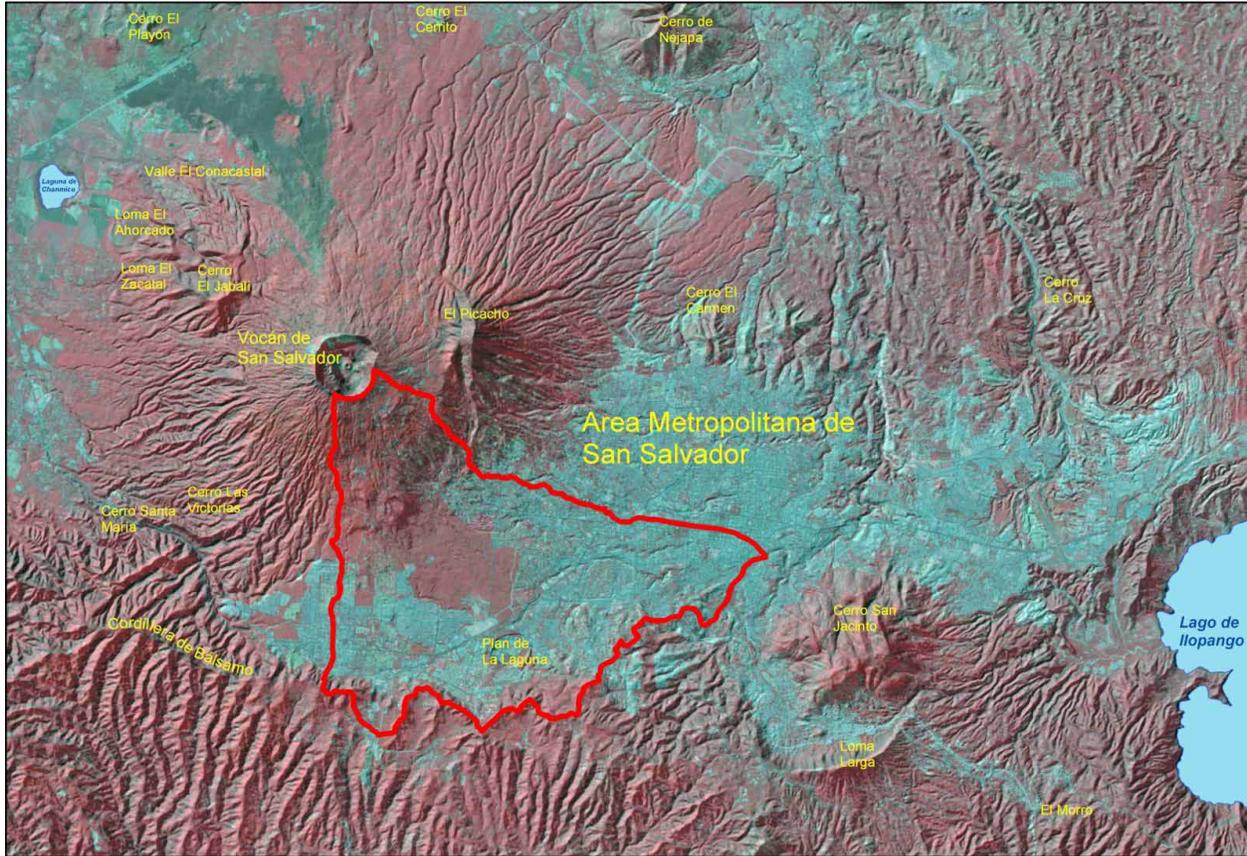


**CAPACITY BUILDING FOR NATURAL DISASTER REDUCTION (CBNDR)  
REGIONAL ACTION PROGRAM FOR CENTRAL AMERICA (RAPCA)**



**“ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA MICROCUENCA DEL ARENAL DE MONTSERRAT”**



Universiteit Utrecht



**SAN SALVADOR, NOVIEMBRE DE 2003**

## Summary

The organization for the United Nations for the Education, Science and Culture (UNESCO) and the coordinating committee for the Prevention of Natural Disasters in Central America (CEPRENAC) since 1999 have been developing the Regional Action Program for Central America (RAPCA) with the technical collaboration of the International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC) and the financial support of the government of the Netherlands.

This project has as its purpose the integration of existing knowledge about the occurrence of phenomenon and the use of geo-information techniques for the zonation of threats due to natural events and the transfer of these to institutes involved in the decision making of land management and land development process as well as the making of adequate legislation and regulation.

In El Salvador the pilot project takes as a base the "Analysis of risks due to flooding and landslides in the Arenal de Monserrat Micro Basin."

For the development of this project we counted with the adequate computer equipment for the processing and reproduction of information, aerial photographs and satellite images, topographic and thematic maps; as well as existing literature on studies already realized complementing the information gathered from the field.

A processing of geographic information center was established at the central offices of CNR-IGN for the corresponding analysis of the area of study. The conic conformal Lambert projection was used due to the fact that it is the projection currently used in El Salvador and the software utilized for the processing of the information were ILWIS, ArcView, ArcGis, PCRaster, and Excell for the hydrological calculations.

The Basin has an area of 54.98 squared kilometers and its geographical coordinates are: in latitude 13°41'25.42" North and in longitude 89°15'07" West. Administratively the basin covers the municipalities of San Salvador, San Marcos, Antiguo Cuscatlán, Nuevo Cuscatlán, and Nueva San Salvador. The most ground is covered in San Salvador and Nueva San Salvador.

The zone has frequent seismic activity. Besides the volcanic activity considered active that predominantly includes pyroclastic material (formation in San Salvador in the late quaternary period), such as white soil and pumice.

The relief is predominantly valley and mountainous with slopes from 5 to 25% that correspond to a wavy to slopy relief in the valley and in the mountainous region from 25 to 100% and in some cases even greater slopes. The texture of the superficial layers for the most part are sandy and limey and in the interior layers alternating between sandy, limey, clay grounds above volcanic pomicíticas lava or slimy grounds with depths generally above 5 meters.

The micro basin has a drainage network in which two are the most predominant: the Arenal de Monserrat River and the Mascota gorge. For the hydrological analysis we have taken as a base the rain intensities for each of 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 150, 180, 240 and 360 minutes for a period of registry of 31 years.

According to the records there have been normal averages of 20 to 40 mm per hour but there have been records of as much as 90 mm per hour (April of 2002).

Because part of the capital city is inside the basin the population density is high. There are densities higher than 5,000 inhabitants per square kilometer and likewise some parcel densities oscillating between 50 to 100 square meters and these with densities of 15,000 to 7,500 per square kilometer.

In 2002 61.5% of the total area of the basin is occupied by urban area therefore existing a high density of streets that include the Pan American Highway. Equally there exists many types of construction ranging from public, industrial, commercial, financial and residential centers.

The soil usage is occupied in its totality by productive activities such as industrial, commercial and financial centers in the urban area and the production of coffee in the rural area. Within the last 50 years the soil usage due to infrastructure has extended all over the basin and it looks like this will continue in the future and it is reflected in most recent maps.

The risks due to flooding and landslides have increased inside the basin due to the urban growth in the area. The infiltration of precipitated waters has decreased and the movement of superficial waters has increased. With 30 millimeters of precipitation in certain points a of rivers channel in the lowest zone of the basin there is an inability to evacuate the waters. In past decades this date was even greater and therefore there was more flooding but the rainy season keeps being constant (except for some hurricanes where the rain intensity is greater). The areas with most frequent flooding are the neighborhoods of La

Vega and Candelaria (with intensity higher than 50 mm per hour). With precipitation higher than 90 mm there are problems near the area of the International Fair.

The zones at risks due to landslides within the basin are in the mountainous region and areas where the soil is sandy or alternating between layers of limey to sandy (loose soil without cohesion) soils that are deep with high slopes. Therefore due to constant prolonged or intense precipitation and/or seismic activity are provoked into landslides. The area or sector of the mountain range of El Bálsamo like Las Colinas and El Paraíso neighborhoods.

Each area of danger is evaluated on a scale of importance of the possible damage that they may occur and they are pondered from 0 to 10 (0 very low risk to 10 being of high risk).

The most vulnerable in the area (economical or social importance corresponds to the infrastructure like roads, industries, commercial etc. that is within the basin) that are located at the edges of rivers or at the foot of mountains. Likewise the threats are pondered on different economical values with a degree of importance assigned to economical or social relevance from 0 to 10 and the sum of all these different weights (when there are more than one assigned) indicates where there is a higher degree of vulnerability. Being the maximum 34 for the area of the basin (which indicates various economic variables that can be affected if something were to occur in the area).

The definition of the risk (threat of vulnerability due to cost) indicates that the municipalities at higher risk are San Salvador and Nueva San Salvador due to landslides and flooding.

The studies of the impact due to the use of soils have to primordial importance in the land management planning at the municipal and national level with the finality of taking the necessary actions to reduce or avoid the impact of the natural phenomenon like landslides and flooding.

## RESUMEN

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y el Comité Coordinador para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), desarrollan a partir de 1999 el Programa de Acción Regional para Centro América (RAPCA), con la colaboración técnica del Instituto Internacional de Ciencias de la Geo-información y Observación de la Tierra (ITC) y el apoyo financiero del gobierno de Holanda.

Este proyecto tiene como finalidad la integración del conocimiento existente sobre la ocurrencia de fenómenos y el uso de técnicas de geo-información en la zonificación de amenazas por eventos naturales y la transferencia a instituciones involucradas en la toma de decisiones en el ordenamiento y desarrollo territorial; así como de las regulaciones y legislaciones apropiadas.

En El Salvador, el proyecto piloto toma de base el "Análisis del Riesgo por Inundaciones y Deslizamientos de Tierra en la Microcuenca del Arenal de Montserrat".

Para el desarrollo del proyecto se contó con equipo informático para el procesamiento y reproducción de la información, fotografías aéreas e imágenes de satélite, mapas topográficos y temáticos; así como de literatura existente de estudios ya realizados, complementándola con la información recopilada en campo.

Se estableció en las oficinas del CNR-IGN un centro de procesamiento de Información geográfica, para los análisis correspondientes de la zona de estudio. Se utilizó la proyección Cónica Conformal de Lambert, ya que es la utilizada en El Salvador; y los software utilizados para el procesamiento de la información fueron programas de ILWIS, ArcView, ArcGis, PCRaster y Excell para el cálculo hidrológico.

La cuenca tiene una área de 54.98 kilómetros cuadrados y sus coordenadas geográficas centrales son: en latitud 13°41'25.42" Norte y en longitud 89°15'07" Oeste. Administrativamente la cuenca está comprendida entre los municipios de San Salvador, San Marcos, Antiguo Cuscatlán, Nuevo Cuscatlán y Nueva San Salvador, siendo los que ocupan mayor área los de San Salvador y Nueva San Salvador.

La zona tiene actividad sísmica frecuente; además del vulcanismo considerado activo, en la cual predomina el material piroclástico (formación San Salvador de la era cuaternaria), como lo es la tierra blanca y de pómez.

El relieve predominante es el de valle y el de montaña; las pendientes predominantes son de 5 a 25% que corresponde a una topografía de ondulada a alomada en la zona de valle y en la zona de montaña con pendientes promedios del 25 al 100%, existiendo algunas áreas con pendientes mayores; la textura de las capas superficiales es en su mayor parte son franco a franco arenoso y limoso; y en las capas inferiores alternadas de suelo arenosos, limosos y en algunas áreas arcillosos sobre cenizas volcánicas pomicíticas, escorias o lavas; con profundidades generalmente mayores de 5 metros.

La microcuenca cuenta con una red de drenajes dentro de los cuales dos son los más importantes, el río El Arenal de Montserrat y la quebrada la Mascota. Para el análisis hidrológico se han tomado de base las intensidades de lluvia para cada 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 150, 180, 240, 360 minutos para un registro de 30 años.

Según registros pluviométricos, se tienen precipitaciones promedios normales de 20 a 40 mm. por hora; pero también se han tenido registros de hasta 90 mm por hora (en abril de 2002).

Por encontrarse parte de la ciudad capital en el área de la cuenca, la densidad de población es alta; así se tienen densidades mayores a 5,000 habitantes por kilómetro cuadrado; de igual forma la densidad de las parcelas oscila entre los 50 a 100 metros cuadrados con una densidad en estas áreas de 15,000 a 7,500 parcelas por kilómetro cuadrado.

Un 61.5% es ocupado al 2002 por el área urbana dentro del área total de la microcuenca del Arenal de Montserrat, por lo que existe una alta densidad de calles, dentro de ellas la Carretera Panamericana, igualmente la situación de edificaciones donde existen centros públicos, viviendas, centros financieros e industrias, etc.

El uso del suelo esta ocupado en su totalidad por actividades productivas, en el cual predomina en el área urbana las industrias, comercio, vivienda y en el área rural predomina el café. Desde hace 50 años la ocupación del uso del suelo por infraestructura se ha extendido en toda la cuenca y se espera que se expanda más en futuro próximo, lo cual se ve proyectado en los mapas que se presentan al respecto.

El riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca Arenal de Montserrat, ha aumentado que debido al crecimiento urbanístico dentro de la cuenca

La capacidad de infiltración del agua precipitada ha disminuido y aumentada la escorrentía superficial; ya que con una precipitación mayor de 33 milímetros algunos puntos del cauce del canal en la zona baja no son capaces de evacuar el agua lluvia; este dato de precipitación en décadas pasadas era mayor para se sucedieran tales rebalses, no obstante la época lluviosa siguen siendo normales (con excepción de los huracanes donde las intensidades son mucho mayores). Las zonas más frecuentemente inundadas (a más de 50 mm por hora) son el barrio La Vega y Candelaria. Cuando las precipitaciones son mayores a 90 milímetros por hora se tienen problemas en el área de la feria internacional.

Las zonas de amenaza por deslizamientos de tierra dentro de la cuenca están en la zona montañosa y en los paredones donde el suelo es franco arenosos o esta intercalado de capas de suelo franco limoso a arenoso (suelo suelto sin cohesión) y son profundos con alta pendiente, la cual debido a las precipitaciones prolongadas o intensas, así como por movimientos sísmicos fuertes, provocan en estas áreas deslizamientos de tierra. La zona con mayor amenaza es el sector de la cordillera del Bálsamo como lo son las colonias Las Colinas y El Paraíso. Cada área de peligro es evaluada en escala de importancia por el posible daño que pueden causar; mediante el grado de amenaza ponderado en un rango de 0 a 10 (desde sin a muy bajo peligro con valor de cero hasta muy alto peligro con valor de 10). Las áreas con mayor vulnerabilidad en la zona (por importancia económica o social corresponden a las infraestructuras como son las carreteras, pequeñas industrias, comercio, viviendas), que están ubicadas a orillas de los ríos así como a pie de montes o paredones. Al igual que la amenaza se ponderaron los diferentes valores económicos por grado de importancia en el contexto económico y social, asignando pesos de 0 a 10 y la suma de las diferentes ponderaciones (cuando hay más de un variable evaluada) nos indica donde hay mayor grado de vulnerabilidad, siendo el máximo valor de 34 para el área de la cuenca (lo cual indica que hay varias variables económicas que pueden ser dañadas si en dicha área puede ser afectada por la amenaza). La definición del riesgo (amenaza por vulnerabilidad por el costo) nos indica que los municipios con mayores riesgos son San Salvador y Nueva San Salvador, para inundaciones y deslizamientos de tierra.

Los estudios del impacto por el cambio de uso del suelo, deben ser primordiales en la planificación del territorio a nivel municipal y nacional, fin de tomar las medidas necesarias para reducir o evitar el impacto de los fenómenos naturales, como son las inundaciones y deslizamientos de tierra.

## AGRADECIMIENTOS

El Centro Nacional de Registros (CNR) a través del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y El Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), instituciones ejecutoras del proyecto piloto en El Salvador, agradecen a todas las instituciones y personas que han laborado y colaborado en el desarrollo de esta fase del Programa de Acción Regional para Centro América (RAPCA), son objeto de especial agradecimientos las siguientes instituciones y personas:

**Organización de las Naciones Unidas Para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO):** Área administrativa: Helen Papa, Soren Malling y Fernando Reppeto.

**Centro de Coordinación Para la Prevención de los Desastres Naturales (CEPRENENAC):** Área administrativa: Zoila Aquino, Jorge Ayala y Elizabeth Cubías (representante en El Salvador).

**Instituto Internacional de Ciencias de la Geo-información y Observación de la Tierra (ITC):** Área administrativa: Niek Rengers, Mark Noort, Sabine Maresch.  
Área Técnica: Cees Van Westen, Koert Sijmons,

**Universidad de Utrecht:** Theo Van Asch, Ivo Thonon.

**Universidad de Delft:** Leon Wijnker, Jan Nieuwenhuis.

**Centro Nacional de Registros(CNR)/ Instituto Geográfico Nacional (IGN):**

Área administrativa: Félix Garrid Safie (Director Ejecutivo CNR), Carlos Adrián Rodríguez (Director General IGN), Roberto López Meyer (Ex Director General IGN) y Norma Francia de Renderos (secretaria dirección IGN).

Área técnica: Gisela Quàn de Turcios (Gerente de Geografía y administradora del proyecto), José Arnulfo Deras Erazo (Miembro Grupo RAPCA), Carlos Ernesto Barriere, Marlon Wilfredo Ramos, Sonia Maritza González de Arévalo, Héctor Antonio Solís, Numa Pompilio Suncín, Mercedes Sandoval de Hernández, Kathia Isabel Madrid, Daniel Inocencio Osorio, Nery Américo Llanes, Sidney Orlando Zúñiga, Edgar Rolando Durán, Consuelo Concepción de Vargas, Herber Mendoza, Silvia Barahona, Roberto Anzora, Jalmar Najarro, Margarita Murcia, Kenia de Moreira, Margarita Martí de Henríquez, Alex Vaquero y Mauricio Alvarado.

**Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)**

Área administrativa: Antonio Arenas, Director Ejecutivo

Área técnica: Mario Giovanni Molina, Coordinador SIG (Miembro Grupo RAPCA)

**Comité de Emergencia Nacional (COEN)**

Área administrativa: Mauricio Ferrer

Área técnica: Raúl Murillo y Víctor Martínez

**Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)**

Área Técnica: Mario Lovo y Roberto Handal

**Gobierno de Holanda por su aporte financiero**

## ÍNDICE

1. INTRODUCCION .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
2.1 Inundaciones y Deslizamientos de Tierra .....	3
2.1 Marco Institucional y Legal .....	4
2.2 Marco del Proyecto .....	4
3. RECURSOS .....	6
3.1 Humano .....	6
3.2 Equipo .....	6
3.3 Materiales .....	6
4. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) .....	7
4.1 Programas utilizados (Software) .....	7
4.2 Sistema de coordenadas .....	7
5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA .....	8
5.1 Ubicación .....	8
5.1 Comprensión administrativa .....	9
5.3. Relieve .....	10
5.4 Geología .....	12
5.5 Pendientes .....	15
5.6 Suelos .....	17
5.7 Clima: Precipitación .....	19
5.8 Hidrografía .....	21
5.9 Infraestructura: Vías de Comunicación y edificaciones .....	24
5.10 Densidad de Población .....	26
5.11 Densidad de Parcelas .....	26
5.12 Uso del suelo .....	27
6.1 Amenaza .....	32
6.1.1 Inundaciones .....	32
6.1.2 Deslizamientos de tierra .....	36
6.2 Amenaza Ponderada .....	41
6.3 Vulnerabilidad .....	42
6.4 Riesgo .....	46
7- CONCLUSIONES .....	51
8- RECOMENDACIONES .....	52
9- FUENTES CONSULTADAS .....	53

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapas		Páginas
1	Perímetro de la cuenca .....	8
2	Comprensiones Municipales Administrativas .....	9
3	Curvas de nivel .....	10
4	Relieve .....	11
5	Material Geológico Predominante .....	14
6	Pendientes .....	16
7	Suelos .....	18
8	Ríos de la cuenca .....	21
9	Drenajes Tributarios .....	22
10	Vías de comunicación .....	25
11	Edificaciones .....	25
12	Densidad de población .....	26
13	Densidad de parcelas .....	27
14	Uso básico del suelo de 1949 .....	28
15	Uso básico del suelo de 1972 .....	28
16	Uso básico del suelo de 2002 .....	28
17	Uso Proyectoado del suelo baja densidad urbana.....	29
18	Uso Proyectoado del suelo alta densidad urbana .....	29
19	Uso detallado del suelo .....	29
20	Mapa de Bloques de la Microcuenca.....	31
21	Mapa de perfiles evaluados en la Microcuenca .....	31
22	Mapa de amenaza por Inundaciones .....	35
23	Mapa de Susceptibilidad a deslizamientos de tierra.....	40
24	Mapa de Ponderación de amenaza combinada .....	41
25	Mapa de Ponderación de vulnerabilidad .....	44
26	Mapa de Riesgo de la Microcuenca .....	47

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros		Página
1	Perímetro de la cuenca .....	9
2	Datos de Relieve .....	12
3	Material geológico predominante .....	15
4	Distribución de áreas de pendientes .....	16
5	Areas de unidades de suelos .....	19
6	Datos de intensidades de lluvia .....	20
7	Datos de longitud, elevación y pendiente .....	23
8	Datos de las áreas hidráulicas de secciones .....	23
9	Areas de densidades de población .....	26
10	Areas de densidades de parcelas .....	27
11	Areas de usos del suelo .....	30
12	Ponderación de parámetros de amenaza para inundaciones, deslizamientos de tierra y clases de amenaza .....	42
13	Ponderación de parámetros calles, edificaciones, población, parcelas, uso detallado del suelo 2002 y clases de vulnerabilidad .....	45
14	Definición cualitativa del riesgo .....	46
15	Clases de riesgo por municipios dentro de la cuenca .....	48
16	Distribución de áreas de riesgo por municipio dentro de la cuenca .....	48
17	Costos estimados por clase de riesgo por municipio dentro de la cuenca ..	49



# 1. INTRODUCCION

En 1999, UNESCO y el Gobierno de Holanda, acuerdan desarrollar un programa con apoyo técnico y financiero enfocado a la construcción de capacidades en la reducción de los desastres naturales (CBDNR), mediante el llamado Programa de Acción Regional para América Central (RAP-CA), en enlace con el Centro Coordinador para la Prevención de los Desastres Naturales (CEPREDENAC) y la coordinación técnica de Instituto Internacional de Ciencias de la Geo-información y Observación de la Tierra (ITC).

Son objetivos del RAPCA:

- 1- Integración del conocimiento existente sobre la ocurrencia de peligros naturales y técnicas de administración de la Geo-información para la preparación de mapas temáticos de amenazas vulnerabilidad y riesgos en las áreas de vulcanismo, sismicidad, inundaciones y deslizamientos de tierra.
- 2- Transferencia de metodologías de zonificación de geo-amenazas y experiencias de mapeo temático a instituciones y organizaciones involucradas en la planificación infraestructural y desarrollo territorial en los países de la América Central.
- 3- Consideración de la experiencia de la geo-zonificación de las amenazas en el proceso de toma de decisiones, a través de técnicas de visualización amigables del desarrollo y legislación apropiadas para la administración del impacto de la amenaza natural.

El presente proyecto está enfocado sobre un área geográfica de una microcuenca, la cual con el avance de las infraestructuras y el aumento de la población presenta problemas de inundaciones y deslizamientos de tierra, con lo cual se pretende definir la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo; definiéndose estos como:

*Amenaza:* hace referencia a la ocurrencia potencial, en un intervalo de tiempo y una área geográfica específica, de un fenómeno natural, que puede tener un efecto negativo sobre vidas humanas, infraestructura, pertenencias, actividades o condiciones naturales, hasta el punto de causar un desastre. Este fenómeno puede ser una lluvia intensa que provoca inundaciones, deslizamientos de tierra; un sismo o erupción volcánica que también pueden provocar deslizamientos de tierra.

*Vulnerabilidad:* La *vulnerabilidad estructural o física* describe el grado hasta el cual una estructura es susceptible de ser dañada o alterada en una situación de peligro. Se indica con valores desde 0 (no daños) hasta 1 o 100 (destrucción total). La *vulnerabilidad humana* es la falta relativa de capacidad de una persona o comunidad para prever un peligro, hacerle frente, resistirlo y recuperarse de su impacto. Entre los factores que incrementan la vulnerabilidad humana a los desastres se encuentra la falta de planificación en el desarrollo o crecimiento de la infraestructura, el crecimiento demográfico, la falta de conocimientos acerca de como hacer frente a los efectos de los desastres y la pobreza. De todos los factores, es probable que la pobreza constituya el origen de la vulnerabilidad de la mayoría de la gente, al impacto de la mayoría de las amenazas o peligros.

**Riesgo:** Elementos bajo riesgo son todos los elementos físicos (edificios, contenido de edificios, personas, red vial, comunidades, áreas naturales, fuentes de agua, capacidad productiva de los suelos, etc) y no físicos (actividades económicas, características de personas y comunidades) que pueden ser afectados por un fenómeno natural.

**Riesgo específico:** Hace referencia a las pérdidas potenciales, en un intervalo de tiempo y un área geográfica y con un elemento específico con relación a un fenómeno natural.

**Riesgo total:** Hace referencia al total de las pérdidas potenciales (victimas, personas heridas, desplazadas, daños a propiedades, interrupción de actividades económicas), en un intervalo de tiempo y en un área geográfica específica.

En resumen, podemos expresar el riesgo en términos de la amenaza y vulnerabilidad de la siguiente manera:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad} * \text{Costos}$$

Por las consideraciones anteriores, el caso de estudio para El Salvador dentro del marco de seguimiento del proyecto se denomina “**Análisis del Riesgo por inundaciones y Deslizamientos de Tierra en la Microcuenca del Arenal de Montserrat**”

Para poder efectuar el estudio de la amenaza se necesita definir la zona de estudio que para el presente caso se tomó como unidad la microcuenca del río Arenal de Montserrat. Se delimitaron los municipios que están dentro de dicha cuenca a fin de poder coordinar con las municipalidades afectadas y otras instituciones técnicas el esfuerzo de dicho estudio.

En la definición de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo es necesario contar con datos espaciales y tabulares de todos aquellos factores en los que inciden para que en una zona determinada pueda darse un desastre natural, definiendo su forma de análisis y su resultado.

Para el presente proyecto, se tomará en cuenta los siguientes estudios o información de la zona:

**Amenaza:** Curvas de nivel, modelo de elevación digital, relieve, material geológico dominante y datos de sismicidad, pendientes, suelos, ríos, drenajes tributarios, perfiles de los cauces o canales de drenaje, uso básico del suelo en diferentes períodos o épocas (pasado, presente y futuro).

**Vulnerabilidad:** Calles, edificaciones, densidad de población, densidad de parcelas, uso detallado actual del suelo.

**Riesgo** como una combinación de los anteriores, agregándose su posible valor económico para establecer las posibles pérdidas por causa del desastre natural especificado.

Estos resultados darán capacidad de análisis y sustentarán mejor la toma de decisiones en la ejecución de proyectos de infraestructuras, enfocados hacia un ordenamiento y desarrollo del territorio municipal y territorial, generando las medidas legales que permitan cumplir las metas y planes establecidos.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Inundaciones y Deslizamientos de Tierra

#### Inundaciones

En El Salvador las inundaciones son cada vez más frecuentes, a nivel nacional desde los años de 1995 se comenzaron a dar problemas y es más evidente cuando las intensidades de lluvia sobrepasan los 33mm, mucha de esta situación se debe a que parte de la cobertura vegetal ha sido reemplazada por el desarrollo de infraestructura y cultivos sin tomar las medidas necesarias para reducir la escorrentía superficial lo cual ha incidido en las partes bajas de la cuenca (Fotografías abajo). Desde 1998, cuando el huracán Mitch, produjo innumerables inundaciones a nivel nacional; las inundaciones son más frecuentes a tal grado que actualmente las zonas mas aledañas a la quebrada de Arenal en la zona baja son muy susceptibles a las inundaciones todos los años.



Inundaciones en la parte baja de la microcuenca. Fuente: El Diario de Hoy, 2000 y 2002.

#### Deslizamientos de Tierra

Los deslizamientos de tierra, son hechos que ocurren con frecuencia en diferentes puntos del territorio de El Salvador. Estos deslizamientos se han dado mayormente cuando ocurren movimientos sísmicos o por períodos prolongados de lluvia, dentro de los que podemos citar: Deslizamiento de Montebello (fotos abajo) desde el picacho del volcán de San Salvador a causa de las lluvias prolongadas en 1982; los deslizamientos causados por movimientos sísmicos del 13 de enero y 13 de febrero del 2001.



Deslizamientos ocurridos en: Montebello en 1982 (Arriba) y Las Colinas durante el sismo de 13 de enero de 2001 (Izquierda)

## 2.1 Marco Institucional y Legal

### Institucional

Dentro del marco institucional en el caso de los desastres naturales, todas las instituciones de gobierno entran a formar parte del sistema de emergencias para suplir las necesidades.

En el quehacer específico, del estudio y preparación de información vinculada al tema de los desastres naturales y del ordenamiento del territorio se tienen:

- Comité de Emergencia Nacional (COEN)
- Alcaldías municipales
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)
- Instituto Geográfico Nacional (IGN) del Centro Nacional de Registros (CNR)
- Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
- Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS)
- Fuerzas Armadas de El Salvador (FAES)
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

### Legal

El país no cuenta con una ley de ordenamiento territorial aprobada, lo que en gran medida contribuye a que las coberturas de uso del suelo no estén en base a capacidades y con regulaciones de seguridad, infraestructura y población.

Actualmente se tiene una Ley del Área Metropolitana de San Salvador, que es la que le da respaldo legal a la OPAMSS; de igual forma la Ley y reglamento del VMVDU; la Ley del Medio Ambiente y Ley del Servicio Civil, utilizada por el (COEN); así como de las ordenanzas municipales emitidas por las diferentes municipalidades

Actualmente se desarrolla una consultoría de estudio sobre el ordenamiento y desarrollo del territorio a nivel nacional, lo cual permitiría tener políticas más apropiadas para la distribución espacial de las diferentes actividades económicas (Ley en proceso de formación).

## 2.2 Marco del Proyecto

En septiembre del 2000, el Gobierno de El Salvador y El Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), elaboraron el proyecto **“Mitigación de los Efectos Multiamenazas en Zonas de Riesgo del Volcán de San Salvador”**, con la cual se pretende contribuir:

1. Reducir la vulnerabilidad de la población que vive en las zonas de alto riesgo y de influencia del volcán de San Salvador.
2. Mitigar los efectos multiamenazas en zonas de riesgo del volcán de San Salvador.

Es por ello que el proyecto RAPCA, se enmarca dentro del proyecto Volcán, para que sirva de apoyo en la utilización de las herramientas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica en la zonificación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo; en una zona dentro del área de influencia de dicho proyecto.

### **3. RECURSOS**

#### **3.1 Humano**

Para el desarrollo del proyecto se contó con personal con conocimientos básicos para el manejo de computadoras y los paquetes (software) en SIG así como de información en mapeo básico de infraestructura, suelos hidrología, uso del suelo, población, amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

#### **3.2 Equipo**

Para el desarrollo del proyecto piloto usando herramientas de SIG se contó con el siguiente equipo:

Tres computadoras personales Pentium IV de 1.7 Ghz; 128 MB de RAM, 40 Gb en disco duro, para el proceso de información en formato digital.

Una impresora de inyección formato grande, para imprimir y reproducir información del proyecto, además de un plotter.

Un estereoscopio de espejos, con lentes de aumento de 8x, para el análisis de fotografías aéreas.

Dos GPS de mano para posicionamiento de puntos de muestreos en campo.

Un quemador de CD, para reproducción de la información digital.

Un escáner de buena resolución y amplio formato, para escanear información que está en papel y pasarlo a formato digital.

Un vehículo, para movilización de técnicos en la recolección de información de campo.

#### **3.3 Materiales**

Entre los materiales utilizados para la ejecución del proyecto están:

Fotografías aéreas de la zona de estudio de diferentes años.

Mapas topográficos a escalas 1:5,000, 1:25,000, 1:50,000.

Información topográfica digital (cuadrantes topográficos 1:25,000)

Mapas e información temática existentes de la zona de estudio

Combustible y lubricantes

Materiales para impresión en papel

Material de impresión en formato digital, entre otros

## **4. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)**

### **4.1 Programas utilizados (Software)**

Los paquetes informáticos empleados para procesar la información fueron el ArcView e ILWIS y en ciertas ocasiones el ERDAS y Microstation, por el tipo de información que se maneja en las instituciones proveedoras de la información. Para la preparación de las salidas se usó el ArcGIS; así como los programas de apoyo como lo es el Word, Excel entre otros.

### **4.2 Sistema de coordenadas**

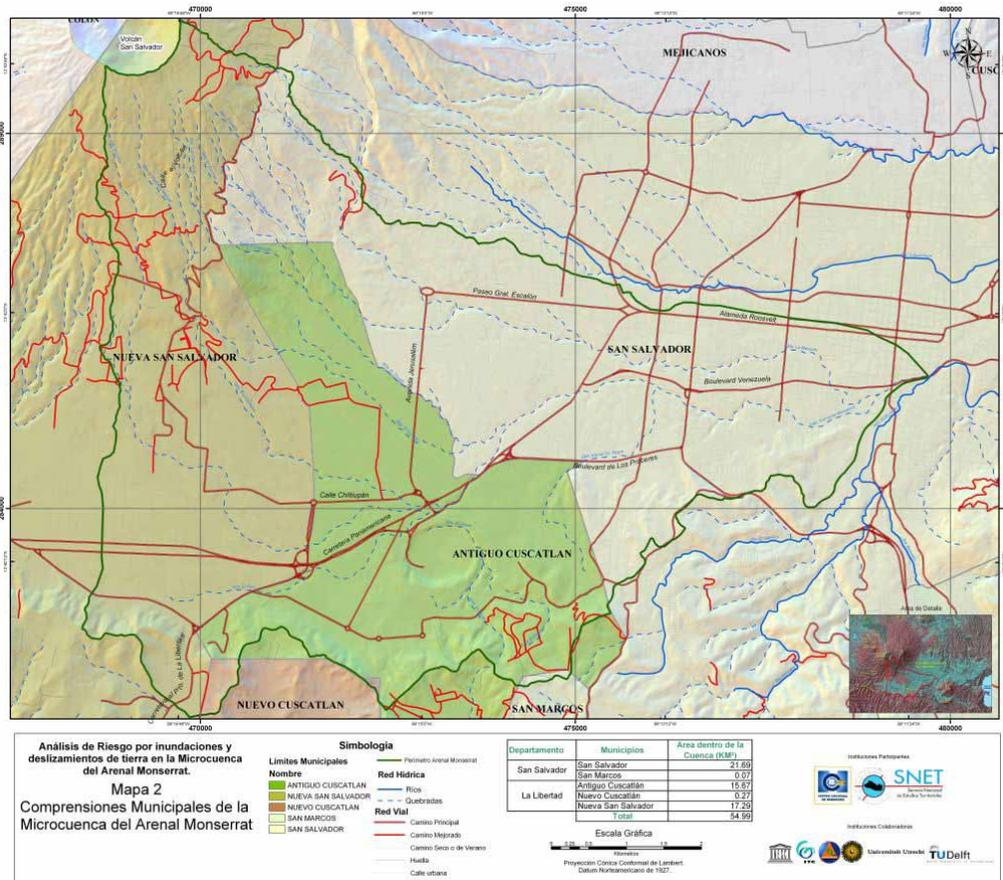
El sistema de coordenadas empleados en el proyecto, esta basado en la Proyección Cónica Conformal de Lambert, que es la proyección empleada en El Salvador y su equivalente en la Proyección Universal Transversal de Mercator, para la conversión de las coordenadas en ambos sistemas.



## 5.1 Comprensión administrativa

Se establece que municipios están dentro del área de la cuenca. En El Salvador, la división política administrativa, divide al país en departamentos y dentro de estos están los municipios. El área de la Microcuenca del Arenal de Montserrat, se encuentra dentro de las siguientes comprensiones municipales administrativas: San Salvador, San Marcos, Antiguo Cuscatlán, Nuevo Cuscatlán y Nueva San Salvador.

La mayor cantidad del área administrativa dentro de la cuenca corresponde a los municipios de Nueva San Salvador y San Salvador, tal como se muestra en el mapa 2 y en el cuadro N° 1 de comprensiones municipales administrativas.



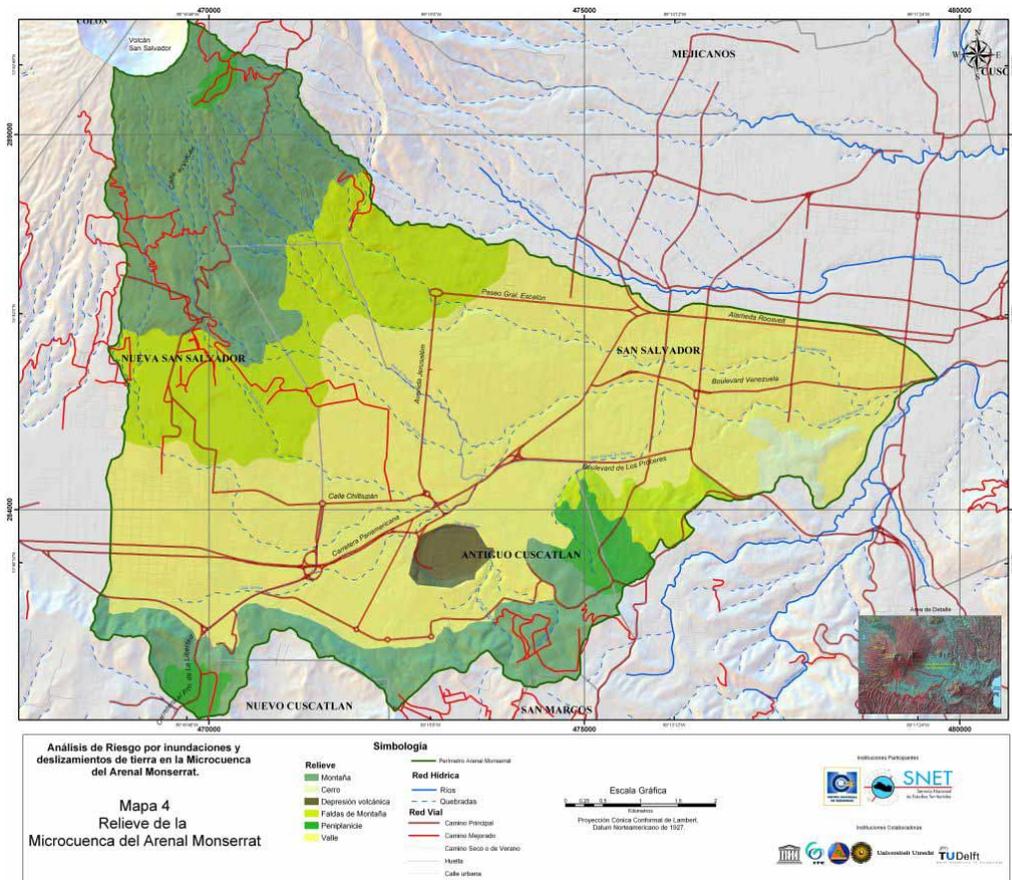
Departamento	Municipio(s)	Área dentro de la cuenca (km <sup>2</sup> )
San Salvador	San Salvador	21.691
	San Marcos	0.067
La Libertad	Antiguo Cuscatlán	15.674
	Nuevo Cuscatlán	0.688
	Nueva San Salvador	17.293

Cuadro N° 1: Comprensiones municipales administrativas dentro de la microcuenca del Arenal de Montserrat.





Vista parcial del relieve de la cuenca del Arenal de Montserrat en su parte alta y media. Al fondo el volcán de San Salvador.



Tipo de Relieve	Área (km <sup>2</sup> )
Cerro	0.719
Depresión volcánica	0.699
Faldas de montaña	9.006
Montaña	13.860
Peniplanicie	1.756
Valle	28.956

Cuadro N° 2. Datos del relieve contenidos en la microcuenca del Arenal de Montserrat

## 5.4 Geología

La región centroamericana se encuentra en la denominada placa del Caribe y según los estudios la placa de Cocos (ubicada en el Océano Pacífico), tiene un área de subducción en la placa del Caribe, la cual genera mucha actividad sísmica.

El área de la cuenca del Arenal de Montserrat está comprendida en una zona, marcada por intensa actividad volcánica y sísmica. Lo cual se demuestra por el relieve variado y los volcanes considerados activos como es el caso del volcán de San Salvador; así como las innumerables fallas demostrados por las fracturas de los perfiles de los suelos lo cual son visibles en los cortes de ríos, caminos, calles y carreteras; además de los constantes sismos, muchos de ellos no perceptibles a la población y otros de gran intensidad de hasta 7.5 grados Richter, los cuales han causado muchos daños en la destrucción de infraestructura y siendo además un factor disparador para la ocurrencia de los deslizamientos.



Perfil del área de pie de monte, sector colonia el Paraíso. Cordillera del Bálsamo

Parte superior cenizas volcánicas piroclásticas; (tierra blanca); parte media tobas de flujos piroclásticos y coladas de lava (capa pedregosa) y parte inferior y material consolidado de ignigbritas (talpetate) donde se observa fallas por actividad sísmica.

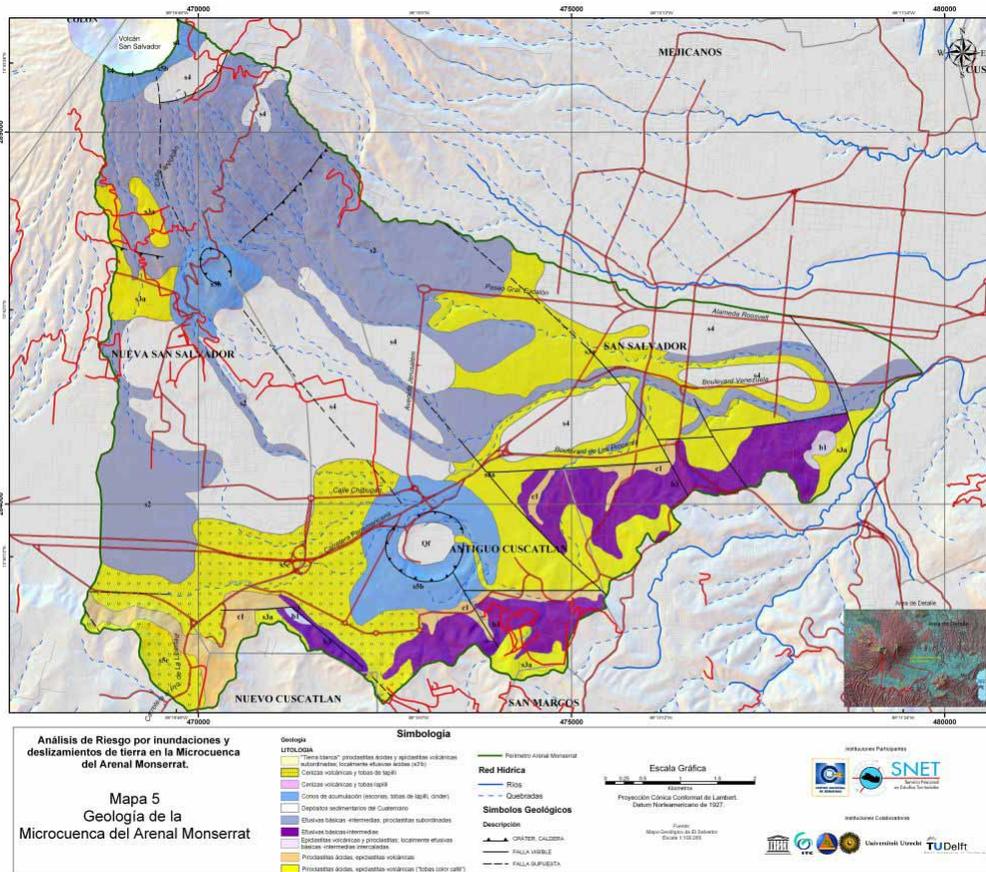


Perfil de cono volcánico sector La Laguna.  
Parte superior cenizas volcánicas (tierra blanca), Parte media material granulométrico piroclástico amarillento, depósito de material volcánico color gris.



Depósitos de material volcánico (escoria) rojizo, señal de que en zona cerca existió actividad fumarólica.

En la cuenca del Arenal de Montserrat (según la misión geológica alemana de 1974) predominan en sus capas superiores los materiales piroclásticos, color claro a grises, los cuales son materiales finos a gruesos (conocidos más como tierra blanca y gravilla pomicítica), los cuales pertenecen a la denominada formación San Salvador y están distribuidos en zona de montañas y valles, éstos se encuentran sobre capas más antiguas de suelos piroclásticos color café (suelos sueltos de grano grueso), los cuales pertenecen a la formación cuscatlán y son más visibles en la cuenca de la zona sur que es montañosa y estos suelos descansan sobre suelos más antiguos que son arcillosos rojizos denominados formación bálsamo. La cuenca contiene dos conos de acumulación de escoria, tobas de lapilli y cinder, además de encontrarse corrientes de lava en varios puntos del área. El mapa N°5 y la tabla N°3 muestra la distribución del material geológico en la cuenca.



CÓDIGO	LITOLOGÍA	Área (Km <sup>2</sup> )
S2	Efusivas básicas –intermedias, piroclástitas subordinadas	15.85
S4	"Tierra blanca": piroclástitas ácidas y a piroclástitas volcánicas subordinadas; localmente efusivas ácidas (s3'b)	14.09
S3a	Piroclástitas ácidas, epiclástitas volcánicas ("tobas color café")	9.01
S5c	Cenizas volcánicas y tobas de lapilli	5.53
B3	Efusivas básicas-intermedias	4.31
S5b	Conos de acumulación (escorias, tobas de lapilli, cinder)	3.96

C1	Piroclástitas ácidas, epiclástitas volcánicas	1.71
Qf	Depósitos sedimentarios del Cuaternario	0.35
B1	Epiclástitas volcánicas y piroclástitas; localmente efusivas básicas -intermedias intercaladas.	0.15
C3	Efusivas-básicas-intermedias	0.04

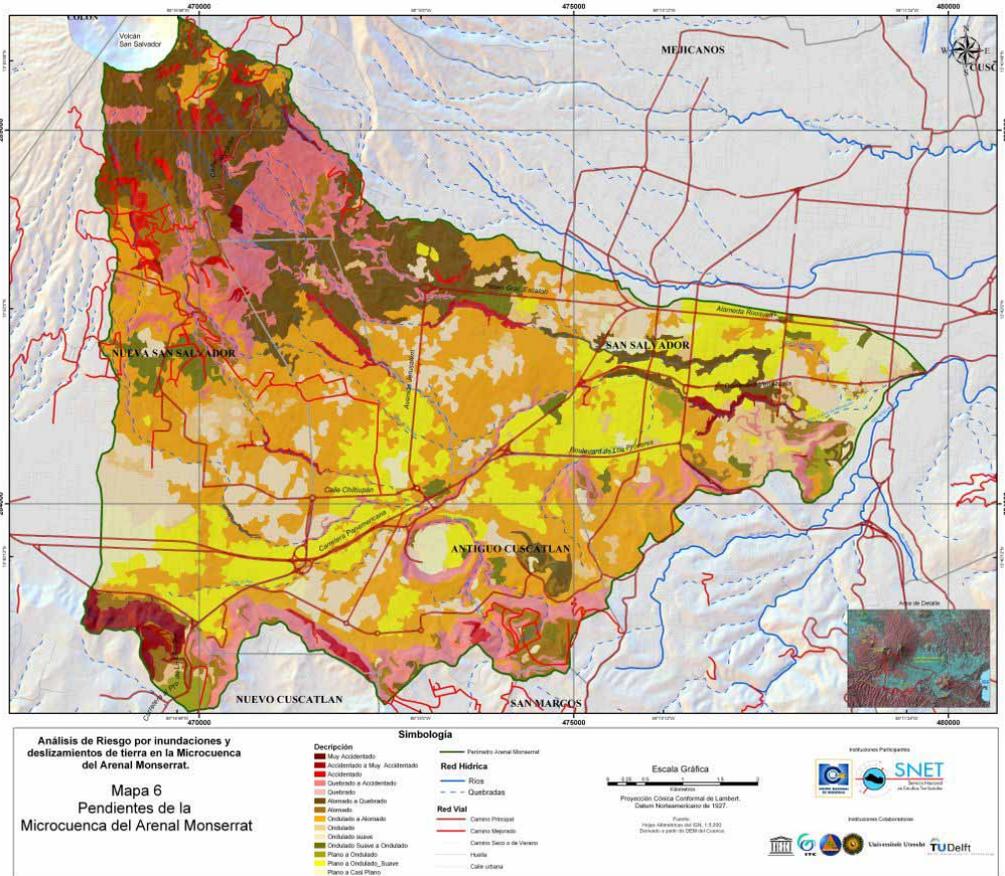
Cuadro N° 3 Material geológico predominante contenido en la cuenca de Arenal de Montserrat. Fuente: Mapa Geológico de El Salvador, escala 1:100,000

## 5.5 Pendientes

Siendo el relieve variado, las pendientes en la cuenca son muy heterogéneas, así tenemos que en la zona de valle y peniplanicie predomina la topografía plana a ondulada, pero en el cauce de las quebradas y ríos es quebrada a accidentada; de hecho en las zonas montañosas las pendientes predominantes van desde el 50% a 100%. Algunas pequeñas áreas tienen más del 100%. La unidad de pendiente que más predomina es la que se define para este estudio como ondulado a alomado con un rango de pendiente de 5% a 25%, el mapa N° 6 y el cuadro N° 4, muestran la distribución de las pendientes según la topografía de la cuenca.

La siguiente tabla indica los rangos de distancias horizontales y verticales con su correspondiente rango de pendiente .

Intervalo Horizontal	Intervalo Vertical	Porcentaje de pendiente
> 200 mts.	5 mts.	< 2 %
100-200 mts.	5 mts	2-5 %
50-100 mts.	5 mts	5 – 10 %
25- 50 mts.	5 mts	10 – 25 %
10 –25 mts.	5 mts	25 – 50 %
5 –10 mts.	5 mts	50 – 100 %
< 5 mts.	5 mts	> 100 %



Descripción topográfica	Pendiente( %)	Área (km <sup>2</sup> )
Accidentado	50–100	1.203
Accidentado a muy accidentado	50–200	0.872
Alomado	10–25	2.772
Alomado a quebrado	10–50	7.066
Muy accidentado	100–200	0.066
Ondulado	5–10.00	2.222
Ondulado a alomado	5–25	16.309
Ondulado suave	2–5	5.649
Ondulado suave a ondulado	2–10	1.187
Plano a casi plano	0–2	2.055
Plano a ondulado	0–10	0.464
Plano a ondulado suave	0–5	8.049
Quebrado	25–50	0.043
Quebrado a accidentado	25–100	7.036

Cuadro N°4 Distribución de áreas de pendientes en la cuenca del Arenal de Montserrat

## 5.6 Suelos

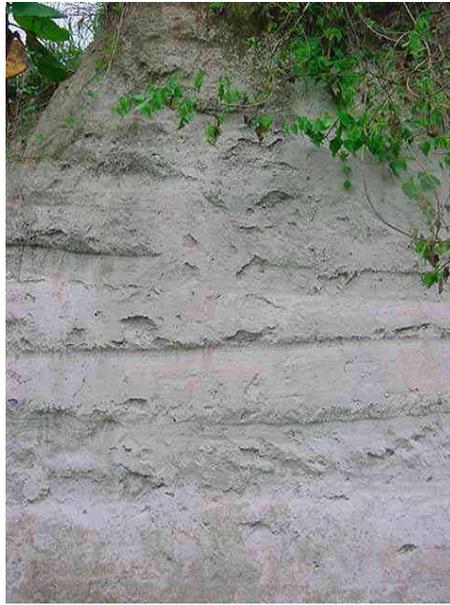
Por estar en una región de vulcanismo reciente (por los materiales piroclásticos y cenizas); predominan las texturas francas, arenosas o gravilosas con profundidades que van a más de 2 metros. La profundidad evaluada va desde superficial que es menor a 2.0 metros, moderada de 2.00 a 5.00 metros y profunda que es mayor de 5.00 metros. La unidad fisiográfica predominante en la cuenca es el franco limoso profundo ondulado, de suave a ondulado en valles; en la zona de montaña, se tienen los suelos francos a gravilosos, de profundos a superficiales en corrientes de lava en montaña. El mapa N° 7 y el cuadro N° 5, muestran la distribución de las unidades fisiográficas de suelo en la cuenca.



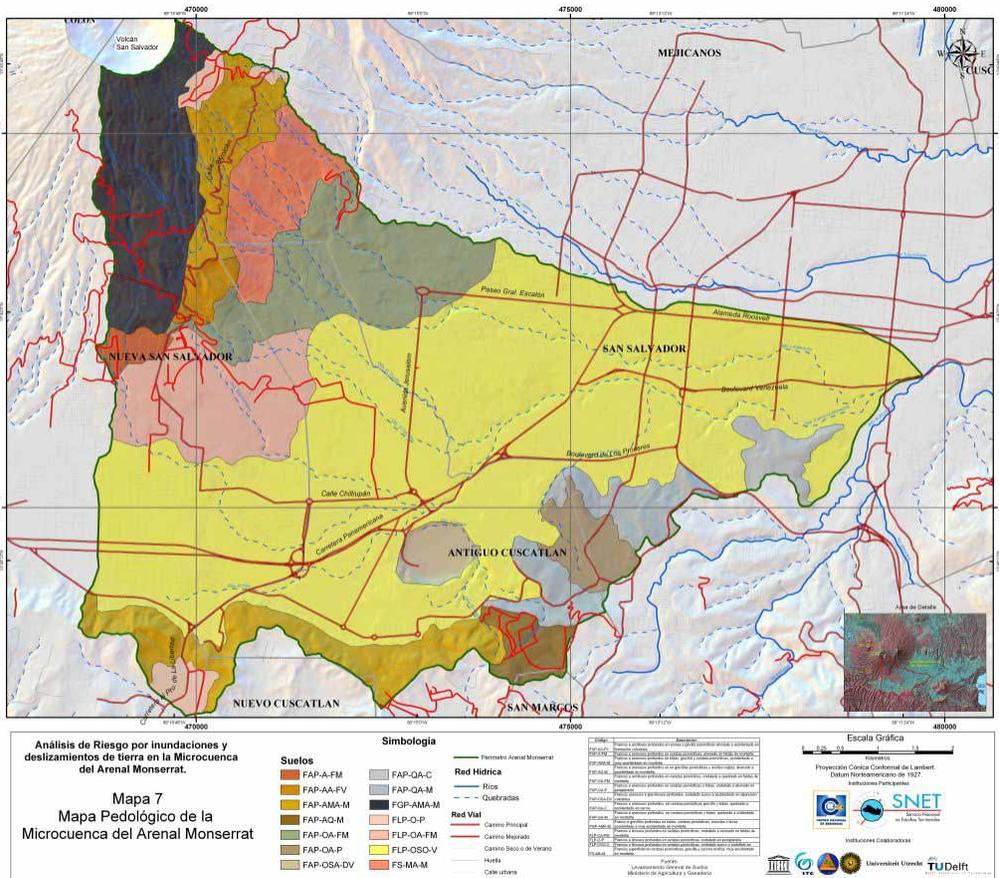
Perfil zona finca Desire o Agua. Parte superior depósitos de ceniza volcánica pomicítica; parte inferior parte inferior estratos de suelo arcilloso rojizo.



Perfil en la zona montañosa del volcán de San Salvador,  
Parte izquierda formada de ceniza volcánica superficial; al centro flujo de lava



Perfil zona Cumbres de Cuscatlán. Gruesos estratos de ceniza volcánica pomicítica. Material predominante en el área de la cuenca.



Unidad fisiográfica		Área (Kms <sup>2</sup> )
FGP-AMA-M	Francos a gravillosos profundos en tobas, cenizas pomicíticas, escorias o lavas, accidentado a muy accidentado en montaña.	4.25
FAP-AMA-M	Francos a arenosos profundos en tobas, gravilla y cenizas pomicíticas, accidentado a muy accidentado en montaña.	4.57
FAP-AA-FV	Francos a arcillosos profundos en arenas y gravilla pomicíticas, alomado a accidentado en formación volcánica.	0.49
FAP-OQ-FM	Francos a arcillosos profundos en cenizas pomicíticas, ondulado a quebrado en faldas de montaña.	4.59
FAP-A-FM	Francos a arenosos profundos en cenizas pomicíticas, alomado en faldas de montaña.	0.39
FAP-OA-P	Francos a arenosos profundos, en cenizas pomicíticas y tobas, ondulado a alomado en peniplanicie.	1.04
FAP-QA-C	Francos arenosos profundos en cenizas pomicíticas, gravillas y pómez, quebrado a accidentado en cerros.	0.72
FAP-QA-M	Francos a arenosos profundos en cenizas pomicíticas y tobas, quebrado a accidentado en montaña.	1.97
FAP-AA-M	Francos a arenosos profundos en gravillas pomicíticas y arcillas rojizas, alomado a accidentado en montaña	0.80
FGP-O-P	Francos a gravillosos profundos en tobas cenizas pomicíticas, escorias y lavas, ondulado en peniplanicie.	0.26
FLP-O-P	Franco a limosos profundos en cenizas pomicíticas ondulado en peniplanicie.	0.53
FLP-OA-FM	Francos a limosos profundos en cenizas pomicíticas, ondulado a alomado en faldas de montaña.	3.60
FLP-OSO-V	Francos a limosos profundos en cenizas pomicíticas, ondulado suave a ondulado en valle	28.94
FAG-OSA-DV	Francos arenosos a gravillosos profundos, ondulado suave a accidentado en depresión volcánica	0.70
FS-MA-M	Francos superficiales en cenizas pomicíticas, gravilla y escoria máfica, muy accidentado en montaña	2.07

Cuadro N° 5. Cuadro de áreas para las diferentes unidades fisiográficas de suelos en la microcuenca del Arenal de Montserrat

## 5.7 Clima: Precipitación

En El Salvador, se distinguen dos estaciones climáticas bien marcadas las cuales son la estación lluviosa en los meses de mayo a octubre y la estación seca desde noviembre a abril.

Según el cuadro de intensidades por año que se muestra, tenemos que un promedio para 5 minutos, se tienen de 25 a 28 milímetros. Dentro del período lluvioso, se tienen intensidades de más de 30 mm por hora. En abril del año de

2002, se tuvo precipitaciones de más de 90 mm por hora; en el mes de octubre 2003 se registraron precipitaciones de 49 mm por hora.

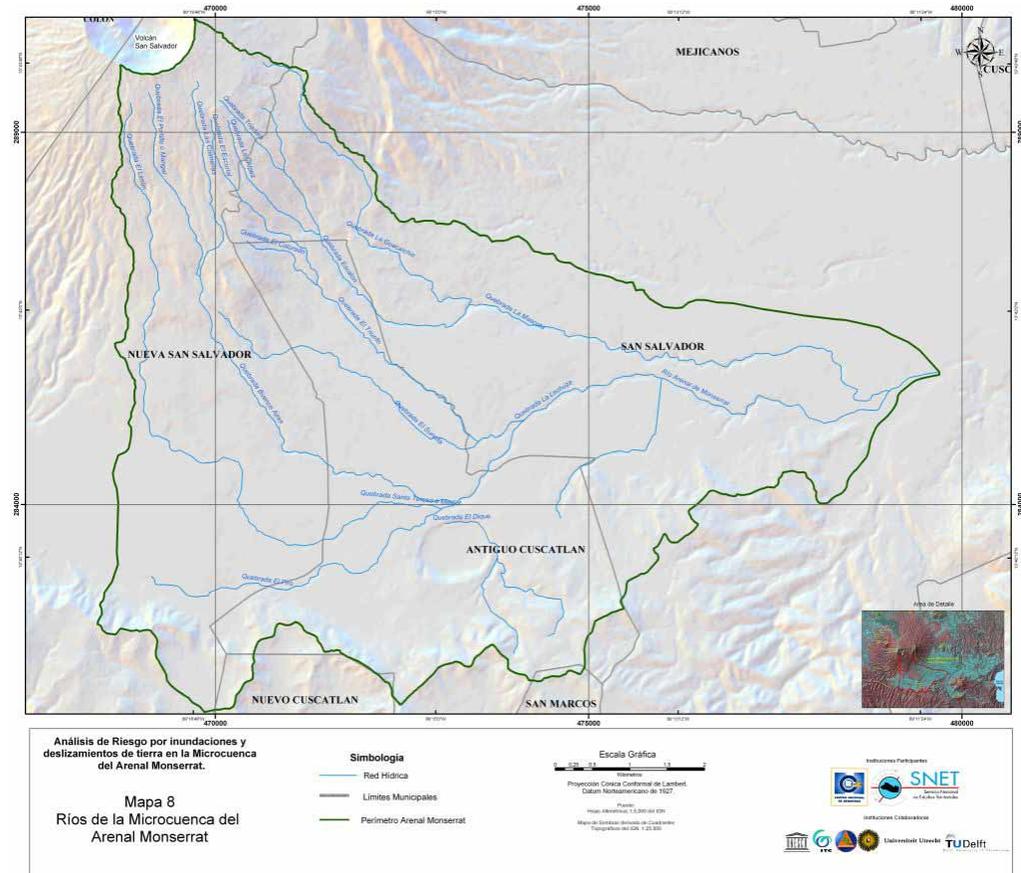
El cuadro N° 6, muestra las diferentes intensidades de lluvia para un período de 31 años dentro del área de la microcuenca del Arenal de Montserrat.

AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1954	2.64	2.28	2.52	2.42	2.00	1.44	1.14	0.85	0.65	0.32	0.28	0.09	0.07
1955	1.86	1.73	1.46	1.28	1.05	0.71	0.54	0.40	0.32	0.27	0.22	0.15	0.12
1956	3.56	2.89	2.34	1.94	1.80	1.67	1.32	0.98	0.75	0.61	0.52	0.40	0.12
1957	2.20	1.89	1.53	1.56	1.26	0.88	0.67	0.45	0.36	0.30	0.25	0.18	0.10
1958	2.74	2.03	1.49	1.18	0.83	0.69	0.59	0.42	0.56	0.49	0.44	0.38	0.28
1959	2.12	1.71	1.49	1.36	1.11	0.79	0.61	0.43	0.36	0.31	0.28	0.22	0.08
1960	2.42	2.03	1.40	1.10	1.01	0.77	0.58	0.45	0.35	0.30	0.32	0.27	0.22
1961	1.62	1.33	1.22	1.08	0.83	0.69	0.56	0.46	0.35	0.27	0.27	0.26	0.20
1962	2.06	1.49	1.38	1.34	1.27	1.11	0.91	0.68	0.52	0.43	0.37	0.28	0.19
1963	2.60	2.29	2.09	1.98	1.77	1.35	1.03	0.70	0.54	0.44	0.37	0.34	0.15
1964	2.40	2.27	2.27	1.78	1.36	0.94	0.78	0.56	0.44	0.36	0.21	0.16	0.12
1965	2.48	2.28	2.01	1.71	1.33	0.93	0.68	0.47	0.41	0.30	0.32	0.27	0.06
1966	2.28	1.92	1.89	1.87	1.58	1.26	1.02	0.78	0.65	0.53	0.45	0.35	0.07
1967	2.56	2.36	2.00	1.77	1.26	1.25	1.17	0.94	0.36	0.23	0.20	0.10	0.10
1968	2.14	1.89	1.50	1.42	1.25	1.15	1.07	0.83	0.74	0.60	0.32	0.26	0.18
1969	1.64	1.42	1.28	1.15	0.89	0.76	0.66	0.52	0.44	0.40	0.36	0.30	0.28
1970	2.80	2.51	2.04	1.62	1.13	0.88	0.70	0.62	0.47	0.38	0.33	0.27	0.19
1971	3.36	2.66	2.32	2.10	1.56	1.20	0.75	0.53	0.41	0.33	0.28	0.14	0.12
1972	2.56	1.78	1.45	1.20	0.91	0.74	0.60	0.53	0.44	0.27	0.24	0.10	0.03
1973	3.18	2.29	1.93	1.76	1.41	1.05	0.90	0.64	0.50	0.42	0.36	0.24	0.10
1974	2.84	2.24	1.89	1.70	1.37	0.96	0.75	0.55	0.45	0.43	0.40	0.38	0.35
1975	2.38	2.17	1.88	1.79	1.73	1.27	0.97	0.67	0.52	0.42	0.35	0.26	0.26
1976	3.40	2.42	1.87	1.54	1.39	1.10	0.87	0.63	0.38	0.31	0.27	0.21	0.18
1977	2.44	2.07	1.61	1.28	0.94	0.66	0.50	0.43	0.38	0.36	0.38	0.32	0.24
1978	2.72	2.36	2.24	1.85	1.29	0.87	0.67	0.48	0.38	0.32	0.27	0.23	0.21
1979	2.72	1.95	1.90	1.68	1.45	1.02	0.80	0.59	0.47	0.39	0.33	0.22	0.19
1980	3.16	2.57	2.17	1.93	1.95	1.56	1.49	1.15	0.88	0.75	0.63	0.49	0.33
1981	2.84	2.24	1.84	1.58	1.35	1.09	0.89	0.70	0.45	0.36	0.32	0.24	0.20
1982	2.80	2.40	2.27	2.30	1.84	1.48	1.14	0.50	0.41	0.35	0.30	0.24	0.16
1983	2.76	1.80	1.66	1.50	1.46	1.24	0.96	0.61	0.49	0.38	0.31	0.18	0.12
1984	3.60	2.80	2.46	2.24	1.58	1.14	0.91	0.70	0.54	0.46	0.27	0.22	0.16

Cuadro N° 6. Datos de intensidades de precipitación dentro de la cuenca del Arenal de Montserrat, según la estación meteorológica de Santa Tecla. (Fuente: Servicio Meteorológico, SNET)

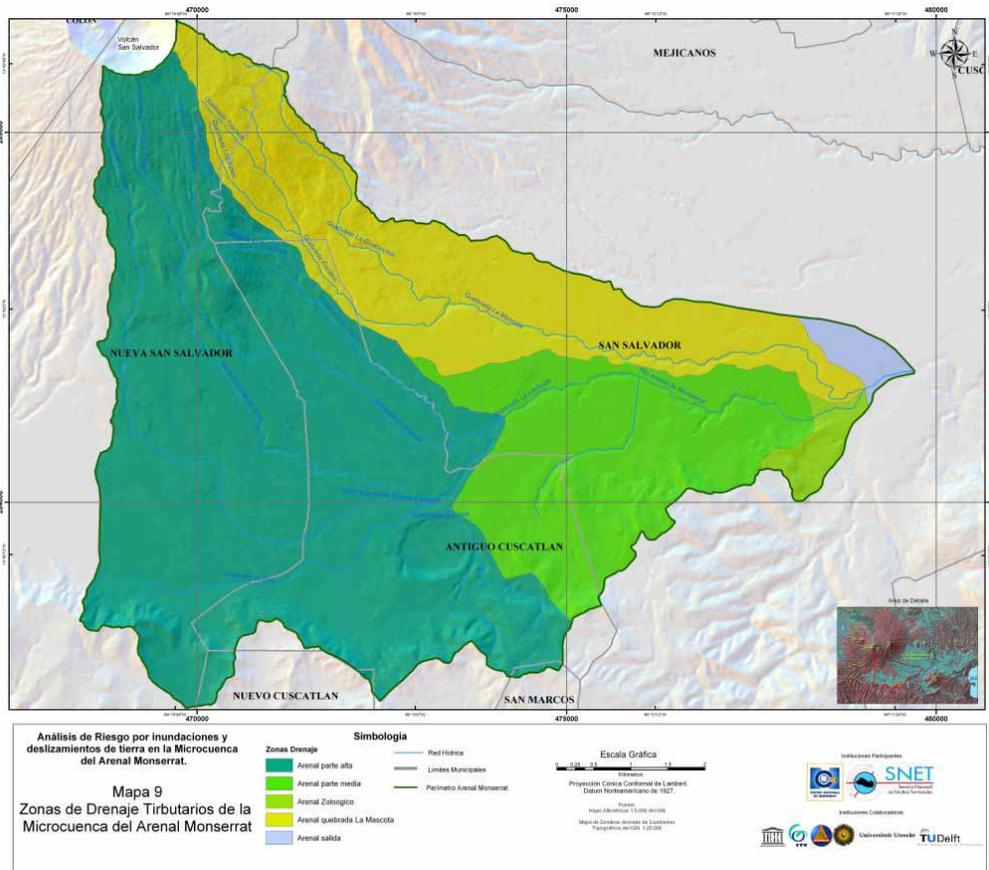
## 5.8 Hidrografía

El principal canal de drenaje dentro del área es el río del Arenal de Monserrat, y que en su parte intermedia es conocido como quebrada La Lechuza y su parte más alta como quebrada El Piro; a este afluente se le suman la quebradas: La Mascota, Suscita, Merliot, Buenos Aires, El Piro o en su defecto la quebrada Buenos Aires. El mapa N° 8 indica la ubicación espacial del río y quebradas en la microcuenca. El mapa N° 9, indica las áreas correspondientes a cada drenaje tributario. El cuadro N° 7, indica los datos de longitudes, pendientes para cada drenaje tributario.





Perfil del río Arenal de Montserrat en el sector del barrio la Vega.



Nombre drenaje	Longitud (metros)	Elevación Máxima –Mínima ( metros.)	Diferencia elevación (metros.)	Pendiente %	Área ( Kms <sup>2</sup> .)
Arenal parte alta	11,292	1855 - 785	1070	9.48	30.613
Quebrada la Mascota	14,191	1835-645	1190	8.36	12.291
Arenal parte alta y media.	16,210	1855 - 650	1205	7.43	41.052
Arenal parte alta media, quebrada La Mascota y Zoológico.	17,060	1855 - 645	1210	7.09	54.243
Arenal parte alta, media, quebrada La Mascota, Zoológico y salida	17,801	1855 – 635	1220	6.85	54.994
Arenal Montserrat parte alta (montaña)	5,254	1855 - 970	885	16.84	-----
Arenal Montserrat parte baja (valle)	13,726	970 - 635	335	2.44	-----
Arenal Montserrat	17801	1855-635	1220	6.85	54.994

Cuadro N° 7 Datos de elevación Longitudes y pendiente de los drenajes del la cuenca del Arenal de Montserrat

El diseño del canal del río es irregular en su geometría. Por lo que se han tomado 11 puntos para determinar su área hidráulica, de las áreas consideradas que dan problemas por inundaciones (ver anexos). El cuadro N° 8 muestra las áreas hidráulicas de los diferentes puntos muestreados.

Punto	Ubicación	Área Hidráulica (Mts <sup>2</sup> )
H-1	Boulevard Venezuela, Barrio la Vega	50.22
H-2	6° Av. Sur, y Blvrd. Venezuela, B° La Vega	115.77
H-3	4° Avenida Sur y Boulevard Venezuela, B° La Vega	86.18
H-4	2° Avenida Sur y Boulevard Venezuela, B° La Candelaria	78.74
H-5	Paso a desnivel Av. Cuscatlán y Boulevard Venezuela	60.49
H-6	Puente sobre 1° Av. Sur	60.22
H-7-A	Calle Francisco Menéndez y Av. 29 de agosto	23.62
H-7-B	Calle Francisco Menéndez	18.60
H-8	13° Avenida sur y calle Montserrat	40.11
H-9	17 Avenida sur y calle Montserrat	52.47
H-10	Comunidad Nuevo Israel	33.39
H-11	Comunidad Nuevo Israel	55.86
	Feria Internacional	19.00

Cuadro N° 8. Datos de las áreas hidráulicas de secciones del Arenal de Montserrat.

## 5.9 Infraestructura: Vías de Comunicación y edificaciones

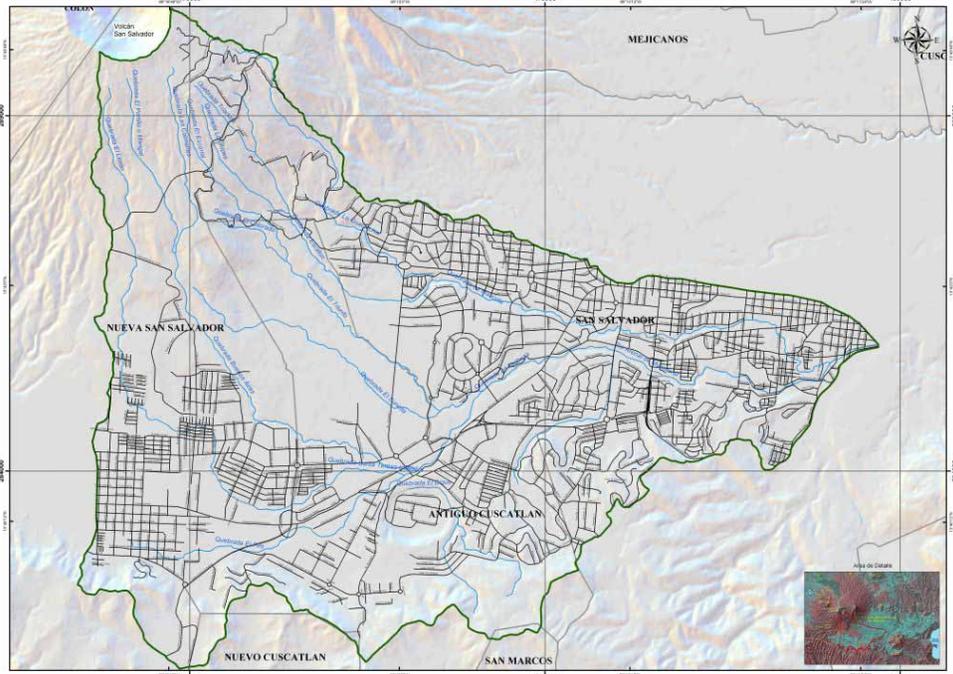
Como se mencionó anteriormente, por estar dentro del área urbana de San Salvador se tiene una alta densidad de calles, entre ellas esta la Carretera Panamericana; además de una red rural que conduce al volcán de San Salvador, en la parte de edificaciones se tienen oficinas gubernamentales, productivas sociales, entre otras infraestructuras, el mapa N° 10 muestra las vías de comunicación de la cuenca y el mapa N° 11 muestra la distribución de las principales edificaciones dentro de la cuenca



Vista panorámica parcial del área de San Salvador (parte de la cuenca)



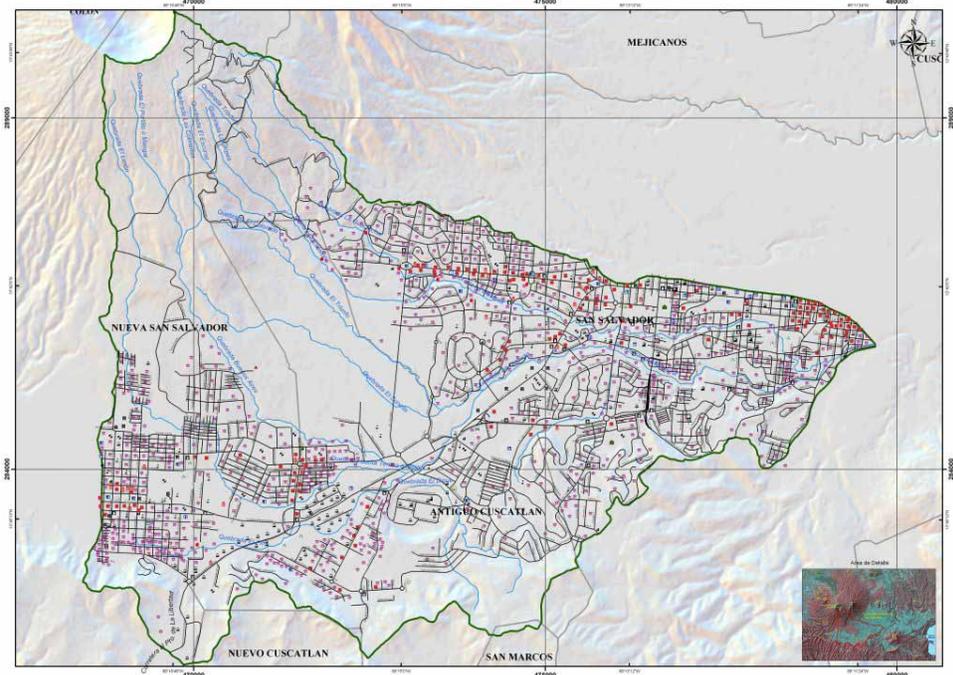
Vías de comunicación en la parte baja de la cuenca.



**Análisis de Riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la Microcuenca del Arenal Monserrat.**

**Mapa 10**  
Red Vial de la Microcuenca del Arenal Monserrat

<b>Simbología</b>	<b>Escala Gráfica</b>	<b>Instituciones Participantes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>— Red Vial</li> <li>— Red Hidrológica</li> <li>— Límites Municipales</li> <li>— Perímetro Arenal Monserrat</li> </ul>	<p>0 1 2 Kilómetros</p> <p>Proyección Geográfica Datum Horizontal: Datum de Lambert Datum Vertical: Datum de 1927</p> <p>Fecha: 10 de Julio del 2014 Escala: 1:100,000 Módulo de Software: ArcGIS 10.2 Elaborado por: SIA, UCR</p>	<p>INSTITUCIONES PARTICIPANTES</p> <p><b>SNET</b> SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN TERRITORIAL</p> <p>INSTITUCIONES COLABORADORAS</p> <p>UNIVERSIDAD UCR UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COSTA RICA TU Delft</p>



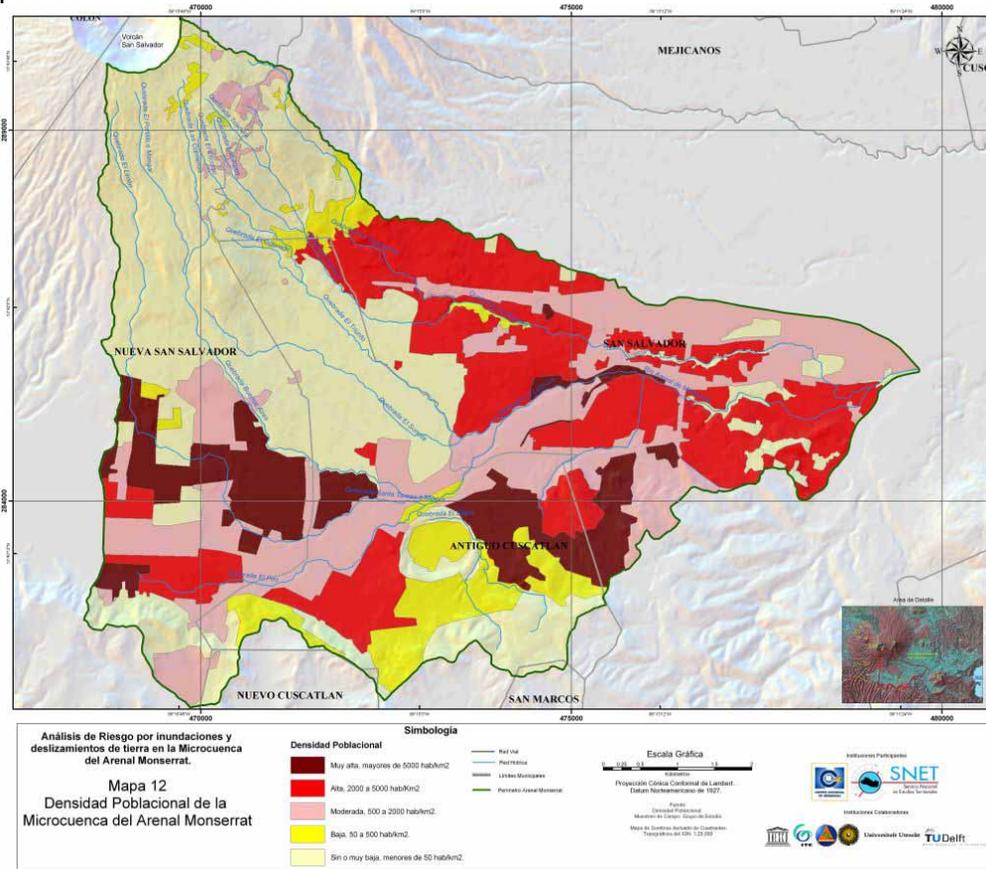
**Análisis de Riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la Microcuenca del Arenal Monserrat.**

**Mapa 11**  
Infraestructura dentro de la Microcuenca del Arenal Monserrat

<b>Infraestructura</b>	<b>Simbología</b>	<b>Escala Gráfica</b>	<b>Instituciones Participantes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alcantarillas</li> <li>• Camión Basura</li> <li>• Canchales</li> <li>• Cortes de Energía</li> <li>• Líneas de Transmisión</li> <li>• Líneas de Telefonía</li> <li>• Líneas de Gas</li> <li>• Líneas de Agua</li> <li>• Líneas de Fibra Óptica</li> <li>• Líneas de Cableado</li> <li>• Líneas de Antenas</li> <li>• Líneas de Señalización</li> <li>• Líneas de Iluminación</li> <li>• Líneas de Seguridad</li> <li>• Líneas de Protección</li> <li>• Líneas de Defensa</li> <li>• Líneas de Defensa Civil</li> <li>• Líneas de Defensa Militar</li> <li>• Líneas de Defensa Espacial</li> <li>• Líneas de Defensa Cibernética</li> <li>• Líneas de Defensa Química</li> <li>• Líneas de Defensa Biológica</li> <li>• Líneas de Defensa Nuclear</li> <li>• Líneas de Defensa Atómica</li> <li>• Líneas de Defensa Espacial</li> <li>• Líneas de Defensa Cibernética</li> <li>• Líneas de Defensa Química</li> <li>• Líneas de Defensa Biológica</li> <li>• Líneas de Defensa Nuclear</li> <li>• Líneas de Defensa Atómica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Red Vial</li> <li>— Red Hidrológica</li> <li>— Límites Municipales</li> <li>— Perímetro Arenal Monserrat</li> </ul>	<p>0 1 2 Kilómetros</p> <p>Proyección Geográfica Datum Horizontal: Datum de Lambert Datum Vertical: Datum de 1927</p> <p>Fecha: 10 de Julio del 2014 Escala: 1:100,000 Módulo de Software: ArcGIS 10.2 Elaborado por: SIA, UCR</p>	<p>INSTITUCIONES PARTICIPANTES</p> <p><b>SNET</b> SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN TERRITORIAL</p> <p>INSTITUCIONES COLABORADORAS</p> <p>UNIVERSIDAD UCR UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COSTA RICA TU Delft</p>

## 5.10 Densidad de Población

Dentro del área se encuentra parte del área metropolitana de San Salvador (capital de La República), lo anterior hace que gran parte de la zona se encuentre ocupada con altas densidades de población, siendo mayor en la zona que ocupan familias de escasos recursos económicos y clase media. El mapa N° 12 y el cuadro 9 indican la distribución espacial de las densidades de población en la microcuenca.



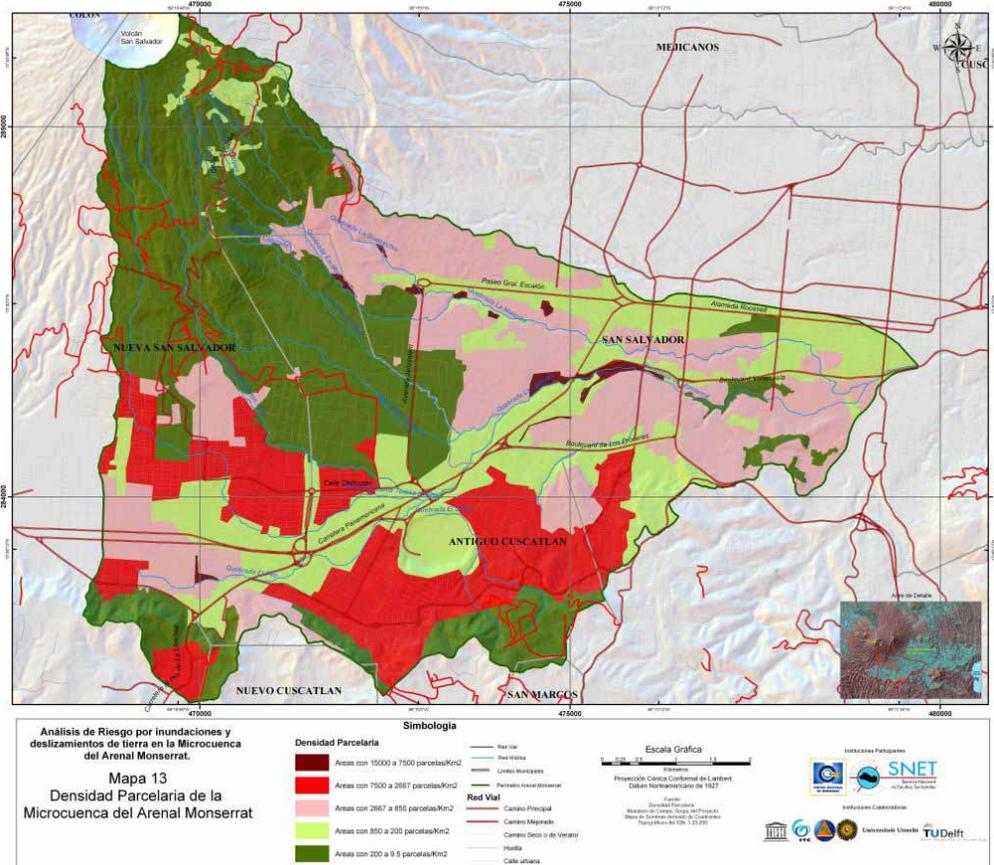
Categoría	Densidad	Area ( Kms <sup>2</sup> )
Sin o muy baja	Menores de 50 hab./ Km2	21.166
Baja	De 50 a 500 hab. / Km2	3. 980
Moderada	De 500 a 2000 hab. / Km2	12.153
Alta	De 2000 a 5000 hab. / Km2	12.164
Muy alta	Mayores de 5000 hab. / Km2	5.516

Cuadro N° 9. Densidades de población en la cuenca del Arenal de Montserrat

## 5.11 Densidad de Parcelas

La composición de la distribución de las densidades de parcelas en la zona de estudio es variada, dentro de la cual existen áreas menores de 100 metros cuadrados las de mayor extensión oscilan entre 1,000 a 5,000 metros

cuadrados, para el área urbana; para el área rural se tienen áreas que oscilan entre los 5,000 a 1,000,000 metros cuadrados. El mapa N° 13 y el cuadro N° 10 indica las diferentes densidades de parcelas con sus áreas de cubrimiento dentro de la cuenca.



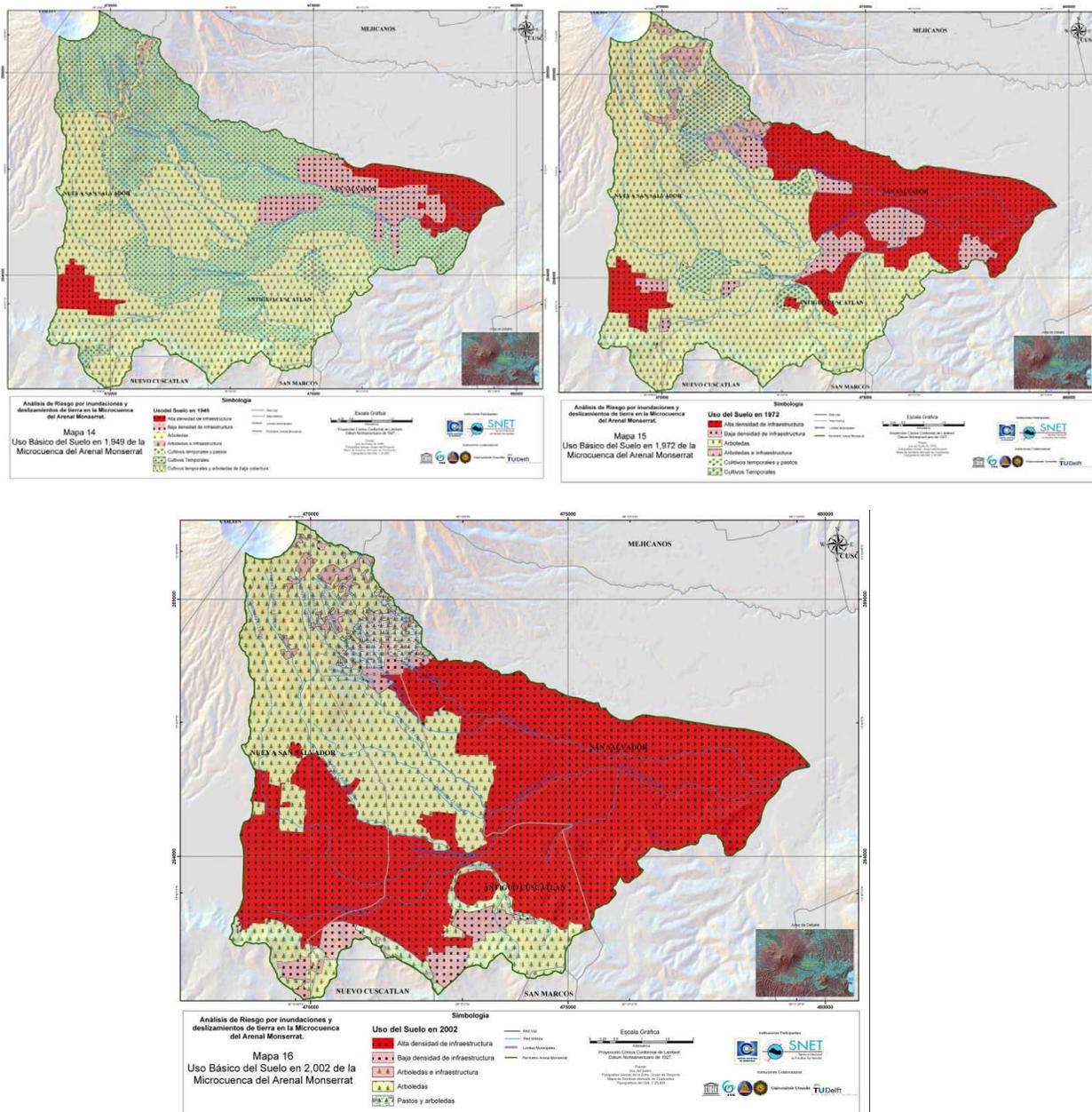
Áreas de Parcelas	Densidad (parcelas / Km <sup>2</sup> )	Área (Kms <sup>2</sup> )
De 5,000 a 1,000,000 metros cuadrados	200 a 9.5	19.780
De 1,000 a 5,000 metros cuadrados	850 a 200	12.509
De 300 a 1000 metros cuadrados	2667 a 850	13.392
De 100 a 300 metros cuadrados	7500 a 2667	8.888
De 50 a 100 metros cuadrados	15000 a 7500	0.401

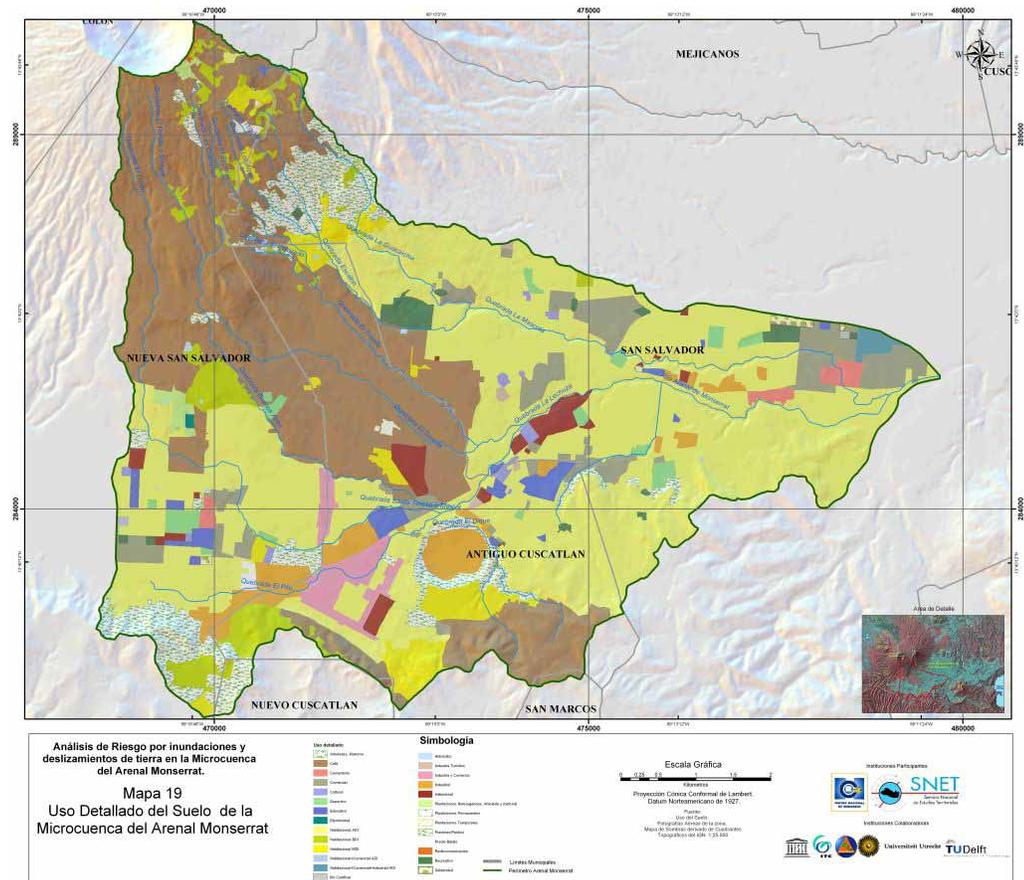
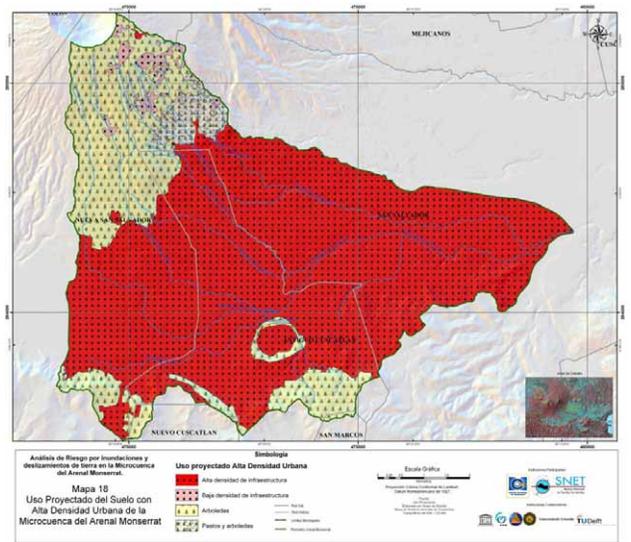
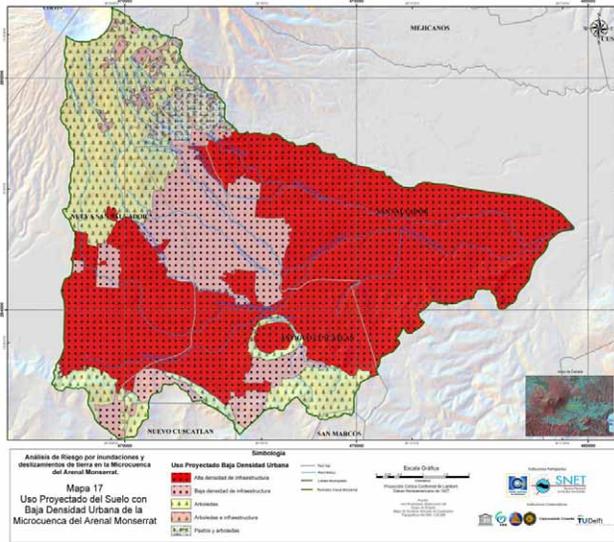
Cuadro N° 10. Densidades de parcelas en la cuenca del Arenal de Montserrat.

### 5.12 Uso del suelo

El aumento de la población en los últimos años ha incidido en el cambio de la cobertura del suelo. Para el año de 1949, el área de cubrimiento por alta densidad de infraestructura era muy baja, la cual se ha incrementando en los años subsiguientes como se demuestra para los años de 1972 y 2002. Actualmente más de la mitad del área de la cuenca esta con cubrimiento de infraestructura y se hace una proyección a futuro de uso proyectado con baja y

alta densidad de infraestructura, además el uso detallado al año del 2002. Los mapas N° 14, 15 y 16 indican el uso básico del suelo desarrollado para los años de 1949, 1972 y 2002; los mapas N° 17 Y 18 muestran el uso básico proyectado con baja y alta densidad de infraestructura respectivamente y el mapa N° 19 presenta el uso detallado del suelo año 2002. El cuadro N°11, indica el comportamiento del uso básico del suelo en los diferentes años mencionados.







Vista parcial del uso predominante en la parte alta de la Microcuenca

Uso Del Suelo	Area (Kms <sup>2</sup> )				
	1949	1972	2002	PBDI	PADI
Alta densidad de infraestructura	3.755	14.285	31.635	31.610	40.945
Arboledas	23.111	31.459	19.005	11.924	11.924
Arboledas e infraestructura	0.177	1.606	0.768	0.772	0.000
Baja densidad de infraestructura	3.649	3.574	2.197	9.284	0.772
Cultivos temporales y pastos	0.633	2.472	0.000	0.000	0.000
Cultivos temporales	23.108	1.516	0.000	0.000	0.000
Cultivos temporales y árboles de baja cobertura	0.555	0.000	0.000	0.000	0.000
Cultivos temporales, pastos y árboles con baja cobertura	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pastos y arboledas	0.000	0.000	1.388	1.390	1.346

Cuadro N° 11 Comportamiento del uso básico del suelo en los años de 1949, 1972, 2002, Proyectado con baja y alta densidad de infraestructura



## 6. ANÁLISIS DEL RIESGO

### 6.1 Amenaza

Después de generar la información básica, tenemos los pasos del análisis de la amenaza o peligro, la cual es definida como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino.

La metodología seguida para este estudio está basado en el documento escrito por C.J. Van Westen (Capítulo 1, Guía de Aplicaciones del ILWIS), llamado **Análisis del peligro, vulnerabilidad y riesgo**, el cual se detalla en los anexos o documentos de metodologías que se anexan dentro del proyecto general.

#### 6.1.1 Inundaciones

El análisis de amenazas por inundaciones, está basado en los datos de intensidades de precipitación, las unidades de uso básico del suelo, las unidades fisiográficas del suelo (el cual contempla su textura y material geológico, la pendiente y su relieve), los datos hidrográficos de las cuencas internas dentro del área de estudio (áreas, pendientes, elevación máxima y mínima, longitud de cauces, áreas hidráulicas y rugosidad del drenaje)

Para el cálculo de caudales, se empleó Gumbel y Manning; utilizándose Excel y se comparó con el método del CIA. Estos valores de caudal, se emplearon para generar el modelo de inundación en PC-RASTER (ver metodologías empleadas), los que luego se exportaron a ILWIS para el análisis respectivo.

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.

A pesar que en la mayor parte de la cuenca, son suelos francos arenosos con cenizas volcánicas pomicílicas profundas lo cual facilita la infiltración; esto se ha visto reducido por el avance de la infraestructura, lo que ocasiona mayor escorrentía en la parte media y baja de los drenajes de la cuenca. Como es lógico si el área hidráulica del canal no se amplía, esto generará más rebalse en el canal y provocará que se tenga mayor área de cubrimiento de agua desbordada.

Cuando las precipitaciones son mayores a 50 milímetros por hora se genera mucha incertidumbre en las zonas aledañas a los ríos, ya que éstos no dan cabida al caudal de agua drenado desde la parte alta. En los últimos años los períodos lluviosos generalmente han sido normales, pero las zonas inundables son cada vez más frecuentes y con mayor área de cubrimiento, ya que como se mencionó anteriormente el avance de la infraestructura provoca cada vez más escorrentía en la parte baja; por cuanto no se toman las medidas paralelas de ampliación del canal en la parte media y baja de los drenajes. En los períodos de retorno con altas precipitaciones, como es el caso de la precipitación ocurrida en abril del año de 2002, con 90 milímetros por hora, provocó inundaciones en áreas que generalmente nunca se han inundado, lo cual se agrava ya que mucha construcción es de carácter permanente, como lo son las bóvedas sobre los drenajes; y que sobre ellas hay desarrollo de infraestructura (calles).



Ubicación. Bóveda entre la Av. 29 de agosto y calle Francisco Menéndez, B° Modelo, San Salvador.

Medidas: Ancho: 4.5 mts. : Alto: 5.25 mts. Área Hidráulica: 23.62 mts.



Ubicación: Paso a desnivel Av. Cuscatlán y Boulevard Venezuela, B° Candelaria, S.S.

Medidas: Ancho. 13.15 mts.; ancho: 4.6 mts.; Area Hidráulica: 60.49 mts<sup>2</sup>

Al analizar los datos de las áreas hidráulicas de los diferentes puntos del cauce del Río Arenal de Montserrat, el punto H-7A Y H-7B, tiene espacios muy reducidos de 23.62 metros cuadrados y de 18.60 metros cuadrados, correspondiendo el valor menor a la entrada del drenaje de la bóveda en el río.

El análisis hidrológico empleando Gumbel, nos demuestra que para un período de retorno de 50 años pueden caer precipitaciones alrededor de los 85 milímetros por hora; lo cual se pudo comprobar con la lluvia del mes de abril del 2002, con un registro de 3 estaciones Meteorológicas (COEN, MAG Y SNET) de 85 a 97 milímetros por hora. Los datos de entrada para el modelo empleando Gumbel y Manning. Los datos de entrada para correr el modelo fueron:

- Longitud de la cuenca: 17,801 metros
- Diferencia de elevación: 1,220 metros
- Área de la cuenca: 55.99 kilómetros cuadrados
- Duración efectiva de la lluvia: 10 minutos
- Número de curva: 80
- Coeficiente de almacenamiento: 0.2
- Tiempo de concentración: 1.53 minutos

Si con una precipitación de 35 milímetros por hora se tiene un caudal de 57.13 metros cúbicos por segundo.

Las áreas sujetas a inundaciones son los lugares conocidos como: Barrio La Vega, Candelaria (a 33 milímetros por hora), La Málaga, Comunidad de Nuevo Israel (a 50 milímetros por hora); Feria Internacional y Zona del Mercado Modelo (90 milímetros por hora); además de otras áreas que se muestran en el mapa respectivo, por factores del mal drenaje como lo es el redondel Masferrer y la zona del estadio Flor Blanca.

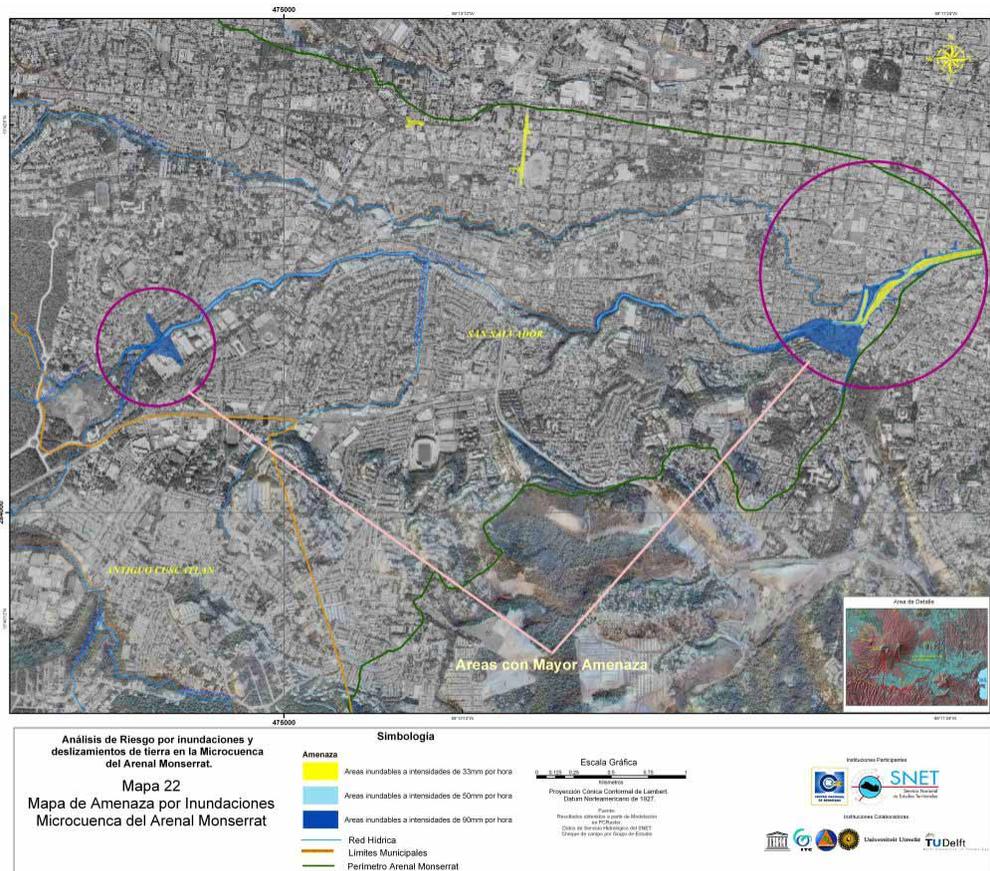
El mapa N° 22 Parámetros de Amenazas por inundaciones; indica las áreas de inundaciones a intensidades de lluvia de 33, 50 y 90 milímetros por hora, en las condiciones de uso actual.



Inundaciones en la parte baja de la cuenca del Arenal de Montserrat (Barrio La Vega. Fuente: La Prensa Gráfica, Oct. 2003).



Inundaciones en zona contigua a la parte baja de la cuenca (Colonia Costa Rica), en la subcuenca del río Acelhuate de la cual forma parte la del Río Arenal Montserrat. (Fuente: La Prensa Gráfica, Oct. 2003)



### 6.1.2 Deslizamientos de tierra

El análisis técnico se desarrollo empleando el programa de PCRraster como un modelo combinado hidrológico- Estabilidad de pendientes

El análisis de deslizamientos de tierra contó con la información de suelos (textura y profundidad) de pendientes de un modelo de elevación digital, de la entrada de la precipitación de la cual calculando la interceptación por follaje y evapotranspiración, entre otros.

La estadidad de pendientes se calcula en término de un factor de seguridad que es un radio entre las fuerzas impulsoras y de resistencia de la pendiente.

En la información adicional de metodologías usadas se encuentra el proceso de seguimiento para los cálculos.

Otra forma sencilla y que da una estimación preliminar es mediante el cruzamiento de la información de pendiente y de suelos dentro de la cual se tienen datos de áreas con alta pendiente y suelos sueltos, lo cual indica las áreas que pueden ser más susceptibles a deslizamientos de tierra.

La cuenca tiene dentro de su área un relieve montañoso con pendientes promedio del 50 %; algunas zonas con más del 100 %, con un suelo predominantemente franco limoso a arenoso y profundo, hacen que se vuelva inestable cuando existen movimientos sísmicos de considerable magnitud o lluvias constantes.

La deposición de las capas de suelo de origen volcánico, está compuesta de capas sobrepuestas una tras otra de ceniza volcánica pomicítica y capas de gravilla pomicítica, la cual las hace que no tenga ninguna cohesión y siendo un terreno con pendientes pronunciadas que en algunas áreas pasan del 100 % , al tenerse movimientos sísmicos o lluvias prolongadas pueden darse deslizamientos de tierra tal como ocurrió en las Colinas el 13 de enero de 2001, en donde se dio un deslizamiento de tierra de grandes proporciones, ocasionando sobre la cordillera muchas grietas que constituyen en una alta amenaza para la población situada al pie de monte ( las colinas, el paraíso, pinares de Suiza). Este es el deslizamiento activado por el terremoto,

Si observamos las características del perfil donde ocurrió el deslizamiento de las Colinas en la ciudad de Santa Tecla (ver ficha de información y fotos perfil deslizamiento Colonia Las Colinas S-3 y fotos de perfil), esta compuesto de diferentes capas de suelo franco limoso a capas de suelo de gravilla pomicítica.

Es justo donde terminan las capas de suelo sin cohesión (suelos arenosos o gravilla pomicítica color claro) donde se hace el desprendimiento de tierra, ya que la siguiente capa superficial a lo desprendido es más compactado, aunque el suelo sigue siendo de textura fina. Es de hacer mención que el deslizamiento no fue de la base del escarpe o pendiente, si no que desde su parte media hasta la parte alta, arrastrando por consiguiente más material en su paso pendiente abajo.

## ESQUEMA DE PERFIL DEL SUELO

Espesor aproximado y características de textura

1.0	Suelo granular compacto gris oscuro laminar
1.20	Suelo franco limosos amarillento
0.60	Suelo gravilloso pomicitico claro
5.0	Suelo franco a arcillosos rojizo
5.0	Suelo gravilloso de claro a amarillento
20-.40	Suelos arenoso
0.50	Suelo franco a gravilloso pomicitico
1.0	Suelo gravillosos pomicitico claro



Perfil parcial del suelo zona de Cordillera del Bálsamo, en el sector conocido como las colinas, donde ocurrió el deslizamiento del 13 de enero de 2001.



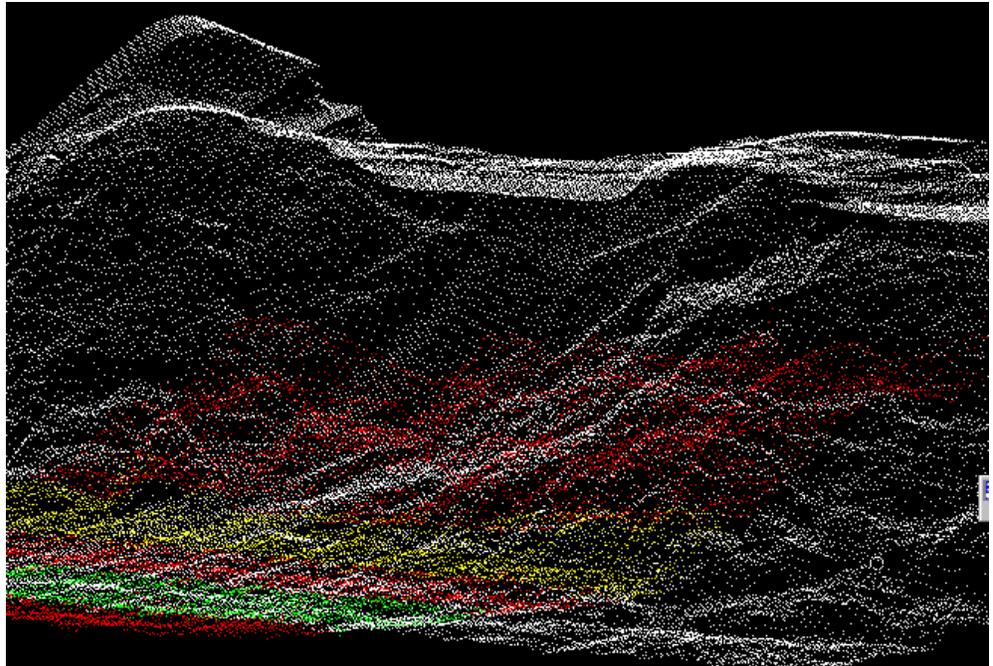
Vista parcial de la topografía de zona de las colinas donde ocurrió el deslizamiento de tierra. Pendientes mayores del 75 % (más de 40 °) y con una longitud a lo largo del escarpe de más de 250 metros desde la parte superior a la parte del pie de monte y una diferencia de altura de 115 metros. El deslizamiento recorrió aproximadamente 600 metros

Similar situación se da con las demás áreas que tienen altas pendientes y que el suelo es arenoso o franco arenoso y cuyas profundidades son mayores de 2 metros de profundidad.

El mapa N° 22 Parámetros de Amenazas por Deslizamientos; indica las áreas que son más susceptibles a deslizamientos de tierra.



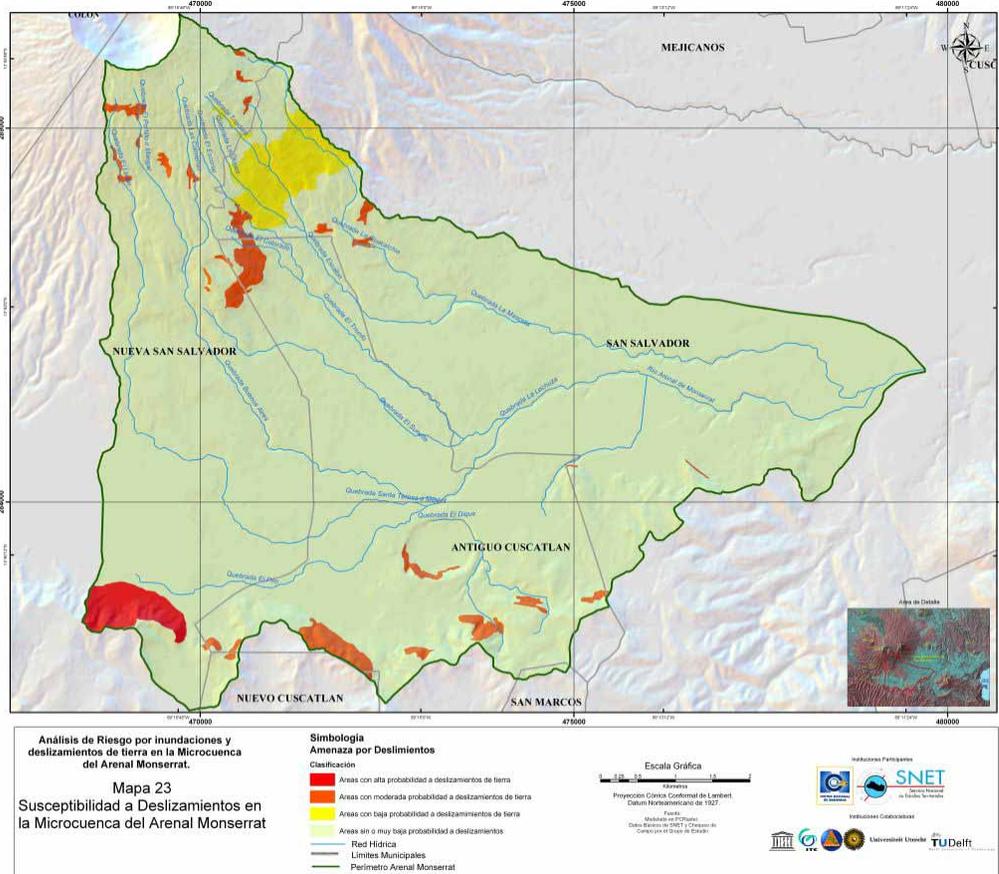
Vista desde el escarpe del deslizamiento de Las colinas en enero 2001.



Modelo de elevación digital del terreno, después del deslizamiento de tierra (Fuente: IGN, enero 2001).



Derrumbe de tierra en el sector de la cima, a causa de las fuertes lluvias. (Fuente: La Prensa Gráfica, oct. 2003)



Lo anterior nos lleva a definir parámetros que pueden ser identificables por personal con cierta no profesional en el área pero que con un poco de instrucción puede deducir a nivel municipal si un área es susceptible a deslizamientos de tierra.

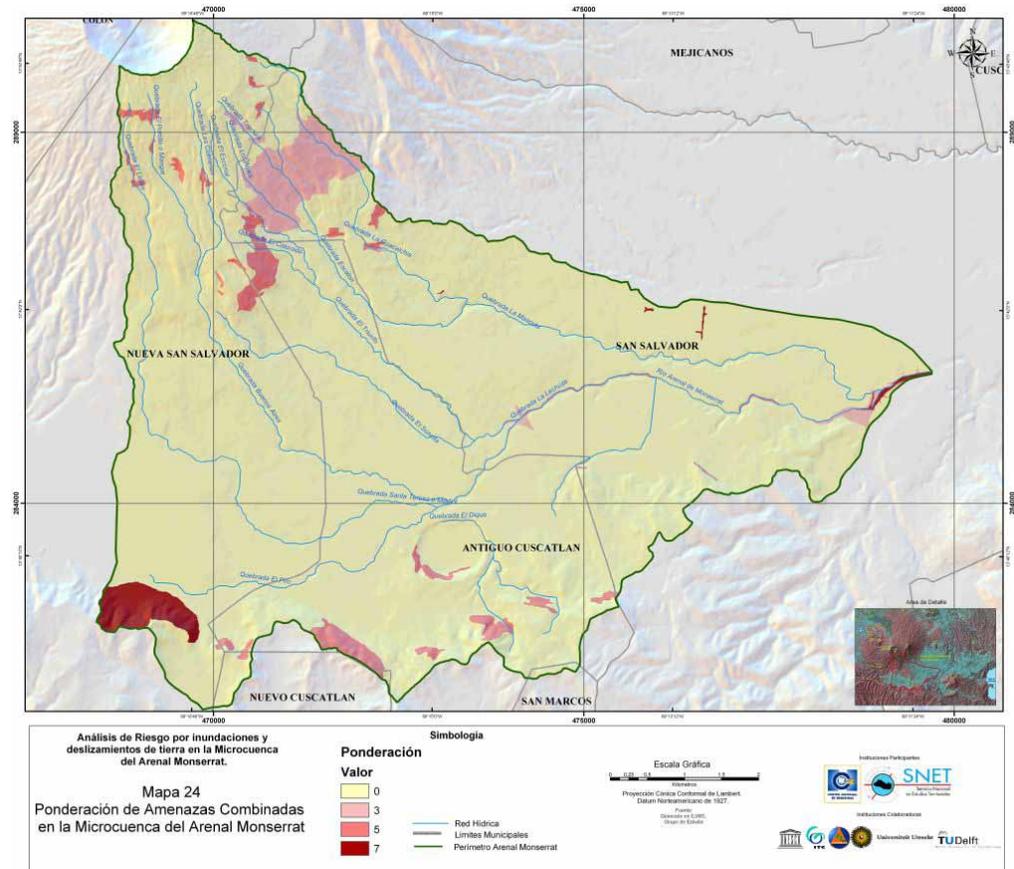
- 1- Suelo sin cohesión (arenosos, franco arenosos, limosos o franco limosos ya sea como capa individual o intercaladas, siendo más probable si en sus capas inferiores están compuestas de gravilla pomíctica con profundidades efectivas mayores de 2 metros.
- 2- La pendiente del terreno es mayor del 75%, siendo más crítico sí esta a más del 100 %.
- 3- Si la cobertura vegetal no posee raíces pivotantes de anclaje (verticalidad) y es mas de tipo fibroso buscan a los lados (horizontalidad), generara más peso, que sostenimiento de las capas de suelo y por lo tanto ayudara a vencer la fuerza de fricción al deslizamiento de las capas del suelo, (siendo mayor con el aumento de la pendiente), al ocurrir un terremoto, lluvias prolongadas o intensas.
- 4- El socavamiento de las bases del pie de monte (montaña), genera inestabilidad en el talud de la pendiente.
- 5- Si un lugar reúne estas características y es la zona o región se tienen altas precipitaciones (50 mm. de lluvia) fuertes movimientos sísmicos (5.0 grados Richter) existe la probabilidad de ocurra un deslizamiento.

## 6.2 Amenaza Ponderada

El grado de peligro o amenaza de parámetros descritos en los dos literales anteriores, serán evaluados mediante una asignación de valores o ponderación a cada parámetro descrito.

El valor de ponderación asignado a cada clase de parámetro para inundaciones y deslizamientos de tierra, está con relación al grado de ocurrencia probable y de su capacidad de causar daño. El rango asignado para este estudio está comprendido de 0 a 10; ya que los números más bajos (0-5) son los que representan la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino y los números mayores (5-10) son los que representan la posible ocurrencia de un fenómeno que puede causar mayor daño.

El Mapa 23 y el cuadro N° 12, muestran las ponderaciones asignadas a los parámetros de los mapas de Amenaza de Parámetros por inundaciones, deslizamientos de tierra y amenaza ponderada para los factores evaluados (inundación y deslizamientos de tierra).



Descripción de Parámetros para inundaciones	Ponderación
Áreas no inundables	0
Áreas inundables a intensidades de 90 milímetros por hora	3
Áreas inundables a intensidades de 50 milímetros por hora	5
Áreas inundables a intensidades de 33 milímetros por hora	7
Descripción de Parámetros para Deslizamientos de Tierra	Ponderación

Áreas sin probabilidad a deslizamientos	0
Áreas con baja probabilidad a deslizamientos	3
Áreas con moderada probabilidad a deslizamientos	5
Áreas con alta probabilidad a deslizamientos	7
<b>Descripción de clases para Amenaza</b>	<b>Ponderación</b>
Áreas sin o muy bajo peligro	0-2
Áreas con bajo peligro	2-4
Áreas con moderado peligro	4-6
Áreas con alto peligro	6-8
Áreas con muy alto peligro	8-10

Cuadro N° 12. Ponderación para Parámetros de Amenaza por inundaciones, deslizamientos de tierra y clases de amenaza.

Según el mapa ponderado, las áreas de mayor amenaza a sufrir peligros son las que están en la zona baja de la cuenca, como lo es el Barrio La Vega por efectos de las inundaciones a precipitaciones mayores de 35 milímetros por hora, cuyas áreas están con valor de ponderación 7.

Con el área de los deslizamientos de tierra, la Cordillera del Bálsamo es la que mayor problema presenta, cuyas áreas están con valor de ponderación 7.

El mapa N° 24 muestra las clases de amenaza ponderadas para inundaciones y deslizamientos de tierra

### 6.3 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el grado de pérdida de un conjunto dado de elementos, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno (s). Los elementos que pueden ser afectados dentro de las áreas de ocurrencia de la amenaza; se tienen calles, edificaciones, población, parcelas.

El proceso de la asignación de los valores de ponderación es similar al de la amenaza y está basado en la importancia del elemento dentro del desenvolvimiento social en términos económicos y de sustentabilidad.

Como se menciono según el mapa de amenazas, las zonas que son sujetas de inundación contienen áreas de calles y boulevard, viviendas, centros comerciales, industrias y oficinas gubernamentales.

En el caso de las zonas que se inundan a 33 milímetros de lluvia por hora, están más propensas a sufrir daños, ya que a mayor intensidad de lluvia el nivel agua sube y su cubrimiento como su velocidad es mayor, generándose con ello más destrucción por las inundaciones y mayores probabilidades por deslizamientos de tierra.

#### Viviendas

El número estimado de viviendas afectadas en las áreas inundables son aproximadamente de 1250 de sistema mixto.

### Vías de comunicación

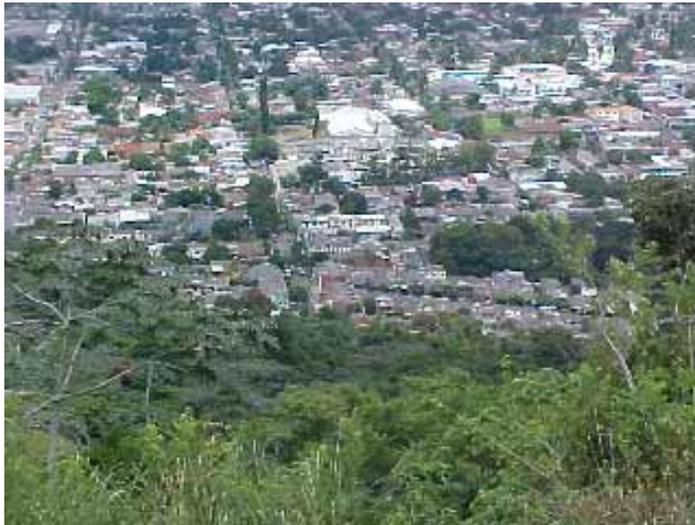
La zona baja de la cuenca es un importante paso de acceso a la zona sur y oriente de la capital y del país, se estima que un boulevard es afectado por las inundaciones y otros por deslizamientos de tierra; así como innumerables calles y pasajes.

### Centros comerciales e industria

Existen almacenes, mercados (2), gasolinera, además de las industrias (10) pequeñas industrias en la zona.

### Centros públicos

Además de lo mencionado anteriormente se tienen, escuelas (3), museos (1), centro de exposición internacional (1).



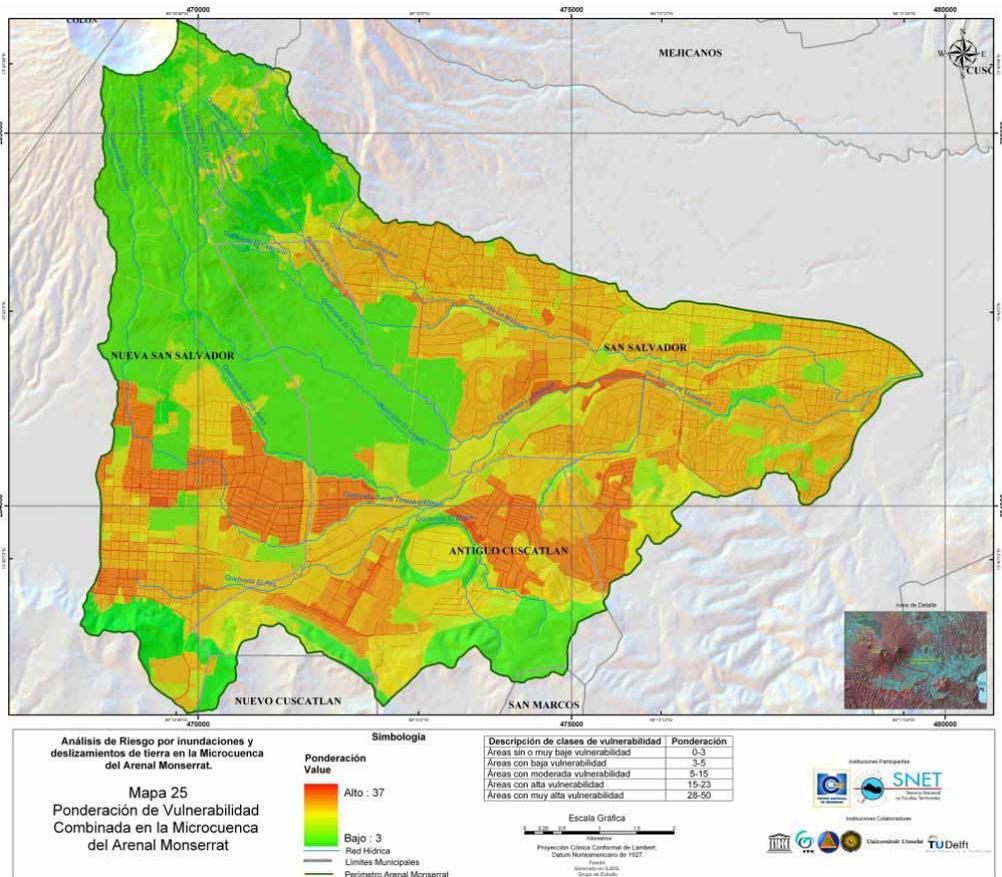
La construcción de infraestructuras al pie de montes (montaña) en suelos sin cohesión (francos a arenosos) con pendientes altas (más del 75 %) las hace vulnerables ante la amenaza de los deslizamientos de tierra.



La construcción de bóvedas en ríos sin hacer el cálculo de caudales proyectados con el cambio de uso del suelo, genera con el tiempo la incapacidad de drenar el agua lluvia generándose la amenaza de las inundaciones (perfiles 7-A y B, barrio candelaria), y por consiguiente hace vulnerables a la población, infraestructuras y servicios presentes en la zona (El río cruza la calle Francisco Menéndez mediante una bóveda, con dimensiones reducidas)

Los parámetros de vulnerabilidad se obtienen de la suma de las diferentes ponderación para los parámetros asignados a cada factor evaluado (calles, edificaciones, población, parcelas, uso detallado del suelo año 2002.)

El Mapa 25 y el cuadro número 13 muestra la ponderación para los parámetros de calles, edificaciones, población, parcelas, uso detallado del suelo año 2002 y clases de vulnerabilidad.



Descripción de Parámetros para Uso del Suelo	Ponderación
Habitacional ADI	7
Habitacional MDI	7
Habitacional BDI	7
Comercial	10
Industrial	10
Institucional	5
Educativo	10
Recreativo	3
Deportivo	3
Salubridad	10
Hidráulico	10
Eléctrico	10
Café	3
Plantaciones Permanentes	3
Plantaciones Temporales	3
Praderas (pastos)	1
Bosques (áreas protegidas)	1
Plantaciones Heterogéneas	1

Arboledas, Matorral	1
Plantaciones Heterogéneas, Arboral	1
Ríos	1
Cementerio (Parque Jardín)	3
Habitacional + Comercial ADI	10
Habitacional + Comercial + Industrial	10
Cultural	3
Industria Turística	5
Radiocomunicación	10
Predio Baldío	0
Industria y Comercio	10

<b>Descripción de Parámetros para Edificaciones</b>	<b>Ponderación</b>
Fábricas, comercios, hospitales, escuelas, electrificación y acueductos	10
Viviendas	7
Servicios, institucionales	5
Otros	3
<b>Descripción de Parámetros para Calles</b>	<b>Ponderación</b>
Boulevard, autopista, calles o avenidas importantes	9
Calles o avenidas	5
Pasajes o accesos	3
<b>Descripción de Parámetros para Densidad de Población</b>	<b>Ponderación</b>
Sin o muy baja: menores de 50 habitantes / km. cuadrado	1
Baja: de 50 a 500 habitantes / km. cuadrado	4
Moderada: de 500 a 2000 habitantes / km. cuadrado	6
Alta: de 2000 a 5000 habitantes / km. cuadrado	8
Muy alta: mayores de 5000 habitantes / km. cuadrado	10
<b>Descripción de Parámetros para Densidad de Parcelas</b>	<b>Ponderación</b>
Sin o muy baja: áreas con 200 a 9.5 parcelas / km. cuadrado	1
Baja: áreas con 850 a 200 parcelas / km. cuadrado	3
Moderada: áreas con 2667 a 850 parcelas /km. cuadrado	5
Alta: áreas con 7500 a 2667 parcelas / km. cuadrado	7
Muy alta: áreas con 15000 a 7500 parcelas / km. cuadrado	9
<b>Descripción de clases de vulnerabilidad</b>	<b>Ponderación</b>
Áreas sin o muy baja vulnerabilidad	0-3
Áreas con baja vulnerabilidad	3-5
Áreas con moderada vulnerabilidad	5-15
Áreas con alta vulnerabilidad	15-23
Áreas con muy alta vulnerabilidad	28-50

Cuadro N° 13 Vulnerabilidad Ponderada de Calles, edificaciones, Población Parcela, uso detallado del suelo año 2002 y clases de vulnerabilidad.

La vulnerabilidad ponderada se obtuvo de la suma de los valores ponderados asignados individualmente a cada mapa de parámetro en las tablas respectivas. Los resultados nos indican que las zonas de inundación y deslizamientos de tierra que tienen alto peligro o amenaza también tienen alta vulnerabilidad; por cuanto dentro de estas áreas se encuentran vías de comunicación importantes, áreas residenciales, industrias y comercio.

## 6.4 Riesgo

El riesgo se define como el grado de pérdida debido a fenómenos naturales particulares (Vernes, 19849); por lo cual dentro del análisis se tendrá un producto de la amenaza (periodo de retorno del fenómeno natural) por la vulnerabilidad por los costos.

Los datos de la amenaza y vulnerabilidad analizados anteriormente, nos demuestran que dentro de la cuenca se tiene alta amenaza a inundaciones y deslizamientos de tierra así como de vulnerabilidad.

La definición de los parámetros del riesgo cualitativos, se hizo mediante el cruce de la amenaza y vulnerabilidad ponderada con las áreas de los municipios respectivos.

Obteniéndose áreas en kilómetros cuadrados y en porcentaje a cada área, para las diferentes clases de riesgo por municipio.

Los parámetros de evaluación del riesgo para cada municipio fueron:

-Sin o muy bajo riesgo

-Bajo riesgo

-Moderado riesgo

-Alto riesgo

-Muy alto riesgo

El cuadro N° 14, muestra los resultados de la definición cualitativa del riesgo para este estudio.

		VULNERABILIDAD				
		Sin o muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
AMENAZA	Sin o muy bajo	Sin o muy bajo riesgo	Sin o muy bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo
	Bajo	Sin o muy bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo
	Moderado	Sin o muy bajo riesgo	Bajo riesgo	Moderado riesgo	Moderado riesgo	Moderado riesgo
	Alto	Sin o muy bajo riesgo	Bajo riesgo	Moderado riesgo	Alto riesgo	Muy alto
	Muy alto	Sin o muy bajo riesgo	Bajo riesgo	Moderado riesgo	Muy alto riesgo	Muy alto

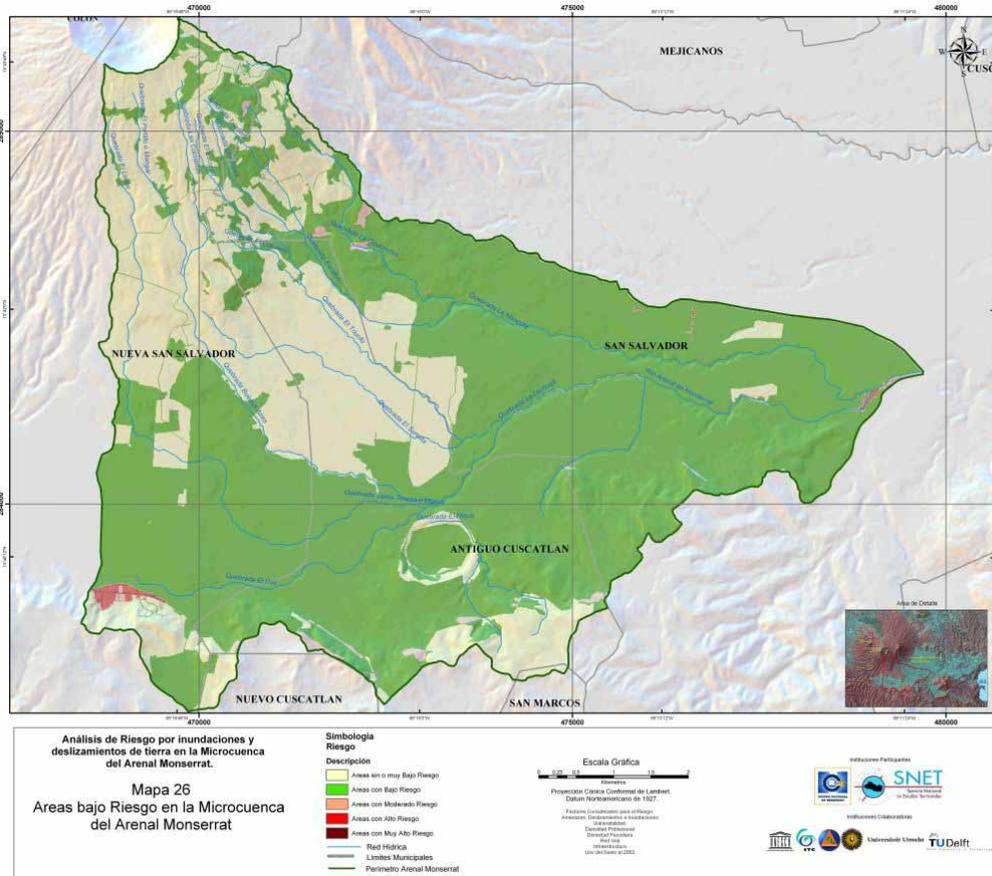
Cuadro N° 14. Definición cualitativa del riesgo: Amenaza por Vulnerabilidad.

Los municipios que más riesgo tienen son el de San Salvador y Nueva San Salvador, tal como lo muestra la tabla N° 15, Áreas de clases riesgo por municipio. Es de mencionar que el área de estudio es una cuenca hidrográfica y que por lo tanto no aparece toda el área de cada municipio como tal.

El municipio de San Marcos solo tiene un área de 0.01 kilómetro por lo cual no es significativo definir si el municipio es afectado por un alto riesgo; similar situación es para el municipio de Nuevo Cuscatlán.

San Salvador si tiene áreas en todas las clases de riesgo; tal como moderado riesgo, 0.18 kilómetros cuadrados, alto riesgo con 0.3 kilómetros cuadrados, muy alto riesgo con 0.01 kilómetros cuadrados. De igual forma el municipio de Nueva San Salvador.

El municipio de Antigua Cuscatlán aparece con moderado riesgo en 0.19 kilómetros cuadrados.  
 El Mapa 26 y las tablas 15 y 16 muestran las clases de riesgo en cada municipio dentro del microcuenca y sus áreas y porcentajes correspondientes.



Municipio	Clase Riesgo Arenal
San Marcos	Áreas sin o muy bajo riesgo
San Salvador	Áreas sin o muy bajo riesgo
San Salvador	Áreas con bajo riesgo
San Salvador	Áreas con moderado riesgo
San Salvador	Áreas con alto riesgo
San Salvador	Áreas con muy alto riesgo
Nueva San Salvador	Áreas sin o muy bajo riesgo
Nueva San Salvador	Áreas con bajo riesgo
Nueva San Salvador	Áreas con moderado riesgo
Nueva San Salvador	Áreas con alto riesgo
Nueva San Salvador	Áreas con muy alto riesgo
Antiguo Cuscatlán	Áreas sin o muy bajo riesgo
Antiguo Cuscatlán	Áreas con bajo riesgo
Antiguo Cuscatlán	Áreas con moderado riesgo
Nuevo Cuscatlán	Áreas sin o muy bajo riesgo
Nuevo Cuscatlán	Áreas con bajo riesgo

Cuadro N° 15. Distribución de riesgo cualitativo (amenaza\*vulnerabilidad) en los municipios dentro de la microcuenca

Áreas-% ----- Municipio	Sin o muy bajo	Bajo	Mode rado	Alto	Muy alto	Área total	Sin o muy bajo	Bajo	Mode rado	Alto	Muy alto
Antiguo Cuscatlán	5.62	9.86	0.19	0.00	0.00	15.67	35.86	62.93	1.22	0.00	0.00
Nueva San Salvador	8.64	8.42	0.06	0.12	0.02	17.26	50.06	48.78	0.35	0.70	0.11
Nuevo Cuscatlán	0.22	0.05	0.00	0.00	0.00	0.27	82.41	17.59	0.00	0.00	0.00
San Marcos	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	100	0.00	0.00	0.00	0.00
San Salvador	2.89	18.48	0.18	0.03	0.01	2.16	13.40	85.62	0.82	0.12	0.05

Cuadro No. 16. Distribución de Áreas de riesgo en kilómetros cuadrados y porcentajes para los municipios comprendidos dentro de la cuenca del Arenal de Montserrat.

La estimación de los valores esta influenciado por factores de ubicación, acceso a vías de comunicación, agua potable, electricidad, telefonía, a centros comerciales topografía, tipo de suelo, uso del suelo y de sus alrededores entre otros.

Para la obtención del dato final del riesgo tenemos que multiplicar los datos de las áreas con el valor estimado en términos de costos (monetarios)

Para el presente caso se está tomando valores promedios y estimados por metro cuadrado de construcción. Estos valores sirven más para ejemplo de cómo se hace el proceso, ya que una estimación más puntual es necesitan ha tener estudios más complejos. Como se menciona los valores son promedios estimados de zonas que presentan características diferenciabiles

- Zona baja de la cuenca (Areas aledañas al río) \$ 100.00

- Centro Comercial de San Salvador \$ 400.00
- Zonas medias de la cuenca (Salvador del Mundo, Feria Internacional y zonas cercanas) \$ 500.00
- Zona media alta de la cuenca (Santa Tecla, Merliot) \$300.00
- Zona alta de la cuenca (volcán de San Salvador) \$ 50.00

El cuadro N° 17 indica el costo estimado por clase de riesgo por municipio dentro de la cuenca.

Municipio	Clase Riesgo	Costo del Riesgo (millones \$)
San Marcos	Áreas sin o muy bajo riesgo	3.5
San Salvador	Áreas sin o muy bajo riesgo	144.5
San Salvador	Áreas con bajo riesgo	7392.00
San Salvador	Áreas con moderado riesgo	18.00
San Salvador	Áreas con alto riesgo	3.0
San Salvador	Áreas con muy alto riesgo	1.0
Nueva San Salvador	Áreas sin o muy bajo riesgo	432.0
Nueva San Salvador	Áreas con bajo riesgo	2526.0
Nueva San Salvador	Áreas con moderado riesgo	6.0
Nueva San Salvador	Áreas con alto riesgo	12.0
Nueva San Salvador	Áreas con muy alto riesgo	2.0
Antiguo Cuscatlán	Áreas sin o muy bajo riesgo	562.0
Antiguo Cuscatlán	Áreas con bajo riesgo	2958.0
Antiguo Cuscatlán	Áreas con moderado riesgo	57.0
Nuevo Cuscatlán	Áreas sin o muy bajo riesgo	22.0
Nuevo Cuscatlán	Áreas con bajo riesgo	15.0

Cuadro N° 17 Costo estimado por clase de riesgo por municipio, dentro de la cuenca. (Fuente: CASALCO y Periódicos de El Salvador)

Estos costos estimados pueden aumentar si las condiciones de ordenamiento de infraestructuras no son modificadas, y si los cambios de uso del suelo siguen manteniéndose como hasta la fecha.



Obras de corrección de la pendiente del talud de la Cordillera del Bálsamo en el sector de las colinas ocurrido el 13 de enero del 2001, a fin de reducir la amenaza por deslizamientos de tierra.

La obra consiste en remover las áreas con agrietamiento y reducción de la pendiente, mediante la construcción terrazas con canales en la base del talud y del revestimiento del mismo con grama (hierba) natural.

El desarrollo de los diferentes usos del suelo, con lleva el hacer estudios previos de las condiciones naturales del medio a fin de determinar cuanto afectara el cambio del uso del suelo sabiendo de antemano que los fenómenos naturales se han dado siempre; estos tienen que ir acompañados de las regulaciones legales y de dar las normativas de ejecución y supervisión que ha cada institución en su campo le corresponde, con el propósito de asegurar o reducir el riesgo de pérdidas de vidas humanas, infraestructuras, materiales de servicios o recursos naturales esenciales para la vida como lo es el agua, el bosque, vida silvestre, entre otros.

## **7- CONCLUSIONES**

- El aumento o avance de la infraestructura dentro de la cuenca del arenal de Montserrat ha reducido la capacidad de infiltración del agua y aumentado la escorrentía; por consiguiente se tiene un aumento del caudal en la parte baja de la cuenca.
- El área hidráulica del canal es muy irregular, teniéndose áreas muy reducidas en bóvedas lo que provoca rebalse del agua cuando se tienen intensidades de lluvia mayores de 33 milímetros por hora.
- El caudal del agua aumentará a medida se avance con el desarrollo de la infraestructura, ocasionado mas daño por el aumento del caudal y de las áreas de inundación (sí las condiciones del canal se mantienen).
- Los deslizamientos de tierra se han dado donde el suelo es franco arenoso a arenosos profundos (los cuales no tienen mucha cohesión o amarre), y que se encuentran en áreas de mucha pendiente o pronunciadas.
- Las áreas pronunciadas, con suelo arenoso profundo y con densa masa vegetal arbóreas y sin raíces profundas que permitan anclaje; disminuyen la resistencia al deslizamiento por su peso que origina en la parte superior del suelo.
- Las intensas lluvias o prolongadas y sismos de mucha magnitud aceleran o provocan que la resistencia del suelo se reduzca originándose los consiguientes deslizamientos de tierra.
- Los cortes del suelo por desarrollo de infraestructura sin obras de protección se constituyen en potenciales áreas a deslizamientos de tierra.
- El desarrollo de infraestructura y asentamientos humanos a orillas de ríos sin las obras hidráulicas correspondientes para el drenaje del agua lluvia y en partes bajas de suelos arenosos con pendiente pronunciada, son áreas de alto riesgo a inundaciones y deslizamientos de tierra.

## **8- RECOMENDACIONES**

- Desarrollar las capacidades de análisis del riesgo a nivel de todas las instituciones involucradas, para la toma de decisiones en Ordenamiento y Desarrollo Territorial.
- Adecuación de la Legislación a fin de que pueda ser aplicada en los planes de desarrollo de infraestructura y de uso del suelo.
- Planificación ordenada de obras civiles o de modificación de la condición natural; como el cálculo de caudales al cambiar el uso del suelo para estimar cuanta más agua se tendrá en la parte baja de la cuenca o en puntos específicos; para evaluar cuanto hay que ampliar el canal asumiendo que a futuro se tendrá mayor cobertura de infraestructura (uso proyectado del suelo con alta o baja densidad).
- Como solución inmediata ubicación de familias en áreas con alto riesgo y ampliación del canal de drenaje, para el caso de las inundaciones.
- Establecer dentro de los programas educativos los conceptos del ordenamiento y desarrollo del territorio así como de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para que el alumno tome conciencia de la importancia de ello y puede ser participe de la gestión respectiva, desde su comunidad o su ámbito laboral.

## **9- FUENTES CONSULTADAS**

Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W. (1994 ). Hidrología aplicada. McGRAW-HILL Santafé de Bogota, Colombia. Pags. 35, 150-156, 168, 231-241,513-514.

C. LOTI & ASSOCIATI, ENEL.HYDRO S. p. A. 2001. Investigación Geotecica Integral Para la Cordeillera del Bálsamo, al Sur de Santa Tecla, entre las Colonias Las Delicias y Las Colinas. Síntesis Geológica y Modelos Numéricos Fondo Salvadoreño para Estudios de Preinversión, Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales..San Salvador, El Salvador 26 pag.

El Diario de Hoy. (Septiembre, 2003). Fotos de Inundaciones 3 fotos

La Prensa Gráfica, (Septiembre, 2003) Fotos de Inundaciones. 3 fotos

Martinez, J. R. 2000. Recuperación Ambiental del Cauce del Río Acelhuate en el Área Metropolitana de San Salvador. Análisis Hidrológico. Centro de Protección Para Desastres. San Salvador, El Salvador. 20 pag.

Van Westen, C.j. (1999). Aplicaciones del ILWIS. Análisis del peligro, Vulnerabilidad y Riego. Instituto Internacional de Geoinformación y Observaciones de la Tierra. Enschede, Holanda. 15 PP.

Van Asch, W. J. Manual Para el Caso de Estudio Microcuenca del Arenal de Montserrat para Inundaciones y Estabilidad de Pendientes con PCRaster. Utrecht Holanda 2002. 35 pp.

Wijnker, L.G. Cálculo de Caudal usando Manning, Gumbel y SUH en Excel. 18 pp.