

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

CONTEXTUALIZADO Y ACTUALIZADO

Elaborado por:
Organización de Estados Americanos



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

CONTEXTUALIZADO Y ACTUALIZADO

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.

PRÓLOGO

El Gobierno de Honduras, a través del Sistema de Alerta Temprana de la Comisión Permanente de Contingencias, COPECO, participó en el 2010, 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

En el 2015, COPECO a través del Proyecto “Institucionalización de procesos y herramientas de RRD en Centroamérica”, promovido por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, el Centro Regional para Latinoamérica y el Caribe (CR-ALyC), el Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres (CEPREDENAC) y con el financiamiento del Programa de Preparación ante Desastres de la Oficina de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea (Programa DIPECHO) realizó actualizaciones al presente Manual adaptándolo a la realidad hondureña.

Moisés Alvarado
Comisionado Nacional
Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
Honduras

SIGLAS Y ABREVIATURAS

CAFFG	Central America Flash Flood Guidance
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CENAOS	Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos
CEPREDENAC	Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central
COLA	Center for Ocean Land Atmosphere Studies
COLRED	Coordinadora Local de Reducción de Desastres
CONACYT	Comisión Nacional de Ciencia y tecnología de México
COPECO	Comisión Permanente de Contingencias
DGRH	Dirección General de Recursos Hídricos
DIPECHO	Programa de Preparación a Desastres de la Oficina de Asistencia Humanitaria de la Comisión Europea
ECHO	Oficina de Asistencia Humanitaria de la Comisión Europea
EIRD	Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres
ENEE	Empresa Nacional de Energía Eléctrica
ETESA	Empresa de Trasmisión Eléctrica Sociedad Anónima
FFO	Federal Foreing Office
FICR	Federación Internacional de sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja
HCR	Centro de Investigación Hidrológica de California
INETER	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
ISDR	International Strategy for Disaster Reduction
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OEA	Organización de Estados Americanos
OEA/DDS	Departamento de Desarrollo Sostenible de la Secretaria Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Secretaria de Estados Americanos
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONG	Organización No Gubernamental
PHCA	Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano
PNUD	Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo
PREVDA	Programa de Reducción de Vulnerabilidad y Degradación Ambiental de Panamá
SANAA	Servicio Autónomo nacional de Acueductos y Alcantarillados
SATI	Sistema de Alerta Temprana a Inundaciones
SCS	Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América
SE-CONRED	Secretaria Ejecutiva – Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres
SINAGER	Sistema Nacional para Gestión del Riesgo
SINAPRED	Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres
SINAPROC	Sistema Nacional de Protección Civil
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SNET	Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador
SVP	Programa Centroamericano para la Alerta Temprana ante Inundaciones en Pequeñas Cuencas

UN/GPPEW

Plataforma Global para la Promoción de la Alerta Temprana de las Naciones Unidas, por sus siglas en inglés.

UNISDR

Secretaría de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas

USAID/MIRA

Proyecto Manejo Integrado de Recursos Naturales

Contenido

Introducción	15
Módulo I. Observación y Monitoreo Hidrometeorológico	19
1. El Ciclo Hidrológico	20
2. Inundación, área de influencia	22
3. Tipos de Inundaciones	23
4. Características morfométricas de la cuenca	25
4.1. Características	25
4.2. Tiempo de concentración	26
5. Relación Precipitación – Escorrentía	29
6. Tiempo de Traslado de la Escorrentía Superficial	30
7. Tiempo de Traslado de Crecidas	31
8. Equipos para monitoreo de lluvias y niveles de ríos	31
8.1. Medición de la lluvia	31
8.2. Medición de niveles de ríos	32
8.3. Trabajos previos a la definición de equipos	33
8.4. Selección de equipos	34
8.4.1. Pluviómetro convencional	34
8.4.2. Pluviómetro con registrador de datos	35
8.4.3. Estación pluviométrica automática y transmisor GPRS	35
8.4.4. Miras, escalas o limnímetros	35
8.4.5. Sensor de nivel automático con registrador y transmisor Goes	35
8.4.6. Sensor de Nivel de río y Pluviómetro con Leed´s	36
8.4.7. Equipo automatizado	36
8.5. Puntos de ubicación de equipos de monitoreo, Instrucciones de instalación	36
9. Instrucciones para lectura de datos observados	39
9.1. Lectura de datos de lluvia	39
9.2. Lectura de datos de nivel de los ríos	40
9.3. Carácter de la toma de datos	40
9.4. Procedimientos para guardar la información observada	41
9.5. Interpretación de los datos observados	41
Módulo II. Pronóstico de la Crecida	43
1. Aspectos Generales	44
1.1. Pronóstico de Crecidas	44
1.2. Mapa de Inundaciones	44
2. Umbrales de Lluvia o de Nivel del Río	46
3. Umbrales de Lluvia	47
3.1 Cálculo de umbrales de lluvia	48
3.1.1 Ejemplo 1, Definición de la Lluvia con el método estadístico (paso 1)	49
3.1.2 Ejemplo 1, Definición de umbrales (paso 2)	55
4. Umbrales de Nivel de Río	59
4.1 Generalidades y Métodos de Cálculo	59
4.1.1 Ejemplo 3, Definición de Umbrales de nivel de río	61
5. Importancia de la validación y calibración de los umbrales	63
6. Cuadro de valores de umbrales y clasificación del aviso o alerta	63
7. Consideraciones sobre la información de los Servicios Meteorológicos Nacionales	65

Módulo III. Identificación y Comunicación del Estado de Alerta	69
1. Los Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana Ante Inundaciones	70
2. Organización de un Comité Municipales y Locales para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres	71
3. Capacitación	73
4. Identificación de los Estados de Alerta	74
5. Comunicación de los Estados de Alerta	77
Glosario	81

Índice de Tablas

Tabla 1-1 Atributos topográficos de las cuencas vertientes (Gregory y Walling)	27
Tabla 1-2 Cálculo de la pendiente $S=(E_i-E_f) / L$	29
Tabla 1-3 Cálculo del Tiempo de Concentración	29
Tabla 1-4 Densidad mínima recomendada de estaciones pluviométricas	37
Tabla 2-1 Umbrales de Pronóstico Para Distrito Central	47
Tabla 2-2 Categoría de umbrales de lluvia y acción a seguir	48
Tabla 2-3 Cálculo de la variable K	55
Tabla 2-4 Factores Horarios del USSCS para distribuir lluvia	56
Tabla 2-5 Valores de los parámetros para la distribución de lluvia horaria	58
Tabla 2-6 Umbrales de río y tipo de acción a implementar	62
Tabla 2-7 Niveles críticos estimado para la estaciones de la cuenca del Río Choluteca	64
Tabla 2-8 Umbrales de alerta frente a inundaciones para Cuenca Baja Río Choluteca	64
Tabla 3-1 Contenido de Talleres para miembros de la comunidad	73
Tabla 3-2 Contenido de Talleres para miembros del Comité Local	74
Tabla 3-3 Estados de Alerta	76

Índice de Figuras

Figura 1-1 Cuenca y Subcuenca Hidrográfica	20
Figura 1-2 Cuencas Hidrográficas de Honduras	21
Figura 1-3 Canal de Inundación y Llanura de inundación	23
Figura 1-4 Efecto de la forma de la cuenca en la escorrentía	26
Figura 1-5 Punto de nacimiento y punto de análisis. Subcuenca del Río Guacerique	27
Figura 1-6 Perfil Topográfico del Río Guacerique	28
Figura 1-7 Proceso Lluvia – Escorrentía	30
Figura 1-8 Escalas para registro de niveles de río	32
Figura 1-9 Esquema del Monitoreo de las Estaciones Telemétricas	33
Figura 1-10 Mapa de lluvia promedio anual de Honduras	38
Figura 1-11 Interpretación y análisis hidrometeorológicos de series observadas	42
Figura 2-1 Mapa de Inundaciones de Tegucigalpa, período de retorno a 25 años	45
Figura 2-2 Mapa de Riesgo Municipio de Villanueva, Cortes	46
Figura 2-3 Registro de lluvias Estación El Batallón, Subcuenca del Río Guacerique	51
Figura 2-4 Registro de lluvias estación La Brea, Subcuenca del Río Guacerique	52
Figura 2-5 Lluvia Máxima Diaria 1979-2000	53
Figura 2-6 Fórmulas para cálculo de factor de frecuencia y desviación estándar	53
Figura 2-7 Lluvia máxima diaria estimada. Estación La Brea. Método Gumbel. Tr 2 años	54
Figura 2-8 Curva de lluvia acumulada para Niveles de Alerta del ejemplo 1	58

Figura 2-9 Umbral de Crecida	60
Figura 2-10 Interpretación de un caudal Crítico. Universidad de Florencia, Italia	61
Figura 2-11 Pronóstico de temperatura y lluvia acumulada en 24 horas	67
Figura 2-12 Zonas de posible inundación, CAFFG, Honduras	67

INTRODUCCIÓN

La Comisión Permanente de Contingencias (COPECO) en su calidad de Coordinador del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos SINAGER priorizó la herramienta Manual de Diseño, Instalación, Operación y Mantenimiento de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana elaborado por la OEA en el 2010 para ser institucionalizadas en el marco del proyecto “Institucionalización de Procesos y Herramientas de RRD en Centroamérica” promovido por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, a través del Centro Regional para Latinoamérica y El Caribe (CR-ALyC) y las Oficinas País de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua en estrecha coordinación con el Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres en Centroamérica (CEPREDENAC) y los sistemas Nacionales de Gestión de Riesgos correspondientes.

El Proyecto se enmarca en el Plan de Acción 2014 – 2015 del Programa de Preparación ante Desastres de la Oficina de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea (Programa DIPECHO) y contribuye al logro de los objetivos de la Política Centroamericana para la Gestión Integral de Riesgo de Desastres (PCGIR).

El presente manual ha sido actualizado y contextualizado en base a la metodología del Manual OEA 2010 el cual incluye entre otros cambio de imágenes y mapas de Honduras, desarrollo de ejercicio de cálculo de tiempo de concentración para una sección de la subcuenca del Río Guacerique aplicando el método de Kirpich y ejercicio de cálculo de umbrales de Lluvia utilizando el Método Estadístico. Así mismo, el Manual ha sido reducido a tres módulos: I. Observación y monitoreo, II. Pronóstico de Crecida y III. Identificación y Comunicación de los Niveles de Alerta

El Manual sirve para orientar a técnicos y profesionales encargados del diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas comunitarios de alerta temprana ante inundaciones a nivel de Honduras.

¿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 como¹ “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 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.

1 2009 UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. <http://www.unisdr.org/eng/terminology/UNISDR-Terminology-Spanish.pdf>

De acuerdo con el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central, CEPREDENAC², 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 EIRD³, un sistema de alerta temprana necesariamente comprende cinco elementos fundamentales:

- Conocimiento del riesgo;
- Observancia y 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.

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.

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

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

3 2009 UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. <http://www.unisdr.org/eng/terminology/UNISDR-Terminology-Spanish.pdf>.

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 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.

COMPONENTES DE UN SATI

El Manual para el Diseño e Implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en Cuencas Menores, OEA 2001, presentan 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.

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.

El Manual aborda en el Módulo I 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. El Modulo II 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. Finalmente, el Modulo III aborda aspectos relacionados con la identificación y la comunicación de la alerta.

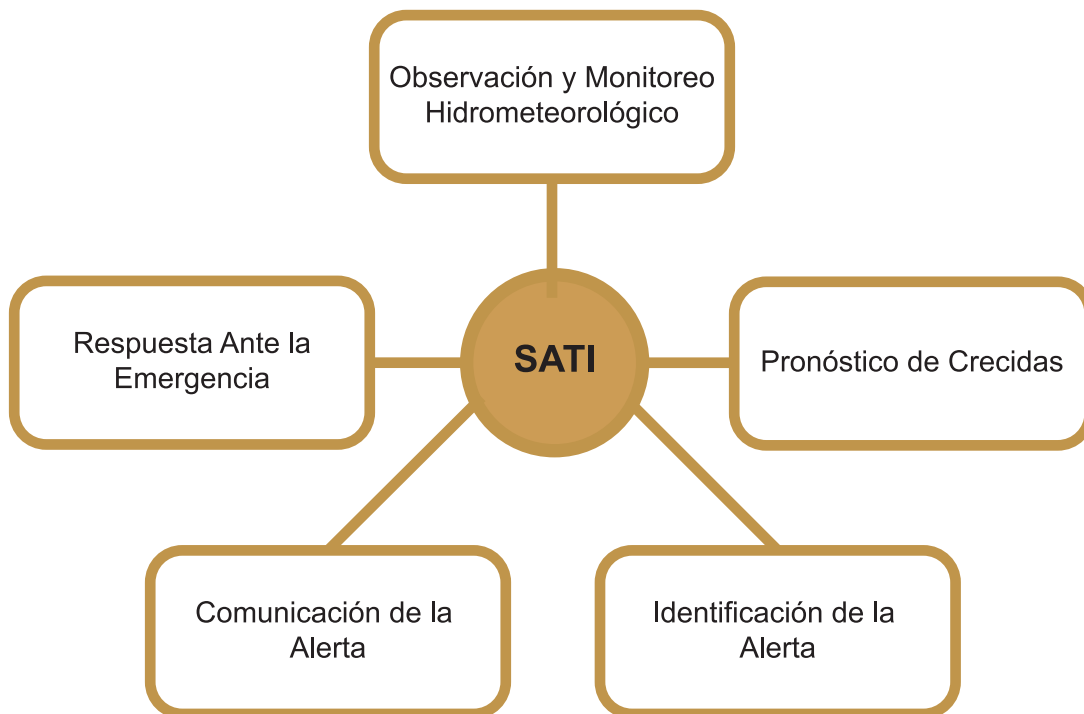


Figura 1. Sistema Comunitario de Alerta Temprana ante Inundaciones

MÓDULO I

OBSERVACIÓN Y MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO

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.

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.

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 1-1.

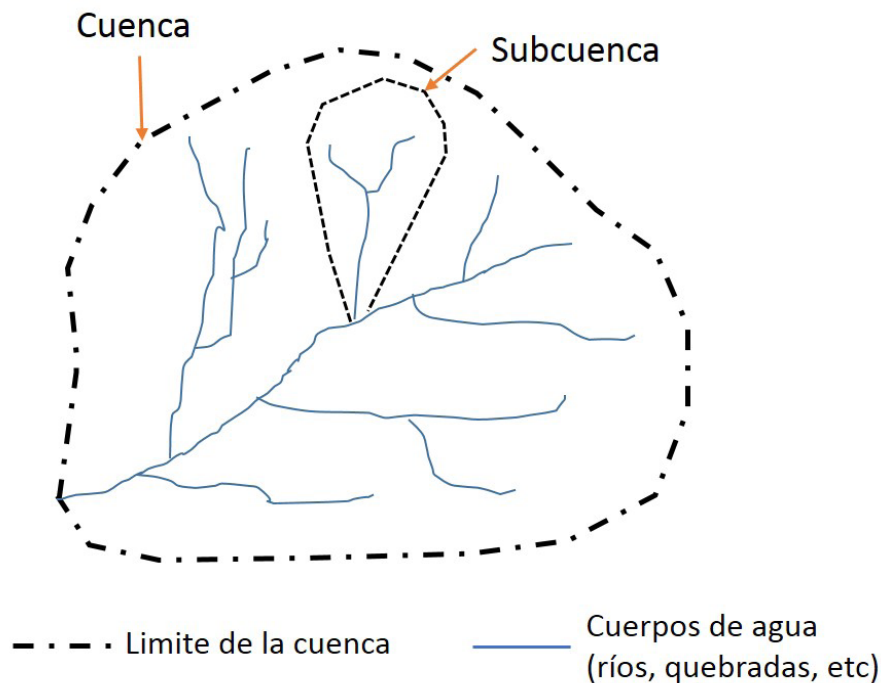


Figura 1-1 Cuenca y Subcuenca Hidrográfica

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 1-2.



Figura 1- 2 Cuenas Hidrográficas de Honduras

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.

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:

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

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; Δ 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.

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.

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 márgenes¹. 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 América².

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 1-3, el espejo de agua queda conformado por la boca del canal principal (Tn) y las llanuras (B1, B2), formando una

1 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>

2 Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Veracruz, Manejo sustentable de Cuencas, Área 1. México, 2008.

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 del ancho de la zona inundable. El valor de Y_o es la profundidad máxima del agua en la sección.

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.

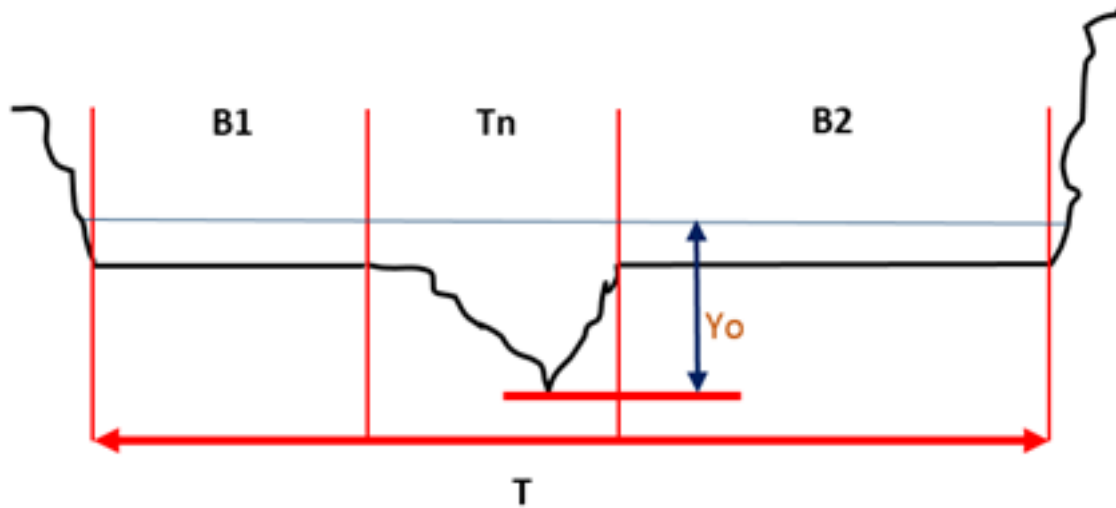


Figura 1- 3 Canal de Inundación y llanura de inundación

3. Tipos de Inundaciones

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 y de una duración superior a 3 días.

En las primeras, la cantidad de lluvia totalizada no supera los 80mm. 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 meso-escala 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 200 km²), las lluvias o el mal tiempo afectan áreas superiores a los 200 km². 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 200 km²). En este caso el tiempo de respuesta puede ser muy corto para la parte alta de los ríos, dependiendo del área de la cuenca el valor máximo de la crecida del río puede llegar en menos de 24 horas, después de que se hayan producido las máximas intensidades pluviométricas. Habitualmente, hay tiempo suficiente para activar los planes de emergencia si se hace a partir de los pronósticos y su influencia sobre las cuencas.

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 Honduras. En general, las pérdidas de vidas humanas pueden ser menores y los daños materiales son inferiores a los del caso 2.

Otras clasificaciones consideran el origen que las genera:

- Pluviales (por exceso de lluvia): Ocurren cuando el agua de lluvia satura la capacidad de absorción 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 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. 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.

4. Características morfométricas de la cuenca

4.1. CARACTERÍSTICAS

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, deslizamientos y flujos de lodo.

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 como se puede ver en la Figura 1-4. 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 1-8, 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 F_f), valores importantes para encontrar el tiempo de traslado de las lluvias.

La ecuación usada para definir la pendiente, S es:

$$S = (E_i - E_f) / L \text{ (Ecuación 2)}$$

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 1-1.

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.

Horton³ 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 (Ecuación 3)

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.

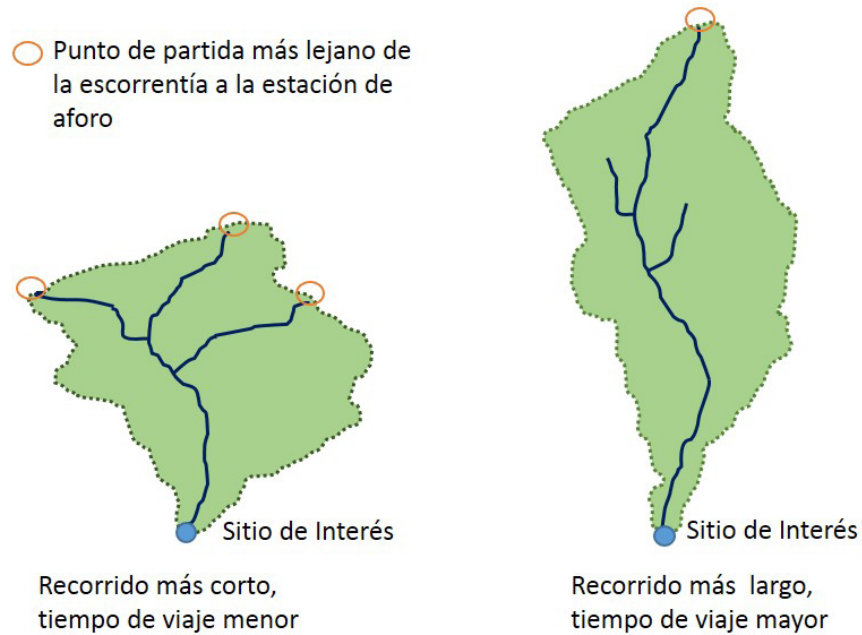


Figura 1-4 Efecto de la forma de la cuenca en la escorrentía

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 1-5) 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.

³ Tema 2, La cuenca vertiente; Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.



Figura 1- 5 Punto de nacimiento y punto de análisis. Subcuenca del Río Guacerique
Fuente: H. Medina, Análisis de la subcuenca del Río Guacerique, Diplomado en Cambio Climático. 2013

Escala: Dimensión	Cuenca	Red de drenaje	Tramo del 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	Anchura 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

Tabla 1- 1 Atributos topográficos de las cuencas vertientes (Gregory y Walling)

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 1-9 muestra el perfil del río principal de la Subcuenca del río Guacerique.

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

Fórmula de Kirpich (Ecuación 4)

$$T_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

L: Longitud del río – m

S: Diferencia del nivel – m

Tc: Tiempo de concentración – min.

No.	Longitud (Km)	Altura (m)
1	0	2000
2	0.019	1900
3	0.544	1800
4	1.891	1700
5	3.436	1600
6	5.226	1500
7	7.041	1400
8	8.808	1300
9	11.600	1200
10	16.278	1100
11	27.491	1020

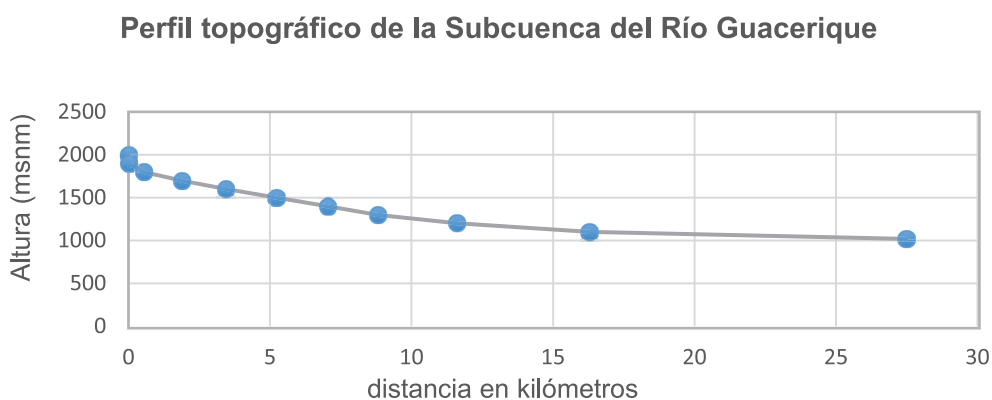


Figura 1-6 Perfil Topográfico del Río Guacerique

H se puede definir como la diferencia entre las elevaciones máxima y final (Ei y Ef) de acuerdo con la Figura 1-6. Esta será la información básica estimar pendiente y tiempo de concentración.

Tramo	Ei-Ef (m)	L (m)	(Ei-Ef) / L	
			m/m	%
1-2	100	19	5.18672	518.67
1-3	100	544	0.18370	18.37
1-4	100	1891	0.05289	5.29
1-5	100	3436	0.02910	2.91
1-6	100	5226	0.01914	1.91
1-7	100	7041	0.01420	1.42

1-8	100	8808	0.01135	1.14
1-9	100	11600	0.00862	0.86
1-10	100	16278	0.00614	0.61
1-11	80	27491	0.00291	0.29

Tabla 1- 2 Cálculo de la pendiente $S=(E_i-E_f) / L$

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 5.18672 m/m es que por cada metro de longitud del río hay una diferencia de elevación de 5.18672 metros.

Tramo	E_i-E_f	L	L3	L3/Ei-Ef	$(L3/E_i-E_f)^{0.385}$	$0.0195*(L3/E_i-E_f)^{0.385}$	
	m	m				min	Hora, min
1-2	100	19	6859	68.59	5.09284442	0.10	0h, 0.1 min
1-3	100	544	160989184	1609891.84	245.254356	4.78	0h, 4 min
1-4	100	1891	6761990971	67619909.7	1034.13852	20.17	0h, 20min
1-5	100	3436	4.0566E+10	405657459	2061.30091	40.20	0 h, 40min
1-6	100	5226	1.4273E+11	1427276832	3345.68973	65.24	1h, 5min
1-7	100	7041	3.4906E+11	3490623699	4720.82246	92.06	1h, 32min
1-8	100	8808	6.8333E+11	6833322501	6114.11057	119.23	1h, 59min
1-9	100	11600	1.5609E+12	1.5609E+10	8403.28277	163.86	2h, 43min
1-10	100	16278	4.3132E+12	4.3132E+10	12427.9417	242.34	4h, 2min
1-11	80	27491	2.0776E+13	2.5971E+11	24807.0674	483.74	8h, 3min

Tabla 1- 3 Cálculo del Tiempo de Concentración

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. Se la relación lluvia-escorrentía como el coeficiente de escorrentía, C_e . Esta relación se obtiene del volumen del escurrimiento y el volumen de las lluvias en milímetros. Un valor alto de C_e 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 C_e es bajo.

Teniendo un C_e igual a 0.46 en una cuenca cuya precipitación media anual es 1500 mm, la escorrentía superficial calculada será equivalente a 690 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 C_e 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 1-7 para representar la relación lluvia-escorrentía.

En el ejemplo, se tiene una lluvia que se lee cada treinta minutos. De las 0.00 a las 5.00 horas llovió 0.45 metros. 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 348.15 m³/s que ocurre a las 2.50 horas aproximadamente. Nótese el desfase de tiempo entre el origen de la lluvia y el inicio de caudal.

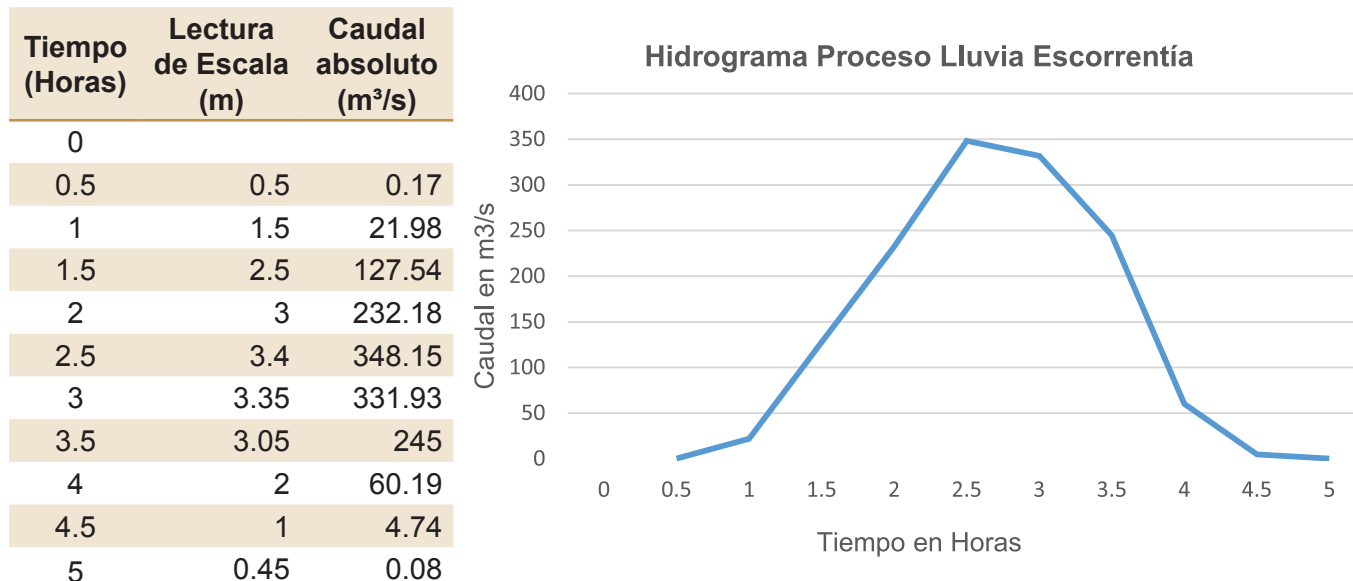


Figura 1-7 Proceso Lluvia – Escorrentía

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.

6. Tiempo de Traslado de la Escorrentía Superficial

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 1-5, 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.

El tiempo de traslado se define con las observaciones de monitoreo continuo del Centro Nacional de Monitoreo (CNM) y Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos (CENAOS). 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.

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.

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).



Figura 1- 8 Escalas para registro de niveles de río

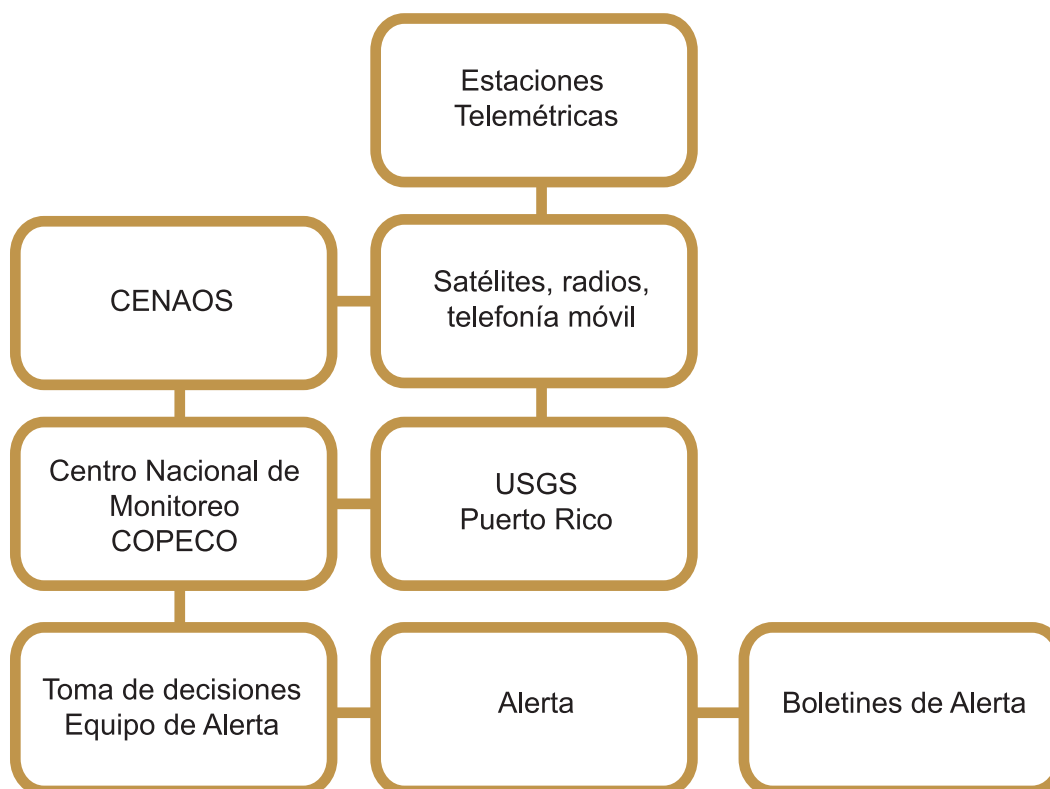


Figura 1-9 Esquema del Monitoreo de las Estaciones Telemétricas

La Figura 1-9 muestra la integración del monitoreo hidrometeorológico de una estación telemétrica y cómo llegan los datos al centro de procesamiento para la emisión de las alertas.

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 la cobertura de las estaciones de monitoreo de lluvia y el número de estaciones pluviométricas e hidrométricas que existan. Se colectan estadísticas de datos de lluvia diaria, temperatura, evaporación, y humedad relativa y absoluta.

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.

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 cm²;
- Robusto y fácil de instalar;
- Cilindro de Zinc plateado;
- Probeta graduada para lectura directa;

8.4.2. PLUVIÓMETRO CON REGISTRADOR DE DATOS

Varios proveedores pueden suministrar este tipo de pluviómetro con data logger. 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 1-13 se presenta un modelo de este tipo de pluviómetro.

Sus características básicas son las siguientes:

- Colector de 400 cm²;
- 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;

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 1-14 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.;

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 1-15 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;

8.4.5. SENSOR DE NIVEL AUTOMÁTICO CON REGISTRADOR Y TRANSMISOR GPRS

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 1-15 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);

8.4.6. SENSOR DE NIVEL DE RIO 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.

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).

Costa Rica, Honduras y Nicaragua están también haciendo uso de sensores similares. Se hacen también esfuerzos para mejorar estos equipos, los cuales son construidos 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

8.4.7. EQUIPO AUTOMATIZADO

Algunas oficinas de manejo de emergencias han identificado la importancia de apoyar los SATIs 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);

- 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 cuadro que indica la Tabla 1-4.

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	Densidad mínima por estación (superficie en km ² por estación)	
	Sin registro	Con registro
Zonas costeras	900	9,000
Zonas montañosas	250	2,500
Llanuras inferiores	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

Tabla 1-4 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 CENAOS, 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 1-10 ilustra un ejemplo de un mapa de precipitación media anual para Honduras.

Precipitación promedio anual de Honduras

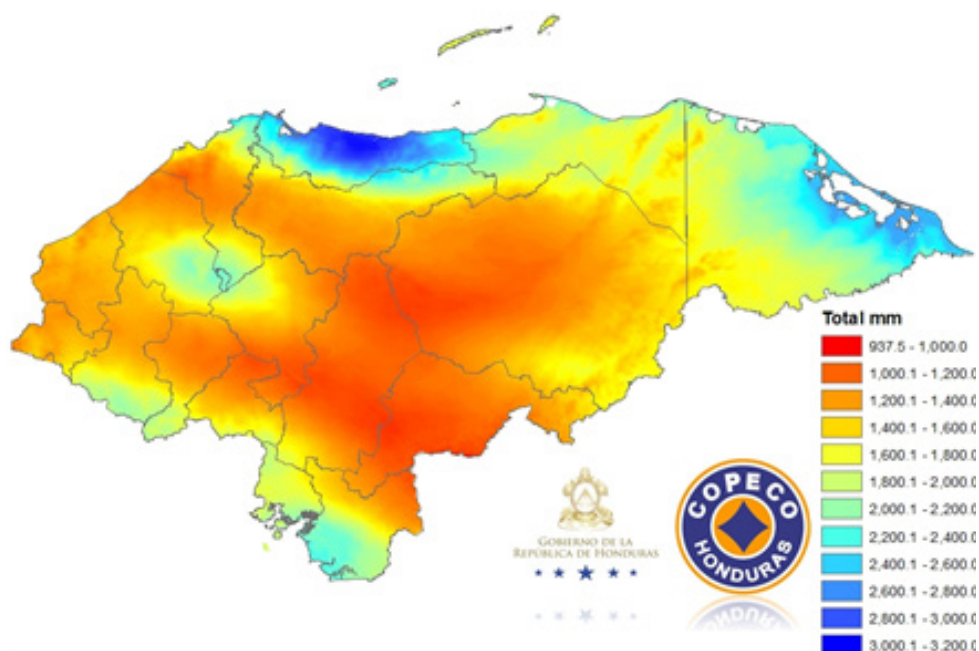


Figura 1-10 Mapa de lluvia promedio anual de Honduras

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 metro y medio (1.50m) sobre la superficie del suelo, a nivel, evitando cualquier inclinación, sobre una base vertical.
- Para la ubicación de los limnímetros (reglas o escalas) para el control de niveles de las aguas del río, se deben seguir los siguientes criterios:
- Medir el nivel mínimo del río o quebrada durante la época seca. Esta medición debe hacerse donde se va a colocar la escala;
- Considerar la accesibilidad de las personas responsables de la lectura;
- Colocar las escalas, miras o limnímetros sobre estructuras permanentes como puentes, columnas de concreto u otro tipo de base;
- El nivel mínimo del río o quebrada debe coincidir con el punto cero y será a partir de éste donde se realizarán las lecturas;
- Las miras deben ubicarse en un área plana;
- Deben estar cerca de un centro poblado (accesible) para facilitar su lectura;
- Se deben colocar en la parte alta, media y baja de la cuenca;
- Colocación en un tramo recto del río o quebrada sin curva por lo menos 100 metros aguas arriba y aguas abajo de la escala;
- Debe ubicarse abajo de la confluencia de dos o más afluentes;
- 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.

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.

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 “PROTOSCOLOS” con los lineamientos de cada caso.

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 esté atento y tome sus datos.
- La toma de datos puede ser de tipo horario
- Tomar en cuenta todas las comunicaciones de la Oficina de Emergencia.

En el seguimiento y operación de los SATIs, 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 del CENAOS de COPECO. Se debe consolidar una interacción entre el sistema nacional de monitoreo meteorológico y los sistemas locales para lograr un desarrollo integral de beneficio mutuo.

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. (Fuente FIRC-OEA)

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 SATIs comunitarios el uso de la hoja electrónica, tipo EXCEL donde los técnicos de las municipalidades o regionales de COPECO puedan vaciar la información brindada por los voluntarios de las comunidades.

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:

Se identifican las estaciones de lluvia P1 y P2. La figura 1-11 '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 91 milímetros 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 Pm 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 milímetros'. Este producto es muy útil, pues permite determinar que durante la primera hora hubo un acumulado de lluvia de 8 milímetros, que en la segunda hora el acumulado de lluvia fue de 23 milímetros y que en las tres primeras horas fue de 48 milímetros. 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.

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.

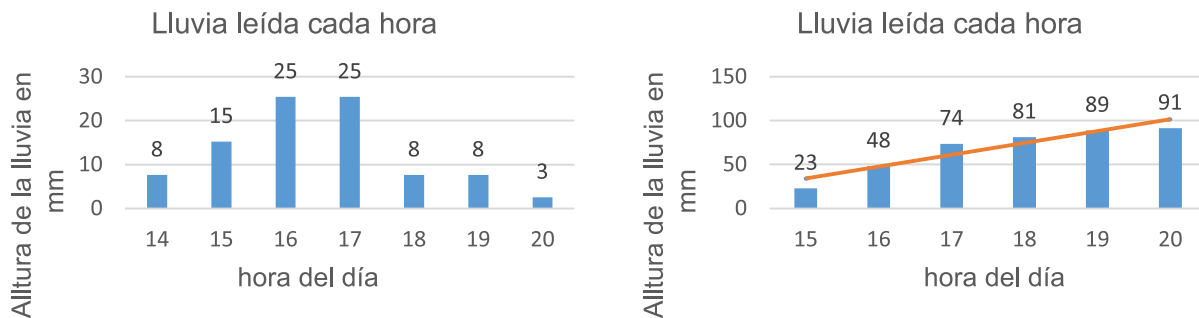


Figura 1-11 Interpretación y análisis hidrometeorológicos de series observadas

MÓDULO II

PRONÓSTICO DE LA CRECIDA

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.

1. Aspectos Generales

1.1. PRONÓSTICO DE CRECIDAS

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 tiempo¹.

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.

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.

¹ 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>.

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 (limnímetros) 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 comunitario²³; que requieren información del tipo ya mencionado. Algunos procedimientos sencillos conducen a la elaboración de mapas de zonas de inundación. Si cada vez que se produce una inundación se elabora un mapa; 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). A manera de ejemplo, se ilustra una porción de las zonas de inundación para la ciudad de Tegucigalpa, en el cauce principal del Río Choluteca. Ver Figura 2-1.

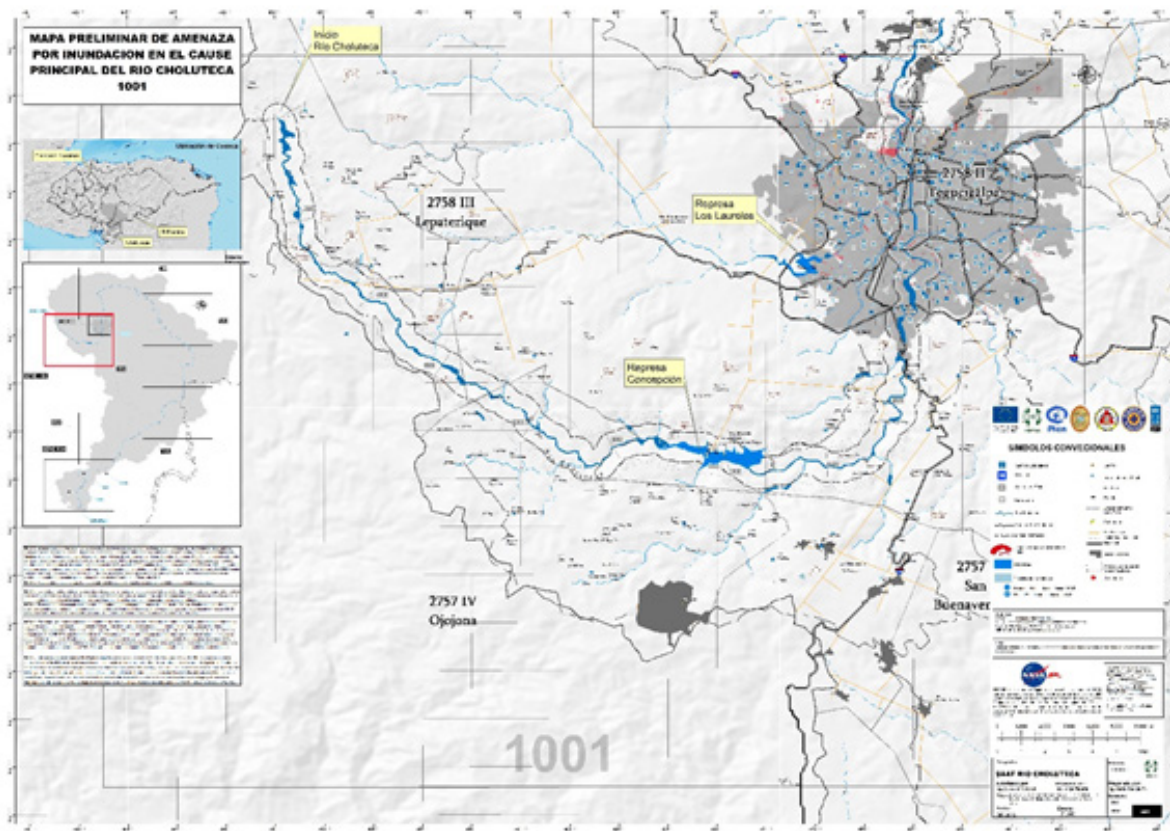


Figura 2-1 Mapa de Preliminar de Amenaza a Inundaciones en el Cauce del Río Choluteca
Fuente: SAAT Río Choluteca. 2013

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>.

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 para advertencias inmediatas y específicas. Las imágenes de satélite reproducen zonas inundables con una muy buena resolución.

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 2-2. 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.



Figura 2-2 Mapa de Riesgo Municipio de Villanueva, Cortés

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 protección⁴.

⁴ Glosario, Univeritat Roviera i Virgili. http://www.urv.cat/catedres/enresa/es_glossari.html.

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 consideran los umbrales para dos tipos de lluvias: la precipitación 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.

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.

Una propuesta de Tabla de umbrales para una la cuenca del Río Choluteca están comprendidos entre los valores de escala que indica los límites siguientes:

Parámetros críticos de Lluvia para la zona Capital	Pronóstico de Lluvia	Tiempo o Duración	Tipo de Alerta
	20 a 40 mm	1 hora	Verde
	41 mm a 70 mm	3 Horas	Amarilla
	> 71 mm	> 6 Horas	Roja

Nota: Tomado del SAAT Río Choluteca, Unidad de Sistema de Alerta Temprana, COPECO

Tabla 2-1 Umbrales de Pronóstico Para Distrito Central

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 monitoreo 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.

Los pasos para definir una curva de lluvia acumulada-niveles de alerta 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.

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 14:00 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.

Los análisis conducen a identificar tres categorías o niveles de umbrales, relacionados con los colores verde, amarillo y rojo. La Tabla 2-2 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	Descripción
Aviso	VERDE	Aquella que se declara cuando las expectativas de un fenómeno permiten prever la ocurrencia de un evento de carácter peligroso para la población. Nivel de prevención y notificación a las instituciones del Sistema, implica preparación, pero no movilización de los enlaces.
Alerta	AMARILLO	Cuando la tendencia ascendente del desarrollo del evento implica situaciones inminentes de riesgo y situaciones severas de emergencia.
Alarma	ROJO	Cuando el fenómeno impacta una zona determinada, presentando efectos adversos radicales a las personas, los bienes, las líneas vitales o el medio ambiente.

Tabla 2-2 Categoría de umbrales de lluvia

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 Chow⁵ 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.

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 Subcuenca del Río Guacerique. Para ello:

- Se definió la subcuenca de análisis: Subcuenca Río Guacerique.
- Se identificaron dos estaciones de lluvia (El Batallón y La Brea). Ver Figuras 2-3, 2-4 y 2-5 con una ilustración del tipo de dato que se obtiene del monitoreo hidrometeorológico (para la lluvia se muestran los valores mensuales y anuales; y una gráfica muestra todos los valores anuales como nivel medio diario en metros).
- Se define el tiempo de concentración para la subcuenca hasta la represa Los Laureles. El tiempo de concentración definido hasta este punto es de 8 horas 3 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 (Ecuación 4)

$$T_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Dónde:

L: Longitud del río – m

S: Diferencia del nivel – m

Tc: Tiempo de concentración – min.

S = Emax – Emin = 2000-1020 = 980 metros

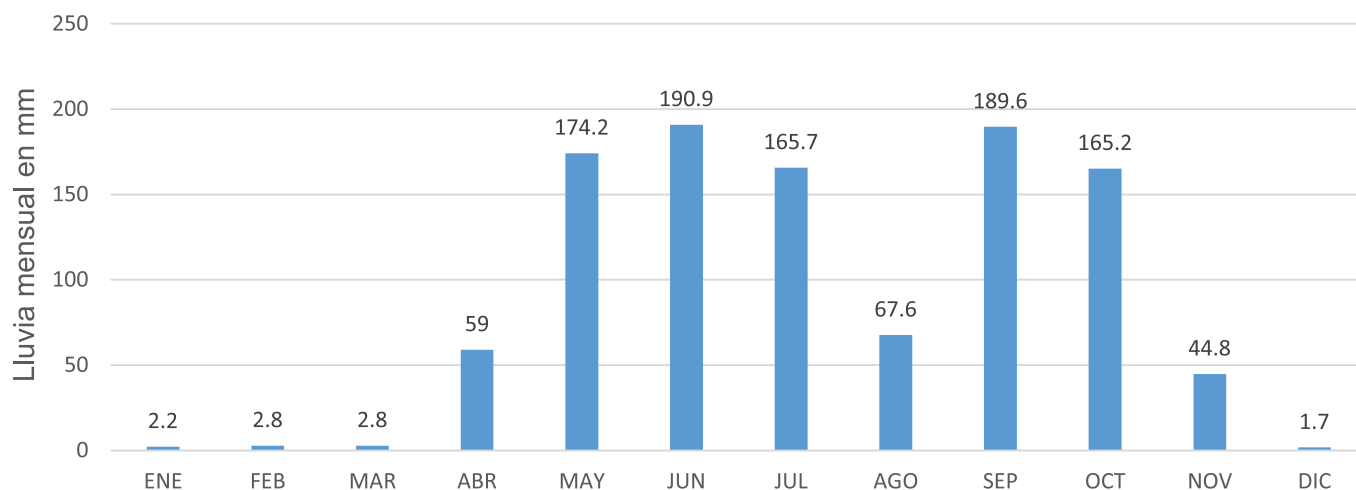
Longitud = 27.491 kilómetros = 27, 491 metros

- Se identificaron las lluvias máximas diarias de las 2 estaciones meteorológicas seleccionadas. Ver Figura 2-5;
- Se estimó la lluvia máxima diaria para un retorno de 2 años para cada una de las estaciones.

Previamente se estableció que el período mínimo de recurrencia de inundaciones es de 2 años. Para el cálculo de la lluvia máxima diaria estimada se utilizó la ecuación de Ven Te Chow.

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

LLuvia mensual Estación El Batallón, Subcuenca del Río Guacerique



SANAA

Departamento de Proyectos Especiales - Unidad de Hidrología

Registro de Lluvia Mensual en Milímetros

Estación: El Batallón (HMO)

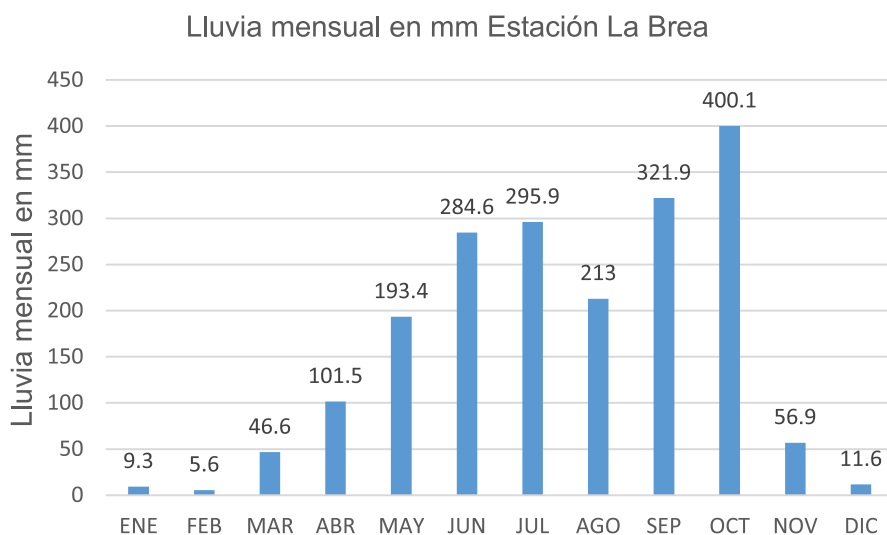
Subcuenca del Río Guacerique

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1990	3.2	0.5	32.6	12.4	202.5	123.8	39.0	58.4	198.4	75.1	124.2	9.0	879.1
1991	4.5	0.0	0.0	4.7	179.9	154.6	15.9	49.5	99.0	146.0	8.6	23.0	685.7
1992	7.6	0.4	31.8	58.3	95.5	226.5	66.5	96.3	183.5	97.0	25.5	12.2	901.1
1993	7.3	0.0	8.0	63.0	313.1	226.4	66.1	63.5	197.5	124.2	13.6	5.3	1088.0
1994	2.2	3.9	0.0	42.6	228.2	40.8	39.8	37.6	143.8	134.3	23.8	7.8	704.8
1995	0.4	0.2	12.9	88.8	74.0	157.5	139.6	460.2	208.1	149.6	14.9	12.1	1318.3
1996	2.5	2.6	13.8	45.2	114.1	46.0	130.2	195.2	162.5	141.7	41.6	1.0	896.4
1997	3.2	1.0	6.9	18.8	65.2	211.8	53.6	130.7	127.4	116.1	67.1	0.0	801.8
1998	0.0	0.0	10.1	0.6	155.5	82.2	113.3	157.1	109.3	H. MITCH	H. MITCH	2.5	630.6
1999	6.9	4.7	1.6	47.6	68.3	195.5	113.3	154.9	274.5	145.4	12.0	5.8	1030.5
2000	6.9	0.0	0.0	27.7	152.8	81.6	110.4	133.0	262.8	70.7	7.5	10.5	863.9
2001	4.0	0.0	6.5	11.0	204.8	13.0	54.9	127.8	178.7	71.2	8.0	5.3	685.2
2002	0.5	7.0	0.0	0.0	153.7	199.7	66.9	52.3	158.0	41.6	13.6	19.5	712.8

SANAA
Departamento de Proyectos Especiales - Unidad de Hidrología
Registro de lluvia Mensual en Milímetros
Estación: El Batallón (HMO)
Subcuenca del Río Guacerique

2003	0.2	0.0	18.3	19.2	261.9	227.2	85.1	115.1	123.5	154.9	50.7	0.0	1056.1
2004	4.1	16.7	0.2	109.2	74.2	58.1	105.9	34.0	205.5	107.5	34.4	8.7	758.5
2005	0.0	2.5	36.6	50.1	256.6	251.1	226.9	149.0	139.0	91.8	11.1	1.9	1216.6
2006	10.0	0.5	0.0	67.2	110.0	230.9	111.5	56.7	103.9	141.6	83.0	21.0	936.3
2007	2.2	1.9	15.5	80.5	72.1	148.5	34.8	270.1	148.8	106.3	32.7	0.0	913.4
2008	2.3	27.2	1.8	27.9	106.7	85.0	156.7	165.3	203.1	228.8	13.4	5.0	1023.2
2009	23.9	2.3	2.9	7.0	191.3	250.0	88.9	42.2	61.9	85.6	56.3	31.9	844.2
2010	3.2	5.8	0.0	192.4	314.1	145.8	229.3	340.2	252.2	14.5	10.6	0.0	1508.1
2011	2.2	2.8	2.8	59.0	174.2	190.0	165.7	67.6	189.6	165.2	44.8	1.7	1065.6
Pro-medio	4.4	3.6	9.2	47.0	162.2	1521.0	101.5	134.4	169.6	114.7	33.8	8.4	947.2
Máximo	23.9	27.2	36.6	192.4	314.1	251.1	229.3	460.2	274.5	228.8	124.2	31.9	1508.1
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	65.2	13.0	15.9	34.0	99.0	14.5	7.5	0.0	685.2

Figura 2-3 Registro de lluvias Estación El Batallón, Subcuenca del Río Guacerique



SANAA
Departamento de Proyectos Especiales - Unidad de Hidrología
Registro de lluvia Mensual en Milímetros
Estación: La Brea (PV)
Subcuenca del Río Guacerique

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1990	0.0	0.0	15.8	73.3	203.7	210.6	97.8	139.5	220.1	199.4	139.0	0.0	1299.2

SANAA
Departamento de Proyectos Especiales - Unidad de Hidrología
Registro de lluvia Mensual en Milímetros
Estación: La Brea (PV)
Subcuenca del Río Guacerique

1991	0.0	8.0		5.8	213.9	274.5	37.3	63.2	107.7	235.0	11.5	37.1	994.0
1992	18.6	2.0	12.2	63.2	55.9	241.5	132.6	47.1	300.5	80.1	62.7	15.9	1032.3
1993	9.5	0.0	29.6	49.5	408.1	305.7	109.8	120.9	328.1	162.4	25.1	15.5	1564.2
1994	9.3	12.5	0.0	154.4	130.0	103.0	86.4	80.2	255.3	192.0	65.3	12.8	1101.2
1995	3.4	2.0	15.8	111.3	187.1	228.7	113.2		367.8	252.0	26.5	17.8	1325.6
1996	8.3	7.8	14.7	2.3	258.9	74.2	198.3	245.5	198.1	279.6	47.0	6.5	1341.2
1997	5.3	28.2	23.6	10.5	52.3	405.0	118.3	92.2	200.5	138.7	61.6	0.0	1136.2
1998	3.5	0.0	6.4	15.4	163.9	125.5	190.8	135.1	159.0		107.7	22.0	929.3
1999	26.1	2.0	0.0	30.7	147.0	319.8	144.9	175.0	592.2	355.0	10.5	23.7	1826.9
2000	14.0	6.3	0.0	70.3	241.0	152.3	152.3	174.6	421.3	145.5	8.0	5.5	1391.1
2001	17.5	1.5	49.2	0.0	246.0	72.0	98.1	210.0	298.0	100.3	3.5	20.8	1116.9
2002	1.5	10.5	4.0	5.0	223.1	256.5	99.0	78.9	351.6	99.0	14.0	1.0	1144.1
2003	3.4	3.0	21.5	1.4	221.5	366.7	103.6	170.7	252.1	231.6	31.6	2.3	1409.4
2004	6.8	16.4	3.5	127.9	109.3	116.3	198.5	59.0	125.2	197.9	50.5	18.0	1029.3
2005	2.6	5.2	41.2	28.5	343.6	356.6	226.7	221.4	341.6	264.3	25.7	73.7	1931.1
2006	39.0	13.7	0.7	73.0	175.8	451.1	235.5	140.6	295.8	268.0	92.9	90.8	1876.9
2007	21.1	8.3	36.5	199.7	246.0	432.6	108.4	213.1	311.3	264.8	105.0	9.8	1956.6
2008	15.7	36.6	13.5	169.1	302.0	250.6	229.2	334.0	358.6	387.7	15.2	24.8	2137.0
2009	41.0	36.8	5.7	4.4	214.5	310.9	98.7	118.8	122.5	141.3	142.3	72.3	1309.2
2010	24.0	3.6	3.2	443.5	702.7	460.2	505.1	725.7	578.1	62.0	21.5	1.0	3530.6
2011	9.3	5.6	46.6	101.5	193.4	284.6	295.9	213.0	321.9	400.1	56.9	11.6	1940.4
Pro- medio	12.7	6.7	14.0	48.1	190.8	216.8	121.3	128.0	278.5	190.6	44.3	13.3	1579.6
Máxi- mo	41.0	36.8	49.2	443.5	702.7	460.2	505.1	725.7	592.2	355.0	139.0	37.1	3530.6
Míni- mo	0.0	0.0	0.0	0.0	52.3	72.0	37.3	47.1	107.7	62.0	3.5	0.0	1029.3

Figura 2-4 Registro de lluvias estación La Brea, Subcuenca del Río Guacerique

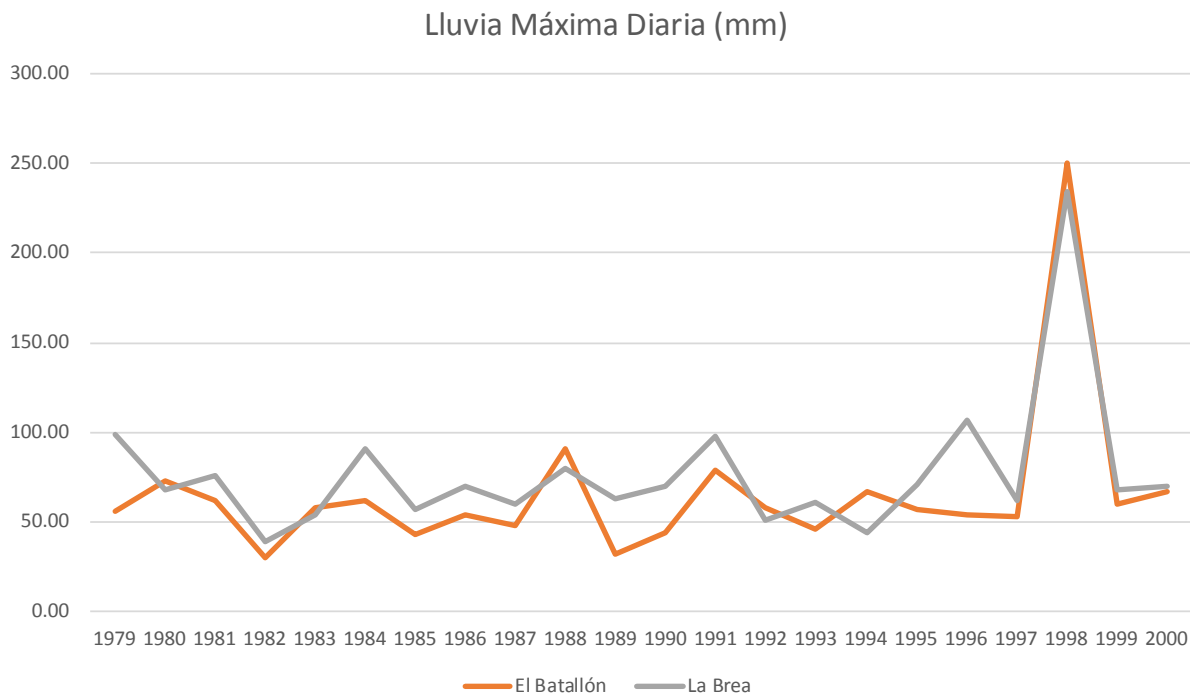


Figura 2-5 Lluvia Máxima Diaria 1979-2000

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

$$X = \sum Xi/n$$

Donde:

X = Promedio

$\sum Xi$ = suma de todos los valores de precipitación máximas para cada año

n = numero de años

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

Donde:

S = Desviación Estándar

Xi = Precipitación máxima de cada año

X = Promedio

n = numero de años

Figura 2-6 Fórmulas para cálculo de factor de frecuencia y desviación estándar

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.

El resultado de la lluvia máxima diaria estimada para un período de retorno de 2 años es:

X(2 años) EL BATALLÓN = 53.96 MILIMETROS

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 Figura 2-7 presenta los resultados de los cálculos realizados para la estación La Brea utilizando la hoja electrónica. Dicha hoja sólo requiere el ingreso de los datos históricos ubicados en la Figura 2-5 y los datos de la estación analizada.

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

X(2 años) LA BREA = 70.94 MILIMETROS

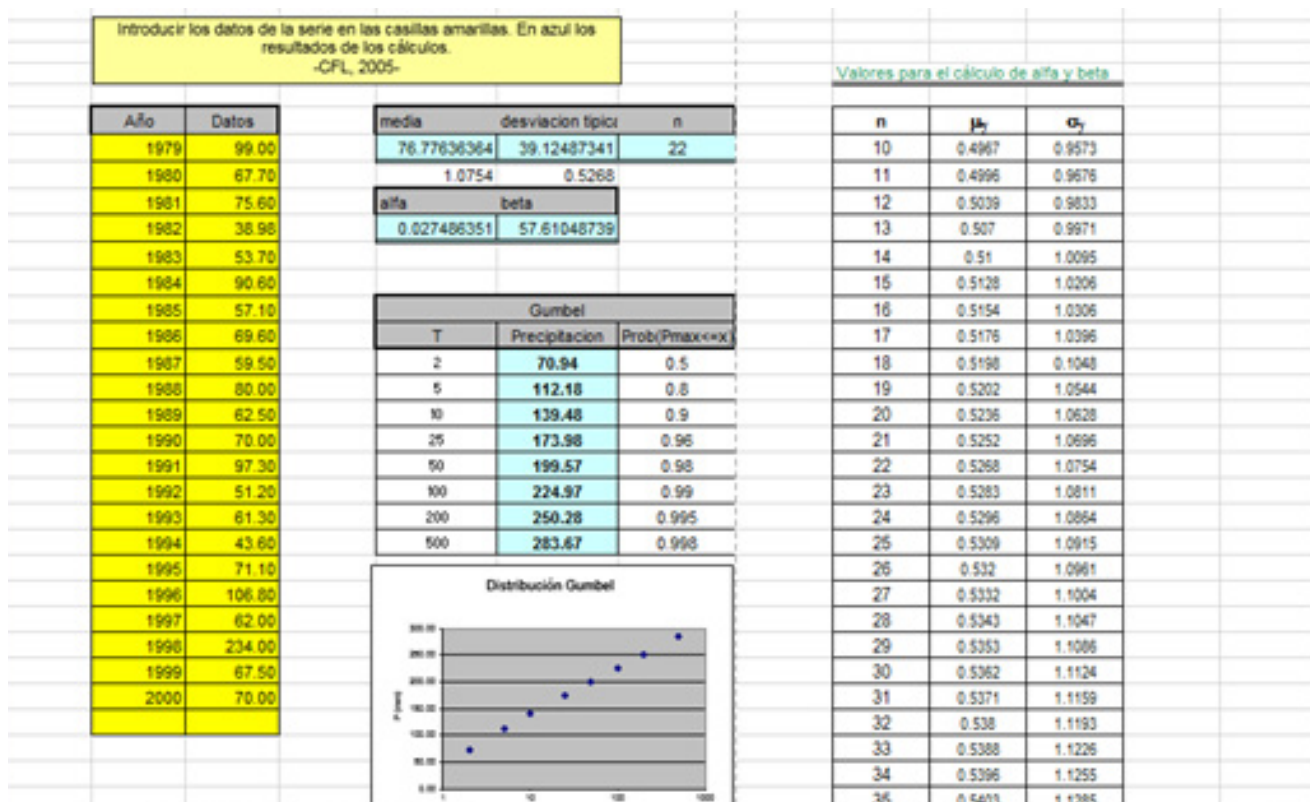


Figura 2-7 Lluvia máxima diaria estimada. Estación La Brea. Método Gumbel. Tr 2 años

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 de 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 2-7, 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 $\sigma_n = D_s(n) = 1.0754$, $Y_n = 0.5268$ (calculados con 22 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 -0.1490 (se inicia sacando el inverso de T_r , 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)	[Y – Y _n] / [D _s (n)]
2	0.500	0.500	0.693	0.367	-0.1490

Tabla 2-3 Cálculo de la variable K

La definición final del valor de X(T_r), valor lluvia máxima diaria estimada para un período de retorno, T_r , de 2 años, se calcula con la aplicación de la ecuación de Ven Te Chow,

$$X(T_r) = X_m + K * D_s$$

donde X_m , promedio de la serie histórica es 76.776, D_s , la desviación estándar es de 39.124, y K de -0.149. El resultado X(T_r) es entonces:

70.94 milímetros para la estación de La Brea

que es el valor de Precipitación (2) que aparece en la Figura 2-7.

Con la explicación anterior, cualquier usuario puede hacer uso directo de la hoja electrónica donde se desarrolla la estimación automática de X(T_r); 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(T_r) para el retorno de 2 años se valora la lluvia media de la subcuenca del río Guacerique. Si

X(2 años) El Batallón = 53.96 MILIMETROS

X(2 años) La Brea = 70.94 MILIMETROS

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

$$P_m = (53.96 + 70.94) / 2 = P_m = 62.45 \text{ milímetros}$$

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} .

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 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:

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

$$P = 1.15 * 1.10 * 62.45$$

$$P = 78.999 \text{ milímetros}$$

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:

Hora	Factor	Hora	Factor	Hora	Factor
1	0.015	9	0.140	17	0.900
2	0.020	10	0.180	18	0.920
3	0.030	11	0.230	19	0.930
4	0.050	12	0.620	20	0.940
5	0.060	13	0.780	21	0.960
6	0.80	14	0.820	22	0.970
7	0.100	15	0.850	23	0.990
8	0.120	16	0.870	24	1.000

Tabla 2-4 Factores Horarios del USSCS para distribuir lluvia

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 río Guacerique hasta

la estación de niveles Puente en Tegucigalpa. La lluvia de diseño calculada es de 78.99 milímetros.

Para la hora 1, P-d hora es igual a 0.015×78.99 mm con un resultado de 1.185; para la hora 2, P-d hora es igual a 0.020×78.99 mm; con un resultado de 1.580, 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 1.185 (igual al valor de P-d hora para la hora 1); para la hora 2 es igual a $1.580 - 1.185$, para un resultado de 0.395, 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.

Se define **Ph a**, lluvia horaria, que se obtiene al acumular los valores de PH o. Para la hora 1 el valor es de 30.810, para la hora 2 se tiene $30.810 + 12.640$, para un resultado de 43.449. 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 Tabla 2-5; 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	0.015	1.185	1.185	30.810	30.810
2	0.020	1.580	0.395	12.640	43.449
3	0.030	2.370	0.790	3.950	47.399
4	0.050	3.950	1.580	3.160	50.559
5	0.060	4.740	0.790	3.160	53.719
6	0.080	6.320	1.580	2.370	56.089
7	0.100	7.900	1.580	2.370	58.459
8	0.120	9.480	1.580	1.580	60.039
9	0.140	11.060	1.580	1.580	61.619
10	0.180	14.220	3.160	1.580	63.199
11	0.230	18.170	3.950	1.580	64.779
12	0.620	48.979	30.810	1.580	66.359
13	0.780	61.619	12.640	1.580	67.939
14	0.820	64.779	3.160	1.580	69.519
15	0.850	67.149	2.370	1.580	71.099
16	0.870	68.729	1.580	1.580	72.679
17	0.900	0.900	2.370	1.185	73.864
18	0.920	72.679	1.580	0.790	74.654
19	0.930	73.469	0.790	0.790	75.444
20	0.940	74.259	0.790	0.790	76.234
21	0.960	75.839	1.580	0.790	77.024
22	0.970	76.629	0.790	0.790	77.814

Hora	Factor h	P-d Hora	PH	PH o	Ph a
23	0.990	78.209	1.580	0.790	78.604
24	1.000	78.999	0.790	0.395	78.999

Tabla 2-5 Valores de los parámetros para la distribución de lluvia horaria

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 2-8. 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 Represa Los Laureles (definido en el Paso 1) de 8 horas con 3 minutos, equivalente a 8.05 horas, que para fines prácticos se considera en 8 horas.

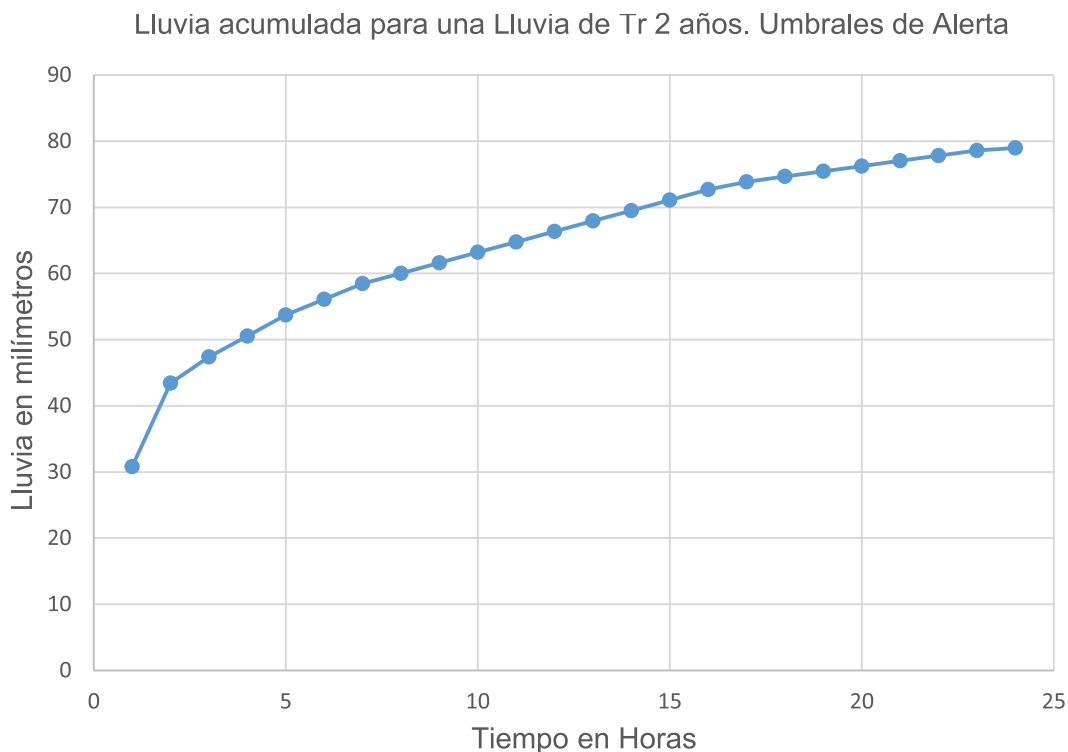


Figura 2-8 Curva de lluvia acumulada para Niveles de Alerta del ejemplo 1

El umbral de crecida se establece para el tiempo de concentración de 8 horas. Con este valor se lee 8 horas en la escala horizontal de la Figura 2-8 y en la escala vertical se lee 60 mm al cortar la curva trazada. Este valor de 60 se puede obtener también de la Tabla 2-5, al leer el valor de “**Ph a**” que corresponde a la hora 8. Para fines prácticos se toma:

60 mm 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.

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.

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 la hoja electrónica GUMBEL.

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.

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.

Así mismo, se pueden definir 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 Tr 2 años. Este caudal de retorno de 2 años es el evento que puede presentarse al menos una vez cada 2 años.

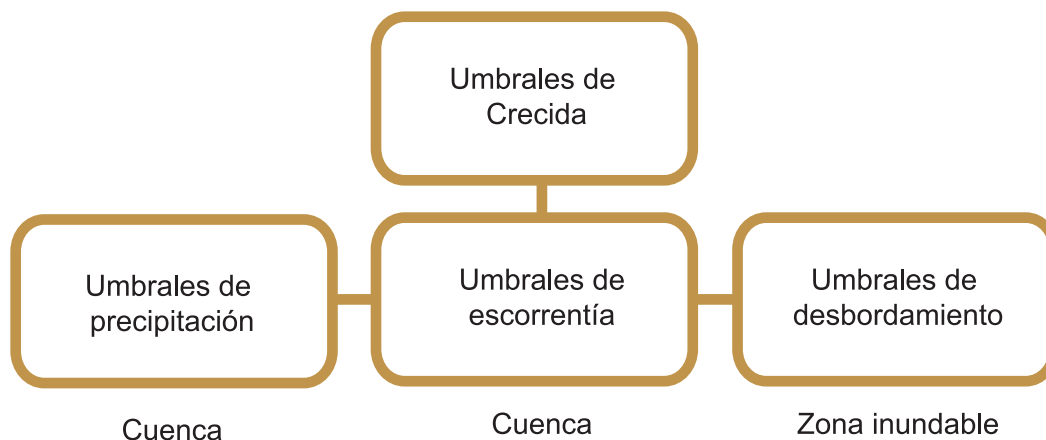


Figura 2-9 Umbral de Crecida

UMBRAL DE CRECIDA. Los umbrales de escorrentía se definen del estudio ‘Caudal y Respuesta’ de la cuenca, se analiza una selecci3n 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 inundaci3n; el proceso puede culminarse con la elaboraci3n de un mapa de Riesgo de Inundaciones⁵.

Definici3n de niveles: Estudios usando la topografía de las secciones transversales permiten definir los niveles del rí para un valor de caudal de retorno. Una serie de secciones transversales permite definir un mapa de peligro o de amenaza de inundaci3n. Productos de utilidad para programas de prevenci3n y ordenamiento territorial⁶.

Se puede concluir que para la fijaci3n de umbrales basados en niveles de rí, 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 definici3n de umbrales de lluvia claramente explicados en los ejemplos de este Manual.

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

- 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 secci3n o perfil transversal del punto de pron3stico (estaci3n de nivel de rí);
- 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 inundaci3n. 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. 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 hidrol3gico para hacer uso de este método.

⁵ Universidad de Valencia, España

⁶ INA, Cordova, Argentina, 2007

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 2-10.
- 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 2-10.
- 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.

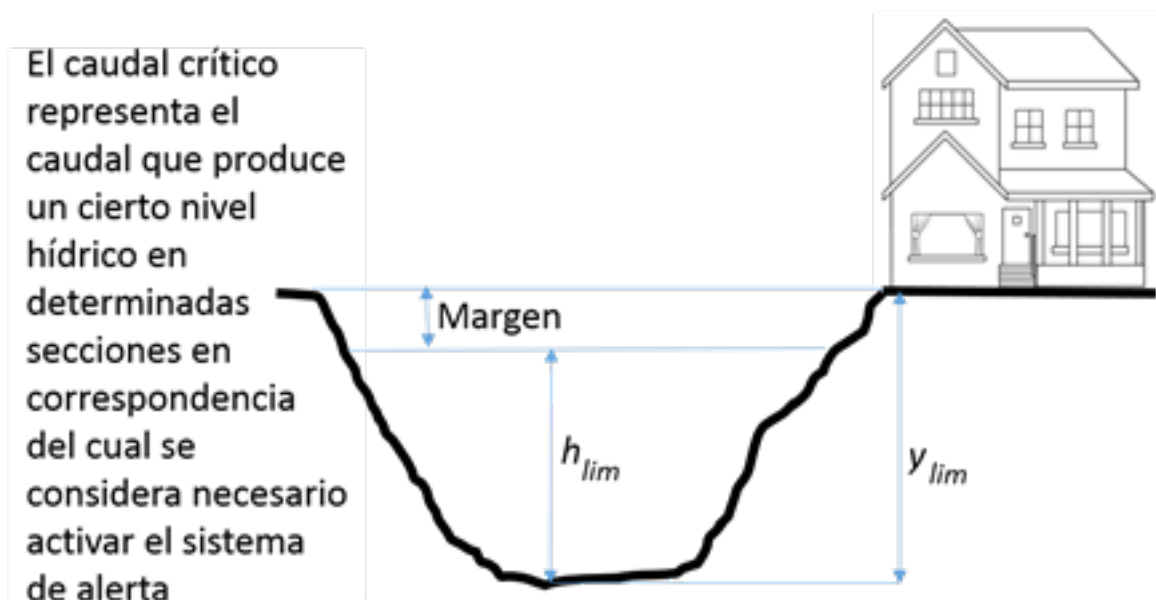


Figura 2-10 Interpretación de un caudal Crítico. Universidad de Florencia, Italia

4.1 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.

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

La Tabla 2-6 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	Nivel del Río	Condición de la Alerta	Definición
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.

Tabla 2-6 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 han instalado 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 COPECO y otras instituciones relacionadas con el tema SATI 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 Tablas 2-7 y 2-8; o bien Tabla 2-6. 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 Tabla 2-7. 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 por lo que se comienzan a realizar acciones de evacuación; 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.

Estación	Alerta Verde	Alerta Amarilla	Alerta Roja
Río Grande altura Concepción Tegucigalpa	4.00 Mts.	5.00 Mts.	6.00 Mts.
Río Guacerique Los Laureles	4.00 Mts.	5.00 Mts.	6.00 Mts.
Río Choluteca Apacilagua	6.00 Mts.	8.00 Mts.	9.00 Mts.
Río Choluteca La Ceiba	4.00 Mts.	5.00 Mts.	6.00 Mts.
Río Choluteca Tegucigalpa	4.00 Mts.	5.00 Mts.	6.00 Mts.

Tabla 2-7 Niveles críticos estimado para la estaciones de la cuenca del Río Choluteca

Nota: Establecido por el departamento de Sistema de Alerta Temprana de COPECO para el monitoreo de estaciones

	Pronóstico de Lluvia	Condición de Suelo	Oleaje más marea alta	Tiempo o Duración	Tipo de Alerta
Parámetros críticos Utilizados para la emisión de la alertas en la parte baja del río Choluteca	20 mm a 40 mm Cuenca Alta	Saturado	> 6 Pies	24 horas	Verde
	60 a 80 mm Cuenca Baja				
	41 a 70 mm Cuenca Alta	Saturado	> 6 Pies	24 horas	Amarilla
	De 81 a 150 mm Cuenca Baja				
	Cuenca Alta > 70 mm	Saturado	> 6 Pies	24 horas	Roja
	Cuenca Baja > 150 mm				

Tabla 2-8 Umbrales de alerta frente a inundaciones para Cuenca Baja Río Choluteca

Nota: Establecido por el departamento de Sistema de Alerta Temprana de COPECO para el monitoreo de estaciones

Estos parámetros obedecen la temporada de lluvia normal en la región, pero las afectaciones de ciclón tropical con acumulados de lluvia mayores a 150mm en menos de 6 horas dan como resultado evacuaciones preventivas en las zonas altamente vulnerables.

Estos parámetros de alerta van en función de pronósticos, cobertura del evento hidrometeorológicos, observancia de radar y acumulados de lluvia.

7. Consideraciones sobre la información el Centro Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos (CENAOS)

En el 2004, a través de Decreto Ejecutivo PCM-001-2014, el gobierno de la Republica de Honduras acuerda que el SMN pase a formar parte de COPECO con la conformación del Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y sísmicos (CENAOS) Con el propósito de unificar la información científica y fortalecer los sistemas de monitoreo, vigilancia observación y estudio de fenómenos naturales.

La oficina del CENAOS será la responsable 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 emitir boletines del comportamiento meteorológico nacional. Estos boletines son trasladados a las oficinas de COPECO en el Centro Nacional de Monitoreo (CNM) 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, por lo que es necesaria una estrecha coordinación con las oficinas del CENAOS.

Estos pronósticos y boletines pueden apoyar a las actividades de operación y monitoreo de los SATIs, ya que proporcionan un tiempo razonable para la toma de decisión y transmisión de información a los voluntarios responsables del monitoreo hidrometeorológico del SATI.

CENAOS trabaja 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 SATIs 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 SATIs. 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>.

Los centros meteorológicos que producen mapas como el mostrado en la Figura 2-11, 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 km²).

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.

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 2-12 muestra un mapa guía de inundaciones, que proporciona la cantidad de lluvia de duración tr 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 SATIs faciliten la información recopilada para alimentar y validar el sistema.

Actualmente existe personal de CENAOS capacitado por parte de los desarrolladores del modelo, sobre los productos y usos del CAFFG; se recomienda a los administradores de los SATIs que se coordinen para saber más sobre estos productos y su aplicación.

La Figura 2-12 muestra un mapa de la República de Honduras 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, del Centro de Investigación Hidrológica de California, USA (HRC en inglés).

Pronóstico de Precipitación acumulada en 24 horas TT Hanna 27 Oct. 2014

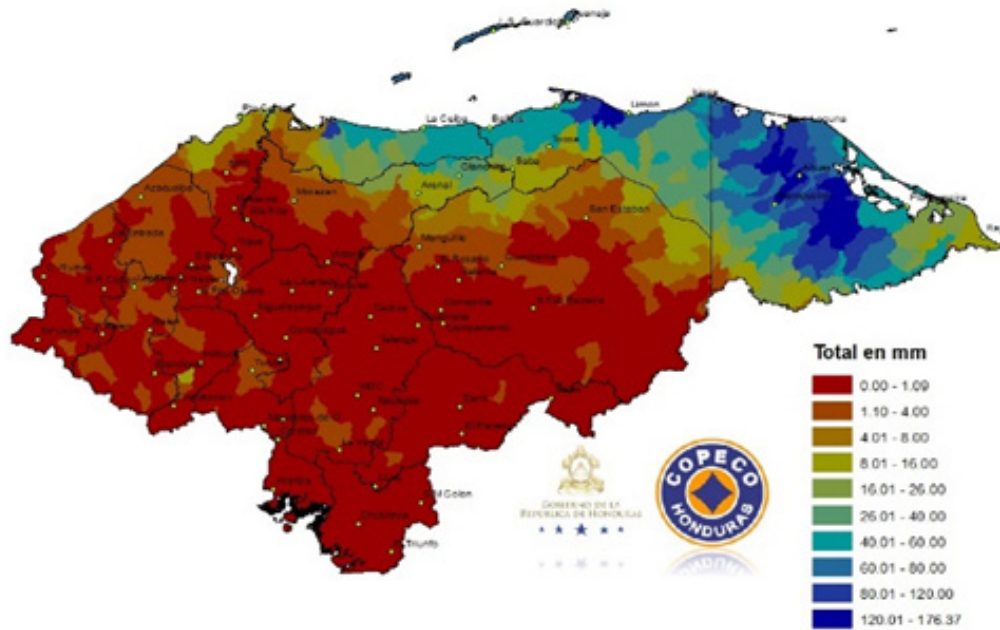


Figura 2-11 Pronóstico de temperatura y lluvia acumulada en 24 horas.

Pronóstico de Riesgo de Inundación debido a TT Hanna 28 Oct. 2014



Figura 2-12 Zonas de posible inundación, CAFFG, Honduras

MÓDULO III

IDENTIFICACIÓN Y COMUNICACIÓN DEL ESTADO DE ALERTA

Consideraciones Hidrológicas

En él se describen los sistemas nacionales para la prevención, mitigación y atención de desastres, su organización en el territorio y cómo los SATIs deben insertarse en dicho sistema. Además, se presenta un flujo de información requerido para identificar los estados de alerta y las vías comúnmente utilizadas para comunicarla.

1. Los Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Inundaciones

Cuando ocurre un desastre, por lo general son las comunidades quienes tienen la gran responsabilidad de dar la primera respuesta ante las situaciones de emergencias. Por ello resulta importante que cada comunidad que es vulnerable ante inundaciones, pueda contar con planes de preparación y respuesta a emergencias y de gestión de riesgos de desastres que le permita desarrollar acciones prácticas para reducir sus riesgos y prepararse a responder adecuadamente ante situaciones de emergencia recurrentes en el medio donde se ubican.

Siendo las comunidades vulnerables actores claves en el proceso de desarrollo local, son también al mismo tiempo elementos fundamentales para promover el proceso de la reducción del riesgo de desastres, llevando a cabo acciones tanto de prevención, como de preparación ante desastres. La experiencia muestra que los esfuerzos para la reducción del riesgo que logran relevancia, efectividad y eficiencia, son aquellos en donde se dan procesos de concertación y negociación entre la población, sus dirigentes y sus autoridades.

Una característica particular en los sistemas comunitarios de alerta temprana ante inundaciones, es la participación organizada de los miembros de la comunidad beneficiada en el diseño, instalación, operación y mantenimiento del sistema.

La participación de la población vulnerable ante las amenazas de desastre es clave para la preparación ante emergencias. Varones y mujeres encuentran en la organización comunitaria un espacio para participar, entender mejor sus problemas, tomar decisiones y asumir compromisos para la seguridad y bienestar de sus familias y de la comunidad.

La falta de participación de la comunidad en cualquiera de estas etapas puede resultar en la no apropiación del sistema, lo cual pone en riesgo su sostenibilidad.

En la operación de un sistema comunitario de alerta temprana ante inundaciones, la observación y monitoreo de la lluvia que es colectada por un pluviómetro y del nivel del río observado con un limnómetro, son realizados por miembros de la comunidad.

Cada observador registra los datos en hojas diseñadas para tal fin, y a su vez, transmite esta información al Centro de Operaciones de Emergencia (COE) del Municipio o a las oficinas regionales de COPECO, mediante radios de comunicación satelital o telefonía móvil que le son suministrados como parte del equipo del SATI.

Todos los observadores son capacitados para que puedan registrar la información observada y operar el radio de comunicación.

El COE debe estar ubicado en la alcaldía municipal correspondiente. Este Centro debe contar con un análisis hidrológico de la cuenca en donde se ha instalado el SATI, que identifique los niveles de precipitación, o umbrales de lluvia, que puedan desencadenar una crecida del río que provoque su

desbordamiento y consecuente inundación. En caso de que no exista un COE municipal se puede buscar el apoyo de otras instituciones presentes en la zona para el análisis de la información.

No hay que olvidar que la mejor protección contra las inundaciones es estar preparado y tener un plan de emergencia que ejecutar.

2. Organización de un Comité Municipales y Locales para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres

Con algunas variantes, en cada uno de los países centroamericanos se han establecido los principios, normas, disposiciones e instrumentos generales necesarios para crear y permitir el funcionamiento de un sistema interinstitucional orientado a la reducción de riesgos por medio de actividades de prevención, mitigación y atención de desastres, sean éstos naturales o provocados.

Las leyes creadoras de estas instancias definen los mecanismos a seguir para la declaración de los distintos niveles de estados de alerta y establecen el tipo de organización que debe existir a nivel nacional, departamental, municipal y local.

Siendo que estas son leyes nacionales, es de carácter obligatorio que se sigan los mecanismos establecidos durante las fases de diseño, instalación y operación de un SATI.

El Sistema Nacional de Gestión de Riesgos (SINAGER), facilitará la creación y creará Comisiones de trabajo y Mesas territoriales que se consideren pertinentes, en las cuales, con la facilitación de la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO), las municipalidades y las mancomunidades pueden liderarlas junto con la participación de los actores locales claves.

El Sistema Nacional de Gestión de Riesgos (SINAGER), reconoce y hace suya la organización territorial existente a través de los Comité de Emergencia Departamentales (CODED); Comité de Emergencia Municipal (CODEM); Comité de Emergencia Locales (CODELES); Comité de Emergencia Centros Escolares (CODECE); Comité de Emergencia de Centros Laborales (CEDECCEL); y los mismos de las Mesas de Gestión de Riesgos existentes de hecho o establecidas en otras leyes del país. El Reglamento de esta Ley establecerá las funciones, organización mínima y los diferentes aspectos relacionados con la operatividad de estos Comités¹.

En el Manual Comunitario para la Reducción de Riesgo y Preparación ante Situaciones de Desastre² se establece que existen cinco condiciones para una participación efectiva de la comunidad en organizaciones comunitarias:

¹ Ley de SINAGER, Sección III, Artículo 14. 2009

² Elaborado en el marco del proyecto DIPECHO San Martín: “Fortalecimiento de las capacidades de respuesta a nivel comunitario en caso de inundaciones en dos provincias de San Martín, Perú”.

- a. Todos participan sin discriminación: Que todos los varones y las mujeres de la comunidad integren las diversas organizaciones sociales sin ningún tipo de discriminación por causa de género, religión, ideología, raza, etc.
- b. Escuchar y ser escuchados: Que existan condiciones favorables en la comunidad para escuchar y ser escuchados, lo que hará posible establecer un diálogo a fin de que la comunidad, una vez informada, tome la decisión más conveniente y pueda asumir sus compromisos.
- c. Respetar los acuerdos: Que la comunidad, una vez tomada la decisión de participar en una actividad o proyecto determinado, asuma el liderazgo de la acción teniendo en cuenta los acuerdos de asamblea y los convenios asumidos o firmados.
- d. Organizados y coordinados: Que los líderes, dirigentes y autoridades de la comunidad realicen trabajo en equipo, actuando de forma coordinada con las instituciones públicas y privadas.
- e. Manejar los conflictos: Que en caso de conflictos nuevos o ya existentes, estos sean abordados mediante el diálogo y con el debido respeto a los acuerdos comunitarios.

A través de entrevistas con las autoridades locales y con miembros de la comunidad beneficiada con el SATI, se identifican los líderes de la comunidad dispuestos a coordinar y/o ejecutar las acciones propias de dicho sistema.

Los observadores entonces forman parte del Comité Local, en apoyo al responsable de observación y Monitoreo.

Es necesario que en el Comité Local participen y actúen como grupo de apoyo, las organizaciones no gubernamentales presentes en la zona, así como las instancias del sector público (salud, agua, energía, educación, comunicaciones, etc.), y el sector privado (agricultores, industrias, empresas, organizaciones gremiales, etc.).

El Comité Local debe ser el conjunto de personas representativas de la comunidad, que desarrolla y ejecuta actividades de defensa civil en un determinado ámbito. Su trabajo se orienta a proteger la integridad física de la población, el patrimonio y el medio ambiente, ante los efectos de los fenómenos naturales o determinadas actividades humanas que producen desastres o calamidades.

El Comité Local es la instancia básica operativa del Sistema Nacional, desde la cual se genera y propaga todo el accionar de la respuesta a nivel nacional. Debe tener carácter permanente, por lo tanto, su funcionamiento es continuo y deben sostener reuniones periódicas.

El SATI se maneja a través de un Centro de Operaciones de Emergencia (COE) municipal y/o nacional para coordinar, dirigir y supervisar las operaciones para la atención de la emergencia, así como exhibir la información clara de las acciones, de las evaluaciones de daños y de las necesidades determinadas por la Comisión Permanente de Contingencias. El COE debe estar permanentemente activado para monitorear zonas de riesgo y actuar oportunamente en la atención de las emergencias. Incrementará su actividad y necesidad de recursos humanos en la medida que las emergencias se presenten y lo demanden.

El Comité Local debe garantizar que se formule y actualice periódicamente el plan de emergencia de la comunidad, y supervisar los planes de capacitación.

Tanto los pobladores de la comunidad beneficiada como los que conforman el Comité Local, deben ser capacitados para que puedan hacer una adecuada operación y mantenimiento del SATI.

3. Capacitación

Los miembros de la comunidad beneficiada con el SATI deben conocer las amenazas, la vulnerabilidad y los riesgos a los que están sometidos y las acciones que deben ejecutar como respuesta en caso de que se presente una inundación. Para ello, es necesario desarrollar un programa de capacitación, el cual debe estar dirigido a los miembros del Comité Local para la prevención, mitigación y atención de desastres.

La capacitación a los miembros del CODEL debe desarrollarse en jornadas cortas, utilizando lenguaje y material sencillo, de fácil comprensión.

Los miembros del CODEL deben comprender qué es el SATI; cómo funciona; cómo se hacen las observaciones y monitoreo; cómo, cuándo y a quiénes se hacen las comunicaciones a través de los radios, telefonía celular u otro medio de comunicación; cuáles son los umbrales de alerta; quién determina el nivel de alerta; y qué hay que hacer cuando se presenta una alerta.

En la Tabla 3-1 se presenta un contenido básico de las capacitaciones que deben recibir los miembros del CODEL con el SATI.

El número de grupos a capacitar dependerá del número de personas participantes, procurando que los grupos no sean mayores de 30 personas.

Taller	Contenido
1	El Sistema Nacional de Prevención, Mitigación y Atención a la Emergencia: cómo se inserta el Comité Local en el sistema. Organización comunitarias: beneficios y responsabilidades.
2	Conocer qué es una cuenca hidrográfica; dibujar la cuenca del río principal hasta la comunidad beneficiada, identificando las principales quebradas que alimentan el río y la ubicación de las comunidades que están dentro de la cuenca.
3	Explicar qué es el ciclo hidrológico y cómo las actividades del hombre inciden en el cambio del régimen hidrológico del río (aumento de la escorrentía en la época de lluvias y disminución del caudal del río durante la época seca). <ul style="list-style-type: none">• Pronóstico de la crecida• Identificación de la alerta• Comunicación de la alerta• Respuesta ante la emergencia
4	Conocer el diseño del SATI, destacando los sitios donde estarán ubicados los pluviómetros, limnímetros y radios de comunicación, así como los umbrales de lluvia y de niveles del río. Conocer los umbrales de alerta (lluvia y nivel del río). Sistemas de comunicación entre el Comité Local y el Centro de Operaciones de Emergencia
5	Elaboración de un plan de emergencia para enfrentar las inundaciones, definiendo el rol de cada miembro del Comité Local. Revisar el mapa de riesgos que enfrenta la comunidad, elaborado por los miembros de la comunidad. Simulacro de una emergencia: observadores, Comité Local, Centro de Operaciones de Emergencia.

Tabla 3-1 Contenido de Talleres para miembros del Comité Local

4. Identificación de los Estados de Alerta

De acuerdo a lo establecido en la Ley del SINAGER, en su artículo 41 establece que el Comisionado de la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO), en consulta con los organismos técnico-científicos encargados del monitoreo y análisis de los fenómenos naturales, será el encargado de declarar los diferentes niveles de alerta, frente a la inminencia, eventualidad o impacto de una amenaza natural o antropogénica.

Los Comités de Emergencia Municipal, presididos por los Alcaldes Municipales, pueden hacer las declaratorias de alerta o emergencia correspondientes a su perímetro municipal.

La declaratoria de alerta debe ser clara, asequible a toda la población, difundida y repetida por los medios de información del país y contener las medidas generales de prevención, preparación y protección que deben tomar la población que se podrá ver afectada.

Las declaratorias de alertas pueden ser acompañadas de disposiciones de carácter obligatorio y transitorio.

La alerta puede ser blanca, verde, amarilla o roja, según el nivel de gravedad, y puede ser nacional o limitada a parte del territorio.

En el Reglamento de la Ley del SINAGER se establecen 4 estados de alerta:

Nivel	Categoría	Descripción
Blanca	Institucional	Situación en la que se ha identificado la presencia de un fenómeno que por las circunstancias actuales no representan amenazas para el país, pero que, de continuar su evolución podría presentar situación de riesgo.
Verde	Prevención	Aquella que se declara cuando las expectativas de un fenómeno permiten prever la ocurrencia de un evento de carácter peligroso para la población. Nivel de prevención y notificación a las instituciones del Sistema, implica preparación, pero no movilización de los enlaces.
Amarilla	Preparación	Cuando la tendencia ascendente del desarrollo del evento implica situaciones inminentes de riesgo y situaciones severas de emergencia.
Roja	Afectados	Cuando el fenómeno impacta una zona determinada, presentando efectos adversos radicales a las personas, los bienes, las líneas vitales o el medio ambiente.

Tabla 3-2 Estados de Alerta

Nota: Reglamento de la Ley de SINAGER

El Comisionado Nacional puede solicitar por cualquier medio a su alcance, al Titular del Ejecutivo la declaratoria de emergencia, desastre o calamidad correspondiente, teniendo en cuenta los aspectos siguientes:

1. La determinación del tipo de contingencia y la ubicación geográfica de las zonas afectadas;
2. La magnitud de los daños ocasionados por la contingencia en el aspecto humano, económico y productivo;
3. La estimación preliminar de la cuantía de los recursos materiales y financieros a utilizarse;
4. La descripción de las medidas de emergencia que se han tomado y demás que deben aplicarse para enfrentar el problema;
5. Las medidas especiales y particulares y las acciones de cooperación exigidas a la población en general; y,
6. Los mecanismos de coordinación adoptados para la recepción, manejo y distribución de la ayuda nacional e internacional.

La declaratoria de emergencia por parte de las Alcaldías Municipales debe justificarse e incluir los mismos aspectos, referidos en los incisos anteriores, pero referidos a sus propios límites territoriales. Las acciones prioritarias para cada una de las alertas se definen en la Ley del SINAGER de la siguiente forma:

Alerta	Peligro	Acciones
Blanca	Mínimo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Avisar al personal de la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO). 2. Notificar a los enlaces de las instituciones que integran el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, (COEN). 3. Las instituciones involucradas según el evento deberán asegurar su listeza operacional y sus recursos, para estar prestos ante un posible desplazamiento. 4. Formular un boletín de prensa para difundir la declaratoria. 5. Informar el nivel político de la situación. 6. En caso de que el monitoreo determine que el evento no tiene probabilidades de desarrollo, o éste haya desaparecido, deberá procederse a cancelar la alerta.
Verde	Bajo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Avisar al personal de la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO). 2. Notificar a los enlaces de las instituciones que integran el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, (COEN). 3. Las instituciones involucradas según el evento deberán asegurar su listeza operacional y sus recursos, para estar prestos ante un posible desplazamiento. 4. Formular un boletín de prensa para difundir la declaratoria. 5. Informar el nivel político de la situación. 6. En caso de que el monitoreo determine que el evento no tiene probabilidades de desarrollo, o éste haya desaparecido, deberá procederse a cancelar la alerta.

Alerta	Peligro	Acciones
Amarilla	Moderado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Notificar a las instituciones que integran el Sistema y el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) del estado de la alerta, y podrán ser convocados los enlaces del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN), según el procedimiento correspondiente. 2. Formular un boletín de prensa para difundir la declaratoria. 3. Mantener informados a los enlaces institucionales del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN), sobre la evolución y pronóstico del evento. 4. Las instituciones activarán sus procedimientos de información a la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO) sobre cualquier detalle de la evolución del evento que sea de su conocimiento. 5. En caso de que el monitoreo determine que el evento no tiene probabilidades de desarrollo o éste haya desaparecido, deberá procederse a cancelar la alerta.
Roja	Máximo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar análisis detallado del evento en coordinación con los técnicos y especialistas de la materia. 2. Todas las áreas del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) deberán estar activadas a sus integrantes deberán estar presentes en las instalaciones del mismo. 3. Las instituciones activarán sus procedimientos de información y seguimiento y mantendrán informado al Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN), sobre cualquier detalle de la evolución del evento que sea de su conocimiento. 4. Producir informes de situación de cada tres horas. 5. Mantener Informado al nivel político. 6. Las instituciones ejecutarán sus planes de respuesta vinculados al Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN).

Tabla 3-3 Acciones de acuerdo al Estado de Alerta
 Nota: Reglamento de la Ley del SINAGER

El Comisionado Nacional de la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO) declarará los estados de alerta por medio de un acuerdo, con el respaldo de la información generada por un Comité Técnico Científico y se difundirán con el propósito de que la población y las instituciones adopten las acciones específicas ante la situación que se presenta. Este Comité Técnico Científico estará integrado por profesionales de las diversas áreas de gestión de riesgos, por ejemplo: meteorólogos, sismólogos, vulcanólogos, etc., y definido de manera más específicamente en el Manual de Administración de Centros Operaciones de Emergencia en cuanto a la conformación, vigencia y funciones.

En el caso que las Municipalidades carezcan de la información técnica científica o por la presencia de un fenómeno súbito, podrán emitir las alertas fundamentándolas en base a indicios racionales debidamente documentados. El nivel de alerta y sus implicaciones se definirán según los procedimientos establecidos en el Manual de Manejo de Centros de Operaciones de Emergencia.

5. Comunicación de los Estados de Alerta

Contar con uno o más medios de comunicación es vital en un sistema comunitario de alerta temprana ante inundaciones. Los medios de uso más frecuente son los radios móviles de comunicación y la telefonía convencional y/o celular.

Por lo general, la comunicación entre el COE del SATI y el Comité Local se hace a través de radios móviles de comunicación, que deben transmitir en la frecuencia establecida por el sistema nacional para la prevención, mitigación y atención de desastres.

Al hacerlo en la misma frecuencia, se garantiza que el COE del SATI reciba la información generada en los sistemas nacionales para la prevención, mitigación y atención de desastres y que éste tenga información en tiempo real sobre la situación que está prevaleciendo en la comunidad.

En la medida de lo posible, deben existir vías alternas de comunicación, bien sea a través de la telefonía convencional, la telefonía celular, radio aficionados, etc.

Los medios de comunicación, en especial la radio y la televisión, son excelentes vías de difusión de la información generada por los servicios hidrometeorológicos y los sistemas nacionales para la prevención, mitigación y atención de desastres.

La comunicación de las condiciones hidrometeorológicas y los estados de alerta se dan a diferentes niveles:

Los servicios hidrometeorológicos nacionales transmiten sus boletines a través de los medios de comunicación.

En algunos países de la región centroamericana, los servicios hidrometeorológicos han establecido una red de comunicación a través de la cual hacen llegar directamente a comunidades u organizaciones claves, los boletines emitidos. Para ello utilizan radios móviles de comunicación, telefonía convencional, telefonía celular, transmisión por fax y eventualmente lo hacen a través de correos electrónicos. Los boletines son puestos en las respectivas páginas Web.

Los servicios nacionales para la prevención, mitigación y atención de desastres declaran los diferentes estados de alerta, utilizando para ello los medios de comunicación escrita, radio y televisión. También informan de manera directa a toda la estructura del sistema nacional, utilizando para ello teléfonos convencionales y celulares, fax, radios móviles de comunicación y correos electrónicos. También despliegan en sus páginas Web la información emitida. Esta información debe fluir rápidamente desde el nivel central hasta los niveles locales.

Se presentan a veces condiciones hidrometeorológicas especiales en sectores del territorio nacional que causan inundaciones en áreas específicas, por lo cual deben tomarse acciones a nivel local y de manera inmediata. Si este fuera el caso, el COE del SATI en conjunto con el Comité Local debe tomar la decisión de activar el plan de emergencia y comunicar de inmediato al Comité Municipal la situación que se está presentando.

Cuando se pone en marcha el plan de emergencia en la comunidad, hay que activar el sistema de

alarma, el cual puede estar constituido por uno o más elementos: alarma sonora, alarma visual, comunicación telefónica (convencional, celular), aviso puerta a puerta, etc.

Al diseñarse el sistema de alarma debe tenerse en consideración la existencia en la comunidad de personas con capacidades diferentes. Probablemente existan miembros en la comunidad que no puedan identificar alarmas sonoras o visuales o ambos casos, aspecto que debe ser evaluado. De ser necesario, debe incluirse en el sistema de alarma el aviso a personas con limitaciones de movilización.

La resolución adoptada por el Titular del Ejecutivo, declarando la emergencia, desastre o calamidad contendrá:

- La delimitación de la zona o zonas afectadas o amenazadas;
- La determinación de las fuentes y la cuantía de los recursos financieros a utilizarse;
- Disposiciones de carácter obligatorio y otras medidas consideradas necesarias;
- El tiempo que durarán las medidas especiales; y,
- Una vez declarada la emergencia y la evacuación de personas en sitios que sean considerados de alto riesgo, las autoridades civiles y militares estarán facultadas a realizar evacuaciones obligatorias con el fin de salvaguardar las vidas humanas.

Glosario de Términos

Aguas Arriba

Posición desde la cual el agua fluye.

Alarma

Fase del antes que constituye el aviso o señal que se da a la población para que evacuen y se trasladen a lugares seguros y sigan las recomendaciones de las autoridades correspondientes, debido a la presencia real o inminente de un evento peligroso.

Alerta

Es el estado declarado con el fin de tomar precauciones específicas, debido a la probable y cercana ocurrencia de un evento adverso.

Análisis de Frecuencias

Procedimiento involucrado en interpretar registros pasados de eventos hidrológicos en términos de probabilidades de ocurrencia.

Año Hidrológico

Período de 12 meses continuos seleccionado de tal manera que los cambios generales en el almacenamiento sean mínimos y el saldo arrastrado se reduzca al mínimo.

Área de contribución

La parte de una cuenca de drenaje que contribuye directamente a la escorrentía.

Área inundada

Área cubierta por agua cuando el caudal excede la capacidad de carga de un canal o como consecuencia del represamiento de un río aguas abajo.

Boletín de crecida

Producto de texto que provee información complementaria, como observaciones actualizadas e información sobre impacto, de productos de alerta de crecidas activas (crecidas repentinas).

Boletín Meteorológico

Es un informe periódico que contiene las condiciones meteorológicas más recientes, su elaboración se basa en las observaciones sinópticas realizadas en cierta región o país. Los elementos incluidos dependen del propósito requerido.

Caudal

Volumen de agua que fluye por la sección transversal de un río (o canal) por unidad de tiempo.

Ciclo Hidrológico

Sucesión de etapas a través de las cuales el agua pasa de la atmósfera a la tierra y retorna a la atmósfera: evaporación del agua de la tierra, del mar o cuerpos de agua en tierra; condensación que forma nubes; precipitación, intercepción, infiltración, percolación, escorrentía y acumulación en el suelo o en cuerpos de agua; y re-evaporación.

Coefficiente de Escorrentía (Ce)

Relación entre la altura de escorrentía y la altura de precipitación.

Control de Avenidas

Detención y/o desviación del agua durante eventos de crecidas con el fin de reducir el caudal o las inundaciones aguas abajo.

Control de crecidas

Técnicas para prevenir los daños causados por crecidas en un área propensa a inundaciones.

Crecida

(1) Aumento, usualmente breve, en el nivel de agua de una corriente hasta un máximo del que el nivel de agua baja más lentamente. (2) Caudal relativamente alto según la medición de la altura del nivel o el caudal.

Cuenca

Es el espacio de terreno limitado por las partes más altas de las montañas y colinas, en ella se desarrolla un sistema de drenaje superficial que concentra su agua en quebradas, riachuelos y ríos los cuales drenan su contenido al mar, un lago u otro río más grande.

Curva intensidad-duración-frecuencia

Curva que muestra la probabilidad de excedencia de diferentes intensidades de lluvia en períodos cortos para diferentes duraciones de precipitación en un lugar específico.

Emergencia

Es la situación que se produce ante la presencia inminente o real de un evento adverso que podría afectar la vida, los bienes y el ambiente en un territorio determinado, que involucra la movilización de recursos sin exceder la capacidad local de respuesta

Escorrentía

Parte de la precipitación que fluye hacia un río en la superficie del suelo (escorrentía superficial) o dentro del suelo (escorrentía subsuperficial o interflujo).

Estación de aforo

Ubicación en un río donde se toman mediciones sistemáticamente del nivel del agua y/o el caudal.

Estación Hidrométrica

Estación hidrométrica en la cual uno o varios elementos son observados por un período de muchos años, tomando en consideración la importancia de estos elementos en relación con el ambiente físico. Esta estación usualmente está equipada con instrumentos de registro.

Evapotranspiración

Proceso por el que el agua es transferida a la atmósfera desde el suelo por evaporación y desde la vegetación por transpiración.

Frecuencia de crecidas

Número de veces que una inundación mayor a un determinado caudal o nivel tiene probabilidad de ocurrir en un período de años dado.

HEC-RAS

Es un programa de hidráulica para modelizar el comportamiento de un caudal en un canal artificial o en un cauce natural (ríos y arroyos). Sirve para saber si un caudal dado se desborda del cauce o no y por tanto hacer estudios para determinar las zonas inundables.

Hidrograma

Gráfico que muestra la variación en el tiempo de datos hidrológicos como nivel del agua, caudal, velocidad y carga de sedimento.

Hidrología

Ciencia que estudia el agua encima y debajo de las superficies de la Tierra; su ocurrencia, circulación y distribución en el tiempo y el espacio; sus propiedades biológicas, químicas y físicas; y su interacción con el ambiente, incluida su relación con los seres vivos.

Hidrometeorología

Estudios de las fases atmosféricas y terrestres del ciclo hidrológico, con énfasis en las interrelaciones involucradas.

Histograma

Diagrama de frecuencia de una variable con rectángulos proporcionales en área a la frecuencia de clase, construido sobre un eje horizontal con un ancho igual al intervalo de clase.

Humedad Absoluta

La cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Se confunde frecuentemente con la humedad relativa o punto de rocío. Los tipos de humedad son: humedad absoluta, humedad relativa y humedad específica. En un sistema de aire húmedo, es la razón de la masa del vapor de agua respecto al volumen total del sistema; usualmente expresada en gramos por metro cúbico.

Humedad Relativa

Tipo de humedad que se basa en el cociente entre la presión actual del vapor del aire y la saturación de la presión del vapor. Usualmente se expresa en porcentajes.

Humedad

Es el contenido de vapor de agua del aire; puede ser expresado como humedad absoluta, específica, relativa o razón de mezcla.

Imágenes de Radar Meteorológico

Productos de forma digital que se obtienen a partir de la información de los radares de observación. Posteriormente, se procesa la información en equipos que permiten el despliegue de imágenes digitales en las que se grafican variables como lluvia potencial, velocidad y dirección del viento, posición y altura de nubosidad principalmente.

Imágenes de Satélite Meteorológico

Imágenes digitales tomadas por el satélite meteorológico que revelan información como el flujo del vapor de agua, el movimiento de los sistemas frontales y el desarrollo de un sistema tropical. Las imágenes continuas en pantalla ayudan a los meteorólogos en sus pronósticos. Las imágenes pueden ser tomadas de manera “visible” en las horas de luz del día o también usando IR o rayos infrarrojos que revelan la temperatura de las nubes tanto de día o de noche. Existen diferentes tipos de imágenes de acuerdo a la banda del espectro electromagnético que detecten los sensores. En lo referente a meteorología existen tres bandas principales de estudio, estas son: la visible, la infrarroja y la denominada con vapor de agua. Cada una de estas tiene una aplicación determinada. La más utilizada por los previsores de tiempo es la infrarroja.

Intensidad de Precipitación

Es la razón de incremento de la altura que alcanza la lluvia respecto al tiempo. Se clasifica en ligera, moderada y fuerte según se observa en la tabla. Criterios para determinar la intensidad de la lluvia.

Inundación repentina.

Una inundación que sube y baja rápidamente con poco o ningún aviso, usualmente como resultado de intensas lluvias sobre un área relativamente pequeña. Las inundaciones repentinas pueden presentarse a raíz de una lluvia inesperada excesiva, por la rotura de una represa, o por el deshielo de una porción de hielo.

Isoyeta

Línea de contorno que une los puntos en los cuales la cantidad de precipitación, en un período específico, es la misma.

Limnímetros

Escala vertical graduada, fijada a un poste o a una estructura, contra la cual se puede leer el nivel del agua.

Método de Thiessen

Método gráfico para estimar la lluvia areal formando polígonos de las mediatrices de las líneas rectas que unen las ubicaciones de estaciones pluviométricas adyacentes.

Periodo de retorno

Intervalo promedio de tiempo a largo plazo entre eventos en los cuales una variable hidrológica de magnitud específica es igualada o excedida.

Pluviómetro

Instrumento para medir la altura del agua de la precipitación en un punto.

Pronóstico

Estimación de la magnitud y ocurrencia de un evento futuro.

Pronóstico de crecidas

Estimación del avance del nivel, el caudal, el momento de ocurrencia y la duración de una inundación, especialmente de la crecida máxima, en un punto específico de un río, como resultado de precipitación y/o derretimiento de nieve.

Pronóstico hidrológico

Estimación de la magnitud y ocurrencia de eventos hidrológicos futuros para un período específico y para un lugar específico.

Radar meteorológico

Sistema, incluido el equipo, que utiliza radiación electromagnética dirigida, repetida y programada en el tiempo para detectar, localizar y cuantificar fenómenos hidrometeorológicos.

Red hidrométrica

Agregación de estaciones hidrológicas y puestos de observación dentro de un área específica (cuenca hidrográfica, región administrativa) de tal manera que provea los medios para estudiar el régimen hidrológico.

Sensor

Dispositivo que responde a un estímulo físico o químico.

Umbral de escorrentía

La escorrentía necesaria para iniciar una inundación. Es un valor fijo basado en características geográficas e hidrológicas del canal del río y la cuenca.



Ayuda Humanitaria
y Protección Civil



*Al servicio
de las personas
y las naciones*

La reproducción de este Manual ha sido posible gracias al financiamiento del Programa de Preparación ante Desastres de la Oficina de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea en el marco del Proyecto Multipaís DIPECHO Nación ejecutado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).