

Caracterización de la Inundabilidad en el Área Metropolitana de San Salvador



Nuestro saber acerca de los ríos es eminentemente empírico y aún falta mucho para conocer las leyes fundamentales del comportamiento completo de los cauces naturales y acerca de la interacción entre las obras que construimos en ellos y que los afectan, y la respuesta veraz sobre los efectos que los ríos ocasionan en esas obras con el paso del tiempo
(Martín Vide, 2002)

San Salvador, marzo 2010

Autor: **Carles Fernández-Lavado**

Revisión de contenidos
y edición de texto: **Vicent Asensi**
Berta López

Corrector: **Milton Rodríguez**

Equipo IPGARAMSS

Jefa Programa: **Ryna Ávila**

Técnica Marco Normativo: **Natalia Arteaga**

Técnicos Geólogos: **Vicent Asensi**
Berta López

Técnico Participación Ciudadana: **Ulises Campos**

Técnico Gestión Territorial: **Luis Avilés**

Comunicadora: **Paola Parada**

Esta es una publicación del programa IPGARAMSS || Geólogos del Mundo.

Se permite su difusión y reproducción siempre que se cite la fuente:

[Carles Fernández-Lavado (2010). Caracterización de la inundabilidad en el AMSS (El Salvador, CA). Programa IPGARAMSS.

Número de ejemplares: 150

Diseño de interior: Paola Parada & Carles Fernández-Lavado

Diseño de portada: Paola Parada

Foto de portada: Distrito 6, San Salvador, 09 de Noviembre de 2009. Autor: Programa IPGARAMSS, GM

Foto de portadilla: Desembocadura del río Güllapa, Apulo, Ilopango. Autor: Programa IPGARAMSS, GM

Impresión: DPrint

Geólogos del Mundo

Calle Colima 814, colonia Miramonte, San Salvador

Tel: 22606340 || ipgaramss.jp@geologosdelmundoca.org || www.ipgaramss.org

Damos las gracias a todas las instituciones y personas que han facilitado y compartido información para la elaboración de la cartografía y manual, entre ellas: OPAMSS, MARN-SNET, CNR, UCA, FUNDASAL, Alcaldías del AMSS; comunidades Nueva Israel, Granjeros 2 y comunidades aledañas al Arenal Seco de Ilopango.

Esta es una publicación realizada por Geólogos del Mundo en el marco del programa IPGARAMSS, la cual fue financiada por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, la Diputación de Barcelona y el Ayuntamiento de Barcelona.

Los criterios expresados en esta obra son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de las instituciones y organizaciones contrapartes del Programa IPGARAMSS ni de sus financiadores.

San Salvador, El Salvador, Junio de 2010

PRÓLOGO

En noviembre de 2009 la depresión tropical IDA, evento natural no previsto, generó serias inundaciones en el Área Metropolitana de San Salvador. Cuando estaba en su fase final obligó a replantear el proceso en el que se encontraba la caracterización, permitió validar las zonas inundables detectadas en eventos anteriores y compararlo con fenómenos pasados.

El contexto de DT-IDA posibilitó levantar información de primera mano y poder hacer análisis entre las condiciones naturales y los factores cambiantes que provoca el ser humano. La realidad es cambiante y es un proceso continuo de socialización e interacción con la naturaleza, por ejemplo: un muro funciona en un momento para detener el agua, pero si se cae el muro, se inunda.

El Programa de Integración Participativa de la Gestión Ambiental y de Riesgos en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial en el Área Metropolitana de San Salvador, IPGARAMSS, nace de una iniciativa política de COAMSS y OPAMSS para que junto a Geólogos del Mundo se inicie un trabajo de gestión de riesgos en el Área Metropolitana como parte del fortalecimiento técnico municipal por medio del aprendizaje de caracterización de amenazas geológicas -como movimientos de ladera y actividad volcánica- y amenazas hidrometeorológicas -como este estudio de caracterización de inundaciones-.

La idea del programa es que la información y el análisis trasciendan y sean utilizados. Por eso busca trabajar en otros ejes temáticos: planificación y gestión del territorio, marco normativo y participación ciudadana, para complementar así un fortalecimiento en gestión integral de riesgo de desastres.

Históricamente el Área Metropolitana de San Salvador, AMSS, ha estado expuesta a la amenaza por inundaciones. Es un fenómeno recurrente y que va en aumento como consecuencia del crecimiento urbano y su dinámica de densificación acelerada en las últimas décadas, asociado a un profundo cambio en los usos del suelo y un aumento de la deforestación. Esto implica que hay más suelo impermeabilizado y menos áreas de infiltración o retención de agua, por tanto hay un aumento de la escorrentía y de los caudales punta que llegan a las zonas más densamente pobladas.

En general las inundaciones ponen en peligro a las personas, pues atentan contra sus vidas, sus bienes y el medioambiente. Sin embargo, el riesgo de la población que ocupa zonas inundables, llanuras de inundación y cauces de los ríos aumenta de manera exorbitante, sobre todo porque son asentamientos con altos índices de vulnerabilidad social y económica, más la vulnerabilidad técnica e institucional que afecta en la toma de decisiones de la ciudadanía, técnicos y responsables a diferentes niveles administrativos y políticos.

El estudio de inundabilidad del AMSS muestra cómo caracterizar el fenómeno de inundaciones en espacios urbanos, marca pautas básicas desde la hidrología y la visión de gestión de riesgos para que pueda ser punto de partida de otras investigaciones y dé otra perspectiva a la gestión territorial, gracias al mapeo del entorno natural a través de la identificación de las amenazas por fenómenos naturales, a fin de reducir exposición al riesgo y por lo tanto minimizar desastres.

Parte de la metodología y datos presentados corresponden al estudio y documentación de dos fenómenos relevantes: el huracán Stan, 2005, y la depresión tropical Ida, 2009. Además se realizaron algunos talleres en comunidades afectadas para recoger información a través de la memoria histórica de sus habitantes. Este estudio tiene unas limitantes en el tiempo, pues se basa en eventos pasados relativamente recientes y en evidencias geomorfológicas, pero el registro histórico de lluvias del país es deficitario, lo que implica que determinados cálculos no tengan la precisión deseada. Pero mientras las condiciones no varíen, la población siga ocupando zonas inundables, la escorrentía sea tan elevada (por impermeabilización, deforestación, deficiencias en la red drenaje, etc.) todos los problemas que aquí se describen, se van a perpetuar en el tiempo.

Se espera entonces que este producto pueda ser un aporte para todos los que estudian el fenómeno y una base para las instituciones del gobierno central y gobiernos locales para que promuevan este tipo de monitoreo, con el objetivo de otorgar más herramientas y criterios a la toma de decisiones políticas e incidir en planes de desarrollo y ordenamiento territorial, así como también poder aspirar a que este conocimiento de inundabilidad pueda ser utilizado para fortalecer la ley relativa al ordenamiento territorial, ley de agua y reglamentos de construcción y urbanización existentes.

Ryna Ávila
Coordinadora Programa IPGARAMSS

CONTENIDO

<i>Siglas y acrónimos</i>	7
1. Introducción	1
2. Alcance del estudio	3
2.1. Objetivos	3
2.2. Zona geográfica	3
2.3. Antecedentes	6
3. Marco conceptual	11
3.1. Conceptualización de la Gestión de Riesgos en inundaciones	11
3.2. Introducción a los ríos e inundaciones	13
3.3. Factores condicionantes	16
3.4. Factores desencadenantes. Fenómenos atmosféricos	18
3.5. Análisis de precipitaciones	25
3.6. Inundaciones urbanas	29
4. Metodología	33
4.1. Análisis hídrico. Parámetros morfométricos	33
4.1.1. Índice de Gravelius	33
4.1.2. Rectángulo equivalente	34
4.1.3. Curva hipsométrica	34
4.1.4. Densidad de drenaje	35
4.1.5. Tiempo de concentración	36
4.2. Método geomorfológico integrado	36
4.3. Cálculo de caudales	39
5. Estudio hidrológico	43
5.1. Cuencas y recorridos de campo	43
5.1.1. Subcuenca Acelhuate	43
5.1.1.1. Quebrada El Piro	45
5.1.1.2. Quebrada La Lechuza	46
5.1.1.3. Arenal de Monserrat	46
Comunidad Nueva Israel	46
Colonia La Málaga	49
Barrio Candelaria	50
5.1.1.4. Quebrada La Mascota	50
5.1.1.5. Río Acelhuate	52
Comunidades Fenadesal Sur y Gallegos 2	53
Comunidades Granjeros y Nueva Esperanza	53

Comunidad El Cacao I	55
5.1.1.6. Ríos El Garrobo, Matalapa e Ilohuapa	56
5.1.2. Subcuenca Las Cañas	59
5.1.2.1. Arenal Seco de Ilopango	61
5.1.3. Tomayate	64
5.1.3.1. Arenal Tutunichapa	66
5.1.3.2. Arenal de Mejicanos	68
5.1.4. Jiboa (drenaje a Ilopango)	70
5.1.4.1. Subcuenca Güilapa	71
5.1.4.2. Subcuenca Chagüite	74
5.2. Cálculo de caudales	76
5.2.1. Subcuenca de Las Cañas. Arenal Seco de Ilopango	76
5.2.1.1. Río Acelhuate	78
5.2.1.2. Río El Garrobo	80
5.2.2. Subcuenca Tomayate	81
5.2.2.1. Arenal Tutunichapa	81
6. Conclusiones	82
7. Recomendaciones	95
7.1. Medidas no estructurales	95
La inversión en los terrenos evitaría el gasto en medidas de contención	103
7.2. Medidas estructurales	106
Bibliografía	113
Glosario	116
Lista de figuras	123
Lista de fotos	125
Lista de gráficos	126
Lista de tablas	127
ANEXOS	128
Anexo I. Esquema de las quebradas del AMSS	129
Anexo II. Mapa de cuencas y subcuencas del AMSS	130
Anexo III. Localización de los Mapas de Inundación	131
Anexo IV. Mapa de Caracterización del Inundabilidad en el AMSS	132
Anexo V. Resumen: conclusiones de talleres con las comunidades	133
Anexo VI. Fichas de campo levantadas durante Ida'09	135

Siglas y acrónimos

AMSS	Área Metropolitana de San Salvador
APFM	Associated Programme on Flood Management (Programa Asociado para la Gestión de Crecidas)
CEPAL	Comisión Económica Para América Latina
CNR	Centro Nacional de Registros de El Salvador
COAMSS	Consejo de Alcaldes del Área Metropolitana de San Salvador
ENOS	El Niño Oscilación del Sur
GM	Geólogos del Mundo
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INE	Instituto Nacional de Estadística
IPGARAMSS	Integración Participativa de la Gestión Ambiental y de Riesgos en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador
ISPM	Instituto Salvadoreño de Protección al Menor
ITCZ	Zona de Convergencia Intertropical
LDOTAMSS	Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los EEUU
OPAMSS	Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador
SAT	Sistema de Alerta Temprana
SNET	Servicio Nacional de Estudios Territoriales
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos
VMVDU	Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano

1. Introducción

Se ha calculado que hay cerca de 1,4 millones de kilómetros cúbicos de agua en la Tierra. De este volumen el 96,5% corresponde a los océanos, y sólo el 2,5% es agua dulce. A su vez, el agua dulce se divide en glaciares polares, **permafrost*** y glaciares continentales (1,74%), aguas subterráneas (0.76%), lagos de agua dulce y embalses (0.007%), agua atmosférica (0.001%), humedad del suelo, pantanos y lagunas (0,0018 %), agua en plantas y animales (0,0001%) y en ríos (0,0002%). *Shiklomanov and Rodda, 2003*.

A pesar del pequeño porcentaje del total de agua en la tierra que representan los ríos, históricamente han sido los centros de la civilización y el desarrollo. La mayor parte de las primeras civilizaciones se asentaron en torno a ríos como el Nilo, el Tigris y el Éufrates. En parte, se debe al hecho de que los ríos son a menudo los centros de **drenaje*** de continentes enteros, aportan alimento y terrenos ricos en nutrientes, favorables para la productividad de los cultivos. Además son un medio de transporte y, negativamente, canales de drenaje para los desechos de la actividad humana.

La generación de un foco de inundación no tiene que ser visto aisladamente, sino dentro de una unidad territorial llamada **cuenca hidrográfica***. Es en ella donde el agua se recoge y se distribuye hasta su lugar de desagüe. Las **inundaciones*** son un proceso asociado a la dinámica natural de los ríos y la **geomorfología fluvial***. que tiende a ser compleja y cambiante en el tiempo, a corto y a largo plazo. En la mayoría de los **cauces***, se distinguen dos secciones inundables: la de estiaje o de **caudal*** mínimo y la invernal o de caudal máximo. Estos ciclos suceden anualmente, pero además el río tiene una **llanura de inundación***, llamada así porque es el área inundable en los momentos de caudal extraordinario.

Actualmente, en muchas partes del mundo, existe una alta concentración de la población cerca de los cursos fluviales que a veces invade estas llanuras de inundación. Normalmente son los estratos sociales más desfavorecidos los que llegan a instalarse a estos lugares por motivos socio-económicos, lo que evidencia un componente de **vulnerabilidad*** muy acentuado, en especial en lo referente a inundaciones urbanas. La **amenaza*** por inundación por sí sola no genera un **riesgo*** a la población, pero cuando el grado de **exposición*** al fenómeno es alto, el peligro se presenta de una forma evidente.

Es decir, además de las condiciones naturales que provocan las inundaciones, particularmente en zonas urbanas, la intervención **antrópica*** es un factor determinante: el

* Ver glosario

aumento de la **escorrentía**^{*}, la deforestación, la construcción e impermeabilización del terreno, las quemas, la contaminación, la explotación de los **acuíferos**^{*}, las dimensiones de los puentes y sus **bóvedas**^{*}, el vertido de materiales en los ríos y **quebradas**^{*}, etc. Todas estas actuaciones pueden producir un aumento de la amenaza que significa el evento en sí mismo. Y si se le conjuga la alta vulnerabilidad que usualmente tienen las comunidades ubicadas en las zonas aledañas a los ríos y quebradas, el riesgo se incrementa notablemente.

Por lo anterior se puede observar que en el caso de El Salvador y más concretamente en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), los principales problemas de inundación se dan en las **subcuencas**^{**} más intensamente pobladas: en los ríos Acelhuate, Las Cañas, Tomayate y sus afluentes, y también en los ríos y las quebradas que drenan al lago de Ilopango. Precisamente son estas áreas el principal foco de estudio del presente trabajo, donde se ha aplicado una diversidad de técnicas para la caracterización de la inundación con una combinación del **método histórico**^{*}, el **método geomorfológico**^{*} y la **inundación de referencia**^{*}.

El objetivo específico del estudio es construir un **mapa de inundabilidad**^{*}. Es muy importante destacar que en esta área de estudio no existen **registros pluviométricos**^{*} exhaustivos en cuanto a la cantidad, continuidad y calidad de datos, como para obtener unos resultados aceptables aplicando el método racional u otros métodos de conversión de precipitación en caudales.

Por lo tanto, se va a establecer una metodología de cálculo de caudales por métodos indirectos y también geomorfológicos. Del análisis crítico de esos resultados, se arrojarán unas conclusiones y recomendaciones coherentes con la realidad de la zona.

^{*} Ver glosario

2. Alcance del estudio

2.1. *Objetivos*

El objetivo específico del estudio es la realización de un mapa de inundabilidad lo más fiable y detallado posible. Los puntos de partida serán los eventos máximos históricos sucedidos en el AMSS, con especial atención al evento del huracán Stan que en el año 2005 azotó Centroamérica y un análisis geomorfológico detallado que permita analizar y comprender estos efectos en el espacio.

La finalidad del presente documento es que sean las autoridades municipales, comités de emergencia y otras instituciones quienes recojan las conclusiones, recomendaciones y cartografía resultantes del estudio para, según su criterio, establecer el ordenamiento territorial, los planes de emergencia y/o la construcción de **obras de mitigación*** derivadas del mismo. Para esto, aparte de todo el material técnico disponible, es esencial la colaboración y participación de los técnicos municipales y los ciudadanos, a quienes se involucrará con la intención de despertar en ellos una sensibilización antes de la ocurrencia de un evento de inundación y hacerles ver que su actitud, acciones y comportamientos frente al medioambiente pueden ser decisivos a la hora de afrontar un fenómeno de estas características y “no dejarlo en las manos de Dios”.

Sensibilizar de la necesaria recuperación ambiental de los ríos y su entorno así como conseguir que no se pierda la memoria histórica y que el trabajo se integre constituyen dos retos y son en sí objetivos a alcanzar.

Este trabajo también servirá como base de calibración para aquellos entes que se aventuren en el diseño y modelación de avenidas en las quebradas del AMSS. A partir de un modelo inicial, podrá aportar el ajuste a los resultados modelados, ya que se basa en datos reales levantados en campo con testimonios y evidencias geomorfológicas.

2.2. *Zona geográfica*

El Área Metropolitana de San Salvador ocupa un área de 591 km². Este territorio, conformado por 14 municipalidades, presenta una gran variedad de hitos naturales y paisajísticos. Entre alguno de ellos pueden mencionarse el volcán de San Salvador, la **caldera*** de Ilopango, los cerros de Nejapa, Guaycume, Chantecuán, El Carmen y San Jacinto, junto a la cordillera del Bálsamo y la caldera de Plan de la Laguna. Además, todo el

* Ver glosario

territorio se ve cruzado por ríos y quebradas, que tienen su propia dinámica y moldean el paisaje.

Lamentablemente muchos de estos cauces (ahora alterados por las urbanizaciones formales e informales) se han convertido en verdaderas cloacas y son vistos más como una amenaza que como oportunidad. La acción humana tiene toda la responsabilidad de esta situación: ha vertido desechos sólidos, aguas negras, aguas grises, ripio para rellenar las riberas y ganar tierra para construir sobre terrenos inestables y ha impermeabilizado sin tomar medidas de infiltración, entre otros. En definitiva se ha provocado un foco problemático que se traslada luego aguas abajo.

En El Salvador, el concepto de cuenca no está implantando, mucho menos su gestión. La siguiente sección lo explica más detalladamente. Pero es bueno entender que se habla de una unidad fisiográfica con carácter propio, una unidad de territorio que recoge las aguas lluvias caídas dentro de su espacio vital y las conduce a veces tranquila y otras furiosamente hasta un único lugar, llamado punto de desagüe. A esta porción de territorio se le denomina cuenca, subcuenca o **microcuenca*** según de su escala, importancia del cauce principal que lo atraviesa y punto de desagüe que se considere.

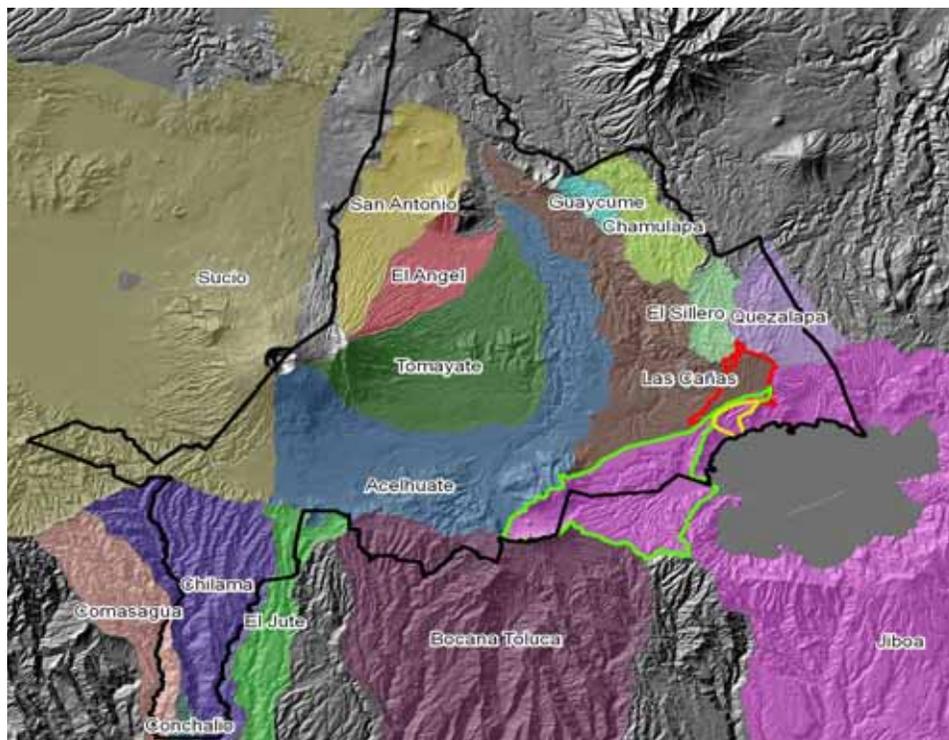


Figura 2.1. Cuencas y subcuencas del AMSS. En línea roja la microcuenca del arenal Seco de Ilopango, en verde la del Chagüite y en amarillo la del Güilapa. Elaboración propia.

* Ver glosario

En la figura 2.1 se muestran las principales microcuencas del AMSS. La mayor parte del territorio está ocupada por las microcuencas Acelhuate, El Ángel, Tomayate, Chamulapa, El Sillero, Guaycume y San Antonio (pertenecientes a la subcuenca Acelhuate) y las subcuencas Las Cañas, Sucio y Quezalapa. Todas drenan a la cuenca del río Lempa, el más importante del país. La prolongación de la cordillera de Bálsamo delimita las subcuencas del sur que drenan al Pacífico: El Jute, Comasagua, Conchalío, bocana Toluca, Chilama y Jiboa. Se han delimitado en la subcuenca Jiboa, las microcuencas Chagüite y Güilapa, que drenan directamente al lago de Ilopango.

Microcuenca	Subcuenca	Cuenca
Guaycume	Acelhuate	Lempa
San Antonio	Acelhuate	Lempa
Chamulapa	Acelhuate	Lempa
El Sillero	Acelhuate	Lempa
Acelhuate	Acelhuate	Lempa
El Ángel	Acelhuate	Lempa
Tomayate	Acelhuate	Lempa
Arenal Ilopango	Las Cañas	Lempa
Las Cañas	Las Cañas	Lempa
Quezalapa	Quezalapa	Lempa
Sucio	Sucio	Lempa
Jiboa	Jiboa	Jiboa
Chagüite	Jiboa	Jiboa
Güilapa	Jiboa	Jiboa
Bocana Toluca	Bocana Toluca	Bocana Toluca
Chilama	Chilama	Chilama
Comasagua	Comasagua	Comasagua
Conchalío	Conchalío	Conchalío
El Jute	El Jute	El Jute

Tabla 2.1. Relación de cuencas, subcuencas y microcuencas

La tabla 2.1. define cada una de las unidades de cuenca que encontramos en el AMSS (figura 2.1.) las que traspasan las unidades administrativas conformadas por los 14 municipios de dicha área: San Salvador, Santa Tecla, Ilopango, Soyapango, San Martín, Tonacatepeque, Ciudad Delgado, Apopa, Cuscatancingo, Mejicanos, Ayutuxtepeque, Nejapa, Antiguo Cuscatlán y San Marcos. Pero la visión administrativa no detiene el agua

que siempre fluye a través de los ríos y quebradas hacia las cotas más bajas, usualmente un mar o un lago. Es en ese discurrir donde no se puede olvidar que las actuaciones realizadas aguas arriba de una cuenca afectan aguas abajo.

2.3. Antecedentes

El Área Metropolitana de San Salvador es una zona propensa a sufrir inundaciones, debido a la singularidad de su orografía. La presencia del volcán de San Salvador, la caldera de Ilopango y la cordillera del Bálsamo definen esencialmente la **red hídrica*** del territorio. A lo largo de la historia, las comunidades aledañas a los principales ríos han sufrido graves inundaciones. Existen muchas causas por las que se presenta esta problemática, pero pocas de ellas tienen que ver con la amenaza en sí misma, lo que deriva la responsabilidad principal a las condiciones de vulnerabilidad existentes y a la gestión de los diferentes estamentos gubernamentales en planificación y ordenamiento del territorio.

Ciertamente hay unos factores naturales que son parámetros que no se pueden obviar, como la **fisiografía*** de las quebradas y la intensidad de las lluvias. Sin embargo existen otros factores condicionantes que claramente determinan el hecho de que una lluvia intensa acabe produciendo inundaciones o no. Solo por mencionar alguno: la invasión de los cauces. No tiene mucho secreto entender que la construcción de viviendas o infraestructuras varias dentro del área del cauce de un río o quebrada provocará la inundación de lo que se construya ahí. Es algo más difícil comprender que los ríos tienen llanuras de inundación, las que solo se inundan cada cierto tiempo, irremediablemente sucede; por tanto y de igual manera, lo que esté ubicado en esas áreas también va a sufrir inundaciones periódicas.

El uso del suelo presente en la cuenca es otro aspecto que afecta, pues está directamente relacionado con la **infiltración*** y el agua de escorrentía que se producirá, por ende acabará llegando al punto de desagüe. También se pueden mencionar las dimensiones de los puentes, bóvedas y vertidos de aguas y de material, entre otros. En resumen, en todos estos aspectos participa la intervención humana en el territorio.

Si bien los desastres a lo largo de la historia siempre han acaecido, en los últimos años se evidencia un aumento considerable. El gráfico 2.1 muestra el registro de inundaciones a nivel mundial, donde se observa un incremento progresivo. Las causas de este fenómeno pueden ser varias, desde generales como el cambio climático hasta las más locales como la vulnerabilidad intrínseca, las deficiencias o carencias de políticas de ordenamiento territorial, el crecimiento de la población, la migración del ámbito rural a las ciudades y la ocupación de espacios amenazados para vivir, lo que a su vez implica un aumento en la población expuesta, entre otras.

* Ver glosario

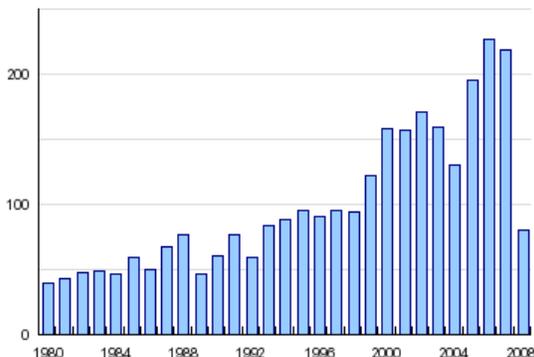


Gráfico 2.1. Número de inundaciones a nivel mundial.
Fuente "EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, Université Catholique de Louvain, Brussels, Bel."
Data version: v11.08

<http://www.preventionweb.net/english/hazards/statistics/?hid=62>
Consultado en línea en febrero 2010.

En El Salvador existen relatos históricos que hablan de inundaciones en la época de la conquista: “En la vertiente pacífica de Guatemala y El Salvador fue particularmente famoso, en la segunda mitad del siglo XVIII, “el diluvio de San Dionisio”, acaecido los días 8 y 9 de octubre de 1762. Este copioso temporal causó la ruina de Petapa. Inundada por el río Tulajá; en Sonsonate, después de 16 horas de intensas lluvias, el río Julepe rebasó su profundo cauce...” (Lardé y Larín, 2000).

El repaso de hemeroteca también aporta fotografías interesantes sobre las inundaciones históricas como las que se observan a continuación (fotos 2.1 y 2.2).

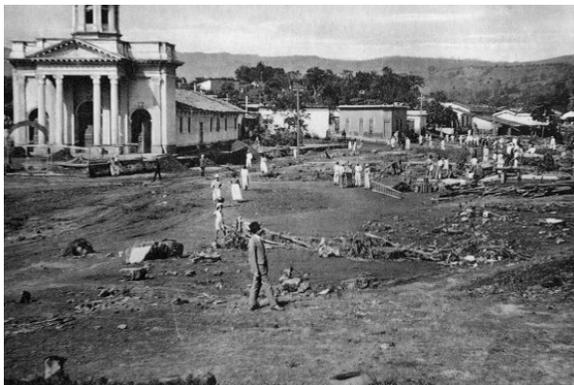


Foto 2.1. Casas destruidas por la inundación del 12 de junio de 1922 en barrio La Vega, San Salvador. Fuente: Jorge de Sojo



Foto 2.2. Inundación en San Salvador 1922. Fuente: Jorge de Sojo

Al recopilar datos a través de la prensa sobre este fenómeno en el país (sitio Web Desinventar), se descubre que los primeros registros existentes de inundaciones en el AMSS datan del año 1903. Y sobre la base de este inventario, se creó un gráfico (gráfico 2.2) para estimar el número de inundaciones sufridas por las comunidades de San Salvador y un

mapeo (fig. 2.2) para obtener una visión de los municipios que más han sufrido por estos eventos durante los más de 100 años de registro.

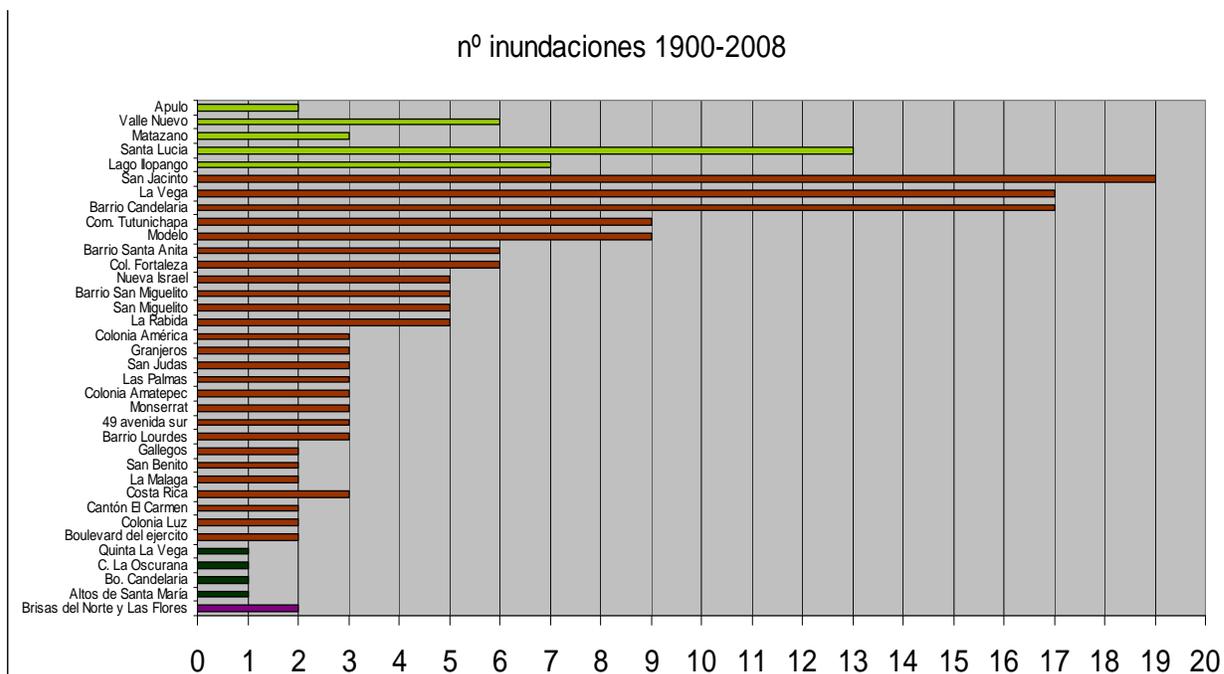


Gráfico 2.2. Número de inundaciones en el AMSS de 1900 a 2008

Fuente: Base de datos Desinventar <http://www.desinventar.org/sp/software/online.html>

Consultado en línea en febrero 2010.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta para las consideraciones que puedan extraerse del gráfico 2.2, es el año de establecimiento de cada comunidad. En San Jacinto y La Vega se han registrado 18 y 17 inundaciones respectivamente en un siglo. Eso significa aproximadamente 1 evento grave cada cinco años o, dicho de otra manera, una probabilidad anual del 20% de que ocurra. Pero, por ejemplo, la comunidad Nueva Israel creció notablemente como asentamiento formal, por el desplazamiento de población debido al terremoto de 1986, y según el gráfico ha sufrido 5 inundaciones graves en 22 años, lo que implica también 1 inundación grave cada 4 ó 5 años.

Si bien este gráfico tiene que ser considerado con cautela por la fuente selectiva de la que se deriva, se debe asumir que las inundaciones representadas son solo aquellas que realmente han producido daños considerables en estas comunidades, lo cual no implica que en época de invierno normal siempre se produzcan desbordamientos que ocasionan pequeñas pérdidas. Cabe decir que después de las graves inundaciones sucedidas en el año 2005 por el paso del huracán STAN, en San Jacinto y La Vega se realizaron obras de mitigación que alteraron las dinámicas hídricas del río Acelhuate, en este caso, que pudieron haber modificado las recurrencias de las inundaciones en esas zonas.

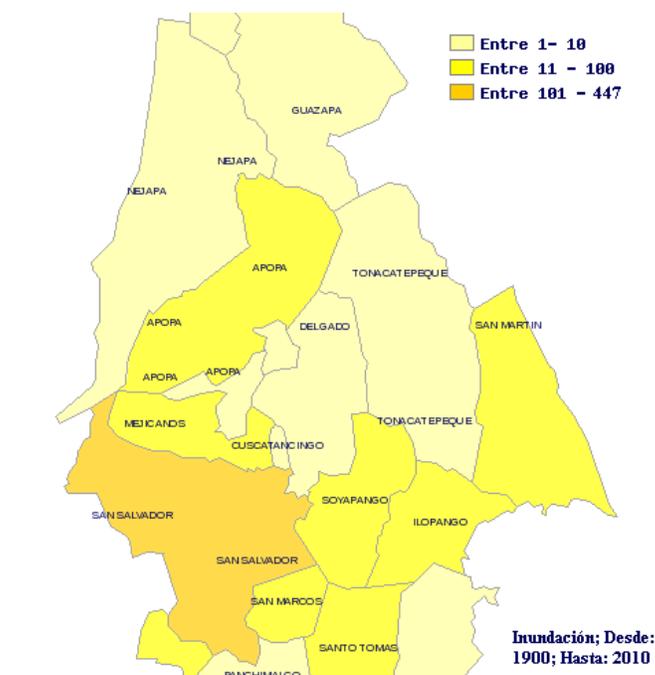


Figura 2.2. Número de inundaciones por municipio en el departamento de San Salvador entre 1900 y 2010.

Fuente: Base de datos Desinventar

<http://www.desinventar.org/sp/software/online.html>

Consultado en línea en febrero 2010.

En la figura 2.2 se observa que San Salvador es el municipio que más problemas presenta con más de 100 registros. La siguen Ilopango, San Martín, Soyapango, San Marcos, Mejicanos y Apopa con un rango de entre 11 y 100 registros. Por último estarían Nejapa, Tonacatepeque, Ciudad Delgado, Ayutuxtepeque y Cuscatancingo, con menos de 10 inundaciones registradas.

Por ejemplo, San Salvador presenta un rango de 100 inundaciones en un siglo, es decir, una probabilidad anual del 100% de producirse un evento grave en cualquier punto del municipio.

Estos datos obtenidos del análisis histórico de inundaciones pueden compararse con aquellos obtenidos a partir del análisis de los periodos de recurrencia de diferentes intensidades de lluvia y la modelización digital en diferentes puntos para estas intensidades. En este sentido del documento *Análisis de riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca del arenal de Monserrat*. SNET, 2003, se extrae la siguiente información:

“...En la práctica, se ha estimado que con intensidades 33 milímetros por hora de lluvia, la zona baja de la microcuenca del arenal de Montserrat es afectada por inundaciones, lo cual se comprueba con el modelo generado con PC- RASTER, con una intensidad de 35 milímetros por hora...”

Lluvias con una intensidad superior a 35 milímetros por hora tienen un periodo de recurrencia anual, por tanto la zona baja de la microcuenca del arenal de Monserrat se verá con alta probabilidad afectada por inundaciones todos los años.

También se realizó un taller con técnicos municipales del AMSS, de diferentes distritos de San Salvador y de los municipios de Cuscatancingo, Soyapango, Ilopango y Ciudad

Delgado, para que expusieran cuáles eran las comunidades con problemas de inundación más importantes en su municipio. La figura 2.3 muestra las comunidades citadas por ellos.

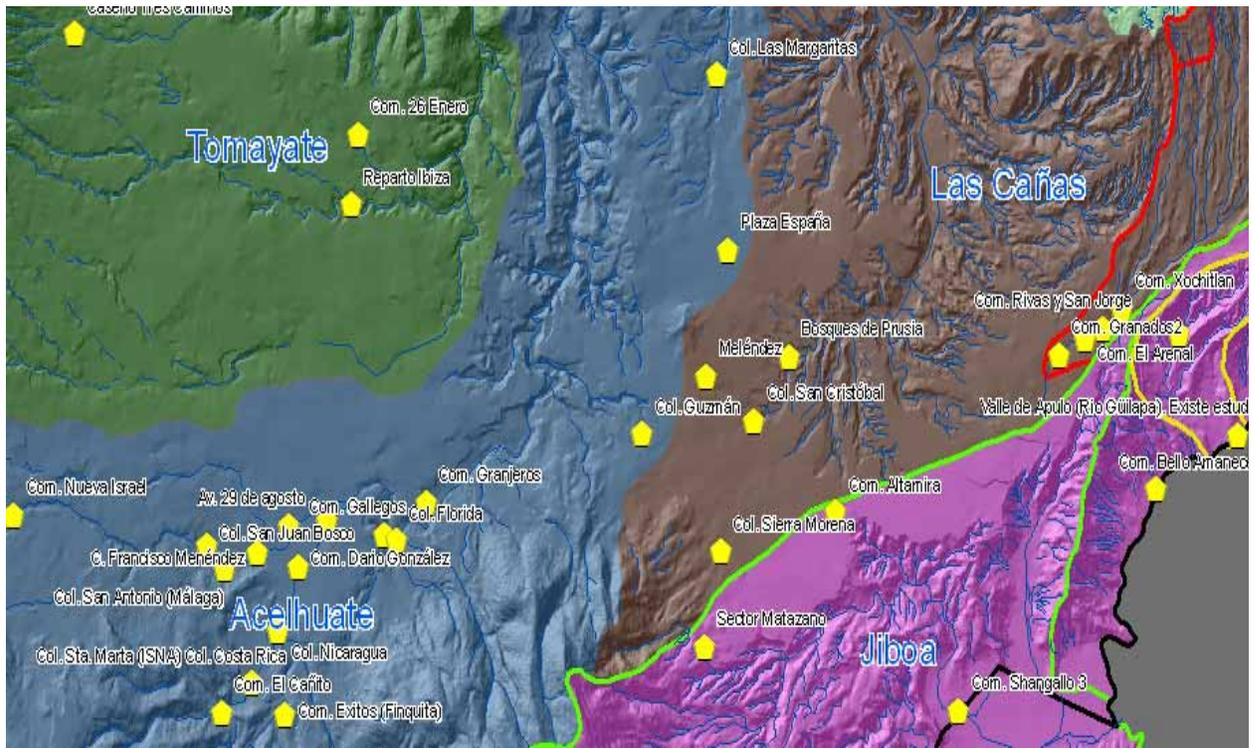


Figura 2.3. Comunidades con problemas de inundación según técnicos municipales del AMSS. Elaboración propia.

3. Marco conceptual

3.1. *Conceptualización de la Gestión de Riesgos en inundaciones*

Al hablar de inundaciones, no se puede obviar que se trata de uno de los fenómenos englobado dentro de los denominados riesgos hidrometeorológicos. Los términos de amenaza, riesgo, exposición, vulnerabilidad pueden ser aplicados a fenómenos naturales, sociológicos, tecnológicos, económicos, antrópicos, etc. Para el presente tema, las definiciones hacen referencia a las inundaciones y es bueno conocer su significado y ámbito de aplicación. Por el contexto geográfico de este trabajo y su posible futura difusión, la nomenclatura usada a continuación es la empleada por los organismos gubernamentales (SNET, 2005) y el USGS en las capacitaciones de formación a técnicos y población en El Salvador.

- **Amenaza.** Se trata del fenómeno natural, en el caso de las inundaciones, caracterizado por una **probabilidad de recurrencia*** y una magnitud de la manifestación determinada, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes, servicios y el medioambiente. También se usa el término peligrosidad (Hazard, en inglés) como sinónimo.
- **Vulnerabilidad.** Es el grado de daños que las personas u objetos pueden sufrir al manifestarse la inundación. Es un valor muy difícil de obtener, pues interviene una multitud de variables, desde económicas hasta sociales y políticas. Como es casi imposible la obtención de todas y cada una de las variables que la influyen, autores como Handmer y Grunfest (2001) proponen basarse en los parámetros de edad, género, estatus económico y densidad de población. La vulnerabilidad se manifiesta en condiciones débiles de un territorio y en las dificultades de la población expuesta a sufrir daño para recuperarse posteriormente.
- **Exposición.** La exposición está relacionada directamente con la vulnerabilidad. Es la ubicación sobre el terreno de los elementos (personas, bienes, infraestructuras, servicios y ecosistemas), determina la condición de un elemento a ser afectado por la inundación. Si un elemento está fuera del alcance de la amenaza, la exposición y, en consecuencia, el riesgo será nulo.
- **Riesgo.** Es la probabilidad de que la amenaza produzca daños en un lugar concreto y durante un período de tiempo definido, asociada a condiciones de vulnerabilidad. Como se puede observar en la definición, el riesgo puede ser expresado como la relación:

* Ver glosario

$$R = A \times V$$

Donde R es el riesgo; A es la amenaza; V es la vulnerabilidad (incluye exposición)

Otros autores consideran la exposición (E) una componente más en la relación, expresando el riesgo como:

$$R = A \times V \times E$$

Donde E es la exposición

- **Susceptibilidad**. Es la facilidad o propensión de determinadas zonas a ser inundadas. En este concepto, al contrario que en el de amenaza, no se toman en cuenta la frecuencia ni la magnitud del evento.

- **Desastre**. Es una situación social que se desencadena como resultado de la manifestación de la amenaza, provoca alteraciones graves e intensas en las condiciones de normal funcionamiento de una sociedad que no puede recuperarse de forma autónoma. Dichas alteraciones hacen referencia a la pérdida de vidas humanas, bienes materiales e infraestructuras, así como deterioro del medioambiente, entre otras. La manifestación del desastre se ve favorecida por condiciones de alta vulnerabilidad de la población.

- **Gestión del riesgo**. Proceso social complejo que conduce al planeamiento y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas orientadas a impedir, reducir, prever y controlar los efectos adversos de la inundación sobre la población, los bienes y servicios, y el medioambiente.

Con base en esta última definición, la gestión del riesgo tiene diferentes componentes de actuación que involucran a los principales actores que intervienen en todo el proceso, desde la identificación de la amenaza hasta la actuación en el momento en que se manifiesta.

- **Prevención**. Actividades diseñadas para proporcionar una protección permanente ante los desastres de origen natural y reducir los efectos de una catástrofe. Incluye la toma de medidas encaminadas a conocer mejor las amenazas que pueden afectar a un determinado lugar y prevé la modelización de escenarios de riesgos. Ejemplos concretos son la caracterización de las inundaciones, elaboración de mapas de amenazas y de riesgos, construcción de puentes en lugar de la utilización de vados, búsqueda de nuevas ubicaciones de los equipamientos públicos, sensibilizar a la población, etc.

- **Mitigación**. Aplicación del conjunto de medidas estructurales (por ejemplo, construcción de bordas o diques) y no estructurales (reforestación, limpieza de quebradas, etc.), encaminadas a la reducción de los efectos de las amenazas sobre la población y los bienes expuestos.

- **Preparación**. Es el conjunto de medidas encaminadas a la formación y organización de la población y los actores involucrados, su coordinación y procedimientos de comunicación. Ha

de incluir actividades encaminadas a la prevención de desastres así como de respuesta rápida y efectiva ante estos (planificación de las acciones de alerta, evacuación, búsqueda y rescate). Ejemplos concretos son la formación de comités de emergencia, señalización de rutas de evacuación o implementación de Sistemas de Alerta Temprana (SAT).

3.2. Introducción a los ríos e inundaciones

La cuenca hidrográfica es un territorio delimitado por la línea divisoria de aguas donde existe un sistema hídrico superficial. Está conformado por una red de cursos de agua que concentran caudales hasta formar un río o quebrada principal que vierte sus aguas en otro, en lago o en el mar.

La **divisoria de aguas o parte aguas*** es la línea de cumbres, contorno de territorio de mayor altitud, que rodea la red hidrográfica.

Toda cuenca hidrográfica es una unidad natural y como tal es ideal para la planificación, manejo y gestión de los recursos del territorio; en este caso, de los recursos hídricos.

Aunque los ríos no representan una gran proporción del agua de la Tierra, los principales han esculpido el paisaje. Uno de los aspectos importantes de un río es el área que drenan, esa superficie de tierra que recogen sus aguas superficiales y en algunos casos las aguas subterráneas.

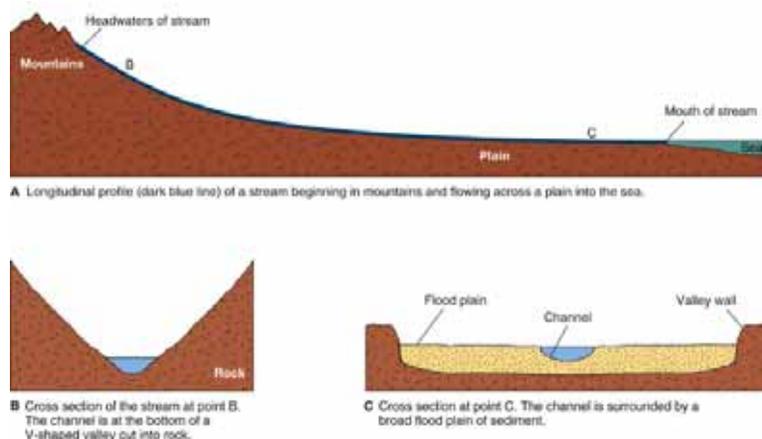


Figura 3.1. Perfiles de un río.

<http://www.indiana.edu/~g103/G103/week6/rivprof.jpg>

Consultado en línea en febrero 2010.

Como se señaló antes, arroyos y ríos tienden a fluir desde la cabecera hacia el nivel de base, a menor altitud. El gradiente es una medida de hasta qué punto un río descende en altitud cuando recorre una cierta distancia horizontal, es la caída en la elevación del río, dividido por la distancia horizontal que ha recorrido, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{grad}(m/km) = \frac{\text{cambio_elevacion}}{\text{dist_horizontal}}$$

* Ver glosario

El gradiente de un río tiende a ser más alto en las cabeceras y a disminuir prácticamente a cero en el nivel de base (figura 3.1). Los ríos suelen mostrar tres diferentes comportamientos.

- **Erosión*** es la ruptura y disgregación de material.
- **Transporte*** es el movimiento de material por el río.
- **Depósito*** es la acumulación de material a lo largo de las orillas y lechos de un río.

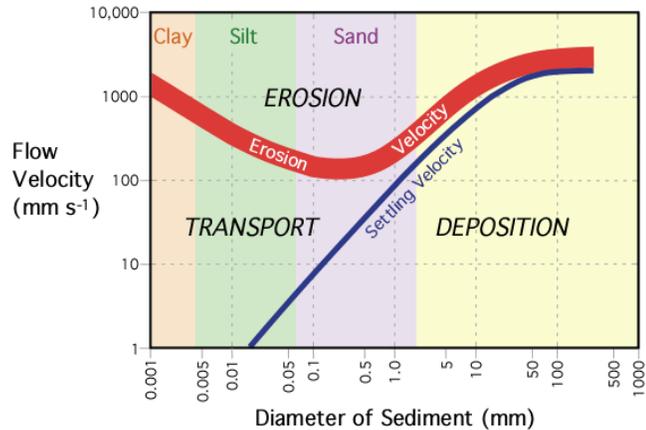


Figura 3.2. Curva de Hjulström.

<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/images/hjulstrom.gif>

Consultado en línea en febrero 2010

La curva de erosión, transporte y depósito de Hjulström (fig. 3.2) indica la velocidad a partir de la cual las partículas de diferentes tamaños empiezan a depositarse. Los materiales en hacerlo primero son los más pesados, mientras que los más pequeños son arrastrados del lecho del cauce y los sedimentos más vastos se depositan formando barras longitudinales en el fondo del canal.

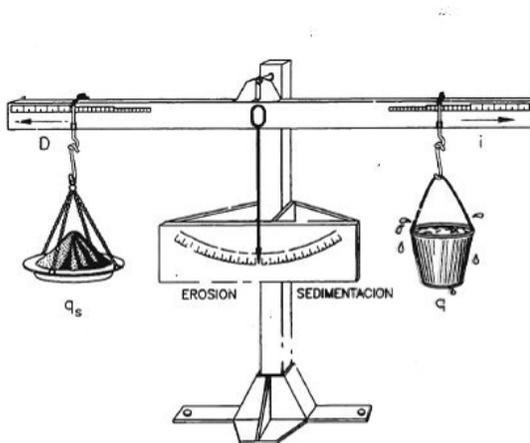


Figura 3.3. Diagrama de Lane.

Fuente: Martín Vide, 2002.

Para analizar el equilibrio de un río, Lane (1955) propuso 4 variables que diagramó haciendo una analogía con una balanza (fig.3.3). Por un lado están el caudal sólido (Q_s) y el tamaño de sedimento (D); y por el otro el caudal líquido (Q) y la pendiente del fondo (i). Dependiendo hacia donde se desplace la aguja de la balanza en función de que lado tenga más peso, indicará si se produce erosión o **acreción*** (sedimentación).

* Ver glosario

Relacionado con el concepto de erosión, el descenso o retroceso de las orillas de un río o quebrada puede ser producto de dinámicas naturales o de obras realizadas.

En la naturaleza es muy raro encontrar cauces rectos y regulares. En cambio, se distinguen dos morfologías fluviales típicas. La primera es el cauce trezado. Es muy ancho y está compuesto por una multiplicidad de cauces menores entrelazados o trezados, que dejan islas sumergibles entre sí al unirse y separarse.

La segunda morfología típica es la de un cauce sinuoso o con **meandros***. El cauce es único pero forma curvas. La más mínima imperfección de la alineación recta, ya sea por una causa interna o por una causa externa accidental, puede generar meandros (figura 3.4. Martín Vide, 2002).

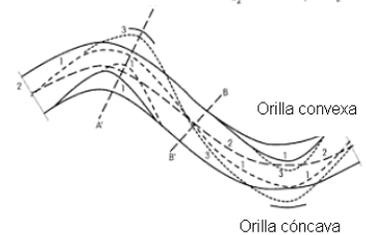


Figura 3.4. Sinuosidad de los ríos.
Fuente: Martín Vide, 2002.

Las características más destacables de un meandro son aquellas que tienen que ver con su dinámica de erosión y de depósito. En las partes externas o cóncavas de la curva, la velocidad del flujo es mayor debido a la energía centrífuga.

Esto provoca la erosión, socavación y por ende migración de la propia zona de meandro. Por el contrario, en la parte interna o convexa, la velocidad es menor y eso permite el depósito de material generando los denominados **point bar***, que son estructuras acrecionales sedimentarias en forma de media luna (fig. 3.5.) (Enric Banda, Monserrat Tornet. Geología).



Figura 3.5. Canal meandriforme.
Fuente: Enric Banda, Monserrat Tornet. Geología.

Cada sistema fluvial se provee de diferentes fuentes de agua que incluyen los arroyos **tributarios*** y las escorrentías superficiales y subterráneas. La superficie que contiene los afluentes y la escorrentía superficial que alimenta el río se llama la cuenca de drenaje, como se ha mencionado antes.

* Ver glosario

Según la OEA (1993), las llanuras de inundación son en general aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia y ubicados en zonas adyacentes a los ríos y cursos de agua. Por tanto, son "propensas a inundación" y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de estas excede un nivel aceptable.

Las inundaciones suelen ser descritas en términos de su frecuencia estadística. Una inundación de 100 años de periodo de retorno o recurrencia o una llanura de inundación de 100 años de periodo de retorno se refiere a un evento o un área expuesta a un 1% de probabilidad que ocurra una inundación de una determinada magnitud en cualquier año dado. Este concepto no significa que una inundación ocurrirá sólo una vez cada 100 años. Si ocurre o no en un determinado año, no cambia el hecho de que siempre hay una probabilidad del 1% de ocurrencia al año siguiente.

Comúnmente se utilizan los límites de una inundación de 100 años en programas de mitigación en llanuras de inundación para identificar las áreas donde el riesgo es significativo. Se puede seleccionar cualquier otra frecuencia estadística para un evento de inundación, según el grado de riesgo que se decida evaluar, por ejemplo, llanuras que se pueden inundar con periodos de retorno de 5 años, 20 años, 50 años ó 500 años (Fernández-Lavado, 2006).

3.3. Factores condicionantes

Los factores condicionantes son aquellos intrínsecos del sistema, que caracterizan de una manera propia el área sobre los que una amenaza puede actuar. Entre los diferentes factores condicionantes que pueden afectar en la generación de una inundación se encuentran:

Usos de suelo

Uso de suelo año 2002	Km ²	%
Arbustivo	29.5	4.97
Bosque denso	162.8	27.44
Bosque poco denso	68.9	11.61
Cuerpo de agua	0.0259	0.004
Cultivo	155.36	26.19
Llanura aluvial	4.52	0.76
Sin vegetación	1.53	0.26
Tejido urbano continuo	129.03	21.75
Tejido urbano discontinuo	41.61	7.01

Tabla 3.1. Usos de suelo del AMSS a partir de la ortofoto de 2002. Elaboración propia.

Sin duda alguna la condición del uso del suelo es un factor determinante sobre la generación de inundaciones en ámbito urbano. La construcción informal muy cerca o incluso dentro del cauce son factores evidentes. Pero mas allá de estas situaciones, lugares que nunca antes padecían el fenómeno, pues la sección hidráulica absorbía perfectamente el caudal máximo o pico, sufren inundaciones después de una severa impermeabilización por urbanización

aguas arriba. La tabla 3.1 muestra el análisis de uso de suelo del AMSS con base en las **ortofotos*** del 2002 (ver Anexo I. Mapa usos del suelo).

Dimensiones de la cuenca

La superficie de la cuenca claramente determina la cantidad de agua de lluvia que puede recoger. El tamaño y forma de una cuenca vienen determinados generalmente por las condiciones geológicas del terreno. Existen cuencas de muy distinta extensión: desde grandes, como la amazónica, hasta las de áreas reducidas recorridas por pequeñas corrientes. Cuanto mayor sea la superficie, mayor será el caudal que puede canalizarse y en consecuencia la intensidad de la inundación que puede generar (Fernández-Lavado, 2006).

Pendiente

La **pendiente*** se define como la inclinación que genera una recta entre dos puntos determinados. Influye en la energía cinética que una masa de agua puede llegar a alcanzar.

En el caso del AMSS, el punto más alto lo define el volcán de San Salvador con 1950 msnm en El Picacho. A medida que los drenajes avanzan por las laderas del volcán, se adentran en las planicies y suavizan las pendientes pronunciadas. Las **curvas hipsométricas*** dan idea del perfil de la cuenca y se puede asociar con la pendiente. En el apartado 5.1, se especifican tanto la pendiente como el relieve hipsométrico de cada una de las cuencas estudiadas.

Tierra blanca

Es uno de los materiales más abundantes en el AMSS y es el resultado de diferentes eventos eruptivos de la caldera de Ilopango. Se diferencian 4 erupciones diferentes, la última TBJ (**Tierra Blanca Joven***) fue la de mayor extensión e impacto. Debido a las características de poca cohesión de los depósitos de caída y de los flujos piroclásticos de TBJ, son muy susceptibles a la erosión y movilización, gracias a las precipitaciones prolongadas y/o intensas y a los movimientos sísmicos fuertes que ocurren en el país. Son materiales fácilmente erosionables por las crecidas de los ríos en la estación lluviosa.

Se produce socavamiento en la base, lo que hace inestable los taludes que se caen dejando paredes verticales. Este proceso hace que los ríos que atraviesan materiales de la TBJ tengan sus canales con secciones bastante anchas, como sucede en el río Las Cañas.

Estos materiales por sí solos no generan impactos, pero sí la actividad humana que se desarrolla donde estos depósitos se localizan (Hernández, 2004). El proceso de erosión se incrementa notablemente con la deforestación, pues se desarrollan con facilidad surcos y **cárcavas***.

* Ver glosario

Red de drenaje* La erosión generada por el agua al concentrarse la escorrentía genera los canales, que tienden a juntarse en un solo curso de agua en dirección a la desembocadura, pero pueden tener diferentes patrones.

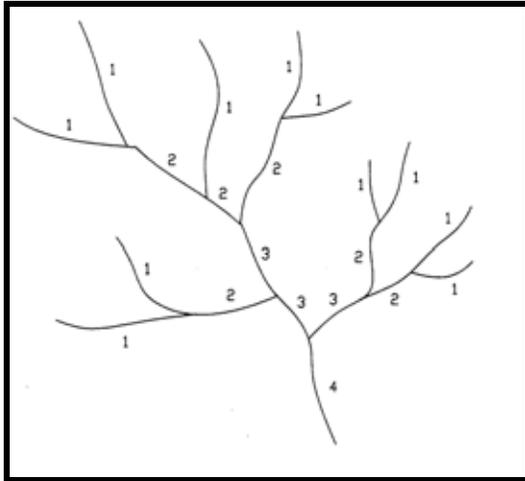


Figura 3.6. Ejemplo de ordenación de una red hidrográfica según el criterio de Strahler.

La densidad de drenaje es quizás uno de los parámetros más importantes en **morfometría***, ya que habla de la dinámica erosiva de la red hidrográfica.

Los tipos de ríos se han clasificado con base en la forma de ramificación de cualquier cuenca hidrográfica y de acuerdo con su orden en una jerarquía que se define como: ríos de primer orden, que no tienen **afluentes***; los de segundo se forman al unirse los de primer orden; los de tercer orden, al unirse los de segundo y así sucesivamente (fig. 3.6). Esta clasificación, realizada a escala 1:25.000, permite comparar cuencas entre sí. Relacionado con este tema, se describen en el apartado 4.1 algunos **índices morfométricos*** de la

cuenca y de la red de drenaje, que permiten caracterizar el comportamiento hidrológico de la cuenca, en cuanto a su capacidad para la evacuación de grandes volúmenes de agua y el comportamiento hídrico de la misma.

3.4. Factores desencadenantes. Fenómenos atmosféricos

Grandes cantidades de lluvia sobre una misma área geográfica pueden conllevar un aumento de los niveles de caudal de los ríos y quebradas. Más concretamente las precipitaciones de gran intensidad son las que generan las avenidas rápidas o **flash-flood***. Según el estudio *Análisis de riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca del arenal de Monserrat*. (SNET, 2003), hay inundaciones frecuentes en algunas zonas del AMSS a partir de intensidades de 50 mm/h.

Es por eso que una aproximación al clima en El Salvador ayudará a comprender mejor la compleja dinámica hidrometeorológica, donde se mezclan huracanes, tormentas locales,

* Ver glosario

tormentas asociadas a la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) y el fenómeno de El Niño.

Koëppen publicó en 1936 una clasificación climática completada posteriormente en 1956 por dos de sus alumnos. Según esta clasificación, el clima que habría en El Salvador corresponde al tipo A_w (tabla 3.2):

variable	Clasificación	Características
Temperatura	A	Clima lluvioso tropical. La temperatura media mínima anual es superior a los 18°C.
Humedad	w	Estación seca en verano (noviembre-abril). Lluvias principalmente en invierno (abril-noviembre) con P_{media} anual ~2000 mm.
SABANA TROPICAL		

Tabla 3.2. Clasificación climática de Koëppen (1956) para El Salvador.

Datos aportados por el SNET, a partir de un registro mensual de precipitaciones llevado a cabo durante 30 años, hasta 2000, reflejan tres zonas en el país según la cantidad de lluvia recibida (tabla 3.3):

ZONA	PRECIPITACIÓN ANUAL
Zona litoral	Costa – 1600 mm Cordillera oriental – 1800 mm Cordillera occidental – 2200 mm
Valles interiores	Occidente – 1700 mm Oriente -1400 mm
Cordillera norte	> 2300 mm

Tabla 3.3. Distribución anual de lluvia en El Salvador según geografía. La presente área de estudio corresponde a los valles interiores (resaltada en negrita). A partir de datos de SNET.

Esta lluvia, como ya se ha apuntado en la descripción del tipo clima, se concentra en la estación lluviosa, de finales de mayo a mediados de octubre, Torrecilla et al. (2003). Durante la estación seca hay un lapso en el que no hay un solo milímetro de precipitación. Por eso el

interés se va a concentrar en la época cuando la probabilidad de que se manifieste el factor desencadenante de la lluvia es más elevada que en el resto del año.

A continuación se describen los principales fenómenos atmosféricos que afectan a Centroamérica.



Figura 3.7. Zona de Convergencia Intertropical. Durante la época de invierno, la ITCZ se desplaza hacia latitudes superiores.

http://www.newmediastudio.org/DataDiscovery/Hurr_ED_Center/Stages_of_Hurricane_Dev/ITCZ/ITCZ.html

Consultado en línea en febrero 2010

La Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) es una región de los trópicos caracterizada por lluvias intensas donde concurren vientos que soplan hacia el noroeste (provenientes del sur del Ecuador) y vientos que soplan hacia el suroeste (provenientes del norte del Ecuador). La posición de la ITCZ varía según la época del año (fig. 3.7) e influye en las épocas seca y húmeda. Esta convergencia provoca el ascenso de los vientos húmedos y cálidos que posteriormente sufren un enfriamiento y condensación en forma de nubes y lluvia. Si las condiciones son favorables, algunas de estas tormentas pueden convertirse en huracanes.

Easterly waves (fig. 3.8). Este fenómeno nace en el noroeste del continente africano, debido al gradiente térmico entre el desierto del Sahara y la zona costera del Golfo de Guinea. Se desplaza hacia la zona occidental del Atlántico transportado por una zona de corrientes en la parte baja de la troposfera, circulando entre los 5 y los 15° Norte. Se cree que el 58% de las tormentas tropicales y huracanes menores son originados por las *easterly waves*; mientras que la generación de huracanes



Figura 3.8. Easterly Waves. Movimiento de bajas presiones que se mueve de este a oeste del Atlántico <http://www.nsbp.org/en/articles/printview.asp?195> Consultado en línea Febrero 2010.

de gran intensidad (categoría 3 o más en la escala Saffir-Simpson), estaría sobre el 83% (Landsea, 1993). Muchas de estas depresiones pueden cruzar al Océano Pacífico.

Fenómenos asociados a las características orográficas.

Cuando una masa de aire se encuentra con una barrera física a la que no puede rodear o atravesar, lo que frecuentemente hace es intentar pasar sobre de ella. A este fenómeno se le llama levantamiento orográfico (Figura 3.9). En este caso, la masa de aire caliente y húmedo que llega del Pacífico se encuentra con la cordillera del Bálsamo y el volcán de San Salvador, o también con la cordillera norte del país, entonces hace que el aire ascienda rápidamente, se enfríe debido a una **expansión adiabática*** de aproximadamente 10°C cada 1000 metros y se condense provocando fuertes lluvias.

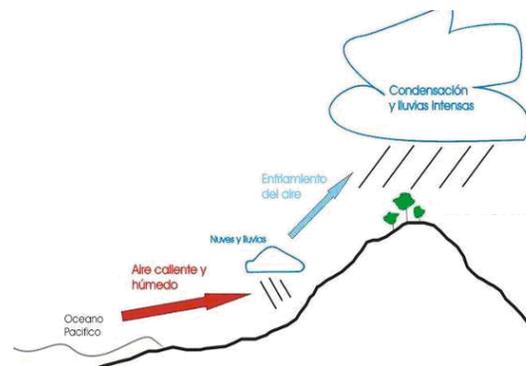


Figura 3.9. Levantamiento orográfico. Fernández-Lavado (2005).

aire ascienda rápidamente, se enfríe debido a una **expansión adiabática*** de aproximadamente 10°C cada 1000 metros y se condense provocando fuertes lluvias.

El fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS). En realidad el ENOS es un fenómeno que engloba dos componentes:

Durante el siglo XIX unos pescadores peruanos percibieron que la corriente fría que se desplazaba hacia el norte de sus costas cesaba en pro de otra corriente más cálida y que avanzaba hacia el sur. Se producía un aumento de temperatura anómalo en el Pacífico. Le llamaron El Niño (niño Dios) porque sucedía en diciembre.

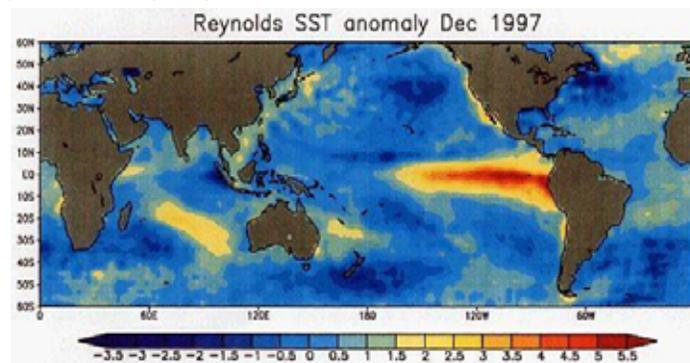


Figura 3.10. Fenómeno de El Niño 1997. Se observa un aumento de la temperatura de la superficie del océano en la zona oriental del Pacífico.

<http://atlas.snet.gob.sv/atlas/files/FenomenosMeteorologicos/ElFenomenoNino.html>
Consultado en línea en febrero 2010.

* Ver glosario

Ya en el siglo XX se descubrió un cambio asociado a las presiones atmosféricas del Pacífico y el Índico. Concretamente con el aumento de presión en el Océano Pacífico tiende a haber baja presión en el Índico. Se le denominó Oscilación del Sur y provoca la circulación del aire situado en altura, desde el oeste hacia el este del Pacífico. Por esto último, el ENOS tiende a suprimir la actividad de los huracanes provenientes del Atlántico, pero hace que aumente en el Pacífico.

Entonces por un lado está el componente de la temperatura asociada al agua del mar, EN (fig. 3.10), y por el otro la componente asociada a las presiones atmosféricas (OS). La ENOS suele manifestarse entre diciembre y marzo. Dura un período de entre seis a dieciocho meses y se repite cada dos a siete años.

Las consecuencias de El Niño debidas a esa migración del agua más caliente del Pacífico occidental hacia el este, son diversas. Por ejemplo, durante el evento sucedido en el 1982-83, se observaron diversas modificaciones en el patrón climático resumidas en el gráfico 3.1.

El fenómeno ENOS tiene un contrapuesto al que se le denominó La Niña (gráfico 3.1) cuyo efectos vienen a ser totalmente contrarios. Las corrientes cálidas se desplazan de este a oeste, lo que produce una temperatura inusualmente baja en el Pacífico. Durante La Niña tiende a haber más presencia de huracanes provenientes del Atlántico generados por las *Easterly waves*. De hecho, los huracanes Fifi (1974) y Gilbert (1988) se produjeron en un contexto climático predominado por este fenómeno. Y durante el período de 1998 se formaron catorce tormentas tropicales, diez de las cuales evolucionaron en huracanes. Uno de ellos fue El Mitch. El año 2005 fue técnicamente neutral, con la presencia en el país del huracán Stan. El año 2008 empezó con anomalías térmicas negativas con presencia de intensas lluvias en julio y evolucionó hacia anomalías positivas para finales del año 2009 cuando se tuvo la presencia de Ida en el país.

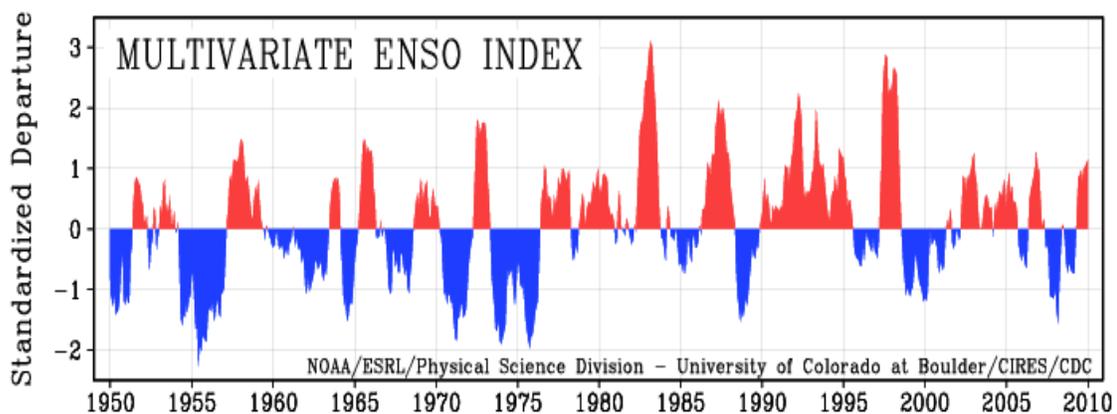


Gráfico 3.1. Evolución de los fenómenos de El Niño (en rojo) y La Niña (en azul).
www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/faq.html Consultado en línea en febrero 2010.

El huracán Mitch (1998)

El huracán Mitch sienta uno de los precedentes más desastrosos en la historia de estos eventos hidrometeorológicos. Tiene el triste honor de ser el cuarto peor acontecimiento atmosférico después del “Gran Huracán” de 1780 y comparable a los huracanes Fifi en 1974 o Gilbert en 1988. El 21 de octubre de 1998 se originó una depresión al sur del Mar del Caribe. Su progresión y reactivación fue realmente rápida. Para el día 22 de octubre ya se había convertido en tormenta tropical y se le asignó el nombre de Mitch. Entre el 23 y el 26 del mismo mes, la intensidad aumentó considerablemente y se convirtió en un



Figura 3.11. Vista satélite del huracán Mitch.
<http://www.osei.noaa.gov/mitch.htm>
 Consultado en línea en febrero 2010.

fuerte huracán con vientos de hasta 300 km/h (fig. 3.11). Se le otorgó la categoría máxima en la escala Saffir-Simpson, es decir, cinco. La trayectoria descrita (fig. 3.12) fue difícil de pronosticar pese a los avances científicos. La confluencia entre una cuña marítima y continental de altas presiones desde el este y el norte, el ascenso de la ITCZ desde el sur y el empuje de un núcleo de bajas presiones que avanzó desde el pacífico hicieron muy particulares sus efectos sobre todo en territorios hondureño, nicaragüense y salvadoreño (Guinau, 2002).

Los efectos que tuvo en El Salvador, deslizamientos e inundaciones, dejaron un saldo de 374 muertes y 55,864 desplazados. Además se perdió casi el 80% de cosecha de maíz y tanto el café como el azúcar también resultaron muy afectados (USGS Hurricane Mitch Program Countries, 2004). La CEPAL cifró el total de daños producidos en el país en 398.1 millones de US dólares.



Figura 3.12. Trayectoria del huracán Mitch 98. (Ver referencias: Long, Cynthia)
 Consultado en línea en diciembre 2005.

Si bien el huracán Mitch tuvo consecuencias devastadoras para muchas partes del interior del país, también sentó un triste registro en el AMSS.

El huracán Stan (2005)

Afectó a El Salvador entre el 1 y el 5 de octubre de 2005, precisamente pocos días después de que entrara en erupción el volcán de Santa Ana. La onda tropical se inició en las costas de África el 17 de septiembre y se convirtió en un periodo corto de tiempo en huracán categoría 1 en la escala de Saffir-Simpson (figura 3.13). Generó hasta cantidades de 500 mm de lluvia en ciertos lugares, causó inundaciones y desprendimientos en los países centroamericanos de Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua además de Haití y el sur de México. Los territorios más afectados fueron Guatemala y El Salvador, donde se produjeron el mayor número de fallecidos y decenas de comunidades y pueblos quedaron completamente aislados. Se estimaron pérdidas por valor de \$1 mil millones.

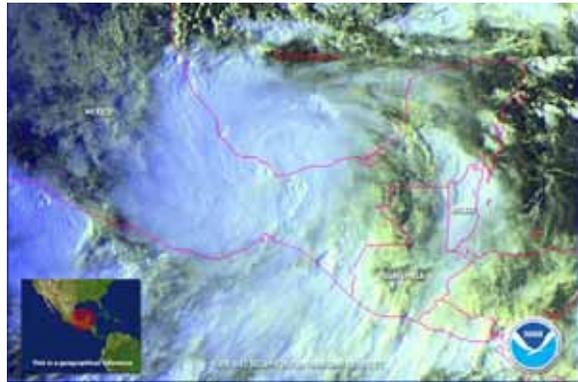


Figura 3.13. Huracán Stan.

[http://www.osei.noaa.gov/Events/Tropical/Gulf_Mexico/]
Consultado en línea Febrero 2010.

La depresión tropical Ida (2009)

Entre el 4 y el 9 de noviembre de 2009, la depresión tropical Ida afectó la región centroamericana. Se formó a partir de una perturbación ubicada al sureste del Mar Caribe y rápidamente se fortaleció en tormenta tropical (Figura 3.14).

A partir del día miércoles 4 de noviembre, Ida, el noveno sistema con nombre de la cuenca del Atlántico de acuerdo al Centro Nacional del Huracanes, se ubicó

en las costas caribeñas de Nicaragua, cercana a la isla de Bluefields. Esta tormenta, junto a un sistema de baja presión ubicado al sur de las costas Pacíficas de El Salvador, comenzaron a activar la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), lo que produjo lluvias de moderada intensidad, dispersas y con mayor frecuencia en la franja costera, cordillera volcánica, zona central y oriental del país.

El día jueves 5 de noviembre, la tormenta tropical IDA se fortaleció por unas horas y fue reclasificada a huracán categoría 1, pero luego, al ingresar a territorio nicaragüense, fue



Figura 3.14. Depresión tropical Ida. Fuente: NOAA.

[http://www.osei.noaa.gov/Events/Tropical/Gulf_Mexico/]
Consultado en línea en febrero 2010.

degradado a Tormenta Tropical y continuó debilitándose, desplazándose hacia el noroeste. Así mismo, la baja presión continuó semi-estacionaria frente a las costas de Guatemala y El Salvador. El día viernes 6 de noviembre, la tormenta perdió fuerza y se convirtió en depresión tropical, siguió su movimiento sobre el territorio de Honduras con tendencia a moverse hacia el norte-noroeste. Sin embargo, una baja presión persistía al suroeste de El Salvador desplazando abundante humedad hacia ese territorio (MARN, 2009).

Todos los registros pluviométricos de las estaciones situadas en el AMSS superaron los 150 mm de lluvia acumulada entre los días 7 y 8 de noviembre. Cabe destacar que se llegaron hasta los 355 mm en el volcán de San Vicente donde ocurrieron diversos **lahares*** que provocaron graves daños, pérdida de vidas humanas y materiales.

3.5. Análisis de precipitaciones

Este apartado ha sido adaptado del análisis de precipitaciones ya realizado para el estudio: “Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeológicos. Directrices para la ordenación territorial del Municipio de Nejapa” realizado por Geólogos del Mundo (Ponce de León et al., 2003).

El análisis de las precipitaciones es importante en la evaluación y predicción de la amenaza natural del área de estudio, pues es uno de los principales factores desencadenantes de los procesos de erosión, desbordamiento e inundaciones. Para ello, es necesario tener información sobre la magnitud de las precipitaciones ocurridas en el pasado y sobre los fenómenos meteorológicos que las producen. Por eso, para la elaboración del análisis del AMSS se han recopilado datos históricos de lluvia recogida en 4 estaciones de la zona. Sus nomenclaturas y coordenadas quedan recogidas en la tabla 3.4.

Estaciones	msnm	Coordenadas geográficas	
		Latitud Norte	Longitud Oeste
Aeropuerto de Ilopango	615	13° 41.9'	89° 16.9'
San Salvador Observatorio	700	13° 42.1'	80° 12.3'
Popa Insinca	420	13° 47.8'	89° 10.8'
El Boquerón	1800	13° 44.1'	89° 16.9'

Tabla 3.4. Ubicación de las estaciones con registro de precipitaciones. Fuente: SNET.

Aunque los datos de precipitaciones de las cuatro estaciones no tienen un registro completo, a partir de ellos se han obtenido los datos mensuales, anuales, las medias y las máximas, a fin de obtener un análisis detallado de las series. La falta de datos y la dificultad del acceso a

* Ver glosario

los que existen es un problema recurrente a la hora de la realización de estudios de caracterización del territorio y es un factor limitante para las intervenciones en la reducción de riesgos por inundaciones.

Precipitaciones anuales

Las precipitaciones anuales acumuladas, recogidas en el período de entre 1969-2002, han sido representadas en el gráfico 3.2, a partir del tratamiento de los datos elaborados. En ella se observa que hay una oscilación anual entre los 1.100 mm y los 2.250 mm en el conjunto de las estaciones, excepto la de El Boquerón, donde los rangos son entre 1.745 mm y 2.630 mm.

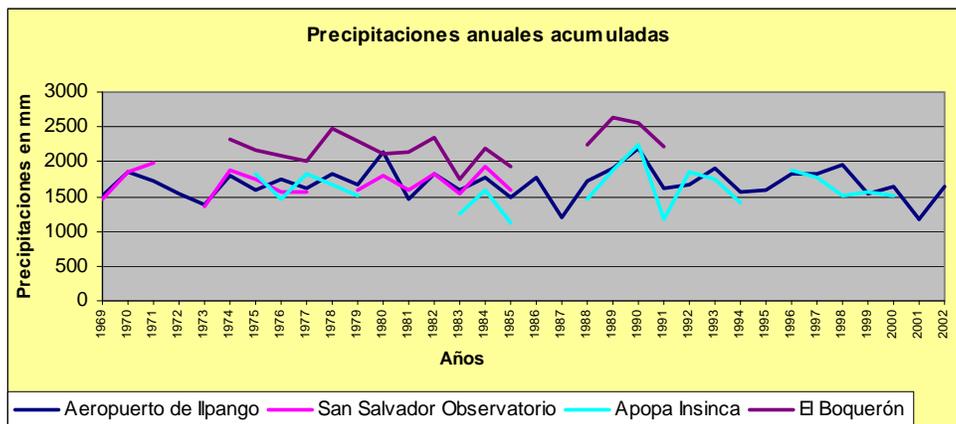


Gráfico 3.2. Precipitaciones anuales acumuladas en las diferentes estaciones (1969-2002)
Elaboración propia.

Las precipitaciones siguen un patrón oscilante a lo largo del tiempo, con máximos de lluvias que, en algunas estaciones, superan las medias consideradas. Las precipitaciones anuales medias acumuladas se representan en la tabla 3.5.

Estaciones	Precipitaciones anuales medias (mm)
Aeropuerto de Ilopango	1683.7
San Salvador Observatorio	1668.3
Apopa Insinca	1615.1
El Boquerón	2214.9

Tabla 3.5. Precipitaciones anuales medias acumuladas (mm)

En la estación de El Boquerón, se registran las medias más elevadas; en el resto, las variaciones medias entre ellas apenas superan los 70 mm.

Se ha realizado un análisis de la relación entre la precipitación media acumulada en cada una de las estaciones y la altura a la que se encuentra. Como se observa en el gráfico 3.3,

existe una cierta correlación entre precipitación y altura, pues se registran las máximas precipitaciones en las cotas más altas y las mínimas en las inferiores.

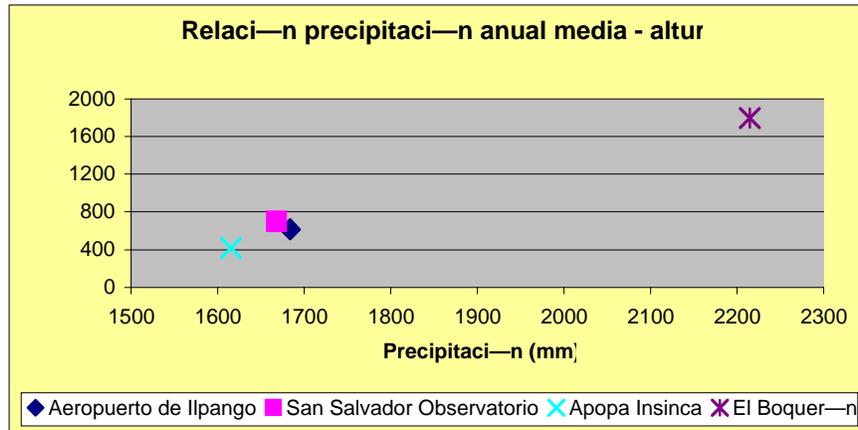


Gráfico 3.3. Precipitaciones anuales medias acumuladas frente a altura de las diferentes estaciones. Elaboración propia.

Precipitaciones mensuales

Las precipitaciones mensuales se concentran en la estación húmeda, que abarca los meses de mayo a noviembre, mientras que en el resto de los meses, es escasa o nula. En el gráfico 3.4 se ha representado la distribución de lluvias mensuales medias a partir del tratamiento de los datos diarios, registrados en cada estación durante las series anuales disponibles. Se observa claramente esta distribución estacional y es en los meses de junio, julio, agosto y septiembre donde se registran las máximas precipitaciones.

Las lluvias recogidas durante los meses más lluviosos oscilan entre los 270 mm y 340 mm, menos la estación de El Boquerón, donde hay dos picos de precipitación en los meses de junio y septiembre, cuando llega hasta 410 y 445 mm respectivamente.

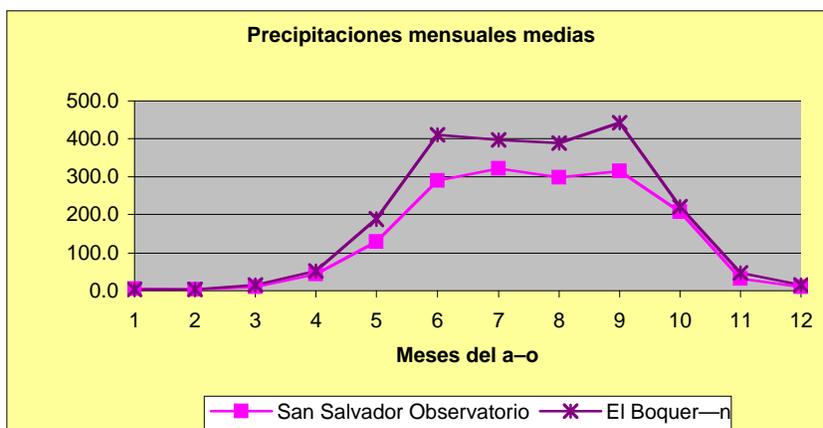


Gráfico 3.4. Precipitaciones mensuales medias. Elaboración propia.

Precipitaciones máxima diarias

Las precipitaciones diarias, más concretamente su **intensidad***, son las que van a condicionar la ocurrencia o no de la amenaza de inundaciones, determinan su magnitud. Debido a la ausencia de datos disponibles de intensidades horarias, se ha recurrido a procesar las precipitaciones diarias acumuladas. Entonces con este registro, más la tipología de precipitaciones características de la región y los datos facilitados de forma directa por parte de la población, se relacionan las lluvias con la ocurrencia de eventos catastróficos para predecir la posibilidad de amenazas por inundación y su magnitud.

Las altas acumulaciones diarias de lluvia suelen tener la peculiaridad de estar asociadas a fenómenos tormentosos de gran intensidad, que pueden llegar a precipitar toda el agua en una o dos horas. Lo que provoca una situación de aumento repentino de escorrentía superficial que moviliza las masas de terreno en las zonas superiores.

A partir del estudio estadístico de las máximas lluvias diarias, se puede calcular cada cuánto tiempo podría repetirse una lluvia de magnitud determinada con el fin de estimar la peligrosidad de desbordamientos e inundaciones que puedan afectar las áreas habitadas.

Se han extraído los datos de las máximas precipitaciones diarias ocurridas en cada uno de los años de las series de la estación de El Boquerón, Ilopango y San Salvador (tabla 3.6.) Estos valores serán utilizados en un cálculo estadístico de probabilidad de ocurrencia.

Estaciones	N.º de años de registro de las series
Aeropuerto de Ilopango	34
San Salvador Observatorio	22
El Boquerón	24

Tabla 3.6. Años de registro de precipitaciones disponibles desde 1969 hasta la actualidad (fuente: SNET).

Gumbel			Gumbel			Gumbel		
T	Precipitación (mm)	Prob(Pmax<=x)	T	Precipitación (mm)	Prob(Pmax<=x)	T	Precipitación (mm)	Prob(Pmax<=x)
2	94.72	0.5	2	84.56	0.5	2	94.50	0.5
5	138.89	0.8	5	132.70	0.8	5	127.86	0.8
10	168.13	0.9	10	164.58	0.9	10	149.94	0.9
25	205.07	0.96	25	204.86	0.96	25	177.85	0.96
50	232.48	0.98	50	234.74	0.98	50	198.55	0.98
100	259.68	0.99	100	264.40	0.99	100	219.10	0.99
200	286.79	0.995	200	293.95	0.995	200	239.58	0.995
500	322.55	0.998	500	332.94	0.998	500	266.59	0.998

Estación Boquerón

San Salvador, SNET

Ilopango Aeropuerto

Tabla 3.7. Cálculo de precipitaciones para diferentes períodos de retorno según el método Gumbel

* Ver glosario

Según la observación de las distribuciones probabilísticas de otros estudios realizados, la función de distribución Gumbel no refleja bien los periodos de retorno a partir de los 25 años, pues infravalora los resultados de las precipitaciones. Las funciones que mejor reflejan estos eventos extraordinarios, sin amplificar el periodo de retorno, son GEV y SQRT-ET máx. Teniendo en cuenta además que el registro llega hasta 2002, no se tienen datos por ejemplo del Stan o Ida, que podrían alterar los datos calculados de precipitaciones máximas esperadas para diferentes periodos de retorno.

Con estos datos, para un periodo de retorno de 2 años, existe una probabilidad del 50% en un año de que se produzcan precipitaciones superiores a 94.72 mm en un día en la estación del Boquerón, 84.56 mm/día en la estación de San Salvador y de 94.50 mm/día en la estación del Aeropuerto de Ilopango (tabla 3.7). Es decir, que hay un 50 % de probabilidades de tener una lluvia diaria de 90 mm cualquier año.

Para los periodos de retorno de 5, 10 y 25 años, considerados como valores válidos para la **distribución de Gumbel***, existe una probabilidad del 20%, 10% y 4% respectivamente, de que las precipitaciones mostradas en la tabla ocurran en un año.

El registro pluviométrico que se obtuvo el 7 de noviembre de 2009, a raíz del paso del huracán Ida en la estación de Ilopango, fue de 219 mm. Eso corresponde con un **período de retorno*** de 100 años (tabla 3.7). Para el caso de la estación El Boquerón el registro fue de 156.2 mm, correspondiente a un período de retorno entre 5 y 10 años; mientras que para la estación de SNET fue de 189.5 mm, correspondiente a una precipitación con un período de retorno entre 10 y 25 años.

3.6. Inundaciones urbanas

Demasiado a menudo la gestión de las inundaciones urbanas se caracteriza por un estrecho punto de vista sobre las mismas, se concentra en los aspectos de ingeniería hidráulica y de gestión de las inundaciones y hace caso omiso a los aspectos ecológicos, políticos, socioeconómicos y de riesgos (APFM, 2008). El Área Metropolitana de San Salvador según el último censo concentra 1.566.629 habitantes (OPAMSS, 2007).

El 10,4 % de los hogares del AMSS viven en exclusión social severa (Mapa de pobreza urbana y exclusión social, El Salvador, 2010) y está ubicada principalmente en áreas de alto riesgo (áreas amenazadas por torrentes, laderas con alto riesgo de deslaves, etc.). El 75 % de las viviendas es atendida por el sistema de alcantarillado cloacal, pero menos del 10 % de lo colectado recibe tratamiento (Tucci, 2006). Existe una clara segregación socio-espacial en relación con la exposición de los asentamientos. Muchas de las personas de pocos recursos son migrantes de la zona urbana, quienes no conocen la peligrosidad a la que se

* Ver glosario

exponen y por lo tanto tienden a subestimar el riesgo de vivir en ciertas áreas expuestas (APFM, 2008).

Ya se comprobó que las inundaciones en ámbito urbano tienen su causa principal en la actuación antrópica. Por un lado la falta de recursos de las familias y la inexistencia de políticas de ordenamiento territorial en el AMSS hacen que un elevado número de viviendas invadan los cauces de ríos y quebradas, y por otro los cambios en el uso de suelo afectan directamente en la escorrentía, infiltración y caudales que circulan por los cauces.

Una manera entendible para visualizar los efectos de los cambios de uso del suelo es el que reflejan los hidrogramas. Estas gráficas no son más que representaciones de la cantidad de agua que circula por el río en un periodo determinado de tiempo.

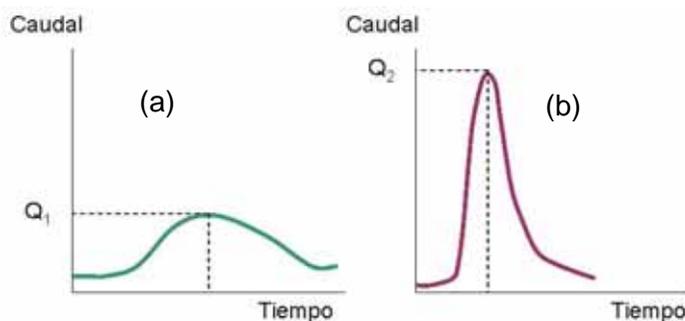


Figura 3.15. Relación caudal-escorrentía vs. tiempo. Fernández-Lavado (2005).

En una situación sin intervención antrópica y sin urbanizaciones, el hidrograma resultante en un punto aguas abajo del río se asemejaría más al gráfico (a) de la figura 3.15. La cantidad máxima de agua que circularía sería Q_1 . Con la urbanización, debido a toda la impermeabilización, la escorrentía es mayor y acelera la evacuación de las aguas hacia el punto de observación.

Lo que se obtiene ahora es que el caudal máximo es mucho mayor (Q_2) y llega en un periodo de tiempo más corto. Cuesta poco imaginar que las obras de paso deberán ser mayores para evacuar una situación como la planteada en el gráfico (b).

Lo interesante en esta discusión teórica es ver cómo ambos hidrogramas muestran el mismo caudal total, es decir, el área debajo de las líneas es la misma. La variación se encuentra en la concentración más repentina de las aguas evacuadas.

La diferencia entre un tramo de ladera cubierta por una pradera y la misma superficie impermeabilizada puede hacer variar el umbral de escorrentía entre 4 y 250 mm, respectivamente. Mientras que una cuenca adecuadamente vegetada puede llegar a absorber los primeros 70-100 mm de precipitación sin que se produzca escorrentía, otra deforestada o impermeabilizada produce la circulación superficial de agua desde los primeros 5 mm de precipitación (Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano, 2008). Esto se traduce en que la misma cantidad de lluvia provoca ahora, bajo estas circunstancias de deforestación e impermeabilización, mayor probabilidad de que se produzca una inundación, de que sea más virulenta y con menor periodo de tiempo, lo que reduce el tiempo para la evacuación y la respuesta.

El sistema de drenaje natural, dentro de un área urbana, se ve fuertemente modificado y las características hidráulicas alteradas por las actividades diarias, por ejemplo los vertidos de ripio dentro del sistema de drenaje. Las características de la escorrentía superficial también impactan en la capacidad de carga del sistema superficial de drenaje en las zonas urbanas. Por esto, la determinación de las zonas propensas a inundaciones se complica y requiere de una mayor comprensión de los sistemas de drenaje (APFM, 2008).

Los sistemas de drenaje urbano, compuesto de canales, alcantarillas, desagües etc., están destinados en teoría a impedir inundaciones transportando las aguas pluviales fuera de los sitios vulnerables. Principalmente se hace con el objetivo de drenar el agua pluvial, tan rápido como sea posible fuera de la ciudad. Esta práctica puede ser benigna en las ciudades costeras o en las aglomeraciones donde no hay exposición aguas abajo. Pero si las ciudades o distritos urbanos de la cuenca alta desaguan demasiado rápido, puede causar inundaciones urbanas aguas abajo, como ha sucedido en la comunidad Granjeros 2 de San Salvador a raíz del paso del huracán Ida, aunque cabe mencionar que ya está ubicada en depósitos de meandro, en el área de influencia del río, y por tanto en zona inundable.

El drenaje urbano sostenible debe ser adecuado y no excesivo, a fin de mitigar inundaciones locales, sin crear nuevos riesgos aguas abajo (APFM, 2008). A esto hay que añadir que los sistemas de drenaje urbano requieren un mantenimiento continuo y que en San Salvador, en muchos puntos, es insuficiente, está deteriorado, ha colapsado o está bloqueado, por lo que se interrumpe y ocasiona balsas de agua.

A medida que aumenta la urbanización también crece el porcentaje de áreas impermeables. La parcela de la lluvia que en la situación previa a la urbanización se infiltraba y/o se retenía en el lugar (almacenamiento en depresiones, pequeños charcos, etc.) pasa a formar parte del escurrimiento superficial urbano. La ejecución de obras que conectan entre sí a las superficies impermeables (canaletas, conductos, etc.) producen, a su vez, la concentración y la aceleración del flujo, hecho que genera mayores caudales hacia aguas abajo (Bertoni, 2005).

Las consecuencias de las modificaciones introducidas sobre el sistema de drenaje solo se aprecian con posterioridad, durante la ocurrencia de tormentas severas. En algunos casos la combinación de efectos resulta en inundaciones inesperadas sobre áreas urbanizadas, aun bajo lluvias no muy intensas. Una característica causante del descontrol observado en la mayoría de las ciudades es que quien impermeabiliza no sufre las consecuencias, los efectos hidrológicos se verifican aguas abajo. Otro problema típico es la habilitación de lotes en lugares naturalmente inundables, tales como áreas próximas a canales, quebradas y cursos naturales de drenaje. En términos del escurrimiento estas zonas representan áreas de almacenamiento temporal que provocan una regulación natural de los volúmenes escurridos, implica la reducción de los caudales picos hacia aguas abajo, atenuación de los hidrogramas. En estado natural estas áreas son ocupadas por las aguas, en promedio, cada dos años (Bertoni, 2005).

Cuando la peligrosidad de inundaciones se asocia al desbordamiento de corrientes fluviales durante crecidas y avenidas, el fenómeno más frecuente, la ordenación del territorio puede resultar de utilidad en la disminución de la intensidad y frecuencia de los fenómenos hidrológicos desencadenantes (Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano, 2008).

4. Metodología

4.1. Análisis hídrico. Parámetros morfométricos

Una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico es la morfometría de cuencas, ya que permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región. Además puede servir como análisis espacial ayudando en el manejo y planeación de los recursos naturales al permitir, en el marco de una unidad bien definida del paisaje, conocer diversos componentes como el tamaño de la cuenca, la red de drenaje, la pendiente media, la escorrentía, etc. Dichos componentes pueden ser obtenidos y modelados mediante el uso de sistemas de información geográfica y convenientemente combinados con la geomorfología para obtener un diagnóstico hidrológico útil para la planeación ambiental (INE, 2004).

A continuación se explican algunos de los parámetros morfométricos usados en la caracterización de las cuencas estudiadas.

4.1.1. Índice de Gravelius

Coeficiente de compacidad (Gravelius) es la relación (K_c) existente entre el perímetro de la cuenca (P) y el perímetro de un círculo que tenga la misma superficie (A) que dicha cuenca (Senciales, 1999). La relación área/perímetro afecta directamente al tiempo de respuesta de la misma; es decir, al tiempo que emplean las gotas de agua en recorrer la red de drenaje, desde su parte más alta hasta la zona de desagüe y por consiguiente a la forma del hidrograma resultante.

La fórmula que describe el índice de Gravelius es:

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde P es el perímetro de la cuenca (km)

A es el área de la cuenca (km²)

La tabla 4.1 muestra los diferentes tipos de cuenca según su índice de compacidad.

Índice K_c	Descripción
1-1.25	Redonda-óvalo redonda
1.25-1.5	Óvalo redonda-óvalo oblonga
1.5-1.75	Óvalo oblonga-rectangular oblonga
>1.75	Rectangular – Muy lobuladas

Tabla 4.1. Índice de Gravelius (INE, 2004).

4.1.2. Rectángulo equivalente

Es un rectángulo que tiene la misma superficie, perímetro y curva hipsométrica que la cuenca. Si A y P son el área y el perímetro de la cuenca respectivamente, K_c es el índice de Gravelius, y L y l son los lados del rectángulo equivalente, se tiene que:

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - (1.12 / K_c)^2} \right) \quad l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - (1.12 / K_c)^2} \right)$$

Donde K_c es el índice de Gravelius

A es el área de la cuenca (km^2)

Es un concepto establecido para comparar cuencas desde el punto de vista de la influencia de sus características sobre los escurrimientos que supone que en una cuenca dada el escurrimiento es aproximadamente el mismo, en condiciones climáticas similares, que sobre un rectángulo de la misma superficie, teniendo el mismo coeficiente de Gravelius y la misma repartición en la curva hipsométrica.

4.1.3. Curva hipsométrica

Se define como la representación gráfica del relieve medio de la cuenca. Se construye llevando en el eje de las abscisas longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en km^2 o en porcentaje, comprendidas entre las curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total. Y llevan al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas (figura 4.1).

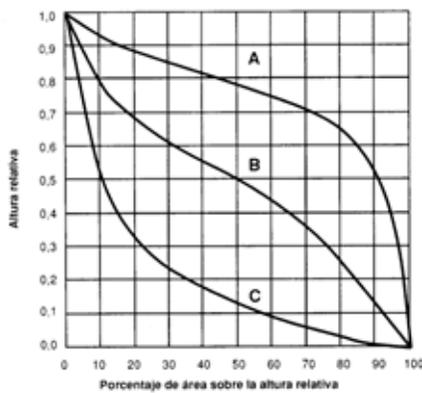


Figura 4.1. Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión.

Strahler	Scheidegger
Curva A: Juventud	Curva A: Erosión
Curva B: Madurez	Curva B: Equilibrio
Curva C: Vejez	Curva C: Sedimentación

Scheidegger (1987) no está de acuerdo con la clasificación de Strahler y propone asociar las diversas formas de la curva hipsométrica a los niveles de actividad de los diferentes procesos de erosión y sedimentación.

4.1.4. Densidad de drenaje

Es un indicador de la respuesta de la cuenca ante un aguacero; por tanto, condiciona la forma del **hidrograma*** resultante en el desagüe de la cuenca. A mayor densidad de drenaje, más dominante es el flujo en el cauce frente al flujo en ladera, lo que se traduce en un menor tiempo de respuesta de la cuenca. Su expresión se indica así:

$$D_d = \frac{\sum l_i}{A}$$

Donde l_i es la longitud total de los cauces (km)

A es el área de la cuenca (km²)

La tabla 4.2 muestra diferentes características de la cuenca según su densidad de drenaje.

Valor D_d	Densidad de drenaje	Textura
0.1-1.8	Baja	Grosera
1.9-3.6	Media	Media
3.7-5.6	Alta	Fina

Tabla 4.2. Valores de densidad de drenaje (INE, 2004).

La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de D_d próximos a 0.5 km/km² o mayores indican la eficiencia de la red. Las cuencas con rocas débiles -tierra blanca joven, por ejemplo-, escasa o nula cubierta vegetal y baja capacidad de infiltración tendrán una elevada densidad de drenaje (Jarque et al., 2000).

La red de drenaje toma sus características gracias a las lluvias y la topografía. Por esto se tiene que para un valor alto de D_d corresponden grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes (INE, 2004).

Entre los principales controles que tienen influencia en la textura del drenaje están: clima, litología, permeabilidad del suelo, estructura geológica, topografía y condiciones biológicas. Entre los factores más importantes, se debe destacar la permeabilidad del suelo (Cortez, 2008).

* Ver glosario

4.1.5. Tiempo de concentración

Es el tiempo transcurrido desde el final de la lluvia neta hasta el momento en que acaba la curva de bajada, es decir, el final de la escorrentía superficial. También se define como el tiempo que tarda la última gota de lluvia en llegar desde la parte más elevada de la cuenca hasta el punto de desagüe. La fórmula que lo define es la siguiente:

$$T_c = \left(\frac{L}{j^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde L es la longitud del cauce más largo (km)

j es la pendiente (m/m)

Los tiempos de concentración calculados con esta fórmula no tienen en cuenta la rugosidad del cauce ni las canalizaciones, por lo que han de ser utilizados con precaución y siempre como tiempos máximos, ya que en los tramos canalizados, por ejemplo, la velocidad de la corriente aumenta y disminuyen los tiempos de concentración aguas abajo.

4.2. Método geomorfológico integrado

Los métodos histórico-paleohidrológicos y geomorfológicos, tradicionalmente subjetivos, parciales y cuestionables en el trazado de los límites cartográficos con ellos delineados, parten de una realidad irrefutable: se fundamentan en elementos físicos reconocibles en el territorio o la documentación, que son evidencias empíricas y no artificios estadísticos (Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano, 2008).

El método histórico consiste en identificar y caracterizar las principales avenidas históricas y estimar las frecuencias de estas inundaciones, a partir de diferentes tipos de imágenes, documentos de prensa y testimonios personales o marcas dejadas.

Otro de los métodos utilizado es el **método de avenida referencial**, donde se trata de reconstruir y mapear la extensión de una inundación que ha afectado la zona de estudio, que generalmente es grave y que se toma como referencia utilizando técnicas como la fotointerpretación, trabajo de campo, etc.

El método geomorfológico permite cartografiar las zonas inundables mediante diferentes técnicas: mapeo geomorfológico, reconstrucción de los niveles de agua en las **avenidas***, recopilación de información, construcción de secciones transversales de referencia etc. (Marqués, com. Pers.) (Tabla 4.3).

* Ver glosario

Histórico	Geomorfológico	Avenida referencial
Imágenes - Fotos convencionales - Fotos aéreas - “Sensores remotos” Documentos: mapas , textos - Prensa - Históricos - Informes Testimonios - Personales - Señales/marcas Edificios Estructuras	Cartografía/Mapeo geomorfológico - Fotointerpretación - Trabajo de campo Reconstrucción de los niveles de agua en las avenidas - En secciones transversales y en perfiles longitudinales Recopilación de información sobre: - Avenidas anteriores (fecha, extensión, daños, etc.) - Los cambios en usos del suelo y obras mediante: Encuestas Documentos Imágenes - Construcción de secciones transversales de referencia Estimaciones de caudal de: - Cauces actuales - Avenidas históricas, mediante: Estaciones de aforo Fórmula racional Pendiente/ área sección transversal + Manning Sección transversal + velocidad (medición de bloques)	- Fotointerpretación (fotos aéreas...) - Campo - Registro histórico > Método histórico

Tabla 4.3. Técnicas de estudio para la caracterización de la inundabilidad, según diferentes métodos.

Fotointerpretación*. La fotointerpretación es el primero de los pasos y de mucha importancia, ya que puede llegar a ofrecer vasta información antes de ir a campo, donde tiene que ser contrastada. El análisis está centrado en las partes donde con mayor frecuencia ocurren problemas de inundación. Para este proyecto se ha podido contar con fotografías aéreas del AMSS de los años 1979 y 1996, que han permitido identificar indicadores geomorfológicos como terrazas, **abanicos aluviales***, llanuras de inundación, las zonas de circulación preferencial del agua que discurría a través de los cauces, las zonas de embalse de agua y depresiones geomorfológicas susceptibles a sufrir inundaciones. Realizar una fotointerpretación de estas características se vuelve complicado en ambiente urbano donde gran parte de la topografía ha sido modificada por el ser humano.

Campo. Con la información obtenida de la fotointerpretación, se va a campo con la fotografía aérea para complementar los indicadores geomorfológicos. Además, se irán añadiendo todos aquellos elementos relevantes que se vayan observando, como zonas de socavación en los meandros, zonas de deposición con diferentes tamaños de sedimentos que indican varios grados de energía, infraestructuras, puntos conflictivos de desbordamiento o de otras

* Ver glosario

características, influencia de las infraestructuras en cuanto a retención de sedimento y registro del impacto de bloques.



*Foto 4.1. Reconocimiento de campo en comunidad El Cañito.
Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.*

Encuestas puntuales. En las mismas visitas, las encuestas a los habitantes aportan un gran volumen de información sobre el último evento que ocasionó daños en la zona (huracán Stan 2005), debido en parte a la proximidad en el tiempo del suceso. Para estos recorridos es bueno ir acompañado de alguna persona de la localidad que conozca el terreno y que haya estado presente durante la inundación que se estudia.

En el Anexo III, se presenta una compilación de los datos de las encuestas en las comunidades Nueva Israel, Granjeros 2 y las ubicadas a lo largo del arenal Seco de Ilopango: Suchitlán, San Felipe, Rivas y San Jorge, Montealegre, El Arenal y Granados 2.



*Foto 4.2. Taller en comunidad Granjeros 2.
Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo*

Taller con la comunidad. El objetivo de realizar un taller con la comunidad es doble y va enfocado a la sensibilización y corroboración de la información obtenida. Realizar el taller en este momento de la metodología, permite trabajar con la gente teniendo ya un conocimiento más amplio de la situación y problemas que se presentan y de esa manera enfocar el taller para rellenar aquellos vacíos de información que haya. Para su realización es bueno contar con el apoyo de alguno de los líderes de la comunidad que tengan cierta relevancia dentro de la estructura comunal y que respalde la actividad.

Se ha visto que resulta bastante fácil para la gente ubicarse sobre las fotografías aéreas. El procedimiento del taller consiste en hacer una explicación previa de la situación que supuso el evento de mayor magnitud en la zona, establecer los daños que tuvo la comunidad y también listar los recursos con los que

cuentan en la actualidad. Entonces se forman diferentes grupos donde se mezclan personas de diferentes sexos y edades y se les entrega una ampliación del área de su comunidad. La explicación de usar fotografías ampliadas reside en tener una escala lo suficientemente a detalle como para que la gente, que tiende a una percepción de la realidad a escala 1:1, se pueda ubicar correctamente.

Más allá de toda la información que se pueda recopilar, este tipo de talleres son muy útiles para reforzar la memoria histórica de la comunidad, recordar los daños que sufrieron y dejar un material que quede para las próximas generaciones. También se vio la necesidad de hacer actividades como este taller una vez al año, justo antes de la época de lluvias. Cualquier líder comunal, promotor de salud o miembro de la alcaldía podría conducir este tipo de actividades para refrescar la memoria de la gente y que esté más concienciada y preparada ante algún evento que pueda causar desastre.

Superposición y análisis de la información. En este punto se realiza la superposición de la información recogida y generada en todo el proceso para obtener un mapa que caracterice la superficie inundada y el tipo de inundación. A su vez se plasman aquellos datos de la propia comunidad que pueden conformar un mapa que quede para la gente. Además se puede hacer un análisis que indique los orígenes y causas de la inundación así como sus efectos.

Realización de los mapas de inundabilidad. Se debe tener en cuenta los dos destinatarios principales a los que van dirigidos. Por un lado el que se va a ubicar en la comunidad tiene que ser claro y simple, que indique los recursos que posee, las casas en riesgo y las rutas de evacuación. Por otro lado, un mapa completado con información técnica para ser usado por los tomadores de decisiones y los entendidos en el tema (Fernández-Lavado, 2006). Ver Anexo II. Localización de los mapas de inundabilidad en el AMSS.

4.3. Cálculo de caudales

Para realizar el cálculo de caudales en determinados puntos de las quebradas del AMSS, se realizó un levantamiento topográfico a detalle con el fin de obtener curvas de nivel a cada metro y una precisión de secciones transversales al menos una por cada 20 metros de quebrada.

Gracias a esta información de detalle, se pueden obtener perfiles transversales detallados teniendo en cuenta las alturas o tirantes alcanzados en eventos extraordinarios y calcular de esta manera el área inundada de la sección transversal. Para el caso de estudio, la mayoría de cálculos se han basado en los tirantes alcanzados por las inundaciones causadas durante el paso del huracán Stan en 2005.

Una de las fórmulas para el cálculo del caudal es:

$$Q = A \times v$$

Donde Q es el caudal en m³/s

A es el área de la sección inundada en m²

v es la velocidad del flujo en m/s

Para el cálculo de la velocidad, una de las fórmulas más utilizadas es la de Manning, con la expresión siguiente:

$$v = \frac{R^{2/3} \times j^{0.5}}{\eta}$$

Donde R es el radio hidráulico (A/Wp)

Wp es el perímetro mojado

j es la pendiente del cauce

η es el coeficiente de Manning

Tres cuartos de siglo después de la introducción de esta fórmula, la selección de dichos coeficientes de rugosidad continúa siendo un arte (Benson y Dalrymple, 1967). La tabla 4.4 refleja los diferentes rangos de valores que se pueden aplicar en función del material del cauce, las irregularidades de la sección transversal, la profundidad del flujo, la vegetación y la alineación del tramo.

Coeficientes de rugosidad (n)					
Para el material del cauce (Según Benson y Dalrymple., 1967)			Para llanuras y canales (Según Chow, 1959)		
Tipo de material	Medida (mm)	n	Tipo	n	
Concreto	-	0.012-0.018	Llanuras	Pastos cortos	0.025-0.035
Tierra firme	-	0.025-0.032		Cultivos maduros alineados	0.025-0.045
Arena	1-2	0.026-0.035		Arbustos	0.035-0.070
Grava	2-64	0.028-0.035		Forestado	0.050-0.160
Guijarros	64-256	0.030-0.050	canales aluviales	Cauces de arena sin vegetación	0.014-0.035
Bloques	>256	0.040-0.070		Cauces con pocas piedras y algunos pastos	0.018-0.035
				Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.045-0.080
			canales de montaña	Grava y pocos bloques	0.030-0.050
				Grandes bloques	0.040-0.070

Tabla 4.4. Coeficientes de rugosidad según la medida del material del cauce y aplicado a llanuras y canales (Fernández-Lavado, 2005).

Otro método para el cálculo de la altura y la velocidad del agua es el propuesto por Costa (1983). Consiste en la medición de los bloques dejados por el flujo o avenida a estudiar. La identificación de dichos bloques parte de considerar los siguientes criterios:

- La presencia de marcas de choque en todo el bloque y no solamente focalizados en la parte superior, lo que indica colisiones. Acumulación de **clastos*** formando una cadena de **bloques*** con estructura imbricada paralela a la dirección de flujo.
- Bloques ubicados en árboles aún vivos.
- Bloques impactados y “atrapados” en troncos de árboles, ramas, asfalto, etc.
- Presencia de partes de bloque anteriormente enterrados y sin meteorizar, que ahora están expuestos después de una rotación.

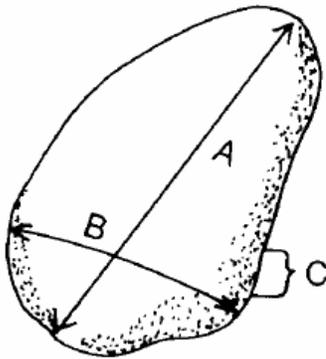


Figura 4.2. Ejes de un bloque, siendo B el eje intermedio

Una vez identificado un bloque procedemos a medir sus tres ejes, los cuales serán perpendiculares entre sí, tal y como muestra la figura 4.2. Para obtener la altura media del agua la idea de Costa fue la siguiente: sobre la base de cuatro fórmulas distintas, realizar una regresión en función de la pendiente del cauce y el diámetro intermedio de los bloques encontrados.

Para el cálculo de velocidad, Costa estableció una fórmula a partir de la integración de los resultados de cuatro métodos diferentes también basados en la medida de los bloques. La fórmula que obtuvo para ser aplicada con base en la longitud media del eje intermedio de los cinco bloques más grandes arrastrados es la siguiente:

$$v = 0.182 \times d^{0.4873}$$

Donde v es la velocidad (m/s)

d es la media del eje intermedio de los cinco bloques mayores (mm)

La representación gráfica de la regresión de Costa para el cálculo de la velocidad de flujo se muestra en el gráfico 4.1.

* Ver glosario

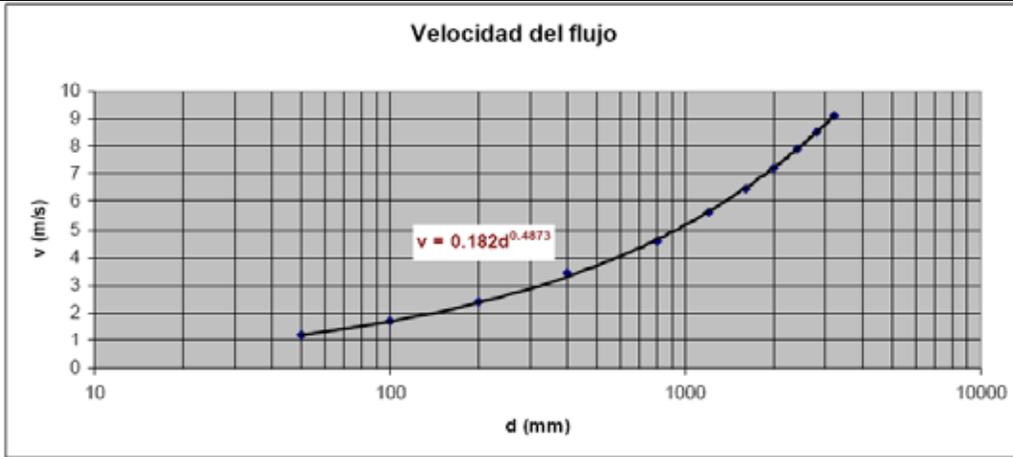


Gráfico 4.1 Regresión de Costa (1983) para el cálculo de la velocidad a partir del diámetro medio de los cinco bloques más grandes.

El gráfico 4.2 refleja las fórmulas a emplear en cada caso para obtener la regresión adecuada de la altura del agua.

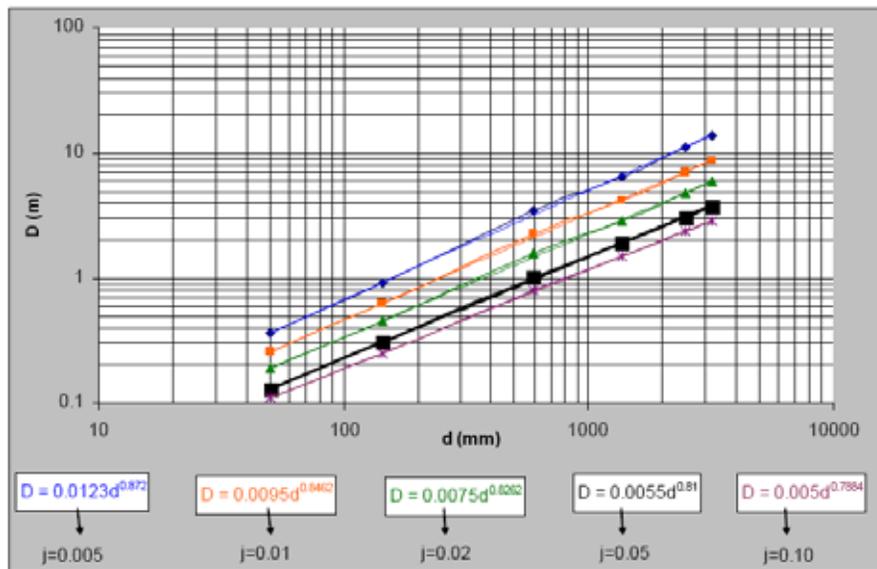


Gráfico 4.2. Gráfica para obtener la media de la altura del agua con base en la medida de los bloques y la pendiente del canal, donde j es la pendiente del cauce, d la medida del eje intermedio de los bloques y D la altura de agua (Adaptado de Costa, 1983).

La aplicación de este método es mucho más sencilla si se va al campo justo después de que el evento suceda o por el contrario si es una zona con poca intervención, donde las evidencias de los efectos y los depósitos de las avenidas referenciales se mantienen en el tiempo. En el AMSS estas circunstancias son complicadas por toda la alteración hecha por el ser humano. Eso ha influenciado en el hecho de no poder aplicar el método de Costa en todos los lugares deseados.

5. Estudio hidrológico

5.1. Cuencas y recorridos de campo

En el Anexo II se muestra un mapa esquemático donde se representan todos los ríos y quebradas estudiadas.

5.1.1. Subcuenca Acelhuate

La subcuenca del río Acelhuate es sin duda alguna la que más problemas de inundación genera a nivel metropolitano. Con una extensión de 118.41 km², abarca las zonas más densamente pobladas de la capital y no en vano discurre a través de 9 de las 14 municipalidades del AMSS. Recoge las aguas del flanco sur-este del volcán de San Salvador. Las quebradas principales que la constituyen son La Mascota, La Lechuza, El Piro y arenal de Monserrat. También recoge las aguas que discurren por la ladera norte de la cordillera El Bálsamo y del cerro de San Jacinto. Es decir, los ríos Matalapa, Ilohuapa, El Garrobo y quebrada el Cañón del Tanque.

El punto de desagüe considerado para esta subcuenca se ubica en coordenadas Lambert 478601.53 y 303170.81, justo en el límite municipal entre Nejapa y Apopa. En este punto el Acelhuate se une con el río San Antonio que proviene de Nejapa.

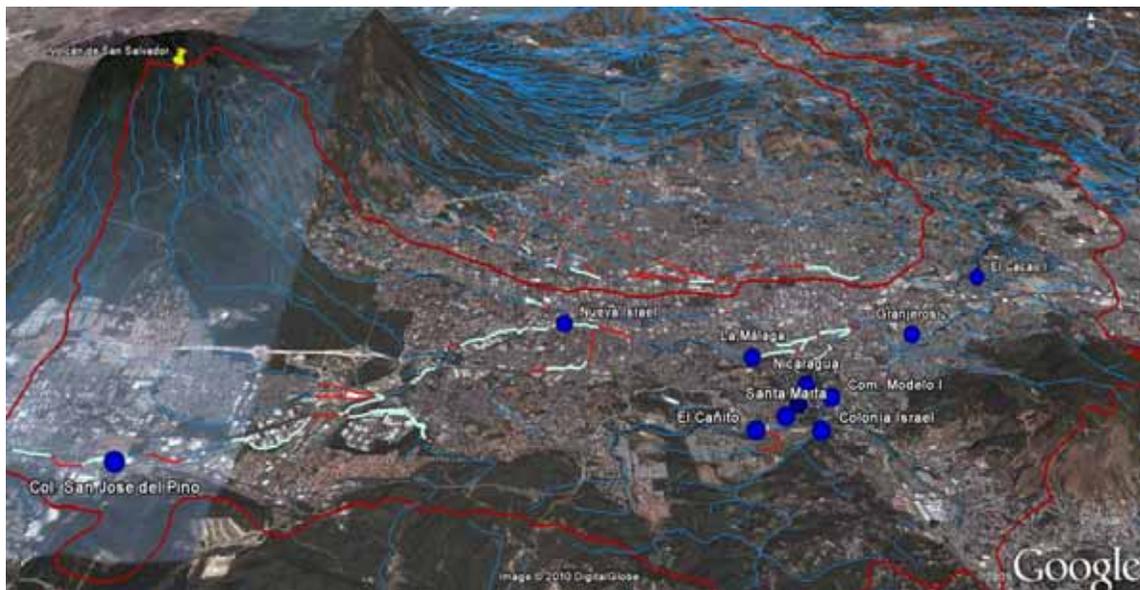


Figura 5.1. Cuenca del Acelhuate y ubicación de comunidades. Imagen de Google Earth, noviembre de 2008 (consultado en línea en febrero 2010) y elaboración propia.

Con base en el análisis morfométrico, se estudian los diferentes parámetros de la cuenca del Acelhuate (figura 5.1):

- **Índice de Gravelius.** El valor para la subcuenca Acelhuate es 2.07, es decir, una cuenca rectangular.
- **Rectángulo equivalente.** Concepto establecido para comparar cuencas desde el punto de vista de la influencia de sus características sobre los escurrimientos. Para esta subcuenca, el lado mayor resulta en 36.94 km y el lado menor 3.21 km, lo que confirman que se trata de una cuenca rectangular.
- **Curva hipsométrica.** Según la gráfica que representa la hipsometría de la subcuenca (fig. 5.2) y según la descripción del apartado 4.1.3, se definiría como una cuenca en fase de madurez-equilibrio con tendencia a la sedimentación. De hecho y como la geomorfología demuestra, las planicies generadas en las partes bajas de la cuenca no hacen más que corroborar lo antes mencionado. Esta misma configuración se encuentra en la subcuenca del Tomayate.
- **Tiempo de concentración.** El tiempo de concentración calculado para la subcuenca es de 9 horas 56 minutos. Este tiempo está calculado para un gota de agua que recorre desde la parte más alta de la cuenca hasta el punto de salida situado en el límite entre los municipios de Apopa y Nejapa. Durante el trayecto del río se identifican varias comunidades antes de llegar al punto de desagüe. Dentro del programa IPGARAMSS se han promovido los estudios puntuales en comunidades afectadas por inundaciones, que han sido llevado a cabo por los propios técnicos municipales (figura 5.1). Los tiempos de concentración calculados en estos estudios son los siguientes: colonia San José del Pino en Santa Tecla, 1 hora 8 minutos; comunidad Nueva Israel en San Salvador, 3 horas 34 minutos; colonia La Málaga, 4 horas 20 minutos, y comunidad Granjeros en San Salvador, 5 horas 7 minutos.
- **La Densidad de drenaje.** Para el Acelhuate se calcula en 1.87 km de cauce/km². Esto implica una densidad baja-media (ver apartado 4.1.4). La respuesta de la cuenca se ve condicionada por diferentes factores. En este caso la geología del **estratovolcán***, con niveles competentes y el hecho de que los cauces principales circulen por la llanura fluvial, condiciona a tener una baja densidad de drenaje. Aún así, toda la intervención urbana de impermeabilización altera el hidrograma de esorrentía provocando una rápida canalización del agua (ver apartado 3.6).

* Ver glosario

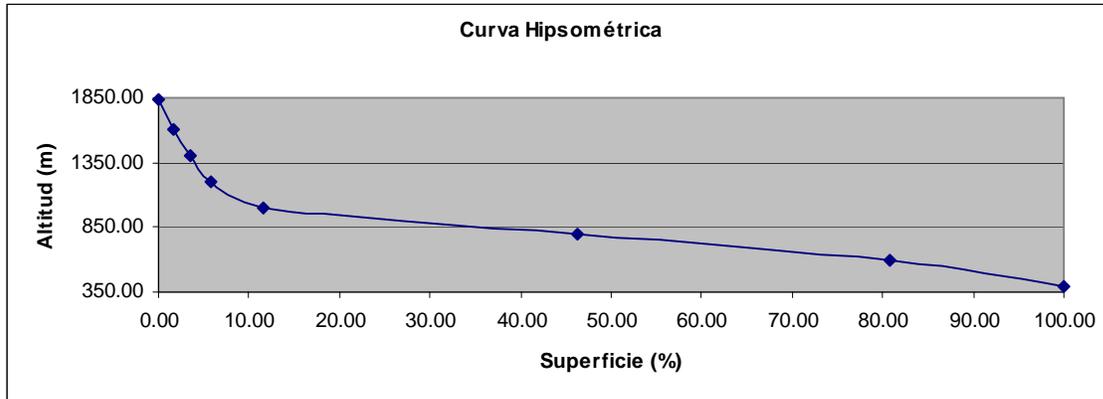


Figura 5.2. Parámetros de la subcuenca Acelhuate, mapa y curva hipsométrica. Elaboración propia.

5.1.1.1. Quebrada El Piro

La quebrada El Piro, que forma parte del drenaje primario perteneciente a la subcuenca del río Acelhuate, se origina en el sur de Santa Tecla y finaliza, con tal denominación, en el Instituto Emiliani, jurisdicción de San Salvador. A partir de ese punto se conoce como quebrada La Lechuga para luego cambiar y desembocar como Arenal de Monserrat (Trujillo et al, 2010).



Figura 5.3. Situación de la problemática en Colonia San José El Pino. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).

La quebrada El Piro nace en la ladera sur del volcán de San Salvador y atraviesa en su inicio el municipio de Santa Tecla. A pesar de que en estos primeros tramos no se presentan problemas graves de inundación, se realizaron algunos recorridos para ver las condiciones de la quebrada en la colonia

San José El Pino y comunidad San Rafael, donde afectaron tanto el Mitch en 1998 como el Stan en 2005. En la figura 5.3 se observa la problemática que en primera instancia supone la presencia de un puente y posteriormente una bóveda. Aguas arriba se presentan problemas de erosión en el margen izquierdo. Todavía más arriba, entrando en la colonia San José, la quebrada está canalizada y se observa la parte baja de otra bóveda que no presenta problemas dimensionales. Aguas abajo de este punto, el cauce hace un quiebre hacia la derecha (punto amarillo en figura 5.3), donde sí se producen algunos problemas de desbordamiento.

5.1.1.2. Quebrada La Lechuza

Según el Diccionario Geográfico de El Salvador (IGN, 1986), “La Lechuza” es una quebrada que pertenece al municipio de Antiguo Cuscatlán, departamento de La Libertad, y al municipio y departamento de San Salvador. Nace a 4.5 km al Oeste de Antiguo Cuscatlán; corre de SO a NE y al unirse con el arenal San Felipe dan origen al arenal de Montserrat, tiene una longitud de 8.5 km (Aguilar et al., 2010).

A la altura de la comunidad Las Palmas, justo antes del puente de la alameda Manuel Enrique Araujo, se observa por fotointerpretación una zona importante de susceptibilidad a inundación y se identificó los efectos que dejó el paso del huracán Stan (figura 5.4).



Inundación STAN 2005 Zona inundable Bóveda Canalizado

Figura 5.4. Caracterización de la inundabilidad en quebrada La Lechuza. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).

5.1.1.3. Arenal de Monserrat

Existen diferentes lugares a lo largo del arenal de Monserrat que presentan graves problemáticas de inundación.

Comunidad Nueva Israel

Los peores eventos sucedidos en la comunidad corresponden al paso del huracán Stan en 2005 y las intensas lluvias de julio de 2008. Topográficamente se ubica en los márgenes y cauce del arenal. Las constantes reducciones y obstáculos presentes, generan erosión lateral y desprendimientos en ciertos lugares (fotos 5.1 a 5.4). Debido a las lluvias de julio de 2008, el puente de la comunidad (ver punto blanco en figura 5.5), colapsó llevándose consigo varias casas. Según Aguilar et al. (2010), la inundación de ese año fue causada por la obstrucción durante la crecida de una bóveda ubicada 500 metros aguas abajo debido a los materiales arrastrados por la crecida.



Foto 5.1. Poza en la Comunidad Nueva Israel por contraste litológico.



Foto 5.2. Reducción del cauce por invasión de viviendas.



Foto 5.3. Erosión lateral y colapso.



Foto 5.4. Destrucción del puente en la comunidad Nueva Israel.

Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo



— Zona inundable
 - - - Bóveda
 — Canalizado
 — Ríos y Quebradas

Figura 5.6. Susceptibilidad por inundación en comunidad La Pedrera. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).

Aguas abajo, sobre la 49.^a avenida Sur, se observa una zona de susceptibilidad en la comunidad la Pedrera identificada por fotointerpretación. Justo después del puente, a la salida de la bóveda, hay signos de erosión en el margen derecho (figura 5.6).

Colonia La Málaga

El análisis de las inundaciones en la colonia La Málaga puede explicarse desde un punto de vista meramente geomorfológico y debe ser tenido en cuenta en los estudios de ingeniería o hidráulica. Las evidencias vistas tanto en foto aérea como en las salidas de campo permiten definir claramente cómo la calle a Monserrat y las viviendas ubicadas entre el arenal y la calle están sobre las **terrazas*** erosionales presentes en la zona (figura 5.7).



Figura 5.7. Caracterización en la zona de la colonia La Málaga
Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).



Foto 5.5. Situación del punto conflictivo de inundación en la colonia La Málaga.

Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo

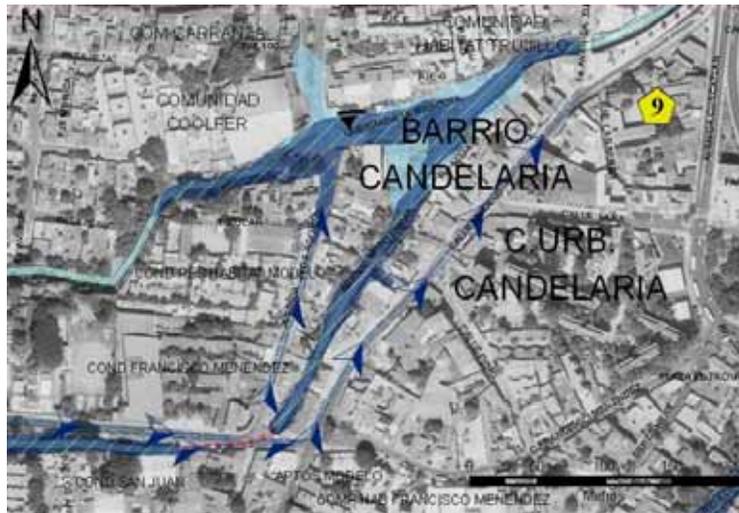
Adicionalmente a esto se puede observar cómo la construcción de la calle (sobre zona inundable) provocó una modificación brusca del canal principal. La dirección del flujo impacta directamente contra el muro (foto 5.5), que desvía el agua hacia el margen de enfrente que no está protegido.

Esta situación sucede aún sin la manifestación de lluvias extraordinarias. Cuando estas suceden, el volumen de agua desborda y utiliza la calle a Monserrat como zona de circulación.

Agua abajo de este punto, sobre la residencial Santa Anita, hay zonas adicionales de susceptibilidad a la inundación, además de las afectadas por el huracán Stan

* Ver glosario

Barrio Candelaria



Inundación STAN 2005 Zona inundable Escorrentía Canalizado Ríos y Quebradas

Figura 5.8. Caracterización de la inundabilidad en Barrio Candelaria. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).

Históricamente, esta zona es una de las más problemáticas y con más frecuencia de inundaciones. Sobre este lugar se unen las quebradas de la Mascota y el arenal de Monserrat. Topográficamente se trata de una región plana caracterizada en el **mapa geomorfológico*** como terrazas erosionales, laderas erosionales y llanura aluvial (fig. 5.8). La gran presión urbanística y la escorrentía generada,

sumado a lo anteriormente descrito, hacen de este lugar un área problemática. Después del paso del huracán Stan, se encauzaron los lechos y aumentaron las secciones de paso. Las consecuencias de esta intervención se manifestaron en noviembre de 2009, con grandes inundaciones aguas abajo en la comunidad Granjeros 2. El encauzamiento y la ampliación de la sección de paso, aceleró la velocidad del flujo, y aumentó el caudal pico de paso en la zona de la Candelaria. Aguas abajo, el Arenal de Monserrat, ya denominado Acelhuate, deja de estar encauzado, la rugosidad del cauce aumenta y la sección de paso disminuye. La consecuencia es una disminución del caudal pico de paso que provoca erosión en los márgenes y desbordamiento en las zonas topográficamente más bajas y en las terrazas erosionales como se mencionó antes citando a Bertoni (2005).

5.1.1.4. Quebrada La Mascota

La Mascota discurre paralelamente al arenal de Monserrat por el lado norte y se une al mismo a la altura del barrio Candelaria (ver Anexo II). Las principales observaciones en este tramo han sido identificadas mediante la foteointerpretación.

Se observan terrazas en la colonia El Rosal, entre la 49.^a avenida Norte y av. Las Amapolas. Aunque no hay constancia de graves problemas de inundación en este sector, el hecho de que geomorfológicamente se aprecien estas estructuras es un síntoma de susceptibilidad por inundación que no se puede obviar.

* Ver glosario

5.1.1.5. Río Acelhuate

El tramo del río Acelhuate que discurre entre la colonia Gallegos 1 y la comunidad Granjeros 2 es uno de los más interesantes y donde se observan la mayor diversidad de características geomorfológicas. En esta parte el río presenta una sinuosidad marcada, encajado al inicio y con amplitud de sección hacia el final. Como se verá en el cálculo de caudales, la pendiente disminuye a lo largo del tramo y eso incide directamente en el caudal de paso. La erosión y sedimentación en los taludes y márgenes de los meandros es bien evidenciable. Como ya se explicó, en la parte externa del meandro la fuerza centrífuga del flujo provoca una mayor velocidad y erosión, mientras que en la parte interna la velocidad y la altura del agua es menor permitiendo la sedimentación.

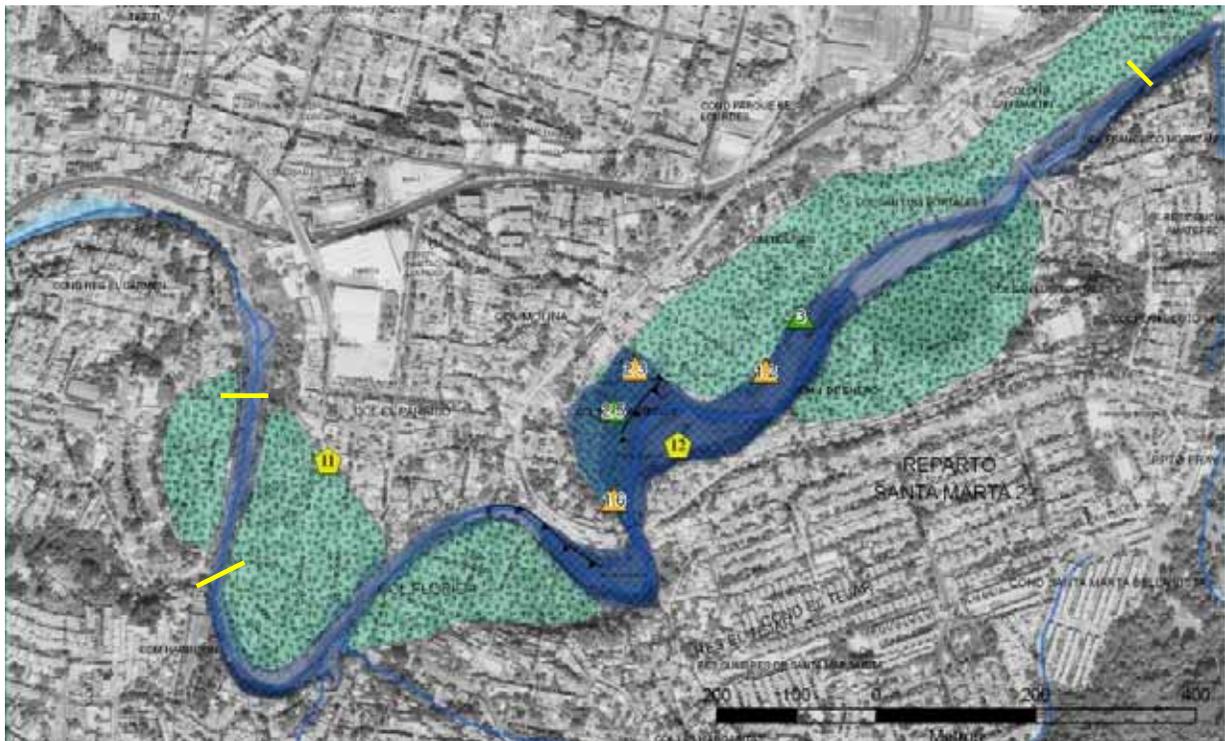


Figura 5.11. Caracterización río Acelhuate, entre colonia Gallegos y comunidad Granjeros 2. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR). Se señalan con líneas amarillas las secciones para las que se ha calculado el caudal pico durante la crecida del Stan 2005. (Ver apartado 4.2.2)

Adicionalmente a estas características, el estudio de la foto aérea no deja lugar a dudas acerca de la presencia de terrazas fluviales todavía activas en la llanura de inundación, e invadidas por la urbanización de las colonias Florida, Gallegos 1 y 2. Estas comunidades se asientan sobre depósitos *point bars*, barras de meandro. En la parte opuesta, el flujo erosiona y provoca el desprendimiento de los márgenes. A raíz del paso del huracán Ida

por el país, Geólogos del Mundo realizó una visita de campo en esta área. A continuación se incluyen las observaciones realizadas (Fernández-Lavado, 2009)

Comunidades Fenadesal Sur y Gallegos 2

En la comunidad Fenadesal Sur, la tubería de aguas negras, ubicada en coordenadas geográficas $13^{\circ}41'29.30''$ y $-89^{\circ}10'46.42''$, cercana al puente colgante, colapsó debido a la erosión provocada por la sinuosidad del río, que socava en las zonas externas de las curvas, meandros. Provoca descalce de los taludes y genera desprendimientos en este tramo (foto 5.6). La corriente arrastró 5 viviendas ubicadas en el interior del cauce sobre un pequeño resalte.

En la Gallegos 2 se observa cómo el nivel del agua ha afectado a diferentes viviendas ubicadas en la zona inundable (foto 5.7).



*Foto 5.6. Desprendimientos en la comunidad Fenadesal.
Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.*



*Foto 5.7. Niveles de la altura del agua en la Gallegos (línea roja).
Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.*

Comunidades Granjeros y Nueva Esperanza

El río Acelhuate discurre por las comunidades Granjeros 2 y Nueva Esperanza ($13^{\circ}41'33.75''$ y $-89^{\circ}10'41.00''$). En ambas existen precedentes de inundaciones durante el paso del huracán Mitch en 1998, del huracán Stan en 2005 y el mes de julio de 2008 (foto 5.8). Sin embargo, testimonios de ambas comunidades manifestaron que las lluvias provocadas por la depresión tropical Ida generaron las peores inundaciones en la zona. La altura del agua en la Granjeros 2 llegó a 2.5 m, dejó un rastro de lodo (foto 5.11) que sobrepasó las puertas de las casas. Los daños materiales ocasionados son cuantiosos sin consecuencia de pérdida de vidas humanas (foto 5.9).

Al poniente de la comunidad se ubica la vía férrea, cuyo estribo de concreto ha sido socavado y ha provocado el colapso del mismo y del propio puente, donde solamente se observan los rieles (foto 5.10).



Foto 5.8. Se observa la altura del agua en la comunidad Granjeros.
Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.



Foto 5.9. Daños ocasionados en Granjeros 2.
Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.



Foto 5.10. Colapso del puente de la vía férrea durante Ida.
Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.



Foto 5.11. Nivel del agua en comunidad Granjeros 2 por el paso de Ida.
Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

Geomorfológicamente, la zona presenta terrazas fluviales que son evidencias de la dinámica del río y de inundaciones pasadas. Sobre estas terrazas se ubican las comunidades afectadas. La figura 5.11 muestra una cartografía de la zona de afectación por inundación (ver Anexo V. Fichas de campo levantadas durante Ida 2009).

Según los vecinos el nivel del agua sobrepasó en algunos puntos los techados. En la comunidad Nueva Esperanza al quedar el agua estancada entre un muro de protección y las viviendas depositó casi un metro de material en la calle paralela al río. (Fotos 5.12 y 5.13)



Foto 5.12. Calle en la comunidad Nueva Esperanza, El agua pasó por encima y quedó estancada en la vía. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.



Foto 5.13. Muro en la comunidad Nueva Esperanza. Obsérvese el depósito en la calle. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

Comunidad El Cacao I

La comunidad el Cacao I se encuentra en el municipio de Soyapango. Se encuentra ubicada sobre un *point bar* a escasos cien metros del puente de la urbanización Agua Caliente (figura 5.12), punto trifinio entre Soyapango, San Salvador y Ciudad Delgado. Los márgenes del río justo antes del puente se ven erosionados y las infraestructuras dañadas. La comunidad quedó fuertemente dañada por el paso de la tormenta tropical Ida, dejó una altura del agua de 1.9 metros (foto 5.14); mientras que para el Stan el agua llegó a 0.7 metros.



Figura 5.12. Afectación de Stan e Ida en comunidad el Cacao I, municipio de Soyapango. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).



Foto 5.14. Efectos en comunidad el Cacao I de Soyapango. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

5.1.1.6. Ríos El Garrobo, Matalapa e Ilohuapa

El río Ilohuapa nace dentro del municipio de San Salvador. Se forma de la confluencia de dos quebradas sin nombre, justo en la finca San Francisco, a 5.2 kilómetros al sur de la ciudad de San Salvador, describe un rumbo serpenteante de sur a noreste. Desaparece al unirse con el río Matalapa y el río el Garrobo para dar origen al río Acelhuate (IGN, 1990). El origen de estos se encuentra en el cerro Chantecuán y en la ladera norte de la cordillera del Bálsamo (figura 5.13).



Figura 5.13. Ubicación de los ríos El Garrobo, Ilohuapa y Matalapa. Imagen de Google Earth, noviembre de 2008 (consultado en línea en febrero 2010) y elaboración propia.

A pesar de la importancia de los ríos Matalapa e Ilohuapa, el que presenta mayor problemática por inundación es río El Garrobo. Es bien conocida la problemática del lugar por todos los habitantes de las comunidades que viven aledañas o inmersas en su cauce: comunidad El Cañito, Santa Marta, Costa Rica y Nicaragua (figura 5.13.). Antecedentes de inundaciones ocurrieron por el paso de los huracanes Mitch y Stan, así como durante las lluvias intensas de 2008, que se llevaron una pasarela en la comunidad Nicaragua (foto 5.16). La foto 5.15 muestra la altura de agua y lodo que se depositó en el año 2005 por tan. En el tramo cercano al puente de El Cañito, se consiguieron medir algunos bloques arrastrados por el flujo y posiblemente asociados al Stan. Según el método de cálculos de velocidades empleado por Costa (1983. Ver apartado 4.3), a partir de las dimensiones de los bloques, se pudo estimar que la velocidad del flujo en este punto pudo ser del orden de 5.56 m/s, y una altura del agua de 3.6 m (ver metodología, apartado 4). Esto parece ajustarse bastante a la realidad, ya que las dimensiones del puente en El Cañito son 3 metros de alto por 4.70 metros de ancho y el agua lo desbordó.



Foto 5.15. Nivel del agua en El Cañito para Stan 2005. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

Adicionalmente las obras de paso construidas bajo la autopista Comalapa no absorben todo el caudal generado por lluvias extremas. Aguas abajo, el río genera problemas en la comunidad Santa Clara, a la altura del Instituto Salvadoreño de Protección al Menor (ISPM). El puente que hay en la zona tiene una **luz*** mínima, menos de 1 metro, y el agua desborda hasta tal punto que se registraron alturas de 65 cm en la calle Santa Marta. Y aguas arriba del puente el río dibuja un meandro bastante pronunciado, donde la aceleración del agua erosionó y derrumbó los muros y tapias de las casas colindantes durante los eventos Stan 2005 e Ida 2009.

Algunas de las viviendas de la colonia Nicaragua se ubican prácticamente dentro del cauce. Las fotos 5.16 y 5.17 muestran esta situación y la desaparición de una pasarela entre los años 2005 y 2008 producto de la fuerza del agua. Asimismo se observa cómo las casas han levantado una protección en la entrada de sus viviendas para impedir la entrada de agua en las crecidas (foto 5.18).



Foto 5.16. Comunidad Nicaragua, pasarela previa a Stan. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.



Foto 5.17. Comunidad Nicaragua, colapso de la pasarela. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

* Ver glosario



Foto 5.18. Construcciones en las entradas de las viviendas para evitar la entrada de agua. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.



Foto 5.19. Unión de los ríos El Garrobo y Matalapa. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

Aguas abajo, el río Garrobo se une al río Matalapa cerca de la colonia Minerva. Este es un punto donde el caudal y la turbulencia del fluido aumentan. En la foto 5.19 se puede observar cómo las construcciones ubicadas al lado de la pasarela, en el margen derecho aguas abajo, tienen muros para evitar la entrada del agua a sus viviendas.

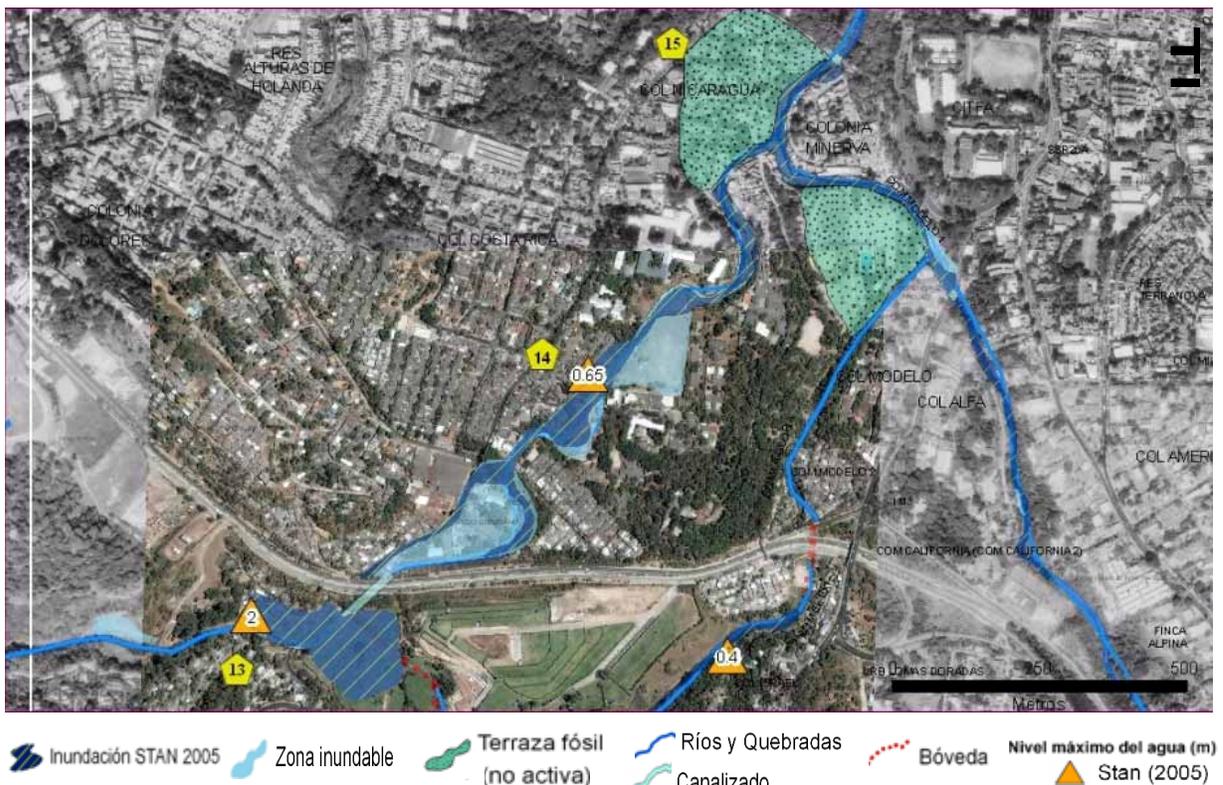


Figura 5.14. Caracterización de los ríos el Garrobo e Ilohuapa. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).

Sobre el Ilohuapa se identificó una afectación en la comunidad la Finquita (colonia Israel), con una altura de agua para el Stan de 0.4 metros. A pesar de la amenaza, en el lugar no se encuentran urbanizaciones, por lo que el riesgo no es elevado. Sobre el Matalapa, en la comunidad Modelo 1, se identificó una pequeña afectación también por Stan.

El estudio de la foto aérea permite observar zonas adicionales a las afectadas por el paso del huracán de 2005, que son igualmente susceptibles a sufrir inundaciones. Igualmente se caracterizan terrazas erosionales en colonia Nicaragua y en el Círculo Estudiantil. Referente a esta última, el río Matalapa circula bastante encajado, por lo que es muy improbable que el nivel del agua llegue a inundar la terraza (fig. 5.14).

5.1.2. Subcuenca Las Cañas

La subcuenca del río Las Cañas tiene un área de 72.29 km². Fluye en dirección SE-NO con 21.5 km de longitud y desemboca en el río Acelhuate, atraviesa los municipios de Ilopango, San Martín, Soyapango, Tonacatepeque, Ciudad Delgado y Apopa. Tiene una cota máxima de 1100 msnm y un ancho medio de 6 km. Debido al desarrollo urbano en la zona más alta de la cuenca, se han producido variaciones sustanciales en el régimen climático original, en las tasas de evaporación y en el régimen de infiltración y escorrentía.

La presencia de grandes espesores de cenizas volcánicas depositadas por la erupción del Ilopango en diferentes episodios genera una geomorfología de tipo *badlans** (*cárcavas* o *malpaís*); es decir, una morfología altamente erosionada que genera cañones, cárcavas y valles encajados.

La erosión lateral de los ríos amplía las quebradas y cañones, y es muy activa especialmente cuando las lluvias son muy fuertes. Muchos taludes se derrumban por la erosión lateral de la corriente del río. Las laderas casi verticales de los cañones son otros de los lugares donde se originarán los derrumbes y otros tipos de movimientos de ladera. La erosión vertical de los ríos continua permanentemente y por eso sus orillas no son estables y pueden derrumbarse (Sebesta, 2006).

Las Cañas está sometida a un proceso severo de erosión sobre todo en la parte alta y media de la subcuenca. Esto genera grandes taludes de ceniza volcánica muy susceptibles al colapso, como se acaba de mencionar. En estas zonas, la amenaza principal son los movimientos de ladera, mientras las inundaciones se concentran en la microcuenca del arenal Seco de Ilopango (fig. 5.15)

* Ver glosario

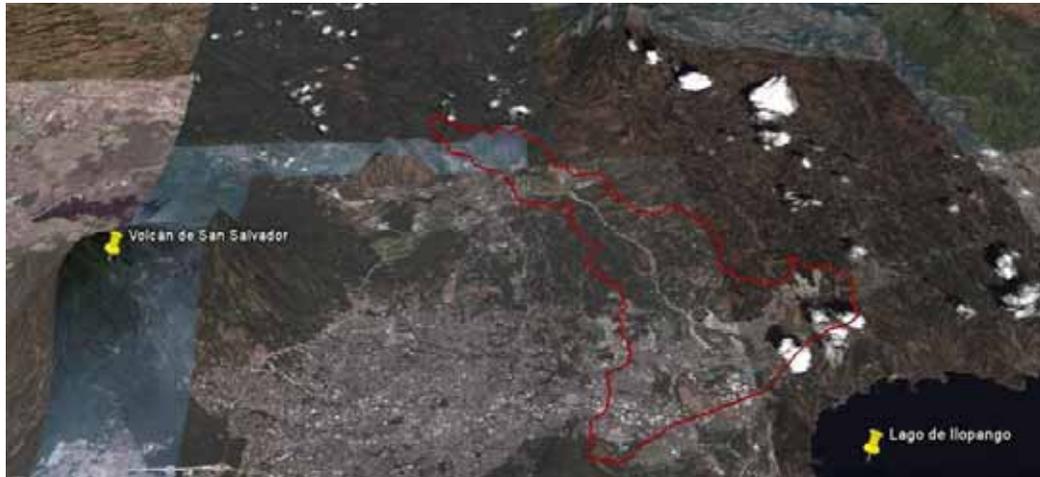
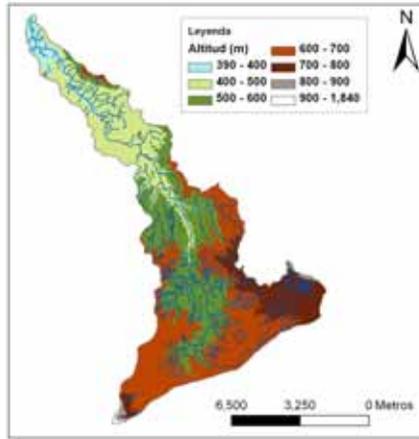


Figura 5.15. Ubicación de la subcuenca del río Las Cañas en relación al AMSS. Imagen de Google Earth, noviembre de 2008 (consultado en línea en febrero 2010) y elaboración propia.

Del análisis morfométrico, pasamos a discutir a continuación sobre los diferentes parámetros (ver figura 5.15).

- **Índice de Gravelius.** El valor para la subcuenca Las Cañas es 2.20, significa que es una cuenca rectangular-muy lobulada.
- **Rectángulo equivalente.** Para Las Cañas el lado mayor resulta en 31.06 km y el lado menor 2.33 km. Estos valores confirman que se trata de una cuenca rectangular.
- **Curva hipsométrica.** Según la gráfica que representa la hipsometría de la subcuenca de Las Cañas (figura 5.16) y según la descripción del apartado 4.1.3., se puede definir como una subcuenca en fase de vejez tal y como lo describió Stralher. Sin embargo, según Scheidegger se podría afirmar que la geología y geomorfología de la zona, con materiales terciarios y cuaternarios, altamente erosionables, han provocado la generación de una cuenca que, a pesar de que a escala geológica es muy joven o reciente, presenta características de alto arrastre y sedimentación del material.
- **Tiempo de concentración.** Se ha calculado para esta subcuenca un aproximado de 8 horas y 40 minutos para que una gota de agua recorra desde la parte más alta hasta el punto de salida en el límite entre los municipios de Apopa y Nejapa con coordenadas Lambert 479017.39 y 303133.52.



Resultados

Indice de Gravelius		2.20
Rectangulo equivalente	L	31.06 km
	I	2.33 km
Tiempo concentración		8.67 horas
Densidad de drenaje		3.25
Pendiente		2.08%

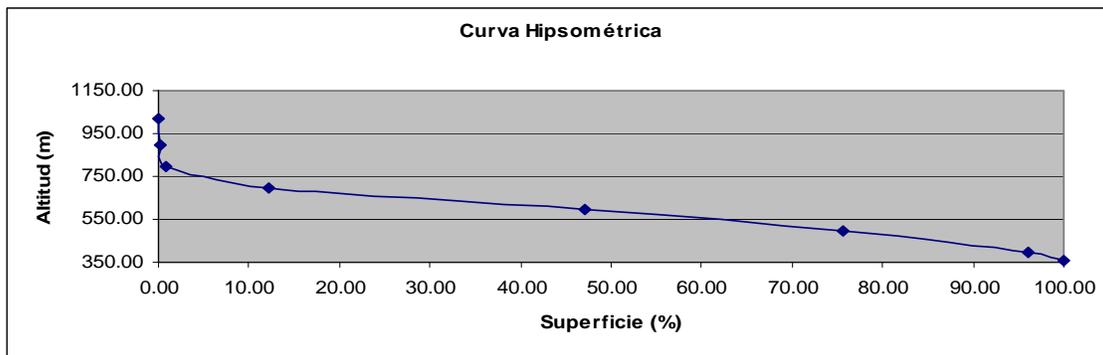


Figura 5.16. Parámetros de la subcuenca de Las Cañas, mapa y curva hipsométrica. Elaboración propia.

- **La Densidad de drenaje.** Para las Cañas se calcula 3.25 km de cauce/km². Esto implica una densidad media cercana a alta (ver apartado 4.1.4).

5.1.2.1. Arenal Seco de Ilopango

Uno de los lugares más conflictivos dentro de la subcuenca de Las Cañas es la microcuenca del arenal Seco de Ilopango. Las aguas que se recogen en el sector suroeste del municipio de San Martín se canalizan hasta afectar diversas comunidades asentadas en las riveras de esta quebrada, estas son: Nuevos Horizontes, Suchitlán, Bosques de San Felipe, Rivas y San Jorge, Montealegre, El Arenal y Granados 2.

Es de señalar que se han realizado una serie de intervenciones estructurales, como construcción de puentes, muros de contención, guarda niveles e **emplantillados***, tanto por parte del Ministerio de Obras Publicas y la municipalidad de Ilopango, como de

* Ver glosario

empresas constructoras. Se presume que con el desarrollo de urbanizaciones aguas arriba en el municipio de San Martín, se ha impermeabilizado el terreno. Entonces el escurrimiento superficial de estas construcciones, el de la autopista de oro y otros se orientaron al cauce del arenal Seco aumentando el volumen del cauce fluvial (Rafael Artiga, com. Pers.).

En la figura 5.17 se muestra la microcuenca del Arenal Seco. Se puede observar que la cuenca natural ha sido modificada, recibe aportes externos (área verde) y también canaliza parte de la escorrentía fuera de la misma (área amarilla).

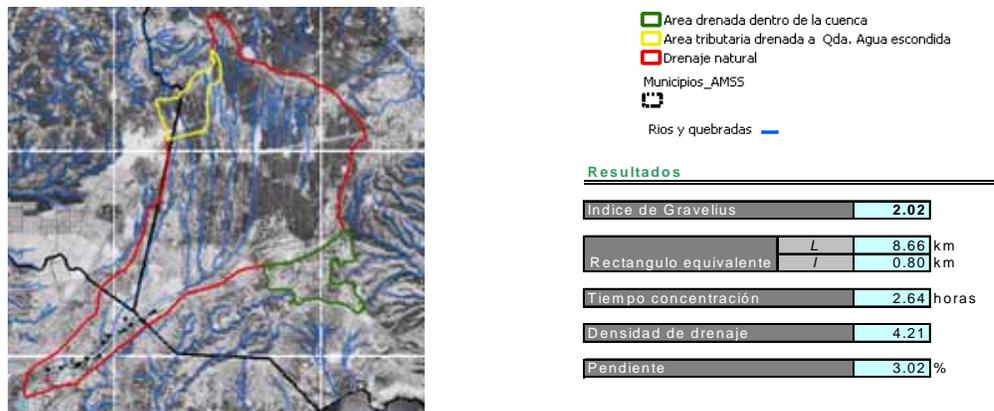


Figura 5.17. Arenal Seco de Ilopango. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR)

Los parámetros morfométricos para esta microcuenca reflejan al igual que para la mayor, una forma rectangular, confirmada por los valores de los lados obtenidos en el cálculo del rectángulo equivalente. En cuanto al tiempo de concentración, se sitúa alrededor de las 2 horas y 38 minutos desde la parte más alta de la microcuenca hasta la comunidad Granados 2. La densidad de drenaje es de 4.21 km de cauce/km². Es decir, alta y textura fina, lo cual es coherente considerando que hay abundante presencia de ceniza volcánica y la pendiente de la cuenca es del 3.02%.

A lo largo de esta quebrada colindan viviendas, guarda niveles colgantes, puentes mal dimensionados, reducciones de cauces considerables, botaderos de basura, aguas negras y aguas grises. Al centrarse en el tramo que va desde Nuevos Horizontes hasta la comunidad Granados 2 (ver Anexo II. Mapa arenal Seco Ilopango), se observa cómo la quebrada sufre continuos ensanchamientos y reducciones de cauce provocando erosión lateral y hasta el colapso de muros y viviendas como el ocurrido en Nuevos Horizontes por el paso del huracán Stan en 2005 (foto 5.20). En Bosques de San Felipe se ubica una pasarela (foto 5.21), cuya luz de paso es insuficiente para evacuar el volumen de agua en momentos de avenidas excepcionales, lo que provoca el desbordamiento, que obligó a construir un dique (foto 5.22). Al seguir hacia abajo, entre las comunidades de Montealegre y El Arenal, la quebrada genera una serie de meandros que provocan erosión en la parte externa y deposición de material en la parte interna. Adicionalmente y como ya se vio en el capítulo 2.1, en estos lugares hay proclividad al desbordamiento si la sección no es capaz

de absorber el caudal. De hecho el puente de Montealegre (figura 5.18), colapsó debido a esta situación.



Foto 5.20. Casas que colapsaron en Nuevos Horizontes.



Foto 5.21. Pasarela en Bosques de San Felipe.



Foto 5.22. Dique construido entre Bosques de San Felipe y Rivas y San Jorge.



Foto 5.23. Puente en comunidad Granados 2.

Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

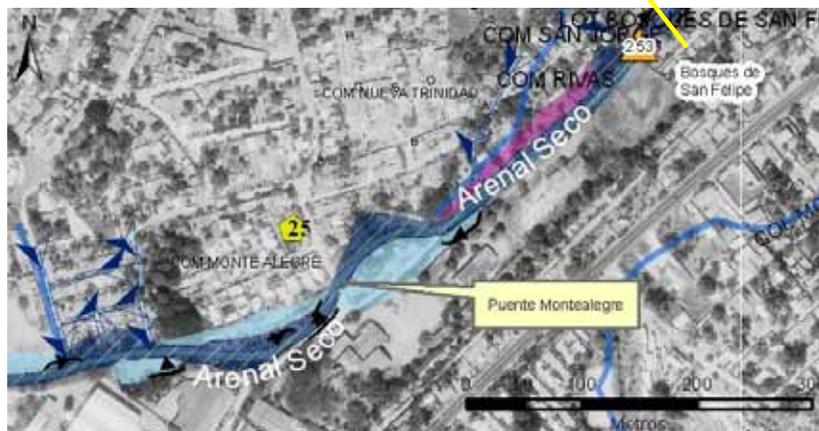


Figura 5.18. Zona Montealegre del arenal Seco de Ilopango. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR Se señala con una línea amarilla la sección en la que se ha calculado el caudal pico durante la crecida del Stan 2005. (Ver apartado 4.2.1).



Figura 5.19. Comunidad Granados 2. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).
Se señala con una línea amarilla la sección en la que se ha calculado el caudal pico durante la crecida del Stan 2005. (Ver apartado 4.2.1).



Foto 5.24 . Enrejado en la quebrada a la altura de la aduana.
Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

5.1.3. Tomayate

La subcuenca del Tomayate tiene una superficie de 73.19 km². Recoge las aguas de los arenales Tutunichapa y Mejicanos, quebrada Tempisque y de los ríos Mariona y Barranca Honda (figura 5.20).

Aguas abajo, se encuentra la comunidad Granados 2, que es una de las más afectadas. La ubicación de un puente mal dimensionado (foto 5.23), la estrechez súbita del cauce en ese punto y el meandro o curva que la quebrada realiza a la entrada de la comunidad son factores propicios para el desbordamiento de las aguas que se canalizan por la calle principal de la comunidad (figura 5.19). En las cercanías del lugar existe un centro escolar, con una gran afluencia de alumnos. A la altura de la Aduana de San Bartolo, hay un enrejado que obstaculiza el libre paso del agua y provoca retención de material que puede llegar a crear una peligrosa represa (foto 5.24).

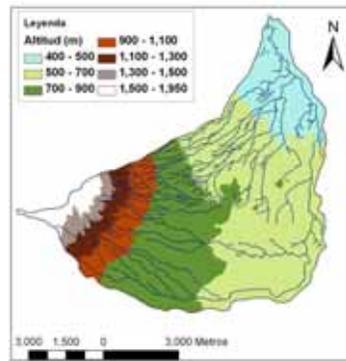


Figura 5.20 . Ubicación de la microcuenca Tomayate. Imagen de Google Earth, noviembre de 2008 (consultado en línea en febrero 2010) y elaboración propia.

Según Jiri Sebesta (2005), estas quebradas discurren por la planicie fluvial policíclica, la cual es una superficie poco inclinada donde las quebradas permanentemente inciden en las acumulaciones volcánicas y en muchas ocasiones originan profundos cañones.

La cuenca el Tomayate tal y como se ha concebido tiene su punto de desagüe en las coordenadas Lambert 479531.47 y 298136.20, aproximadamente en la intersección entre la carretera de Nejapa y el río Tomayate, en el municipio de Apopa.

Los cauces recogen las aguas de escorrentía de la ladera este del volcán de San Salvador y terminan drenando hacia al norte, donde desembocan en el río Acelhuate y posteriormente en el Lempa.



Resultados

Indice de Gravelius		1.35
Rectangulo equivalente	L	15.99 km
	l	4.58 km
Tiempo concentración		6.26 horas
Densidad de drenaje		2.17
Pendiente		5.80 %

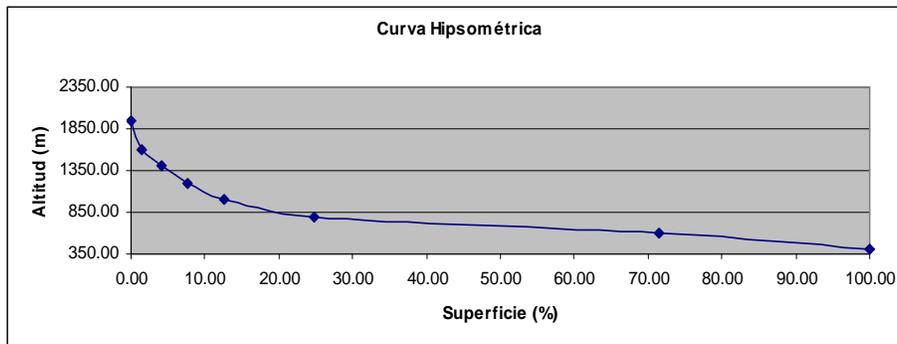


Figura 5.21 Parámetros de la cuenca Tomayate, mapa y curva hipsométrica. Elaboración propia.

Del análisis morfométrico, a continuación el estudio sobre los diferentes parámetros (ver figura 5.21).

- **Índice de Gravelius.** El valor para la subcuenca Tomayate es 1.35, significa que es una cuenca óvalo redonda-oval oblonga.
- **Rectángulo equivalente.** Para el Tomayate el lado mayor resulta en 15.99 km y el lado menor 4.58 km. Estos valores son mucho más próximos entre sí que la cuenca de Las Cañas, lo que certifica los valores obtenidos en el índice de Gravelius.
- **Curva hipsométrica.** Según la gráfica que representa la hipsometría de la subcuenca (ver figura 5.21) y según la descripción del apartado 4.1.3, se definiría como una cuenca en fase de madurez-equilibrio con tendencia a la sedimentación. De hecho y como la geomorfología demuestra, las planicies generadas en las partes bajas de la cuenca no hacen más que corroborar lo antes mencionado.
- **Tiempo de concentración.** El tiempo de concentración calculado para la subcuenca es de 6 horas y 14 minutos. Este es el aproximado para una gota de agua que recorre desde la parte más alta de la cuenca hasta el punto de salida. Cabe mencionar que existen problemas de inundación sobre todo en los arenales de Mejicanos y Tutunichapa. Las comunidades que se ubican en alguna de estas zonas están mucho antes del punto de desagüe considerado, por lo que el tiempo de concentración será mucho menor. Este tema se verá más adelante.
- **Densidad de drenaje.** La densidad de drenaje calculada para la cuenca Tomayate es de 2.17 km de cauce/km². Esto implica una densidad media (ver apartado 4.1.4). En este caso y en comparación con la cuenca de La Cañas, a pesar de que tienen un área muy similar, el valor de la densidad de drenaje es menor. La explicación a esto podría ser la geología más cohesiva y menos erosionable que presenta esta cuenca.

5.1.3.1. Arenal Tutunichapa

Los principales problemas de inundación identificados en el arenal Tutunichapa corresponden al tramo que circula entre la avenida España y la calle 5 de Noviembre, según la fotointerpretación y las visitas de campo realizadas. El mapa geomorfológico (Sebesta, 2005) también muestra terrazas erosionales en gran parte de este tramo. Las comunidades Tutunichapa IV, 3 de Mayo, Amaya y la colonia los Ángeles se sitúan en lugares cartografiados como susceptibles a inundación (figura 5.22).



Figura 5.22. Arenal Tutunichapa entre avenida España y calle 5 de Noviembre. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR). Se señala con una línea amarilla la sección para la que se ha calculado el caudal pico durante la crecida del Stan 2005. (Ver apartado 4.2.3)



Foto 5.25. Vista aguas abajo del arenal Tutunichapa justo antes del puente de la 10.^a avenida Norte. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

La foto 5.25 muestra el dique de la comunidad Tutunichapa IV para protegerla de las crecidas de las quebradas, se construyó justo antes del puente de la 10.^a avenida Norte. Después del puente de la avenida República de Alemania, la quebrada gira a la izquierda generando un meandro justo antes de la calle 5 de Noviembre, otro punto susceptible a inundación aunque no hay exposición de viviendas.

Si se observa la figura 2.2, la comunidad Tutunichapa ha sido inundada en nueve ocasiones (según el registro de Desinventar)

5.1.3.2. Arenal de Mejicanos

El arenal de Mejicanos tiene tres afluentes principales: Las Lajas, arenal de Mejicanos y una quebrada sin nombre, que descienden desde el volcán y que se unen en la planicie volcánica (ver Anexo II). En general no presentan una gran problemática, pero sí existen lugares puntuales donde la mala ubicación de las viviendas ha provocado que el río tome su zona inundable para drenar las aguas.



Figura 5.23. Zona susceptible en reparto Bernal
Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR)



Foto 5.26. Encauzamiento y meandro en qda. sin nombre, afluente del arenal de Mejicanos. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

En el reparto Bernal ubicado en la quebrada sin nombre, ha habido pequeñas afectaciones en algunos patios colindantes, aunque se le ha reducido el cauce en ciertos lugares y es meandriforme (foto 5.26 y figura 5.23).

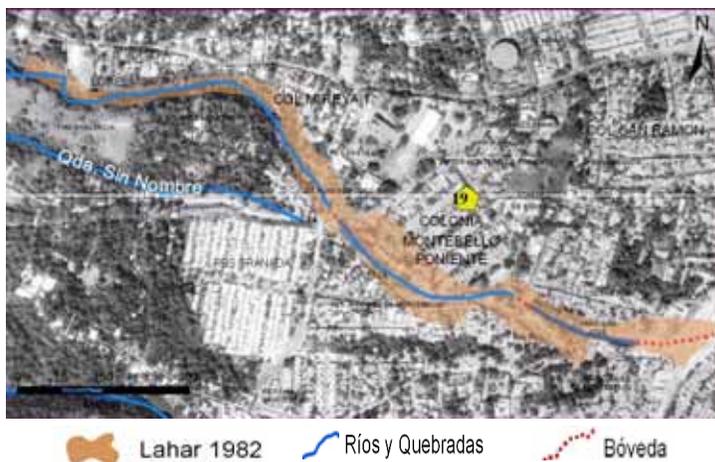


Figura 5.24. Afectación del lahar de 1982. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).

La quebrada Las Lajas es muy conocida por los lahares o flujos de escombros ocurridos en 1934, 1982 y más recientemente en 2008. Es una zona sensible y a tener muy en cuenta. Si bien los lahares no son propiamente inundaciones, porque su proporción de material sólido respecto al líquido es mayor, es necesario que se incluyan en la caracterización. La figura 5.24

muestra la zona de afectación por el ocurrido en 1982. Esta información es muy útil para poder realizar un ordenamiento territorial del lugar.

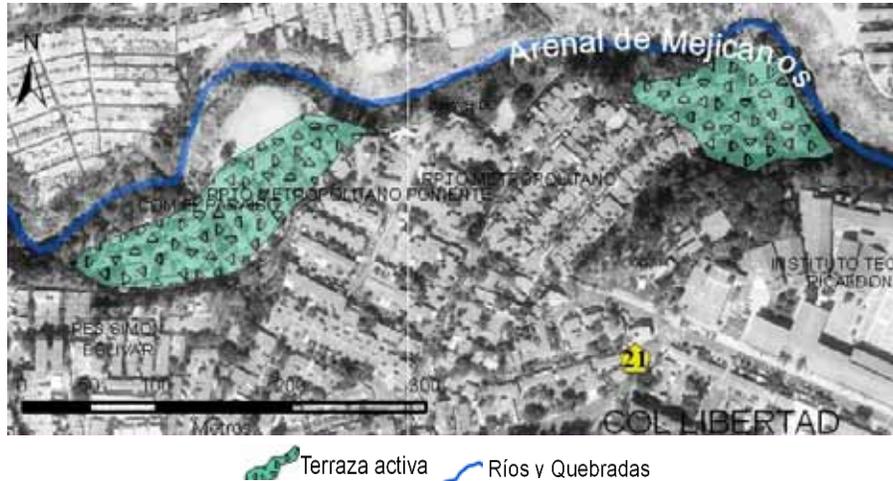


Figura 5.25. Terrazas erosionales en el arenal de Mejicanos. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).

El arenal de Mejicanos a la altura de la colonia Libertad presenta evidencias de terrazas fósiles tal y como se presenta en la figura 5.25 resultado de la fotointerpretación. Sebasta (2005) también identifica una terraza erosional en el margen derecho de la quebrada, que se forma cuando un tramo del valle o llanura es afectada tectónicamente, lo que produce el basculamiento del terreno y el descenso gradual del nivel de base de erosión (IGAC, 2008). No se puede olvidar que estas terrazas son parte de la quebrada y a pesar de que no han sido inundadas recientemente, cabe la posibilidad de que durante algún evento extremo, aunque de baja probabilidad, el nivel del agua inunde las llanuras de las terrazas.



Foto 5.27. Confluencia entre el arenal de Mejicanos y quebrada. El Nispero. Altura del nivel del agua durante las lluvias de julio de 2008. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.



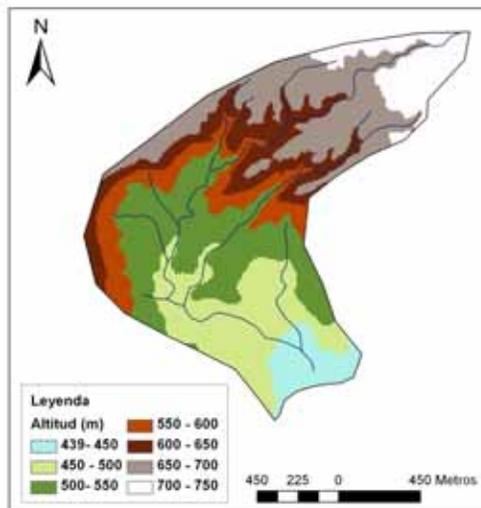
Foto 5.28. Puente a 90.º respecto la dirección del cauce sobre la avenida Monseñor Óscar Arnulfo Romero. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

Aguas abajo, el arenal se junta con la quebrada El Nispero (figura 5.26) en el reparto Ibiza. En este lugar, las lluvias intensas de julio de 2008 inundaron las viviendas situadas en la

5.1.4.1. Subcuenca Güilapa

Del análisis morfométrico, a continuación el estudio sobre los diferentes parámetros (ver figura 5.28).

- **Índice de Gravelius.** El valor para la microcuenca Güilapa es 1.35, lo que la convierte en una cuenca ovalo redonda-oval oblonga.
- **Rectángulo equivalente.** Para la microcuenca, el lado mayor resulta en 2.79 km y el lado menor 0.80 km.
- **Curva hipsométrica.** Según la gráfica que representa la hipsometría de la subcuenca (ver figura 5.28) y según la descripción del apartado 4.1.3, se puede definir como una cuenca en fase de equilibrio con tendencia a la sedimentación. De hecho y como la geomorfología demuestra, existen conos aluviales activos de material o sedimentos en la orilla del lago de Ilopango y sus cercanías, el cual actúa como nivel de base.
- **Tiempo de concentración.** 1 hora y 20 minutos es el tiempo estimado, se calcula con base en el recorrido de una gota de agua desde la parte más alta hasta el punto de salida. La comunidad de Apulo es la más afectada por las inundaciones, pues se ubica en el punto de desagüe, es decir se podría tomar esa hora y veinte minutos como el tiempo de respuesta que tendría la comunidad.
- **Densidad de drenaje.** Esta microcuenca tiene una densidad alta, es decir de 4.12 km de cauce/km² (ver apartado 4.1.4), en este caso la presencia de la tierra blanca es el factor geológico que la influye.



Resultados

Índice de Gravelius		1.35
Rectángulo equivalente	L	2.79 km
	l	0.80 km
Tiempo concentración		1.34 horas
Densidad de drenaje		4.12
Pendiente		7.47%

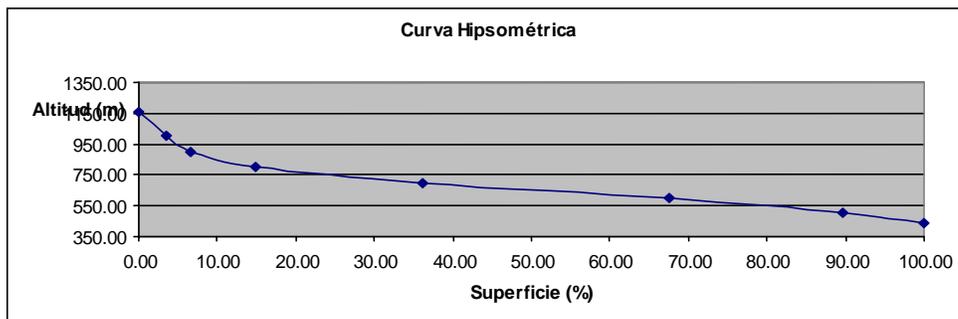


Figura 5.28. Parámetros de la subcuenca Güilapa, mapa y curva hipsométrica. Elaboración propia.



Foto 5.29. Vista aérea de Apulo después del paso de la tormenta tropical Ida. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.



Foto 5.30. Vista de la desembocadura desde el puente antes de Ida. Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

A pesar de tratarse de una cuenca pequeña, los aportes producto de la erosión en la caldera de Ilopango, la alta densidad de drenaje y la exposición de la comunidad de Apulo, ubicada en la desembocadura, provocan grandes problemas de inundación por tormentas extremas como en los años 1984, Mitch 1998, Stan 2005, 2008 e Ida en 2009. Para Stan, se registraron niveles de altura de agua en la desembocadura de 1.54 metros.



Figura 5.29. Cono aluvial y afectación por Ida. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR).

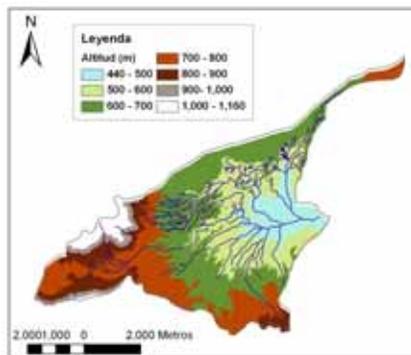
Geomorfológicamente la zona se identifica como un cono aluvial activo; es decir, un lugar de depósito y de circulación del canal principal y canales secundarios (figura 5.29). Toda el área del cono aluvial es zona inundable y es donde precisamente se ubican las viviendas (fotos 5.29 y 5.30) El cono aluvial asociado al río Güilapa ocupa prácticamente la totalidad de la zona occidental de Dolores Apulo y se identifican casas cuyo acceso es por el interior del cauce, pues al ser muy estacional, es fácil ver durante la época seca vehículos transitando. En el sector oriental de Apulo se identifica también un abanico aluvial asociado a la quebrada Los Pezotes, donde se presentan las mismas problemáticas.

A raíz de la tormenta tropical Ida y sus efectos, una comisión científico técnica encabezada por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales realizó un reconocimiento: el área de depósito medida fue de 100,000 m², la altura del material depositado alcanzó 1.5 m. Se realizó una medición de bloques con el resultado de una velocidad estimada, según el método de Costa (1985), de 4.56 m/s (Lone et al, 2009). En todo el flanco norte del lago de Ilopango, desde Joya Grande hasta el desagüe, se reconocen abanicos aluviales activos y comunidades asociadas a ellas. Por lo que eventos de inundación acompañados por grandes volúmenes de depósito de material, la tierra blanca es fácilmente movilizable en todo el sector, son recurrentes y afectan a muchas viviendas. Entre las comunidades afectadas se pueden citar a Joya Grande, en Santiago Texacuangos; Dolores Apulo, en Ilopango; cantón Apancino y El Sauce, en San Martín, y San Agustín, en San Pedro Perulapán.

5.1.4.2. Subcuenca Chagüite

Del análisis morfométrico, a continuación los diferentes parámetros del estudio (ver figura 5.30).

- **Índice de Gravelius.** El valor para la microcuenca Chagüite es 1.85; es decir, una cuenca rectangular
- **Rectángulo equivalente.** Para el Chagüite el lado mayor resulta en 19.09 km y el menor 2.18 km.
- **Curva hipsométrica.** Según la gráfica que representa la hipsometría de la subcuenca (ver figura 5.30.) y según la descripción del apartado 4.1.3, es una cuenca en fase de equilibrio.
- **Tiempo de concentración.** Esta subcuenca se calcula en 2 horas y 12 minutos. Este tiempo es el de una gota de agua que recorre desde la parte más alta de la cuenca hasta el punto de salida.
- **Densidad de drenaje.** La densidad de drenaje calculada para el Chagüite es de 2.86 km de cauce/km². Esto implica una densidad media (ver apartado 4.1.4.).



Resultados

Índice de Gravelius	1.85				
Rectángulo equivalente	<table border="1"> <tr> <td>L</td> <td>19.09 km</td> </tr> <tr> <td>l</td> <td>2.18 km</td> </tr> </table>	L	19.09 km	l	2.18 km
L	19.09 km				
l	2.18 km				
Tiempo concentración	2.21 horas				
Densidad de drenaje	2.86				
Pendiente	9.41%				

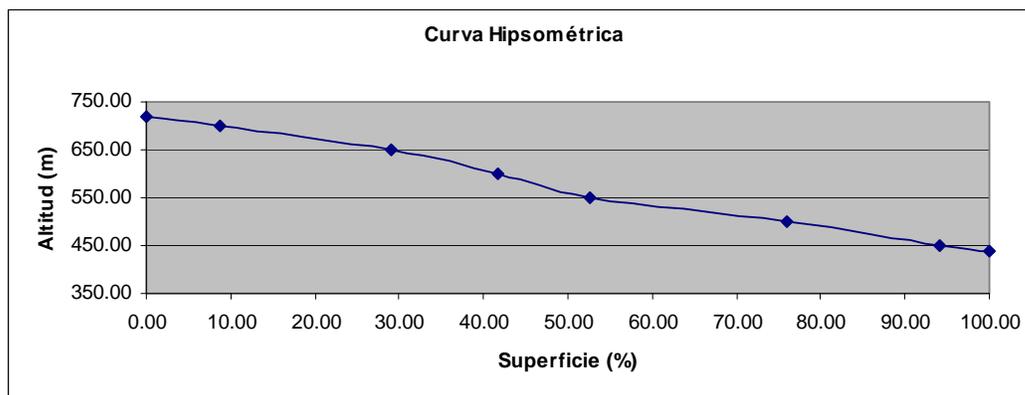


Figura 5.30. Parámetros de la subcuenca Chagüite, mapa y curva hipsométrica. Elaboración propia.



Figura 5.31. Imagen de la zona de Changallo y desembocadura del Chagiüite en el lago de Ilopango. Imagen de Google Earth, noviembre de 2008 (consultado en línea en febrero 2010).

Aunque parte de la cuenca se ubica fuera del AMSS, un claro ejemplo de que estas trasladan los límites administrativos. Changallo se encuentra en un cono aluvial activo y aunque no se realizó ninguna visita, las condiciones geomorfológicas, topográficas y las evidencias dejadas por el paso de la tormenta tropical Ida dejan en evidencia la susceptibilidad de la zona a sufrir inundaciones (figura 5.31.).

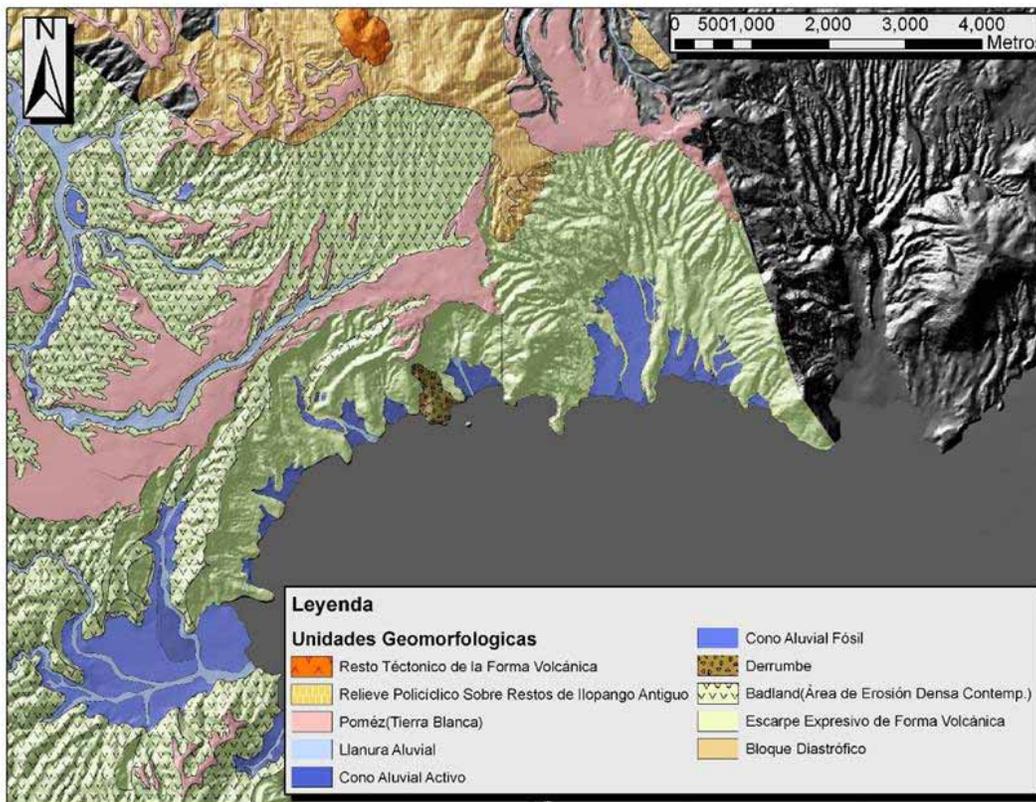


Figura 5.32. Imagen de la zona del flanco norte del lago de Ilopango. Modificado del Mapa Geomorfológico del Área Metropolitana de San Salvador (Jiri Sebesta, FORGAES-OPAMSS, 2006)

En la figura 5.32 se observa el flanco norte del lago de Ilopango, desde Joya Grande hasta el cantón El Sauce. Las áreas en azul representan los abanicos aluviales, tanto fósiles como activos. Como ya se explicó antes los abanicos aluviales son zonas de depósito y es importante comprobar como todos los asentamientos humanos importantes en la ribera del lago están ubicados sobre estas zonas. Por lo tanto la población tendrá siempre problemas recurrentes con las avenidas y el material arrastrado y depositado.

5.2. Cálculo de caudales

El levantamiento topográfico de detalle, con obtención de curvas de nivel equidistantes en 1 metro, se realizó en los siguientes tramos:

- Arenal Tutunichapa. Desde colonia Los Ángeles hasta colonia Santa Eugenia.
- Arenal Monserrat y quebrada La Lechuza. Desde el puente de la Feria Internacional hasta la comunidad Nueva Israel
- Río Acelhuate. Desde colonia El Carmen hasta el bulevar del Ejército.
- Arenal Seco de Ilopango. Desde la comunidad Nuevos Horizontes hasta la comunidad Granados

5.2.1. Subcuenca de Las Cañas. Arenal Seco de Ilopango

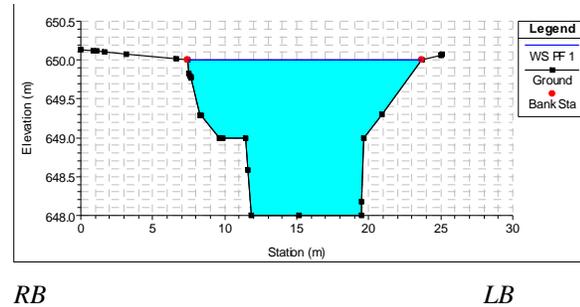
La medición de caudales en el arenal Seco de Ilopango se ha realizado en dos tramos diferentes. La primera sección transversal está ubicada en Bosques de San Felipe con coordenadas 489926.76 y 287675.9 de la proyección Lambert Conformal Conic. La lámina de agua estimada es la causada por las lluvias generadas por el huracán Stan (figura 5.33). Por lo referido antes, acerca del coeficiente de rugosidad, se utilizarán rangos de valores que pueden llegar a modificar sustancialmente los resultados finales. Particularmente se aplicarán valores de η comprendidos entre 0.03 y 0.05. La pendiente longitudinal que discurre por esta sección es de 0.031 m/m. Los resultados se muestran en la tabla 5.1, refleja los caudales comprendidos entre 84.21 m³/s y 140.35 m³/s. Aproximadamente 35 m aguas abajo, se encuentra una pasarela con un área de paso de 9.57 m², claramente inferior a los 21.44 m² de área inundada en esta sección. Es evidente que aún considerando el caso más favorable de que el flujo circule a 6.54 m/s, la estructura podría asumir de 62.58 m³/s. (9.57 m² x 6.54 m/s).

Pendiente (m/m)	Radio hidráulico	Área (m ²)	Coficiente rugosidad	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
0.031	1.18	21.44	0.03	6.54	140.35
			0.05	3.92	84.21

Tabla 5.1. Caudales para Arenal Seco de Ilopango a la altura de Bosques de San Felipe.



Figura 5.33. Ubicación de la sección transversal. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR)



Sección transversal inundable: 21.44 m²

Figura 5.34. Sección transversal en Bosques de San Felipe. Se observa el tirante de agua. RB es el margen derecho y LB el izquierdo.

La segunda sección se ubica a la entrada de la comunidad Granados 2 con coordenadas 489303.56 y 287350.49 de la proyección Lambert Conformal Conic (figura 5.35) Se aplicarán las mismas consideraciones que en la primera sección. Es decir, los niveles de agua durante el huracán Stan (figura 5.36) y los coeficientes de rugosidad entre 0.03 y 0.05. La pendiente longitudinal que discurre por esta es de 0.0105 m/m.

Pendiente (m/m)	Radio hidráulico	Área (m ²)	Coefficiente rugosidad	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
0.0105	1.29	37.31	0.03	4.054328216	151.2669857
			0.05	2.43259693	90.76019145

Tabla 5.2. Caudales para arenal Seco de Ilopango a la entrada de la comunidad Granados 2.

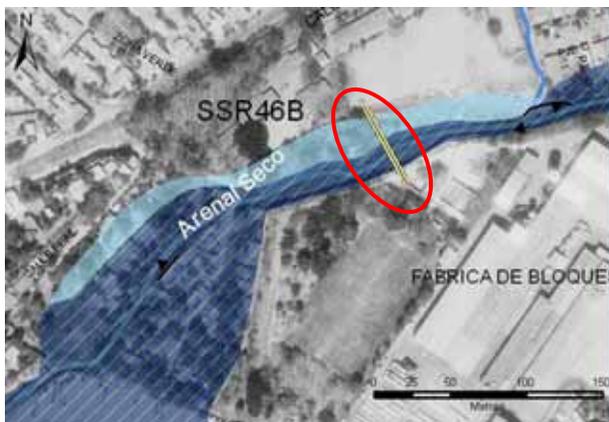
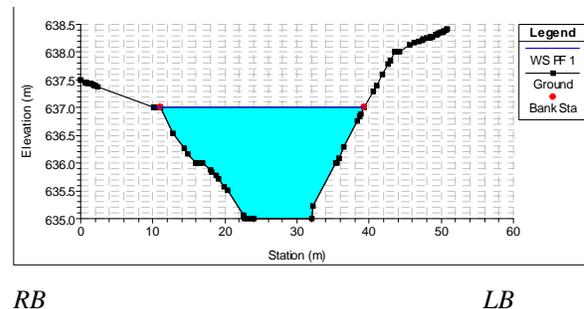


Figura 5.35. Ubicación del cálculo de caudal en una sección a la entrada de la comunidad Granados 2. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR)



Sección transversal inundable: 37.31 m²

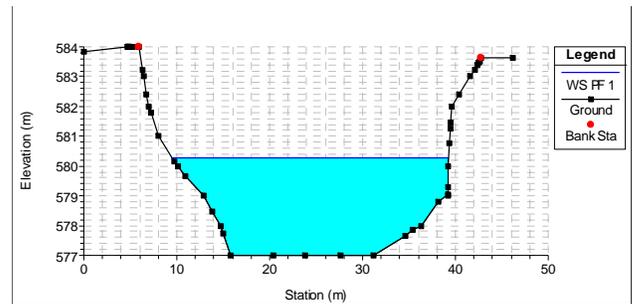
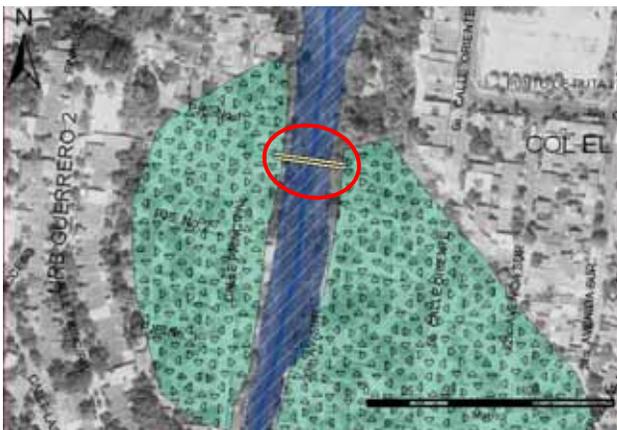
Figura 5.36. Sección transversal en Granados 2. Se observa el tirante de agua. RB es el margen derecho y LB el izquierdo.

La tabla 5.2 muestra los resultados de velocidades y caudales en esta sección. Aproximadamente 100 metros aguas más abajo, se encuentra un puente con una sección

de 1.5 x 4.45 metros. Esto es, un área de paso de 6.67 m² que supone un caudal de 27.04 m³/s considerando una velocidad de 4.05 m/s (ver tabla 5.2), una cifra extremadamente baja al compararla con la estimación inferior hecha de 90.7 m³/s que circuló por el paso del huracán Stan. Toda la comunidad Granados 2 se inundó.

5.2.1.1. Río Acelhuate

La primera sección sobre el Acelhuate se ubica en coordenadas Lambert 480236.74 y 285691.14 en la colonia Gallegos 1 (figura 5.37). La elevación del agua es la identificada por el paso del huracán Stan (figura 5.38) y los coeficientes de rugosidad, al igual que en las otras quebradas del AMSS, se consideran en el rango entre 0.03 y 0.05.



RB

LB

Sección transversal inundable: 78.26 m²

Figura 5.37. Ubicación del cálculo de caudal en una sección a la entrada de la comunidad Gallegos 1. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR)

Figura 5.38. Sección transversal en la Gallegos 1. Se observa el tirante de agua. RB es el margen derecho y LB el izquierdo.

En función del área de paso, la pendiente en el tramo y la rugosidad del lecho, se calcularon los rangos de caudales que circularon (tabla 5.3).

Pendiente (m/m)	Radio hidráulico	Área (m ²)	Coficiente rugosidad	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
0.018	2.43	78.26	0.03	8.083732494	632.632905
			0.05	4.850239497	379.579743

Tabla 5.3. Caudales para el Acelhuate a la entrada de la comunidad Gallegos 1.

Las siguientes secciones levantadas se ubican en la colonia Gallegos 2 (coordenadas Lambert 480187.11 y 285460.89) (figura 5.39) y en la colonia Francisco Morazán, concretamente en coordenadas 481315.68 y 286076.32 de la Proyección Lambert Conformal Conic (figura 5.41) en dirección aguas abajo en el Acelhuate. La elevación del agua siempre es la identificada por el paso del huracán Stan 2005 (figuras 5.40 y 5.42)

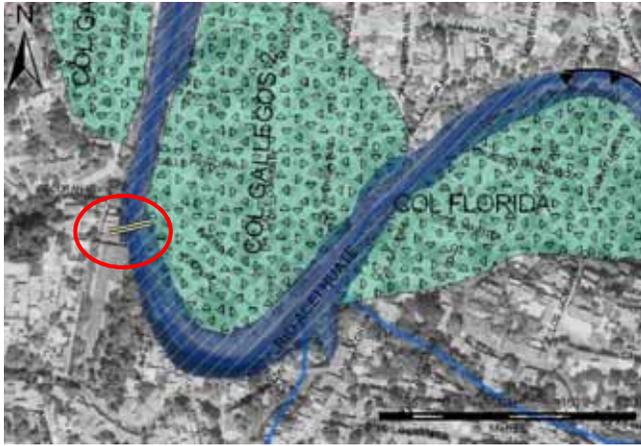
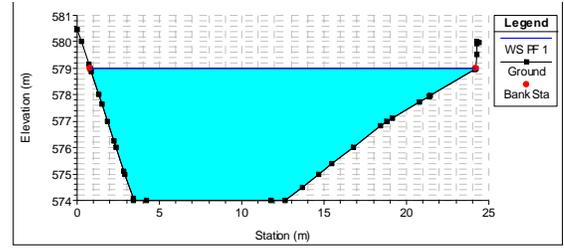


Figura 5.39. Ubicación del cálculo de caudal en una sección a la entrada de la comunidad Gallegos 2. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR)



RB LB
 Sección transversal inundable: 79.24 m²

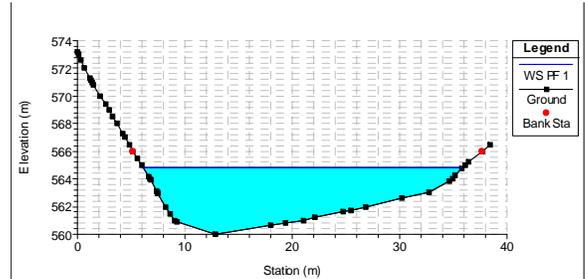
Figura 5.40. Sección transversal en la Gallegos 2. Se observa el tirante de agua. RB es el margen derecho y LB el izquierdo.

Pendiente (m/m)	Radio hidráulico	Área (m ²)	Coefficiente rugosidad	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
0.0085	2.89	79.24	0.03	6.233088115	493.9099022
			0.05	3.739852869	296.3459413

Tabla 5.4. Caudales para el Acelhuate a la entrada de la comunidad Gallegos 2.



Figura 5.41. Ubicación del cálculo de caudal en una sección en la colonia Quiñonez. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR)



LB RB
 Sección transversal inundable:

Figura 5.42. Sección transversal en la Quiñonez. Se observa el tirante de agua. RB es el margen derecho y LB el izquierdo.

Pendiente (m/m)	Radio hidráulico	Área (m ²)	Coefficiente rugosidad	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
0.008	2.89	93.94	0.03	6.044332979	567.8046401
			0.05	3.626599788	340.6827841

Tabla 5.5. Caudales para el Acelhuate en la colonia Quiñonez.

Al revisar los caudales obtenidos en las tres secciones, se pueden hacer algunas observaciones. Los caudales entre la Gallegos 2 y la Fco. Morazán (tabla 5.3 y 5.4), aumentan a pesar de tener áreas de paso, radios hidráulicos y pendientes similares. Puede asumirse el aumento de caudal a los aportes de los afluentes quebrada El Papayal y quebrada Cañón del Tanque. Otro punto interesante es el hecho de que el caudal en la Gallegos 1, aguas arriba de las otras secciones, es mayor para rugosidades iguales. Esta variación se debe a la pendiente del lecho, pues es mayor en esta colonia, lo que facilita el incremento de velocidad y por tanto el aumento de caudal en esa sección.

5.2.1.2. Río El Garrobo



Foto 5.31. Sección del río El Garrobo en la comunidad El Cañito.
Programa IPGARAMSS, Geólogos del Mundo.

En el río el Garrobo no se cuenta con levantamiento topográfico, sin embargo se ha podido calcular la velocidad del flujo durante Stan en 2005 gracias a la medición de bloques, y también a la altura del agua. Cerca del puente El Cañito, la sección que presenta la quebrada es rectangular (foto 5.31), así que se puede asumir una sección inundada de 4.7 m de ancho por 3.6 m de alto, altura del agua calculada según el método de Costa. Esto resulta en 16.92 m². Si la velocidad calculada a partir de los bloques depositados resulta de 5.56 m/s aplicando la fórmula del caudal de la sección 4.3, se obtiene 94 m³/s.

Al calcular la velocidad por el método de Manning, el rango de caudales que deriva en función del coeficiente de rugosidad está entre 74 y 123 m³/s (tabla 5.6).

Pendiente (m/m)	Radio hidráulico	Área (m ²)	Coeficiente rugosidad	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
0.03	1.42	16.92	0.03	7.300144342	123.5184423
			0.05	4.380086605	74.11106536

Tabla 5.6. Caudales para el río El Garrobo en la comunidad el Cañito.

La sección del puente en El Cañito es de 14.10 m². Asumiendo la velocidad de 5.56 m/s, resultan 78.39 m³/s de caudal de paso. Además en este caso, se tiene un gran aporte de material sólido incorporado en la quebrada, proveniente del vertido ilegal de tierra y ripio aguas arriba.

5.2.2. Subcuenca Tomayate

5.2.2.1. Arenal Tutunichapa

Se realizó un cálculo de caudal sobre el arenal Tutunichapa, lo que generó una sección entre la avenida España y la 29.^a avenida Norte. Concretamente en coordenadas Lambert 479443.13 y 287345.52 (figura 5.43).

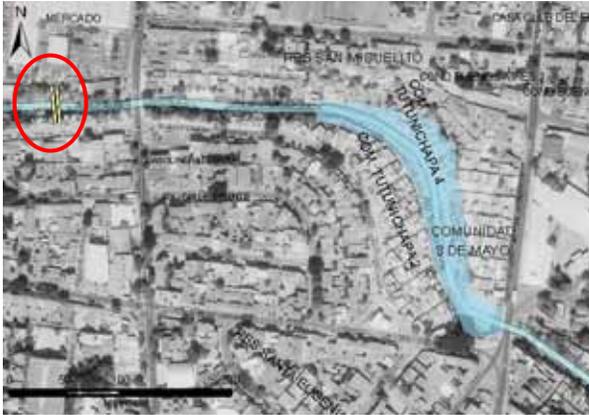
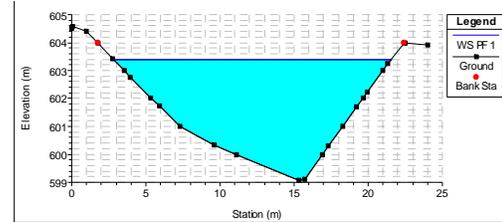


Figura 5.43. Ubicación de la sección donde se realizó el cálculo de caudal en arenal Tutunichapa. Elaboración propia sobre ortofoto. (Fuente ortofoto: CNR)



LF RB

Sección transversal inundable:



Figura 5.44. Sección transversal levantada cerca del bulevar Tutunichapa. RB es el margen derecho y LB el izquierdo.

Pendiente (m/m)	Radio hidráulico	Área (m ²)	Coefficiente rugosidad	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
0.008	2.25	47.12	0.03	5.112894648	240.9195958
			0.05	3.067736789	144.5517575

Tabla 5.7. Caudales en arenal Tutunichapa calculados antes de la comunidad Tutunichapa IV

El antiguo puente de la 10.^a avenida Norte tenía una sección de 58.90 m², suficientemente amplio para absorber los caudales. El problema reside en que las comunidades ubicadas en el margen izquierdo aguas abajo se encuentran en la llanura de inundación y topográficamente en cotas inferiores al nivel del puente. Aguas abajo la comunidad Amaya y la colonia los Ángeles se sitúan en lugares cartografiados como susceptibles a inundación. Y metros antes de estos, se hizo un cálculo de caudal estimativo en una sección con coordenadas Lambert 480216.44 y 287129.61.

En este punto no hay datos de alturas de agua, pero asumiendo un nivel igual a la parte superior del muro existente, se observa que el paso sería de 32.64 m², mientras que aguas arriba era de 47.12 m². Una sección más pequeña implica que este será un punto inundable en las condiciones analizadas para la sección anterior, un dato a tener en cuenta y que puede afectar a las zonas identificadas como susceptibles en la caracterización si se superan caudales de aproximadamente 150 m³/s.

6. Conclusiones

Las conclusiones que a continuación se muestran son derivadas de la observación de campo y la experiencia que el AMSS ha sufrido a raíz del huracán Stan (2005) y la tormenta tropical Ida (2009). Muchas son conclusiones evidentes y aunque notoriamente sabidas o visibles, es necesario insistir una vez más, debido a que no se han visto avances significativos en la reducción del riesgo por inundaciones y siguen siendo recurrentes en el área.

Algunas de las conclusiones se extraen del estudio de la Comisión Técnica Científica, CTC (coordinada por el MARN-SNET), que se creó para la caracterización de inundaciones después de la tormenta Ida y donde Geólogos del Mundo participó en el trabajo del tema realizado en el AMSS. Otras derivan del trabajo de Martín Vide (2002).

De modo general, las causas detectadas o **factores condicionantes**, que generan problemáticas de inundación, pueden resumirse en los siguientes:

- Concentración de la población en ciudades, debido a la focalización en las oportunidades para obtener ingresos. Esto aumenta la demanda de suelo para uso habitacional en la periferia de los núcleos urbanos.
- Alto valor de las propiedades, lo que hace que la vivienda sea inaccesible para un importante sector de la población que tiene que buscar espacios “vacíos” en terrenos que, en muchas ocasiones, son susceptibles a sufrir inundaciones y que no son aptos para uso habitacional, con frecuencia al borde de ríos y quebradas e incluso en el interior mismo de los cauces.
- Por los procesos acelerados de urbanización, se genera un aumento de la construcción e impermeabilización de suelos. Por tanto, los caudales punta aumentan y disminuyen los tiempos de concentración aguas abajo, ya que estos procesos no llevan asociado una adecuada implementación y desarrollo de sistemas de drenaje urbano para controlar el incremento de la escorrentía superficial.
- Exclusión de los estratos más pobres al acceso de los mercados de tierra formales, lo que fomenta este tipo de asentamientos, muchas veces situados en zona de riesgo. Algunos de ellos se han visto “favorecidos” por la implementación de sistemas de abastecimiento de agua y electricidad y otros servicios, incluso han llegado a ser legalizados, con el supuesto de legitimar el derecho a la tenencia de la tierra de sus habitantes, pero con estas actividades solo se logra formalizar la exposición al riesgo.
- Actividades económicas intensivas, fundamentalmente agrícolas, que modifican la cobertura vegetal natural, disminuye la tasa de infiltración y aumenta la escorrentía, la erosión y el arrastre de material aguas abajo.

- Graves deficiencias estructurales en la red de drenaje, incapacidad hidráulica, proyectos inadecuados, infraestructuras de paso subdimensionadas, invasión de los cauces por asentamientos, industrias, botaderos, etc., cambios de diámetros de mayores a menores en dirección aguas abajo y mantenimiento insuficiente.
- Vertido sin tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos, que no implican solamente la contaminación de las aguas, sino que en muchas ocasiones contribuyen al desarrollo de represas de materiales de desecho que favorecen las repuntas, grandes avenidas puntuales asociadas a la rotura de dichas estructuras y que son responsables de grandes daños en las construcciones aguas abajo.
- Obstrucción de los sistemas de drenaje o colapso. Los desechos y basuras se acumulan durante la época seca y son arrastrados a los conductos pluviales en época lluviosa.
- Viviendas construidas sin ningún tipo de normas higiénicas o sanitarias y sin seguir los estándares en los reglamentos de diseño y construcción. Tampoco son monitoreadas o controladas por la institucionalidad correspondiente.

Todo lo anterior se podría describir como factores condicionantes generados por la actividad humana. Ya se ha mencionado a lo largo del documento la vulnerabilidad intrínseca de la población que vive en las comunidades afectadas y también de sus bienes. Pero hay más niveles de vulnerabilidad que exceden la capacidad de actuación de los afectados en primera instancia. Estas son las institucionales, políticas y económicas por mencionar solamente algunas, que condicionan la producción de inundaciones en espacios habitados que ocasionan daños y pérdidas personales, materiales y/o medioambientales.

Por otro lado están los **factores desencadenantes** de las inundaciones. Las precipitaciones inducidas por el clima, la generación de **borrascas***, huracanes y otros fenómenos climáticos no controlables por las personas y que son procesos naturales. Aquí es donde se ve con meridiana claridad que el desastre se genera por la actividad humana. Si no se puede controlar el clima, ¿por qué una intensa precipitación causa desastres en un lugar y la misma precipitación no produce ningún daño en otros lugares? He aquí la diferencia entre amenaza y vulnerabilidad: la primera es, en la mayoría de las ocasiones, el fenómeno que no se controla mientras que la otra generalmente es producto de la acción humana. La misma amenaza puede causar consecuencias diferentes al encontrarse con vulnerabilidades diferentes. Así se puede decir que los *desastres no son naturales, son evitables*.

Dicho esto, del análisis de precipitaciones realizado y tomando en cuenta las limitaciones en la cantidad, extensión y continuidad de los registros, se ha observado que la recurrencia

* Ver glosario

aproximada de eventos como Ida (2009) y Stan (2005) es de 100 años; es decir, existe una probabilidad anual de ocurrencia de 1%. Este dato es importante. La recurrencia de 100 años no quiere decir que solamente se producirá un evento en ese periodo de tiempo, sino que cada año existe una posibilidad del 1% de que suceda. De hecho se puede notar cómo Stan e Ida se manifestaron con 5 años de diferencia, y según la información de SNET, de acuerdo con el análisis de datos de intensidad en la estación Ilopango, el período de retorno puede variar desde 5 años para una duración del aguacero de 60 minutos, hasta 400 años para una duración de 360 minutos.

Al estudiar el registro histórico se observa que la probabilidad de que alguna comunidad de San Salvador sufra inundaciones en un año es del 100%. Obviamente pueden existir años en que ninguna se vea afectada, pero también es cierto que no es necesario que se produzcan precipitaciones con períodos de retorno de 100 años para que causen problemas. Lluvias mucho más débiles ya tienen consecuencias, otro indicio claro de las repercusiones de la intervención antrópica en el territorio. Es más la percepción de la población dice que cada vez se producen inundaciones más frecuentemente. El documento del SNET, *Análisis de riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca del arenal de Monserrat* (2003), indica que con precipitaciones de intensidad superior a 33 mm/hora se producen inundaciones en algunos asentamientos de la parte baja de la microcuenca y este tipo de lluvias se esperan todos los años según los datos del registro histórico.

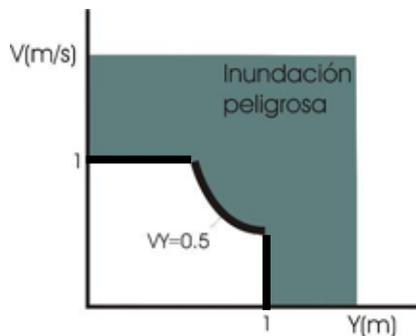


Gráfico 6.1. Condiciones de calado y velocidad peligrosas para las personas.
Martín Vide, Ingeniería de ríos.

El **calado*** o altura que alcanza el agua desbordada en un determinado momento y la velocidad de la corriente sirven para caracterizar la peligrosidad de una inundación. Se denomina inundación peligrosa a la que atenta contra la vida de las personas. Experimentalmente se ha demostrado que estas se caracterizan por velocidades mayores a 1 m/s, calados mayores a 1 metro y producto de ambas mayor a 0.5 m²/s (gráfico 6.1). A parte pueden añadirse variables como la velocidad de subida, interrupción de las comunicaciones, duración, etc. Las inundaciones de Ida 2009 y Stan 2005 entrarían dentro de esta categoría.

Los principales problemas en las riberas de los ríos y quebradas afectados por los eventos máximos estudiados ocurrieron en sitios que presentaron características morfológicas de meandro, point bars, terrazas -todos se identifican como zonas inundables y de depósito de material-, confluencia de cauces o bien, sitios que poseían obras de paso con varios claros, puentes con pilares apoyados en el lecho del cauce, cajas y tuberías dobles o

* Ver glosario

triples, etc.; u obras de menor dimensión, tubería doble justo a la salida de una bóveda, las cuales generaron obstrucción temporal o una reducción en la capacidad hidráulica del cauce, lo que permitió el aumento en el nivel del agua y con él, el nivel de amenaza para la población de estas zonas.

Este factor morfológico es magnificado por la influencia del hombre en los cauces: construcciones autorizadas o no autorizadas en el interior de ellos que pueden generar obstrucción, vertido de materiales, modificación del curso por encauzamiento y falta de mantenimiento de las infraestructuras de cruce en ríos y quebradas, situaciones que alteran la dinámica natural del curso del río. Muchas veces se construye en las llanuras de inundación, las cuales solamente se inundan cada cierto tiempo, pero se inundan irremediablemente.

Tanto en el AMSS como en muchos de los sitios afectados por inundaciones durante los eventos mencionados se pudo observar que los daños y pérdidas fueron detonados por la alta intensidad de las lluvias pero causados por la acción del ser humano al ocupar las zonas inundables de los cauces; sin regulación alguna dictada por las leyes vigentes respecto a sanciones para la construcción en estas áreas de alta vulnerabilidad, ni presentando soluciones que evalúen los impactos hidrológicos de la implementación de nuevos asentamientos humanos en las condiciones de escorrentía, que puedan afectar las características de una crecida o el comportamiento de la infraestructura de cruce al momento de un evento hidrológico. Es importante destacar que los problemas generados por la impermeabilización del terreno o la deforestación en las zonas altas de recarga de las cuencas, como en el caso del volcán de San Salvador, no se manifiestan in situ, sino aguas abajo.

En referencia a la legislación vigente, se debe decir que a nivel nacional no se ha podido llegar a un consenso que se traduzca en la aprobación del anteproyecto de Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Sin embargo sí que existe la *Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños* (LDOTAMSS), cuyo principal objetivo es “regular el ordenamiento territorial y el desarrollo urbano y rural del AMSS y municipios aledaños, mediante el mejor aprovechamiento de los recursos de las distintas zonas y la plena utilización de los instrumentos de planeación”.

Aunque la LDOTAMSS está vigente desde enero de 1994, existen algunos vacíos sobre los mecanismos de aplicación o sobre quién es responsable de dar seguimiento a los procesos descritos en ella. Y esto aunado a la falta de revisiones sustanciales en estos 15 años para actualizarla y mejorar estos problemas, han derivado en inaplicabilidad. Por tanto, no se observa su repercusión en el ordenamiento territorial del AMSS. Por el contrario, se siguen desarrollando construcciones que no se ajustan a la ley sin que las instituciones competentes puedan, o sepan, qué hacer para impedirlo.

(La LDOTAMSS está accesible en línea en: <http://www.csi.gob.sv/leyes.nsf/>, consultado en abril, 2010).

Aun cuando las características de la precipitación durante los eventos Ida y Stan fueron extraordinarias, las consecuencias negativas observadas son frecuentes en muchos de los lugares evaluados. Esto implica que las condiciones de vulnerabilidad en la población son elevadas incluso para eventos de menor magnitud, entonces el nivel de riesgo a desastres aumenta de forma proporcional a esta vulnerabilidad. Sin embargo, para DT-Ida, en concreto, hubo nuevas zonas afectadas por inundaciones o ampliación de las áreas caracterizadas previamente, lo cual confirma las características extraordinarias del evento.

En muchas ocasiones, las primeras ideas de solución que se aplican son medidas estructurales como encauzamientos de los ríos y quebradas. Sin embargo estos cambios en los márgenes y lechos deben ser bien planificados. Se puede afirmar que el encauzamiento realizado en la Mascota y el Arenal de Monserrat fue una de las causas de las graves inundaciones en la comunidad Granjeros 2, aguas abajo de la zona intervenida. Pero no se puede olvidar que la ubicación de esta comunidad no es adecuada y se sitúa encima de una terraza aluvial (inundable por su naturaleza) y que además las obras ejecutadas no están dimensionadas para caudales esperables en el río Acelhuate para esa zona.

Los muros de gaviones no tienen la altura ni la consistencia necesarias (al igual que el muro de la comunidad Nueva Esperanza, contigua a la Granjeros 2 y con similares problemas) y si se añade el colapso de estructuras (pasarelas, tuberías, infraestructuras de la vía férrea o los propios taludes inestables y susceptibles a desprendimientos) se obtiene repuntas del caudal de un volumen y una energía altamente peligrosos. El encauzamiento en general, en la medida en que limita la anchura ocupada por el río en avenida, aumenta la velocidad de circulación. El estrechamiento del río en avenida explica una erosión del lecho y aumento de la inestabilidad de taludes, un problema evidenciable en aquellos ríos que han sido muy confinados por la presión antrópica.

La construcción de gaviones, muros de concreto y diques transversales entre otros, son medidas estructurales frecuentes, y en muchas ocasiones, se ha podido observar como estas estructuras colapsan, gracias a la intensa erosión en la base producida por la dinámica fluvio-torrencial. La problemática en estos casos es el abrupto contraste que representa la obra física con el lecho arenoso.

La existencia de estos muros da a las comunidades una falsa sensación de seguridad, pero cuando colapsan o fallan, circunstancia frecuente en este tipo de obras, se produce la inundación y dichas estructuras que antes la impedían, ahora retienen las aguas aumentando los daños y el riesgo de pérdidas humanas, como en el caso de las comunidades Granjeros 2, rotura de muro de gaviones, o de la comunidad Nueva Esperanza, muro de bloques.

Es habitual también la mala ejecución de las obras de mitigación, por ejemplo la extracción de material pétreo de la orilla donde se quiere construir un gavión o borda, esto favorece la socavación y el colapso de la estructura que debía proteger a los habitantes. Ocasiona más un peligro que una solución.

La construcción de puentes y pasarelas debe ser bien evaluada. Un mal diseño o construcción puede provocar el colapso de la estructura o que el material arrastrado quede obstruyendo el área de paso. La segunda situación generaría una represa que al reventar provocaría una situación de peligrosidad mucho mayor que si no hubiera estado.

Si se habla de medioambiente, los ríos y quebradas del AMSS sufren una gran presión antrópica e insensiblemente son transformados en colectores de aguas residuales. Un reciente estudio de la Universidad de El Salvador (UES) otorga una mala calificación a la calidad del agua del río Acelhuate (Flamenco et al., 2009), lo cual era de esperar si no se cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales y todos los vertidos, tanto de las industrias como familiares, llegan a la red hídrica. También se suma la problemática de los vertidos de material y ripio que aumenta notablemente el aporte sólido en momentos de avenidas.

Esta actividad se concibe muchas veces con la idea de ganar suelo para la actividad humana, pero es un gran error, pues el cauce volverá a buscar su lugar natural de circulación y generalmente este suelo ganado no está convenientemente estabilizado y es fácilmente erosionable y movilizable. Es importante decir que en el AMSS hay ordenanzas municipales que regulan los vertidos y la ley de medioambiente y sus reglamentos especiales pueden considerarse también en este sentido, pero faltan estructuras gubernamentales, tanto nacionales como locales, que hagan valer las leyes, garanticen su cumplimiento y fomenten el respeto a ríos y quebradas.

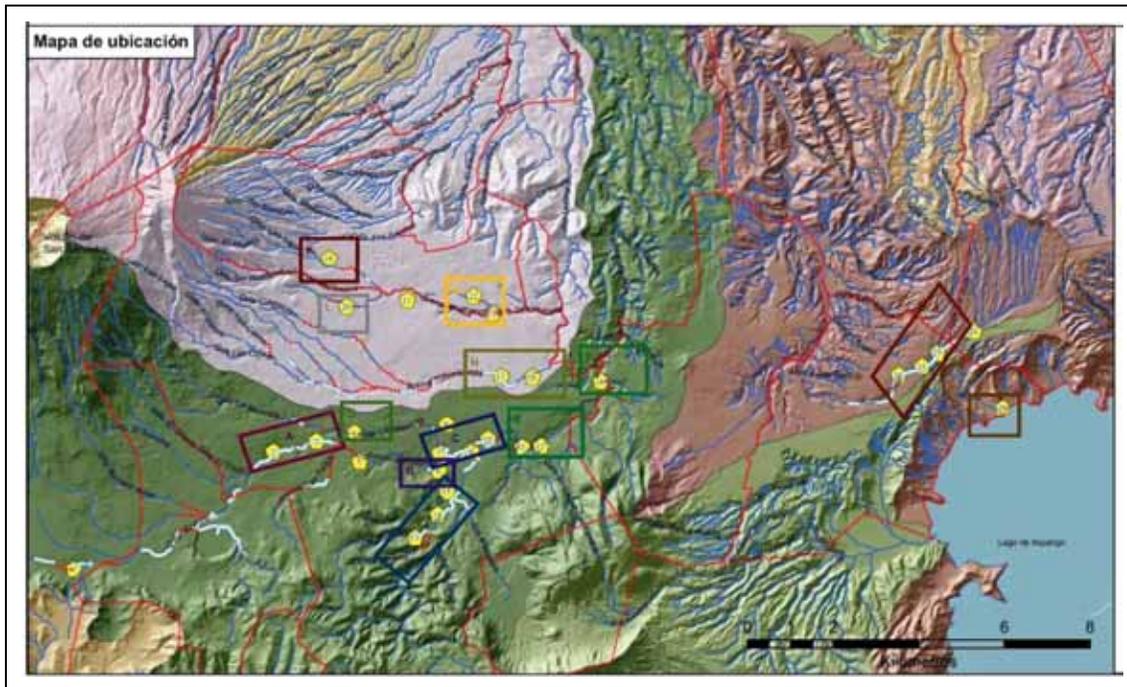
Aunque el paisaje del río es probablemente el recurso fluvial socialmente más valorado, en el AMSS esto se ha perdido por completo. Las quebradas se esconden, confinan y dejan de ser atendidas para convertirse en cloacas.

A pesar de que el reglamento de la OPAMSS (2009) determina un ancho de protección para ríos y quebradas de un mínimo de cinco metros a partir del borde superior del cauce, ampliable en función del nivel de aguas máximas para un período de retorno de 50 años, esto no se traduce a la realidad donde existen comunidades insertas directamente en los cauces. Además, teniendo en cuenta el comportamiento de los ríos y quebradas en el área, el ancho de protección mínimo queda obsoleto, se necesita en la mayoría de los casos una separación mucho mayor. Hay que mencionar en descargo de OPAMSS, que la oficina fue fundada en 1990 y que heredó muchos problemas de desorden territorial. Otra incongruencia es la potestad de las alcaldías, en última instancia, de modificar unilateralmente el ordenamiento territorial de su municipio. La legislación debería fijar que

esos cambios deberían ser aprobados por OPAMSS y que en ningún caso se podrían establecer grandes cambios respecto al plan regional.

Las vulnerabilidades de tipo socio-económico son un problema de escala nacional en el que es necesario el trabajo de todos y es un esfuerzo que sobrepasa los límites del AMSS. La vulnerabilidad física es ampliamente conocida y es responsabilidad de todos contribuir a su reducción. Los lugares de asentamiento están íntimamente relacionados, en la mayoría de los casos, con los recursos de los que se dispone; por tanto también es dependiente de la vulnerabilidad socio-económica. Pero la elevada vulnerabilidad institucional es evidente y se refleja en la existencia de leyes que no constan de instrumentos para su aplicación o a las que nadie da seguimiento y cumplimiento, la insuficiente articulación entre los diferentes entes gubernamentales e incluso la falta de comunicación interna de los gobiernos locales. La reducción de esta última ha de ser una prioridad y es una cuestión de voluntad política.

ZONAS ESTUDIADAS:



Subcuenca del Acelhuate

- Quebrada el Piro
- Quebrada la Lechuza (Fig. A)
- Arenal de Monserrat (Fig. B y C)
Comunidad Nuevo Israel (Fig. A)
Colonia La Málaga (Fig. B)
Barrio Candelaria (Fig. C)
- Quebrada La Mascota (Fig. G)
- Río Acelhuate (Fig. E)
Comunidad Fenadesal Sur y Gallegos 2 (Fig. E)
Comunidad Granjeros y Nueva Esperanza (Fig. E)

Comunidad El Cacao I (Fig. F)

- Ríos El Garrobo, Matalapa e Ilohuapa (Fig. D)

Subcuenca Las Cañas

- Arenal Seco de Ilopango (Fig. J)

Subcuenca del Tomayate

- Arenal Tutunichapa (Fig. H)
- Arenal de Mejicanos (Fig. L, M y K)

Subcuenca del Jiboa (drenaje a Ilopango)

- Subcuenca Güilapa
- Subcuenca Chagüite (Fig. I)

- 1, Colonia San Jose del Pino
- 2, Comunidad Las Palmas
- 3, Comunidad Nueva Israel
- 4, Colonia El Rosal
- 5, Comunidad La Pedrera
- 6, Comunidad La Málaga
- 7, Bo. Santa Anita
- 8, Barrio El Calvario
- 9, Barrio Candelaria
- 10, Barrio La Vega

- 11, Colonia Gallegos 2
- 12, Colonia Granjeros 2
- 13, Comunidad El Cafiño
- 14, Colonia Santa Clara
- 15, Colonia Nicaragua
- 16, Comunidad El Cacao 1
- 17, Comunidad 3 de Mayo
- 18, Colonia Los Ángeles
- 19, Colonia Montebello

- 20, Reparto Bernal
- 21, Colonia Libertad
- 22, Colonia San Antonio
- 23, Reparto Ibiza
- 24, Comunidad Granados 2
- 25, Comunidad Montealegre
- 26, Urbanización Nuevos Horizontes
- 27, Lotificación Suchitlán
- 28, Apulo

Figura 6.1. Zonas estudiadas

Subcuenca del Acelhuate

La subcuenca del Acelhuate atraviesa el área metropolitana, discurre por 9 de los 14 municipios y dentro de ella se localizan algunos de los puntos más problemáticos, también son zonas generalmente densamente pobladas.

- Quebrada el Piro

Nace en las estribaciones meridionales de la cordillera del Bálsamo y se denomina quebrada la Lechuza cuando llega al municipio de San Salvador. Al cruzar el casco urbano de Santa Tecla, está fuertemente canalizada y embovedada. Se han presentado problemas en la colonia San José El Pino y en la comunidad San Rafael con las lluvias del Mitch 1998 y Stan 2005 asociados a bóvedas y puentes.

- Quebrada la Lechuza

La quebrada La Lechuza discurre por los municipios de Antiguo Cuscatlán y San Salvador, proviene de la quebrada El Piro y da lugar al Arenal de Monserrat. A la altura de la comunidad Las Palmas, justo antes del puente de la alameda Enrique Araujo, se observa por fotointerpretación una zona importante de susceptibilidad a inundación. Adicionalmente se pudo identificar la afectación que hubo por el paso del huracán Stan.

- Arenal de Monserrat

▪ Comunidad Nueva Israel

Existen reducciones y obstáculos que generan erosión lateral y desprendimientos en ciertos lugares de la comunidad. Debido a las lluvias de julio de 2008, tormenta tropical Arthur, el puente de la comunidad colapsó y se llevó consigo varias casas. La inundación de 2008 fue causada por la obstrucción durante la crecida de una bóveda ubicada 500 metros aguas abajo debido a los materiales arrastrados por la crecida

▪ Colonia La Málaga

Existen evidencias, vistas tanto en foto aérea como en las salidas de campo, que permiten definir claramente cómo la calle a Monserrat y las viviendas ubicadas entre el arenal y la mencionada calle, se ubican sobre las terrazas erosionales presentes en la zona. La construcción de la calle provocó una modificación brusca del canal principal y favoreció los procesos de erosión e inundación.

▪ Barrio Candelaria

Históricamente esta zona es una de las más problemáticas y con más frecuencia de inundaciones. Sobre este lugar se unen las quebradas de la

Mascota y el Arenal de Monserrat. Topográficamente se trata de una región plana caracterizada en el mapa geomorfológico como terrazas erosionales, laderas erosionales y llanura aluvial. La gran presión urbanística y la escorrentía generada, sumado a lo antes descrito, hacen de él un área problemática. Después del paso del huracán Stan, se encauzaron los lechos y aumentaron las secciones de paso. Las consecuencias de esta intervención se manifestaron en noviembre de 2009, con grandes inundaciones aguas abajo en la colonia Granjeros 2.

- Quebrada La Mascota

Se observan terrazas en la Colonia El Rosal, entre la 49ª Avenida Norte y la Av. Las Amapolas. Aunque no hay constancia de graves problemas de inundación en este sector, el hecho de que geomorfológicamente se aprecien estas estructuras es un síntoma de susceptibilidad por inundación que no se puede dejar fuera. Aguas abajo, en el Barrio el Calvario, por el Cementerio Central, según la base de datos de SNET, sí se han reportado problemas de inundaciones. Lo mismo que el Barrio Santa Anita

- Río Acelhuate

En este tramo el río presenta una sinuosidad marcada, encajado al inicio y con amplitud de sección hacia el final. Hay gran cantidad de asentamientos afectados en esta zona. Existen comunidades construidas sobre depósitos *point bars*, (zonas inundables) y en la parte opuesta a estos, el flujo erosiona y provoca el desprendimiento de los márgenes, lo que llega a afectar las infraestructuras de la vía férrea.

▪ Comunidades Fenadesal Sur y Gallegos 2

En la comunidad Fenadesal Sur la corriente arrastró 5 viviendas ubicadas en el interior del cauce sobre un pequeño resalte. Así como una tubería de aguas negras que atravesaba el río. En la Gallegos 2 se observa cómo el nivel del agua ha afectado a diferentes viviendas ubicadas en la zona inundable.

▪ Comunidades Granjeros y Nueva Esperanza

Existen precedentes de inundaciones en estas comunidades durante los eventos Mitch en 1998, Stan 2005, y Arthur 2008. Sin embargo, las lluvias de la DT-IDA 2009 causaron mayores daños. Geomorfológicamente, la zona presenta terrazas fluviales, las cuales son evidencias de la dinámica del río y dejan registro de inundaciones pasadas. Sobre estas se ubican las comunidades afectadas. Al poniente de la comunidad está la vía férrea, cuyo estribo de concreto ha sido socavado, lo que provocó su colapso y el del puente. Además contribuyó a la rotura del muro de gaviones que protegía la

comunidad Granjeros 2. En ambas comunidades se puede comprobar la problemática de ocupar zonas inundables y proteger los asentamientos con barreras, muros de gaviones o bloques, que si llegan a fallar se convierten en una trampa. En estas últimas lluvias el nivel de agua sobrepasó los tejados en algunos puntos.

- Comunidad El Cacao I

La comunidad el Cacao I se encuentra ubicada sobre un *point bar* y quedó fuertemente dañada por el paso de Ida, con una altura del agua de 1.9 metros; mientras que para Stan fue de 0.7 m.

- Ríos El Garrobo, Matalapa e Ilohuapa

Históricamente es bien conocida la problemática del lugar por todos los habitantes de las comunidades que viven aledañas o inmersas en el cauce del río: comunidades El Cañito, Santa Marta, Costa Rica y Nicaragua. Se han visto afectadas por todas las lluvias importantes de los últimos años (Mitch, Stan, Arthur e Ida). En El Cañito se ha podido estimar una velocidad del flujo del orden de 5.56 m/s y una altura del agua de 3.6 metros. En el puente ubicado en las inmediaciones de la comunidad Santa Clara, se observa que la luz de paso es inferior al metro, claramente insuficiente. Adicionalmente, aguas arriba del puente, el río dibuja un meandro bastante pronunciado, donde la aceleración del agua erosionó y derrumbó los muros y tapias de las casas colindantes durante los eventos Stan e Ida. Algunas de las viviendas de la colonia Nicaragua están prácticamente dentro del cauce. Aguas abajo, el río Garrobo se une al río Matalapa cerca de la colonia Minerva, entonces en este punto el caudal y la turbulencia del fluido aumentan. El estudio de la foto aérea permite observar zonas adicionales a las afectadas por el paso de Stan que son igualmente susceptibles a sufrir inundaciones.

Subcuenca Las Cañas

La subcuenca del río Las Cañas fluye en dirección SE-NO con 21.5 km de longitud y desemboca en el río Acelhuate, atraviesa los municipios de la región nororiental del AMSS. La presencia de grandes espesores de cenizas volcánicas depositadas por la erupción del Ilopango en diferentes episodios genera una geomorfología de tipo badlands, es decir, una morfología altamente erosionada que genera cañones, cárcavas y valles encajados. Por tanto la amenaza principal son los movimientos de ladera, mientras las inundaciones se concentran en la microcuenca del Arenal Seco de Ilopango.

- Arenal Seco de Ilopango

Las aguas que se recogen en el sector sur-oeste del municipio de San Martín, se canalizan y afectan a diversas comunidades asentadas en las riveras de esta quebrada. Dichas comunidades son: Nuevos Horizontes, Suchitlán, Bosques de

San Felipe, Rivas y San Jorge, Montealegre, El Arenal y Granados 2. Hay que señalar que se han realizado una serie de intervenciones estructurales, como construcción de puentes, muros de contención, guarda niveles y emplantillados, tanto por parte del Ministerio de Obras Publicas y la municipalidad de Ilopango como de empresas constructoras. Se presume que con el desarrollo de urbanizaciones aguas arriba en el municipio de San Martín se ha impermeabilizado el terreno y el escurrimiento superficial de dichas construcciones, de la autopista de oro y otros afluentes se orientaron al cauce del Arenal Seco aumentando el volumen del cauce fluvial. A lo largo de esta quebrada hay viviendas colindantes, guarda niveles colgantes, puentes mal dimensionados, reducciones de cauces considerables y vertidos de basura, aguas negras y aguas grises.

Subcuenca del Tomayate

La subcuenca del Tomayate recoge las aguas del Arenal Tutunichapa, Arenal de Mejicanos, quebrada Tempisque, río Mariona y río Barranca Honda. Los cauces recogen las aguas de escorrentía de la ladera Este del volcán de San Salvador y terminan drenando hacia al norte, donde desembocan en el río Acelhuate y posteriormente en el Lempa.

- Arenal Tutunichapa

Los principales problemas de inundación identificados en el Arenal Tutunichapa corresponden al tramo que circula entre la avenida España y la calle 5 de Noviembre. Las comunidades Tutunichapa IV, 3 de Mayo, Amaya y la colonia los Ángeles se sitúan en lugares cartografiados como susceptibles a inundación. La comunidad Tutunichapa ha sido inundada en nueve ocasiones

- Arenal de Mejicanos

El Arenal de Mejicanos tiene tres afluentes principales: Las Lajas, arenal de Mejicanos y una quebrada sin nombre, que descienden desde el volcán y que se unen en la planicie volcánica. En general no presentan una gran problemática, pero sí existen lugares puntuales donde la mala ubicación de las viviendas ha provocado que el río tome su zona inundable para drenar las aguas. La quebrada Las Lajas es muy conocida por los lahares o flujos de escombros ocurridos en 1934 y 1982 y más recientemente en 2008. El Arenal de Mejicanos a la altura de la colonia Libertad presenta evidencias de terrazas fósiles. En la confluencia del arenal y la quebrada el Níspero, Reparto Ibiza, se inundaron las viviendas con las lluvias intensas del 2009.

Subcuenca del Jiboa

Parte de la subcuenca del Jiboa drena al lago de Ilopango. De las microcuencas que conforman esta subcuenca, para el presente estudio se han tomado en cuenta las de Güilapa y el Chagüite.

- Subcuenca Güilapa

A pesar de tratarse de una cuenca pequeña, los aportes producto de la erosión en la caldera de Ilopango, la alta densidad de drenaje y la exposición de la comunidad de Apulo ubicada en la desembocadura provocan grandes problemas de inundación por tormentas extremas como en el año 1984 y durante los eventos Mitch, Stan, Arthur e Ida. Geomorfológicamente la zona se identifica como un cono aluvial activo. El cono aluvial asociado al río Güilapa ocupa prácticamente la totalidad de la zona occidental de Dolores Apulo. Y se identifican viviendas con acceso por el interior del cauce, pues al ser este muy estacional, es fácil ver durante la época seca vehículos transitando. En el sector oriental de Apulo se identifica también un abanico aluvial asociado a la quebrada Los Pezotes, presenta las mismas problemáticas. Después del impacto de Ida se realizó un reconocimiento: el área de depósito medida fue de 100,000 m², la altura del material depositado alcanzó 1.5 m, la velocidad estimada según el método de Costa de 4.56 m/s. En todo el flanco norte del lago de Ilopango, desde Joya Grande hasta el desagüe, se distinguen abanicos aluviales activos y comunidades asentadas en estos depósitos.

- Subcuenca Chagüite

Aunque parte de la cuenca se encuentra fuera del AMSS, este es un ejemplo claro de que transfieren los límites administrativos. La zona de Changallo se encuentra en un cono aluvial activo.

7. Recomendaciones

A fin de reducir los desastres causados por las inundaciones, las recomendaciones se pueden enfocar en dos tipos de medidas: no estructurales, dirigidas a la caracterización y análisis de riesgos, sensibilización de la población e incidencia en el ordenamiento territorial, y medidas estructurales o constructivas, como obras de mitigación, ya sean muros de protección, diques o gaviones, u obras hidráulicas como canalizaciones, balsas de laminación, drenajes, etc.

7.1. *Medidas no estructurales*

Un punteo rápido de medidas no estructurales, algunas de las cuales ya se están implementando, sería:

- Análisis histórico de las inundaciones que ha padecido una zona concreta en el pasado, con la importancia de mantener constantes monitoreos y documentación de estos fenómenos. Si no hay base de datos históricos, no habrá información para analizar y conocerlo mejor.
- Análisis de las condiciones climáticas y meteorológicas de la zona de estudio: períodos de lluvia, de anomalías térmicas, etc.
- Caracterización de la red de drenaje. Estudio del tipo de sistema fluvial.
- Estudio geológico de la zona que defina el tipo de materiales, el grado de erosión y la capacidad de infiltración y drenaje, entre otros aspectos.
- Informar al público del riesgo de inundaciones al que está sometido y de sus consecuencias, con una periodicidad anual.
- Ordenamiento territorial. Los usos de suelo del territorio se delimitarán en función del caudal máximo y los períodos de retorno, datos que deben ser contrastados con la capacidad hidráulica de las infraestructuras existentes para la delimitación de las áreas susceptibles de inundación para cada período.
- Actualización de la legislación medioambiental y de ordenamiento territorial vigente, así como establecimiento de los procedimientos, instrumentos y recursos que garanticen su cumplimiento.

Las acciones no estructurales se enfocan básicamente en la reducción de la vulnerabilidad de las personas y sus bienes. Se trata de conocer mejor el fenómeno, caracterizarlo, analizarlo y tomar medidas para sensibilizar a la población por un lado y regular el territorio por otro. Concretamente se desarrollan las siguientes medidas no estructurales:

Memoria Histórica

Se debe vincular a las municipalidades y las comunidades para el mantenimiento de la memoria histórica de este tipo de registros. Después de varios años o décadas sin eventos mayores de inundación, se vuelve más difícil mantener la sensibilización tanto de las personas como de las autoridades (APFM, 2008). Dejar marcas visibles de la altura máxima del agua durante la inundación puede ser una medida contra el olvido. En algunas ocasiones se ha procedido a reubicar a comunidades enteras en zonas que no eran las más adecuadas, por ejemplo, en la comunidad Nueva Israel hay familias que se asentaron en el lugar después de perder sus viviendas en el terremoto de 1986. Y aunque se ha canalizado el río en este punto y existen muros de protección se siguen reportando problemas de inundación, pues ha sido asentada sobre un point bar, zona de depósito de material, susceptible a sufrir inundaciones.



Figura 7.1. Imagen de la comunidad Nueva Israel ubicada entre el inicio del Bulevar Venezuela, la Alameda Manuel Enrique Araujo y el arenal de Montserrat. Imagen de Google Earth, noviembre de 2008 (consultada en línea en febrero 2010)

Implementación de SAT

En este sentido, el monitoreo de la zona debe de ser constante, para ampliar el registro histórico y mejorar los parámetros de cálculo de caudales. Actualmente ya existe una red de observadores locales conectados con SNET y protección civil. La fortaleza del sistema recae en poder tener mayor cantidad de puntos pluviométricos en las partes altas y medias de las cuencas y estaciones de aforo en las partes bajas. Implementar este sistema

permitiría agilizar y precisar mejor los umbrales para los Sistemas de Alerta Temprana (SAT)*. Un SAT es un conjunto de elementos organizados en un proceso ordenado y sistemático para la vigilancia de una amenaza y la respuesta oportuna ante la misma, con el objetivo de reducir el impacto de los desastres sobre un territorio vulnerable, al monitorear una amenaza y preparar la respuesta de la población ante la misma.

Los SAT para inundaciones son complejos de implantar en zonas como el AMSS, son zonas con alta densidad de población, con cuencas relativamente pequeñas pero capaces de recoger gran cantidad de agua, con tiempos de concentración muy cortos y donde lluvias de intensidades altas son frecuentes. Es una herramienta a desarrollar, papel que han de asumir las instancias gubernamentales técnicas del país y a la que seguir apostando en el futuro, pero no se puede esperar que elimine el riesgo de inundaciones en el AMSS. Como en muchos otros casos, una única medida de este tipo no soluciona nada, sin embargo estructuradas y tomadas en conjunto pueden contribuir a la reducción de la problemática existente.

Esta es una medida recomendada en los casos donde es más difícil reubicar a las comunidades y la exposición a la inundación siempre estará presente. El SAT permite a los habitantes evacuar a tiempo, pero no evita que siga inundándose. También es necesario mejorar los sistemas de comunicación entre comunidades o entre los puntos donde se registren las precipitaciones y las comunidades en riesgo. La organización y la sensibilización comunitarias son esenciales para que este tipo de medidas sean efectivas.



Figura 7.2. Imagen de página del SNET. <http://www.snet.gob.sv/> El SNET facilita datos de previsión de precipitaciones y de lluvia registrada y acumulada (consultado en línea en junio 2010)

* Ver acrónimos



Figura 7.3. Imagen declaratoria de alerta roja por tormenta tropical Agatha. La Dirección General de Protección Civil decreta las alertas. <http://proteccioncivil.gob.sv/> (consultado en línea en junio 2010)

Fortalecimiento de las estructuras de Protección Civil

Dado que no se puede evitar que ciertos sectores del país se inundan, se requiere la ampliación y el fortalecimiento de la red de protección civil en las comunidades, cantones y caseríos; definir mejores rutas de evacuación al hacerlas más seguras; gestión de albergues, procedimientos y recursos para la correcta comunicación de alertas; capacitación a personas de las comunidades para llevar a cabo dichas actividades, y generación de conciencia en la población sobre la vulnerabilidad y el riesgo ante inundación al que están expuestos y las soluciones al problema.



Foto 7.1. Comisiones municipales y comunales de Protección Civil durante la emergencia de la TT-IDA en el municipio de Ayutuxtepeque.

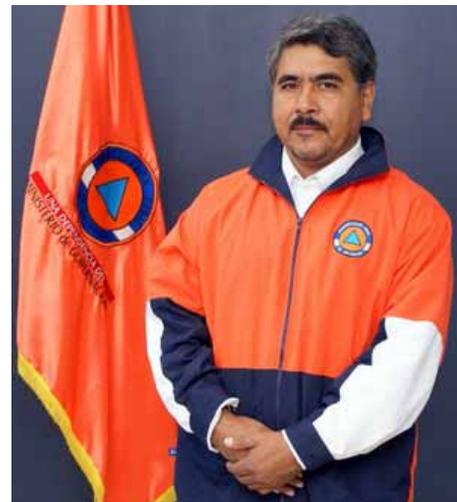


Foto 7.2. Licenciado Jorge Antonio Meléndez, Director General de la Dirección General de Protección Civil <http://proteccioncivil.gob.sv/> (consultado en línea Junio 2010)

Vulnerabilidad institucional y política

En muchas ocasiones se habla de la vulnerabilidad institucional y en los problemas que algunos gobiernos locales tienen para coordinarse entre sus diferentes unidades y con el gobierno central o instituciones nacionales, lo que al final resulta en mayores problemas para la población más expuesta. A la hora de hablar de reubicación, es necesario haber reducido esta vulnerabilidad institucional, pero lo es más incidir en la política. Las condiciones de exposición y de vulnerabilidad en la que vive un alto porcentaje de la población salvadoreña exigen medidas drásticas, de cambios de posturas políticas. Las condiciones intrínsecas de exposición y susceptibilidad del territorio salvadoreño son conocidas por todos y han de ser asumidas desde los diferentes estamentos del gobierno.

En algunos casos será necesario acondicionar las zonas habitadas con obras de mitigación y fortalecer a las comunidades en organización y preparación ante la posible emergencia hasta que se pueda manejar una reducción del riesgo o de un riesgo “asumible”, si es que eso existe. No obstante en otros muchos casos, cualquier medida que se tome no reducirá sustancialmente el riesgo y será imperativa la reubicación. En estas situaciones es necesario un acuerdo de país, donde ningún estamento, gobierno local o partido político pueda sacar rédito de estas medidas. Es necesario un acuerdo donde se priorice la seguridad de la población frente a intereses partidarios.

En comunidades como Dolores Apulo, El Cacao o Granjeros II por muchas inversiones que se realicen, por muchas obras físicas que se construyan, el nivel de exposición, y por tanto de riesgo, va a seguir siendo muy elevado. Se podrá reducir, pero difícilmente se va a rebajar hasta niveles aceptables donde la población residente tenga unas garantías de tranquilidad para poder vivir en la época de lluvias.

Se debe impedir que se sigan legalizando los lotes de los asentamientos informales ubicados al lado de ríos y quebradas así como la introducción de servicios básicos como agua, luz, electricidad y otros. Si bien son acciones a las que tiene derecho una comunidad formal, hacen que un asentamiento pase de ser informal a formal y favorece el aumento de población en lugares con alta exposición al riesgo.



Figura 7.4.. Vulnerabilidad institucional. Martínez, J. et al. REDES 2003

Vulnerabilidad educacional

Para evitar inundaciones por obstrucción, se debería incorporar al programa de estudios del Ministerio de Educación -adicional al conocimiento de la red hidrográfica nacional- el conocimiento obligatorio sobre la red hidrográfica en cada localidad, los problemas de inundación y su historia, la vulnerabilidad, el riesgo y la importancia del mantenimiento de quebradas y de las obras de paso. Las personas deben conocer los nombres y configuración del territorio donde viven; si no lo saben, a través del sistema se está promoviendo la vulnerabilidad educacional.

Mientras esto sucede, se debe impulsar programas de concientización en las escuelas, en las comunidades afectadas y en la sociedad en general, sobre las dinámicas de los ríos y el ciclo hidrológico en la naturaleza y su relación con el ser humano y las comunidades. Además deben considerar un componente de concientización en áreas urbanas y otro componente en áreas rurales, particularmente en las zonas identificadas con vulnerabilidad, sobre la base de las recomendaciones resultantes de los estudios previamente indicados.

Asimismo se requerirá efectuar un estudio sociológico de las medidas educativas implementadas en los sectores vulnerables a inundación, así como del nivel de conciencia de estas comunidades y medir la percepción del riesgo, amenaza y vulnerabilidad de la población. Además deberá estar enfocado desde la perspectiva de análisis de género para determinar qué diferencias hay en la percepción del riesgo y el nivel educativo entre mujeres y hombres.

Realización de estudios hidrológicos

Deberían abarcar como mínimo:

Levantamiento de secciones topográficas del cauce que permitan hacer una evaluación de las áreas de inundación en los sitios afectados y otras poblaciones cercanas a los márgenes del río y de secciones de las obras de cruce que puedan afectar al curso natural del cauce por obstrucción (puentes, cajas, alcantarillas, etc.).

Determinación de áreas vulnerables a inundación por características morfológicas del cauce (meandros, cauces trenzados, cauces auxiliares, etc.); de caudales pico asociados a cada cuenca sobre la información hidrometeorológica disponible, y del impacto de nuevas áreas de urbanización (reasentamientos para sitios afectados o nuevas urbanizaciones proyectadas), en el caudal de los ríos y en la infraestructura existente.

A esto hay que añadir la evaluación de los impactos en el acuífero de San Salvador, ya que por un lado se incrementa la extracción de agua por aumento de la demanda, al mismo tiempo que se reducen las áreas de recarga natural del acuífero por

impermeabilización del terreno y cambios de usos del suelo en las zonas altas. Para esto último, será necesaria la colaboración de los entes relacionados con la autorización de proyectos en las cuencas estudiadas.

La evaluación hidráulica del comportamiento de los ríos o quebradas en los sitios afectados, junto con las características hidrológicas descritas, permite la definición de las áreas susceptibles y vulnerables a inundación (zonas de no construcción), estableciendo el comportamiento para escenarios actuales y futuros con mayor urbanización para considerarlas como áreas verdes o zonas de protección.

Además es necesario mejorar la capacidad hidráulica de la red de drenaje, el mantenimiento del sistema, mejorar en el tratamiento de aguas vertidas y residuos sólidos, y profundizar y promover estudios técnicos a detalle con enfoque de cuenca: topografía, estudios hidrometeorológicos, geológicos, etc.

También se recomienda hacer una evaluación de las medidas de mitigación para áreas afectadas, orientadas al diseño de obras estructurales y no estructurales y evaluación de poblaciones que requieren reasentamiento, estudiar propuestas de diseño para obras de mitigación y relación de coste respecto a la reubicación.

Ordenamiento territorial con enfoque de Gestión de Riesgos

A fin de mejorar la visión o incidir en los planes de ordenamiento territorial del AMSS y de las municipalidades, así como en la legislación, para incorporar la gestión de riesgo de desastres y evitar construcciones en zonas inundables y/o expuestas a inestabilidad de los suelos por movimientos de laderas para dedicarlas al esparcimiento o generación de zonas verdes, es imprescindible un diagnóstico y una caracterización que no existe ni en el Área Metropolitana de San Salvador ni en el país. Y las pequeñas iniciativas son promovidas, en su mayor parte, por organizaciones de la sociedad civil.

Tendría que ser una prioridad nacional generar una cultura de convivencia con los ríos y quebradas del AMSS, conducir los esfuerzos para evitar la contaminación y enfocarlos a la recuperación dejando áreas de protección.

Los planes de ordenamiento deberían recoger la zonificación de áreas geomorfológicamente inundables, por lo que se establecen pautas de edificación en función del riesgo de inundación de los distintos lotes, que incluyen tipo y destino de las edificaciones permitidas, cotas mínimas, tipo de obras correctivas que deberán ser encaradas, etc. Por lo general se consideran restricciones al uso del suelo en niveles inferiores a la crecida de 100 años de tiempo de retorno o asociados a la más alta crecida registrada. Para las áreas ya ocupadas, la zonación puede establecer un programa de transferencia de la población y/o convivencia con los eventos más frecuentes (Bertoni, 2005).

En este sentido los programas de recuperación de las ciudades deberían enfocarse en los siguientes ejes:

- Evitar la construcción en zonas expuestas a amenazas por inundaciones y movimientos de ladera, así como inestabilidad de los suelos -por ejemplo, asentamientos en botaderos de basura clausurados, rellenos y otros- y reubicación de las personas en alto peligro.
- Caracterización de las zonas óptimas de expansión en función de la visión regional y de armonía con el entorno fisiográfico. Planificación del crecimiento con impacto hidrológico “cero”.
- Cambio de uso de suelos: recuperación de las áreas problemáticas, transformándolas en áreas verdes o lugares públicos. Recuperación ambiental de ríos, quebradas, y espacios asociados.
- Planes de ordenamiento territorial y reglamentación de los proyectos.
- Reubicación de las comunidades asentadas en lugares de exposición a la amenaza por inundación o movimientos de ladera a sitios con un nivel de riesgo aceptable.

Reubicación

Es prioritario gestionar la reubicación de viviendas en zonas de riesgo, pues están expuestas a inundaciones y/o movimientos de ladera. Este movimiento debe ir acompañado de una integración social de las comunidades o familias desplazadas. Y se debe fomentar la recuperación de espacios públicos por instituciones públicas para evitar que los lugares desalojados sean nuevamente ocupados. Hay que sensibilizar a la población de la recurrencia ante estos fenómenos naturales, que pueden convertirse en desastre si no son bien manejados. Para ello, se puede involucrarse también al sistema educativo, escuelas locales, y a las unidades de salud.

La acción de reubicar comunidades obedece al reconocimiento de estar situadas en sitios donde de forma permanente estarán amenazados por inundaciones, movimientos de ladera y/o inestabilidad de los suelos. Permitir que habiten en esos lugares es aceptar desastres anunciados donde se debe de asumir el alto riesgo, y proveer servicios básicos como electricidad y abastecimiento de agua, entre otros, es legitimar su derecho a vivir en esos sitios.

La reubicación es una de las medidas no estructurales más drásticas y difíciles de tomar. Es importante hacer una correcta evaluación de la situación. En ocasiones, para evitar esta medida tan poco popular, se recurre a grandes inversiones de dinero en obras que no dan la suficiente seguridad para mantener a la población en esa ubicación. Entonces ante un

episodio de gran intensidad se repiten los problemas, las obras de mitigación ejecutadas se demuestran inútiles y se pierde la inversión. Por lo que es necesario ser consciente de cuando es imperativo hacer el desplazamiento y reconsiderar en casos extremos si con los fondos para obras de mitigación son mejor utilizados para reubicación o compra de los lotes.

EJEMPLO DE CÓMO EL GOBIERNO FEDERAL DE ESTADOS UNIDOS HA DECIDIDO GESTIONAR LOS TERRENOS INUNDABLES. Dejando a un lado la diferencia del contexto de USA al de EL Salvador, el caso muestra la creatividad para la toma de decisiones en estos casos.

La inversión en los terrenos evitaría el gasto en medidas de contención

El gobierno federal ha gastado \$1,500 millones desde 1993 para comprar 40,000 propiedades en zonas de Estados Unidos vulnerables a inundaciones...

Los expertos aseguran que una de las formas más eficientes de limitar daños en zonas propensas a inundaciones es simplemente mudar a los residentes a áreas más secas.

La mayoría del gasto federal se ha dado en la zona norte del centro del país. Las autoridades trabajan con gobiernos locales y estatales, que demuelen las casas y las reemplazan con espacios naturales, parques y refugios de fauna.

El costo inicial permite ahorrar dinero en el futuro en barreras de arena, albergues de emergencia, rescates y limpieza.

LA PRENSA GRAFICA

Escrito por Chelsea/AP
Lunes, 19 abril 2010

<http://www.laprensagrafica.com/economia/internacional/110900--poblados-rechazan-compras-federales.html> Revisado el 31 de mayo de 2010

Figura 7.5. Comunicado de prensa

También se pueden buscar soluciones intermedias, encontrar sitios 100 % seguros resulta difícil y caro y si además deben estar cerca de las comunidades que se han de desplazar se complica aún más. Así que muchas veces hay que asumir que las obras de reubicación han de ir acompañadas por obras de mitigación. Por ejemplo, en el caso de Changallo, en Ilopango, que es un abanico aluvial activo del río Chagüite, se podría construir en la zona más alejada del río si se ejecutaran bordas o muros de gaviones en el cauce principal y en las principales terrazas así como un fortalecimiento en la organización de los pobladores para que sean conscientes del riesgo al que se exponen aunque sea bajo. También se podría facilitar los accesos por zonas no inundables, así en caso de subidas excepcionales del río, se evacua a la población de forma segura.

En el Área Metropolitana de San Salvador hay varias comunidades que deberían ser reubicadas por estar expuestas a condiciones naturales de inundación; pues por más obras de mitigación que se hagan, los sitios son susceptibles a inundarse. Entre ellas están: El

Cacao I, Soyapango; comunidad Nueva Israel y Granjeros 3, en San Salvador, y Dolores Apulo, en Ilopango.

Aspectos Legales

Sobre normativas existentes, se requiere efectuar una revisión técnica de la legislación vigente en el área de gestión de proyectos de construcción, urbanismo y edificación que considere medidas de prevención, mitigación, corrección y sanción que ayuden a minimizar la vulnerabilidad en nuevos asentamientos para evitar problemas de inundación en poblaciones ya expuestas al problema.

Se requiere que la Ley de Ordenamiento Territorial y reglamentos asociados consideren variables del conocimiento de la red hidrográfica y sus consecuencias, así como también las relacionadas con la prohibición de asentamientos urbanos en zonas de susceptibilidad a inundaciones, que logre una coordinación entre gobierno central, gobiernos locales y población en general. Deben gestionarse sanciones más fuertes para los urbanizadores no autorizados que atenten contra la integridad física de la población, dado que son los principales generadores de zonas de vulnerabilidad. Por otra parte, estas áreas deberán clasificarse dentro de alguno de los grupos de uso de suelo referido a zonas verdes o de protección, en función del riesgo que representan para uso agrícola y mucho más para asentamientos urbanos.

Se deben establecer, como parte de los reglamentos técnicos de construcción de carreteras y caminos en urbanizaciones, diseños de obras de paso que consideren, en la dinámica de un río, el arrastre de material sólido y el comportamiento del cauce ante una obstrucción de la obra de paso. Este último diseño deberá tener un solo claro en la medida de lo posible que abarque el ancho del río o la quebrada, para permitir el paso ágil de todo el material que se moviliza. Esta situación implica la definición del ancho mínimo -se recomienda un valor de 100 metros- entre el gremio de ingenieros civiles, empresas constructoras, ONG y gobierno central. Aunque esta situación no sea válida para cruces en ríos de gran caudal, la obra recomendada tendrá que generar el mínimo de obstrucciones para el flujo del río.

Asimismo, mediante un estudio técnico y una discusión por parte de los actores implicados en la construcción antes mencionados, se tendrá que definir el riesgo de la fijación de un período de retorno determinado -25 o 50 años- para la infraestructura y establecer, por consenso, el valor del mismo en los reglamentos de urbanismo y ordenamiento territorial, a modo que permita establecer la infraestructura adecuada y las áreas de vulnerabilidad.

Al centrarse más en los aspectos legales, en el Código Civil se establecen algunas consideraciones importantes tales como que: los ríos y todas las aguas que corren por cauces naturales, son bienes nacionales de uso público (Art. 576) y que nadie podrá

construir, sino por permiso especial de autoridad competente, obra alguna sobre las calles, plazas, puentes, playas, terrenos fiscales y demás lugares de propiedad nacional (Art. 580).

El Reglamento de la Ley de Urbanismo y Construcción -en lo relativo a parcelaciones y urbanizaciones habitacionales- define que una zona de protección puede ser pública o privada. Pero por ningún motivo, razón o circunstancia se permitirá la reducción del ancho natural del lecho de las quebradas o ríos, ni la obstrucción del curso normal de la escorrentía superficial o corriente de agua, tampoco la tala de árboles existentes.

La Ley de Medio Ambiente también tiene algunas disposiciones referentes al caso tales como: “la explotación de canteras y la extracción de material del cause de los riberas de los ríos y de los lagos, lagunas y playas solamente se podrá hacer mediante permiso ambiental expedido por el Ministerio (Art. 82d)”.

Ya se había mencionado que el Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del AMSS y municipios aledaños con sus anexos determina un ancho de protección para ríos y quebradas de cómo mínimo 5 metros a partir del borde superior del cauce, ampliable en función del nivel de aguas máximas para un período de retorno de 50 años. La sugerencia en este caso es aumentar este valor hasta los 100 años.

Aunque se pueda definir una franja con limitación al uso de suelo para no dificultar o impedir el flujo, es necesario que la administración competente incorpore la zonificación de las áreas inundables a los planes de ordenamiento y defina los usos de suelo correspondientes. Esta es la medida no estructural más importante. La tabla 7.1. pretende expresar que tipo de actividades son compatibles o incompatibles con las áreas de inundación cartografiadas en el AMSS.

Tipos de usos del suelo o actividades de ocupación del territorio		Inundación Stan e Ida	Susceptibilidad a inundación
Áreas naturales y seminaturales		Compatible	Compatible
Agricultura y ganadería	Extensivas	Con requisitos	Compatible
	Intensivas	Incompatible	Con requisitos
Ocio y recreativo	Parque y jardines	Con requisitos	Compatible
	Campamentos turísticos	Incompatible	Incompatible
Industrial	Almacenaje inertes	Incompatible	Con requisitos
	Transformación	Incompatible	Con requisitos
	Energética	Incompatible	Incompatible
	Sustancias peligrosas	Incompatible	Incompatible
Urbano	Edificaciones aisladas	Incompatible	Con requisitos
	Baja densidad	Incompatible	Con requisitos
	Alta densidad	Incompatible	Incompatible
	Centros neurálgicos	Incompatible	Incompatible
Infraestructuras lineales y puntuales		Incompatible	Con requisitos

Tabla 7.1. Tipos de usos del suelo o actividades de ocupación del territorio en función de la caracterización por inundación. Modificado de IGME, 2006.

7.2. Medidas estructurales

Hasta este punto se han visto algunas recomendaciones acerca de medidas no estructurales, de las cuales se tiene un fuerte convencimiento de que son las que mejor resultados producen a largo y mediano plazo. Sin embargo no se puede obviar que en ciertos casos deben ir acompañadas de aportes estructurales. En esta sección se tratarán algunas propuestas de obras de ingeniería. Sin embargo no es la intención profundizar en ellas, ya que no es la especialización del autor y más bien deben tomarse como sugerencias y acompañarse de un asesoramiento para su correcta aplicación en caso de decidirse su implementación.

Un punteo rápido de medidas estructurales incluiría:

- Construcción de diques y muros con la finalidad de delimitar la circulación de agua en una zona determinada. Estos sistemas actúan como barreras e impiden que el agua canalizada se desplace hacia el exterior. Presentan el inconveniente de que provocan que el caudal de agua se concentre y aumente su velocidad, hacen que suba la fuerza erosiva, por lo que su diseño debe tener en cuenta la velocidad del agua y el caudal máximo, aunque existen disipadores de energía para evitar estos problemas.

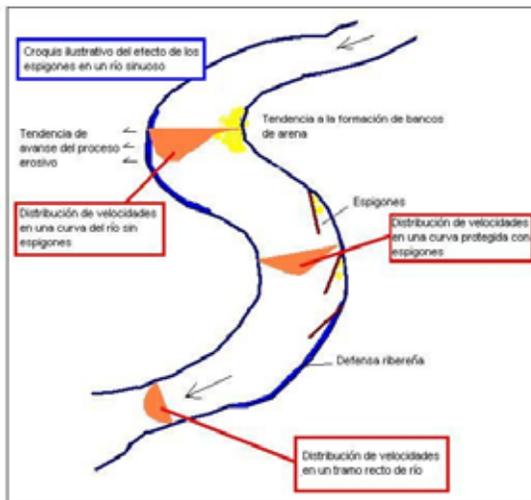


Figura 7.6. Esquema espigones como disipadores de energía y reductores de velocidad. Imagen de <http://es.wikipedia.org/wiki/Espigón> (consultado en línea febrero 2010)

Foto 7.3. Espigones construidos con gaviones para proteger las márgenes de un río. Imagen de <http://es.wikipedia.org/wiki/Espigón> (consultado en línea febrero 2010)

Se podría tomar esta medida en el río Acelhuate, pero debería ir siempre acompañada de medidas estructurales -obras de conservación y de recuperación de los márgenes- y

de medidas no estructurales -como la reubicación de las familias más expuestas en las comunidades afectadas-.

- Acondicionamiento de los lechos. Ensanchando y profundizando los lechos, acondicionando los meandros y suprimiendo los obstáculos físicos, se puede aumentar la capacidad del lecho para absorber una mayor cantidad de agua. Siempre teniendo en cuenta los cambios en la dinámica del río que se pueden generar. Asegurarse de que con el dragado no se favorece la erosión de una de las orillas, por ejemplo. Adicionalmente se pueden generar pozas en el propio lecho como disipadores de energía. Se les debería dar mantenimiento para asegurar que no se colmaten. En la comunidad Nueva Israel se observan dos situaciones similares. En primer lugar cerca de la alameda Manuel Enrique Araujo, donde el río va encauzado, se presentan unos saltos que disipan la energía. Aguas abajo cerca del puente, hay una poza natural que realiza una función parecida, aunque actualmente está sucia y llena de desechos.



Foto 7.4. Imagen de la comunidad Nueva Israel donde se observa las obras de canalización del arroyo de Montserrat. Se diferencia la parte con disipadores y el lecho en buen estado a la zona con la morfología original.

- Construcción de nuevos lechos. Cuando el lecho existente no es capaz de absorber toda el agua, o bien el circuito del río pasa por zonas muy comprometidas (densamente pobladas, etc.), es necesaria la construcción de nuevos lechos auxiliares que favorecen el drenaje.
- Construcción de escolleras o bordas. Proporcionan estabilidad a los márgenes y ayudan a reducir la velocidad del agua y a evitar la erosión y la formación de corrimientos de tierra. En muchos puntos del área metropolitana se podrían colocar escolleras para protección de márgenes, aunque no hay que olvidar las repercusiones aguas abajo, aumento de la velocidad y por tanto de la fuerza erosiva, con lo cual se pueden combinar con espigones o disipadores de energía.



Foto 7.5. Ejemplo de construcción de escollera. Foto 7.6. Ejemplo de construcción de escollera. Imagen de <http://expamar.com/> (consultado en línea febrero 2010) Desagüe lago de Ilopango.

A la hora de realizar este tipo de obras es de vital importancia no extraer el material del propio lecho rocoso del margen río que se quiere proteger. Porque al dragarlo, se favorece la corriente, y por tanto la energía del río, incide con mayor virulencia. En consecuencia, la obra acabará fallando, aunque sea más costoso hay que conseguir el material de las zonas de depósito del río, point bars, o en su defecto traerlo de fuera. Muchas obras de este tipo han fracasado en El Salvador por este motivo.

- Construcción de **gaviones***. Estabilizan los taludes inestables de los márgenes del río. Además son fácilmente construibles por las propias comunidades, incentivando el trabajo en común y fortaleciendo la organización.

* Ver glosario

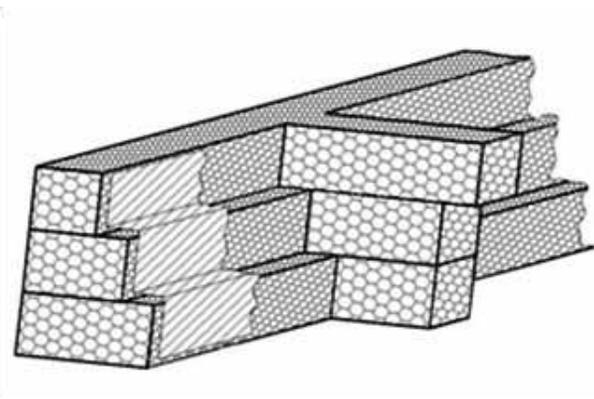


Figura 7.7. Ejemplo de construcción de gaviones. Imagen de <http://www.maccaferri.com.br> (consultado en línea febrero 2010)

Pueden usarse tanto para diques longitudinales como espigones. Estos gaviones sufren de la misma problemática que las traviesas: la erosión. Se pueden emplear tres tipos de gaviones cuyas medidas varían: los gaviones de base se usan para cimentación y miden 1 m x 0.5 metros de alto; los de cuerpo tienen 1 m x 1 metro en sección transversal y de 1 a 4 metros de sección longitudinal, y los de revestimiento que sólo tienen de 0.20 a 0.30 metros de altura

- Obras de almacenamiento. Presas o embalses que pueden hacer disminuir el caudal máximo en un momento dado. Su función es retrasar la crecida en momentos de avenidas rápidas y torrenciales. Por otro lado, pueden provocar fuertes impactos ambientales.

Ejemplos: Lagunas de laminación y otros. En algunos países estas medidas han resultado muy efectivas, pues contribuyen a la regulación de las aguas lluvias y reducen el impacto y número de inundaciones urbanas. Pero es necesario una red de drenaje y de recogida de aguas lluvias de la que no se dispone en el AMSS. Existen diferentes tipologías, algunas más costosas que otras, pero la inversión mínima se debe tomar en cuenta con el respectivo costo del mantenimiento. Pero regular el caudal de los ríos no reduce el número de población que vive dentro de los cauces o en zonas inundables.



Foto 7.7. Ejemplo de construcción de depósito para retención de aguas pluviales. Depósito de Zona Universitaria. Barcelona. Foto Clavas. (<http://www.clabsa.es>, consultado en línea febrero 2010)

- Conservación de suelos. Los suelos favorecen la contención del agua y disminuyen la escorrentía. La presencia de bosque de ribera y de vegetación en la parte alta de la cuenca estabiliza los márgenes y actúa como barrera natural de protección.
- Recuperación de los márgenes de los ríos. Sirve como zona de resguardo frente a las inundaciones y como corredores verdes, e inciden en la sensibilización ambiental de la población.

Dos medidas relativamente sencillas de llevar a cabo son la limpieza de los cauces en períodos anteriores a la entrada de la época lluviosa y durante la misma. También el hecho de vegetar las áreas de los márgenes genera fricción y reduce la velocidad. Además la reforestación en la zona de captación en la parte alta de las cuencas, genera menos escorrentía que una zona impermeabilizada.

- Implementación de una red de drenaje funcional para el AMSS que sea capaz de regular la escorrentía. En una zona como el área metropolitana con un material de sustrato tan movilizable en presencia de agua, con tanta densidad de población y gran cantidad de lotificaciones informales que realizan por su cuenta las conexiones a los servicios básicos, una red de drenaje mal diseñada o ejecutada implica la generación de más problemas que soluciones. A largo-medio plazo ha de ser considerado como un reto.

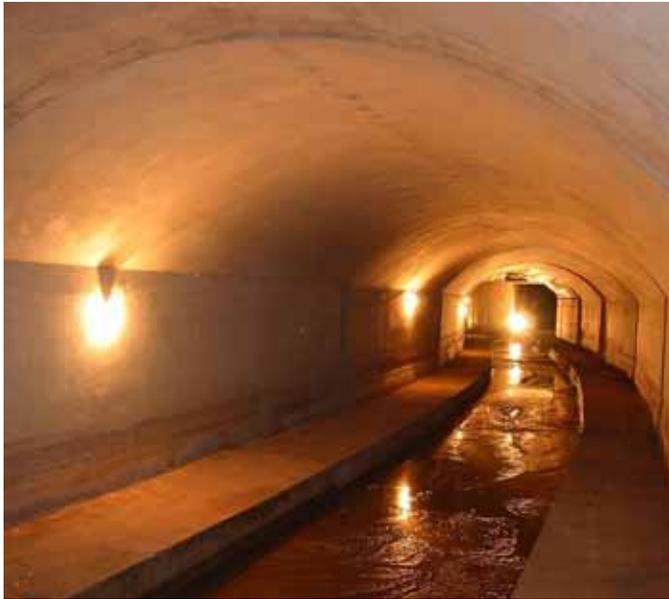


Foto 7.8. Ejemplo de colector de aguas residuales y lluvia en Barcelona. Foto Clabsa. (<http://www.clabsa.es>, consultado en línea en febrero 2010)

La actuación de ingeniería fluvial por antonomasia es el encauzamiento. Muchas de las actividades de un encauzamiento comprenden realizar algunas de las acciones descritas en el punteo anterior. Hay dos factores físicos importantes para concebir un encauzamiento: el régimen hidrológico, que determina la altura de las aguas en función de los caudales tanto anuales como de avenida y la sinuosidad.

Para solucionar muchos de los casos de inundación del AMSS, es necesario aplicar la mayoría de medidas no estructurales mencionadas, incluyendo el traslado de las personas a lugares más seguros y declarando esos suelos de alto riesgo, destinándolos al uso público y recreativo. Muchas veces resulta más barato mover a cierta cantidad de gente que la realización de magnas obras estructurales. Si bien el problema en estos casos es social, la sensibilización debe llegar no sólo a la población en riesgo. Y es un agente más de las medidas no estructurales que se deben aplicar para reducir la vulnerabilidad cultural, con un enfoque integral, ya que el sistema no puede ser manejado interviniendo sólo parcialmente,

En relación a las áreas que están más expuestas a amenazas por inundación:

- Hacer una revisión técnica a detalle de todo el río Acelhuate que identifique zonas de vulnerabilidad.
- Inspeccionar y evaluar áreas no trabajadas desde Joya Grande hasta Santiago Texacuangos, Amatecampo, desembocadura de río Comalapa, río Jalponga y caserío Los Pitos, Titihuapa.

- Realizar los estudios y las gestiones necesarias para definir la caldera del lago de Ilopango como zona de protección.
- Elaborar una actualización de los mapas de susceptibilidad de inundación acorde con las nuevas áreas vulnerables encontradas.
- Vinculación entre las áreas susceptibles identificadas y planes de ordenamiento territorial. Incluyendo las herramientas administrativas, normativas y de control y seguimiento necesarias para que se lleven a cabo las decisiones que se tomen.

Las instituciones y la población tienen el reto de encontrar soluciones a los problemas de inundación en el AMSS. Hay muchas medidas que se pueden tomar, desde las obras de mitigación físicas hasta grandes cambios en la forma de ver y abordar la gestión del riesgo. No siempre serán decisiones fáciles de adoptar, como las reubicaciones, pero en muchos casos no habrá otra alternativa. Sirva este documento como un primer paso de caracterización de la problemática para contribuir a la reducción del riesgo al que se enfrenta un gran número de la población que vive en el Área Metropolitana de San Salvador.

Bibliografía

- ACA Agència Catalana de l'aigua, 2003. *Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local*.
- Aguilar, F.; Marroquín, P.; Landaverde, V.; Donado, W.; Chávez, T., 2010. *Estudio técnico por inundación. Microcuenca del Arenal de Monserrat. Comunidad Nueva Israel, sectores Quiroga I y II*. (Documento no publicado en revisión).
- Andjelkovic, I., 2001. *Guidelines on non-structural measures in urban flood management*. International Hydrological Programme, UNESCO.
- APFM. (Associated Programme on Flood Management), 2008. *Urban Flood Risk Management. A tool for Integrated Flood Management*.
- Benson, M. A., Dalrymple, T., 1967. *General field and office procedures for indirect discharge measurements*. [USGS Techniques in Water Resources Investigations, Book 3, Chapter A1].
- Bertoni, J. C., 2005. *Dispositivos de regulación y control del drenaje pluvial urbano*. Informe técnico para OPAMSS financiado por el proyecto FORGAES.
- Chow, V. T., 1959. *Open-channel hydraulics*. (New York, McGraw-Hill, pág. 680)
- Cortez, A., 2008. *Curso: Evaluación Técnica y Económica De Los Recursos Naturales*. Escuela de Ingeniería Geográfica, Universidad Nacional Federico Villareal.
- Costa, J.E., 1983. *Paleohydraulic reconstruction of flash-flood peaks from boulders deposits in the Colorado Front Range*. [Geol. Soc. Am. Bul., Vol. 94, pág. 986-1004].
- Fernández-Lavado, C., 2006. *Caracterización de la inundabilidad por avenidas de tipo flash-flood en el municipio de Jucuarán (El Salvador, CA)*. Dissertattion, Universitat de Barcelona.
- Fernández-Lavado, C., 2009. *Evaluación de zonas afectadas por el paso del huracán Ida en el departamento de San Salvador: municipios de San Salvador, Soyapango y Apopa en el AMSS, y Aguilares*. Geólogos del Mundo. Informe técnico.
- FLACSO, MINEC, PNUD, 2010. *Mapa de pobreza urbana y exclusión social, El Salvador*. Volúmenes 1 y 2.
- Guinau, Marta, 2002. *Propuesta metodológica para la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos de ladera: Aplicación en cinco municipios del norte del departamento de Chinandega, Nicaragua*. [Tesis de Master en Geología experimental de la Universidad de Barcelona].
- Hernández Guevara, Walter, 2004. *Características geomecánicas y vulcanológicas de las tetras Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador*. Proyecto final de Master. Universidad politécnica de Madrid - Universidad Politécnica de El Salvador.
- IGAC Instituto Geográfico Agustín Codazzi. *Definición de Terraza Erosional* (consultado en línea el 18/02/2010). [<http://www.igac.gov.co>]
- IGME. (Instituto Geológico y Minero de España), 2006. *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicación*.
- IGN Instituto Geográfico Nacional, 1990. SAN SALVADOR. Monografías del departamento y sus municipios. Vol: s.v. 14. No. Ene.

- IGN Instituto Geográfico Nacional, 1985. *Diccionario Geográfico de El Salvador Tomo I A-K*. Diccionario Geográfico de El Salvador.
- INE, 2004. *Análisis Morfométrico de Cuencas: Caso de Estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro*. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas.
- Jarque F. y Guil C., 2000. *Trabajo de Restauración Hidrológico-Forestal del Río Jauro*. ETSI Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Landsea, C.W., 1993. *A climatology of intense (or major) Atlantic hurricanes*. [Monthly Weather Review, Vol. 121, pág.1703-1713].
- Lane, E. W., 1955. *The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering*. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers 81: 17*
- Lardé y Larín, Jorge, 2000. *El Salvador: Inundaciones e incendios, erupciones y terremotos*. Dirección de publicaciones e impresos, CONCULTURA.
- LLamas, J., 1993. *Hidrología general: Principios y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- Lone (MAG), Martínez (FUNSALPRODESE), Asensi (Geólogos del Mundo). *Informe de la emergencia impacto baja presión y huracán ida, 7 de noviembre de 2009. Flanco norte lago de Ilopango*. Presentado a la Comisión Técnico-Científica, coordinada por MARN-DGSET.
- Long, Cynthia, 1999. *Disaster Relief. One Year Anniversary: Remembering Hurricane Mitch* [<<http://www.disasterrelief.org/Disasters/991026mitchanniversary/>>] (consultado en línea el 08/02/05).
- MARN, 2009. *Informe técnico de la baja presión en el pacífico y huracán Ida y su impacto en el medioambiente*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Martín Vide, J. P., 2002. *Ingeniería de Ríos*. Publicado por Edicions UPC.
- Navarrete Walter, 2003. *Organización comunitaria para la prevención de desastres. Guía metodológica*. REDES.
- NOAA. *Operational Significant Event Imagery. Hurricane Mitch Special coverage* [en línea]. URL: <<http://www.osei.noaa.gov/mitch.html>> (consultado el 08/02/05).
- Organización de los Estados Americanos, 1993. *Definición de llanura de inundación y evaluación del peligro de inundaciones*. (Consultado en línea el 13/5/2009). [<http://www.oas.org/osde/publications/Unit/oea65s/begin.htm>]
- Ponce de León, D.; San Antonio, J. A.; Mañé, R.; Seisdedos, J., 2003. *Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeológicos*. *Directrices para la ordenación territorial del Municipio de Nejapa*. Geólogos del Mundo.
- Scheidegger, A. E., 1987. *Systematic geomorphology*. Springer-Verlag.
- Sebesta, Jiri, 2006. *Elaboración de cartografía geomorfológico para incorporar el análisis de riesgo en el plan de desarrollo urbano del área metropolitana de San Salvador*. Proyecto FORGAES SLV/B7-3100/98/0232 UE-GOES. 49 pág.
- Senciales González, J. M., 1999. *Redes fluviales. Metodología de Análisis*. Universidad de Málaga.
- SNET, 2003. *Análisis de riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca del arenal de Monserrat*.

- Trujillo, N., 2010. *Estudio técnico por inundación. Microcuenca El Piro, Santa Tecla. Comunidades San Rafael y El Piro*. Alcaldía de Santa Tecla. (Documento no publicado en revisión).
- Tucci, C., 2006. *Gestión de Inundaciones Urbanas*. World Meteorological Organization.
- USGS Hurricane Mitch Program Countries. El Salvador, 2004. (Consultado en línea el 08/02/05). [<http://mitchnts1.cr.usgs.gov/country/elsalvador.html>]
- Viceministerio de Vivienda y desarrollo urbano (VMVDU), 2008. *Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales*. Ed: Manuel Regueiro y González-Barros.
- LDOTAMSS: *Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños*
<http://www.csj.gob.sv/leyes.nsf/ed400a03431a688906256a84005aec75/547962d87d4064750625644f006a4d82?OpenDocument>

Glosario

Las fuentes de las definiciones del glosario se encuentran al final del mismo y corresponden con la numeración indicada.

Abanico aluvial: depósitos en abanico dejados por corrientes tributarias en valles de menor inclinación o en los contactos con las cuencas de sedimentación fluvial. Significado muy similar al de "conos aluviales". [2]

Acreción: la adición natural de los sedimentos por los agentes naturales, tales como la extensión de limo o arcilla sobre una llanura aluvial por los arroyos o la sedimentación de arenas en una playa por las olas. [2]

Acuíferos: aquel estrato o formación geológica que permite la circulación o el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas. El nivel superior del agua subterránea se denomina nivel freático. [4]

Afluentes: curso de agua, también llamado **tributario***, que no desemboca en el mar sino en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. [4]

Amenaza: es el fenómeno natural en análisis, caracterizado por una probabilidad de recurrencia y magnitud de manifestación determinada, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes, servicios y el ambiente. También se usa el término peligrosidad (*hazard* en inglés) como sinónimo. [1]

Antrópico: Lo relativo, por estar asociado, influido, ser perteneciente o incluso contemporáneo, al hombre entendido como especie humana o ser humano. Se utiliza sobre todo en contextos científicos como biología, ciencias de la Tierra, física y cosmología. [4]

Avenidas: en algunos lugares se denomina también como crecida, riada o aguas altas, es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que su flujo medio. Durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo. Entonces el agua lo desborda e invade el lecho mayor, también llamado **llanura aluvial.*** [4]

Badlans: terreno que ha sido intensamente erosionado con una red de drenaje, abundantes cauces y divisorias estrechas. Común en áreas de precipitaciones intensas y escasa cobertura vegetal. [6]

Bloque: fragmento de roca de gran tamaño. Se denominan así a los fragmentos de rocas de tamaño superior a 256 mm para unos autores o 200 mm para otros, que se encuentran comúnmente presentes en depósitos de tipo aluvial, coluvial, etc. [2]

Borrascas: área caracterizada por bajas presiones atmosféricas, descritas también como depresiones, ciclones y sistemas ciclónicos. Se caracteriza por fuertes vientos, abundantes precipitaciones y, a veces, fenómenos eléctricos. [6] [7]

Bóvedas: estructura de túnel con forma de arco que sirve para la canalización en pasos inferiores, de las aguas de lluvia, ríos y quebradas en áreas urbanizadas [5]

Calado: altura que alcanza la superficie del agua sobre el fondo. [5]

Caldera: depresión topográfica y estructural, groseramente circular, formada por el hundimiento y colapso del techo de una cámara magmática en su cuerpo magmático infrayacente. [6]

Cárcavas: son los socavones producidos en los suelos de lugares con pendiente a causa de las avenidas de agua de lluvia. Estas producen la llamada erosión retrogradante. Se concretan normalmente en abarrancamientos formados en los materiales blandos por el agua de arroyada que, cuando falta una cobertura vegetal suficiente, ataca las pendientes excavando largos surcos de bordes vivos.

Cauce: concavidad del terreno, natural o artificial por donde corre un río u otra corriente. [6]

Caudal: medida del flujo del agua en un punto dado. El caudal de un río puede ser expresado en metros cúbicos por segundo. [6]

Clastos: fragmento de roca obtenido a partir de su rotura, de tamaño variable. Son siempre el producto de erosión seguida de sedimentación en un nuevo emplazamiento. [6]

Cuenca hidrográfica: territorio delimitado por la línea divisoria de aguas donde existe un sistema hídrico superficial. Está conformada por una red de cursos de agua que concentran caudales hasta formar un río principal que vierte sus aguas en otro, en un lago o en el mar. [5]

Curvas hipsométricas: representación gráfica de una línea que separa la parte de la superficie de una cuenca que está por encima o por debajo de una cota determinada. [6]

Depósito: sedimentos depositados en una red enmarañada de varios canales poco profundos de arroyos pequeños, ramificados y reunidos, arroyos anastomasados, que recuerdan a las fibras de una trenza compleja. Se cree que dichos sedimentos indican la imposibilidad del arroyo para transportar toda su carga de sedimentos. [2].

Distribución de Gumbel: se trata de una herramienta estadística de cálculo de probabilidades de ocurrencia de máximos de una serie. La distribución de Gumbel o distribución generalizada exponencial gamma se utiliza habitualmente en el cálculo de los caudales de avenida para el dimensionamiento y diseño de obras hidráulicas. Lo que se pretende con esta distribución es obtener la probabilidad de que en una determinada serie se den nuevos máximos dadas unas condiciones iniciales. [5]

Divisoria de aguas o parte aguas: línea de cumbres, contorno de territorio de mayor altitud, que rodea la red hidrográfica. [5]

Drenaje: es la red de transporte superficial de agua y sedimento, como ríos, lagos y flujos subterráneos, alimentados por la lluvia o de la nieve fundida. La mayor parte de esta agua no cae directamente en los cauces fluviales y los lagos, sino que se infiltra en las capas superiores del terreno y aparece constituyendo arroyos. [4]

Emplantillados: capa de hormigón de bajo contenido de cemento, llamado hormigón pobre. Tiene como función aislar el armado de acero estructural del suelo, donde su espesor varía entre 5 y 10 cm. En muchos casos puede ser usado para nivelar y mejorar la calidad del suelo. [5]

Erosión: conjunto de fenómenos externos que en la superficie del suelo o a escasa profundidad quitan en todo o en parte los materiales existentes modificando el relieve. [2]

Escorrentía: es la lámina de agua que circula en una cuenca de drenaje (ver cuenca hidrográfica), es decir la altura en milímetros de agua de lluvia escurrida y extendida dependiendo la pendiente del terreno. [4]

Estratovolcán: volcán formado por capas de lava alternando con capas de ceniza y otros piroclastos y con material erosionado de las partes altas del cono. [6]

Expansión adiabática: proceso termodinámico en el cual un gas se hace pasar de una presión mayor a otra inferior sin que tome o ceda calor al medio, realizando un trabajo sobre su entorno y bajando su temperatura, la que no debe confundirse con el intercambio de calor que por definición de proceso adiabático es nulo. [4]

Exposición: la exposición está relacionada directamente con la vulnerabilidad. Es la ubicación sobre el terreno de los elementos y determina la condición de un elemento al ser afectado por la amenaza. Si un elemento está fuera del alcance de la amenaza, la exposición y, en consecuencia, el riesgo será nulo. [1]

Fisiografía: es la rama de la Geografía que estudia en forma sistémica y espacial la superficie terrestre considerada en su conjunto y, específicamente, el espacio geográfico natural. Sinónimo de Geografía Física. [4]

Flash-flood una inundación de duración corta con un pico de caudal relativamente alto. Su característica esencial es la velocidad con la que sucede, es decir la corta duración entre el evento meteorológico y la inundación. [5]

Fluvial: relativo a un río, un depósito producido por la acción de este. Los geólogos tienden a utilizar la palabra fluvial para el producto de la acción del río, por ejemplo, arena fluvial. [2].

Fotointerpretación: determinación de unidades geológicas, geomorfológicas o de usos del suelo. Por ejemplo, mediante la interpretación fotográfica, se hacen notar las variaciones en color, tono, geometría, afloramientos, a partir de pares de imágenes, que se observan en tres dimensiones cuando se observan a través de un estereoscopio. [5]

Gavión: caja de malla rectangular rellena de piedras. Los gaviones se pueden disponer de modo que formen estructuras autoportantes o como capas para formar recubrimientos de protección flexibles de orillas costeras y fluviales. [2]

Geomorfología: la clasificación, descripción, naturaleza, origen y desarrollo de las formas del terreno, su relación con la estructura geológica infrayacente y la historia de los cambios geológicos sufridos por dichas características superficiales. [2]

Hidrograma: el hidrograma de caudales es la gráfica que muestra las variaciones de caudal de un río, respecto a un nivel de referencia frente al tiempo. [6]

Índices morfométricos: medida y relación entre las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial, tomando como unidad de análisis la cuenca de drenaje como un sistema geométrico plano y considerando las longitudes de los cauces (valor unidimensional) y la superficie de las cuencas (valor bidimensional). Estos índices se utilizan para cuantificar la evolución del paisaje fluvial y valorar su estado erosivo. [5]

Infiltración: entrada descendente de agua en el suelo. [6]

Intensidad (de lluvia): la cantidad de precipitación caída en un periodo de tiempo, de referencia generalmente se toma una hora. Son los milímetros de agua caída, es decir, la altura de agua caída recogida en una superficie plana y medida en milímetros. Un milímetro de agua de lluvia equivale a 1 litro de agua por m², que es otra forma de medir la cantidad de lluvia. [4]

Inundación: una inundación es la ocupación del agua de zonas que habitualmente están libres de esta, a causa de desbordamiento de ríos. Las inundaciones fluviales son procesos naturales que se han producido periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras en los valles de los ríos, tierras fértiles donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura en vegas y riberas.

Inundación de referencia: inundación real que generalmente es grave, utilizada para reconstruir y mapear la extensión afectada de la zona de estudio y que se toma como referencia para la cartografía o el cálculo de caudales pico en una determinada sección, asociados a ese evento. [5]

Lahar: flujo de barro que se moviliza desde las laderas de los estratovolcanes. [4]

Llanura de inundación: llanura aluvial o vega, la parte orográfica que contiene un cauce y que puede ser inundada ante una eventual crecida de las aguas. [4]

Luz (de un puente): distancia horizontal entre dos apoyos consecutivos del puente. [7]

Mapa de inundabilidad: representación cartográfica de las zonas susceptibles a inundarse, realizada a partir de datos geomorfológicos y registros históricos fundamentalmente. [5]

Mapa geomorfológico: representación cartográfica de las formas del relieve de la superficie terrestre y los procesos que la han modelado. [6]

Meandro: cada una de las curvas o revueltas que presentan algunas corrientes fluviales en su recorrido. [2].

Método geomorfológico: método que consiste en cartografiar las zonas inundables mediante diferentes técnicas: mapeo de unidades geomorfológicas, reconstrucción de los niveles de agua en las avenidas, recopilación de información y construcción de secciones transversales de referencia. [5]

Método histórico: método que consiste en identificar y caracterizar las principales avenidas históricas y estimar las frecuencias de estas inundaciones, a partir de diferentes tipos de imágenes, documentos de prensa y testimonios personales o marcas dejadas. [5]

Microcuenca: territorio delimitado por una línea divisoria de aguas donde existe un sistema hídrico superficial. De menor entidad o incluida en una unidad de mayor extensión, subcuenca o cuenca. [5]

Morfometría: cálculo de parámetros de relaciones adimensionales drenaje-red de drenaje de los cauces, basado en un sistema de ordenación de los cauces; es decir en el rango numérico de los segmentos de un canal dentro de la red de cauces. [6]

Obras de mitigación: medidas estructurales (gaviones, muros, drenajes,..) o no estructurales (reforestación, limpieza de cauces,...) que se pueden tomar para reducir o minimizar los efectos de las amenazas sobre la población y los bienes expuestos. [5]

Ortofotografía: es una presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico. Una ortofotografía se consigue mediante un conjunto de imágenes aéreas (tomadas desde un avión o satélite) que han sido corregidas digitalmente para representar una proyección ortogonal sin efectos de perspectiva y en la que por lo tanto es posible realizar mediciones exactas, al contrario que sobre una fotografía aérea simple que siempre presentará deformaciones causadas por la perspectiva desde la cámara. [4]

Pendiente: es la inclinación del terreno respecto a la horizontal de una vertiente, ladera o talud, medida en grados o en tanto por ciento, y teniendo en cuenta que 90.0° o un 100% de pendiente es la vertical. [5]

Período de retorno: también llamado de recurrencia, es un concepto estadístico que intenta proporcionar, en términos de un determinado período habitualmente expresado en años, la probabilidad de ocurrencia de un suceso. En hidrología es frecuente considerar zona inundable a aquella que es cubierta por las aguas en tormentas de hasta quinientos años de periodo de retorno. Esto significa que la cantidad de lluvia caída en un sólo día para ese periodo de retorno solamente se iguala o supera, estadísticamente, una vez en el período de

500 años. En términos numéricos se expresa que la probabilidad de que se presente una precipitación superior en un determinado año es $p = 1/500 = 0.002 = 0.2\%$. Sin embargo eso no implica que no puedan producirse dos tormentas de tal o superior intensidad en dos años consecutivos o incluso en un mismo año. [4]

Permafrost: suelo permanentemente helado que ocupa en torno al 26% de la superficie continental terrestre, bajo condiciones térmicas en las que las temperaturas bajo 0°C han persistido durante al menos dos inviernos consecutivos y el verano intermedio. [6]

Point bar: cuerpo sedimentario con forma de media luna que se genera en la cara interna convexa de un meandro fluvial y que se construye a partir de los materiales que el río erosiona en las caras externas cóncavas. Los materiales que forman las barras suelen ser relativamente gruesos y a menudo se encuentran inclinados aguas arriba.

Probabilidad de recurrencia: ver periodo de retorno

Quebradas: valle angosto transversal a la línea de cresta que caracteriza una etapa temprana en el desarrollo de una red de drenaje. [6]

Red de drenaje: es la manifestación de la escorrentía superficial concentrada y jerarquizada en cauces. [5]

Red hídrica: relación espacial y geométrica entre los cauces fluviales individuales en un área, reflejando frecuentemente el tipo y estructura del suelo o roca subyacente. [6]

Red hidrográfica: ver red hídrica.

Registros pluviométricos: serie continua de registro de la cantidad de lluvia, medida con pluviómetros (cantidad de lluvia diaria) y pluviógrafos (para precipitaciones de corta duración y alta intensidad). La precipitación pluvial se mide en mm, de altura de lámina de agua en el instrumento. Un litro caído en un metro cuadrado alcanzaría una altura de 1 milímetro. [5]

Riesgo: es la probabilidad de que la amenaza produzca daños en un lugar concreto y durante un período de tiempo definido. Como se puede observar en la definición, el riesgo puede ser expresado como la relación:

$R = A \times V$; donde R es el riesgo; A es la amenaza, y V es la vulnerabilidad (incluye exposición).

Otros autores consideran la exposición (E) una componente más en la relación, generando así:

$R = A \times V \times E$; donde E es la exposición. [1]

Subcuencas: territorio delimitado por una línea divisoria de aguas donde existe un sistema hídrico superficial. De menor entidad o incluida en una unidad de mayor extensión o cuenca. [5]

Terraza: relleno situado en una o ambas vertientes de un valle, a una altitud superior a la del curso de agua, que representa el resto de un antiguo lecho en el que ha profundizado el curso de agua [2].

Tierra Blanca Joven: materiales volcánicos, fundamentalmente depósitos de caída y flujos piroclásticos, poco cohesivos y fácilmente erosionables, resultado del último evento eruptivo de la caldera de Ilopango. [5]

Transporte: término general para describir el traslado de material erosionado por los cursos fluviales hasta una zona de depósito aguas abajo. [5]

Tributarios: *ver afluyente.*

Vulnerabilidad: es el grado de daños que las personas u objetos pueden sufrir al manifestarse un movimiento en masa. Es un valor muy difícil de obtener ya que intervienen multitud de variables, desde económicas, hasta sociales y políticas. Como es inviable la obtención de todas y cada una de las variables que influyen en la vulnerabilidad, autores como Handmer y Grunfest (2001) proponen basarse en los parámetros de edad, género, estatus económico y densidad de población. La vulnerabilidad es un factor propio del elemento expuesto a ser susceptible y sufrir un daño del cual puede encontrar dificultades en recuperarse posteriormente. [1]

[1]. *Definiciones basadas en EIRD (2007)*

[2]. *Glosario Geológico ICOG, en línea 02//10. (http://www.icog.es/portal/glosario/sp_search.asp)*

[3]. *Wordreference.com, en línea 14/12/09 (<http://www.wordreference.com>)*

[4]. *Wikipedia, en línea 02/10. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>)*

[5]. *IPGARAMSS*

[6]. *Diccionario Oxford-Complutense. Ciencias de la Tierra.*

[7]. *RAE, en línea 14/12/09 (<http://www.rae.es/rae.html>)*

Lista de figuras

Figura 2.1. Cuencas y subcuencas del AMSS.....	4
Figura 2.2. Número de inundaciones por municipio en el departamento de San Salvador entre 1900 y 2010.....	9
Figura 2.3. Comunidades con problemas de inundación según técnicos municipales del AMSS. ..	10
Figura 3.1. Perfiles de un río.	13
Figura 3.2. Curva de Hjulström.	14
Figura 3.3. Diagrama de Lane.....	14
Figura 3.4. Sinuosidad de los ríos. Fuente: Martín Vide, 2002.....	15
Figura 3.5. Canal meandriforme.....	15
Figura 3.6. Ejemplo de ordenación de una red hidrográfica según el criterio de Strahler.....	18
Figura 3.7. Zona de Convergencia Intertropical.....	20
Figura 3.8. Easterly Waves.	20
Figura 3.9. Levantamiento orográfico. Fernández-Lavado (2005).....	21
Figura 3.10. Fenómeno de El Niño 1997.	21
Figura 3.11. Vista satélite del huracán Mitch.	23
Figura 3.12. Trayectoria del huracán Mitch 98.....	23
Figura 3.13. Huracán Stan.	24
Figura 3.14. Depresión tropical Ida.	24
Figura 3.15. Relación caudal-escorrentía vs. tiempo.....	30
Figura 4.1. Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión.	34
Figura 4.2. Ejes de un bloque, siendo B el eje intermedio.....	41
Figura 5.1. Cuenca del Acelhuate y ubicación de comunidades.	43
Figura 5.2. Parámetros de la subcuenca Acelhuate, mapa y curva hipsométrica.....	45
Figura 5.3. Situación de la problemática en Colonia San José El Pino.....	45
Figura 5.4. Caracterización de la inundabilidad en quebrada La Lechuza.	46
Figura 5.5. Caracterización en la comunidad Nueva Israel mostrando alturas del nivel de agua....	47
Figura 5.6. Susceptibilidad por inundación en comunidad La Pedrera.....	48
Figura 5.7. Caracterización en la zona de la colonia La Málaga	49
Figura 5.8. Caracterización de la inundabilidad en Barrio Candelaria.....	50
Figura 5.9. Terrazas erosionales en quebrada La Mascota, entre la 49. ^a avenida Norte y Av. Las Amapolas.....	51
Figura 5.10. Susceptibilidad por inundación en el Cementerio General.....	51
Figura 5.11. Caracterización río Acelhuate, entre colonia Gallegos y comunidad Granjeros 2.	52
Figura 5.12. Afectación de Stan e Ida en comunidad el Cacao 1,.....	55
Figura 5.13. Ubicación de los ríos El Garrobo, Ilohuapa y Matalapa.....	56
Figura 5.14. Caracterización de los ríos el Garrobo e Ilohuapa.	58

Figura 5.15. Ubicación de la subcuenca del río Las Cañas en relación al AMSS.....	60
Figura 5.16. Parámetros de la subcuenca de Las Cañas, mapa y curva hipsométrica.....	61
Figura 5.17. Arenal Seco de Ilopango. Elaboración propia sobre ortofoto	62
Figura 5.18. Zona Montealegre del arenal Seco de Ilopango.....	63
Figura 5.19. Comunidad Granados 2. Elaboración propia sobre ortofoto.	64
Figura 5.20 . Ubicación de la microcuenca Tomayate.....	65
Figura 5.21 Parámetros de la cuenca Tomayate, mapa y curva hipsométrica.....	65
Figura 5.22. Arenal Tutunichapa entre avenida España y calle 5 de Noviembre..3).....	67
Figura 5.23. Zona susceptible en reparto Bernal.....	68
Figura 5.24. Afectación del lahar de 1982.	68
Figura 5.25. Terrazas erosionales en el arenal de Mejicanos.	69
Figura 5.26. Problemáticas de inundación en el reparto Ibiza y la colonia San Antonio.....	70
Figura 5.27. Subcuencas del Güilapa en rosado y del Chagüite en amarillo.	70
Figura 5.28. Parámetros de la subcuenca Güilapa, mapa y curva hipsométrica.	72
Figura 5.29. Cono aluvial y afectación por Ida.....	73
Figura 5.30. Parámetros de la subcuenca Chagüite, mapa y curva hipsométrica.	74
Figura 5.31. Imagen de la zona de Changallo y desembocadura del Chagüite en el lago de Ilopango.....	75
Figura 5.32. Imagen de la zona del flanco norte del lago de Ilopango. Modificado del Mapa Geomorfológico del AMSS (J.Sebesta, FORGAES-OPAMSS, 2006).....	75
Figura 5.33. Ubicación de la sección transversal. Elaboración propia sobre ortofoto.....	77
Figura 5.34. Sección transversal en Bosques de San Felipe.	77
Figura 5.35. Ubicación del cálculo de caudal en una sección a la entrada de la comunidad Granados 2.....	77
Figura 5.36. Sección transversal en Granados 2.....	77
Figura 5.37. Ubicación del cálculo de caudal en una sección a la entrada de la comunidad Gallegos 1.....	78
Figura 5.38. Sección transversal en la Gallegos 1.....	78
Figura 5.39. Ubicación del cálculo de caudal en una sección a la entrada de la comunidad Gallegos 2.....	79
Figura 5.40. Sección transversal en la Gallegos 2.....	79
Figura 5.41. Ubicación del cálculo de caudal en una sección en la colonia Quiñónez.	79
Figura 5.42. Sección transversal en la Quiñónez.	79
Figura 5.43. Ubicación de la sección. Cálculo de caudal en arenal Tutunichapa.	81
Figura 5.44. Sección transversal levantada cerca del bulevar Tutunichapa.	81
Figura 6.1. Zonas estudiadas.....	89

Figura 7.1. Imagen de la comunidad Nueva Israel ubicada entre el inicio del Bulevar Venezuela, la Alameda Manuel Enrique Araujo y el arenal de Montserrat.	96
Figura 7.2. Imagen de página del SNET.....	97
Figura 7.3. Imagen declaratoria de alerta roja por tormenta tropical Agatha.	98
Figura 7.4.. Vulnerabilidad institucional. Martínez, J. et al.....	99
Figura 7.5.Comunicado de prensa.....	103
Figura 7.6. Esquema espigones como disipadores de energía y reductores de velocidad.....	106
Figura 7.7. Ejemplo de construcción de gaviones. I.....	109

Lista de fotos

Foto 2.1. Casas destruidas por la inundación del 12 de junio de 1922 en barrio La Vega, San Salvador.	7
Foto 2.2. Inundación en San Salvador 1922.....	7
Foto 4.1. Reconocimiento de campo en comunidad El Cañito.	38
Foto 4.2. Taller en comunidad Granjeros 2.....	38
Foto 5.1.Poza en la Comunidad Nueva Israel por contraste litológico.	48
Foto 5.2. Reducción del cauce por invasión de viviendas.	48
Foto 5.3. Erosión lateral y colapso.	48
Foto 5.4. Destrucción del puente en la comunidad Nueva Israel.	48
Foto 5.5. Situación del punto conflictivo de inundación en la colonia La Málaga.....	49
Foto 5.6. Desprendimientos en la comunidad Fenadesal.....	53
Foto 5.7. Niveles de la altura del agua en la Gallegos (línea roja).	53
Foto 5.8. Se observa la altura del agua en la comunidad Granjeros.....	54
Foto 5.9. Daños ocasionados en Granjeros 2.....	54
Foto 5.10. Colapso del puente de la vía férrea durante Ida.....	54
Foto 5.11. Nivel del agua en comunidad Granjeros 2 por el paso de Ida.....	54
Foto 5.12. Calle en la comunidad Nueva Esperanza.....	55
Foto 5.13. Muro en la comunidad Nueva Esperanza.....	55
Foto 5.14. Efectos en comunidad el Cacao 1 de Soyapango.....	55
Foto 5.15. Nivel del agua en El Cañito para Stan 2005.....	57
Foto 5.16. Comunidad Nicaragua, pasarela previa a Stan.	57
Foto 5.17. Comunidad Nicaragua, colapso de la pasarela.	57
Foto 5.18. Construcciones en las entradas de las viviendas para evitar la entrada de agua.	58
Foto 5.19. Unión de los ríos El Garrobo y Matalapa.	58
Foto 5.20. Casas que colapsaron en Nuevos Horizontes.....	63
Foto 5.21. Pasarela en Bosques de San Felipe.....	63

Foto 5.22. Dique construido entre Bosques de San Felipe y Rivas y San Jorge.	63
Foto 5.23. Puente en comunidad Granados 2.	63
Foto 5.24 . Enrejado en la quebrada a la altura de la aduana.	64
Foto 5.25. Vista aguas abajo del arenal Tutunichapa justo antes del puente de la 10. ^a avenida Norte.	67
Foto 5.26. Encauzamiento y meandro en qda. sin nombre, afluente del arenal de Mejicanos.	68
Foto 5.27. Confluencia entre el Arenal de Mejicanos y quebrada. El Níspero.	69
Foto 5.28. Puente a 90.º respecto la dirección del cauce sobre la avenida Monseñor Óscar Arnulfo Romero.	69
Foto 5.29. Vista aérea de Apulo después del paso de la tormenta tropical Ida.	72
Foto 5.30. Vista de la desembocadura desde el puente antes de Ida.	72
Foto 5.31. Sección del río El Garrobo en la comunidad El Cañito.	80
Foto 7.1. Comisiones municipales y comunales de Protección Civil durante la emergencia de la TT-IDA en el municipio de Ayutuxtepeque.	98
Foto 7.2. Licenciado Jorge Antonio Meléndez, Director General de la Dirección General de Protección Civil.	98
Foto 7.3. Espigones construidos con gaviones para proteger las márgenes de un río.	106
Foto 7.4. Imagen de la comunidad Nueva Israel donde se observa las obras de canalización del arenal de Montserrat.	107
Foto 7.5. Ejemplo de construcción de escollera.	108
Foto 7.6. Ejemplo de construcción de escollera. Desagüe lago de Ilopango.	108
Foto 7.7. Ejemplo de construcción de depósito para retención de aguas pluviales.	110
Foto 7.8. Ejemplo de colector de aguas residuales y lluvia en Barcelona.	111

Lista de gráficos

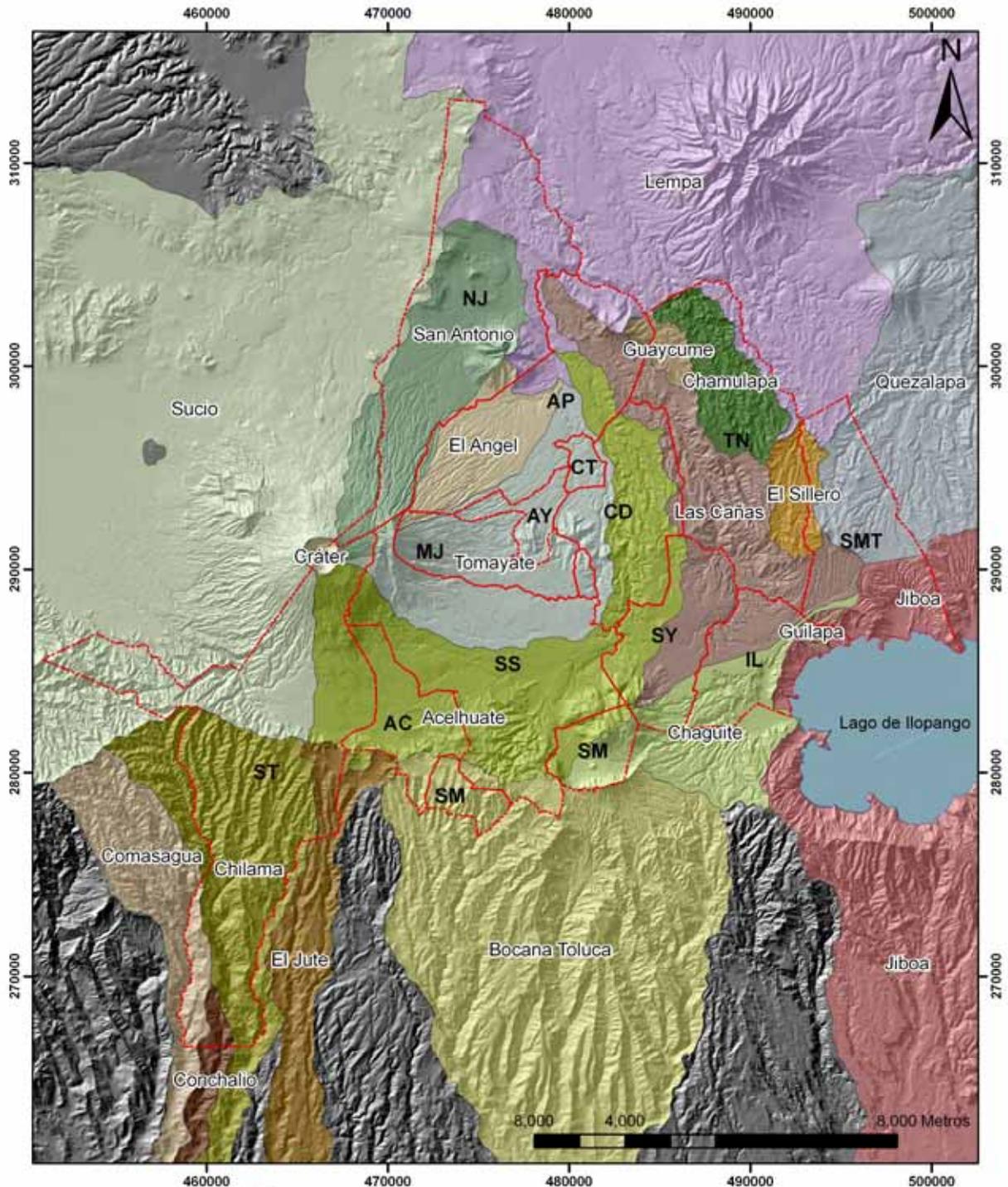
Gráfico 2.1. Número de inundaciones a nivel mundial.	7
Gráfico 2.2. Número de inundaciones en el AMSS de 1900 a 2008.	8
Gráfico 3.1. Evolución de los fenómenos de El Niño (en rojo) y La Niña (en azul).	22
Gráfico 3.2. Precipitaciones anuales acumuladas en las diferentes estaciones (1969-2002).	26
Gráfico 3.3. Precipitaciones anuales medias acumuladas frente a altura de las diferentes estaciones.	27
Gráfico 3.4. Precipitaciones mensuales medias.	27
Gráfico 4.1 Regresión de Costa (1983) para el cálculo de la velocidad a partir del diámetro medio de los cinco bloques más grandes.	42
Gráfico 4.2. Gráfica para obtener la media de la altura del agua.	42
Gráfico 6.1. Condiciones de calado y velocidad peligrosas para las personas.	84

Lista de tablas

Tabla 2.1. Relación de cuencas, subcuencas y microcuencas	5
Tabla 3.1. Usos de suelo del AMSS a partir de la ortofoto de 2002.	16
Tabla 3.2. Clasificación climática de Koëppen (1956) para El Salvador.	19
Tabla 3.3. Distribución anual de lluvia en El Salvador según geografía.....	19
Tabla 3.4. Ubicación de las estaciones con registro de precipitaciones..	25
Tabla 3.5. Precipitaciones anuales medias acumuladas (mm).....	26
Tabla 3.6. Años de registro de precipitaciones disponibles desde 1969 hasta la actualidad.....	28
Tabla 3.7. Cálculo de precipitaciones para diferentes períodos de retorno según el método Gumbel	28
Tabla 4.1. Índice de Gravelius.....	33
Tabla 4.2. Valores de densidad de drenaje.	35
Tabla 4.3. Técnicas de estudio para la caracterización de la inundabilidad, según diferentes métodos.....	37
Tabla 4.4. Coeficientes de rugosidad según la medida del material del cauce y aplicado a llanuras y canales	40
Tabla 5.1. Caudales para Arenal Seco de Ilopango a la altura de Bosques de San Felipe.....	76
Tabla 5.2. Caudales para arenal Seco de Ilopango a la entrada de la comunidad Granados 2.	77
Tabla 5.3. Caudales para el Acelhuate a la entrada de la comunidad Gallegos 1.	78
Tabla 5.4. Caudales para el Acelhuate a la entrada de la comunidad Gallegos 2.	79
Tabla 5.5. Caudales para el Acelhuate en la colonia Quiñónez.	79
Tabla 5.6. Caudales para el río El Garrobo en la comunidad el Cañito.	80
Tabla 5.7. Caudales en arenal Tutunichapa calculados antes de la comunidad Tutunichapa IV	81
Tabla 7.1. Tipos de usos del suelo o actividades de ocupación del territorio en función de la caracterización por inundación.....	105

ANEXOS

Anexo II. Mapa de cuencas y subcuencas del AMSS



Municipios del AMSS

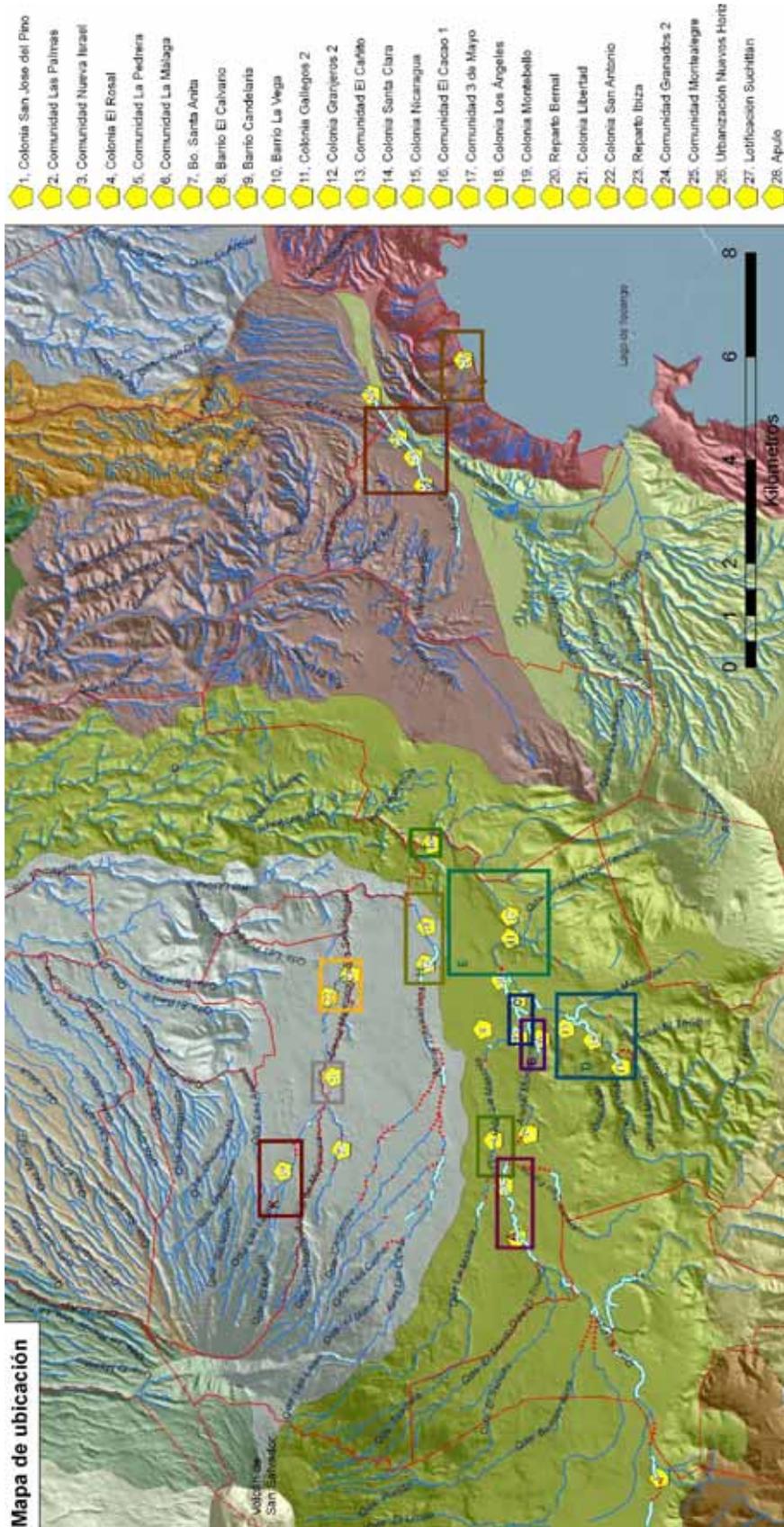
AC, ANTIGUO CUSCATLAN
 AP, APOPA
 AY, AYUTUXTEPEQUE

ST, SANTA TECLA
 SY, SOYAPANGO
 TN, TONACATEPEQUE

NJ, NEJAPA
 SM, SAN MARCOS
 SMT, SAN MARTIN
 SS, SAN SALVADOR

CD, CIUDAD DELGADO
 CT, CUSCATANCINGO
 IL, ILOPANGO
 MJ, MEJICANOS

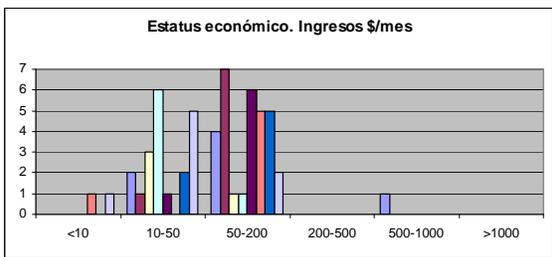
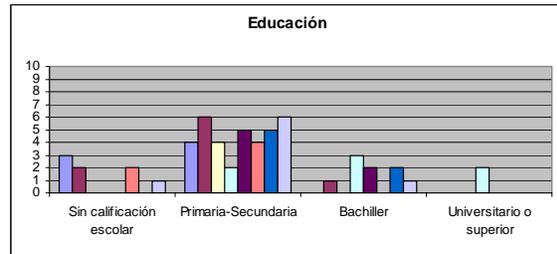
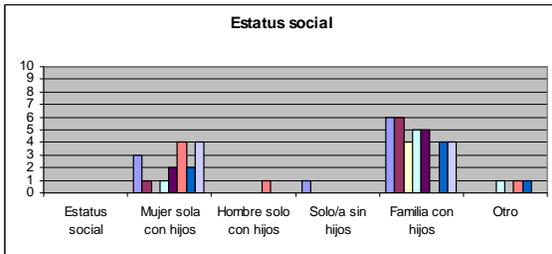
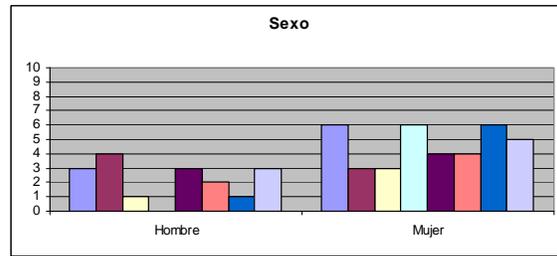
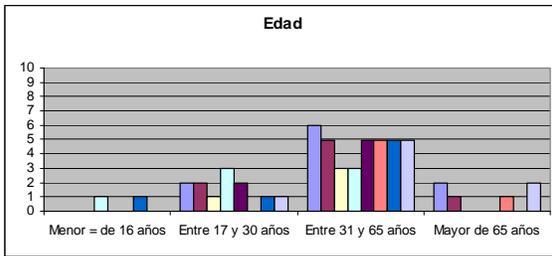
Anexo III. Localización de los Mapas de Inundación

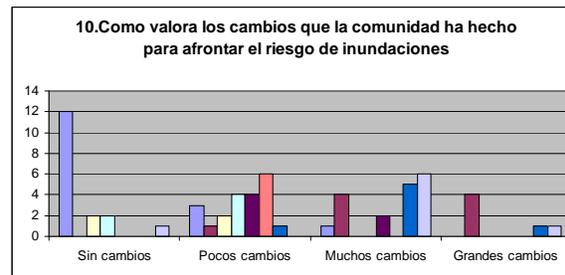
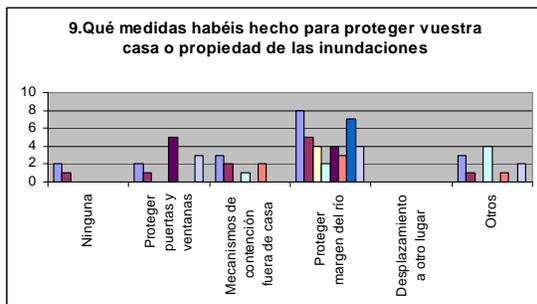
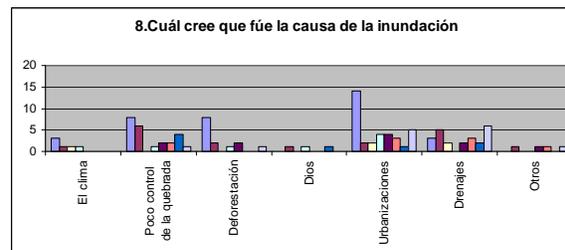
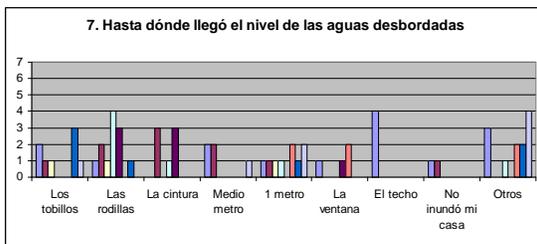
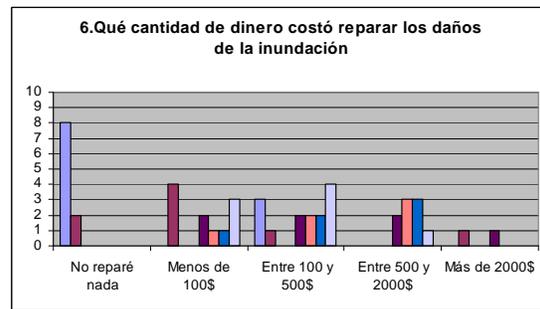
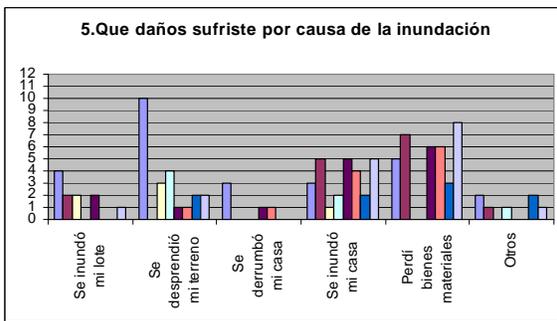
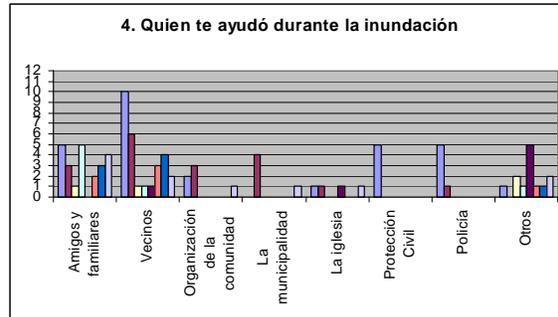
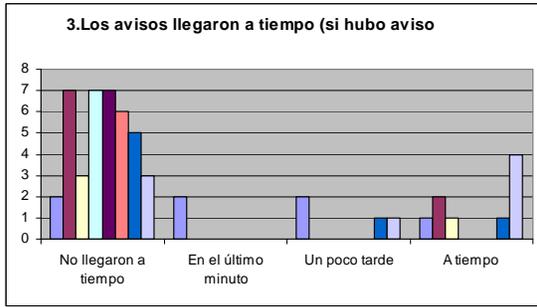
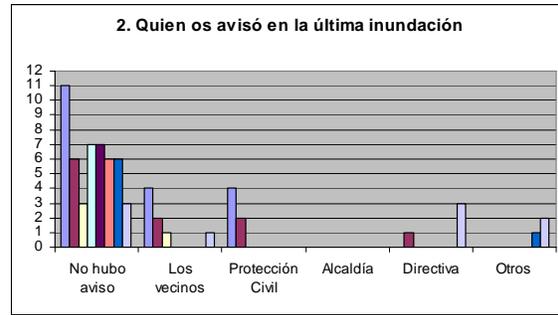
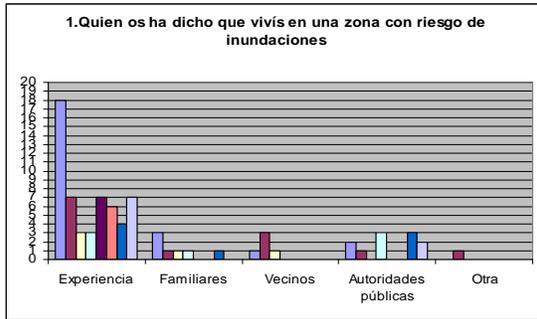


Caracterización de la Inundabilidad en el Área Metropolitana de San Salvador

Anexo V. Resumen: conclusiones de talleres con las comunidades

A continuación el resumen compilado de los datos de las comunidades Nueva Israel, Granjeros 2, y las ubicadas a lo largo del Arenal Seco de Ilopango (Suchitlan, San Felipe, Rivas y San Jorge, Montealegre, El Arenal y Granados 2.





Anexo VI. Fichas de campo levantadas durante Ida'09



Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Servicio Hidrológico Nacional
(SHN)



JK

RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO DE INTERÉS					
ID TABLA DE COORDENADAS					
Región Hidrográfica		Acelhuate			
Cuenca		Lempa			
Departamento		San Salvador			
Municipio		San Salvador (D6)			
Lugar		Granjeros I			
Coordenadas	Geográficas Polares	N	13°	41'	32.6"
		W	-89°	10'	42.4"
	Rectangulares Lambert	X:			
		Y:			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA INUNDADA					
Nivel actual		~ 1 m de prof.			
Ancho de sección		~ 87 m			
Condiciones de acceso en el desborde		Calle asfaltada sobre el Achiotar Asfaltada			
DAÑOS OCACIONADOS					
Altura máxima alcanzada		7'30m			
Extensión de inundación	Margen izquierdo	~ 64 m			
	Margen derecho	Talud			
Tipo de zona inundada		Habitada / Cultivos / Red Vial / Potreros / Otros _____			
Población afectada		144 Casas			
Tipo de material arrastrado		Arena, Piedras, Muros			
INFORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN					
Fecha de inundación		7 Nov 2009			
Frecuencia de inundaciones		2005 - 2008			
Evento de mayor impacto		Nov 2009			
CONDICIONES DE VULNERABILIDAD					
Nivel máximo histórico del cauce		7'30m	Fecha		Nov 2009
Existen Comunidades al margen		Si	Nombre		GRANJEROS 2
Distancia al Cauce		1 m	Años en los que se reportan daños		
Deslizamiento aguas arriba		Derrumbes	Dónde		
Evidencia de erosión en la zona		Puente vía férrea colapsó			
Número de Casas expuestas		10 expuestas directas / 144 en zona inundada			
Frecuencia de inundaciones		-			
Infraestructura expuesta		Casas			
Otras condiciones de amenaza		Árboles / Taludes / Rótulos / Rocas Sueltas / Otros Continuación río			

Gavión erosionado en zona aledaña puente vía férrea



Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Servicio Hidrológico Nacional
(SHN)



RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO DE INTERÉS					
ID TABLA DE COORDENADAS					
Región Hidrográfica	Lempa				
Cuenca	Acelhuate				
Departamento	San Salvador				
Municipio	San Salvador				
Lugar	San Luis Portales				
Coordenadas	Geográficas Polares	N	73°	41'	42.2"
		W	-89°	70'	29"
	Rectangulares Lambert	X:			
		Y:			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA INUNDADA					
Nivel actual	~ 1 m				
Ancho de sección	~ 46 m				
Condiciones de acceso en el desborde	Calle asfaltada sobre el Achiotal Comunidad asfaltada				
DAÑOS OCASIONADOS					
Altura máxima alcanzada	~ 7 m				
Extensión de inundación	Margen izquierdo	Talud			
	Margen derecho	~ 10 m			
Tipo de zona inundada	Habitada / Cultivos / Red Vial / Potreros / Otros				
Población afectada	7 familias				
Tipo de material arrastrado	Piedras, Arena, Árboles				
INFORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN					
Fecha de inundación	7 Nov 09				
Frecuencia de inundaciones	Nunca había afectado las casas				
Evento de mayor impacto	7 Nov 09				
CONDICIONES DE VULNERABILIDAD					
Nivel máximo histórico del cauce	~ 7 m	Fecha	7 Nov 09		
Existen Comunidades al margen	Si	Nombre	San Luis Portales		
Distancia al Cauce	Orilla	Años en los que se reportan daños	Nunca		
Deslizamiento aguas arriba	Si	Dónde	Comunidad Granjeras 2		
Evidencia de erosión en la zona	En la base de los márgenes				
Número de Casas expuestas	7				
Frecuencia de inundaciones					
Infraestructura expuesta	Puente, Casas				
Otras condiciones de amenaza	Árboles / Taludes / Rótulos / Rocas Sueltas / Otros Puente				



Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Servicio Hidrológico Nacional
(SHN)



RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO DE INTERÉS					
ID TABLA DE COORDENADAS					
Región Hidrográfica	LEMPA				
Cuenca	ACCUATE				
Departamento	San Salvador				
Municipio	SOYAPANGO				
Lugar	CACAO I				
Coordenadas	Geográficas Polares	N	73°	42'	22.3"
		W	-89°	07'	54.7"
	Rectangulares Lambert	X:			
		Y:			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA INUNDADA					
Nivel actual	< 1 m				
Ancho de sección	~ 22 m				
Condiciones de acceso en el desborde	Calle asfaltada sobre el Arroyo Calle Aguas Calientes				
DAÑOS OCASIONADOS					
Altura máxima alcanzada	5'5 m sobre el lecho				
Extensión de inundación	Margen izquierdo	Talud			
	Margen derecho	~ 35 m			
Tipo de zona inundada	Habitada / Cultivos / Red Vial / Potreros / Otros _____				
Población afectada	8 viviendas				
Tipo de material arrastrado	Arena, Árboles, Piedras				
INFORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN					
Fecha de inundación	7 Nov 09				
Frecuencia de inundaciones	Stan'05, Julio'08, Mitch'98				
Evento de mayor impacto	7 Nov 09				
CONDICIONES DE VULNERABILIDAD					
Nivel máximo histórico del cauce	5'5	Fecha	Nov 09		
Existen Comunidades al margen	Si	Nombre	CACAO I		
Distancia al Cauce	Orilla	Años en los que se reportan daños	2005-2008-2009		
Deslizamiento aguas arriba	Si	Dónde	Desprendimientos en talud margen izdo.		
Evidencia de erosión en la zona	Si - Se ubica en parte interna meandro				
Número de Casas expuestas	47 Casas				
Frecuencia de inundaciones	2005-2008-2009-1998				
Infraestructura expuesta	Puente trifinio Soya/SS/CD				
Otras condiciones de amenaza	Árboles / Taludes / Rótulos / Rocas Seltas / Otros _____				



Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Servicio Hidrológico Nacional
(SHN)



RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO DE INTERÉS				
ID TABLA DE COORDENADAS				
Región Hidrográfica	LEMPA			
Cuenca	ACEHUATE			
Departamento	San Salvador			
Municipio	AGUILARES			
Lugar	Lotificación Las Victorias (Margen izquierdo río)			
Coordenadas	Geográficas Polares	N	13°	56' 19.3"
		W	-89°	11' 39.7"
	Rectangulares Lambert	X:		
		Y:		
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA INUNDADA				
Nivel actual	0.5 m aprox			
Ancho de sección	50 m			
Condiciones de acceso en el desborde	Este es un camino Camino tierra desde casco urbano			
DAÑOS OCASIONADOS				
Altura máxima alcanzada	2.86 hasta el piso + aprox 7 m hasta el techo			
Extensión de inundación	Margen izquierdo	210 m		
	Margen derecho	-		
Tipo de zona inundada	Habitada / Cultivos / Red Vial / Potreros / Otros			
Población afectada	7 familias			
Tipo de material arrastrado	Puente hamaca, Piedras, Árboles			
INFORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN				
Fecha de inundación	7 Nov 09			
Frecuencia de inundaciones	Nunca había sucedido			
Evento de mayor impacto	7 Nov 09			
CONDICIONES DE VULNERABILIDAD				
Nivel máximo histórico del cauce	9.86	Fecha	7 Nov 09	
Existen Comunidades al margen	SI	Nombre	1200 Las Victorias / Dcho: Carriño	
Distancia al Cauce	-60m	Años en los que se reportan daños	2009	
Deslizamiento aguas arriba	?	Dónde	No se observan	
Evidencia de erosión en la zona	Generación de cárcavas margen izdo.			
Número de Casas expuestas	7 Casas margen izdo.			
Frecuencia de inundaciones	Nunca había sucedido			
Infraestructura expuesta	Puente troncal y línea férrea			
Otras condiciones de amenaza	Árboles / Taludes / Rótulos / Rocas Sueltas / Otros			



Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Servicio Hidrológico Nacional
(SHN)



RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO DE INTERÉS				
ID TABLA DE COORDENADAS				
Región Hidrográfica	Lempa			
Cuenca	Acelhuate			
Departamento	San Salvador			
Municipio	AGUILARES			
Lugar	La Florida I y Florida II, Floridas Col			
Coordenadas	Geográficas Polares	N	13°	56' 20.4"
		W	-89°	11' 33.2"
	Rectangulares Lambert	X:		
		Y:		
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA INUNDADA				
Nivel actual	0.5 - 1 m			
Ancho de sección	91 m (meandro) - 46 después del meandro			
Condiciones de acceso en el desborde	Calle asfaltada sobre el Achiotal Calle tierra desde casco urbano			
DAÑOS OCASIONADOS				
Altura máxima alcanzada	20m cauce-piso + 4x20 piso-nivel max = 24.2m			
Extensión de inundación	Margen izquierdo	271 m		
	Margen derecho	?		
Tipo de zona inundada	<input checked="" type="checkbox"/> Habitada / Cultivos / Red Vial / Potreros / Otros			
Población afectada	75 familias // 1 persona muerta			
Tipo de material arrastrado	Arboles, Piedras			
INFORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN				
Fecha de inundación	7 NOV 09			
Frecuencia de inundaciones	Nunca antes			
Evento de mayor impacto	7 NOV 09			
CONDICIONES DE VULNERABILIDAD				
Nivel máximo histórico del cauce		Fecha	7 NOV 09	
Existen Comunidades al margen	Si	Nombre	La Florida	
Distancia al Cauce	5 m	Años en los que se reportan daños	Nov 09	
Deslizamiento aguas arriba		Dónde	Socavación meandro	
Evidencia de erosión en la zona	Socavación por erosión externa meandro / generación cárcavas			
Número de Casas expuestas	130			
Frecuencia de inundaciones	2009			
Infraestructura expuesta	Puente trocal y vi. línea			
Otras condiciones de amenaza	Árboles / Taludes / Rótulos / Bocas Sueltas / Otros Cárcavas			



Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Servicio Hidrológico Nacional
(SHN)



RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL PUNTO DE INTERES					
ID TABLA DE COORDENADAS					
Región Hidrográfica	LEMPA				
Cuenca	Acelhuate				
Departamento	San Salvador				
Municipio	AGUIARES				
Lugar	Colonia Palacios (después Puente troncal)				
Coordenadas	Geográficas Polares	N	13°	56'	39.6"
		W	-89°	11'	15.7"
	Rectangulares Lambert	X:			
		Y:			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA INUNDADA					
Nivel actual	~1m				
Ancho de sección	77 m				
Condiciones de acceso en el desborde	Carretera sobre el cauce Asfaltado				
DAÑOS OCASIONADOS					
Altura máxima alcanzada					
Extensión de inundación	Margen izquierdo	~40 m			
	Margen derecho	?			
Tipo de zona inundada	Habitada / Cultivos / Red Vial / Potreros / Otros _____				
Población afectada	6 viviendas				
Tipo de material arrastrado	Árboles, tierra, piedras				
INFORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN					
Fecha de inundación	7 Nov 07				
Frecuencia de inundaciones	Nunca con esta afectación				
Evento de mayor impacto	7 Nov 07				
CONDICIONES DE VULNERABILIDAD					
Nivel máximo histórico del cauce		Fecha	7 Nov 07		
Existen Comunidades al margen	Si	Nombre	Palacios		
Distancia al Cauce	~30m	Años en los que se reportan daños	07		
Deslizamiento aguas arriba		Dónde	Erosión y generación canales secundarios circulación		
Evidencia de erosión en la zona	Si				
Número de Casas expuestas	6 viviendas				
Frecuencia de inundaciones	Nunca antes				
Infraestructura expuesta	Viviendas, cultivos				
Otras condiciones de amenaza	Árboles / Taludes / Rótulos / Rocas Sueltas / Otros _____				



Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Servicio Hidrológico Nacional
(SHN)



RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO DE INTERÉS					
ID TABLA DE COORDENADAS					
Región Hidrográfica	LEMPA				
Cuenca	ACELHUATE				
Departamento	San Salvador				
Municipio	APOPÁ				
Lugar	El Niño Perdido				
Coordenadas	Geográficas Polares	N	13°	48'	01.6"
		W	-89°	10'	26.6"
	Rectangulares Lambert	X:			
		Y:			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA INUNDADA					
Nivel actual	~ 1.5 m				
Ancho de sección	29 m				
Condiciones de acceso en el desborde	Calle asfaltada sobre el cauce				
DAÑOS OCASIONADOS					
Altura máxima alcanzada	70-75 m				
Extensión de inundación	Margen izquierdo	Talud			
	Margen derecho	80 m			
Tipo de zona inundada	Habitada / Cultivos / Red Vial / Potreros / Otros				
Población afectada	8 viviendas botadas				
Tipo de material arrastrado	Piedras, tierra, Árboles				
INFORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN					
Fecha de inundación	7 Nov 09				
Frecuencia de inundaciones	Posiblemente 50 años				
Evento de mayor impacto	7 Nov 09				
CONDICIONES DE VULNERABILIDAD					
Nivel máximo histórico del cauce		Fecha	7 Nov 09		
Existen Comunidades al margen	Sí	Nombre	El Niño Perdido		
Distancia al Cauce	30 m	Años en los que se reportan daños	Nunca como ahora		
Deslizamiento aguas arriba		Dónde	Desprendimientos en taludes		
Evidencia de erosión en la zona					
Número de Casas expuestas	8 viviendas				
Frecuencia de inundaciones	~ 50 años				
Infraestructura expuesta					
Otras condiciones de amenaza	Árboles / Taludes / Rótulos / Rocas Sueltas / Otros				



Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Servicio Hidrológico Nacional
(SHN)



RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO DE INTERÉS					
ID TABLA DE COORDENADAS					
Región Hidrográfica	LEMPA				
Cuenca	Tomayate				
Departamento	San Salvador				
Municipio	APOPA				
Lugar	Colonia San Francisco				
Coordenadas	Geográficas Polares	N	73°	47'	53.0"
		W	-89°	11'	77.1"
	Rectangulares Lambert	X:			
		Y:			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA INUNDADA					
Nivel actual	~ 4 m				
Ancho de sección	40 m				
Condiciones de acceso en el desborde	Calle asfaltada sobre el Achiota				
DAÑOS OCASIONADOS					
Altura máxima alcanzada	6'60				
Extensión de inundación	Margen izquierdo	Encauzado			
	Margen derecho	12 + 14 = 26 m			
Tipo de zona inundada	Habitada / Cultivos / Red Vial / Potreros / Otros				
Población afectada	8 viviendas + 2 colapsadas por derrumbe				
Tipo de material arrastrado	Árboles				
INFORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN					
Fecha de inundación	7 Nov 09				
Frecuencia de inundaciones	2008-2005-1998				
Evento de mayor impacto	7 Nov 09				
CONDICIONES DE VULNERABILIDAD					
Nivel máximo histórico del cauce		Fecha	7 Nov 09		
Existen Comunidades al margen	Si	Nombre	San Francisco		
Distancia al Cauce	Años en los que se reportan daños				
Deslizamiento aguas arriba	Dónde				
Evidencia de erosión en la zona	Meandro				
Número de Casas expuestas	8 viviendas + 2 colapsadas por derrumbe				
Frecuencia de inundaciones					
Infraestructura expuesta	Puente colgante				
Otras condiciones de amenaza	Árboles / Taludes / Rótulos / Rocas Seltas / Otros				



Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Servicio Hidrológico Nacional
(SHN)



RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO DE INTERÉS					
ID TABLA DE COORDENADAS					
Región Hidrográfica		Lempa			
Cuenca		Acelhuate			
Departamento		San Salvador			
Municipio		APOPA			
Lugar		Chintuc I (Meandro)			
Coordenadas	Geográficas Polares	N	13°	48'	45.9"
		W	89°	10'	47.9"
	Rectangulares Lambert	X:			
		Y:			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA INUNDADA					
Nivel actual		1.5 - 2 m			
Ancho de sección		40 m			
Condiciones de acceso en el desborde		Calle asfaltada sobre el Achiotal			
DAÑOS OCASIONADOS					
Altura máxima alcanzada		1.85 m (piso-max) + 1.3 (piso-cauce) = 3.15 m			
Extensión de inundación	Margen izquierdo	~ 35 m			
	Margen derecho	Talud			
Tipo de zona inundada		Habitada / Cultivos / Red Vial / Potreros / Otros _____			
Población afectada		8 viviendas / 3 destruidas			
Tipo de material arrastrado		Árboles, Piedras, Arena			
INFORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN					
Fecha de inundación		7 Nov 09			
Frecuencia de inundaciones		Nunca se había inundado			
Evento de mayor impacto		7 Nov 09			
CONDICIONES DE VULNERABILIDAD					
Nivel máximo histórico del cauce		Fecha		7 Nov 09	
Existen Comunidades al margen		Si	Nombre Chintuc I		
Distancia al Cauce		10	Años en los que se reportan daños		2009
Deslizamiento aguas arriba		Dónde Erosión en talud por meandro			
Evidencia de erosión en la zona		Dos prendimientos			
Número de Casas expuestas		8 viviendas			
Frecuencia de inundaciones		2009			
Infraestructura expuesta		Viviendas			
Otras condiciones de amenaza		Árboles / Taludes / Rótulos / Rocas Seltas / Otros _____			



Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Servicio Hidrológico Nacional
(SHN)



RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO DE INTERÉS					
ID TABLA DE COORDENADAS					
Región Hidrográfica	LEMPA				
Cuenca	TOMAYATE				
Departamento	SAN SALVADOR				
Municipio	APOPA				
Lugar	Lotificación TOMAYATE				
Coordenadas	Geográficas Polares	N	13°	47'	37.6"
		W	-89°	11'	4.0"
	Rectangulares Lambert	X:			
		Y:			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA INUNDADA					
Nivel actual	0'60 m - 1'20 m				
Ancho de sección	24 m				
Condiciones de acceso en el desborde	Calle asfaltada sobre el cauce Camino de tierra con piedras Mal acceso				
DAÑOS OCASIONADOS					
Altura máxima alcanzada	5'93				
Extensión de inundación	Margen izquierdo	Talud			
	Margen derecho	16 m			
Tipo de zona inundada	<input checked="" type="checkbox"/> Habitada / <input type="checkbox"/> Cultivos / <input type="checkbox"/> Red Vial / <input type="checkbox"/> Potreros / <input type="checkbox"/> Otros				
Población afectada	7 viviendas				
Tipo de material arrastrado	Palas, Piedras, Muro				
INFORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN					
Fecha de inundación	7 Nov 09				
Frecuencia de inundaciones	Cada invierno con menor intensidad Nov 09				
Evento de mayor impacto	7 Nov 09				
CONDICIONES DE VULNERABILIDAD					
Nivel máximo histórico del cauce	5'93	Fecha	7 Nov 09		
Existen Comunidades al margen	Si	Nombre	Lot. Tomayate		
Distancia al Cauce	Margen	Años en los que se reportan daños			
Deslizamiento aguas arriba		Dónde	Sacavación margen izdo. y dcho.		
Evidencia de erosión en la zona					
Número de Casas expuestas	7 viviendas				
Frecuencia de inundaciones	Anual				
Infraestructura expuesta	Muros, Casas				
Otras condiciones de amenaza	Árboles / Talúdes / Rótulos / Rocas Sueltas / Otros Sacavación				