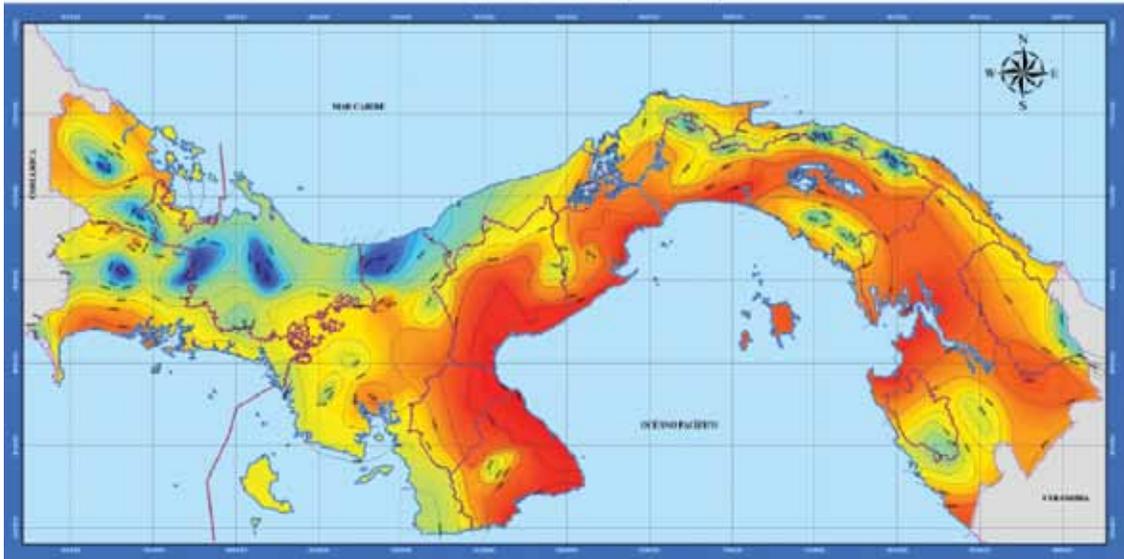
**FIGURA 8-8:** Densidad mínima recomendada de estaciones pluviométricas

Con el conocimiento del canal principal o sus afluentes principales, se ubican los puntos finales de instalación. Normalmente los medidores van colocados cercanos a los ríos definidos.

Este mapa da una idea de la distribución espacial de la lluvia en la cuenca. Es importante obtener en las oficinas de los servicios meteorológicos nacionales, un juego de mapas de precipitación con el mayor detalle

posible. Este mapa será una guía para conocer inicialmente cómo se distribuyen las lluvias en la cuenca donde se instalará el SATI. La Figura 8.9 ilustra un ejemplo de un mapa de precipitación media anual para la República de Panamá.

República de Panamá. Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. Gerencia de Hidrometeorología.  
MAPA DE ISOYETAS ANUALES (1971–2002)



**FIGURA 8-9:** Mapa de lluvia promedio anual. Panamá

La Figura 8.10 ha sido tomada del informe de PREVDA (Programa de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental) sobre el Plan de la cuenca del río Reventazón-Pasismina de Costa Rica. En este mapa se indican las sub-cuencas.

Esta cuenca tiene una superficie de 2,953.4 km<sup>2</sup> y una longitud del río principal de 145 kilómetros. La cuenca ha tenido estaciones de registro de lluvias y de nivel del río (control hidrometeorológico).

Este mapa será el que se va a utilizar como ejemplo para el diseño de la red de medidores de lluvia y nivel de río en el SATI. El mínimo de pluviómetros y su distribución se muestra en la Figura 8.11.

Para determinar los sitios donde se ubicará el pluviómetro se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

- Accesible a los voluntarios que harán las lecturas y garantizar la seguridad física;
- Preferiblemente en la parte alta de la cuenca;
- Cubrir toda la extensión de la cuenca, (mínimo una estación);
- Área despejada de follajes;
- Zona sin peligro de inundación;
- Sitio relativamente plano;
- El pluviómetro debe ubicarse a un (1) metro sobre la superficie del suelo, a nivel, evitando cualquier inclinación, sobre una base vertical.



- La sección del río (forma del perfil del lecho del río) debe ser la más estrecha
- El río no debe desbordarse en este punto;
- La escala, mira o limnómetro debe ubicarse lo suficientemente alejado del sitio de respuesta (comunidad en riesgo de inundación);
- Preferiblemente no ubicarse muy cerca de la cabecera de los ríos.

Las escalas regularmente se diseñan para leer en centímetros. El número de escalas a instalar puede definirse dependiendo del punto de control establecido. Por ejemplo, si el nivel del río alcanza los cuatro metros, deben instalarse cinco o seis escalas de un metro cada una; con ello se pueden hacer lecturas de 0 a 600 centímetros.

Las estaciones de lluvias se han ubicado a 2/3 del sistema montañoso de las sub-cuencas. Para la sub-cuenca final se han colocado 2 pluviómetros y los controles de nivel se dan en la parte intermedia; la primera para medir la escorrentía de las tres primeras sub-cuencas (SC1, SC2 y SC3). Se interpreta que las comunidades aguas abajo de este punto son las vulnerables a inundaciones.

Se deben tener protocolos o manuales de procedimientos para cada etapa del monitoreo (normal, de seguimiento, etc.). Las instituciones de respuesta ante emergencia deben diseñar protocolos para los sistemas de alerta temprana. La elaboración de un manual de protocolos para operaciones rutinarias y en casos de eventos, para ser implementado como parte de los esfuerzos de fortalecimiento de los SATI, es vital y de beneficio para el éxito del mismo.

## 9. INSTRUCCIONES PARA LECTURA DE DATOS OBSERVADOS

Una vez instalados los medidores es importante definir una jornada de capacitación para los voluntarios en la lectura de los pluviómetros y de los medidores de nivel de río.

### 9.1. LECTURA DE DATOS DE LLUVIA

Los pluviómetros tipo Trucheck tienen una capacidad de 150 milímetros o bien de 6 pulgadas de lluvia, para sistemas de lectura en sistema métrico y sistema inglés. Generalmente en los países centroamericanos se usa el sistema métrico, pero en el campo se usa mucho la pulgada para medir longitudes. Por lo tanto, por conveniencia para los SATI se usará pulgada (esto aplica también para el tema de pronóstico de inundación). El uso de pulgadas o centímetros es opcional.

Pasos mínimos para lectura de los pluviómetros de lectura directa:

- Leer la cantidad de lluvia en pulgadas o milímetros todos los días a la hora establecida (si el pluviómetro tiene escala, proceder a leer hasta la altura de la lluvia colectada; si el pluviómetro es con uso de colector, usar la probeta con escala para medir la lluvia colectada);

- Anotar en la boleta de datos en el día que corresponde (normalmente se leen datos todos los días a las 7:00 am). Con estas lecturas se logra un registro de datos diarios.

Pasos mínimos para operación de pluviómetros con registrador:

- La cantidad de lluvia se registra en la unidad de almacenamiento de datos (estos se programan para definir el tiempo de almacenar datos, cada 10 minutos por ejemplo). El registro de la lluvia caída queda almacenado (desde que inició la lluvia hasta su final, obteniendo su distribución en el tiempo que tardó la lluvia);
- La visualización de datos se observa en la pantalla del registrador (datalogger);
- Operando directamente sobre las teclas del registrador se puede visualizar la cantidad de precipitación total o parcial. Los catálogos del equipo suministran los procedimientos para ver datos en la pantalla (display);
- Para otros procedimientos, siempre referirse al catálogo del equipo.

Durante la operación del SATI, es importante leer las lluvias en períodos determinados, para establecer las relaciones de lluvia-caudal. Las lecturas pueden establecerse al inicio de una tormenta y al final de ella. Esto se logra con un pluviómetro con registrador. Deben establecerse procedimientos de lectura en los "PROTO-COLOS" con los lineamientos de cada caso.

Un ejemplo de los procedimientos de lectura se da en la Figura 9.1, con el uso de pluviómetro de lectura directa.

Formularios básicos para el control del monitoreo de la lluvia y nivel de río, pueden ser como el ilustrado en la Figura 9.2. Existen diversos diseños de formularios para la toma de datos de un SATI. Cada Oficina de Emergencia adaptará uno a sus necesidades.

## 9.2. LECTURA DE DATOS DE NIVEL DE LOS RÍOS

Los Protocolos deben indicar de forma clara, los procedimientos de lectura, hora de leer, etc., los niveles de los ríos. Deben incluirse procedimientos de inicio de toma de datos, que generalmente se hace una vez que se define que las lluvias son de un buen orden o por mensajes de la Oficina de Operaciones de Emergencias al voluntario.

Los pasos mínimos para la lectura de niveles cuando el medidor o escala es de lectura directa son los siguientes:

- Leer el nivel en centímetros, ejemplo 24 centímetros (una vez establecido la presencia de lluvias en la cuenca alta);
- Anotar el valor en la boleta de datos en el día que corresponde, anotar hora, etc.;
- Trasladar el dato vía radio a la Oficina;
- Leer cada media hora o según lo indicado por el Protocolo;

- Trasladar vía radio los datos cada media hora;
- Considerar las observaciones de la Oficina de Emergencias.

### 9.3. CARÁCTER DE LA TOMA DE DATOS

Los pasos para establecer procedimientos de toma de datos pueden ser así:

- Datos de tipo normal
- Datos de tipo seguimiento

Los datos normales corresponden a aquellas lluvias y niveles del río que no representan posibles daños en la comunidad, por lo que no hay que tomar alguna decisión en la operación del SATI. Corresponden a los datos de la época seca. En este caso, se pueden seguir los procedimientos de lectura y anotación de datos establecidos.

Los datos de seguimiento se definen como aquellos importantes y que podrían relacionarse con probables inundaciones o toma de decisiones. La secuencia de toma de datos puede ser así:

- La entidad meteorológica da el aviso de presencia de un evento meteorológico; se requiere entonces que el voluntario este atento y tome sus datos.
- La toma de datos puede ser de tipo horario, tal como se muestra en la Figura 9.2.
- Tomar en cuenta todas las comunicaciones de la Oficina de Emergencia.

En el seguimiento y operación de los SATI's, la entidad nacional de meteorología lleva a cabo el monitoreo de la evolución de los fenómenos y recomienda a la institución nacional de Emergencia la emisión de alertas para las regiones del país que merecen atención.

Para la operación de los sistemas de alerta de inundaciones es muy importante la integración del trabajo de la institución de Protección Civil y la Oficina de Meteorología Nacional. Se debe consolidar una interacción entre el sistema nacional de monitoreo meteorológico y los sistemas locales para lograr un desarrollo integral de mutuo beneficio.

#### LECTURA Y REGISTRO

Cuando se inicia la lluvia, los voluntarios comenzarán a tomar las lecturas de los pluviómetros y escalas hidrométricas a los que fueron asignados. Las lecturas se harán a las horas en punto 0 cada 45, 30 o 15 minutos según la intensidad de la lluvia para cuidar que los pluviómetros no se rebalsen. Los voluntarios encargados de la medición y lectura de pluviómetros y escalas deberán tomar en cuenta que, en situaciones de lluvias extremas, habrá que hacer lecturas continuas sobre los niveles de agua representados en estos instrumentos



**FIGURA 9-1:** Procedimiento de lectura de pluviómetros. *Fuente:* FIRC-OEA

SAT río Reventazón

	Lector		Mes	
	Pluviómetro		DATOS DIARIOS LLUVIA	
Día	Lectura del día en pulgadas	Comentario		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

SAT río Reventazón

	Lector	<i>E. Robles</i>	Mes/día	<i>septiembre 14</i>
	Pluviómetro No. 2		DATOS DIARIOS LLUVIA	
Día	Lectura del día en pulgadas	Comentario		
14	0.25	<i>inicio de la lluvia</i>		
15	0.80			
16	1.00			
17	1.00			
18	0.25			
19	0.25			
20	0.10			
21	0.10	<i>fin de la lluvia</i>		

**FIGURA 9-2:** Formularios de toma de datos de lluvia

Es importante tomar en cuenta que durante la operación de un SATI, la presencia de fenómenos meteorológicos locales, relacionados regularmente con lluvias de tipo convectivo puede presentarse en la cuenca de análisis. Las observaciones periódicas y la experiencia de los comunitarios pueden apoyar el inicio de las lecturas de datos.

## 9.4. PROCEDIMIENTOS PARA GUARDAR LA INFORMACIÓN OBSERVADA

Las técnicas para almacenamiento de datos pueden ser muy variadas. Existen softwares específicos para el tratamiento de datos hidrometeorológicos y con procedimientos no complicados. El uso de hojas electrónicas es la herramienta actual de mucha utilidad.

La ventaja de la hoja electrónica, es que se pueden obtener formas y procedimientos de cálculo de acuerdo a la intención del analista. Se sugiere para los SATI's comunitarios el uso de la hoja electrónica, tipo EXCEL.

Cada Servicio de Emergencia o entidad administradora de un SATI debe establecer el tipo de forma para el almacenamiento de datos. Se sugiere el uso de la hoja electrónica DATA MONITOREO como un procedimiento mínimo para guardar la información observada (ver archivo Excel que se anexa a este informe). Esta información servirá para los procesos de análisis y evaluación.

## 9.5. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBSERVADOS

Siendo el SATI una herramienta que cumple múltiples tareas, es conveniente que en el diseño y operación del mismo se tenga un hidrólogo que ayude y apoye las actividades del sistema, para el logro eficiente de los objetivos y éxito del mismo. El conocimiento hidrológico de la cuenca es muy importante en el SATI. Se ha mencionado ya en el tema del ciclo hidrológico, cómo intervienen los parámetros hidrometeorológicos (lluvia y escurrimiento), que son fundamentales en el monitoreo y pronóstico del sistema de alerta temprana.

Una vez diseñado el SATI, se tendrá la base para el pronóstico hidrológico; las series de datos históricos son muy importantes para poder entender el proceso de lluvia y escurrimiento en la cuenca de análisis del SATI. Los datos observados, además de cumplir su función en el pronóstico y utilidad para la emisión de alertas de inundaciones, permiten validar las relaciones hidrológicas establecidas.

A manera de ejemplo, se presenta una idea del análisis y evaluación de los datos observados:

En la Figura 8.11, Red mínima del río Reventazón, se identifican las estaciones de lluvia P1, P2, P3 y P4 y las estaciones de nivel del río N1 y N2. Al punto de control N2 llega en forma de escurrimiento la lluvia registrada en las tres sub-cuencas por las estaciones de lluvia P1, P2, P3 y P4. Para una tormenta leída, tal como aparece en la Figura 9.2 se ha elaborado la Figura 9.3 que presenta, en las columnas, los valores de lluvia horaria. La figura 'lluvia leída cada hora' produce un histograma de precipitación. Se nota que la tormenta inicia con poca lluvia a las 14:00 horas, que hay un momento de lluvia máxima a las 17:00 horas, luego una reducción de la lluvia, hasta que finalmente la tormenta cesa a las 21:00 horas, después de haber registrado un total de 2.55 pulgadas en siete horas.

Para el análisis de la lluvia observada en las sub-cuencas, se procede con el cálculo de la lluvia promedio. La lluvia promedio para las dos primeras sub-cuencas es la suma de la lluvia registrada en la estación P1 mas la lluvia registrada en la estación P2, dividiendo el valor resultante entre 2 (porque son 2 estaciones consideradas). Este dato calculado, se interpreta como la lluvia media de la zona superior al sitio de registro de nivel N1.

De manera general, la lluvia promedio  $P_m$  se calcula así:

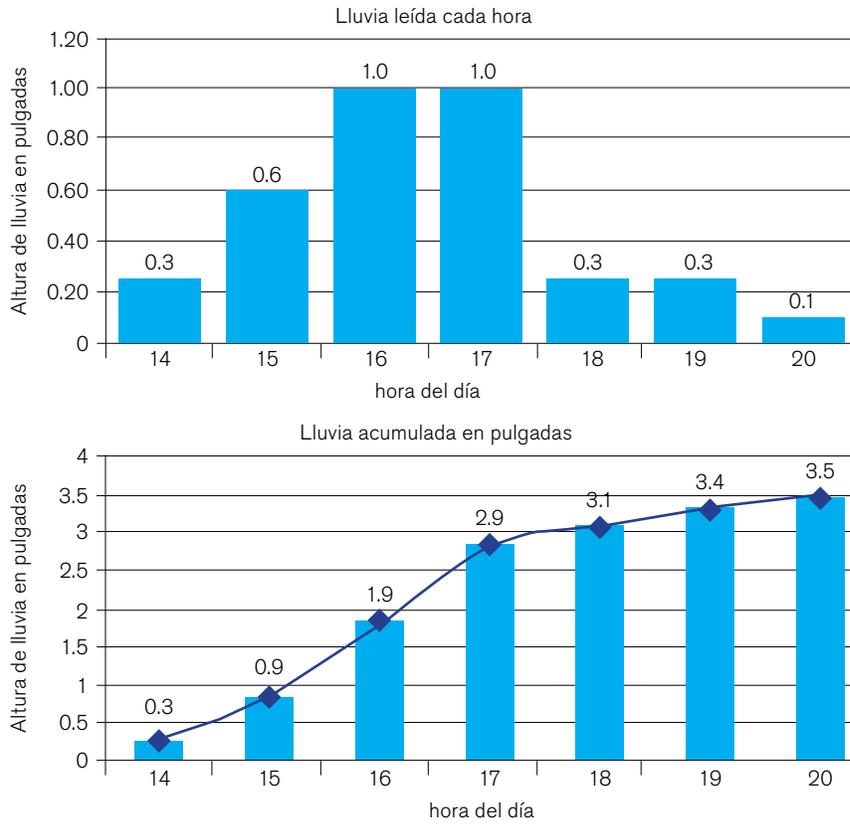
$$P_m = (P_1 + P_2 + P_3 + P_n) / n \text{ (Ecuación 2)}$$

Por conveniencia para este ejemplo, se ha tomado el registro de la estación P2, como los valores promedios, es decir los valores de lluvia media (considerando que la lluvia de la estación P1, es la misma de la estación P2). Estos valores de lluvia horaria se pueden acumular y presentar en columna y tendencia lineal tal como se indica en la segunda figura 'lluvia acumulada en pulgadas'. Este producto es muy útil, pues permite determinar que durante la primera hora hubo un acumulado de lluvia de 0.3 pulgadas, que en la segunda hora el acumulado de lluvia fue de 0.9 pulgadas y que en las tres primeras horas fue de 1.9 pulgadas, aproximadamente "2 pulgadas de lluvia acumulada en las primeras 3 horas", que se puede comparar con lo que define el pronóstico. El manejo de resultados de este tipo es fundamental para la toma de decisiones para emitir avisos y alertas, o bien para procesos de validación de la hidrología del SATI.

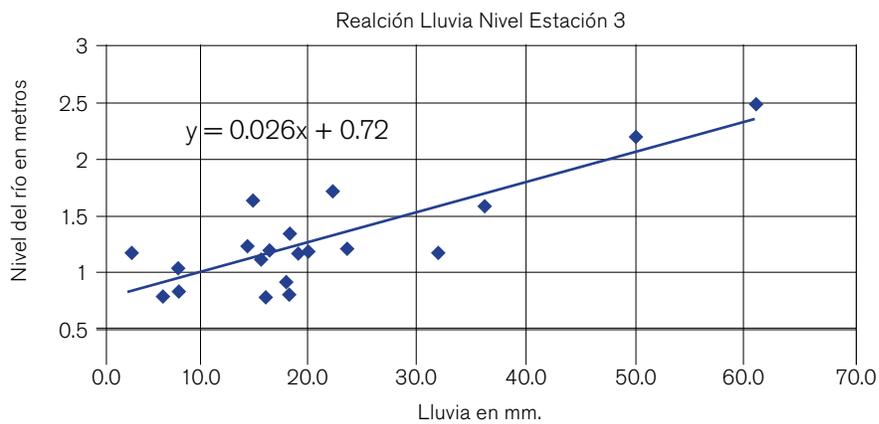
La Figura 9.4 presenta la relación lluvia-nivel. La interpretación de esta figura puede ser la siguiente: se considera para evaluación la estación de control de niveles, definida como 3. En ella el voluntario ha tomado los datos de la escala y anotado el nivel de las crecidas. Los voluntarios o lectores de las lluvias han leído y anotado el valor de lluvia diaria. Con el manejo de los datos observados se pueden entonces establecer las relaciones iniciales de nivel del río en la estación 3 y las lluvias de las estaciones 1 y 2.

Los procesos de análisis y evaluación de datos hidrometeorológicos son muy importantes, de allí que las Oficinas de Emergencia deben contar con técnicos específicos que se encarguen de realizar estas evaluaciones.

Finalmente, el contar con una base de datos es importante para el almacenamiento de los datos producto del monitoreo hidrometeorológico del SATI. Los datos pueden ser correlacionados y comparados con las series históricas del diseño del Sistema de Alerta Temprana ante Inundaciones, SATI.



**FIGURA 9-3:** Interpretación y análisis hidrometeorológico de series observadas



**FIGURA 9-4:** Análisis de datos observados



Programa  
Centroamericano para  
la Alerta Temprana  
ante Inundaciones en  
Pequeñas Cuencas  
(SVP) y Reducción de la  
Vulnerabilidad: Desarrollo  
de una Plataforma  
Regional

Manual para el Diseño,  
Instalación, Operación  
y Mantenimiento de  
Sistemas Comunitarios  
de Alerta Temprana ante  
Inundaciones

## MÓDULO II

### PRONÓSTICO DE LA CRECIDA

Este Módulo forma parte del **Libro I: Consideraciones hidrológicas**. En él se describen métodos sencillos para determinar umbrales de lluvia y de niveles de ríos, información que al ser incorporada en los SATI's aumenta el tiempo de respuesta de la comunidad ante una eventual inundación. También suministra este módulo información sobre herramientas tecnológicas que puedan facilitar el pronóstico de lluvias en períodos que van desde una hora hasta los cuatro días.



# CONTENIDO

<b>1. Aspectos Generales .....</b>	<b>39</b>
1.1. Pronóstico de Crecidas.....	39
1.2. Mapa de inundaciones .....	40
<b>2. Umbrales de lluvia o de nivel del río .....</b>	<b>42</b>
<b>3. Umbrales de lluvia .....</b>	<b>42</b>
3.1. Cálculo de umbrales de lluvia.....	46
3.1.1. Ejemplo 1, Definición de la Lluvia con el método estadístico (paso 1).....	47
3.1.2. Ejemplo 1, Definición de Umbrales (paso 2).....	57
3.1.3. Ejemplo 2, Definición de Umbrales utilizando UsoMap.....	61
<b>4. Umbrales de nivel de río .....</b>	<b>69</b>
4.1. Generalidades y Métodos de cálculo .....	69
4.2. Ejemplo 3, Definición de Umbrales de nivel de río.....	76
<b>5. Importancia de la validación y calibración de los umbrales.....</b>	<b>77</b>
<b>6. Cuadro de valores de umbrales y clasificación del aviso o alerta .....</b>	<b>78</b>
<b>7. Consideraciones sobre la información de los Servicios Meteorológicos Nacionales</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 1: Mapa de inundaciones en Santa Fe, Argentina.....	41
Figura 1 2: Mapa de inundaciones: Número de eventos históricos.....	41
Figura 1 3: Mapa de riesgo de inundaciones elaborado con el apoyo de miembros de una comunidad.....	42
Figura 3 1: Gráfica de umbrales de lluvia. USGS.....	44
Figura 3 2: Curva de Distribución hipotética tipo II. US SCS.....	45
Figura 3 3: Categoría de umbrales de lluvia y acción a seguir .....	45
Figura 3 4: Lluvia acumulada horaria para niveles de alerta; hasta la Estación Puente Coyolate.....	47
Figura 3 5: Sub-cuencas y estaciones para definir umbrales. Cuenca del río Coyolate, Guatemala	48
Figura 3 6: Registro de lluvias estación Camantulul, Guatemala.....	49
Figura 3 7: Registro de lluvias estación Santiago Atitlán, Guatemala.....	50
Figura 3 8: Registro de niveles de río. Cuenca río Coyolate, Guatemala.....	51
Figura 3 9: Lluvia máxima diaria (mm) 1970-2008.....	52
Figura 3 10: Análisis estadístico de lluvia máxima diaria. Estación Camantulul. Guatemala.....	54
Figura 3 11: Lluvia maxima diaria estimada. Estación Camantulul. Metodo Gumbel. Tr 2 años.....	55
Figura 3 12: Promedio reducido, $Y_n$ , y desviación estándar reducida, $\sigma_n$ .....	56
Figura 3 13: Valores de los parámetros para la distribución de lluvia horaria .....	59
Figura 3 14: Curva de Lluvia acumulada para Niveles de Alerta del Ejemplo 1.....	60

Figura 3 15: Mapa de isolíneas de lluvia máxima diaria para Tr de 2 años .....	62
Figura 3 16: Mapa de isolíneas de lluvia máxima diaria para Tr 2 años, cuenca del río Coyolate.....	63
Figura 3 17: Valores de lluvia acumulada para el Ejemplo 2 .....	64
Figura 3 18: Lluvia acumulada para Tr 2 años. Ejemplo 2.....	65
Figura 3 19: Hoja electrónica para Curva de distribución de lluvia horaria .....	67
Figura 3 20: Curva de lluvia acumulada-niveles de alerta.....	68
Figura 3 21: Mapa de lluvia máxima en 24 horas para la República Mexicana. CENAPRED.....	68
Figura 3 22: Umbrales de lluvia y acción a seguir .....	69
Figura 4 1: Registro del nivel del río Magdalena 1997-2002 y Curva de relacion Caudal-Nivel.....	71
Figura 4 2: Diagrama de un SATI básico.....	72
Figura 4 3: Umbral de crecida.....	73
Figura 4 4: Definición de niveles en una sección transversal.....	74
Figura 4 5: Interpretación de caudal crítico. Universidad de Florencia. Italia.....	76
Figura 4 6: Umbrales de nivel río y tipo de acción .....	77
Figura 6 1: Umbrales de lluvia y clasificación de la alerta.....	78
Figura 6 2: Umbrales de nivel de río y clasificación de la alerta .....	78
Figura 7 1: Boletín de pronóstico meteorológico. SMM México .....	80
Figura 7 2: Pronóstico de temperatura y lluvia acumulada en 24 horas. COLA.....	81
Figura 7 3: Guía de inundaciones para 1 hora. CAFFG. ....	82
Figura 7 4: Zonas de posible inundación. CAFFG. Costa Rica.....	83

# 1. ASPECTOS GENERALES

## 1.1. PRONÓSTICO DE CRECIDAS

El ser humano ha comprendido que es indispensable convivir con la naturaleza, realizando actividades comunitarias que le permitan disminuir los riesgos mediante la reducción de la vulnerabilidad, o mediante las acciones de prevención.

La recurrencia de desastres naturales en Centro América ha hecho que se busquen soluciones a la problemática de las inundaciones. Cada año suceden eventos que resultan en severos daños materiales y pérdidas personales. Los gobiernos han implementado los sistemas de alerta temprana ante inundaciones, SATI, como una medida de prevención ante estos eventos.

En un SATI comunitario, los pronósticos se elaboran con los datos hidrológicos obtenidos por los voluntarios de las comunidades en diferentes puntos de la cuenca aguas arriba de las comunidades afectadas y/o por los obtenidos de las estaciones que forman parte de la red nacional hidrometeorológica.

Se entiende por pronóstico a la determinación de la probabilidad de que un fenómeno se manifieste con base en el estudio de su mecanismo generador, el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de eventos en el tiempo<sup>1</sup>.

Un pronóstico puede ser a corto plazo, generalmente basado en la búsqueda e interpretación de señales o eventos premonitorios de un evento; a mediano plazo, basado en la información probabilística de parámetros indicadores de la potencial ocurrencia de un fenómeno; y a largo plazo, basado en la determinación del evento máximo probable en un período de tiempo que pueda relacionarse con la planificación del área potencialmente afectable.

El pronóstico de crecidas tiene dos características: dar a conocer con anticipación la ocurrencia de una crecida y la magnitud de la misma.

Los pronósticos de crecidas pueden ser utilizados para establecer estrategias de actuación para evitar o reducir la pérdida de vidas humanas y ciertos daños económicos. Además, los pronósticos de crecidas ayudan en la toma de decisiones, proporcionan información a escala temporal e indican el nivel de la crecida esperada en la zona.

<sup>1</sup> Cardona, O. y Lavell, A. (2002). Conceptos y definiciones de relevancia en la gestión del riesgo. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). <http://www.snet.gob.sv/Documentos/conceptos.htm>.

## 1.2. MAPA DE INUNDACIONES

Una de las primeras acciones necesarias para implementar un sistema de alerta temprana ante inundaciones es conocer la cuenca de drenaje e investigar sobre las inundaciones históricas que se han presentado, así como conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca.

Es necesario que cada vez que se produzca una inundación se marquen las zonas inundadas en las comunidades que tienden a ser vulnerables. Con esta información se elabora un mapa de inundaciones, el cual representa una herramienta de análisis y evaluación de las áreas vulnerables a inundaciones.

Es importante investigar si las instituciones que desarrollan actividades en materia de inundaciones tienen mapas de zonas inundables, registros de inundaciones, etc. Los habitantes de la cuenca son muy buenos conocedores del territorio en donde habitan, por lo que los mapas de inundaciones deben completarse o validarse con visitas de campo a la cuenca.

Los datos hidrológicos y meteorológicos son básicos para el diseño y operación del SATI. Se debe visitar la institución que opera las redes de hidrometeorología para recopilar todos los datos útiles para el análisis y la evaluación necesaria. Se debe investigar quiénes operan u operaron medidores de lluvia (pluviómetros) y de niveles de ríos (limnómetros) en la zona donde se instalará el SATI. Si no se obtiene información para la cuenca, entonces se debe recurrir a estaciones ubicadas en cuencas vecinas o cuencas que tengan el mismo comportamiento.

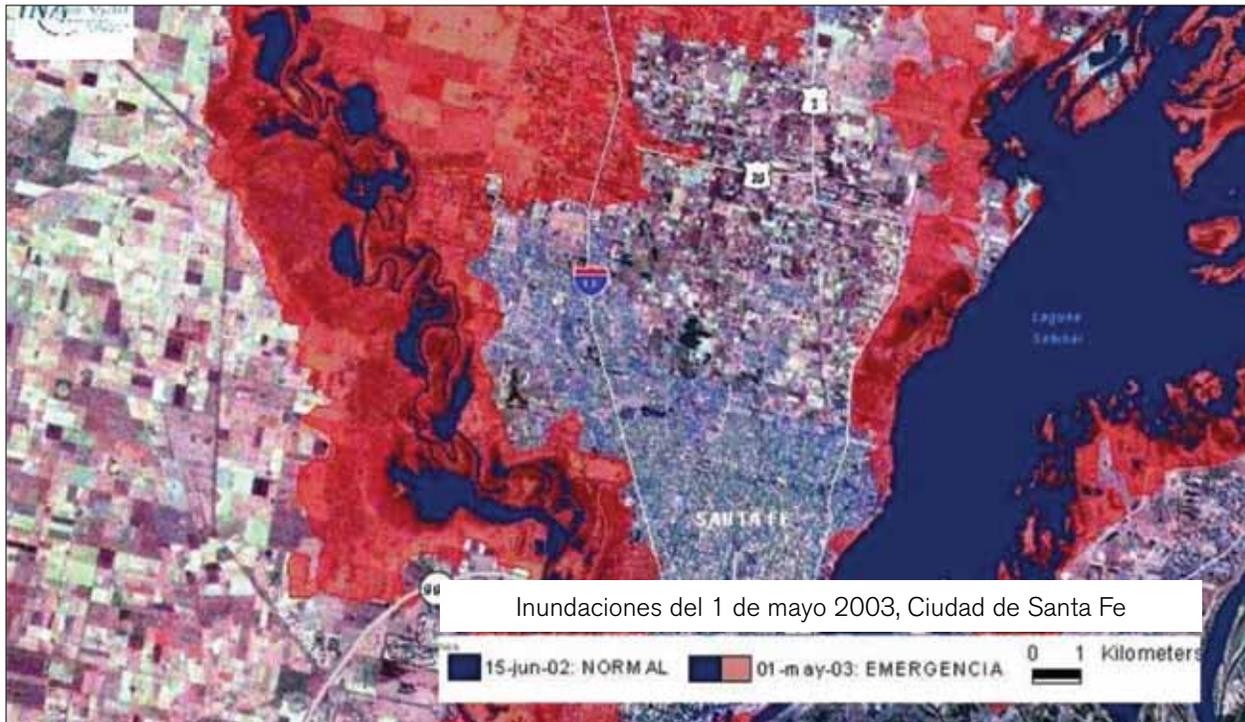
Algunas organizaciones que desarrollan actividades de gestión de riesgo han preparado manuales o guías para la elaboración de mapas de riesgo de inundaciones de tipo comunitario<sup>2,3</sup>; que requieren información del tipo ya mencionado. Algunos procedimientos sencillos conducen a la elaboración de mapas de zonas de inundación. A manera de ejemplo, se ilustra una porción de las zonas de inundación para la ciudad de Santa Fe, Argentina, con las marcas de la inundación del 1 de mayo del 2003. Ver Figura 1-1. Si cada vez que se produce una inundación se elabora un mapa similar; el análisis de un conjunto de mapas puede ayudar a definir de manera preliminar zonas de inundación y darle una categoría. Así se pueden definir zonas con riesgo bajo, riesgo moderado o riesgo alto. De igual manera, si se tienen registros de varios años, se pueden elaborar mapas de número de eventos, que dan idea clara de los lugares o comunidades más vulnerables (este tipo de mapa apoya la elaboración de mapas de inundaciones). Un ejemplo de número de eventos, se muestra para una provincia de la República de Ecuador. Ver Figura 1-2.

Existen muchas técnicas y metodologías por medio de las cuales se pueden elaborar los mapas de inundaciones. Una herramienta muy útil es el uso del radar. Las imágenes de satélite reproducen zonas inundables con una muy buena resolución.

---

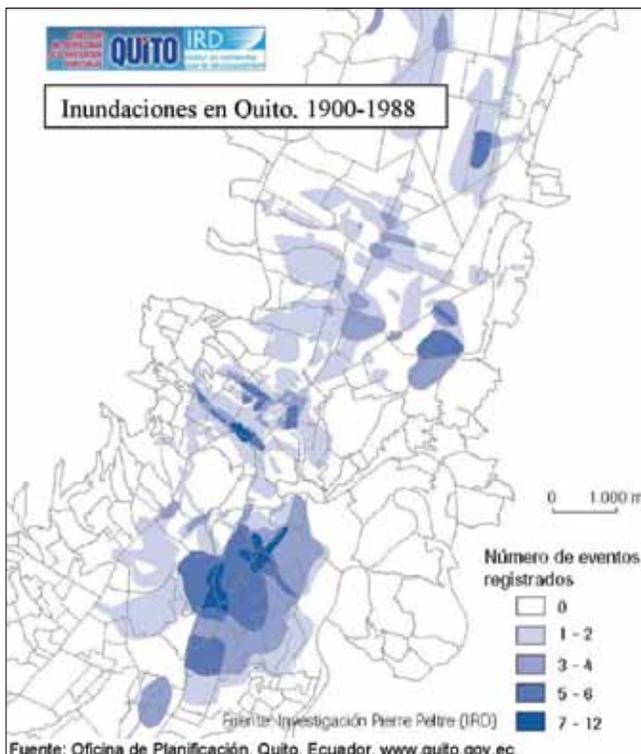
2 Guía de trabajo para la elaboración de los Mapas de Riesgos Comunales, OPS-EIRD. <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc14942/doc14942-contenido.pdf>.

3 Flood Hazard Map Manual for Technology Transfer, Ministry of Land, Infrastructure Development Institute, Japan, 2003. <http://www.adrc.asia/publications/TDRM2003June/26hazardmap1.pdf>.



**FIGURA 1-1:** Mapa de inundaciones en Santa Fe, Argentina

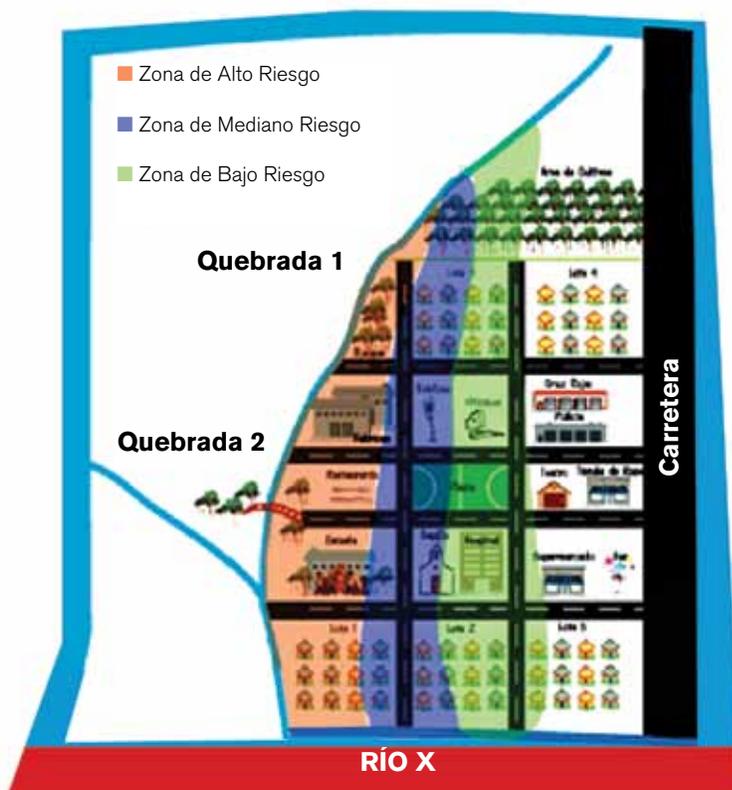
Fuente: Instituto Nacional del Agua, INA, Argentina. [www.ina.gov.ar](http://www.ina.gov.ar)



**FIGURA 1-2:** Mapa de inundaciones: Número de eventos históricos

Los Sistemas de Información Geográfica, SIG, son otra herramienta de mucha utilidad, pues el analista traduce la información a formatos digitales de computación, obteniendo mapas de muy buena calidad.

Con la participación de los pobladores de las comunidades beneficiadas con los SATI, se deben elaborar mapas de riesgos ante inundaciones, como el mostrado en la Figura 1.3. En esta figura se muestran tres categorías de zonas de riesgo ante inundaciones: la zona de alto riesgo, que está relacionada con inundaciones que se dan con mucha frecuencia; la zona de mediano riesgo que está relacionada con inundaciones que se repiten con menos frecuencia; y zonas de bajo riesgo, en las cuales se presentan inundaciones de manera ocasional o nunca se presentan.



Fuente: Sistemas de Alerta Temprana, FIRC, OEA

**FIGURA 1 3:** Mapa de riesgo de inundaciones elaborado con el apoyo de miembros de una comunidad.

## 2. UMBRALES DE LLUVIA O DE NIVEL DEL RÍO

Cuando sucede una inundación hay una sobre-elevación de los niveles normales de las aguas en los cauces de los ríos, que originan desbordamientos y que las planicies de inundación sean inundadas. Durante las temporadas de lluvias, éstas se traducen en nivel de agua en los cauces.

Se entiende por umbral el valor de la magnitud física peligrosa a partir de la cual se justifica la aplicación de una determinada medida de protección.<sup>4</sup>

Los umbrales se convierten en “niveles de alerta”, cuando se hace una aplicación para inundaciones. Facilitan a la población de las comunidades, un tiempo de antelación suficiente para prepararse ante una probable inundación.

Para fines de alerta temprana ante inundaciones es posible definir dos tipos de umbrales:

- a. **Umbral de lluvia:** indica a partir de qué cantidad de precipitación acumulada es probable que el río se desborde provocando una inundación;
- b. **Umbral del nivel del río:** indica el nivel del río a partir del cual es probable que se presente una inundación.

## 3. UMBRALES DE LLUVIA

Los valores de umbrales de alerta dependen del país y de la región de estudio. La escala varía de acuerdo al orden de las lluvias. Dado que las características que identifican las lluvias son la intensidad, la duración y la extensión, algunos países como España consideran los umbrales para dos tipos de lluvias: la precipitación

4 Glosario, Univeritat Roviera i Virgili. [http://www.urv.cat/catedres/enresa/es\\_glossari.html](http://www.urv.cat/catedres/enresa/es_glossari.html).

ocurrida en 1 hora (en algunas regiones, para media hora) para las lluvias intensas y las ocurridas en 12 o 24 horas para las lluvias persistentes y, generalmente, extensas. Estos dos criterios son manejados por organismos de Desastres y Meteorológicos de España.

El Instituto Nacional de Meteorología de España ha calculado para las lluvias persistentes, el umbral para un período de 12 horas, con un valor de:

- 80 l/m<sup>2</sup> en Cataluña, Comunidad Valenciana, Murcia y las provincias andaluzas de Almería, Granada, Málaga y Cádiz.
- 60 l/m<sup>2</sup> en el resto de provincias, Ceuta y Melilla.

En la misma comunidad autónoma de Cataluña, el Servicio de Meteorología de Cataluña considera dos niveles de alerta según el umbral superado. Un aviso será de nivel 1 cuando se prevea superar el primer umbral para el meteoro, y será de nivel 2 cuando se prevea superar el segundo umbral, para el cual se convierte en un aviso de situación meteorológica de alto riesgo. Los umbrales son los siguientes:

NIVEL 1	NIVEL 2
Intensidad > 20 mm / 30 min.	Intensidad > 40 mm / 30 min.
Acumulada > 100 mm / 24 h	Acumulada > 200 mm / 24 h

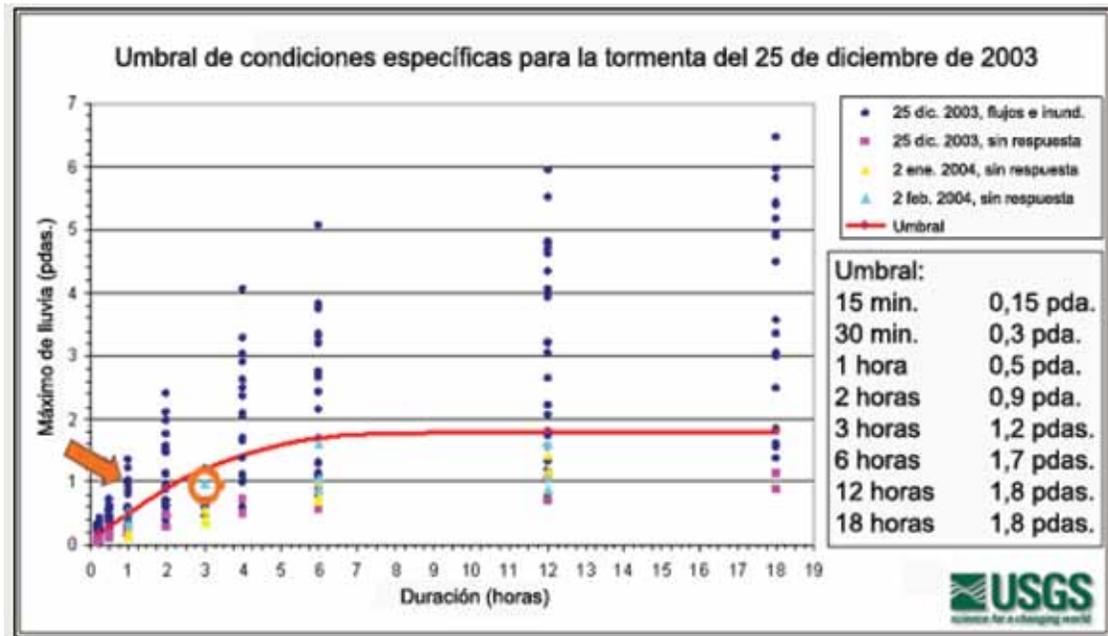
En Centro América y el Caribe los criterios para definir umbrales de lluvia para inundaciones se basan en una combinación del tiempo y de la intensidad de la lluvia, muy similares a los criterios aplicados en España.

Una propuesta de Tabla de umbrales para una cuenca X puede indicar los límites siguientes:

Lluvia Acumulada	Durante
2.5 pulgadas o más	3 horas
5 pulgadas o más	6 horas

Los umbrales de lluvia tienen la ventaja de proveer más tiempo para desarrollar las actividades de respuesta en el SATI, pues hay un tiempo de traslado de lluvia (desde la cabecera de la cuenca hasta el punto de análisis), y el tiempo de traslado de la crecida, desde el punto de análisis (regularmente es una estación de nivel) hasta la comunidad o comunidades en riesgo de inundación. La ventaja consiste en que los datos de monitoreo de la lluvia llegan a la Oficina de Emergencia antes de que estas se conviertan en crecida en el punto de control o medición; y permite el análisis y definir si se procede a dar un aviso o alerta.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos y el Servicio Nacional de Meteorología de los Estados Unidos han desarrollado metodologías para identificar valores de umbrales de lluvia que sirvan de guía para determinar cuánta lluvia hace falta para generar una inundación repentina en una zona determinada. Un ejemplo de umbrales se muestra en la Figura 3-1.



**FIGURA 3-1:** Gráfica de umbrales de lluvia. USGS

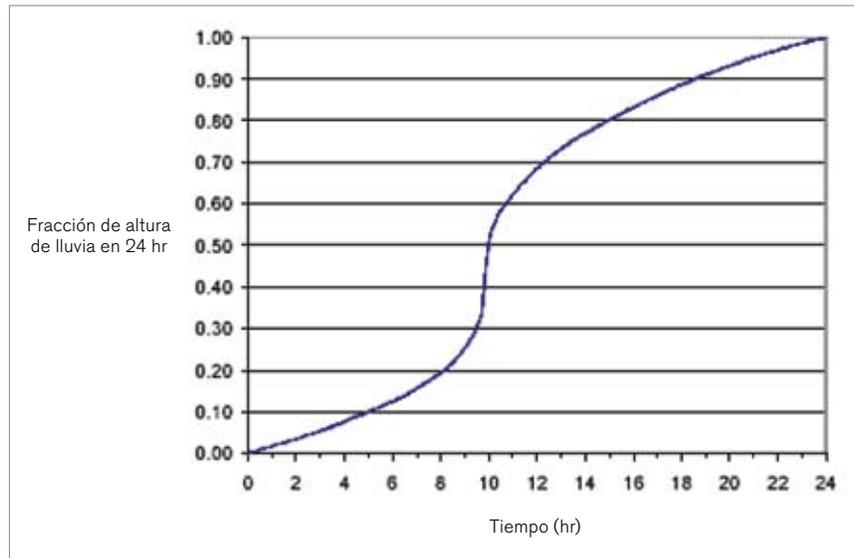
Los pasos para definir un curva de lluvia acumulada-niveles de alerta (Figura 3-1) inician con definir la lluvia máxima diaria estimada, realizando posteriormente una distribución hipotética horaria de la lluvia y finalmente se obtiene la curva de lluvia acumulada.

Se genera una distribución hipotética a falta de otros datos. El mejor criterio para esto es hacer un “estudio de las tormentas”; pero lamentablemente, la información de este tipo es muy difícil de obtener en los Servicios Meteorológicos de los países centroamericanos. Ante esta situación, los investigadores han propuesto distribuciones de tormentas de tipo hipotético, tales como las definidas por el Servicio de Conservación de Suelos de USA. La Figura 3-2 muestra la distribución tipo II.

Las crecidas en una cuenca generalmente están asociadas a lluvias de corto tiempo (horas), llamadas tormentas. Una tormenta puede ser una lluvia que inició a las 11:00 horas y finalizó a las 14 horas, con un acumulado de lluvia que produce una crecida considerable aguas abajo. El mejor criterio para el estudio de crecidas es encontrar las tormentas asociadas. Los Servicios Meteorológicos operan en sus redes, medidores de lluvia diaria o pluviómetros totalizadores. Son muy pocos los aparatos que registran lluvia continua. Por lo anterior, el dato que comúnmente es obtenido es la lluvia diaria.

Diferentes hidrólogos han realizado estudios de tormentas para definir las distribuciones típicas horarias para algunas regiones hidrológicas. Como resultado, se han propuesto diferentes distribuciones típicas, tales como las distribuciones hipotéticas del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS). El SCS recomienda varios tipos de distribuciones, entre ellas las llamadas tipo I y tipo II. El tipo II es usado por modelos hidrológicos, tal es el caso de HEC HMS. Para Guatemala, por ejemplo, se han hecho algunas investigaciones sobre lluvia horaria, concluyendo que la propuesta del SCS es aplicable para la región centroamericana.

Por lo anterior, se recomienda que para definir umbrales de lluvia en Centro América y el Caribe, a falta de un estudio de tormentas, se utilice la distribución hipotética tipo II del SCS para obtener lluvias horarias de tipo hipotético.



**FIGURA 3-2:** Curva de Distribución hipotética tipo II. US SCS.

Los análisis conducen a identificar tres categorías o niveles de umbrales, relacionados con los colores verde, amarillo y rojo, aunque en algunos países se incluye el umbral de color naranja. La Figura 3-3 presenta un ejemplo de umbrales de lluvia relacionados con colores.

La condición de alerta verde está relacionada con la cantidad de lluvia acumulada que determina una crecida en los ríos, pero que no causa su desbordamiento; la condición de alerta amarilla está relacionada con la cantidad de lluvia acumulada que determina crecida en los ríos, aunque no causa desbordamiento del mismo, pero que de continuar lloviendo generaría su desbordamiento; y la condición de alerta roja está relacionada con la cantidad de lluvia acumulada que origina desbordamiento en los ríos.

Tipo de alerta	Condición de alerta	Acción
<b>Aviso</b>	VERDE	Dar aviso a los observadores para que le den seguimiento al comportamiento de la lluvia.
<b>Alerta</b>	AMARILLO	Dar alerta a los encargados para implementar acciones previas a una inundación.
<b>Alarma</b>	ROJO	Dar alarmas a las comunidades aguas abajo para activar planes de emergencia.

**FIGURA 3-3:** Categoría de umbrales de lluvia y acción a seguir

### 3.1. CÁLCULO DE UMBRALES DE LLUVIA

Para calcular umbrales de lluvia se utiliza con mucha frecuencia el método estadístico, el cual se basa en los siguientes pasos:

- Se define la cuenca de análisis o estudio y se seleccionan las estaciones de lluvia;
- Se obtienen los registros de lluvia máxima diaria para cada estación seleccionada. Un dato por año. Si existen datos de lluvia en 24 horas, estos deben ser utilizados;
- Se procede con el análisis estadístico de la serie de datos máximos (un análisis por estación). Ven Te Chow<sup>5</sup> propone una relación para definir un valor probable para un periodo de retorno 'Tr':

$$X(Tr) = X + K * S$$

- Se define el período de retorno mínimo de recurrencia de inundaciones. Generalmente se establece de 2 años;
- Se calcula el tiempo de concentración de la cuenca de estudio (ver módulo 1 para cálculo). Normalmente se calcula este tiempo hasta la comunidad vulnerable o bien hasta el punto de análisis hidrológico (estación de nivel del río);
- Se obtiene la lluvia media de la cuenca; se puede estimar valorando el promedio (para el caso de dos estaciones, igual a la suma de valores dividido entre dos. Si son tres estaciones, se suman los tres valores y se divide entre tres, etc.)
- Se define una distribución horaria (hipotética) de la lluvia; usando el valor de la lluvia de diseño (calculada a partir de la lluvia media) para el período de retorno de 2 años;
- Se define la gráfica de lluvia acumulada para niveles de alerta y se calculan los umbrales (niveles de alerta). El umbral que podría causar un desbordamiento del río es el definido por el tiempo de concentración.

Usando este procedimiento se elaboró la Figura 3-4, la cual presenta la gráfica de Lluvia Acumulada definida en el Estudio de la cuenca del río Coyolate<sup>6</sup> de Guatemala. Los umbrales de lluvia se definen con esta gráfica y, como se utiliza un período de retorno de 2 años, corresponden a los valores mínimos de lluvia que podrían generar una inundación en la cuenca del río Coyolate. Se ha establecido que una crecida que origina una inundación se produce al menos una vez cada 2 años.

Para ilustrar el cálculo de los umbrales de lluvia, se presentan dos ejemplos utilizando diferentes metodologías: El primer ejemplo se basa en procedimientos estadísticos y el segundo utiliza un mapa de lluvia máxima diaria. Ambos ejemplos están aplicados a la cuenca del río Coyolate, Guatemala.

5 Manual de instrucciones de Estudios Hidrológicos, Proyecto PHCA, Costa Rica, 1972.

6 Sistema de Alerta Temprana ante Inundaciones de la cuenca del río Coyolate, Análisis hidrológico, Propuestas de rediseño y actualización. OEA-SE CONRED, 2009; Programa de cuencas menores SVP de la OEA.



**FIGURA 3-4:** Lluvia acumulada horaria para niveles de alerta; hasta la Estación Puente Coyolate (calculada con datos de lluvia máxima diaria)

### 3.1.1. Ejemplo 1, Definición de la Lluvia con el método estadístico (paso 1)

Siguiendo este ejemplo se estima la lluvia que podría causar una crecida que genere una inundación en la cuenca del río Coyolate. Para ello:

- Se definió la subcuenca de análisis: Subcuenca COY, formada por las subcuencas 1 Alto Coyolate y 2 Coyolate. Ver Figura 3-5;
- Se identificaron dos estaciones de lluvia (Camantulul y Santiago Atitlán) y una estación de nivel del río (Puente Coyolate). Ver Figuras 3-6, 3-7 y 3-8 con una ilustración del tipo de dato que se obtiene del monitoreo hidrometeorológico (para la lluvia se muestran los valores mensuales y anuales; para los niveles del río se incluyen las 2 lecturas del encargado de la estación Puente Coyolate y se ha calculado la media para el mes de mayo, y una gráfica muestra todos los valores anuales como nivel medio diario en metros). Estas estaciones no se ubican en la subcuenca COY, pero aplican para el análisis a efectuar. Cuando no hay información en la cuenca de estudio, entonces se pueden considerar estaciones ubicadas fuera de la cuenca, previo análisis para determinar si es viable su uso. Se realiza un análisis de mapas e información proporcionada por las comunidades para entender cómo se distribuyen las lluvias en el área de estudio;
- Se define el tiempo de concentración para la subcuenca COY hasta la estación de nivel Puente Coyolate. El tiempo de concentración definido hasta este punto es de 7 horas 7 minutos (tomado del Módulo I); y calculado con la ecuación de Kirpich, considerando los datos de diferencia de nivel en metros y longitud del río en metros hasta el punto de la estación.

**Fórmula de Kirpich**

$$t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

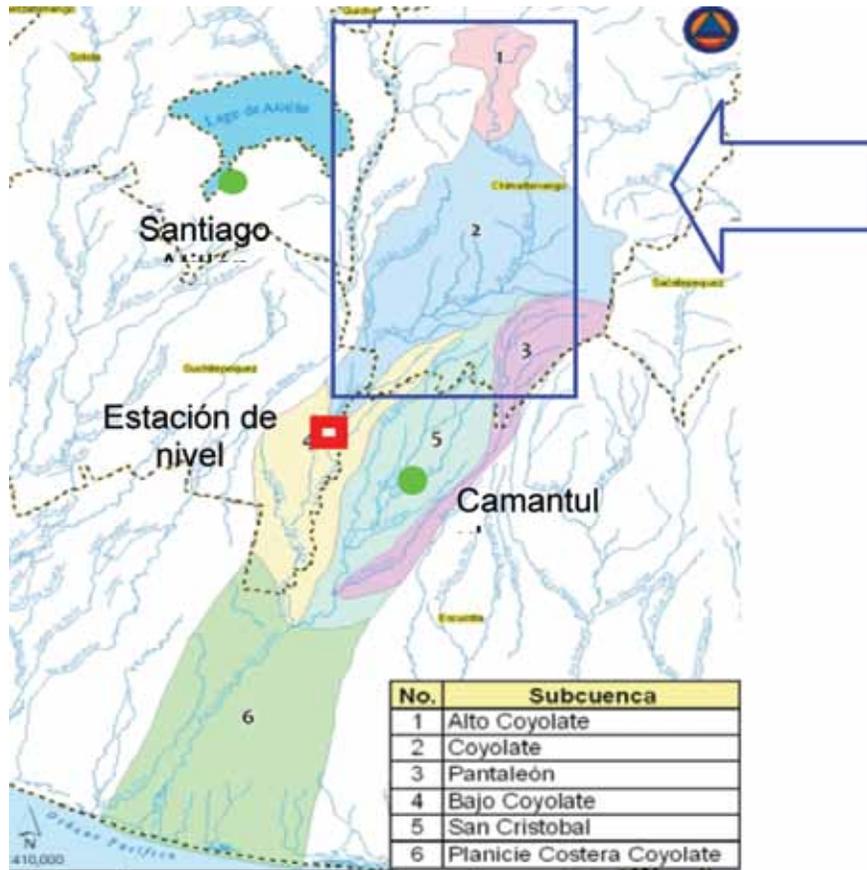
Donde: L: longitud del río – m.  
 H: diferencia del nivel – m.  
 tc: tiempo de concentración – min.

$$H = E_{m\acute{a}x} - E_{m\acute{i}n} = 2300 - 214 = 2086 \text{ metros}$$

$$L = 73.2 \text{ kil\u00f3metros} = 73,200 \text{ metros}$$

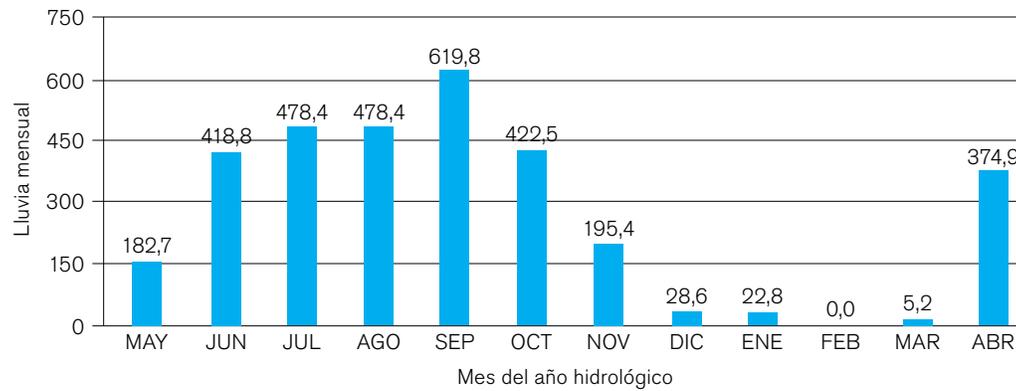
- Se identificaron las lluvias m\u00e1ximas diarias de las 2 estaciones meteorol\u00f3gicas seleccionadas. Ver Figura 3-9;
- Se estim\u00f3 la lluvia m\u00e1xima diaria para un retorno de 2 a\u00f1os para cada una de las estaciones. Previamente se estableci\u00f3 que el per\u00edodo m\u00ednimo de recurrencia de inundaciones es de 2 a\u00f1os. Para el c\u00e1lculo de la lluvia m\u00e1xima diaria estimada se utiliz\u00f3 la ecuaci\u00f3n de Ven Te Chow.

$$X(Tr) = X + K * S$$



**FIGURA 3-5:** Sub-cuencas y estaciones para definir umbrales. Cuenca del r\u00edo Coyolate, Guatemala

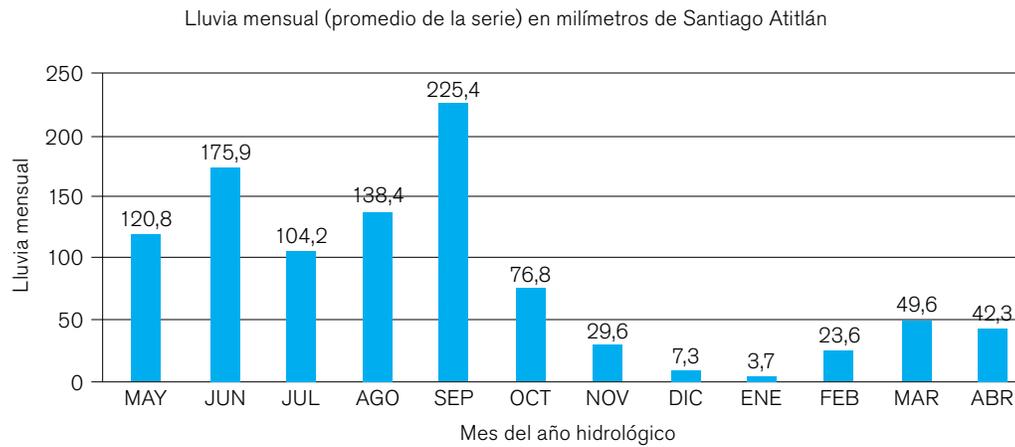
Lluvia mensual (promedio de la serie) en milímetros de Camantulul



Datos de lluvia mensual de la estación Camantulul

Año HID	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	ANUAL
1995-96	182,7	418,8	478,4	478,4	619,6	422,5	195,4	28,6	22,8	0,0	5,2	374,9	3227,3
1996-97	618,4	589,7	405,1	517,6	843,2	466,8	110,6	1,2	11,5	17,0	64,0	429,8	4074,9
1997-98	214,9	632,2	487,0	468,6	687,7	524,2	417,2	157,4	0,0	0,0	0,0	29,8	3169,0
1998-99	130,0	510,6	448,4	828,3	545,5	659,1	483,2	40,7	0,4	40,4	37,6	304,9	4029,1
1999-00	439,8	554,3	630,4	615,9	716,6	672,2	132,8	0,0	10,5	32,6	18,7	86,3	3910,1
2000-01	427,0	543,3	562,9	535,7	758,4	502,5	148,9	14,5	6,2	12,4	17,5	54,1	3583,4
2001-02	455,4	633,0	406,0	310,2	639,3	661,9	63,4	1,2	15,8	2,9	16,8	87,2	3293,1
2002-03	392,3	367,1	425,5	294,6	498,3	757,9	204,3	22,8	0,0	39,7	92,1	267,7	3362,3
2003-04	808,1	727,6	890,7	649,7	630,0	486,7	135,9	0,5	9,0	18,7	99,4	117,9	4574,2
2004-05	676,0	611,2	302,0	512,7	757,0	773,0		22,3	10,0				
2005-06	424,6												

FIGURA 3-6: Registro de lluvias estación Camantulul, Guatemala.

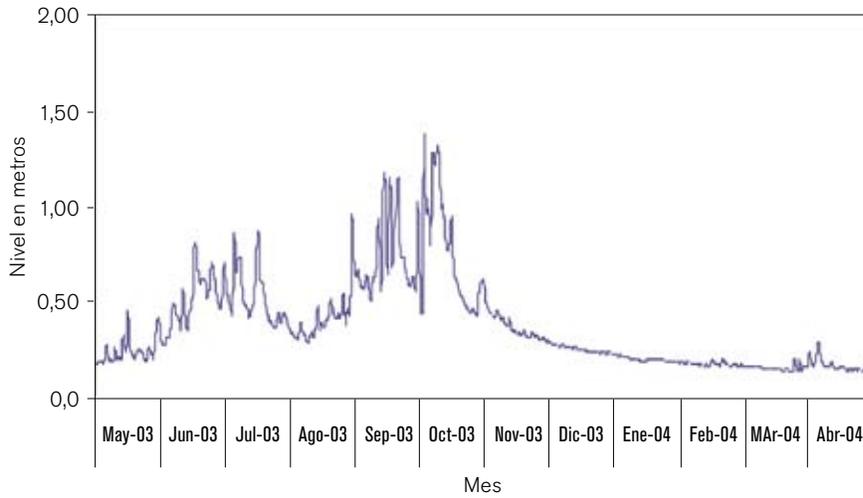


Datos de lluvia mensual de la estación Santiago Atitlán

Año HID	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	ANUAL
1977-78	65,0	135,9	20,2	177,9	132,3	16,8	40,2	2,0	6,4	34,9	82,8	20,1	734,5
1978-79	92,2	207,2	118,5	124,7	514,3	49,4	13,3	7,8	0,4	1,5	13,4	101,5	1244,2
1979-80	67,1	116,2	138,6	134,2	234,3	97,6	1,3	6,9	7,9	0,0	1,7	39,2	845,0
1980-81	96,3	200,3	122,5	235,5	192,3	30,1	31,8	8,8	12,0	0,0	94,4	39,7	1063,7
1981-82	154,8	305,9	98,0	178,2	109,9	109,0	11,9	36,8	6,0	28,9	12,8	0,4	1052,6
1982-83	236,2	141,2	47,2	28,8	325,8	127,2	3,9	0,0	0,0	143,3	3,8	95,0	1152,4
1983-84	25,8	170,8	118,5	121,5	88,8	85,4	89,4	0,0	3,3	6,4	45,9	16,0	771,8
1984-85	169,8	159,2	214,2	170,0	305,6	40,3	12,3	0,0	0,0	16,0	8,0	46,0	1141,4
1985-86	122,0	210,0	102,0	171,8	249,1	115,9	99,1	7,9	1,2	4,3	0,0	49,5	1132,8
1986-87	248,7	133,0	56,4	96,0	112,9	109,5	11,3	3,1	0,0	1,0	233,4	15,8	1021,1
1987-88	50,7	155,0	110,4	84,3	214,6	63,2	10,9						

FIGURA 3-7: Registro de lluvias estación Santiago Atitlan, Guatemala.

Nivel medio diario del río Coyolate, año hidrológico 2003-2004 en estación Puente Coyolate



**FIGURA 3-8:** Registro de niveles de río. Cuenca río Coyolate, Guatemala

Mayo 2003			
Día	Lectura 1	Lectura 2	Media
1	0,20	0,20	0,20
2	0,20	0,19	0,20
3	0,22	0,21	0,22
4	0,21	0,20	0,21
5	0,20	0,20	0,20
6	0,37	0,23	0,30
7	0,21	0,21	0,21
8	0,21	0,21	0,23
9	0,22	0,21	0,22
10	0,33	0,24	0,29
11	0,22	0,23	0,23
12	0,25	0,22	0,21
13	0,22	0,22	0,22
14	0,22	0,47	0,35
15	0,28	0,24	0,36
16	0,23	0,72	0,18
17	0,30	0,26	0,28
18	0,24	0,26	0,25
19	0,23	0,22	0,23
20	0,26	0,23	0,25
21	0,23	0,32	0,28
22	0,29	0,24	0,27
23	0,28	0,24	0,26
24	0,22	0,22	0,22
25	0,22	0,22	0,22
26	0,27	0,29	0,28
27	0,26	0,21	0,25
28	0,23	0,22	0,23
29	0,36	0,33	0,35
30	0,49	0,39	0,44
31	0,13	0,31	0,39



AÑO	ESTACIÓN	
	CAMANTULUL	SANTIAGO ATILÁN
1970		94
1971	95	33
1972	70	51
1973	101	93
1974	100	142
1975	94	
1976	95	76
1977	104	121
1978	118	82
1979	124	70
1980	116	57

AÑO	ESTACIÓN	
	CAMANTULUL	SANTIAGO ATILÁN
1981	120	73
1982	200	125
1983	135	78
1984	126	68
1985	126	77
1986	87	52
1987	198	92
1988	119	
1989	110	
1990	78	84

AÑO	ESTACIÓN	
	CAMANTULUL	SANTIAGO ATILÁN
1991	78	43
1992	117	70
1993	144	71
1994	98	44
1995	106	66
1996	151	68
1997	225	71
1998	174	95
1999	166	69
2000	115	69

AÑO	ESTACIÓN	
	CAMANTULUL	SANTIAGO ATILÁN
2001	138	71
2002	140	71
2003	139	77
2004		84
2005	169	231
2006	183	67
2007	113	57
2008	160	

**FIGURA 3-9:** Lluvia máxima diaria (mm) 1970-2008

donde:

- X(Tr): es el evento a estimar, para este ejemplo de lluvia
- X: es el promedio de la serie de datos
- K: es un factor de frecuencia del método estadístico
- S: es la desviación estándar de la serie de datos

$$X = \frac{\sum X_i}{n}$$

Donde:  
 X = Promedio  
 $\sum X_i$  = Suma de todos los valores de precipitaciones máximas para cada año  
 n = Número de Años

$$S = \sqrt{\frac{(X_i - X)^2}{n-1}}$$

Donde:  
 S = Desviación Estándar  
 $X_i$  = Precipitación máxima de cada año  
 X = Promedio  
 n = Número de años

Existen varios métodos estadísticos para el cálculo de la ecuación de Ven Te Chow. Las referencias de probabilidad hidrológica para la estimación del evento X(Tr) recomiendan los métodos de Gumbel, Pearson III, Valor Extremo Generalizado, y muchos más. Para el desarrollo de este ejemplo se usará el método estadístico de Gumbel, según el Manual de Instrucciones de Estudios Hidrológicos, Proyecto PHCA, Costa Rica, 1972.

El uso de la hoja electrónica Excel facilita el cálculo de valores, tales como el promedio y la desviación estándar. Para agilizar el cálculo de la lluvia máxima diaria estimada se ha elaborado una hoja electrónica a fin de obtener resultados por el método estadístico de Gumbel. Esta hoja se identifica con el nombre de "Distribución de frecuencia Gumbel.xls". Ver Anexo MI-01.

En la Figura 3-10 se observan varios modelos estadísticos que se aplicaron a los datos históricos de lluvia máxima diaria de la estación Camantulul. Cada modelo se ajusta adecuadamente a la serie de datos históricos, por lo que puede usarse cualquier modelo estadístico. Para un período de retorno de 2 años se valora una lluvia de 119 milímetros (4.7 pulgadas) con el modelo GUMBEL. (G-M en la gráfica).

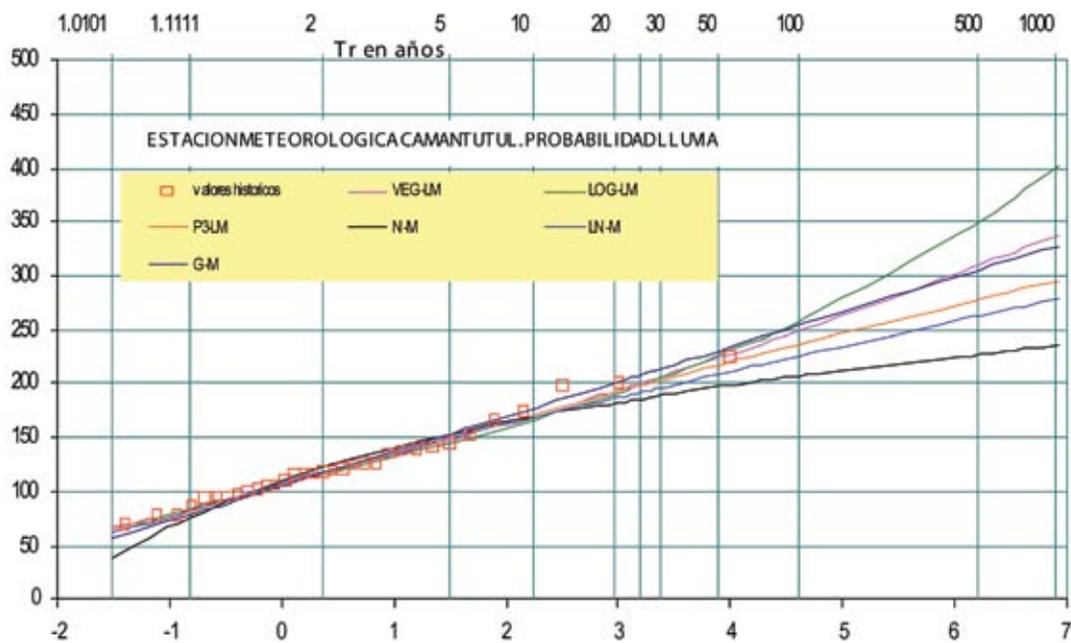
La Figura 3-11 presenta los resultados de los cálculos realizados para la estación Camantulul utilizando la hoja electrónica. Dicha hoja sólo requiere el ingreso de los datos históricos ubicados en la Figura 3-9 y los datos de la estación analizada. El resultado de la lluvia máxima diaria estimada para un período de retorno de 2 años es:

**X(2 años) CAMANTULUL = 122.2 MILÍMETROS**

El PASO 1 permite calcular el valor de la lluvia máxima de retorno de 2 años. Con el PASO 2, que se explica más adelante, se obtiene el resultado de la distribución de lluvia horaria y la tabla de umbrales.

La aplicación de la hoja electrónica "Distribución de frecuencia Gumbel.xls", para la estación Santiago Atitlán proporciona la lluvia máxima estimada para un retorno de 2 años con un valor de:

**X(2 años) SANTIAGO ATITLÁN = 74.5 MILÍMETROS**



**FIGURA 3-10:** Análisis estadístico de lluvia máxima diaria. Estación Camantulul, Guatemala  
Definición de lluvia máxima diaria para cálculo de umbral lluvia-inundación  
(Tomado del Estudio OEA SE CONRED, 2009)

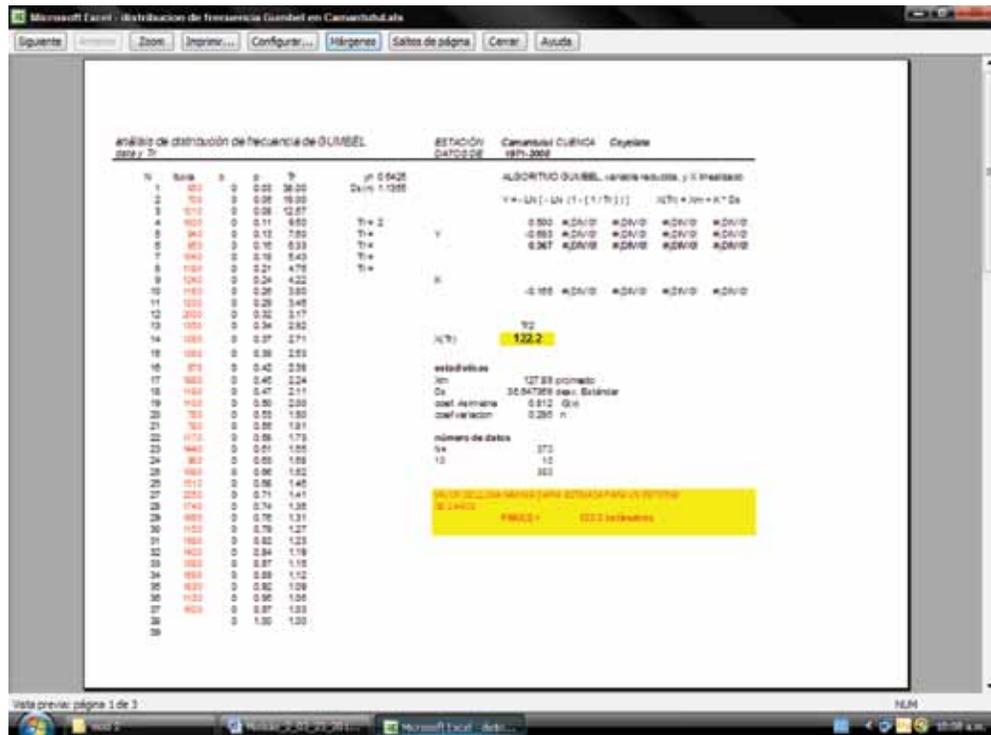


FIGURA 3-11: Lluvia máxima diaria estimada. Estacion Camantutul. Metodo Gumbel. Tr 2 años.

Una explicación del procedimiento de cálculo con la hoja electrónica mencionada se da a continuación:

- Se ingresan los datos históricos de lluvia máxima y se identifica la estación; así como se establecen los valores del promedio reducido y la desviación estándar reducida (según el número de datos de la serie histórica). La hoja electrónica explica cómo se deben ingresar los datos, así como el procedimiento para definir los valores reducidos.
- La hoja electrónica Excel en su menú principal maneja la opción: INSERTAR, FUNCIÓN; que facilita el cálculo automático del promedio y la desviación estándar. Excel usa las ecuaciones de X y S para procesar y dar los resultados del PROMEDIO y la DESVIACIÓN ESTÁNDAR. Los valores se muestran en la Figura 3-11, como estadísticas. En este proceso se obtienen también otros parámetros estadísticos. Al final se han obtenido dos parámetros de la ecuación de Ven Te Chow.
- Para el tercer parámetro, K, llamado factor de frecuencia, la hoja electrónica hace uso de las variables reducidas. A continuación se ilustra su cálculo:

$$K = [ Y - Y_n ] / [ D_s(n) ]$$

donde los valores reducidos son  $\sigma_n = D_s(n) = 1.1318$ ,  $Y_n = 0.5416$  (calculados con 37 datos históricos); Y es una variable del Algoritmo de Gumbel y definido como:

$$Y = - \text{LN} [ - \text{LN} ( 1 - \{ 1 / T_r \} ) ]$$

parámetro que depende del tiempo de retorno, para este caso 2 años; y LN es el logaritmo natural. La siguiente tabla muestra el cálculo, de izquierda a derecha, con la determinación de Y, y finalmente el valor K de -0.155 (se inicia sacando el inverso de Tr, a este valor calculado se le resta 1 y posteriormente se sacan los logaritmos; después se valora K).

		(a)	(b)	Y	K
Tr	1/Tr	1 - 1/Tr	-LN de (a)	-LN de (b)	
2	0.500	0.500	0.693	0.367	<b>-0.155</b>

Para definir los valores del promedio reducido,  $Y_n$ , y la desviación estándar reducida,  $\sigma_n$ , se hace uso de la Figura 3-12 que contiene los valores reducidos según el número, N, de datos de la serie histórica de lluvias máximas de la estación analizada. Para el caso de la estación Camantulul, N es igual a 37 datos; por lo tanto debe interpolarse linealmente entre N de 35 y N de 40. Para el caso de  $Y_n$  se debe interpolar entre 0.5402 y 0.5436, en donde existe una diferencia entre ellos de 0.0034. La interpolación se hace de manera sencilla con una 'regla de tres'; finalmente se tiene que  $Y_n$  es 0.5416.

N	$Y_n$	$\sigma_n$
5	-	-
10	0.4952	0.9496
15	0.5120	1.0095
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0864
30	0.5362	1.1124
35	0.5402	1.1255
40	0.5436	1.1413

**FIGURA 3-12:** Promedio reducido,  $Y_n$  y desviación estándar reducida,  $\sigma_n$  de acuerdo al número de datos, N, de la serie histórica

Los valores de la Figura 3-12 aparecen en la hoja electrónica "Distribución de frecuencia Gumbel.xls"; y el cálculo automático de K se muestra en la Figura 3-11.

- La definición final del valor de  $X(\text{Tr})$ , valor lluvia máxima diaria estimada para un período de retorno, Tr, de 2 años, se calcula con la aplicación de la ecuación de Ven Te Chow,

$$X(\text{Tr}) = X_m + K * D_s$$

donde  $X_m$ , promedio de la serie histórica es 127.89,  $D_s$ , la desviación estándar es de 36.547, y K de -0.155. El resultado  $X(\text{Tr})$  es entonces:

### 122.2 milímetros para la estación de Camantulul

que es el valor de  $PMÁX(2)$  que aparece en la Figura 3-11.

Con la explicación anterior, cualquier usuario puede hacer uso directo de la hoja electrónica donde se desarrolla la estimación automática de  $X(\text{Tr})$ ; o caso contrario, puede hacer el cálculo teniendo una simple calculadora considerando los pasos indicados.

### 3.1.2. Ejemplo 1, definición de umbrales (paso 2)

- Con los valores calculados de lluvia máxima diaria estimada,  $X(\text{Tr})$  para el retorno de 2 años se valora la lluvia media de la cuenca de análisis subcuenca COY. Si

**$X(2 \text{ años}) \text{ CAMANTULUL} = 122.2 \text{ MILÍMETROS}$**

**$X(2 \text{ años}) \text{ SANTIAGO ATILÁN} = 74.5 \text{ MILÍMETROS}$**

calculando el valor de la lluvia media,  $P_m$ , de la cuenca de análisis:

$$P_m = (122.2 + 74.5) / 2$$

$$P_m = 98.35 \text{ milímetros}$$

que se le puede llamar también lluvia media máxima diaria estimada para la cuenca de análisis para un retorno de 2 años.

- Se procede seguidamente a transformar la  $P_m$  a lluvia para un período de 24 horas, y para ello se usa el factor  $F_{24}$ . Algunos Servicios Hidrológicos de Centro América han estimado este factor  $F_{24}$ . El Manual de Estudios Hidrológicos del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, PHCA, indica que para cálculos rápidos pueden usarse valores similares a los obtenidos en otros países (estimaciones para USA realizados por Hershfield definen  $F_{24}$  en 1.13).

Para el caso de Guatemala se ha estimado este factor en 1.13, valor usado en las transformaciones de lluvia máxima diaria a lluvia máxima de 24 horas. Para una aplicación en cualquier país de Centro América o el Caribe se sugiere usar un  $F_{24}$  de 1.15. Adicionalmente se usa un factor  $F$  de 1.10 para la definición de lluvia de diseño. El resultado final es la lluvia que hay que distribuir en forma horaria por medio de la distribución hipotética tipo II, del SCS.

Haciendo uso de los datos obtenidos para este Ejemplo 1, se estimaron  $X(\text{Tr})$  para 2 estaciones y se calculó la  $P_m$ ; entonces la lluvia de diseño,  $P$  es:

$$P = F_{24} * F * P_m$$

$$P = 1.13 * 1.10 * 98.35$$

$$P = 122.25 \text{ milímetros}$$

- Se procede a elaborar la distribución horaria de la lluvia para el valor de la lluvia de diseño ( $P$ ), utilizando para ello el procedimiento sugerido por el SCS.

De la Curva de Distribución Hipotética Tipo II del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, se han tabulado los factores horarios que se listan a continuación:

Factores Horarios del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (US SCS),  
para distribuir lluvia

Hora	Factor	Hora	Factor	Hora	Factor
<b>1</b>	0.015	<b>9</b>	0.140	<b>17</b>	0.900
<b>2</b>	0.020	<b>10</b>	0.180	<b>18</b>	0.920
<b>3</b>	0.030	<b>11</b>	0.230	<b>19</b>	0.930
<b>4</b>	0.050	<b>12</b>	0.620	<b>20</b>	0.940
<b>5</b>	0.060	<b>13</b>	0.780	<b>21</b>	0.960
<b>6</b>	0.080	<b>14</b>	0.820	<b>22</b>	0.970
<b>7</b>	0.100	<b>15</b>	0.850	<b>23</b>	0.990
<b>8</b>	0.120	<b>16</b>	0.870	<b>24</b>	1.000

cada factor corresponde a una hora del día, lo que equivale a tener 24 factores para las 24 horas del día. Para obtener la “distribución horaria de la lluvia” se calcula primero la lluvia hora (**P-d hora**) multiplicando cada factor horario por el valor de la lluvia de diseño (determinada a partir de la lluvia media de la cuenca de estudio). Para el ejemplo que se está ejecutando es la subcuenca COY del río Coyolate hasta la estación de niveles Puente Coyolate. La lluvia de diseño calculada es de 122.25 milímetros (4.813 pulgadas).

Para elaborar la “distribución horaria de lluvia” se hace uso de la lluvia en pulgadas, ya que generalmente los voluntarios que colaboran en el monitoreo de un SATI están más acostumbrados a esta unidad en el campo.

Para la hora 1, P-d hora es igual a  $0.015 \times 4.813$  con un resultado de 0.072; para la hora 2, P-d hora es igual a  $0.020 \times 4.813$ ; con un resultado de 0.096, para el resto de valores se procede de igual manera.

En seguida se calcula **PH**, la lluvia hora puntual; para la hora 1 el valor es de 0.072 (igual al valor de P-d hora para la hora 1); para la hora 2 es igual a  $0.096 - 0.072$ , para un resultado de 0.024, para el resto de valores se procede de igual manera. Se nota que para obtener PH se restan los valores de P-d hora.

Finalmente se procesa la Curva de Lluvia Acumulada para Niveles de Alerta. Considerando los valores de **PH** del inciso anterior; se define **PH o**, lluvia horaria ordenada. Para ello, de la fila de valores de PH se selecciona el mayor valor y se coloca en la hora 1, y se selecciona el valor que sigue al mayor y se coloca en la hora 2. Esto no es más que una ordenación de valores de mayor a menor. Para los datos analizados para la hora 1 se tiene 1.877, para la hora 2 se tiene 0.770; para el resto de valores se procede de igual manera.

Se define **Ph a**, lluvia horaria, que se obtiene al acumular los valores de PH o. Para la hora 1 el valor es de 1.877, para la hora 2 se tiene  $1.877 + 0.770$ , para un resultado de 2.647. Para el resto de valores se procede de igual manera. Los valores de **Ph a** definen la “Curva de Lluvia acumulada para Niveles de Alerta”.

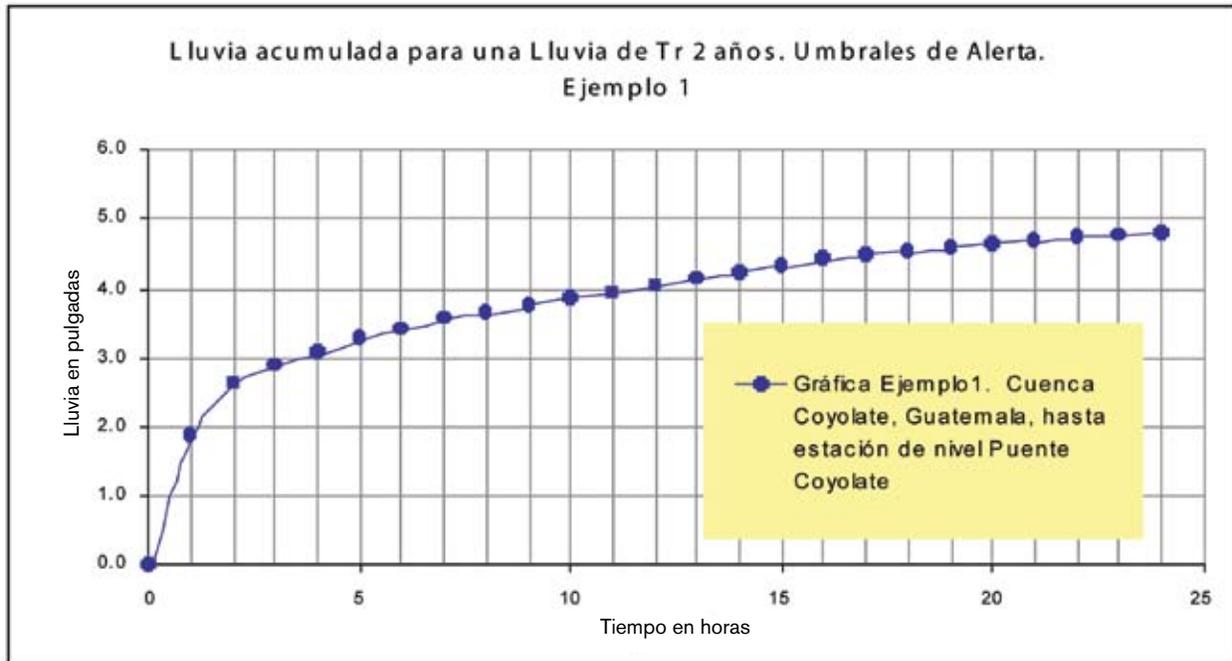
- Un resumen de los valores calculados para los 2 numerales anteriores (definición de la Curva horaria y de la Curva acumulada) se presenta en la Figura 3-13; con los resultados del factor horario, la lluvia hora, la lluvia hora puntual, la lluvia horaria ordenada, y la lluvia horaria.

Hora	Factor h	P-d hora	PH	PH o	Ph a
1	0.02	0.072	0.072	1.877	1.877
2	0.02	0.096	0.024	0.770	2.647
3	0.03	0.144	0.048	0.241	2.888
4	0.05	0.241	0.096	0.193	3.080
5	0.06	0.289	0.048	0.193	3.273
6	0.08	0.385	0.096	0.144	3.417
7	0.10	0.481	0.096	0.144	3.562
8	0.12	0.578	0.096	0.096	3.658
9	0.14	0.674	0.096	0.096	3.754
10	0.18	0.866	0.193	0.096	3.850
11	0.23	1.107	0.241	0.096	3.947
12	0.62	2.984	1.877	0.096	4.043
13	0.78	3.754	0.770	0.096	4.139
14	0.82	3.947	0.193	0.096	4.235
15	0.85	4.091	0.144	0.096	4.332
16	0.87	4.187	0.096	0.096	4.428
17	0.90	4.332	0.144	0.072	4.500
18	0.92	4.428	0.096	0.048	4.548
19	0.93	4.476	0.048	0.048	4.596
20	0.94	4.524	0.048	0.048	4.645
21	0.96	4.620	0.096	0.048	4.693
22	0.97	4.669	0.048	0.048	4.741
23	0.99	4.765	0.096	0.048	4.789
24	1.00	4.813	0.048	0.024	4.813

**FIGURA 3-13:** Valores de los parámetros para la distribución de lluvia horaria y para la curva acumulada del Ejemplo 1. Tr 2 años

donde factor h = factor horario  
 P-d hora = lluvia hora (valor acumulado) calculado con la lluvia de diseño  
 PH = lluvia hora puntual (que corresponde a la hora indicada)  
 PH o = lluvia horaria ordenada (de mayor a menor a partir de los valores de PH)  
 Ph a = lluvia horaria para la curva acumulada

- Se elabora la Curva de lluvia acumulada para niveles de alerta. Tomando los valores de **Ph a** versus las 24 horas del día se obtiene la gráfica que se muestra en la Figura 3-14. Esta gráfica es la que se utiliza para definir los valores de lluvia para los umbrales.
- Se toma el resultado del tiempo de concentración hasta la estación de nivel Puente Coyolate (definido en el Paso 1) de 7 horas con 7 minutos, equivalente a 7.11 horas, que para fines prácticos se considera en 7 horas.



**FIGURA 3-14:** Curva de Lluvia acumulada para Niveles de Alerta del Ejemplo 1. Estación de nivel Puente Coyolate. Tr de 2 años

- El umbral de crecida se establece para el tiempo de concentración de 7 horas. Con este valor se lee 7 horas en la escala horizontal de la Figura 3-14 y en la escala vertical se lee 3.56 pulgadas al cortar la curva trazada. Este valor de 3.56 se puede obtener también de la Figura 3-13, al leer el valor de “Ph a” que corresponde a la hora 7. Para fines prácticos se toma:

**3.5 pulgadas de lluvia acumulada para el umbral de crecida**

- Para agilizar el cálculo de la Curva de lluvia acumulada se ha elaborado una hoja electrónica definida como “MODELO DE DISTRIBUCIÓN HORARIA.XLS”. La hoja electrónica incluye el proceso para los valores de la Curva de distribución horaria hipotética. Esta herramienta se incluye en el Anexo MI-01.
- Los pasos para el uso de la hoja electrónica son: 1) abrir la hoja en Excel; 2) ingresar la lluvia media de la cuenca de estudio; 3) hacer la ordenación de datos requerida; 4) automáticamente se genera la Curva de Lluvia Acumulada (que es precisamente la Figura 3-14); a la vez se obtienen los valores colocados en la Figura 3-13. Una explicación detallada de la hoja electrónica se hace al final del ejemplo 2.

Para facilitar el cálculo de umbrales de lluvia que podrían producir una crecida en el río, se presenta la siguiente metodología, la cual se ha identificado como UsoMap. Los criterios utilizados se basan en la experiencia del Consultor de Hidrología que participó en la elaboración de los Módulos I y II de este Manual.

### 3.1.3. Ejemplo 2, definición de umbrales utilizando UsoMap

Los Servicios Meteorológicos de cada país, generalmente operan en sus redes de meteorología pluviómetros totalizadores que permiten obtener registros de lluvia diaria, por lo que se puede hacer una selección de las lluvias máximas diarias<sup>7</sup>. Este dato de lluvia máxima diaria es un dato muy usado para análisis de tipo hidrológico.

El término lluvia máxima diaria corresponde al valor máximo de lluvia del año, es decir el día que más llovió. De todos los datos de lluvias diarias del año se busca el de mayor valor. De manera similar, si se usan datos de lluvia máxima de 24 horas, se localiza el de mayor valor.

Normalmente este dato de lluvia máxima se consigue en los Servicios Meteorológicos. Estas instituciones también han elaborado Mapas Nacionales de Lluvia que presentan las isoyetas, las cuales indican la distribución espacial de las lluvias.

Para este ejemplo, se hace uso del Mapa de Lluvia Máxima Diaria para un período de retorno de 2 años que ha publicado el INSIVUMEH<sup>8</sup> en su Atlas Hidrológico. El Mapa se muestra en la Figura 3-15 con las isolíneas de lluvia máxima diaria de 2 años, tiempo que se relaciona con el período de retorno de las inundaciones.

Si existen datos de lluvia máxima de 24 horas, se tiene por lo tanto un mapa de isolíneas de lluvia máxima de 24 horas. Para Guatemala el factor de transformación de lluvia diaria a lluvia de 24 horas es de 1.13 (ver explicación en el Ejemplo 1).

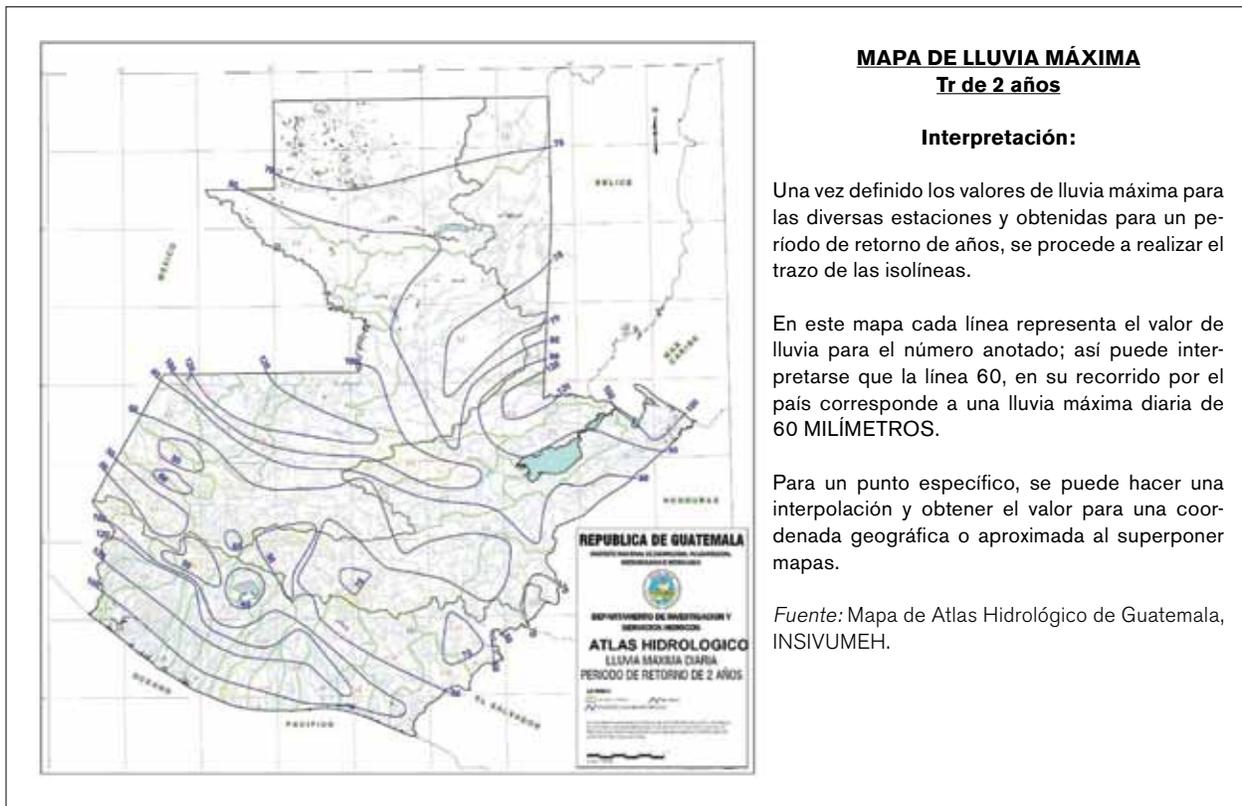
Los pasos para poder aplicar el método de UsoMap son:

- Se localiza el mapa de lluvia máxima diaria para un período de retorno de 2 años;

<sup>7</sup> Debe entenderse adicionalmente que la lluvia diaria corresponde al valor total de lluvia colectada de las 7:00 am del día anterior a las 7:00 am del día de lectura. Para la lluvia de 24 horas, esta es la que corresponde a la leída de las 0:00 horas a las 24:00 horas del día.

<sup>8</sup> Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala.





**FIGURA 3-15:** Mapa de isólinas de lluvia máxima diaria para Tr de 2 años

- Se identifica la zona de estudio del SATI, con un mapa de la cuenca o de subcuencas;
- Se obtiene el valor de la lluvia máxima diaria para la cuenca en estudio, buscando la isólinea aproximada. Para fines prácticos, se utiliza el punto aproximado del centro de la cuenca, C. La isólinea debe cruzar el punto C. Se pueden usar procedimientos de interpolación;
- El dato obtenido de lluvia máxima,  $P_{max}$ , es equivalente al  $P_m$ , lluvia media de la cuenca (Ver Ejemplo 1);
- Proceder a realizar la distribución horaria hipotética de  $P_{max}$  para obtener la gráfica de lluvia acumulada que se usará para definir los umbrales;

Con estos criterios, se procede a realizar el Ejemplo 2. La Figura 3-16 representa una ampliación de la cuenca del río Coyolate de Guatemala, con la red de ríos y las isólinas de lluvia máxima diaria. Además se presenta el mapa de subcuencas (tomado del Estudio del río Coyolate). Se ha trazado el gráfico del cuadro en rojo, que representa el punto de análisis, estación de nivel Puente Coyolate.

El análisis entonces se hace hasta la estación de nivel Puente Coyolate (de igual manera se ha procedido en el Ejemplo 1).

Del mapa de isólinas de la Figura 3-16 se obtiene un valor de  $P_{max}$  de 100 milímetros; para este caso no fue necesario hacer una interpolación. El valor de  $P_{max}$  cruza el centro de la cuenca C (la cuenca de

estudio “subcuenca COY” corresponde a la zona cubierta por las subcuencas 1 y 2, tal como se ha analizado en el Ejemplo 1).

Una comparación del resultado obtenido de 100 milímetros, con 98.35 milímetros (Pm) del Ejemplo 1 indica que los dos métodos de solución para los ejemplos coinciden razonablemente en sus resultados.

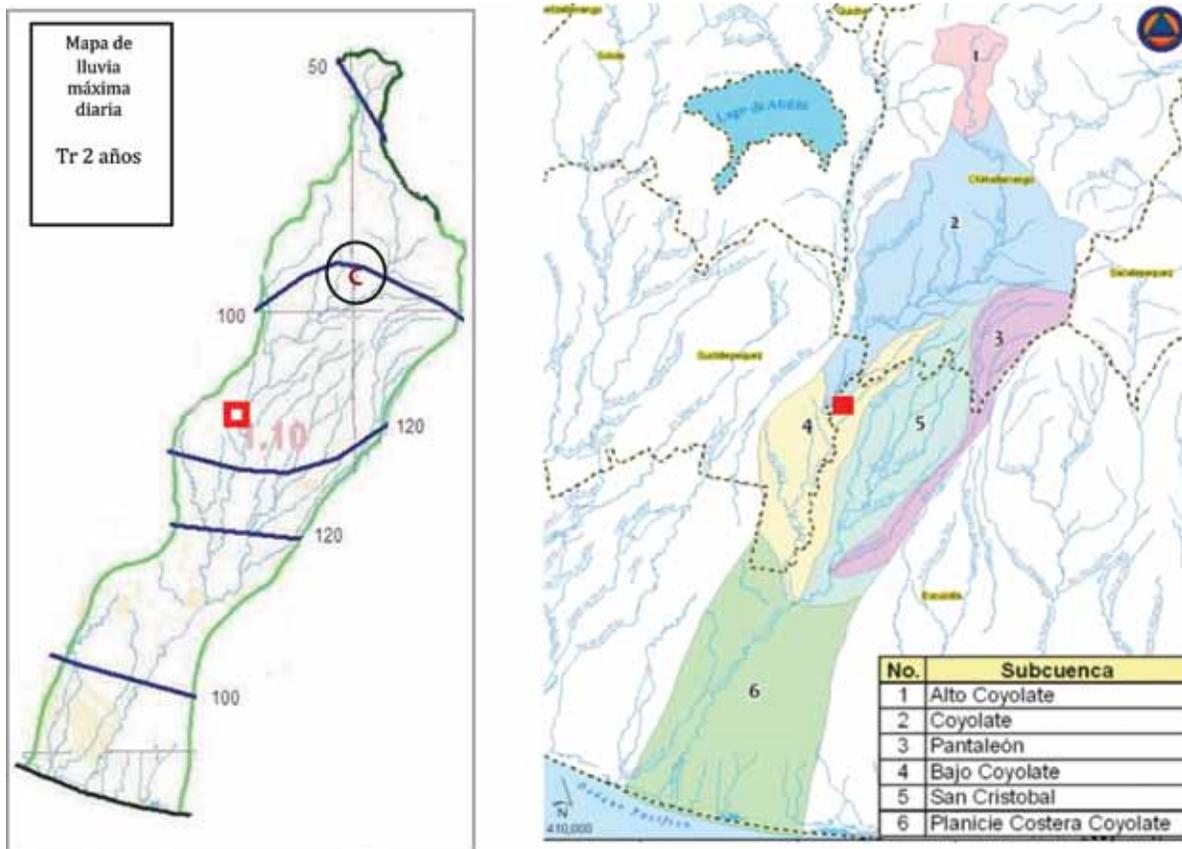
La distribución horaria se genera con el uso de la hoja electrónica “MODELO DE DISTRIBUCIÓN HORARIA.XLS”. Para ello se usa la lluvia de 100 milímetros.

La Figura 3-17 contiene los valores de lluvia acumulada para 24 horas, de acuerdo a los resultados de la hoja electrónica usada.

Una vez que se tiene esta Figura, se procede a definir el umbral de lluvia, para lo cual se considera el tiempo de concentración de 7 horas. Buscando este valor en la columna de hora de la Figura 3-17 se lee a la par el valor de 3.62 pulgadas que es el valor de la lluvia acumulada hasta la hora siete. Para fines prácticos se toma:

**3.6 pulgadas de lluvia acumulada para el umbral de crecida**

### ANÁLISIS PARA DEFINIR UMBRALES DE LLUVIA



**FIGURA 3-16:** Mapa de isóneas de lluvia máxima diaria para Tr 2 años, cuenca del río Coyolate

Hora	Lluvia Horaria Acumulada (pulgadas)	Hora	Lluvia Horaria Acumulada (pulgadas)
1	1.909	13	4.209
2	2.692	14	4.306
3	2.936	15	4.404
4	3.132	16	4.502
5	3.328	17	4.576
6	3.475	18	4.625
7	3.621	19	4.673
8	3.719	20	4.722
9	3.817	21	4.771
10	3.915	22	4.820
11	4.013	23	4.869
12	4.111	24	4.894

**FIGURA 3-17:** Valores de lluvia acumulada para el Ejemplo 2

La Figura 3-18 muestra la gráfica de Lluvia Acumulada para  $T_r$  de 2 años. De igual manera, si se hace uso del tiempo de concentración de 7 horas se obtiene el umbral inferior de 3.62 pulgadas de lluvia acumulada. Esta gráfica se obtiene automáticamente con el uso de la hoja electrónica mencionada.

Una comparación de la Figura 3-18 con la Figura 3-14 del Ejemplo 1 indica bastante similitud; que verifica razonablemente la aplicación de ambos métodos presentados en el desarrollo de los ejemplos 1 y 2.

Revisando los datos de umbrales de lluvia obtenidos en los ejemplos 1 y 2 se nota bastante similitud entre sus resultados (3.5 y 3.6 pulgadas de lluvia respectivamente).

La conclusión final de ambas metodologías presentadas en estos dos ejemplos es que funcionan adecuadamente y proporcionan resultados parecidos. De acuerdo a los datos de la cuenca que se tengan a analizar, el usuario puede hacer uso del método que mejor se ajuste a sus necesidades.

El método del UsoMap ofrece la ventaja de que es rápido y fácil de usar. Si el usuario obtiene un mapa adecuado puede proceder con este método; caso contrario, es conveniente el uso del método estadístico descrito en el Ejemplo 1.

**Se presentan finalmente, algunas consideraciones generales que rodean la determinación de umbrales de lluvia:** El conocimiento de la cuenca a analizar es muy importante. La revisión de la información hidrometeorológica existente, colectada y analizada, permitirá un éxito en la determinación de los umbrales de lluvia. La información que las comunidades brinden, tal es el caso de los datos de las crecidas importantes, el conocimiento de cómo ocurren las lluvias y su intensidad, la información de las inundaciones históricas, y la investigación de campo, darán al analista el soporte adecuado para el tema de umbrales. Una vez que se establezcan los umbrales de lluvia, estos deben ser validados con los eventos futuros de crecidas y de lluvia.



**FIGURA 3-18:** Lluvia acumulada para Tr 2 años. Ejemplo 2

### Procedimiento para uso de la hoja electrónica “MODELO DE DISTRIBUCIÓN HORARIA.XLS”

Para fines prácticos se ha elaborado una hoja tipo EXCEL para proceder al cálculo de la curva de distribución horaria hipotética y para la curva de lluvia acumulada-niveles de alerta. Esta herramienta se incluye en el Anexo MI-01.

La hoja de cálculo contiene 3 hojas de trabajo. La primera, denominada “modelo tipo II”, presenta los factores horarios de la curva típica hipotética para la distribución de lluvia horaria, modelo utilizado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América. Esta hoja es sólo de presentación.

La segunda hoja de trabajo ha sido denominada “curva de distribución”, y la tercera “ordenación de datos”. Se procesan aquí los datos ingresados para obtener finalmente la Curva de lluvia acumulada-niveles de alerta.

- El proceso inicia ingresando el valor de la lluvia media,  $P_m$  (ver ejemplo 1); o bien el valor de la  $P_{max}$  obtenido del UsoMap. La casilla de ingreso esta en la hoja “curva de distribución”; CELDA CELESTE. Ver Figura 3-19.
- Un bloque tipo flecha muestra la casilla celeste que debe llenarse. Para el caso del ejemplo 2 se ingresaron 100 milímetros para un Tr de 2 años. El proceso de cálculo define una lluvia equivalente de 4.89 pulgadas.
- Para obtener la distribución horaria la hoja electrónica hace uso de las columnas C y el valor de la lluvia en pulgadas, 4.89. Los valores de la distribución horaria se presentan en la columna D. Así, para la hora 3, por ejemplo, se obtiene con el factor horario 0.030 multiplicado por 4.89, para un resultado de 0.147 pulgadas de lluvia. Una vez ingresado la lluvia  $P_m$  o  $P_{max}$  automáticamente se genera la distribución horaria.

- La columna E corresponde a los valores puntuales horarios que generan la distribución horaria; es decir el valor de lluvia que corresponde a la hora indicada. Así, para la hora 5 corresponde un valor de lluvia 0.049 pulgadas.
- Para obtener la curva acumulada, la hoja de trabajo hace uso de las columnas B y G. El bloque tipo flecha llama a proceder con la ordenación de datos. Una vez ejecutada la ordenación automáticamente se genera el gráfico de lluvia acumulada-niveles de alerta. Ver Figura 3-20. Esta gráfica es de utilidad para el cálculo del umbral de lluvia.
- Para la ordenación de datos, proceder de acuerdo a lo indicado en el paso respectivo. Ver flecha que se presenta en la Figura 3-19. Los datos ordenados de mayor a menor son los que aparecen en las casillas de color naranja; hoja de trabajo "ordenación de datos". Se llama la atención a que este proceso lo debe de hacer el usuario de forma manual.

Para uso eficiente de la hoja electrónica presentada, el operador o analista sólo requiere llenar el dato de lluvia Pm o PMax y realizar la ordenación de datos. Con estos simples pasos se ejecuta la obtención de la curva de lluvia acumulada-niveles de alerta.

El uso de esta hoja electrónica permite generar una curva de lluvia acumulada que se usará posteriormente para obtener el umbral de lluvia.

Para presentar la diversidad de mapas que los Servicios Hidrológicos Nacionales producen, se muestra el ejemplo de otro tipo de mapa espacial de lluvias. Ver Figura 3-21 que muestra el mapa de lluvia máxima de 24 horas para la República de Mexicana. Este mapa de 24 horas facilita el cálculo de la curva de distribución de lluvia horaria y el de la curva de lluvia acumulada-niveles de alerta, pues ya no se utiliza la transformación de máxima diaria a máxima de 24 horas.

Mapas similares al de México pueden conseguirse en los Servicios Meteorológicos-Hidrológicos de cada país, o los mecanismos para producirlos.

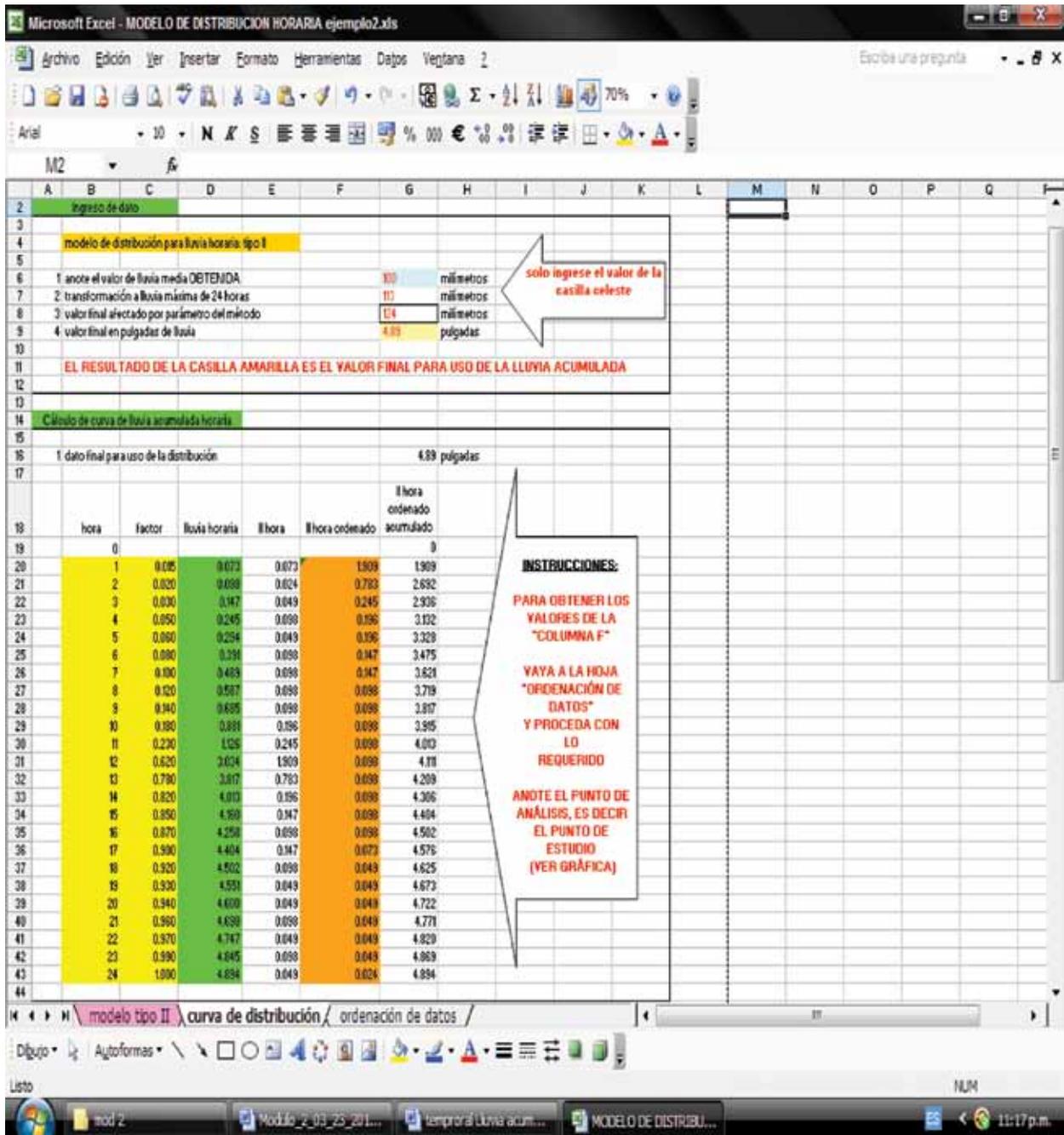


FIGURA 3-19: Hoja electrónica para Curva de distribución de lluvia horaria y Curva de Lluvia acumulada-niveles de alerta. Ejemplo2 Tr 2 años.

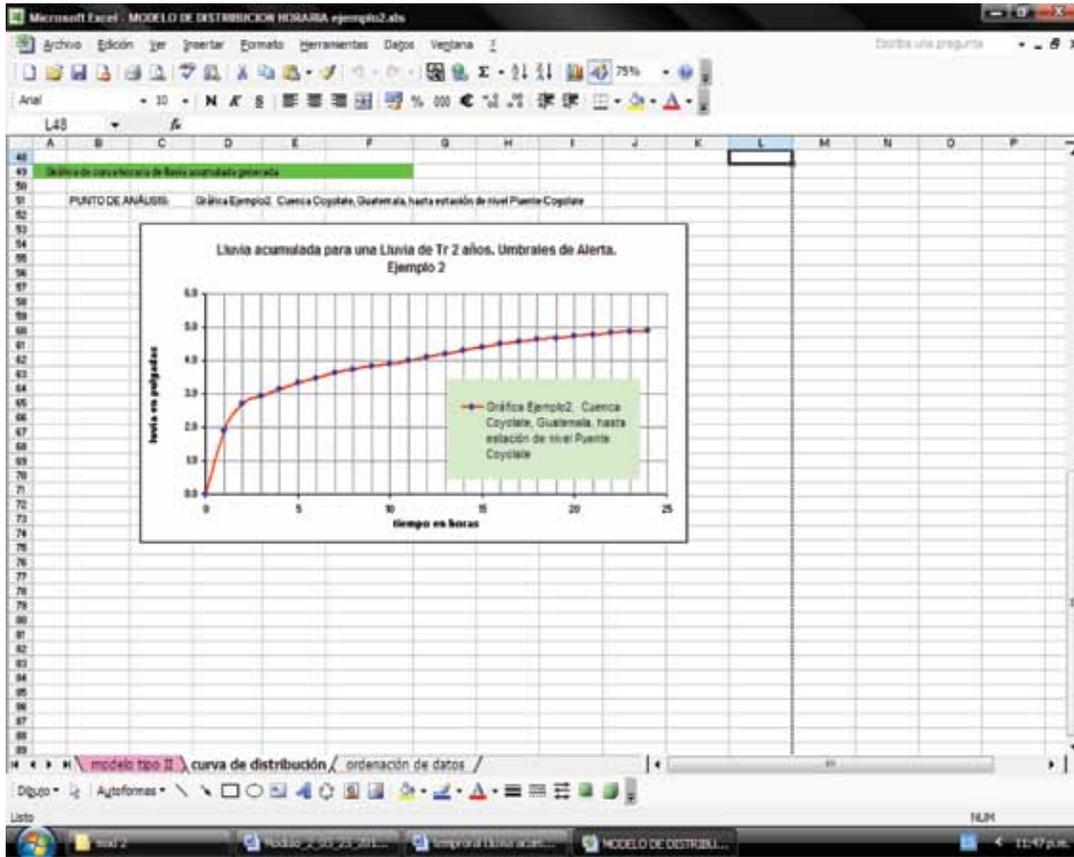


FIGURA 3-20: Curva de lluvia acumulada-niveles de alerta, Ejemplo 2 y Tr de 2 años.

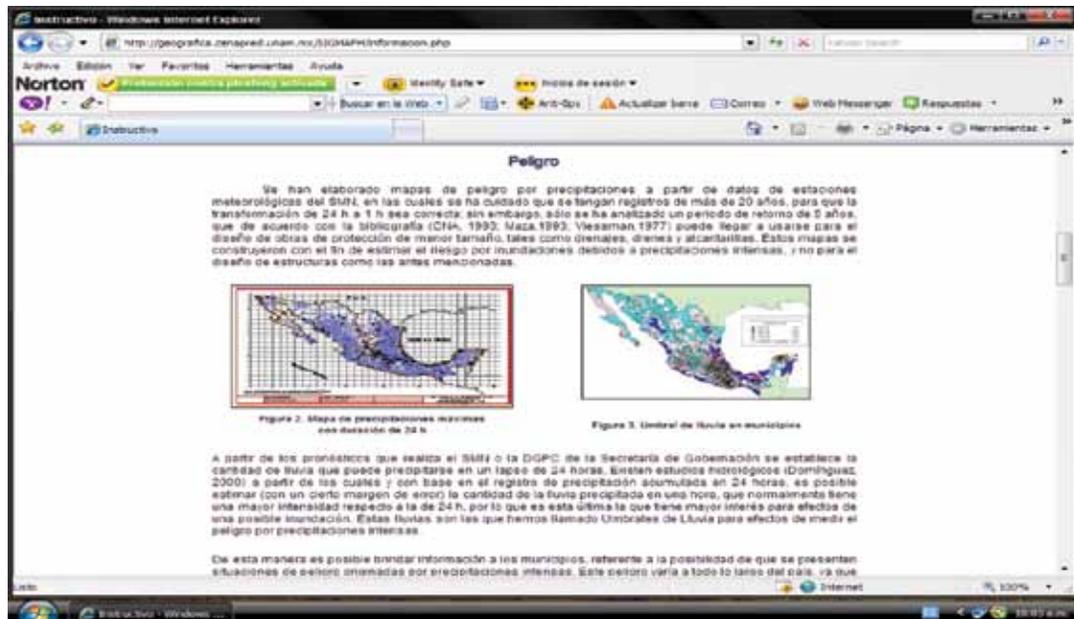


FIGURA 3-21: Mapa de lluvia máxima en 24 horas para la República Mexicana. CENAPRED.

En los ejemplos 1 y 2 desarrollados en este capítulo se describen metodologías a través de las cuales se determinan umbrales de lluvia que podrían causar una crecida de un río y su consecuente desbordamiento. Trasladando el valor encontrado a la escala de colores de umbrales, este valor corresponde al inicio del umbral rojo.

El umbral amarillo se puede determinar utilizando un Tr de 1.1 años (menor al Tr de 2 años definido como el mínimo para provocar inundaciones). Para ello se hace uso de las hojas electrónicas GUMBEL y HORARIA. La curva de lluvia acumulada generada da una lluvia de 2.10 pulgadas para el tiempo de concentración usado. Para fines prácticos, se puede redondear a 2 pulgadas. Con esta información se puede elaborar la tabla de umbrales presentada en la Figura 3-22.

Tipo de alerta	Condición de alerta	Acción
<b>Aviso</b>	Lluvia acumulada menor de 2.0 pulgadas en 7 horas VERDE	Dar aviso a los observadores para que le den seguimiento al comportamiento de la lluvia.
<b>Alerta</b>	Lluvia acumulada mayor de 2.0 pulgadas y menor de 3.5 pulgadas en 7 horas AMARILLO	Dar alerta a los encargados para implementar acciones previas a una inundación.
<b>Alarma</b>	Lluvia acumulada mayor de 3.5 pulgadas en 7 horas ROJO	Dar alarmas a las comunidades aguas abajo para activar planes de emergencia.

**FIGURA 3-22:** Umbrales de lluvia y acción a seguir

La Figura 3-22 da el valor mínimo de lluvia acumulada de cada tipo de alerta para el tiempo de concentración. Es importante considerar que 2.0 pulgadas pueden presentarse en un tiempo menor de 7 horas (condición verde). Igual situación puede ocurrir para la alerta amarilla y roja.

## 4. UMBRALES DE NIVEL DE RÍO

### 4.1. GENERALIDADES Y MÉTODOS DE CÁLCULO

La identificación de un umbral para una probable inundación de un SATI se hace con la determinación de un valor límite de lluvia o un valor límite de nivel del río.

La Figura 4-1 muestra el récord de nivel del río Magdalena, Colombia, para los años 1997-2002 y una Curva de relación Caudal-Nivel. En este caso, la ecuación definida para la relación del nivel con el caudal es:

$$Q = 12.44 H^2 + 78.25 - 53.68$$

Donde  $H$  es el nivel del río en metros y  $Q$  es el caudal en metros cúbicos por segundo. Este tipo de curva es definido para cada estación hidrométrica y el Servicio Hidrológico Nacional la actualiza constantemente. Por lo tanto es una herramienta de apoyo para el conocimiento de las relaciones lluvia, caudal y nivel del río.

La Figura 4-2 muestra lo que podría ser una cuenca con un SATI instalado o bien previamente diseñado. En ella se ubican los controles de lluvia (puntos redondos) y de nivel de río (punto verde). Esta Figura muestra la divisoria o límite de la cuenca de estudio con trazo naranja; toda la lluvia captada en la cuenca llega a la estación de control definida como "Estación X". De esta figura se puede interpretar que el registro de niveles continuos se da en el punto de la Estación X y que en este punto se podría establecer una relación Nivel-Caudal. Con el conocimiento de los niveles en la Estación X se pueden establecer relaciones con la lluvia origen de un nivel 'N1'. Con una serie histórica de lluvia y niveles se establece una relación lluvia-nivel (ver Figura 10-4 del Módulo 1).

Adicionalmente, el estudio de las crecidas registradas puede relacionarse con el acontecimiento de las inundaciones. En la comunidad normalmente se tiene conocimiento de cuándo sucedió una crecida y se pueden definir los niveles que alcanzó el río.

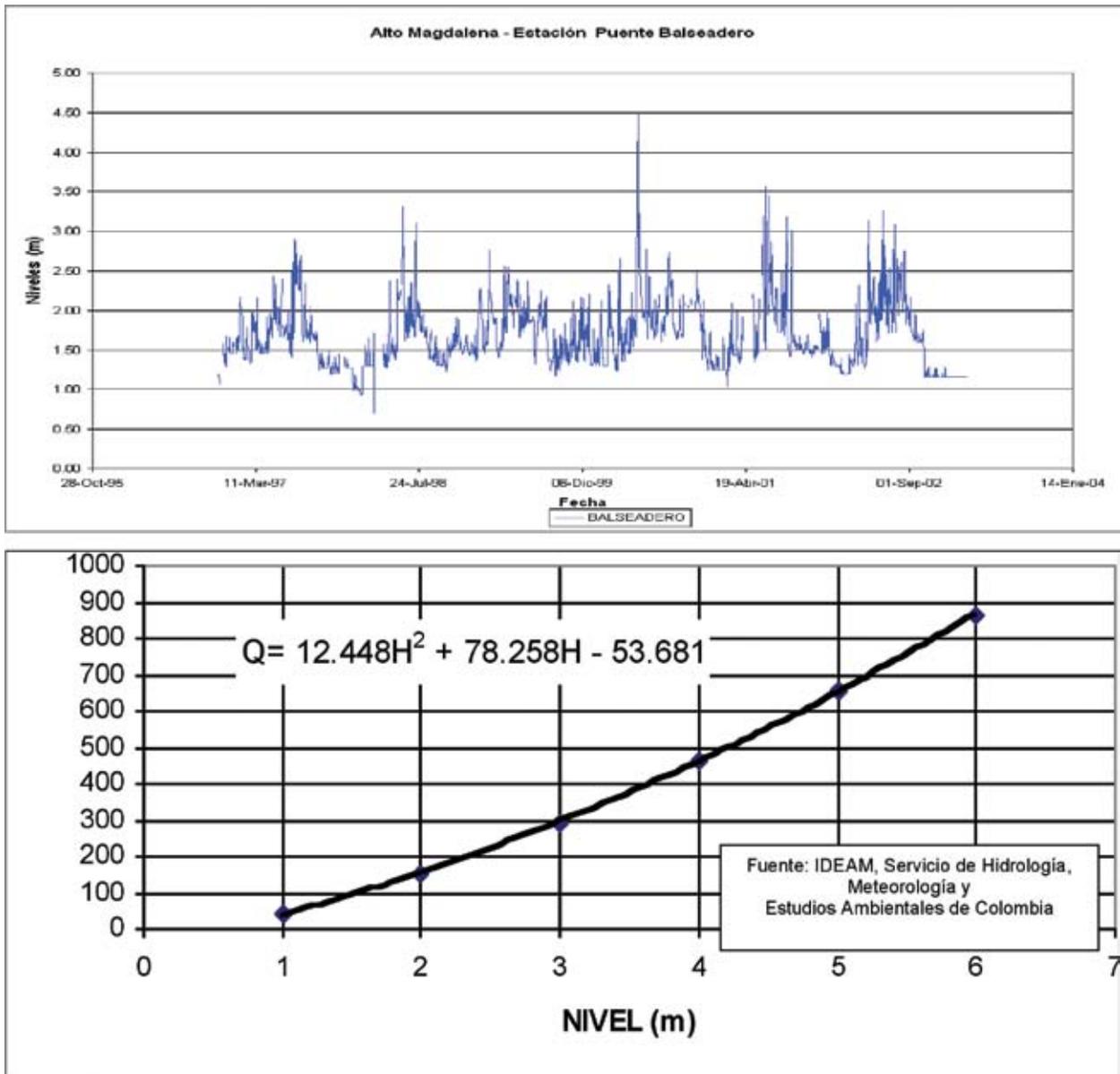
Si se tiene un registro de inundaciones, se puede calcular el valor mínimo del nivel del río que provoca una inundación pequeña, o bien definir un valor máximo o mayor de nivel del río que provoca una inundación extrema o superior. Con estos valores se puede elaborar una Tabla de Umbrales de nivel de río.

Algunos investigadores y científicos han establecido dos procesos para llegar a definir umbrales de nivel de río, tal es el caso del estudio de la Universidad de Valencia, España en la zona de Ramblas Mediterránea. Se define el umbral de escorrentía y el umbral de desbordamiento. La Figura 4-3 muestra de manera gráfica estos conceptos. En el Estudio del Sistema de Alerta Temprana de la cuenca del río Coyolate<sup>9</sup> se aplicaron estos criterios. Este proceso requiere también del conocimiento de las lluvias para establecer las relaciones caudal-respuesta.

La Figura 4-4 Definición de niveles en una sección transversal, hace una representación gráfica de varios niveles relacionados con caudales de recurrencia. Estos se definen por procedimientos hidrológicos que permiten obtener el tiempo en que un caudal puede presentarse o repetirse. Si se establece una recurrencia de inundaciones de 2 años, se usa un caudal de "T 2 años", o bien  $T_r$  2 años. Este caudal de retorno de 2 años es el evento que puede presentarse al menos una vez cada 2 años.

---

<sup>9</sup> Proyecto de OEA-SE CONRED, 2009



**FIGURA 4-1:** Registro del nivel del río Magdalena 1997-2002 y Curva de relacion Caudal-Nivel

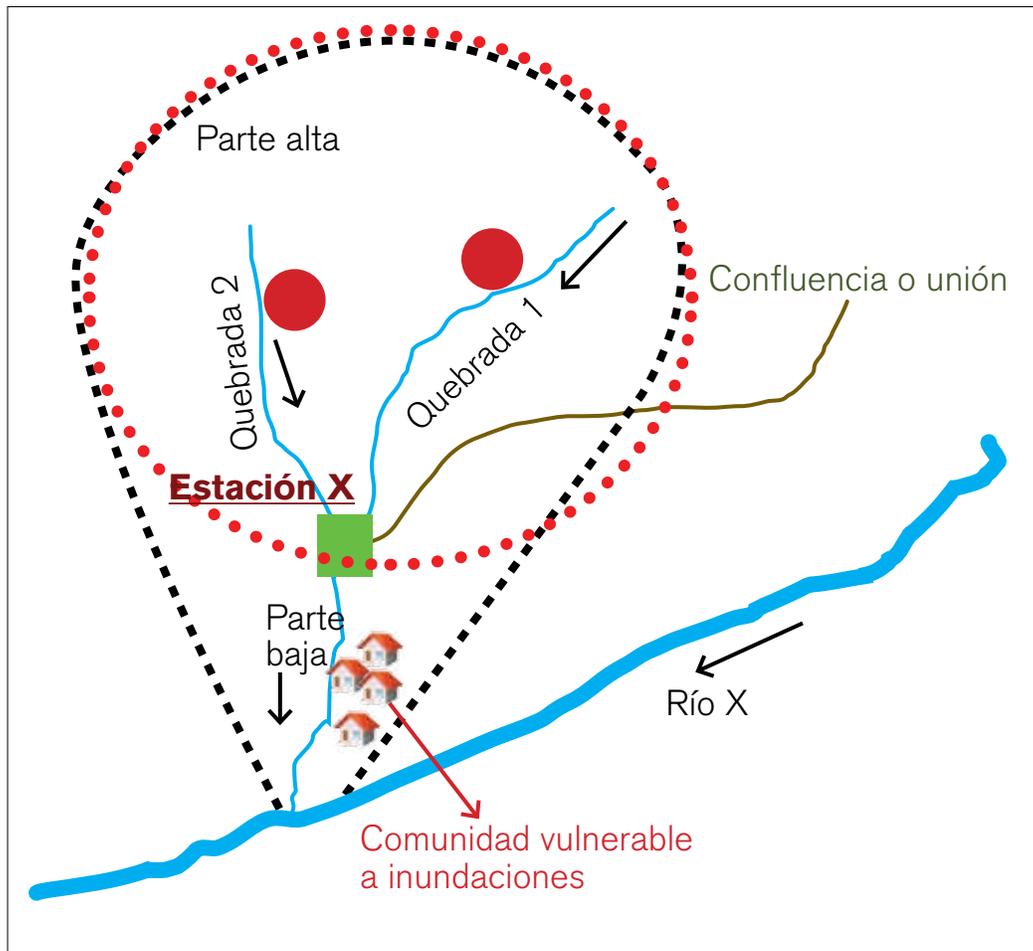
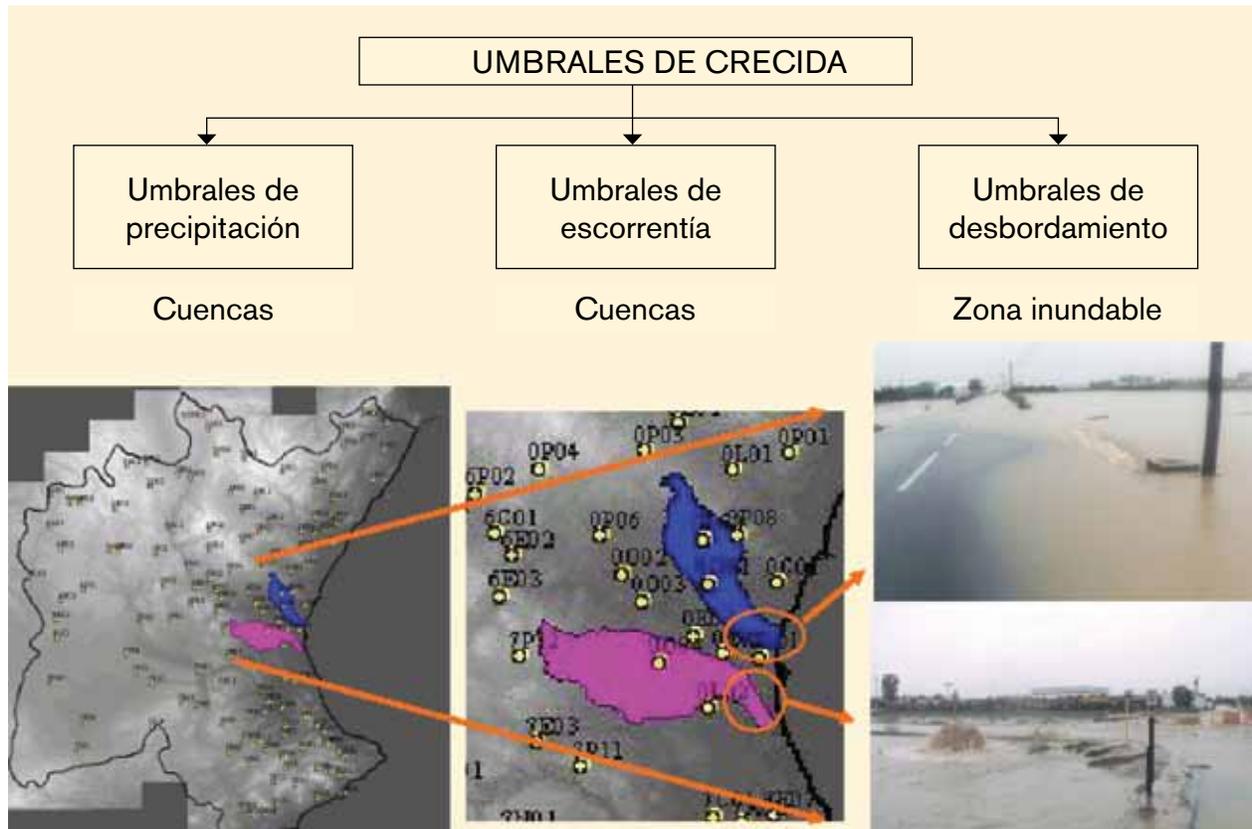


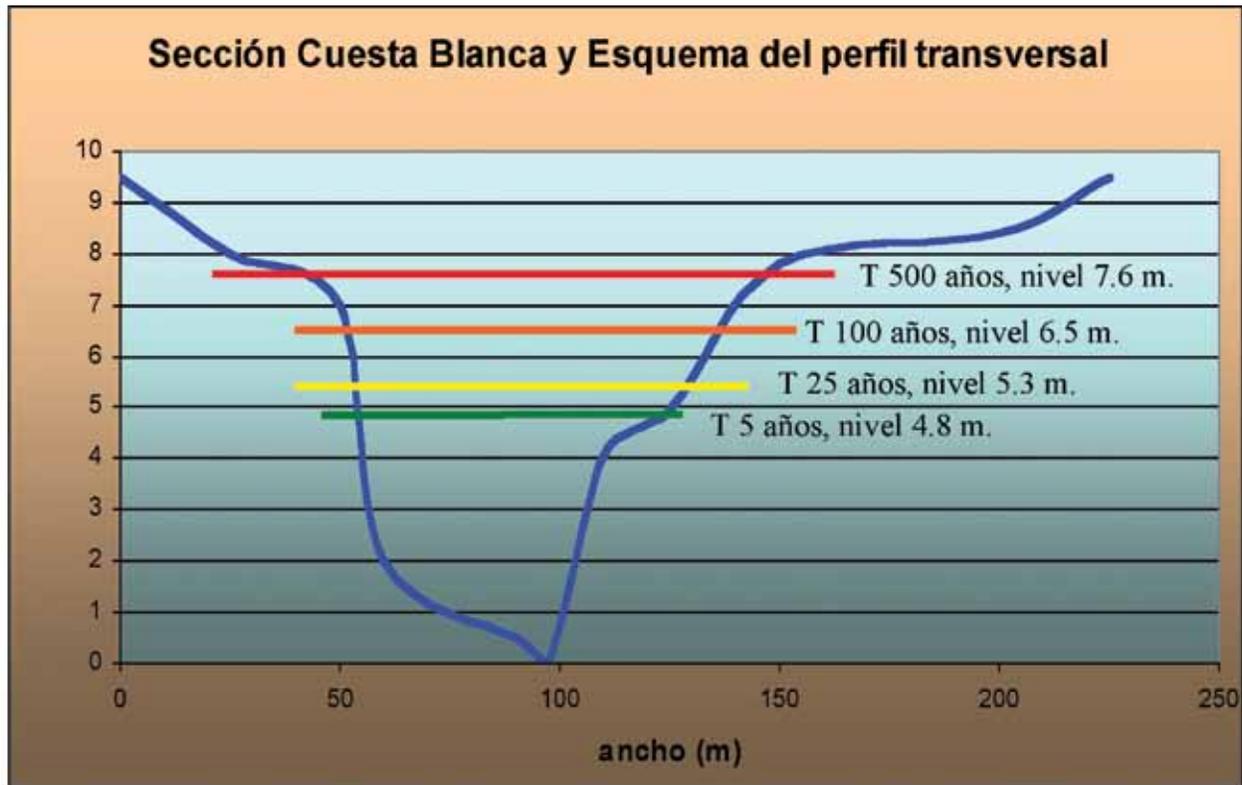
FIGURA 4-2: Diagrama de un SATI básico



**FIGURA 4-3:** Umbral de crecida

**UMBRAL DE CRECIDA.** Se muestra el mapa de umbrales de precipitaciones de España. Los umbrales de escorrentía se definen del estudio 'Caudal y Respuesta' de la cuenca, se analiza una selección de eventos de caudal para cuantificar los valores de las crecidas (estudio de hidrogramas). Los umbrales de desbordamiento se definen con el conocimiento de la topografía de las zonas inundables y se obtienen los puntos críticos de inundación; el proceso puede culminarse con la elaboración de un mapa de Riesgo de Inundaciones.

*Fuente:* Universidad de Valencia, España.



**FIGURA 4-4:** Definición de niveles en una sección transversal

**Definición de niveles.** Estudios usando la topografía de las secciones transversales permiten definir los niveles del río para un valor de caudal de retorno. La gráfica muestra, por ejemplo las alturas para caudales de retorno o recurrencia de 5 años, con elevación de 4.8 metros. La sección Cuesta Blanca, corresponde a un río argentino.

Una serie de secciones transversales permite definir un mapa de peligro o de amenaza de inundación. Productos de utilidad para programas de prevención y ordenamiento territorial.

*Fuente:* Complementación de procedimientos para identificar Umbrales de Inundación, INA Córdoba Argentina, 2007.

Se puede concluir que para la fijación de umbrales basados en niveles de río, se requiere de un análisis y un proceso más complicado, donde la experiencia del analista es importante. Por ello se ha sugerido el uso de los métodos de definición de umbrales de lluvia claramente explicados en los Ejemplos 1 y 2 de este Manual.

La oficina que administra un SATI puede considerar los siguientes pasos para definir umbrales de nivel de río:

- Determinar el valor del caudal máximo de recurrencia para  $T_r$  de 2 años;
- Calcular por hidráulica el nivel que está en correspondencia con este caudal para la sección o perfil transversal del punto de pronóstico (estación de nivel de río);
- El nivel anterior define el Umbral de Crecida (carácter rojo).

- Para el umbral amarillo y verde puede seguirse el criterio de usar un tiempo de retorno,  $T_r$ , de 1.1 años.

El umbral de crecida está relacionado con un evento mínimo capaz de producir una inundación. Para el caso de Centro América y el Caribe se sugiere usar un caudal de retorno de 2 años. Los datos requeridos para esta metodología a veces no son fáciles de obtener en las Oficinas de Hidrología o de Emergencia. Regularmente hay que hacer trabajo de campo para definir las secciones transversales y que el analista tenga buenos conocimientos de hidráulica. Por ello se sugiere el apoyo de un Asesor hidrológico para hacer uso de este método.

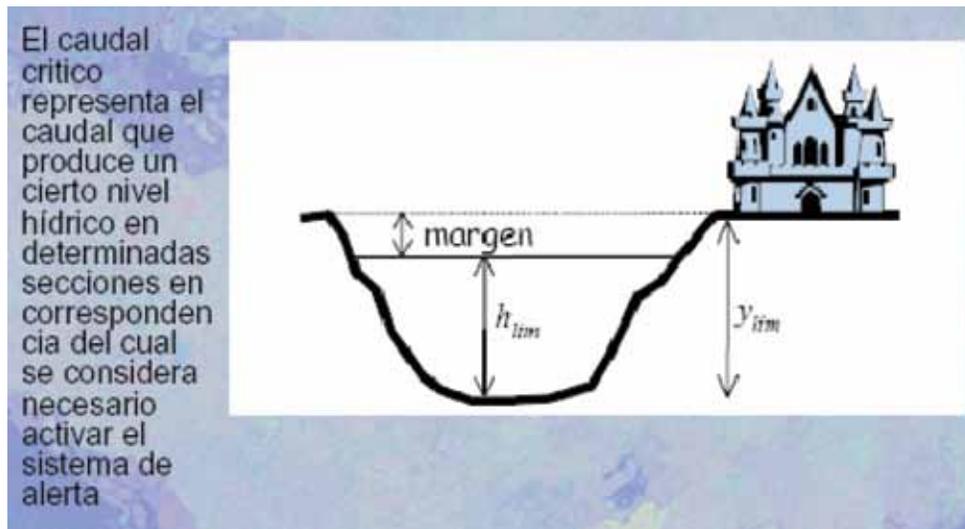
Una metodología alterna sugiere el uso del método aplicado por la Universidad de Florencia, Italia, basado en los siguientes conceptos:

- El análisis hidráulico es bueno si el objetivo es la determinación del “caudal máximo que puede transitar en una determinada sección”. Este caudal es útil cuando se instala un sistema de alerta temprana ante inundaciones, ya que ofrece la facilidad de determinar un valor para una señal de alerta. Se le puede llamar entonces “Caudal Crítico”.
- El umbral hidrométrico crítico ( $y_{lim}$ ), es el nivel del río con el cual se observan daños para la población; valor que representa la cota máxima de la borda en la sección de interés o la altura máxima del cauce del río a sección llena. Ver Figura 4-5.
- El umbral hidrométrico de alerta ( $h_{lim}$ ) se ubica generalmente a una cota inferior con respecto al umbral crítico por razones lógicas de precaución. Ver Figura 4.5.
- Para tramos con borda, se puede tomar el umbral de alerta en correspondencia con el caudal que alcanza la altura máxima de la borda disminuida en un metro.
- Para el caso de tramos sin borda, se considera el umbral de alerta en correspondencia con el caudal que ocupa completamente la sección o cauce analizado.
- Se define entonces un “Umbral de Alerta”, basado en el análisis hidráulico de los cauces. Se sugiere el uso del modelo hidráulico HEC RAS para el análisis de los tramos.

Para usar este método se requiere tener conocimiento de modelación hidráulica y de las tareas de campo para definir los tramos topográficos del canal del río y las secciones transversales de análisis.

Para el desarrollo de un sistema comunitario de alerta temprana contra inundaciones, SATI, donde los voluntarios o comunitarios van a tener una participación activa en la operación y monitoreo de la cuenca, definir umbrales de nivel de río basado en la experiencia de la comunidad es el paso más sencillo a utilizar.





**FIGURA 4-5:** Interpretación de caudal crítico. Universidad de Florencia. Italia.

## 4.2. EJEMPLO 3, DEFINICIÓN DE UMBRALES DE NIVEL DE RÍO

Un procedimiento más sencillo para definir umbrales de nivel de río es consultar a las comunidades de la cuenca donde se está operando o diseñando el SATI sobre la ocurrencia de las inundaciones. Los pobladores pueden suministrar valiosa información con la que se puede establecer un nivel de referencia o umbral. La experiencia de la comunidad acerca de las inundaciones puede apoyar la identificación de los lugares más vulnerables a inundaciones dentro de la comunidad y reconocer las características de los eventos de inundación que se repiten en la cuenca. El conocimiento de un nivel del río aguas arriba puede caracterizar un nivel del río en la comunidad.

La referencia histórica comunal (analizada y verificada en el campo con marcas dejadas por las inundaciones) es en este caso la más valiosa información para obtener un umbral de referencia o mínimo para una probable inundación. Esto permitirá definir un umbral de crecida. Siguiendo las relaciones adecuadas se define una tabla de umbrales; estos valores deben ser validados con la revisión de futuros eventos de inundación.

Este método es uno de los usados por la SE-CONRED de Guatemala y otras oficinas de Centro América que manejan SATIs. Los pasos mínimos a seguir son los siguientes:

- Se fija un umbral mínimo con la experiencia de la comunidad y se relaciona con un nivel 7, N7, alerta roja. Este nivel regularmente se maneja con un sensor tipo SE-CONRED.
- Dependiendo del tamaño de la cuenca de estudio, ancho y profundidad del río en el punto de análisis, se define la longitud del sensor (regularmente es de 2 metros, pero puede tener 3 metros). Los niveles de N1 a N10 se señalan a cada 20 centímetros o 30 centímetros.
- El umbral amarillo que coincide con un nivel 6, N6, queda entonces determinado según el tamaño del sensor, sea a 20 centímetros o 30 centímetros más bajo que el nivel siete.

- El nivel 5, N5, determina la alerta verde. Tal como se definió el umbral amarillo, quedará a un nivel menor que este.

La Figura 4-6 muestra la interpretación de la información comunal, expresada en una tabla de umbrales de nivel de río, manejada adecuadamente con un sensor electrónico sencillo.

Para el desarrollo de un sistema comunitario de alerta temprana ante inundaciones, SATI, donde los voluntarios o comunitarios van a tener una participación activa en la operación y monitoreo de la cuenca, definir umbrales de nivel de río basado en la experiencia de la comunidad es el paso más sencillo a utilizar.

Tipo de alerta	Condición de alerta	Acción
Aviso	nivel del río en N5 VERDE	Dar aviso a la comunidad para que le den seguimiento al comportamiento de los niveles.
Alerta	nivel del río en N6 AMARILLO	Dar alerta a los encargados para implementar acciones previas a una inundación.
Alarma	nivel del río en N7 o más ROJO	Dar alarmas a las comunidades aguas abajo para activar planes de emergencia.

**FIGURA 4-6:** Umbrales de río y tipo de acción a implementar

## 5. IMPORTANCIA DE LA VALIDACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LOS UMBRALES

Es importante para la credibilidad del sistema de alerta temprana ante inundaciones que los valores de umbrales calculados sean validados con valores registrados en eventos posteriores a su determinación.

Durante la fase de diseño del SATI se deben identificar los umbrales de crecidas. Los pronósticos empiezan a generarse con los datos del monitoreo hidrometeorológico, es decir, una vez que se instalados los medidores de lluvia y de nivel de río, los voluntarios estarán listos para proceder a realizar sus lecturas, (previa capacitación), que servirán para establecer el pronóstico. Los reportes de las zonas de inundación, niveles alcanzados en puntos estratégicos y otra información, son valiosos para verificar los umbrales. Los comunitarios ayudan como fuente de información, pero también es importante el trabajo de los técnicos de las Oficinas de Emergencia para verificar huellas de inundaciones nuevas y capturar toda la información de campo que ayude a validar los umbrales.

Si se establece que existen variaciones entre los datos nuevos y los históricos, se deben hacer las correcciones en el procedimiento para la definición de los umbrales. Con ello se consigue una tabla de umbrales corregida y más cercana a la ocurrencia de las inundaciones y su valor de referencia de lluvia o nivel. Un ejemplo sencillo se puede interpretar así: si el umbral de crecida del nivel de río es de 3.00 metros y con los eventos nuevos de inundación se obtiene 3.50 metros, es conveniente modificar la tabla de umbrales haciendo uso del último valor. El éxito del SATI es tener una Tabla de Umbrales validada.

## 6. CUADRO DE VALORES DE UMBRALES Y CLASIFICACIÓN DEL AVISO O ALERTA

La definición de una Tabla de umbrales permite hacer una clasificación de los avisos o alertas que deben trasladarse a las comunidades vulnerables a inundaciones. Las tablas comúnmente parten de un valor de umbral mínimo a un valor extremo superior, llamado umbral de crecida, que es indicador de una probable inundación.

Tablas características pueden ser del tipo de las Figuras 6-1 y 6-2; o bien Figura 4-6. La primera está basada en el conocimiento de las lluvias. La segunda se basa en valores de nivel del río, y la última se relaciona con los tipos de acción que pueden darse en el SATI.

Para la definición de los avisos o alertas, se hace uso del método de semáforo, tal como se plantea en la Figura 6-1. La clasificación verde se vincula con toma de acciones en tareas de monitoreo de la cuenca. La clasificación amarilla, se relaciona con la posibilidad de ocurrencia de una inundación; y la clasificación roja se vincula con una la inminencia de que ocurra una inundación que afecte la comunidad o comunidades de la cuenca del SATI.

Tipo de alerta	Condición de alerta	Acción
Aviso	Lluvia acumulada de 2.0 pulgadas en 7 horas VERDE	Dar aviso a los observadores para que le den seguimiento al comportamiento de la lluvia.
Alerta	Lluvia acumulada mayor de 2.0 pulgadas y menor de 3.5 pulgadas en 7 horas AMARILLO	Dar alerta a los encargados para implementar acciones previas a una inundación.
Alarma	Lluvia acumulada de 3.5 pulgadas en 7 horas ROJO	Dar alarmas a las comunidades aguas abajo para activar planes de emergencia.

**FIGURA 6-1:** Umbrales de lluvia, clasificación de la alerta y acción a implementar

Nivel del río en metros	Clasificación de Alerta
1.75	Verde
2.25	Amarilla
2.75 o más	Roja

**FIGURA 6-2:** Umbrales de nivel de río y clasificación de la alerta

Los criterios que prevalecen para el manejo de los avisos y alertas, son: para el verde, se traslada el aviso a los voluntarios de la cuenca, para que activen el procedimiento de lectura de datos de manera más frecuente; o den seguimiento a la toma de datos, para su traslado a la Oficina de Emergencia y el Analista evalúa si el nivel del aviso o alerta debe subir o bajar; es decir el verde puede pasar a una condición de amarillo, etc.

Para el caso de la clasificación de tipo amarillo, la alerta se traslada regularmente a los encargados voluntarios del SATI de la cuenca, que generalmente están organizados como el COLRED (Coordinadora Local de Reducción de Desastres). Los voluntarios entonces pueden activar o implementar acciones previas a una inundación.

La clasificación de tipo rojo, se considera como alarma, donde los voluntarios de la COLRED activan los planes de emergencia. Aquí se ponen a accionar los planes de respuesta y el trabajo de todas las comisiones presentes en las comunidades.

## 7. CONSIDERACIONES SOBRE LA INFORMACIÓN DE LOS SERVICIOS METEOROLÓGICOS NACIONALES

Las oficinas de meteorología de los países son los responsables de la preparación de boletines meteorológicos para diversos usos y elaboración de pronósticos de tiempo. El monitoreo que se realiza por medio de la red de estaciones meteorológicas, la información de imágenes de satélite y el uso de otros productos; permite a la Oficina de Meteorología emitir boletines del comportamiento meteorológico nacional. Estos boletines son trasladados a las Oficinas de Emergencia y de Protección Civil para el apoyo en sus actividades.

Los productos meteorológicos pueden ser variados: pronóstico de 24 horas, pronóstico de lluvia probable para las próximas 12 horas, pronóstico de 48 horas, pronóstico semanal, etc. Durante la temporada de huracanes se manejan boletines asociados a estos eventos. La página del Centro de Huracanes de Miami, proporciona los mapas de seguimiento y avance de estos fenómenos meteorológicos. Una visita a la Oficina Nacional de Meteorología puede ayudar al Analista SATI a entender los productos mencionados.

Estos pronósticos y boletines pueden apoyar a las actividades de operación y monitoreo de los SATI's, ya que proporcionan un tiempo razonable para la toma de decisión y transmisión de información a los voluntarios responsables del monitoreo hidrometeorológico del SATI. La Figura 7-1 muestra un boletín del Servicio Meteorológico de México; en ella se muestra la información del pronóstico de lluvias y presenta valores probables para algunas Regiones o Estados.

Los Centros de Investigación o Centros de Análisis Meteorológico Regionales trabajan en una gran gama de productos que van desde imágenes de satélite, modelos meteorológicos para predicción del tiempo, pronósticos de la temporada de huracanes, seguimiento y estudio de fenómenos como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), mapas específicos de pronóstico, y otros productos de apoyo a las actividades de los países.

Las herramientas tecnológicas de este tipo pueden ser aprovechadas por los SATI's en la fase de pronóstico.



Este numeral tiene entonces la intención de llamar la atención sobre estos productos meteorológicos.

Para referencia se hace una breve descripción de algunos productos, resaltando su uso en los SATI's. No se tiene intención de hacer una descripción a detalle de las herramientas, productos o modelos.

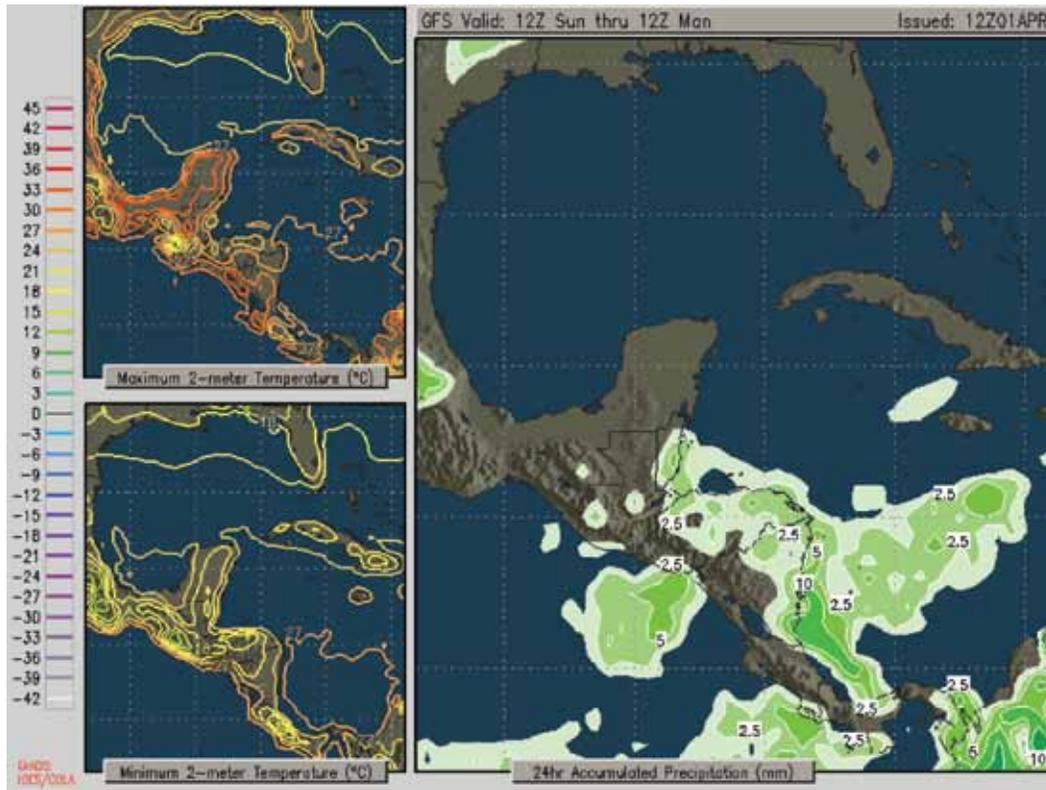
El Center for Ocean Land Atmosphere Studies, COLA, y el Institute of Global Environment and Society, IGES, han desarrollado un modelo que permite conocer pronóstico de lluvias hasta para cuatro días. Estos pronósticos pueden verse en el siguiente link <http://wxmaps.org/pix/ezla.wcar.html>.

La Figura 7-2 muestra un pronóstico de temperaturas máximas y mínimas y de la precipitación acumulada para el día cuatro, 12Z domingo 4 de abril a las 12Z del lunes 5 de abril de 2010. Este pronóstico fue realizado el 1ro de abril de 2010. Los operadores de SATI pueden revisar estos pronósticos y tomar las previsiones necesarias.

<b>Sección A. Descripción Meteorológica General</b>	
Fenómenos significativos	<b>Potencial de lluvias fuertes e intensas en el Centro, Oriente y Sureste del país</b>
Pronóstico de nubosidad y lluvias	Para el día de hoy, el frente frío No. 28 que se ubica en el Golfo de México, originará cielo medio nublado con lluvias fuertes a intensas en el Centro, Oriente y Sureste del país (incluyendo a la Península de Yucatán), además la masa de aire que le da impulso originará efecto "Norte" en el Golfo de México, así como temperaturas muy frías a templadas en el Norte, Oriente y Centro del país.

<b>Sección D. Pronóstico de lluvias máximas en milímetros acumulados en 24 horas</b> Validez de las 09 horas del día 30 a las 09 horas del día 31 de enero de 2010	
Pronóstico de lluvias	<b>Estados</b>
Torrenciales Mayores de 150 mm	–
Intensas de 70 a 150 mm	Quintana Roo y Yucatán
Fuertes de 20 a 70 mm	Campeche, Chiapas, Distrito Federal, México, Oaxaca, Puebla, Tabasco y Veracruz

**FIGURA 7-1:** Boletín de pronóstico meteorológico. SMM México



**FIGURA 7-2:** Pronóstico de temperatura y lluvia acumulada en 24 horas. COLA

Las páginas de los Servicios Meteorológicos Nacionales incluyen estos mapas de pronóstico de lluvia; tal es el caso del INSIVUMEH de Guatemala. Estas Oficinas pueden apoyar también en la interpretación de estos mapas.

Los centros meteorológicos que producen mapas como el mostrado en la Figura 7-2, los vinculan a sistemas de información geográfica, SIG, que facilitan su uso. Con esta herramienta se puede ubicar la cuenca de estudio y relacionarla con la lluvia estimada de 24 horas (por ejemplo), al hacer una superposición de mapas. Con ello se logra tener idea del orden de la lluvia que se espera en el sitio de interés.

El Comité Regional de Recursos Hidráulicos, CRRH, con el apoyo de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y el Centro de Investigaciones Hidrológicas de San Diego, California, ha desarrollado un modelo denominado Guía de Inundaciones Repentinas para Centro América (Central America Flash Flood Guidance, CAFFG), el cual es una herramienta clasificada como un Sistema de Alerta Temprana para desastres que permite identificar con varias horas de antelación las cuencas hidrográficas de Centro América que podrían estar en peligro de inundación ante un evento hidrometeorológico extremo.

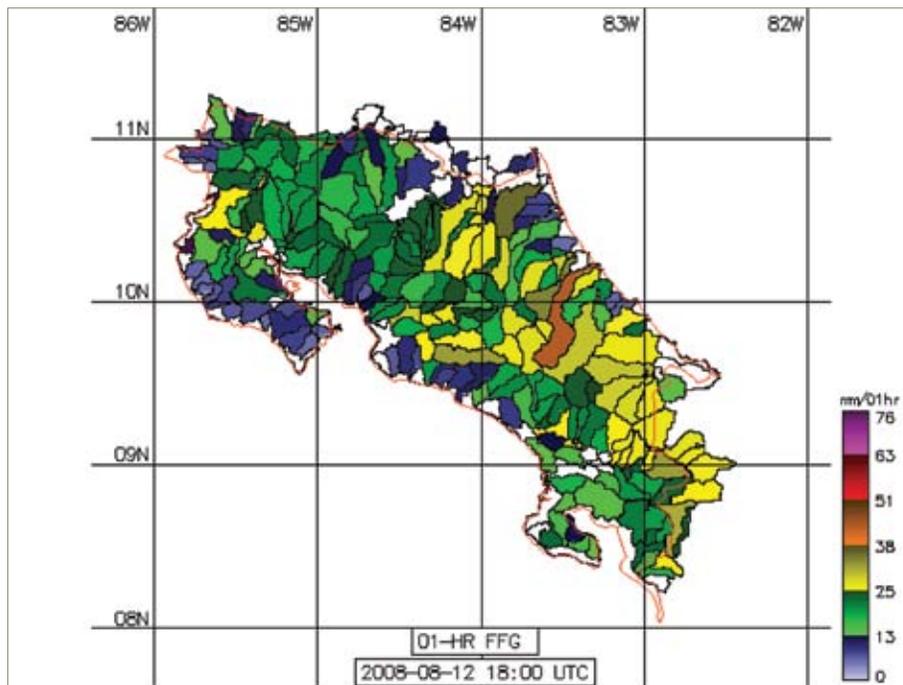
El CAFFG no es un sistema de pronóstico. La misión del Sistema CAFFG es proveer una guía de productos en tiempo real que pueden corresponder a una inminente o potencial inundación repentina en Centro América. Ha sido desarrollado para trabajar en áreas extensas en una resolución muy alta (200 km<sup>2</sup>).

Actualmente, el CAFFG funciona desde el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica con 2 servidores. La herramienta tiene acceso restringido, pero se cree que puede ser una contribución importante en el tema de pronóstico de inundaciones. Los contactos nacionales son los Institutos de Hidrología y Meteorología. El servidor de diseminación del CAFFG (CDS) provee entrada a un sitio seguro de Internet para acceder a los datos y productos nacionales de las agencias pertenecientes al CAFFG. La Figura 7.3 muestra un mapa guía de inundaciones, que proporciona la cantidad de lluvia de duración  $t_r$  distribuida uniformemente sobre la cuenca que es suficiente para producir que la sección transversal del río se llene a la salida de la cuenca. La incertidumbre es de 25-30%. Se calcula para períodos de 1, 3 y 6 horas, cada 6 horas a partir de las 00 UTC.

El proceso de calibración y validación de este sistema está en ejecución desde el año 2007, por lo que debe tomarse como una herramienta experimental. Por su importancia, es esencial que los SATI's faciliten la información recopilada para alimentar y validar el sistema.

Actualmente los Servicios Hidrometeorológicos de Centro América están siendo capacitados por parte de los desarrolladores del modelo, sobre los productos y usos del CAFFG; se recomienda a los administradores de los SATI's que se coordinen para saber más sobre estos productos y su aplicación.

La Figura 7-3 muestra un mapa de la República de Costa Rica producido por el CAFFG, indicando las zonas de posible inundación. Para conocer más sobre esta guía de inundaciones repentinas puede visitarse la dirección [http://www.hrc-lab.org/CAFFG/CAMI/index\\_spanish.htm](http://www.hrc-lab.org/CAFFG/CAMI/index_spanish.htm), del Centro de Investigación Hidrológica de California, USA (HRC en inglés).



**FIGURA 7-3:** Pronóstico de temperatura y lluvia acumulada en 24 horas. COLA



**FIGURA 7-4:** Zonas de posible inundación. CAFFG. Costa Rica



Organización de los  
Estados Americanos



Federal Foreign Office



International Strategy  
**ISDR**  
for Disaster Reduction

**Organización de los Estados Americanos**

1889 F St. N.W. Washington D.C. 20006, USA