

Informe

Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades



MARN

Ministerio de Medio Ambiente
y Recursos Naturales

Informe

Nacional del Estado de los
Riesgos y Vulnerabilidades



MARN

Ministerio de Medio Ambiente
y Recursos Naturales

Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

El Salvador, Centroamérica

Lina Dolores Pohl Alfaro

Ministra

Ángel María Ibarra Turcios

Viceministro

Autores:

Celina Kattan, directora general del Observatorio Ambiental

Luis Menjívar, Giovanni Molina, Yesenia Peñate, Aldrin Estrada, Iván Morán, Telma Chávez, Balmes Arriola, Donald Cruz, Flor Vides, Carolina Canales, Manuel Díaz, Eduardo Gutiérrez, Douglas Hernández, Griselda Marroquín, Francisco Gavidia, Luis García, Pablo Ayala, Roberto Cerón, Adriana Erazo, Haydee Beltrán, Carolina Rivas, Griselda Barrera, Antonio Cañas

Edición y diseño

Unidad de Comunicaciones del MARN

San Salvador, octubre del 2017

Este documento ha sido publicado con fondos provenientes del presupuesto ordinario del MARN

Derechos reservados. Prohibida su venta.

Este documento puede ser reproducido todo o en parte, reconociendo los derechos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Kilómetro 5 ½ carretera a Santa Tecla, calle y colonia Las Mercedes,

Edificios MARN, instalaciones ISTA,

San Salvador, El Salvador, Centroamérica.

Tel: (503) 2132-6276

Sitio web: www.marn.gob.sv

Correo electrónico: medioambiente@marn.gob.sv

Facebook: www.facebook.com/marn.gob.sv

Twitter: [@marn_sv](https://twitter.com/marn_sv)

YouTube/MARNsv

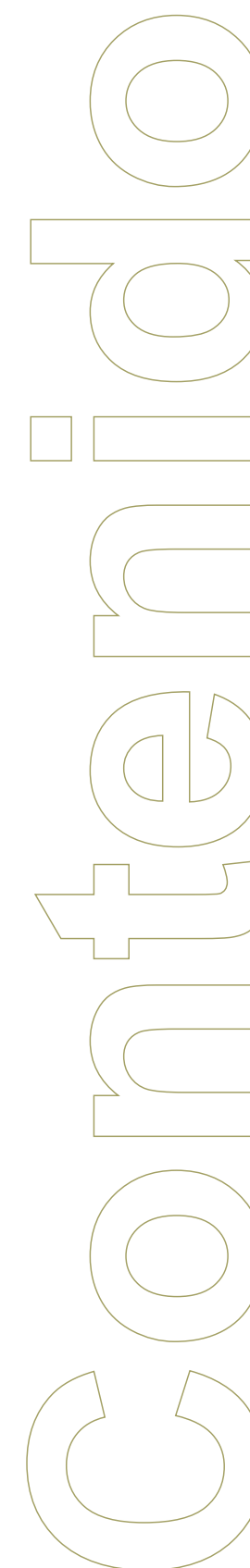


Contenido

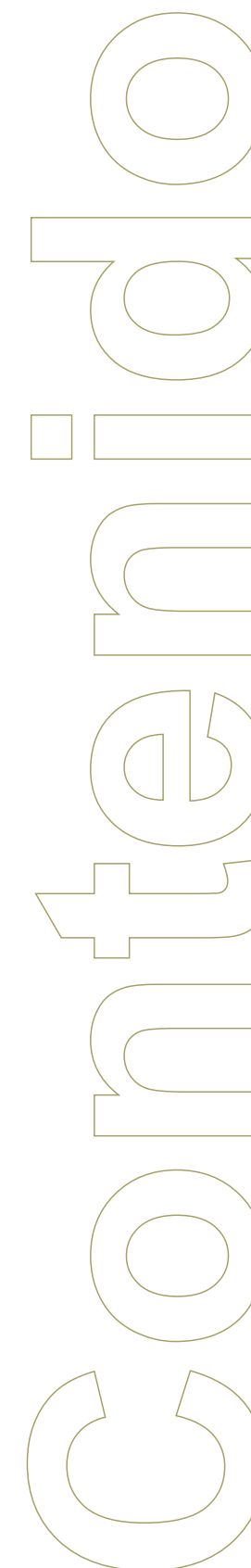
Resumen	8
1. Capítulo introductorio	10
2. Marco conceptual	14
2.1. Amenaza, exposición, vulnerabilidad y riesgo	15
2.2. Gestión integral del riesgo	16
2.3. Resiliencia	16
3. Contexto nacional: visión general del área de estudio	17
3.1. División política administrativa	18
3.2. Características demográficas	18
3.3. Perfil nacional económico	18
3.4. Educación	21
3.5. Pobreza en El Salvador	23
3.6. Uso de suelo	25
3.7. Densidad del tejido urbano en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)	25
3.8. Asentamientos precarios	29
3.9. Infraestructura de importancia estratégica	29
3.10. Geología	29
3.11. Geomorfología	29
3.12. Clima	35
3.13. Precipitación	35
3.14. Cuencas hidrográficas	35
4. Amenazas naturales en El Salvador	40
4.1. Amenaza sísmica	41
4.1.1. Marco sismo tectónico	41
4.1.2. Sismicidad histórica	42
4.1.3. Amenaza sísmica en El Salvador	44
4.2. Amenaza por tsunamis	49
4.2.1. Tsunamis en El Salvador	49
4.2.2. Tsunamis históricos	49
4.2.3. Amenaza por tsunamis	50

OPORTUNIDADES

4.3. Amenaza volcánica	52
4.3.1. Vulcanismo en El Salvador	52
4.3.2. Erupciones históricas	52
4.3.3. Amenaza volcánica	54
4.4. Movimientos de masas	59
4.4.1. Deslizamientos en El Salvador	59
4.4.2. Deslizamientos históricos	59
4.4.3. Susceptibilidad y amenaza por deslizamientos	63
4.5. Amenaza climática y fenómenos hidrometeorológicos extremos	68
4.5.1. Tendencias del clima: cambio climático y variabilidad climática	68
4.5.2. Récorde de lluvias intensas	69
4.5.3. Inundaciones en El Salvador	70
4.5.3.1. Susceptibilidad a inundaciones	70
4.5.3.2. Inundaciones urbanas - Área Metropolitana de San Salvador	73
4.5.4. Sequías en El Salvador	74
4.5.5. Sequía hidrológica	82
4.6. Oleaje extremo	84
4.6.1. Origen de eventos de oleaje extremo	84
4.6.2. Eventos de oleaje extremo	85
4.6.3. Amenaza por eventos de oleaje extremo	89
4.7. Erosión y sedimentación costera	89
4.7.1. Causas y orígenes	89
4.7.2. Eventos históricos	89
4.7.3. Amenaza de erosión/sedimentación costera	91
5. Vulnerabilidad	96
5.1. Vulnerabilidad física	97
5.1.1. Vulnerabilidad observada	97
5.1.2. Vulnerabilidad basada en criterio de experto	97
5.1.3. Vulnerabilidad basada en modelos simples	99
5.1.4. Asignación de puntuaciones	99
5.1.5. Procedimientos detallados: modelos analíticos	99
5.2. Vulnerabilidad física de las tipologías constructivas típicas de El Salvador	100
5.2.1. Tipologías estructurales típicas de El Salvador	100
5.2.2. Registros de daños	102
5.2.3. Prácticas constructivas históricas y evolución de la normativa de diseño por sismo	104

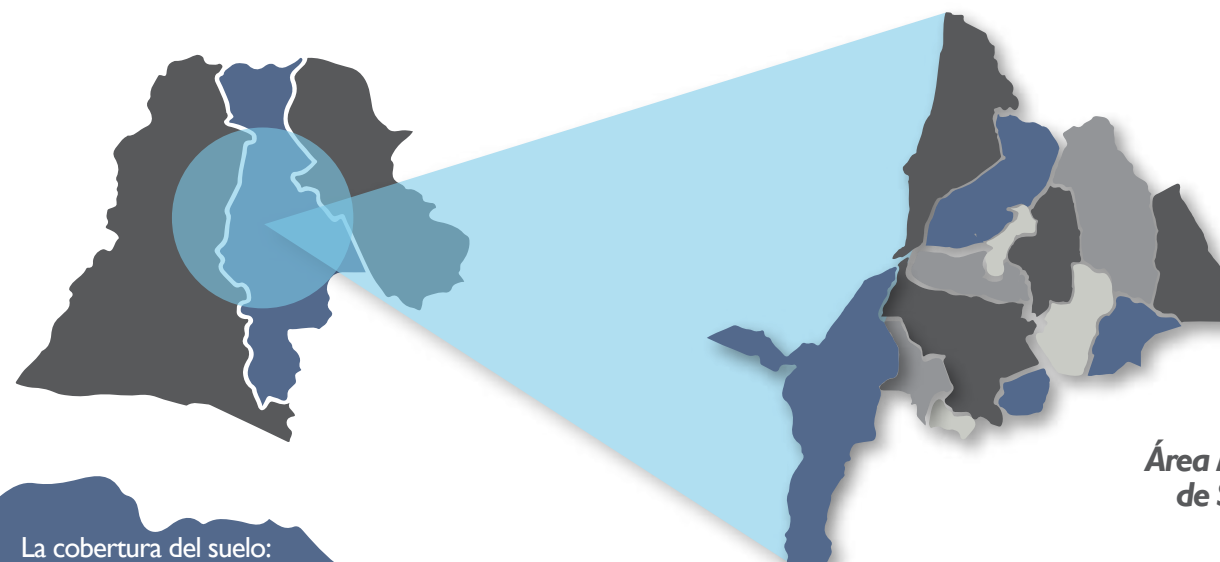


5.2.4. Clasificación de las tipologías estructurales típicas de El Salvador	106
5.3. Vulnerabilidad social	107
5.3.1. Índice de vulnerabilidad	110
5.3.2. Capacidad de respuesta	112
5.3.3. Índice de falta de resiliencia	112
6. Análisis del riesgo	115
6.1. Exposición al riesgo	116
6.1.1. Población expuesta	116
6.1.2. Potencial económico expuesto	116
6.1.3. Tipologías constructivas expuestas: viviendas vulnerables	116
6.1.4. Cultivos expuestos a inundaciones y sequías	116
6.2. Casos de estudio	132
6.2.1. Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico en el Área Metropolitana de San Salvador: portafolios de educación, salud y gobierno	132
6.2.1.1. Información de exposición	132
6.2.1.2. Curvas de vulnerabilidad sísmica	133
6.2.1.3. Modelo de riesgo sísmico	133
6.2.2. Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico en el Área Metropolitana de San Salvador, ciudad de Santa Tecla	137
6.2.3. Inundación en cuencas prioritarias y perfil de riesgo por inundaciones	139
6.2.3.1. Cuenca Sensunapán	139
6.2.3.2. Cuenca Arenal Montserrat	140
6.2.4. Riesgo por tsunamis	141
6.2.4.1. Riesgo por tsunami en zonas críticas	141
6.3. Riesgo en infraestructura de prioridad estratégica	148
7. Indicadores de riesgo de desastre y de gestión del riesgo	154
7.1 Elementos generales	155
7.2 Estimación de los índices	155
7.2.1 Índice de Déficit por Desastre (IDD)	155
7.2.2 Índice de Desastres Locales (IDL)	156
7.2.3 Índice de Vulnerabilidad Prevalente (IVP)	157
7.2.4 Índice de Gestión del Riesgo (IGR)	158



El Salvador

Información básica de país:



Área Metropolitana de San Salvador

El departamento de San Salvador tiene el mayor porcentaje del suelo urbano, con un 15.13 % de su territorio identificado con esa cobertura de suelo, seguido por los departamentos de Sonsonate y La Libertad con un 6.35 y 5.9 % respectivamente.

Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)

27 % de la población, 70 % de la inversión pública y privada, 3 % del territorio nacional



Según datos obtenidos de la OPAMSS, la densidad poblacional es de **2,656 hab/km²**



De 150.78 km² correspondiente al Área Metropolitana de San Salvador, las edificaciones ocupan un 35.84 %, de estas edificaciones el 53.16 % presentan alturas menores a 4 m, el 43.79 % presenta alturas entre 4 y 12 m y solo un 3.05 % son edificaciones mayores a 12 m de altura

Fuente: IPGARAMSS 2011

Riesgo de desastre en El Salvador

En El Salvador, el 88.7 % del territorio se considera zona de riesgo y sobre esa superficie se asienta el 95.4 % de la población, lo cual lo hace uno de los países más vulnerables del mundo:

De acuerdo al último Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres (GAR) 2015,⁴ el promedio histórico anual de las pérdidas por desastres desde 2001 en El Salvador es equivalente a casi el 60 % del promedio anual de la inversión pública en el mismo período.

Pérdidas reportadas 1990-2014: muertes⁴



Fuente: GAR-2015

Pérdidas económicas combinadas 1990-2014⁴



Fuente: GAR-2015

Pérdidas por eventos extremos en El Salvador



Fuente: datos tomados de los informes de evaluación realizados por la CEPAL para los eventos extremos ocurridos en el país.

¹ Proyecciones de población 2016 del Censo Nacional de Población y Vivienda 2007

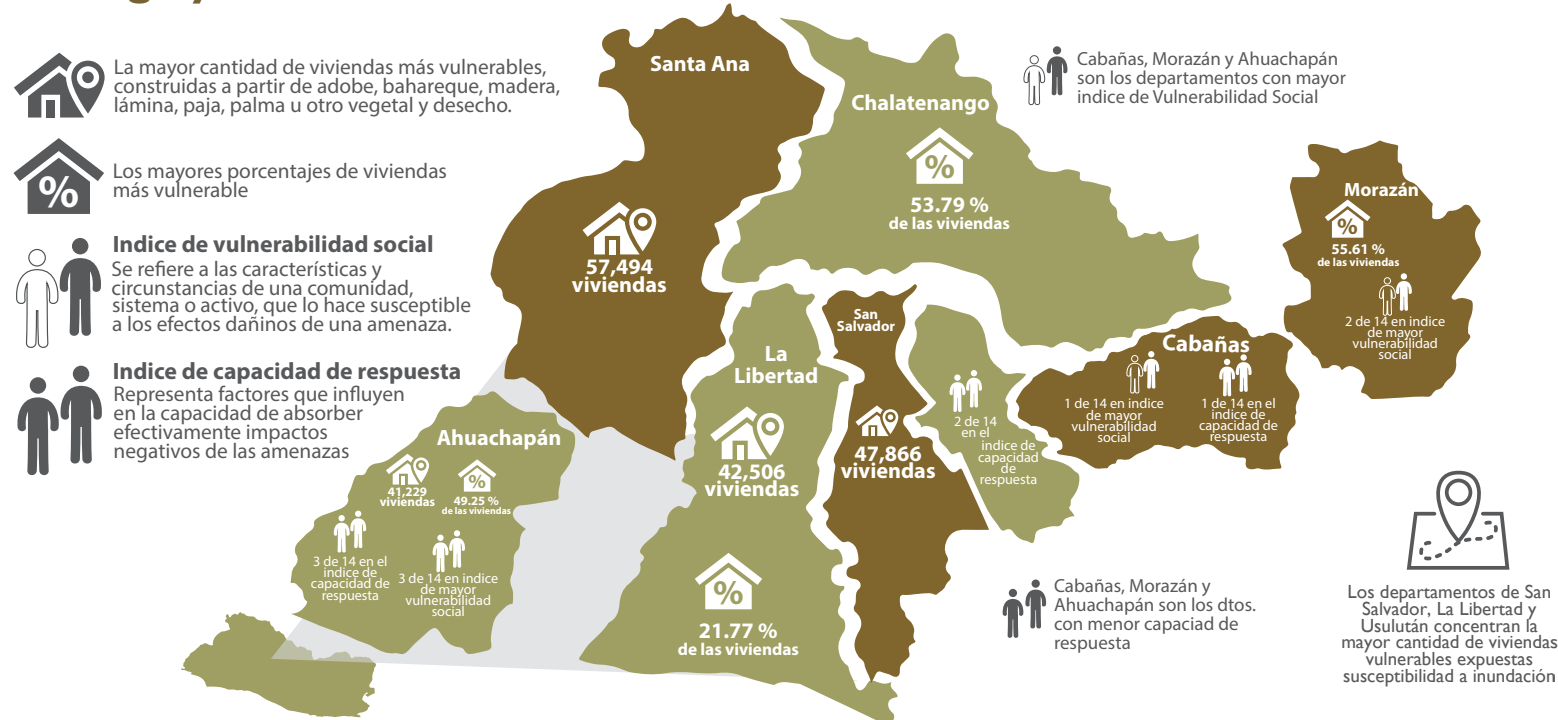
² Estadísticas Económicas CEPAL, Período Económico 2011 El Salvador

³ La Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) Programa El Salvador, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Ministerio de Economía de El Salvador. Mapa de Pobreza Urbana y Exclusión 2010.

⁴ GAR-2015 Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres

Figura 1: información básica de El Salvador

Riesgo y Vulnerabilidad en El Salvador



Análisis de riesgo en infraestructura de prioridad estratégica

El estudio de Análisis de riesgo en infraestructura de prioridad estratégica modeló casi 100 diferentes escenarios de amenazas (terremotos, deslizamientos, actividad volcánica, inundaciones, tsunamis) y vulnerabilidad física de las principales vías, carreteras, puentes, subestaciones y torres de transmisión eléctrica, infraestructura de agua potable y alcantarillado, centros educativos e instalaciones de salud.

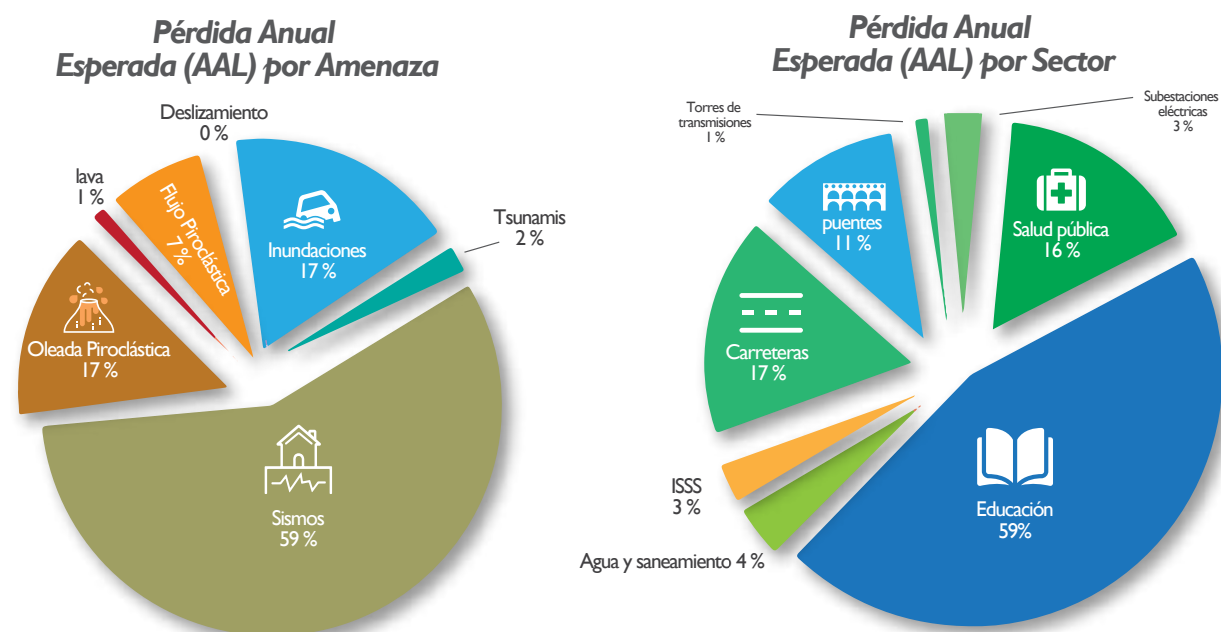


Figura 2: Análisis de riesgo en infraestructura de prioridad estratégica

Fuente: subcapítulo 6.3 está basado, con algunos modificadores, en la investigación de Webb, T., Sorto, M. y Grande, L. (2016). Proyecto fortalecimiento institucional, Integración de factores climáticos en EIA y la vulnerabilidad climática en El Salvador (CDKN Project Reference: AALA-0010). Informe de investigación sobre la evaluación del riesgo en infraestructura crítica de El Salvador. Preparado por ESSA Technologies Ltd. y WESA BluMetric Environmental para la Alianza Clima y Desarrollo y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Los cambios incluyen una mejora en la ubicación de los sectores y revisión de los parámetros de intensidad por inundaciones

Informe del Índice de Riesgo Climático Germanwatch en el año 2017:

1996-2015 la región centroamericana fue una de las zonas más afectadas por eventos climáticos.

Índice de Riesgo Climático El Salvador 1996-2015 = 15



Figura 3: amenazas naturales

I. Capítulo introductorio

Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades

Introductorio

Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades

I.1 Capítulo introductorio

El Salvador es uno de los países del mundo más frecuentemente afectado por fenómenos naturales, lo cual, sumado a la falta de planificación territorial y alta vulnerabilidad tanto física como social, ha resultado en numerosas pérdidas materiales y de vidas humanas, provocando fuertes impactos sociales, económicos y ambientales, afectando la inversión social y fuentes de empleo, acentuando la vulnerabilidad existente e impidiendo el desarrollo sostenible del país.

En El Salvador el 88.7 % del territorio se considera zona de riesgo y sobre esa superficie se asienta el 95.4% de la población, lo que lo hace uno de los países más vulnerables del mundo⁵; nuestro territorio se encuentra expuesto a la incidencia de múltiples amenazas de origen natural y ambiental, por su elevada actividad sísmica y volcánica y por estar sujeto además, al impacto de fenómenos de origen hidrometeorológico. La pobreza y la proliferación de asentamientos cada vez más vulnerables, acentúan las condiciones de riesgo.

De acuerdo al último Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres (GAR) 2015, el promedio histórico anual de las pérdidas por desastres desde 2001 en El Salvador, son equivalentes a casi el 60 por ciento del promedio anual la inversión pública en el mismo período. Dos terremotos separados por un mes en el año 2001, afectaron de manera grave al país, trayendo consigo enormes pérdidas tanto económicas como en términos de vidas humanas; se calcula que la cifra total de fallecidos para ambos sismos ascendió a 1259 y las pérdidas económicas superaron el 12% del Producto Interno Bruto PIB.

La creciente amenaza climática que enfrenta el país, producto del cambio climático global, es el hecho ambiental de mayor reconocimiento nacional. Lo anterior también fue reconocido internacionalmente por la organización *Germanwatch*, cuando colocó al territorio salvadoreño en la primera posición del Índice Global de Riesgo Climático 2009, a raíz de los impactos de la baja presión E96, baja presión asociada a Ida de noviembre 2009. Eventos posteriores como la tormenta tropical Agatha (mayo 2010) y la depresión tropical 12E (octubre 2011) confirmaron que la variabilidad climática es una amenaza creciente para El Salvador. A tres años continuos de eventos lluviosos extremos e impactos severos por inundaciones (con registros históricos de lluvia en intensidad y duración 2009-2011), siguieron cuatro años en que predominaron comportamientos e impactos de sequía (2012-2015), con fuertes implicaciones socioeconómicas, especialmente en comunidades vulnerables. Por lo anterior, se definió como línea prioritaria de acción la adaptación al cambio climático y reducción de riesgos. (*Política Nacional del Medio Ambiente 2012*).

Cuadro 2. Pérdidas por eventos extremos en El Salvador

Sector / eventos	Impacto económico, millones USD						
	huracán Mitch 1998	sequía 2001	sismos 2001	huracán Stan y erupción Ilimatepec 2005	Baja presión asociada a Ida 2009	tormenta tropical Agatha 2010	depresión tropical 12E 2011
Impacto PIB	6.40 %	0.24 %	12.10 %	2.20 %	1.10 %	0.50 %	4.25 %
Sectores Sociales	37.6		616.7	149.5	39.66	43.9	207.1
Sectores Productivos	269.2	27.1	339.3	60.1	82.36	20.6	339.1
Infraestructura	74.3	3.7	472.3	113.5	132.75	35.5	279.6
Medio Ambiente	7	0.6	102.5	21.8	60.07	12.1	76.5
Otros			73	10.6			
Total	388.1	31.40	1,603.80	355.5	314.84	112.1	902.3

Nota: Datos tomados de los informes de evaluación sobre los eventos extremos ocurridos en El Salvador, elaborados por la CEPAL.

El Salvador ha logrado importantes avances en la observación sistemática y la alerta temprana, con lo cual se ha consolidado el Centro de Monitoreo Integrado de Amenazas más potente de la región. Este centro integra y analiza la información de más de 250 estaciones ubicadas en toda la nación para la medición de lluvia, niveles de ríos, sismos, oleaje y corrientes marinas; modelos analíticos y aplicaciones informáticas; así como la información recabada por la red de más de 600 observadores locales, para brindar información confiable y oportuna al Sistema Nacional de Protección Civil, sectores productivos y población en general, para fines de alerta temprana y planificación y protección.

El monitoreo sistemático de los fenómenos naturales y el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana, ha permitido reducir el número de pérdidas de vidas humanas, los cuales se deben potenciar y ampliar. Hay mucho que realizar para lograr una gestión integral del riesgo con base en la información científica, que incluya tanto medidas de prevención como de preparación, que permita reducir las pérdidas y daños.

Pese a los esfuerzos realizados, hay un progreso limitado en la gestión de los factores causales subyacentes de los riesgos. Invertir en la reducción del riesgo de desastres de manera integral, con nuevos mecanismos de planificación y protección financiera, incremento de la resiliencia y protección de la infraestructura crítica es fundamental, especialmente en un clima cambiante.

Los desastres aumentan de manera acelerada. Pero estos desastres son muchas veces predecibles y prevenibles. Aún cuando se habla de eventos naturales cuya ocurrencia no es posible predecir, los efectos potenciales de los mismos si pueden serlo, por lo que las medidas de mitigación pueden y deben ser adoptadas para prevenirlos.

La valoración de los riesgos no es más que el punto de partida para la definición de lineamientos para su reducción y mitigación, incluyendo tanto medidas de prevención (gestión correctiva y prospectiva), como de preparación (gestión reactiva y protección financiera).

En este contexto de los riesgos nacionales latentes, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, dando cumplimiento al Artículo 18 de la *Ley de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres* en donde establece que el MARN elaborará el Informe Nacional sobre el Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades (INERV), se presenta este primer informe nacional mostrando parte del avance logrado en el análisis de las amenazas, exposición, vulnerabilidad y riesgo, resultado en parte del fortalecimiento de la observación sistemática de los fenómenos naturales, permitiendo así, avanzar en la gestión integral del riesgo.

Este documento aborda una temática territorial, que por su misma naturaleza es dinámica y se encuentra en continuo cambio, es por ello, que este informe también deberá ser dinámico y actualizarse periódicamente. Los estudios que se presentan son una imagen de la realidad actual de los territorios en análisis y la información existente, en donde basta la ocurrencia de un evento el día de mañana para que todo el panorama cambie. Esto es un gran reto que requiere el compromiso por parte del gobierno en invertir recursos para la generación de información técnica científica, promoviendo el análisis local de las amenazas, el levantamiento de la información a nivel local para realizar los estudios de vulnerabilidad global (física, social, económica, ambiental, institucional, entre otras), para luego poder construir escenarios de riesgos locales, incorporando cada vez más la temática de adaptación al cambio climático considerando esta creciente amenaza global, que ya está afectando al país. El resultado de este esfuerzo en la generación de información técnica científica, será contar con herramientas útiles para los tomadores de decisión dándole una dimensión amplia del ordenamiento del territorio y así evitar seguir construyendo riesgos en el país.

⁵ (Informe CEPAL, 2011)

Este proceso y avances que se irán logrando a nivel nacional serán los principales insumos que deberán retomar los futuros INERV. Este primer esfuerzo de presentar la edición inicial del INERV, se espera sea un incentivo para que las instituciones de gobierno adopten un cambio de enfoque en el análisis del riesgo dirigiéndose hacia una gestión prospectiva del mismo. Esto marcaría una diferencia cualitativa importante, no solo en la preparación para las emergencias o en la intervención sobre las amenazas, sino en la reducción la vulnerabilidad de la población, considerando la dinámica territorial e identificando vacíos de información para poder solventarlos.

La estructura interna del INERV está formado por capítulos organizados por amenazas, vulnerabilidad y riesgo, presentando estudios de casos específicos a nivel local, con un grado diferente de detalle dependiendo de su escala de análisis, los cuales muestran hacia donde se debe orientar los esfuerzos interinstitucionales de análisis para lograr verdaderos escenarios de riesgos.

Limitantes del informe

Este primer informe no pretende ser un análisis exhaustivo de la totalidad de elementos relacionados al riesgo, sino una aproximación general al análisis del mismo, que cuenta con un abordaje de situaciones de riesgo relevantes considerando la afectación a la población. Es necesario entonces considerar al primer INERV como un proceso de trabajo que empieza a cualificar y cuantificar las vulnerabilidades de una manera preliminar, pero que deberá contar con una mayor profundidad de análisis en los próximos años.

En el proceso de sistematización de la información y análisis del INERV se ha podido constatar que si bien es cierto existen datos para ciertos períodos de tiempo, existen vacíos temporales de estos mismos datos, por ejemplo temperatura y precipitación. Haciéndose evidente en el informe como una limitante para tener mejores análisis más puntualizados en el comportamiento de estas variables.

Aunque el territorio nacional sea relativamente pequeño, existen dinámicas territoriales muy diferentes que definen la construcción de escenarios de riesgo específicos por sus mismas condiciones como en la zona costera, la cadena volcánica central, la zona montañosa del norte del país o incluso las principales zonas urbanas, presentándose situaciones muy particulares como por ejemplo la zona costera presenta condiciones de susceptibilidad a inundaciones a lo largo del país, pero hay zonas críticas que urgen su priorización para el análisis por el desarrollo urbano y concentración de la población e infraestructura crítica. Esto se ve reflejado en los estudios de caso que presenta el INERV, en donde han desarrollado zonas priorizadas por su alto riesgo, lo cual es un trabajo de gran dimensión que debe continuarse realizando para el conocimiento de los riesgos locales.

El nivel de avance para el análisis de cada amenaza a la fecha posee un nivel de desarrollo diferente, pues se ha realizado según la priorización de las amenazas y los puntos críticos de riesgos, tanto por la recurrencia del impacto de los fenómenos naturales sobre ellos o por una susceptibilidad a una amenaza alta y con una cantidad de población y de infraestructura en niveles significativos de riesgo.

Ideas centrales para la reducción del riesgo

1. Adoptar la gestión integral del riesgo

Para fortalecer el desarrollo económico y local, el gobierno de El Salvador debe adoptar la visión de una gestión integral del riesgo, esto se debe realizar generando información técnico científico y la recopilación de la información a nivel local, con el fin de tener los insumos básicos para realizar el análisis integral de los riesgos.

Para la planificación estratégica del desarrollo territorial es necesario el análisis multiamenaza y de los diferentes tipos de vulnerabilidad, considerando de una manera integral el análisis de las dinámicas del territorio físicas, económicas y sociales, solamente así, se contribuye al desarrollo sostenible. Por ejemplo al tener un análisis parcializado por una amenaza se puede identificar áreas para la reubicación de familias amenazadas por inundaciones y ponerlas bajo la amenaza de deslizamientos. La gestión integral de riesgo debe utilizar la valoración del riesgo para la definición de lineamientos para su reducción y mitigación, incluyendo medidas de prevención (correctivas y prospectivas) y de preparación (respuesta y protección financiera).

2. Invertir en la prevención para la reducción de pérdidas y daños considerando la protección financiera

Si bien es cierto es muy importante reaccionar luego del impacto de los desastres, aún es más importante que el gobierno invierta en su prevención para fomentar la reducción de los mismos, siendo el propósito fundamental de ello proteger primeramente las vidas humanas, pero también la inversión en la construcción de la infraestructura, considerando así mismo la protección financiera ante desastres.

Según los estudios realizados por La Comisión Económica para América Latina (CEPAL). Los daños y pérdidas económicas en los últimos treinta años, provienen en su mayor proporción de eventos geológicos, los terremotos de octubre de 1986 y los de enero y febrero de 2013, representaron pérdidas equivalentes al 22.9% y 12% del PIB, respectivamente. En relación a los de origen hidrometeorológicos de los más representativos están el huracán Mitch y la tormenta tropical 12E que representaron pérdidas equivalentes al 6.4 y 4.2% del PIB. Esto demuestra como los eventos extremos pueden impactar el desarrollo económico del país e incluso representar un atraso en su desarrollo.

Considerando que la tendencia de los eventos extremos es a incrementarse a nivel mundial, el gobierno de El Salvador con el objeto de reducir el riesgo de desastre y en particular las pérdidas económicas, debe adquirir una visión prospectiva de prevención y protección financiera ante los desastres como un elemento clave para el fomento al desarrollo económico, cambiando la manera tradicional de enfrentarlos, reorientando fondos nacionales para cubrir las necesidades que dejan los desastres, recurriendo a la ayuda de la cooperación internacional con donaciones o préstamos para la atención de las emergencias nacionales, con los cuales el país incrementa su nivel de deuda; todo esto como consecuencia de no poseer alternativas financieras propias que de manera preventiva lo preparen para atender las situaciones de desastre en el país.

3. Reducir la vulnerabilidad ante las amenazas

La manera más efectiva para reducir el riesgo en el país es disminuyendo la vulnerabilidad, que ha sido resultado de la falta de planificación territorial, pobreza, falta de educación, adopción de malas prácticas agrícolas, entre otros. Esto ha generado condiciones que en conjunto han configurado un alto riesgo a nivel nacional, que se ha venido expresando no solo a través de los grandes desastres, sino también en aquellos pequeños, pero de mayor frecuencia que acumulativamente provocan tanto o más daños humanos y materiales que los grandes eventos.

Dada la escala de los desastres, que se manifiestan a nivel local, es necesario intervenir a este nivel para la reducción de la vulnerabilidad, partiendo del levantamiento de información de variables de vulnerabilidad de forma global, considerando todas las variables que la construyen: físicas, sociales, económicas, ambientales, etc. utilizándolas para su análisis, identificando y georeferenciando la infraestructura expuesta ante las diferentes amenazas. Este es un gran reto para todas las instancias de gobierno, pues solo realizando un esfuerzo sectorial en conjunto, sistematizado y continuo, se logrará contar primero con los datos de vulnerabilidad, para poder incorporarlos en el análisis del riesgo, dará las soluciones para su reducción a nivel local, identificando los principales puntos de riesgos, las medidas de mitigación necesarias, planes de emergencia locales actualizados con información a nivel local, entre otros.

Es necesario tomar acciones, fortalecer vínculos, articular y concertar esfuerzos entre todas las instituciones gubernamentales, educativas, instituciones privadas, gremiales, organismos internacionales y la sociedad civil en general. Se debe transversalizar la gestión de riesgos en la agenda nacional e invertir en realizar investigaciones y levantamiento de información, pero más importante, se deben utilizar los resultados de estas investigaciones para establecer medidas que permitan reducir el riesgo en nuestro país, incluyendo tanto medidas correctivas (ej. reforzamiento estructural de edificaciones), como prospectivas (ej. reglamentos de diseño y construcción). Se debe atender con especial cuidado la infraestructura de prioridad estratégica, considera como aquella que debe continuar funcionando en caso de desastre, como hospitales y servicios básicos, para facilitar la atención a la emergencia y la recuperación y reducir potenciales impactos socioeconómicos asociados.

4. Generar directrices para el ordenamiento territorial

Todas las instituciones gubernamentales y privadas también son actores claves en el uso y ordenamiento del territorio. Es por ello que el MARN, dada la necesidad de ordenar el territorio para optimizar, proteger y regular el uso de los recursos naturales existentes, ha iniciado la estrategia institucional de formular instrumentos tales como la zonificación ambiental y usos del suelo; y lineamientos de actuación, que constituye un soporte indispensable para el ordenamiento territorial; pues provee la localización geográfica y caracterización de áreas con variables físicas, biológicas y socioeconómicas propias, distinguibles entre ellas, por su potencial de recursos naturales y su capacidad de soporte ante el impacto de los fenómenos naturales; proporcionando la información necesaria para resolver los problemas complejos relacionados con la conservación de los procesos ecológicos, reducción de riesgos por fenómenos naturales y el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

Recientemente fue aprobada la *Ley de Ordenamiento Territorial* que establece la necesidad de fortalecer la capacidad institucional del Estado para ordenar el uso del territorio y orientar las inversiones públicas y privadas necesarias para alcanzar el desarrollo sostenible; así como normar un espacio intermedio de coordinación entre los diferentes niveles del gobierno nacional y local. Esta ley crea un nuevo contexto institucional que permitirá desplegar plenamente el mandato de la Ley del Medio Ambiente que exige asegurar la incorporación de la dimensión ambiental en el ordenamiento territorial y avanzar en un desarrollo articulado y coordinado de los mandatos de ambas leyes. Asimismo, la *Ley de Ordenamiento y Desarrollo Territorial* mandata la formulación del plan nacional, el cual deberá contener la estrategia y directrices relativas a la prevención y mitigación de riesgos naturales. Lo anteriormente descrito en el contexto de la normativa del medio ambiente y la de ordenamiento y desarrollo territorial, el MARN tiene todas las condiciones legales y técnicas para fortalecer y consolidar lo relacionado con lo que mandata esa ley.

5. Fortalecer el monitoreo de las amenazas, Sistemas de Alerta Temprana (SAT) y gestión del conocimiento

Para que el MARN continúe en su proceso de fortalecer la alerta temprana con información confiable, debe continuar la actualización y mejorar de las redes de monitoreo de las diferentes amenazas, tanto con equipo, programas y personal técnico capacitado. Es importante el trabajo a escala local con las redes de observadores locales que son quienes vuelven efectivos los SAT. Así mismo se debe trabajar en la difusión de la información que se genera para que sea comprendida y utilizada por la población en general.

Asimismo, es imprescindible realizar estudios para mejorar los análisis de riesgo a escalas apropiadas, sobre los cuales deben fundamentarse los sistemas de alerta temprana para una adecuada toma de decisiones.

6. Incorporar la gestión de riesgos en las políticas públicas

Las políticas, planes y programas de la administración pública deberán incorporar la dimensión de gestión del riesgo, vinculando su formulación con los mandatos establecidos en la normativa de medio ambiente, ordenamiento y desarrollo territorial y de protección civil, prevención y mitigación de desastres. Esto con el fin de fortalecer la política de estado en la temática de la gestión de riesgos. Además, es importante hacer cumplir los apartados de las leyes existentes que aportan en acciones que contribuyen en la reducción de la vulnerabilidad ya sea esta física, ambiental, educativa, entre otras, y que por ende aportan en la reducción de los riesgos.

Las nuevas políticas, estrategias o cualquier instrumento de regularización que se generen deberán considerar siempre la inclusión de la reducción de la vulnerabilidad en los distintos sectores del país, con el fin de lograr un desarrollo sostenible, mediante procesos de planificación y gestión territorial de manera integral y concertada, para la inversión pública y el desarrollo de las distintas actividades humanas en el territorio regulando los asentamientos humanos a las actividades productivas y a la protección de los recursos naturales con enfoque de cuencas, sistema de ciudades, desarrollo económico y socio cultural, teniendo como centro el desarrollo y bienestar de la población.

De esa manera el país podrá contar con políticas públicas adecuadas que le permitirán avanzar hacia una gestión de riesgos que salvaguarde vidas humanas (gestión para la vida), planificar en torno a un desarrollo sostenible; reducir pérdidas y daños, evitando así incrementar las vulnerabilidades (gestión de riesgos para la economía y el desarrollo), mejorar la atención a las emergencias e impulsar la recuperación del país (atención a la emergencia y recuperación). La gestión integral del riesgo, debe incluir tanto medidas de prevención como de preparación.

7. Construcción de territorios más seguros ante las amenazas naturales

Cada vez El Salvador se enfrenta a pérdidas económicas mayores, debido a que la población y sus activos físicos y ambientales están expuestos a una gran cantidad de vulnerabilidades. Esto se ve agravado por la poca resiliencia que posee la sociedad salvadoreña, a la cual se le ha prestado poca atención para que esté preparada para enfrentar y recuperarse ante el impacto de los fenómenos naturales adversos. En este contexto, es de suma importancia que se le dé mayor énfasis a la gestión integral del riesgo de desastres que incluya medidas de protección, prevención y mitigación en el desarrollo del territorio nacional.

La construcción de territorios más seguros ante las amenazas naturales, debería de ser el fin último de las actuaciones del gobierno en la temática de la reducción de los riesgos. Si analizamos todas las ideas centrales acá planteadas abonan a la construcción de territorio más seguros en donde se minimicen las pérdidas y daños por medio de una normativa clara que oriente la planificación y uso del territorio a través del ordenamiento ambiental teniendo como insumo el análisis integral de los riesgos y considerando la organización social para el alertamiento oportuno en momentos de emergencias por fenómenos naturales.



Figura 4. Volcán Chaparrastique días después de la erupción del 29 de diciembre del 2013

2. Marco conceptual

Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades

Marco conceptual

2.1 Amenaza, exposición, vulnerabilidad y riesgo

Riesgo de desastre se define como la probabilidad de una pérdida causada por un evento durante un tiempo definido, y puede ser medido en términos humanos, económicos o sociales. Son las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico en el futuro.⁶

Esta probabilidad de pérdida depende tanto de la amenaza como de la exposición y la vulnerabilidad de los activos expuestos.

De manera simplificada:

$$\text{Riesgo} = f(\text{amenaza, exposición, vulnerabilidad})$$

La amenaza es la probabilidad de que ocurran eventos de cierta intensidad en una zona y tiempo definido, y refleja características de la naturaleza que generalmente no pueden ser modificadas. La exposición puede medirse en la población, propiedades, sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales. La vulnerabilidad representa la condición determinada por procesos físicos, sociales, factores económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de las amenazas⁷. La exposición puede medirse en términos del número de personas albergadas en cada edificio o el valor monetario (de reposición) de ese edificio. La vulnerabilidad representa el comportamiento esperado de los activos expuestos ante una amenaza natural, relacionada al daño que puede esperarse en un activo expuesto a un evento de cierta intensidad. Se define como la fragilidad o la incapacidad de los sistemas bióticos y abióticos expuestos al impacto de una amenaza con determinada severidad, para absorber los impactos que puedan producir los fenómenos de origen natural. La vulnerabilidad determina la intensidad de los daños que pudiera producir la ocurrencia efectiva de una amenaza sobre un territorio determinado, así como la capacidad de la población para recuperarse del impacto.



Figura 5. Crecida de río Güiza, cantón Melara, departamento de La Libertad



Figura 6. Deslizamiento, caserío El Camalote, municipio El Carrizal, Chalatenango. Octubre 2011

Las amenazas pueden ser únicas, secuenciales o combinadas en su origen y efectos. Cada amenaza se caracteriza por su localización, intensidad, frecuencia y probabilidad de ocurrencia. La amenaza se convierte en riesgo cuando existen edificaciones o personas expuestas a una amenaza determinada y el nivel de riesgo depende, no solo de la intensidad o severidad del evento, sino también de la capacidad de los activos expuestos para resistirlo. En otras palabras, la ocurrencia de un sismo, inundación o deslizamiento, puede considerarse un fenómeno natural, pero no así el desastre que le sigue.

Las metodologías comúnmente utilizadas para la evaluación de riesgo, se basan en el asocio de las amenazas consideradas sobre el inventario de activos expuestos con las funciones de vulnerabilidad relacionadas y se evalúa el porcentaje de daños esperados en cada una de las edificaciones expuestas y para cada uno de los escenarios planteados.

El objetivo del análisis de riesgo por fenómenos naturales es determinar el nivel de riesgo existente en un determinado lugar, con el fin último de reducirlo a niveles "aceptables". Se entiende riesgo aceptable como el nivel de las pérdidas potenciales mínimas al que una sociedad o comunidad puede aspirar, según sus condiciones sociales, económicas, políticas, culturales, técnicas y ambientales existentes.

La valoración del riesgo es, entonces, el punto de partida para la definición de líneas de acción que permitan avanzar hacia una gestión integral del mismo. En ciudades ubicadas en zonas con elevados niveles de amenaza, como es el caso del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), el nivel de riesgo está controlado por la vulnerabilidad de la infraestructura existente, relacionada a su vez al avance de conocimiento de la peligrosidad de la región. Reducir la vulnerabilidad se traduce en disminuir el riesgo, y este a su vez, en aminorar la posibilidad de futuros desastres.

⁶ ⁷ Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. Terminología 2004. Términos básicos de la reducción del riesgo de desastres. <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng%20home.htm>

2.2 Gestión integral del riesgo

El análisis, comprensión y caracterización del riesgo a desastres en sus componentes de amenaza, exposición y vulnerabilidad permite tener claridad sobre las acciones y decisiones que deben tomarse para reducir el riesgo y por ende, el impacto de posibles desastres (pérdidas de vidas humanas, de viviendas, ecosistemas, entre otros) al analizar una amenaza.

La caracterización científica de la amenaza es importante, sin embargo, se tiene poco control sobre ella, principalmente, cuando desencadena un evento de gran intensidad como un terremoto de gran magnitud. Por tanto, es de hacer notar que para la gestión de riesgos se debe actuar sobre la vulnerabilidad en sus diferentes ámbitos: físico, social, ambiental, económico, cultural, entre otros. Esta actuación busca garantizar que, la gestión de riesgos, sea un aspecto clave que contribuya a la disminución de impactos y de posibles desastres y, de igual forma, fortalecer la resiliencia de la población, es decir, su capacidad de recuperarse ante eventos intensos.

La adecuada gestión del riesgo debe utilizar la valoración del riesgo como insumo en la definición de lineamientos para su reducción y mitigación, incluyendo tanto medidas de prevención (gestión correctiva y prospectiva), como de preparación (gestión reactiva y protección financiera) (figura 7).

De igual forma, debe incorporarse, desde la identificación de la amenaza y las características de los activos expuestos, hasta la implementación de medidas correctivas para reducir la vulnerabilidad de las edificaciones; el desarrollo y actualización de normativas de ordenamiento territorial y códigos de diseño, así como la definición de planes de respuesta ante emergencia y los mecanismos de protección financiera, que permitan responder frente a un desastre y facilitar la recuperación.

El ciclo de la reducción de riesgo parte de la estimación del riesgo como la línea base para la definición de metas de reducción del mismo, estableciendo las acciones y los costos de las mismas (figura 8). Únicamente con la incorporación de la gestión de riesgos de desastres en la planificación del desarrollo, se puede revertir o reducir la actual tendencia del aumento de los impactos por fenómenos naturales.

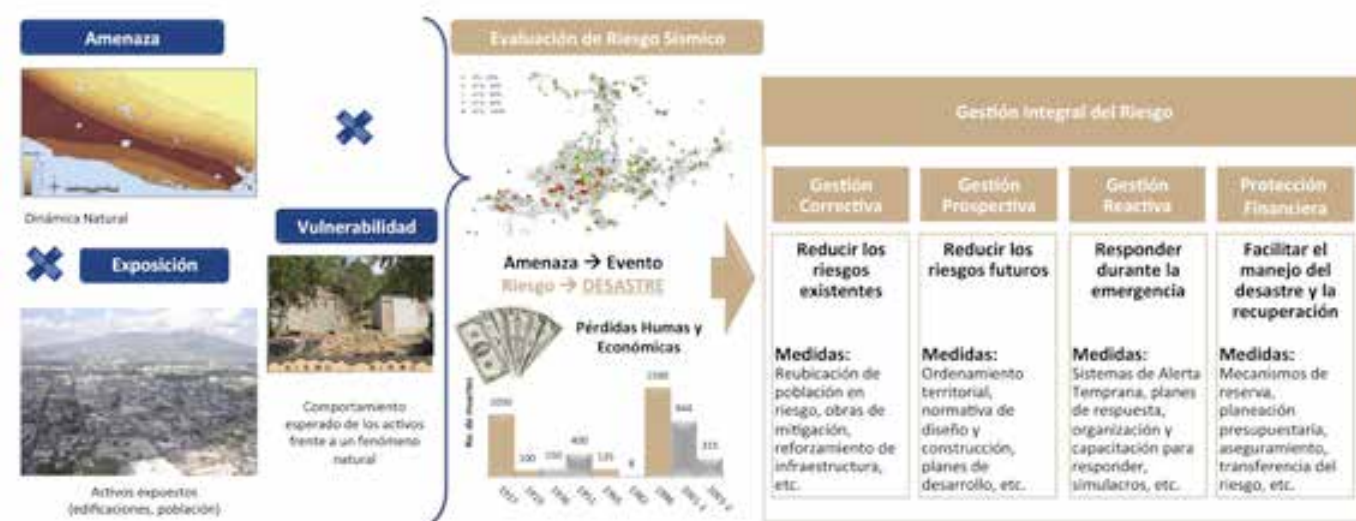


Figura 7. Gestión integral del riesgo
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 8. Ciclo de reducción del riesgo
Fuente: Elaboración propia MARN

2.3 Resiliencia

La resiliencia se define como la capacidad de la infraestructura de la comunidad y sistemas de infraestructura para absorber el impacto de un desastre y recuperarse. Las características de esta interpretación se centran en⁸: a) fallas probables reducidas: la reducción del daño y fallas esperadas a la infraestructura crítica, sistemas y componentes; b) consecuencias reducidas de las fallas: en términos de lesiones, pérdidas de vidas humanas, daños e impactos negativos económicos y sociales, y c) reducción del tiempo de recuperación: el tiempo requerido para la restauración de un sistema específico o de un grupo de sistemas al nivel de funcionalidad normal o pre-desastre. En la figura 9 se presentan las fases del desastre en relación al estatus comunitario.

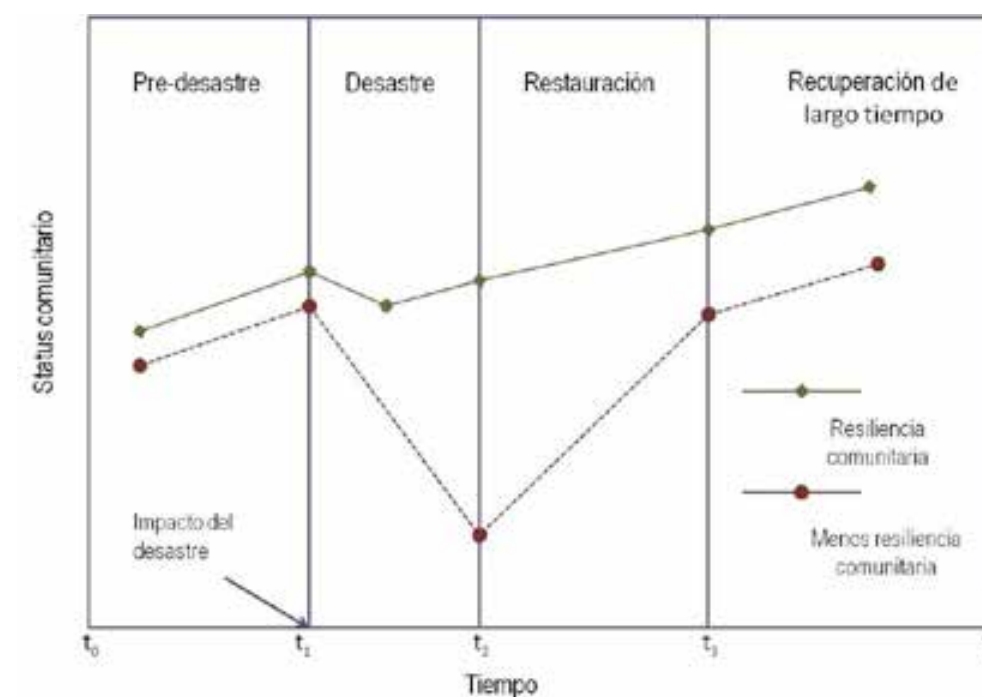


Figura 9. Resiliencia comunitaria a desastres
Fuente: Mayunga, J.S. (2007). Understanding and applying the concept of community disaster resilience: A capital-based approach. Munich, Germany: Summer Academy for Social Vulnerability and Resilience Building.

⁸MCEER'S. (2006). Resilience Framework. Retrieved from http://mceer.buffalo.edu/research/resilience/resilience_10-24-06.pdf

3. Contexto nacional:

visión general del área de estudio

Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades

Contexto nacional

3.1 División política administrativa

El Salvador se divide en 14 departamentos que se agrupan en cuatro zonas geográficas: central, paracentral, occidental y oriental. Cada departamento está segmentado en municipios que hacen un total de 262. Según el Art. 84 de la Constitución de la República, el territorio nacional se delimita de la siguiente forma: al poniente, con la República de Guatemala; al norte y al oriente, en parte, con la República de Honduras, en las secciones delimitadas por el Tratado General de Paz. En cuanto a las secciones pendientes de delimitación, los límites serán los que se establezcan de conformidad con el mismo Tratado, o en su caso, conforme a cualquiera de los medios de solución pacífica de las controversias internacionales. Al oriente con las Repúblicas de Honduras y Nicaragua en las aguas del golfo de Fonseca y al sur, con el océano Pacífico (figura 10).

3.2 Características demográficas

De acuerdo a las proyecciones de población 2016 del Censo Nacional de Población y Vivienda 2007, El Salvador reporta una población total de 6,5 millones de habitantes, de los cuales 3,1 millones son hombres y 3,4 son mujeres, y representa el 47.1 y el 52.9 % de la población total respectivamente.

Un total de 4,6 millones de habitantes residen en el área urbana mientras que 1,9 viven en el área rural y representan el 70.4 y el 29.6% de la población total respectivamente. En el área metropolitana se concentraría el 27.2 % de la población total del país, con 1,8 millones de habitantes⁹. La figura 11 muestra la distribución espacial de la población por municipio.

En cuanto a la edad productiva, se estima que para el año 2016, el 65.2 % de la población total está en el rango de edad teóricamente activa mientras que el 34.8 % está en los rangos de edad teóricamente inactiva¹⁰ siendo superior, notablemente, la población que se encuentra en edad teóricamente activa (figura 12).

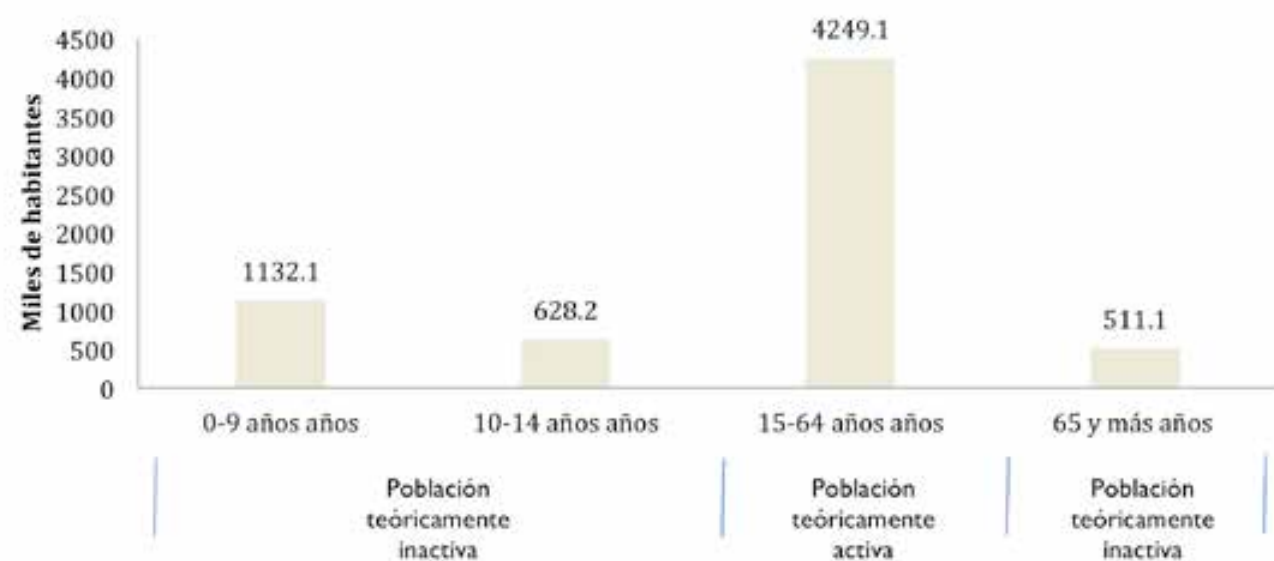


Figura 12. El Salvador: distribución de la población por condición de actividad económica.

Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC)

⁹ y ¹⁰ Proyecciones de población 2016 del Censo Nacional de Población y Vivienda 2007.

¹¹ Estadísticas económicas CEPAL. Perfil económico: El Salvador

Cuadro 3. Resumen de indicadores 2016

Población		Población		2016
Total (miles de hab.)		(exponencial pormil)		6,520.6
	Hombres			3,070.0
	Mujeres			3,450.6
Urbana				4,590.4
	Hombres			2,161.1
	Mujeres			2,429.3
Rural				1,930.1
	Hombres			908.8
	Mujeres			1,021.3
Esperanza de vida al nacer (años)				72.9
Hombres				67.9
Mujeres				77.3
Densidad poblacional - Hab./km ²				309.9
Crecimiento demográfico % anual				9.3

Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC)

3.3 Perfil nacional económico

Entre algunos indicadores del perfil económico de El Salvador podemos mencionar¹¹

a) Producto Interno Bruto (PIB) total anual a precios corrientes en dólares.

El Producto Interno Bruto (PIB) es el valor del flujo de bienes y servicios producidos en un país a precios de mercado para cada año durante un período de referencia determinado. Las cifras se expresan en dólares de Estados Unidos de América.

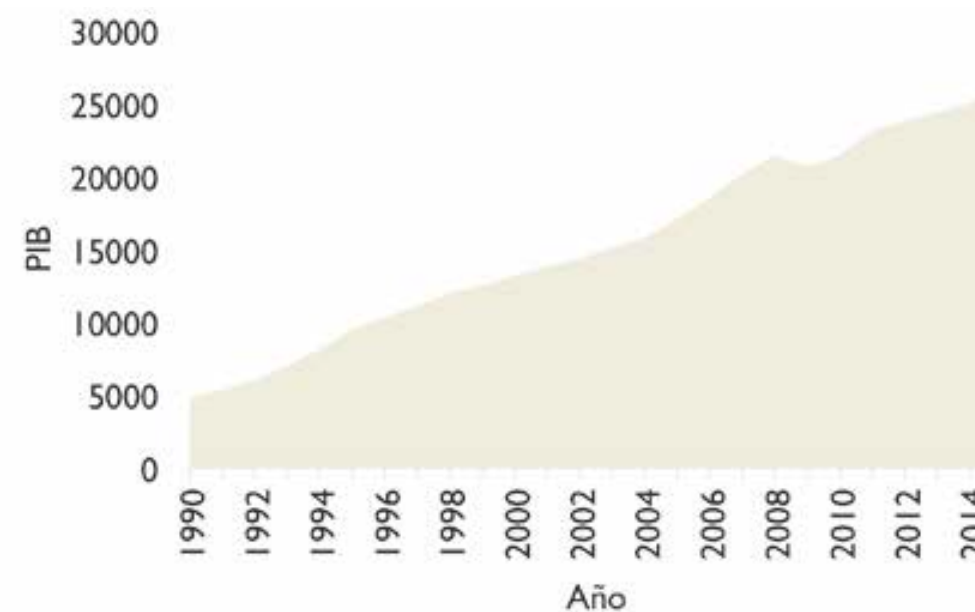


Figura 13. Producto Interno Bruto (PIB) total anual a precios corrientes en dólares

Fuente: Estadísticas económicas CEPAL. Perfil económico: El Salvador



Figura 10. Mapa de división política administrativa
Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC)



Figura 11. Mapa de densidad poblacional (hab/km²)
 Fuente: Proyecciones de población 2016 del Censo Nacional de Población y Vivienda 2007.

b) Tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) total anual a precios constantes.

La tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto mide la variación porcentual del PIB a precios de mercado del año 2010, entre dos años



Figura 14. Tasa de crecimiento del producto Interno Bruto (PIB) total anual a precios constantes. Fuente: Estadísticas Económicas CEPAL. Perfil Económico: El Salvador

c) Producto Interno Bruto (PIB) anual por actividad económica a precios corrientes en dólares.

Al hacer una distribución territorial del potencial económico del país, generado a partir de la distribución de las diferentes actividades económicas y productivas que aportan al Producto Interno Bruto sobre la cobertura y uso del suelo; se genera el mapa de potencial económico. En este mapa se puede identificar los lugares donde este potencial se acumula (figura 16). Las mayores concentraciones se encuentran en áreas urbanas, generación eléctrica, infraestructura de comunicación, seguida por las zonas de actividad agrícola y pecuaria. En la figura 15 se muestra el valor agregado a precios corrientes.

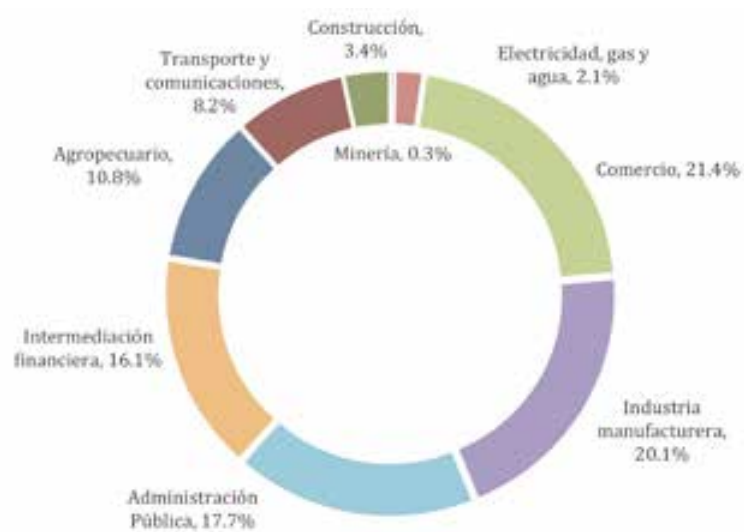


Figura 15. Valor agregado del PIB por actividad económica a precios corrientes Fuente: Estadísticas económicas CEPAL, Perfil Económico El Salvador

3.4 Educación

a) Tasa de analfabetismo

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) define el analfabetismo como la situación de una persona que no posee las habilidades para leer, escribir y comprender una frase simple y corta. La medición del analfabetismo obtenida desde la Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples (EHPM), se refiere a las personas que responden no saben leer ni escribir.

Para el año 2015, el total de la población mayor o igual a 10 años era de 5,386,954 que representa el 83 % con respecto a población total. La figura 17 muestra la tasa de analfabetismo en el país por zona geográfica, sexo y grupos de edad por sexo¹².

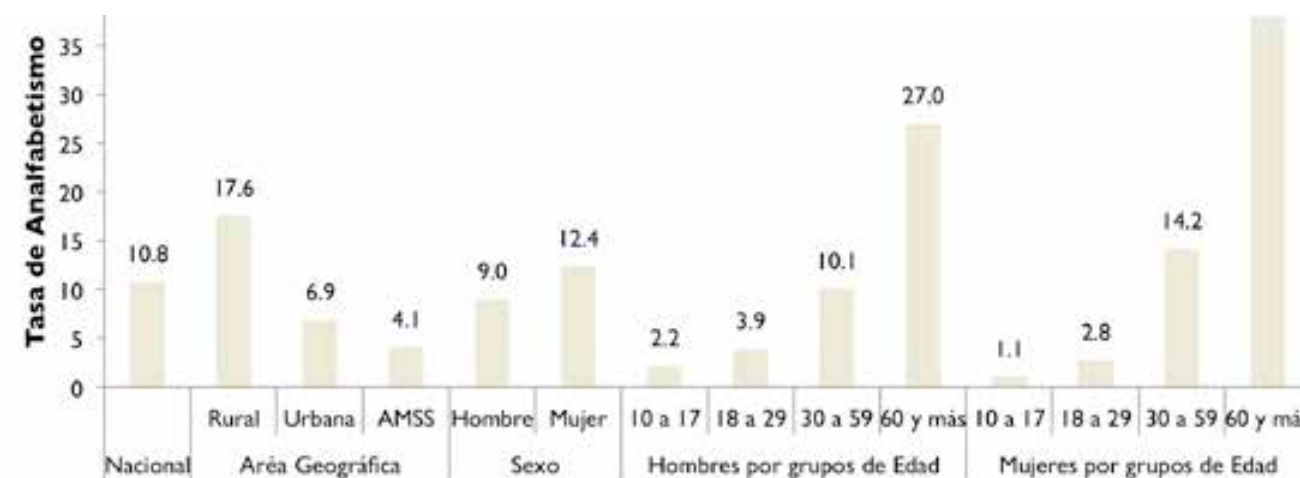


Figura 17. Tasa de analfabetismo de la población de 10 años y más por área, sexo, y grupos de edad por sexo. Fuente: Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples, 2015. Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC), El Salvador

Como se puede observar en los gráficos, las tasas más altas de analfabetismo se encuentran en la zona rural con un incremento de 6.8 puntos con respecto a la tasa de analfabetismo a escala nacional. Además, se tienen mayores brechas en la variable correspondiente al sexo, obteniéndose una diferencia de 3.4 puntos entre hombre y mujer, siendo la tasa de analfabetismo más baja para el sexo masculino. Al analizar los grupos de edad, también se observa una diferencia significativa en las edades igual o mayores a 60 años para ambos sexos. En cuanto a la distribución por departamento, se puede observar que Cabañas, Morazán y La Unión presentan las mayores tasas de analfabetismo (ver figura 18).

¹² Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples, 2015, Dirección General de Estadísticas y Censos, El Salvador (DIGESTYC).



Figura 16. Mapa de áreas de potencial económico con base a su aportación al PIB (%).
Fuente: Elaboración propia MARN

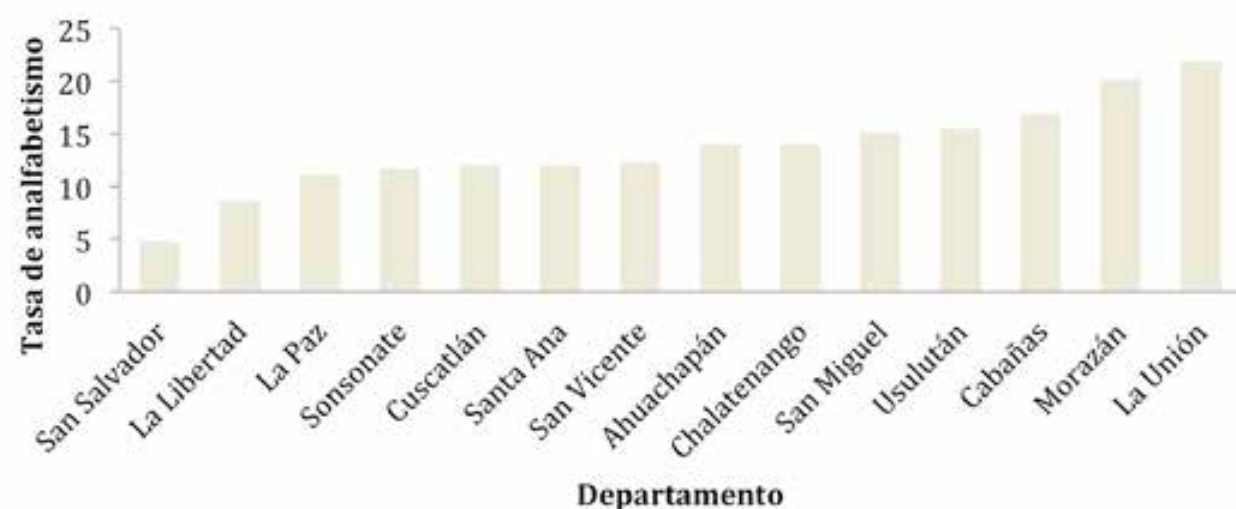


Figura 18. Clasificación de los departamentos de acuerdo a su nivel de analfabetismo
Fuente: Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples, 2015. Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC), El Salvador.

b) Escolaridad promedio de la Población Económicamente Activa

Otra de las variables relacionada a la Población Económicamente Activa (PEA), es el nivel de escolaridad, que se representa en la figura 19, en la que se puede apreciar que, tanto en lo urbano como en lo rural, el promedio de escolaridad es mayor en las mujeres económicamente activas.

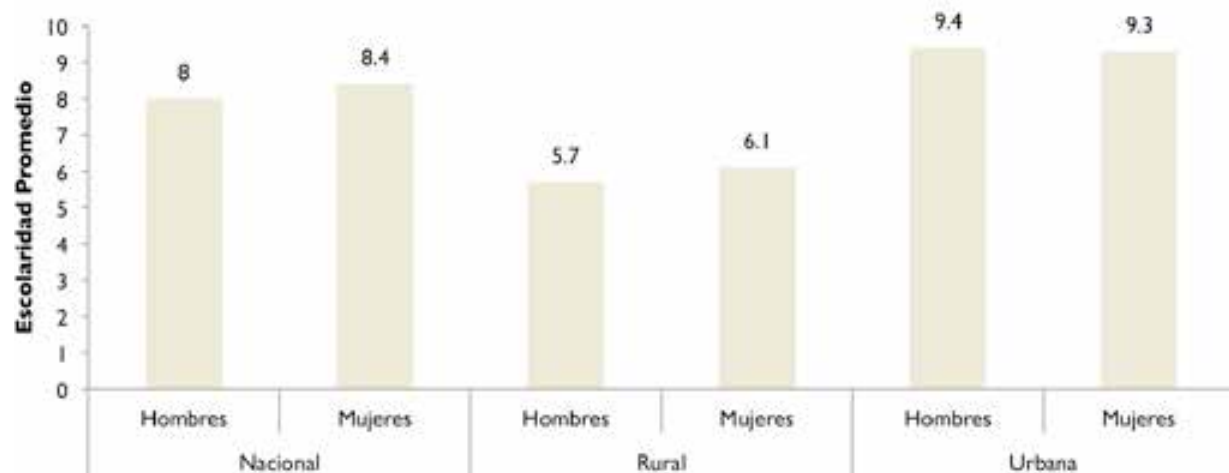


Figura 19. Escolaridad promedio de la Población Económicamente Activa.
Fuente: Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples, 2015. Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC), El Salvador.

3.5 Pobreza en El Salvador¹³

La Ley de Desarrollo y Protección Social de El Salvador (LDPS) define la pobreza como “la privación de los recursos, capacidades y acceso efectivo de las personas para gozar de sus derechos y tener una mejora continua de su nivel de vida” (Art. 5). Con base en esta definición de la pobreza, la LDPS insta la obligatoriedad de medirla desde un enfoque multidimensional (Art. 40); al incorporar varias dimensiones del desarrollo humano a partir del “reconocimiento de los derechos humanos como la expresión de las necesidades, valores, intereses y bienes que, por su urgencia e importancia, han sido considerados fundamentales y comunes a todas las personas” (Asamblea Legislativa de El Salvador, 2014).

En la figura 20 se presentan las dimensiones y sus respectivos indicadores que coadyuvan en la medición de la pobreza. La incidencia, la intensidad y el índice de la pobreza multidimensional son mediciones que procuran aportar un panorama amplio sobre la dinámica de este fenómeno (cuadro 4, figura 21).

La incidencia o tasa de pobreza multidimensional (H) es el porcentaje de hogares pobres multidimensionales en un país o zona geográfica determinada sobre la base de los umbrales definidos de pobreza. Obviamente, lo deseado es que ese porcentaje tienda a la baja con el tiempo. La intensidad de pobreza multidimensional (A) hace referencia a la proporción de privaciones que, en promedio, enfrentan los hogares que son pobres multidimensionales, siendo este un excelente parámetro para medir cuanto ha mejorado la calidad de vida de los hogares que aún están en condición de pobreza. Aunque lo deseable es que los hogares superen el umbral de pobreza, también es cierto que entre menor sea la cantidad de privaciones que experimenten, estarán más cerca de salir de la categoría de pobreza multidimensional.

El Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) surge de la multiplicación de la incidencia de la pobreza con la intensidad de la pobreza, esto implica que, aunque la proporción de hogares en condición de pobreza multidimensional se mantenga estático de un periodo a otro, pero si las privaciones en el segmento pobre han disminuido, el índice de pobreza multidimensional posee la sensibilidad de registrar ese avance. Entre menor sea este índice, se entiende que hay mejores resultados en materia de la lucha contra la pobreza.

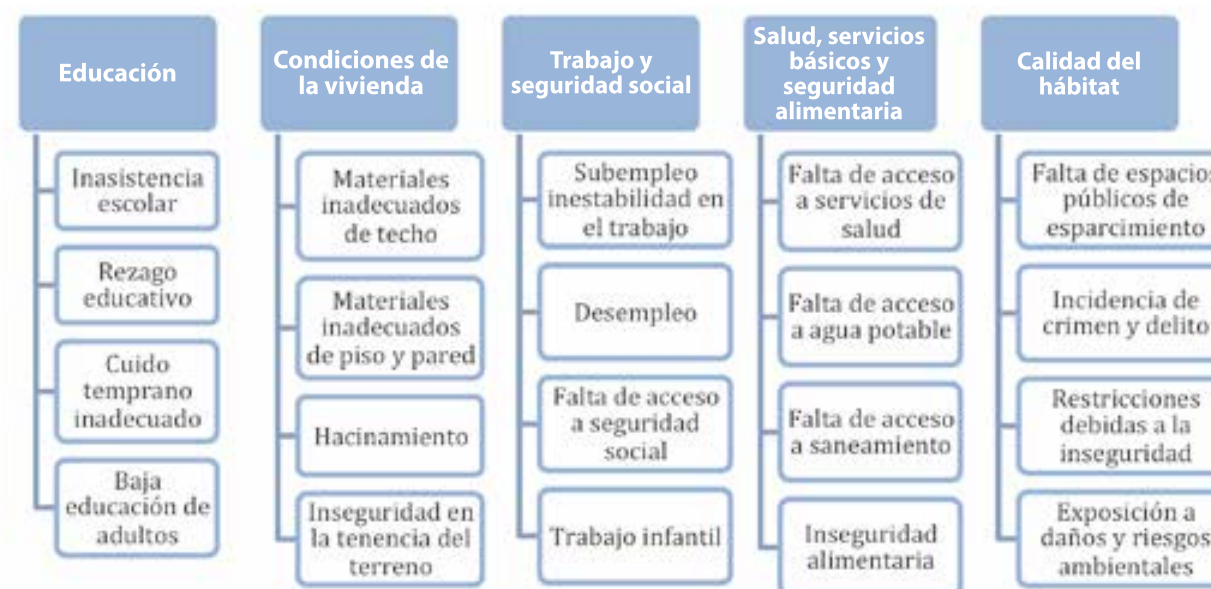


Figura 20. Dimensiones e indicadores seleccionados para la medición multidimensional de pobreza.
Fuente: STPP y MINEC-DIGESTYC (2015). Medición multidimensional de la pobreza. El Salvador. San Salvador: Secretaría Técnica y de Planificación de la Presidencia y Ministerio de Economía, a través de la Dirección General de Estadística y Censos.

¹³ STPP y MINEC-DIGESTYC (2015). Medición multidimensional de la pobreza. El Salvador. San Salvador: Secretaría Técnica y de Planificación de la Presidencia y Ministerio de Economía, a través de la Dirección General de Estadística y Censos.

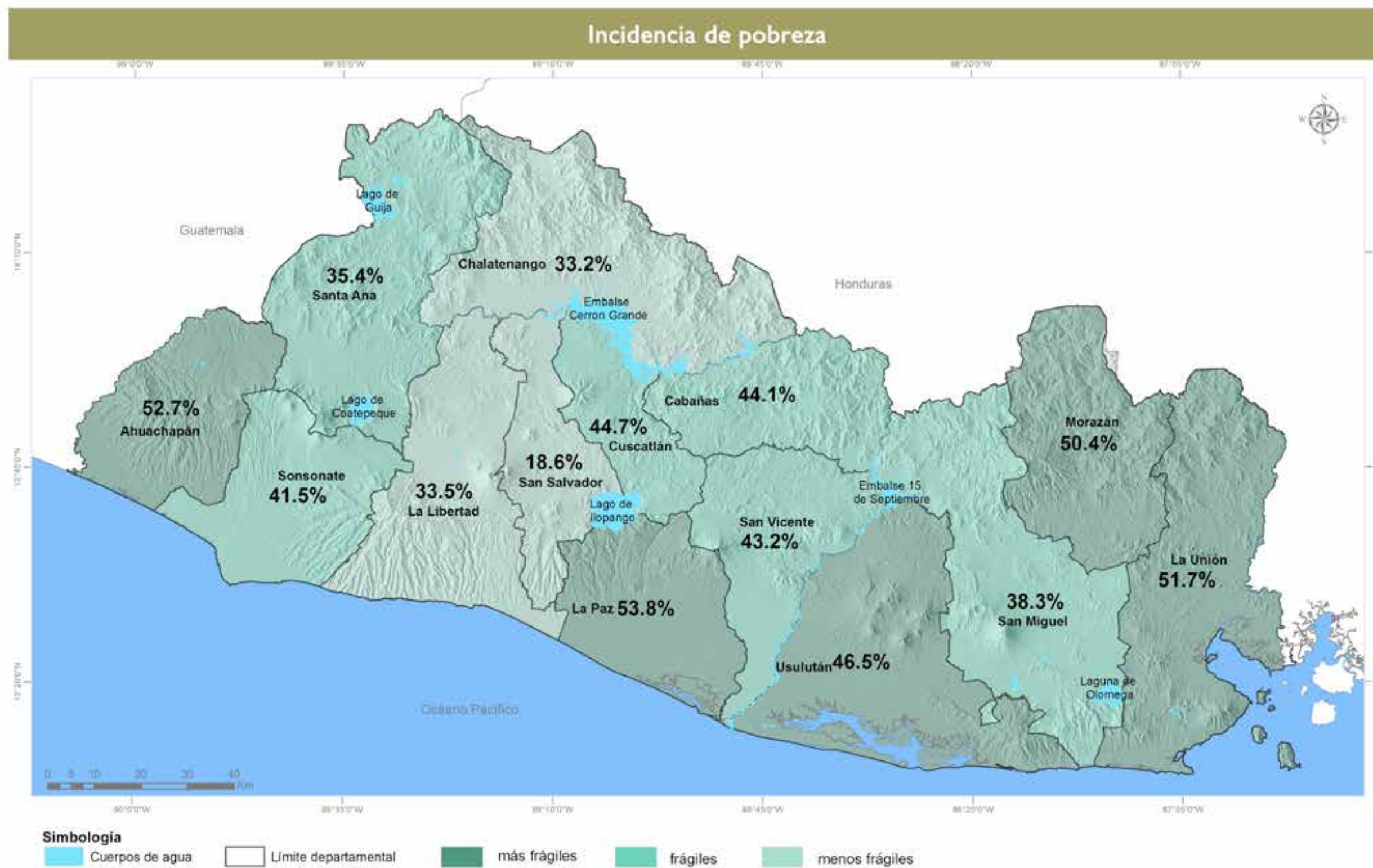


Figura 21. Mapa de incidencia de pobreza a escala nacional por departamento (% de hogares).
 Fuente: STPP y MINEC-DIGESTYC (2015). Medición multidimensional de la pobreza. El Salvador. San Salvador: Secretaría Técnica y de Planificación de la Presidencia y Ministerio de Economía a través de la Dirección General de Estadística y Censos.

Cuadro 4. Incidencia de la pobreza, intensidad de la pobreza e Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)

Departamento	Incidencia de la pobreza (% de hogares)	Intensidad de la pobreza (% de hogares)	Índice de pobreza multidimensional (IPM)
Ahuachapán	52.7	44.6	0.235
Santa Ana	35.4	42.8	0.152
Sonsonate	41.5	43.2	0.179
Chalatenango	33.2	40.8	0.135
La Libertad	33.5	43.5	0.146
San Salvador	18.6	42.5	0.079
Cuscatlán	44.7	42.8	0.191
La Paz	53.8	43.4	0.234
Cabañas	44.1	43.7	0.193
San Vicente	43.2	43.0	0.185
Usulután	46.5	43.3	0.201
San Miguel	38.3	43.5	0.167
Morazán	50.4	43.1	0.217
La Unión	51.7	43.2	0.223
Total	35.2	43.2	0.152

Fuente: STPP y MINEC-DIGESTYC (2015). Medición multidimensional de la pobreza. El Salvador. San Salvador: Secretaría Técnica y de Planificación de la Presidencia y Ministerio de Economía, a través de la Dirección General de Estadística y Censos.

La figura 22 muestra el mapa de pobreza para los 262 municipios, construido por el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL)¹⁴ para establecer un modelo de priorización municipal. El concepto general de pobreza hace alusión a la incapacidad de las personas o las familias para satisfacer necesidades básicas y llenar los estándares de consumo de bienes materiales y socioculturales de la sociedad a la que pertenecen.

La tasa de pobreza se deriva del Método de Línea de Pobreza, que consiste en comparar el ingreso *per capita* con la línea de pobreza, que resulta de calcular el costo de una canasta normativa alimentaria establecida para un adulto equivalente.

Los hogares con ingresos inferiores a esta línea son considerados en pobreza absoluta, porque sus ingresos agregados son incapaces de satisfacer adecuadamente una alimentación que garantice una ingesta nutricional mínima para todos sus integrantes. La línea de pobreza relativa se obtiene, al multiplicar el valor monetario de esta línea de pobreza absoluta por el inverso del peso del gasto en alimentos dentro del gasto total en consumo del primer estrato de hogares, que presente un gasto medio de alimentos superior al calculado para la canasta normativa¹⁵.

3.6 Uso de suelo

La cobertura del suelo en El Salvador¹⁶ se distribuye de la siguiente manera: 33.9 % corresponde a cobertura boscosa (incluyendo café), 41.4 % a suelos agrícolas y cultivos, 3.8 % a suelos urbanos, y 21 % a otros usos (figura 23).

En la figura 24 se presenta el porcentaje de suelos urbanos por departamento. Puede apreciarse que San Salvador posee el mayor porcentaje de suelos urbanos, con un 15.13 % de su territorio identificado con esa cobertura de suelo, seguido por los departamentos de Sonsonate y La Libertad con un 6.35 y 5.9 % respectivamente.

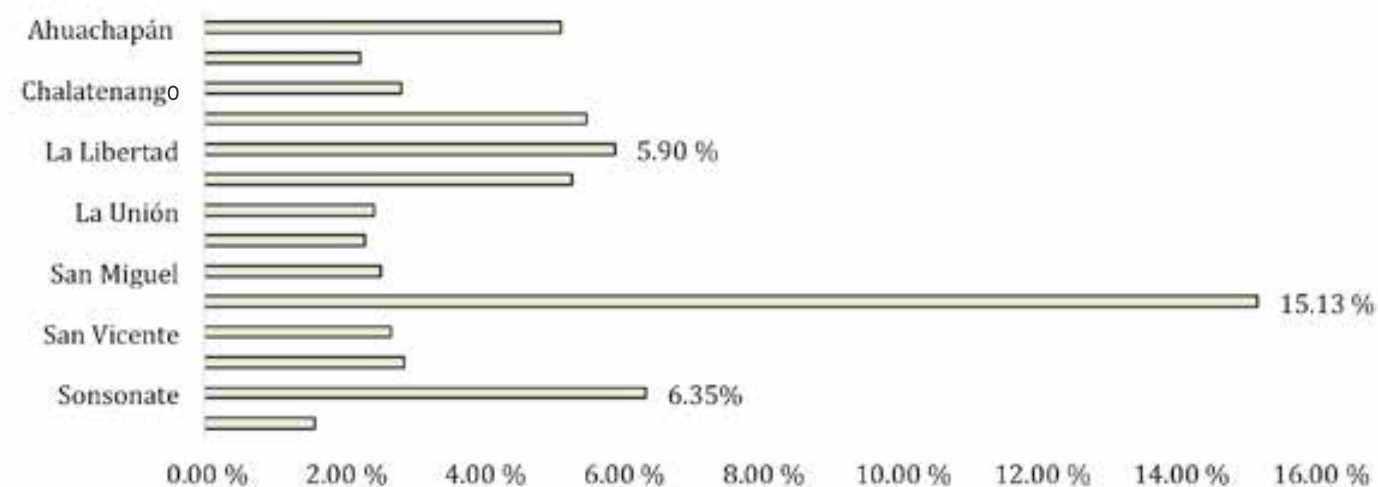


Figura 24. Porcentaje de suelos urbanos por departamento

Fuente: Elaboración propia MARN

3.7 Densidad del tejido urbano en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)

El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), se establece como el centro direccional del país en materia política, financiera, económica y cultural; concentrando el 27 % de la población y el 70 % de la inversión pública y privada; todo lo anterior en un 3 % del territorio nacional¹⁷.

A través del análisis de modelos de rugosidad generados, a partir de la información de relieve de superficie con resolución de un metro y precisión de 20 cms¹⁸, las zonas de uso de suelo urbano¹⁹ y filtros espaciales, se obtiene la densidad del tejido urbano en el AMSS. De 150.78 km² correspondiente al AMSS, las edificaciones ocupan un 35.84 %, de estas edificaciones, el 53.16 % presentan alturas menores a 4 metros; el 43.79 % entre 4 y 12 metros, y solo un 3.05 % son edificaciones mayores a 12 metros de altura (figura 25 y cuadro 5).

Cuadro 5. Densidad del tejido urbano en el AMSS

Rango de altura de Edificaciones (m)	Área (m ²)	Área Km ²	% con respecto al 100 % de las edificaciones	% con respecto al área total en estudio
0-4	28728229.00	28.73	53.16	19.05
4-12	23667203.00	23.67	43.79	15.70
12+	1650366.00	1.65	3.05	1.09
Total	54045798.00	54.05	100.00	35.84

Fuente: Elaboración propia MARN

¹⁴ Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL), Encuesta de hogares y mapas de pobreza. Mapa Nacional de Extrema Pobreza, http://www.fisd.gov.sv/documentos/libromapapobreza/CONTENIDOS/capitulo_II.pdf

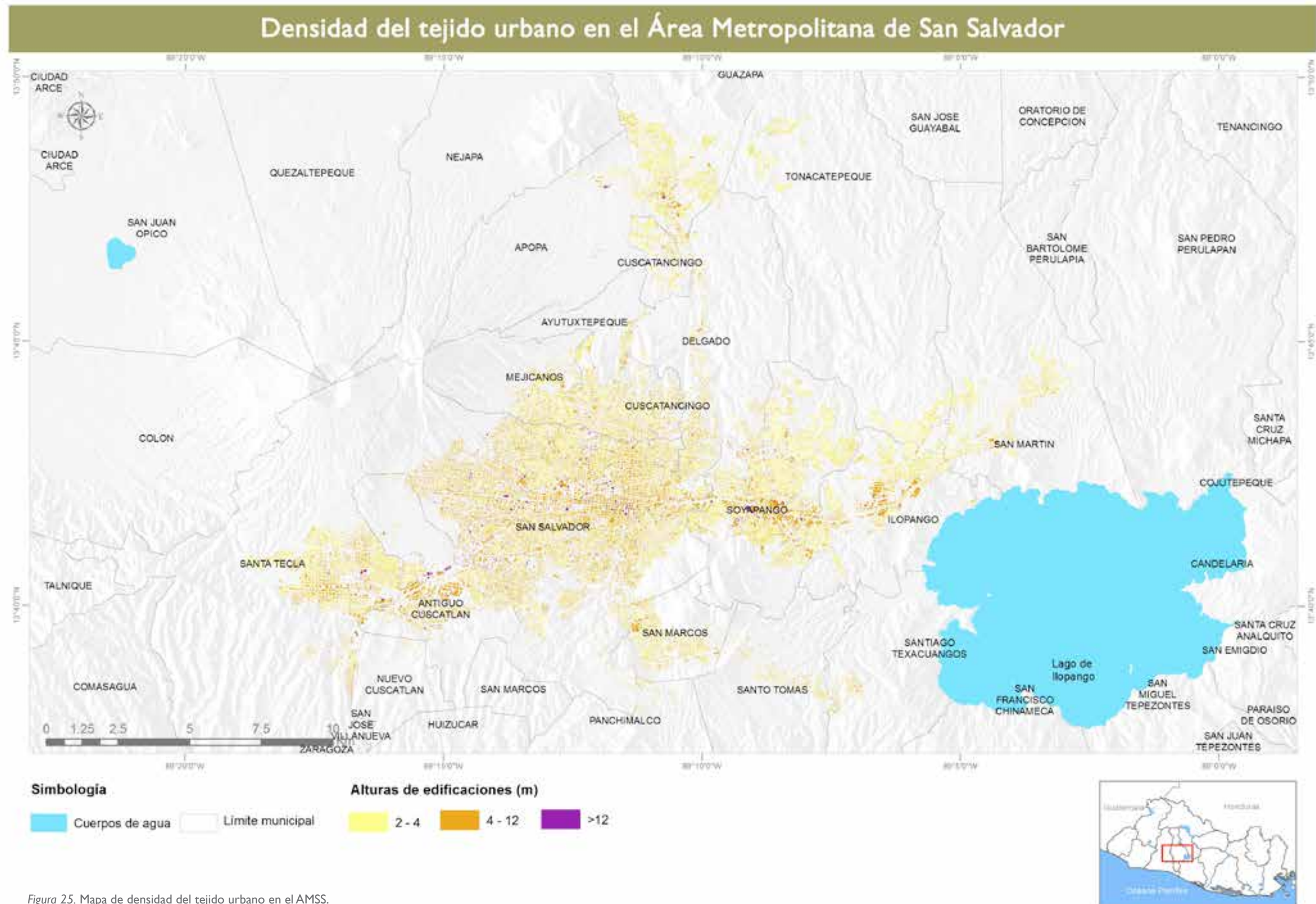
¹⁵ y ¹⁶ MARN, GIZ, UICN, Mapa de cobertura y uso del suelo (1:2500) con base en imágenes Rapid Eye de 2011. Junio, 2016. ¹⁷ IPGARAMSS 2011 ¹⁸ MARN, proyecto Obtención de imágenes LiDAR y fotogrametría para la producción de modelos de elevación digital y de superficies ortofotográficas, 2016 ¹⁹ MARN, GIZ, UICN, Mapa de cobertura y uso del suelo (1:2500) con base en imágenes Rapid Eye de 2011. Junio, 2016 / La Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) Programa El Salvador, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Ministerio de Economía de El Salvador. Mapa de Pobreza Urbana y Exclusión 2010.



Figura 22. Mapa de tasa de pobreza por municipio
 Fuente: Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL), Encuesta de hogares y mapas de pobreza. Mapa Nacional de Extrema Pobreza, http://www.fisd.gov.sv/documentos/libromapapobreza/CONTENIDOS/capitulo_II.pdf



Figura 23. Mapa de cobertura y uso del suelo en El Salvador.
 Fuente: MARN, GIZ, UICN, Mapa de cobertura y uso del suelo (1:2500) con base en imágenes Rapid Eye de 2011. Junio, 2016.



3.8 Asentamientos precarios

El mapa de predominancia de precariedad²⁰ sitúa la pobreza urbana en la cartografía de El Salvador a través de tres índices: marginalidad residencial, exclusión social y estratificación socioeconómica. En la figura 26 se presenta las condiciones de pobreza o predominancia de precariedad que, del total de las 3,400 áreas precarias, el 21.79 % se clasificó con predominancia de precariedad extrema; el 31.26 % en precariedad alta; el 27.59 % en precariedad moderada; y el 19.35 % en precariedad baja. Se indica que el 53.05 % de ellas presentan una predominancia de precariedad extrema y alta.

3.9 Infraestructura de importancia estratégica

La infraestructura de importancia estratégica es aquella considerada de mayor importancia en el país durante y después de un desastre, siendo prioritaria para la atención a la emergencia y para la recuperación. La permanencia de la infraestructura de importancia estratégica es vital para la continuidad de la actividad económica y social así como para minimizar impactos socioeconómicos secundarios producto de los desastres. Dentro de este tipo de infraestructura se incluye las vías de comunicación y transporte (red vial principal y secundaria), transmisión eléctrica, infraestructura de potabilización y distribución de agua, y servicios de salud, educación y gobierno.

3.10 Geología

El territorio salvadoreño, desde el punto de vista geológico, está formado por rocas ígneas y sedimentarias. Las rocas ígneas cubren más del 90 % del país. Por su composición química y mineralógicas, estas rocas se clasifican en efusivas riolíticas, dacíticas, andesíticas y basálticas, así como de materiales piroclásticos en una escala mucho mayor. También se encuentran rocas ígneas de carácter intrusivo, clasificadas como: granitos, granodioritas, monzonitas y dioritas.

En cuanto a las rocas sedimentarias, estas son de origen marino y orgánico. Las rocas sedimentarias marinas se localizan en el extremo noroeste del país, al norte de los departamentos de Santa Ana y Chalatenango. Este tipo de rocas se clasifican, en su mayoría, como calizas, conglomerados de cuarzo y areniscas. Las rocas sedimentarias orgánicas se sitúan en diferentes partes del país, formando generalmente pequeños depósitos de diatomita y lignitos.

La mayoría de las rocas ígneas se formaron en los períodos Terciario y Cuaternario. Las más antiguas son las rocas sedimentarias marinas, las cuales se formaron en el Cretácico Superior, es decir, que su edad puede oscilar entre 65 y 145 millones de años. Todas estas rocas hacen de El Salvador un país de edad geológica relativamente joven.

3.11 Geomorfología

El Salvador se encuentra en el norte de Centroamérica, en el margen activo del noroeste de la placa Caribe, enmarcado en el límite entre las placas del Coco y Caribe. Estas placas se caracterizan por la subducción de la primera bajo la segunda a una velocidad que supera los 70 mm/a, es uno de los países centroamericanos con un régimen tectónico más complejo. Esta convergencia se traduce, a la vez, en la existencia de un sistema de fallas de desgarre en el continente, alineadas con la cadena volcánica la cual presenta una importante actividad. La velocidad de la Zona de Falla de El Salvador (ZFES), considerada la más grande del sistema de fallas, que atraviesa el país de este a oeste, alcanza los 14 mm/a.²¹

El Salvador está constituido por cinco unidades geomorfológicas con un marcado control tectónico en su origen, tomando en cuenta que su desarrollo está condicionado por una combinación entre la tasa de subducción elevada y una intensa actividad sísmica volcánica. Cada una de las unidades forma una banda de orientación este-oeste que se extiende por el país paralelamente a la costa.

La unidad situada más al norte está constituida, esencialmente por rocas plutónicas del Terciario que generan el relieve más montañoso y forman la denominada Montaña Fronteriza o Cordillera del Norte. Al sur de estas montañas se encuentra el Valle Central que forma el área central del país. El relieve en esta zona se caracteriza por alcanzar pendientes de entre 30 y 50 %. Al sur del Valle se elevan los volcanes cuaternarios, formando el eje volcánico que atraviesa el país de este a oeste, constituyendo el arco volcánico salvadoreño. En este arco se encuentran siete volcanes activos, tres de los cuales entraron en erupción en los últimos cien años: volcanes de Santa Ana, San Salvador y San Miguel. Estos volcanes pertenecen al denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, que se extiende desde el sur de México hasta Costa Rica.

Al sur de la cadena se levantan tres relieves que conforman la cadena costera. Estos relieves son: Tacuba, en el borde oeste y su límite con Guatemala; la cordillera de El Bálsamo, situada al suroeste de San Salvador; y la cordillera de Jucuarán, hacia el extremo sur-oriental del país. Entre estas cordilleras existen dos planicies costeras, la mayor de las cuales se sitúa en el centro y este del país y corresponde a la desembocadura del río Lempa.

El eje volcánico activo en El Salvador se dispone en forma paralela a la Fosa Mesoamericana. En el oeste del país, se encuentran los estratovolcanes Izalco y Santa Ana, al igual que la caldera Coatepeque. Estos edificios volcánicos son la fuente de *ignimbritas cuaternarias* que se extienden hacia el norte en el arco volcánico. El volcán de San Salvador, próximo a la capital, lo integran varios centros eruptivos cuaternarios, incluyendo el gran cráter de El Boquerón.

La caldera de Ilopango, aproximadamente en el centro de El Salvador, forma un gran lago creado por sucesivos colapsos del edificio que dieron lugar a la emisión de cantidades importantes de tefras depositadas en el centro del país. Al sureste de la caldera de Ilopango se encuentra el volcán de San Vicente, un complejo de dos estratoconos. El volcán de San Miguel, compuesto principalmente por basaltos, se encuentra al este de El Salvador y es el más activo del país. La costa de El Salvador, al sur del eje volcánico, consiste en una gran llanura aluvial con buzamiento hacia el océano Pacífico, formada por clastos y sedimentos volcánicos arrastrados de las zonas altas, depositados por los ríos y está poco afectada por fallas.²²

²⁰La Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) Programa El Salvador, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Ministerio de Economía de El Salvador. Mapa de Pobreza Urbana y Exclusión 2010.

²¹Staller Vázquez, Alejandra, Modelización de las deformaciones corticales en El Salvador (Centroamérica) mediante la integración de datos geodésicos (GPS), geológicos y sísmológicos. Universidad Politécnica de Madrid, 2014.

²²Modificado de Román Hernández Rey, Análisis de deformaciones tectónicas geodésicas asociadas a la zona de falla de El Salvador: contribución a los estudios de riesgo sísmico. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Curso 2011 – 2012 y Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. El Salvador, Centroamérica. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Ibérica de Estudios e Ingeniería, S.A. Marzo, 2004.



Figura 26. Mapa de predominancia de precariedad
 Fuente: La Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) Programa El Salvador, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Ministerio de Economía de El Salvador. Mapa de Pobreza Urbana y Exclusión 2010.



Figura 27. Mapa de infraestructura de importancia estratégica: servicios
 Fuente: Elaboración propia a partir de datos oficiales del Centro Nacional de Registros (CNR)



Figura 28. Mapa de infraestructura de importancia estratégica: transporte
Fuente: Elaboración propia a partir de datos oficiales del Centro Nacional de Registros (CNR)

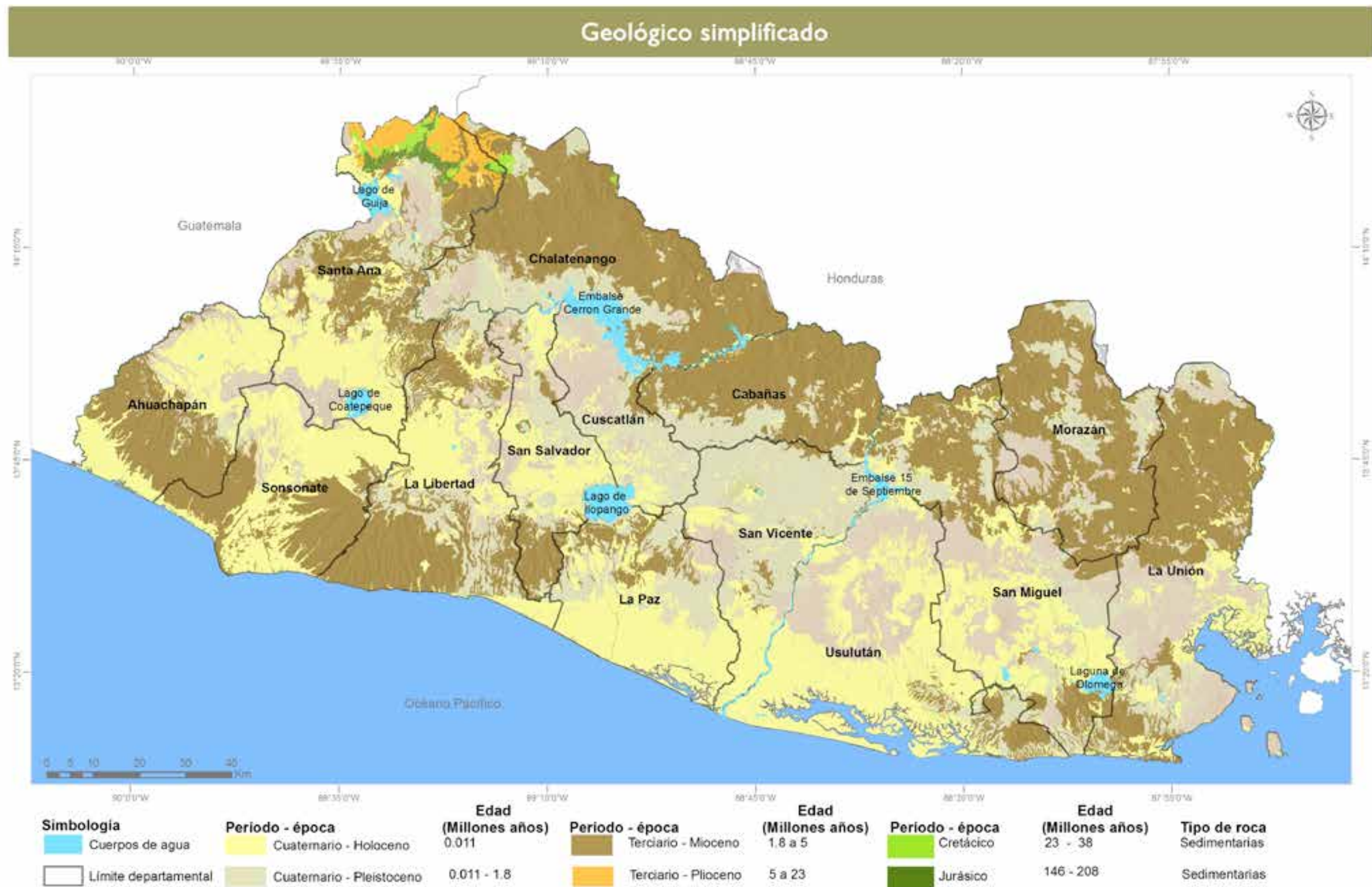


Figura 29. Mapa geológico nacional simplificado
 Fuente: Modificado de Mapa Geológico de la República de El Salvador. Elaborado por la Misión Geológica Alemana en El Salvador en colaboración con el centro de Investigaciones Geotécnicas, 1967 - 1971.

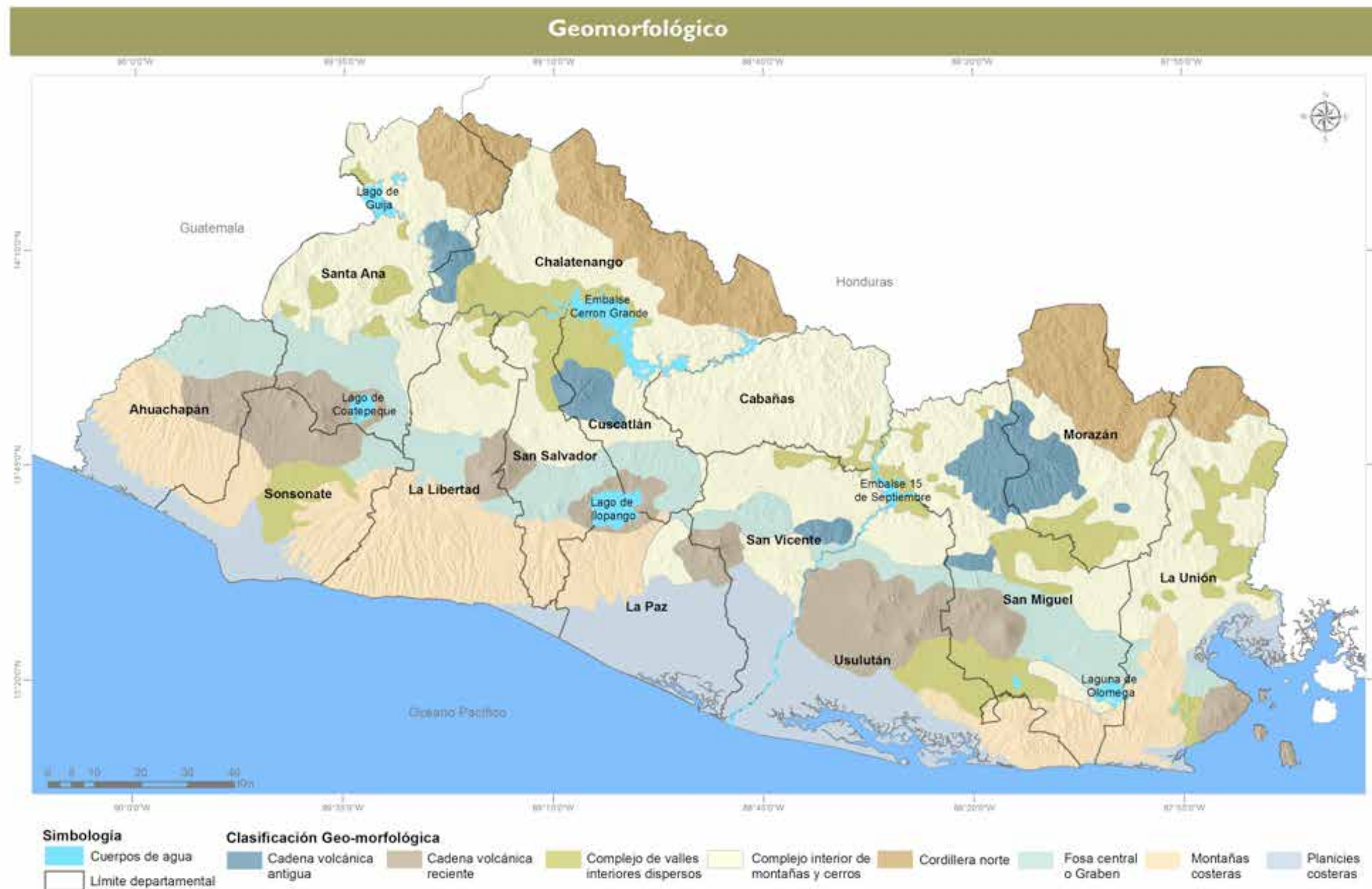


Figura 30. Mapa geomorfológico nacional

Fuente: Modificado de Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. Ibérica de estudios e ingeniería (IBERINSA), Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador, 2004.

3.12 Clima

El Salvador se ubica geográficamente en lo que se conoce como el cinturón tropical de la Tierra, dentro de la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT). La influencia de las corrientes marinas del océano Pacífico al sur, y lo pequeño de su territorio, hacen que la mayoría de parámetros climáticos no presenten grandes oscilaciones durante el año. La longitud del día es casi la misma durante todo el año. La variación de la temperatura anual es relativamente pequeña, se incrementa en los meses de marzo y abril, y disminuye en los meses de diciembre y enero. Durante los meses de octubre a diciembre, las condiciones del clima son influenciadas por el viento del noreste y, ocasionalmente, por el viento rafagoso del norte, que ingresa aire fresco y cuyo origen se da en las regiones polares de Norteamérica. Sin embargo, son vientos que se calientan, en gran medida, cuando en su camino hacia Centroamérica atraviesan por el golfo de México.

Con el flujo del este, se inicia después de un cierto período de transición, la época lluviosa en la zona central del país. La actividad lluviosa suele empezar, primero en el oeste y en el norte del país, y abarca unas semanas más tarde la zona oriental. La época de lluvia se desarrolla de mayo a octubre, con una disminución entre julio y agosto, y puede presentar períodos secos con lluvias nocturnas. Estos períodos secos se denominan canículas y constituyen un serio problema para la agricultura en la zona oriental, valles interiores del noroeste y zona costera del suroeste.

El país se clasifica en tres zonas climáticas según Koppen, Sapper y Larer.

1) Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente (200 – 800 msnm), incluye la zona costera y algunos valles. El promedio de la temperatura disminuye con la altura y oscila entre 27 a 22 °C en las planicies costeras, y de 28 a 22 °C en las planicies internas. En esta zona se ubican las principales ciudades: Santa Ana, San Salvador y San Miguel.

2) Sabana Tropical Calurosa o Tierra Templada (800 – 1200 msnm), identificadas por estar en las faldas de zonas montañosas y los valles o planicies de altura. El promedio de la temperatura disminuye con la altura de 22 a 20 °C en las planicies altas, y de 21 a 19 °C en las faldas de las montañas.

3) Clima Tropical de las Alturas (1200 – 1800 msnm), o tierra templada, planicies altas y faldas de montañas. El promedio de la temperatura oscila entre 20 a 16 °C en planicies altas y valles, de 21 a 19 °C en faldas de montañas, y de 16 a 10 °C en valles y hondonadas.

4) Clima Tropical de las Alturas (1800- 2700 msnm), tierra fría, picos y cumbres de montañas o volcanes. El promedio de la temperatura oscila por debajo de los 19 °C, muy ocasionalmente alcanza temperatura cercana a cero grados. En esta zona se localiza la parte norte de los departamentos de La Unión, Morazán, San Miguel, Cabañas, Chalatenango y Santa Ana, caracterizados por terrenos semiplanos, muy accidentados, con suelos arcillosos, bosques secos caducifolios y pastizales en las planicies, cultivos anuales y pinares en las montañas y los valles en altura.

3.13 Precipitación

La época lluviosa abarca desde mayo a octubre y la seca de noviembre a abril, y entre ellas se presentan períodos de transición. En la época lluviosa la distribución es bimodal y, en la mayoría de los casos, el registro de lluvia máximo primario es en septiembre (máximo cercano a los 350 mm) y el máximo secundario en junio (325 mm aproximadamente). En el período lluvioso, los meses de julio y agosto muestran una disminución importante de precipitación, mostrándose con claridad en la zona costera y oriental del país, no así en algunos puntos de la zona norte o sobre la cordillera sur.

Los valores promedios anuales de lluvia oscilan entre 1200 mm en los alrededores de la frontera noroccidental con Guatemala, y 2800 mm en las partes altas de la cordillera del norte y sierras sur-occidentales, alcanzando promedios nacionales de 1863 mm (serie 1981-2010). La costa y los valles interiores del oriente del país se consideran

relativamente secos, con valores de 1600 mm de precipitación anual. Sierras y volcanes del sur occidente presentan cantidades arriba de los 2400 mm.

El 85 % del total de la lluvia proviene de chubascos acompañados de tormentas eléctricas, y el restante 15 % de temporales que se presentan en la parte sur del país. Los chubascos (lluvia de corta duración), característicos de la época lluviosa, generalmente tienen un promedio de una hora y 20 minutos, y alcanzan intensidades máximas mayores a 2 mm por minuto. La generación de lluvia de los chubascos es variable, pero pueden ocurrir máximos de hasta 220 mm en solo uno. Los chubascos son producidos por perturbaciones en la corriente del este, favorecidas por la orografía, los sistemas locales de viento o transporte de aire húmedo desde el Pacífico.

En los meses de junio a septiembre, incluso octubre y noviembre, el acercamiento de la Zona de convergencia intertropical (ZCIT) favorece la formación de perturbaciones que pueden cubrir todo el país. Estas condiciones meteorológicas conocidas como temporales, producen precipitaciones continuas de poca intensidad, pero generan grandes cantidades de lluvia. La zona más afectada por este tipo de eventos es el sur del país, extendiéndose al oriente, hacia el valle del río Torola.

De la distribución interanual, se cuenta con registros que, la disminución de la lluvia durante algunos años se observa durante eventos El Niño Oscilación del Sur (ENOS), en su fase cálida o El Niño, en especial los fuertes y los muy fuertes.

3.14 Cuencas hidrográficas

El territorio salvadoreño es drenado por, aproximadamente, 590 ríos y riachuelos a lo largo de 58 cuencas que desembocan al océano Pacífico. El 58 % del territorio nacional corresponde a cuencas compartidas: la cuenca trinacional del río Lempa, cuya extensión en El Salvador corresponde al 50 % del país y dos cuencas binacionales: río Paz, compartida con Guatemala y río Goascorán, compartida con Honduras. De acuerdo con la extensión de la cuenca y sus caudales, se clasifican en: a) cuenca del río Lempa y sus afluentes; b) ríos de caudales y longitudes medias: ríos Grande de San Miguel, Paz y Goascorán con sus afluentes y, c) ríos de corto recorrido con desembocadura directa al océano Pacífico. Asimismo, las cuencas de similares características hidrológicas se agrupan en 10 regiones hidrográficas (cuadro 6, figura 34)

La región hidrográfica del río Lempa y sus afluentes es la más importante por su extensión y mayor capacidad de generación y almacenamiento del recurso hídrico.

Cuadro 6. Regiones hidrográficas de El Salvador

Región hidrográfica	Área total (kms ²)	El Salvador (km ²)	Honduras (km ²)	Guatemala (km ²)
Lempa	17,935.50	10,200.93 (56.88 %)	5180.40 (28.88 %)	2,554.17 (14.24 %)
Paz	2,163.89	893.95 (41 %)	-	1,269.94 (59 %)
Cara Sucia – San Pedro	768.69	768.69	-	-
Grande de Sonsonate – Banderas	769.17	769.17	-	-
Mandinga – Comalapa	1,302.91	1,302.91	-	-
Jiboa – Estero de Jaltepeque	1,638.85	1,638.85	-	-
Bahía de Jiquilisco	916.79	916.79	-	-
Grande de San Miguel	2,396.70	2,396.70	-	-
Sirama	1,064.30	1,064.30	-	-
Goascorán	2,455.14	1,082.56 (44 %)	1,372.58 (56 %)	-

Fuente: Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en zonas prioritarias – MARN (2017).



Figura 31. Mapa de zonas climáticas de El Salvador
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 32. Mapa de precipitación promedio anual
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 33. Mapa de intensidades de lluvia
Fuente: Elaboración propia MARN

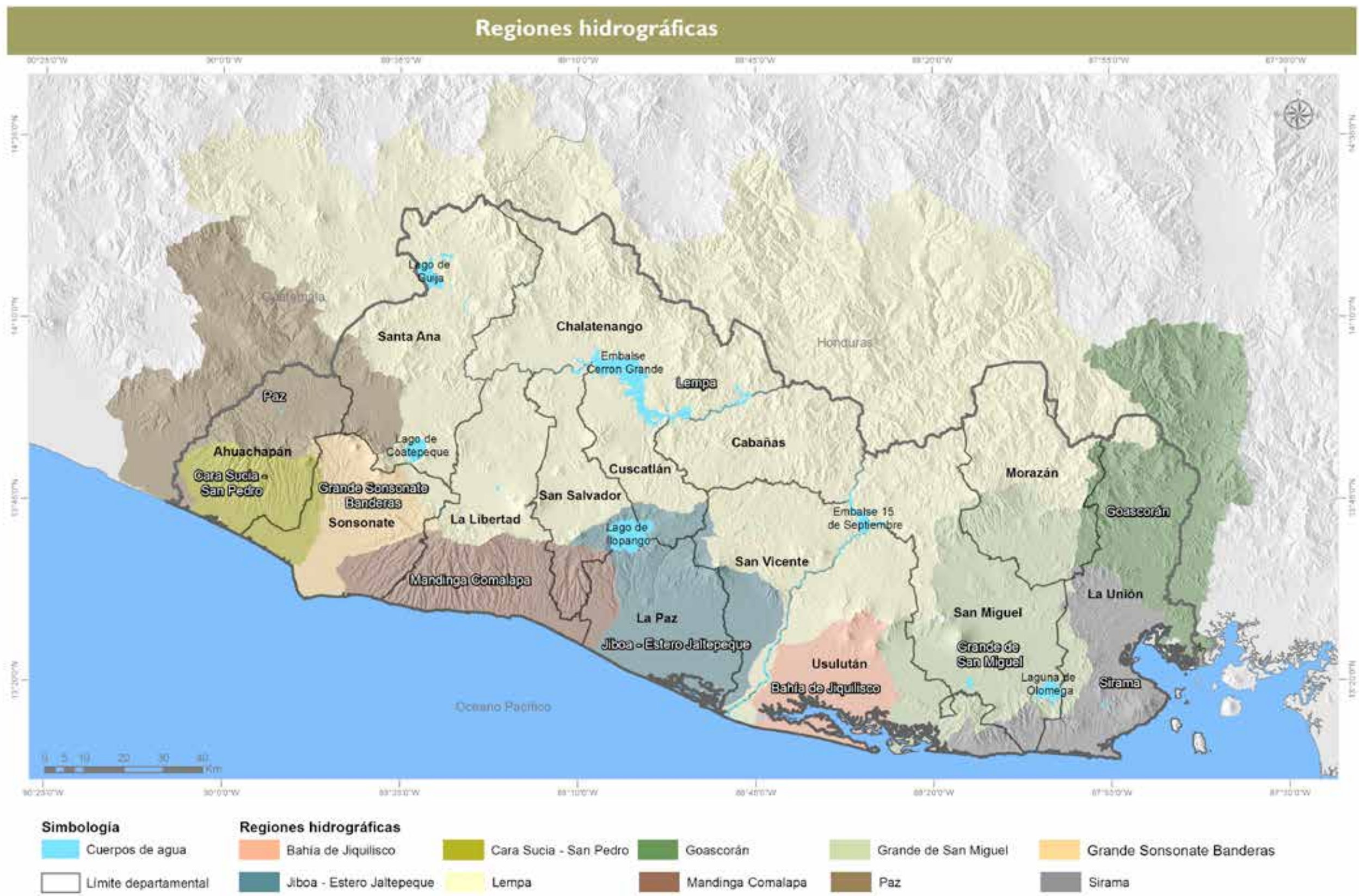


Figura 34. Mapa de regiones hidrográficas de El Salvador
Fuente: Elaboración propia MARN

4. Amenazas naturales en El Salvador

Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades

Amenazas naturales

4.1 Amenaza sísmica

4.1.1 Marco sísmo tectónico

Los países de América Central están ubicados dentro de los límites de las placas del Caribe, Norteamérica, Cocos y Nazca; una región donde los movimientos relativos de las placas, que varían de 2 a 9 cm/año, están acompañados por vulcanismo activo y alta sismicidad superficial e intermedia.²³

El Salvador se encuentra en el norte de Centroamérica, en el margen activo del noroeste de la placa Caribe. Enmarcado en el límite entre las placas de Cocos y Caribe, caracterizada por la subducción de la primera bajo la segunda a una velocidad que supera los 70 mm/a, es uno de los países centroamericanos con un régimen tectónico complejo²⁴. Esta convergencia se traduce, a la vez, en la existencia de un sistema de fallas de desgarre en el continente, alineadas con la cadena volcánica por medio de una importante actividad. La velocidad en la Zona de Falla de El Salvador (ZFES), la de mayor tamaño de este sistema de fallas y que atraviesa el país de este a oeste, alcanza los 14 mm/a y es responsable de terremotos frecuentes, algunos de elevada magnitud.²⁴

La convergencia entre las placas de Cocos y del Caribe a lo largo de la costa pacífica de Centroamérica se acomoda, entonces, principalmente a dos procesos: a) La subducción hacia el NE de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe a una velocidad estimada de 70-85 mm/año, y el movimiento en dirección noroeste paralelo a la trinchera del bloque antearco a una tasa de 10-15 mm/año²⁵. (figura 35 y 36)

Los mecanismos focales indican fallas inversas a profundidades entre los 15 y 40 km y a profundidades mayores; sismos intraplaca, que generalmente son de fallas normales. A partir de la sismicidad histórica se conoce que, sismos con magnitudes de hasta Mw 8.0, pueden ocurrir en esta zona.

El arco volcánico es la segunda zona sismogeneradora y responsable de la mayoría de los sismos destructores. Eventos asociados a esta zona son, generalmente, de magnitudes moderadas (inferiores a M 6.8) pero de profundidades someras (5-20 km). Sismos importantes (Chinameca, 1951; San Salvador, 1965 y 1986, y San Vicente, 2001) han sido generados por fallas transversales. Otras zonas con actividad sísmica importante son el sistema de fallas de Motagua y Chixoy Polochic en Guatemala (generadora del sismo más destructivo en la historia de América Central, Guatemala 1976, MS 7.5) y la depresión de Honduras situada en la parte central del territorio hondureño.²⁶

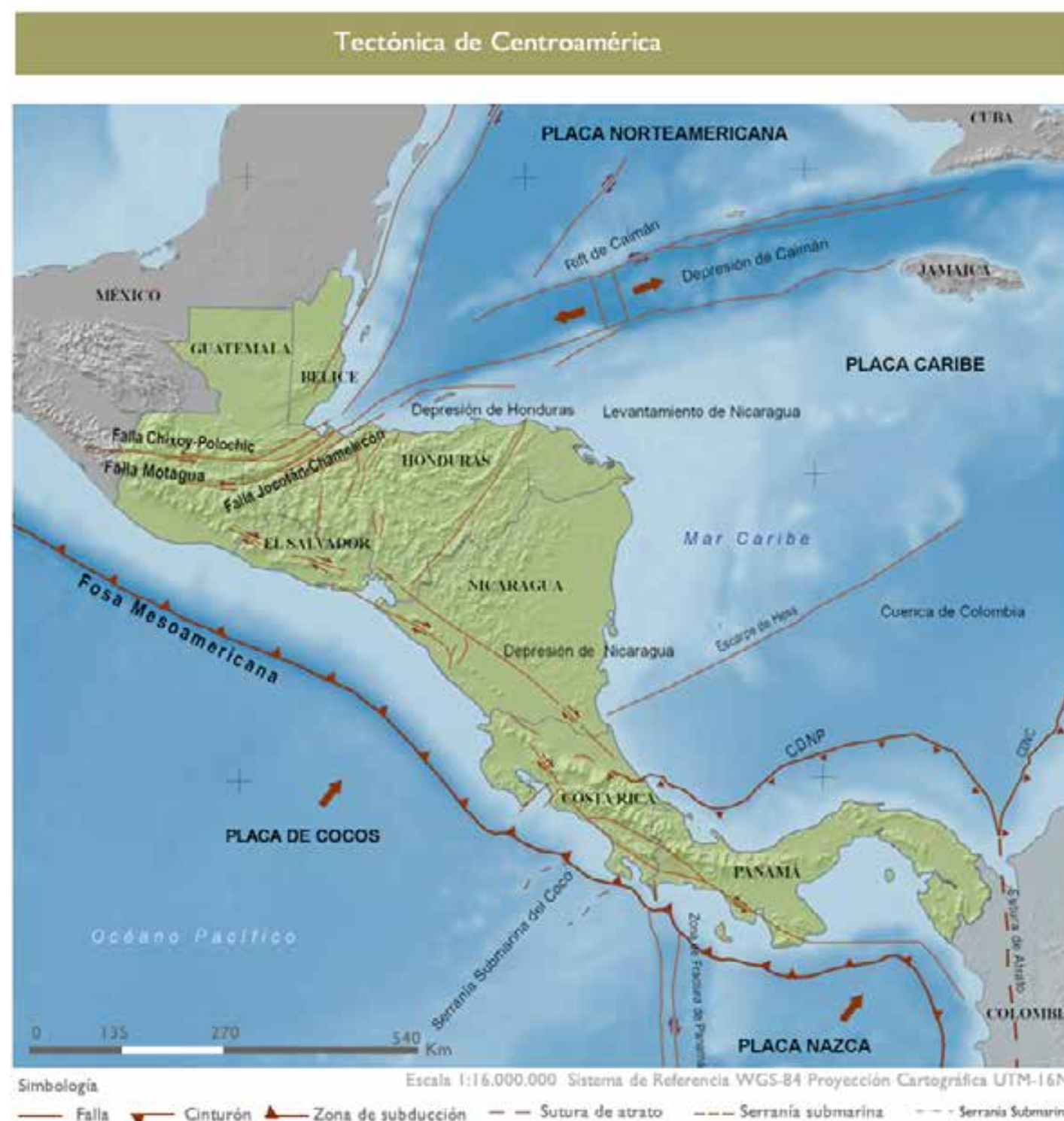


Figura 35. Mapa de tectónica de Centroamérica

Fuente: Benito, M.B., Lindholm, C., Camacho, E., Climent, A., Marroquín, G., Molina, E., Rojas, W., Talavera, E., Escobar, J.J. (2009). Marco Sismotectónico. En Benito, M.B. y Torres, Y. (Eds.), Amenaza sísmica en América Central. Madrid: Entinema.

²³ Molina, E., Marroquín, G., Escobar, J., Talavera, E., Rojas, W., Climent, A., Camacho, E., Benito, B., Lindholm, C. (2008), Evaluación de la Amenaza Sísmica en Centroamérica, NORSAR Informe de Proyecto RESIS II

²⁴ Staller V., Alejandra, Modelización de las deformaciones corticales en El Salvador (Centroamérica) mediante la integración de datos geodésicos (GPS), geológicos y sismológicos. Universidad Politécnica de Madrid, 2014.

²⁵ Hernández-Moreno, C. (2011) Análisis Morfotectónico de las deformaciones Cuaternarias de la Cordillera de Jucuarán – Intipucá (El Salvador), Tesis para optar al grado de Máster en Geología Ambiental y Recursos Geológicos, Especialidad en Procesos y Dinámica de la Litosfera, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid

²⁶ Marroquín G. y Benito, B (2009), Evaluación de la Amenaza Sísmica en El Salvador. Informe nacional derivado del estudio RESIS II

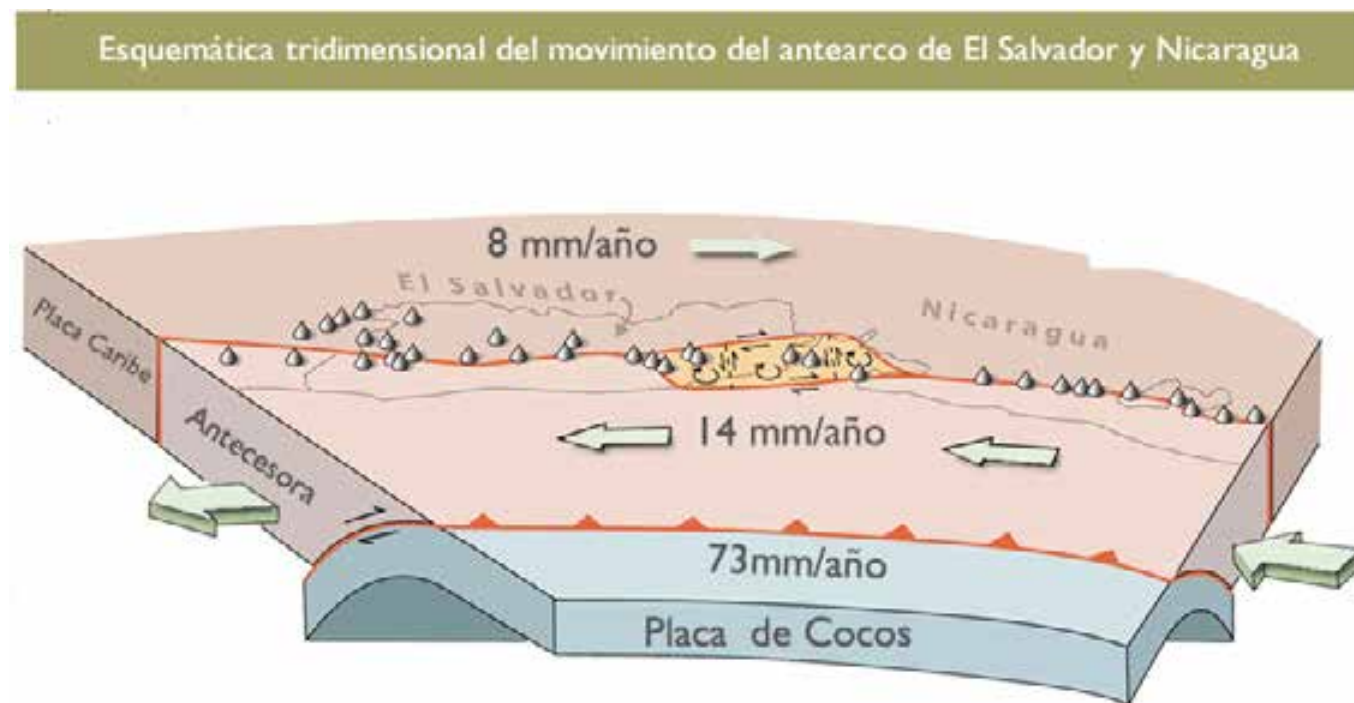


Figura 36. Esquemática tridimensional del movimiento del antearco de El Salvador y Nicaragua

Fuente: Alvarado, D., Demets, C., Tikof, B., Hernández, D., Wawrzyneic, T.F., Pullinger, C., Mattioli, G., Tuner, H.L., Rodriguez, M. & Correa-Mora, F. (2011) Forearc motion and deformation between El Salvador and Nicaragua: GPS, seismic, structural, and paleomagnetic observation. *Lithosphere*, 3(1): 3-21.

Zonas de enjambre sísmicos en El Salvador

En el arco volcánico es común registrar sismicidad en forma de enjambres sísmicos. De acuerdo a las características de los eventos, los enjambres pueden agruparse en 12 zonas. Las principales zonas y sus características se detallan en el cuadro 7 y la figura 37.

Cuadro 7. Zonas de enjambres sísmicos por fallas locales en El Salvador

Zona	Municipios	Magnitud máxima (1900-2009)	Último sismo que ha causado daños
Z1	San Lorenzo, Atiquizaya, Turín	5.8 M _S (1937)	20.12.2006 (5.0 M _W)
Z2	Juayúa, Apaneca, Los Naranjos	5.1 M _W (2007)	03.05.2009 (4.3 M _L)
Z3	El Coco, Candelaria de la Frontera, El Porvenir, Chalchuapa	4.1 M _L (2006)	Ninguno
Z4	Armenia, Sacacoyo, Ateos, Ciudad Arce, Lourdes	6.5 M _S (1917)	07.06.1917 (6.5 M _S)
Z5	San Juan Opico, San Matías, San Pablo Tacachico	3.5 M _C (2001)	Ninguno
Z6	San Salvador, Nueva San Salvador, Antiguo Cuscatlán, San Marcos, Santo Tomás, Santiago Texacuangos, Soyapango, Ciudad Delgado, Mejicanos, Cuscatancingo, Ayutuxtepeque	6.4 M _S (1917)	10.04.2017 (5.1 M _L)

Z7	Ilopango, San Martín, San Miguel Tepezontes, San Juan Tepezontes	4.7 M _W (2001)	Ninguno
Z8	San Emigdio, Candelaria, San Ramón, Santa Cruz Analquito, Paraíso de Osorio, Santa María Ostuma, San Pedro Nonualco, Guadalupe, Mercedes de la Ceiba, Jerusalén, Verapaz, Tepetlán, San Cayetano Istepeque, San Esteban, Catarina, Apastepeque, San Vicente, Tecoluca	6.6 M _W (2001)	13.02.2001 (6.6 M _W)
Z9	Berlín, Tecapán, California, Alegría, Santiago de María, Mercedes Umaña, El Triunfo, Nueva Granada, San Buenaventura, Jucuapa, Chinameca, Nueva Guadalupe, Lolotique.	6.2 M _S (1951)	25.04.2006 (4.8 M _b)
Z10	Zona del volcán de San Miguel	3.5 M _C (1995)	Ninguno
Z11	El Carmen, Conchagua, La Unión	4.8 M _b (1991)	23.02.1991 (4.8 M _b)
Z12	Islas del golfo de Fonseca	6.2 M _S (1982)	03.04.1999 (5.9 M _W)

Notas:

1. Se detallan los municipios más cercanos a los epicentros sísmicos; sin embargo, poblaciones dentro de la zona o zonas vecinas pueden ser afectadas durante la ocurrencia de un sismo.

2. M_S: magnitud de ondas superficiales, M_W: magnitud momento, M_L: magnitud local, M_b: magnitud de ondas de cuerpo, M_C: magnitud duración. 3. Las profundidades focales características de estos enjambres sísmicos son menores a 10 km.

Fuente: Elaboración propia MARN

4.1.2 Sismicidad histórica

El Salvador sufre un terremoto destructivo una vez por década en promedio y San Salvador es, probablemente, la ciudad en América que con más frecuencia es dañada por los sismos²⁷. La ciudad fue gravemente afectada el 3 de mayo de 1965 por un sismo de M_S 6.0 y el 10 de octubre de 1986 por uno de M_W 5.7. El terremoto ocurrido en 1965 dejó aproximadamente 120 muertos, mientras que el de 1986, a pesar de ser de menor magnitud, se tradujo en 1,500 muertos y más de 100,000 personas afectadas²⁸.

En el cuadro 8 se presenta un resumen de los sismos de mayor magnitud que afectaron al país en el último siglo. La figura 38 muestra los sismos destructivos del Siglo XX y XXI en términos del número de muertos. La figura 39 muestra las máximas intensidades sísmicas observadas en el territorio y las curvas de isosistas mayor o igual a VII MMI para sismos superficiales.

Puede observarse que la mayoría de los sismos por falla local, que han generado pérdidas humanas, han tenido su ubicación en zonas cercanas al Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), en donde se encuentra la más alta densidad poblacional. En general, los sismos corticales, pese a caracterizarse por presentar magnitudes moderadas, han sido causantes de mucho más impacto que eventos de mayor magnitud relacionados a la zona de subducción, debido a sus focos superficiales y coincidencia con principales centros urbanos.

²⁷ López M, Bommer, J.J., y Pinho, R. (2004) *Seismic Hazard Assessments, Seismic Design Codes and Earthquake Engineering in El Salvador*, in Rose, W.I, et al., eds., *Natural Hazards in El Salvador*, Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper 375, p.p. 301

²⁸ Bommer, J., W. Salazar, R. Samayoa. (1998) *Riesgo Sísmico en la Región Metropolitana de San Salvador*. Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA).

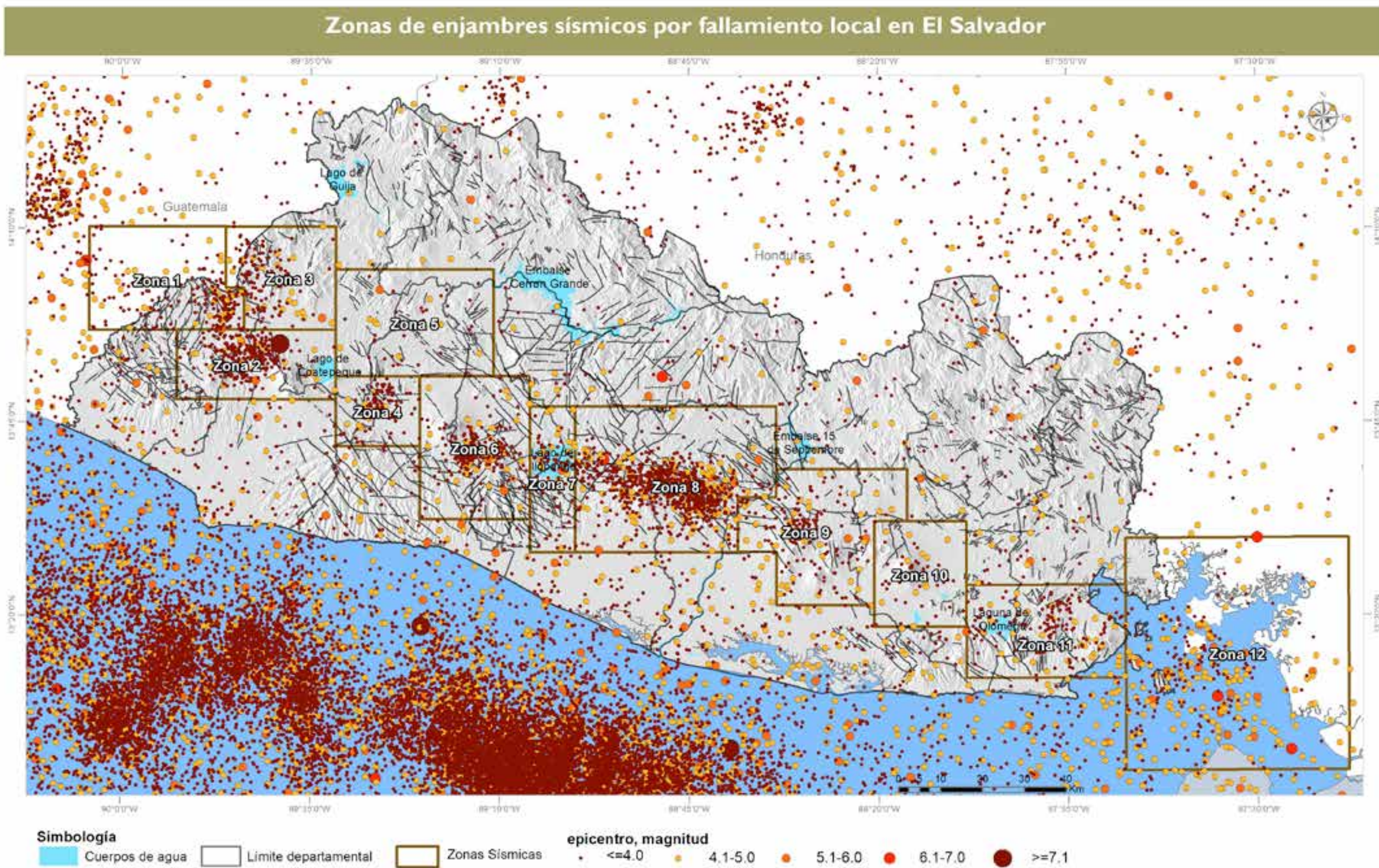


Figura 37: Mapa de zonas de enjambres sísmicos por fallas locales en El Salvador
Fuente: Elaboración propia MARN

Cuadro 8. Sismos de mayor magnitud en El Salvador en el último siglo

Fecha	Ubicación	Magnitud	MMI máx.	Epicentro	Comentarios
19/07/1912	13.87° N -89.57° O	Ms=5.9	---	---	Violento temblor causa daños en Armenia, Izalco y Santa Ana.
07/06/1917	13.70° N -89.50° O	Ms=6.5	---	---	Erupción del Boquerón. Sismo causa destrucción en Armenia y graves daños en Ateos, Sacacoyo y San Julián. Un segundo sismo causa daños en San Salvador, Apopa, Nejapa, Quezaltepeque, Opico y Santa Tecla.
07/06/1917	13.75° N -89.27° O	Ms=6.4	---	---	
20/12/1936	13.72° N -88.93° O	Ms=6.1	---	San Vicente	Destrucción de San Vicente. Entre 100 a 200 muertos.
06/05/1951	13.52° N -88.40° O	Ms=6.2	---	Jucuapa y Chinameca	Murieron más de 400 personas
07/05/1951	13.48° N -88.45° O	5.8	---	Jucuapa y Chinameca	---
03/05/1965	13.70° N -89.17° O	Ms=6.0	VII en San Salvador	San Salvador	125 muertos, 400 heridos y 4000 casas destruidas
19/06/1982	13.30° N -89.30° O	7.0 6.0	VII en San Salvador	Océano Pacífico	8 personas murieron, 96 resultaron heridas y un promedio de 5000 damnificadas
10/10/1986	13.67° N -89.19° O	mb=5.4	VIII-IX en San Salvador	San Salvador	1,500 muertos, 10,000 heridos, unas 60,000 viviendas destruidas o dañadas.
13/01/2001	12.83° N -88.79° O	Mw=7.6	VII en San Salvador	Zona de Subducción	Se reportan 944 fallecidos, 1155 edificios públicos dañados, 108,261 viviendas destruidas, 19 hospitales dañados, 445 derrumbes
13/02/2001	13.64° N -88.94° O	Mw=6.6	VI en San Salvador	Zona de San Vicente	Se reportan 315 fallecidos, 82 edificios públicos dañados, 41302 viviendas destruidas, 5 hospitales dañados, 71 derrumbes
26/08/2012	12.139° N -88.59° O	Mw = 7.3	II en San Salvador	Zona de Subducción	Generación de un tsunami en las costas de Usulután, con las mayores afectaciones materiales en las playas de la península de San Juan del Gozo. Alturas máximas del tsunami de hasta 6 metros e inundación de hasta 350 metros tierra adentro.
13/10/2014	12.5262° N -88.1225° O	Mw = 7.3	V en San Salvador	Zona de Subducción	Se reportaron 3 personas fallecidas, dos por infarto y una por la caída de un poste del tendido eléctrico. Se contabilizó un total de 17 viviendas dañadas en los departamentos de Usulután y San Miguel.
24/11/2016	11.9586° N -88.9209° O	Mw = 6.9	IV en San Salvador	Zona de Subducción	No se reportaron daños
10/04/2017	13.6983° N -89.2553° O	ML = 5.1	V – VI en San Salvador	San Salvador	Se reportó un fallecido por caída de rocas en la carretera de Los Chorros, y daños estructurales menores en algunas edificaciones de San Salvador y Antiguo Cuscatlán

Fuente: Sismos de mayor magnitud en El Salvador en el último siglo, (s.f.)
[modificado de <http://www.snet.gob.sv/ver/sismologia/registro/estadisticas>]

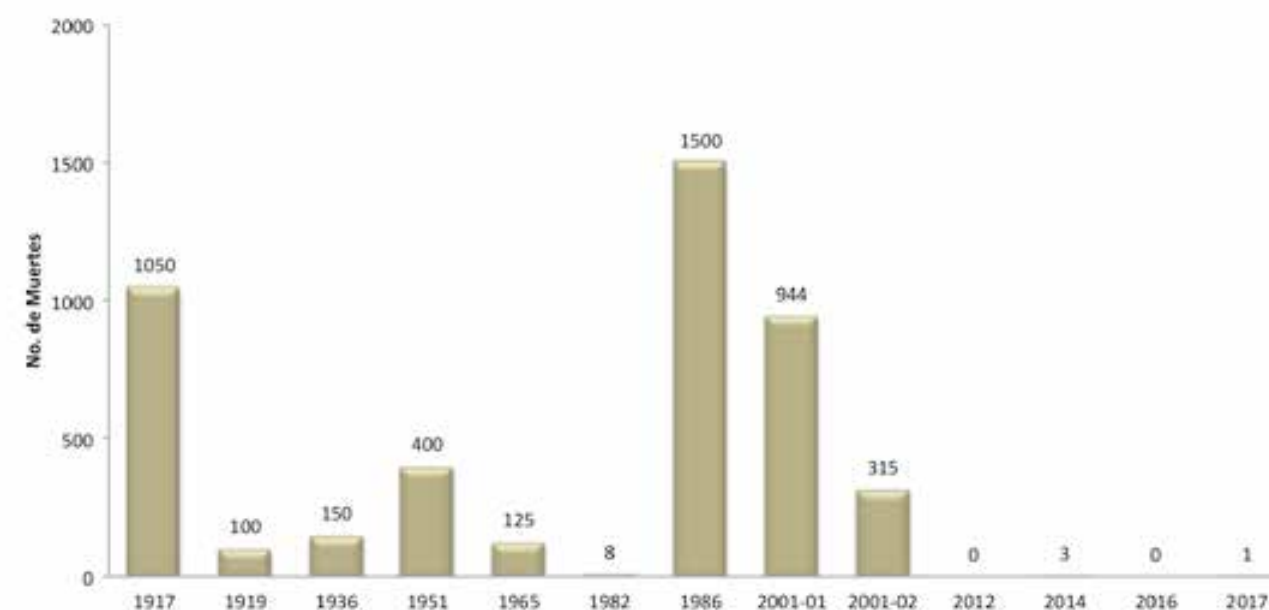


Figura 38. Sismos de gran magnitud de los siglos XX y XXI en El Salvador
Fuente: Elaboración propia MARN

4.1.3 Amenaza sísmica en El Salvador

El nivel de amenaza sísmica depende de las características de la región de análisis: la sismicidad del área de influencia, la atenuación sísmica regional y el efecto local del suelo en el sitio. La intensidad y duración del movimiento en un sitio determinado depende tanto del tamaño y localización del sismo, como de las características geológicas y topográficas particulares del lugar (efecto de sitio).

La figura 40 muestra el mapa de amenaza sísmica para El Salvador en términos de la aceleración máxima del terreno (PGA por sus siglas en inglés) para un período de retorno de 500 años, considerando condiciones de roca. Este tipo de mapa es la base de los códigos o normas de diseño por sismo. El mapa de amenaza (PGA, TR=500 años) presenta las mayores aceleraciones en la zona de la cadena volcánica, donde se suma la influencia de la actividad de fallas locales junto con la de la zona de subducción.

El mapa muestra la amenaza sísmica nacional en condiciones de roca, pero pocas veces se tienen tales condiciones y la geología superficial puede llegar a tener un efecto de amplificación de las ondas considerable.

El factor sitio generalmente se define en función de la geología superficial del lugar y puede llegar a dominar la amenaza sísmica, debido a los efectos de amplificación de la radiación sobre la base rocosa. El efecto de sitio en el país está, principalmente, influenciado por la presencia de materiales blandos o piroclastos no consolidados (ej. tierra blanca). El AMSS es una zona de vital importancia para el estudio de los sismos, debido a la concentración de edificaciones y población. Para mejorar la normativa de construcción en la misma, se requiere hacer estudios a detalle denominados de microzonificación sísmica.

Tomando como base los mapas geológicos y topográficos de la región, así como la información geológica/geotécnica recopilada, se han estimado, de forma preliminar, zonas de respuesta sísmica similar²⁹, utilizando como principal criterio para su delimitación, la profundidad y características dinámicas generalizadas de los piroclastos no consolidados sobre la base rocosa y los períodos predominantes obtenidos a partir de datos de movimiento fuerte y registros de microtemblores.

²⁹ Kattan, C., (2012) Estudio Preliminar de Microzonificación Sísmica del AMSS, MARN.

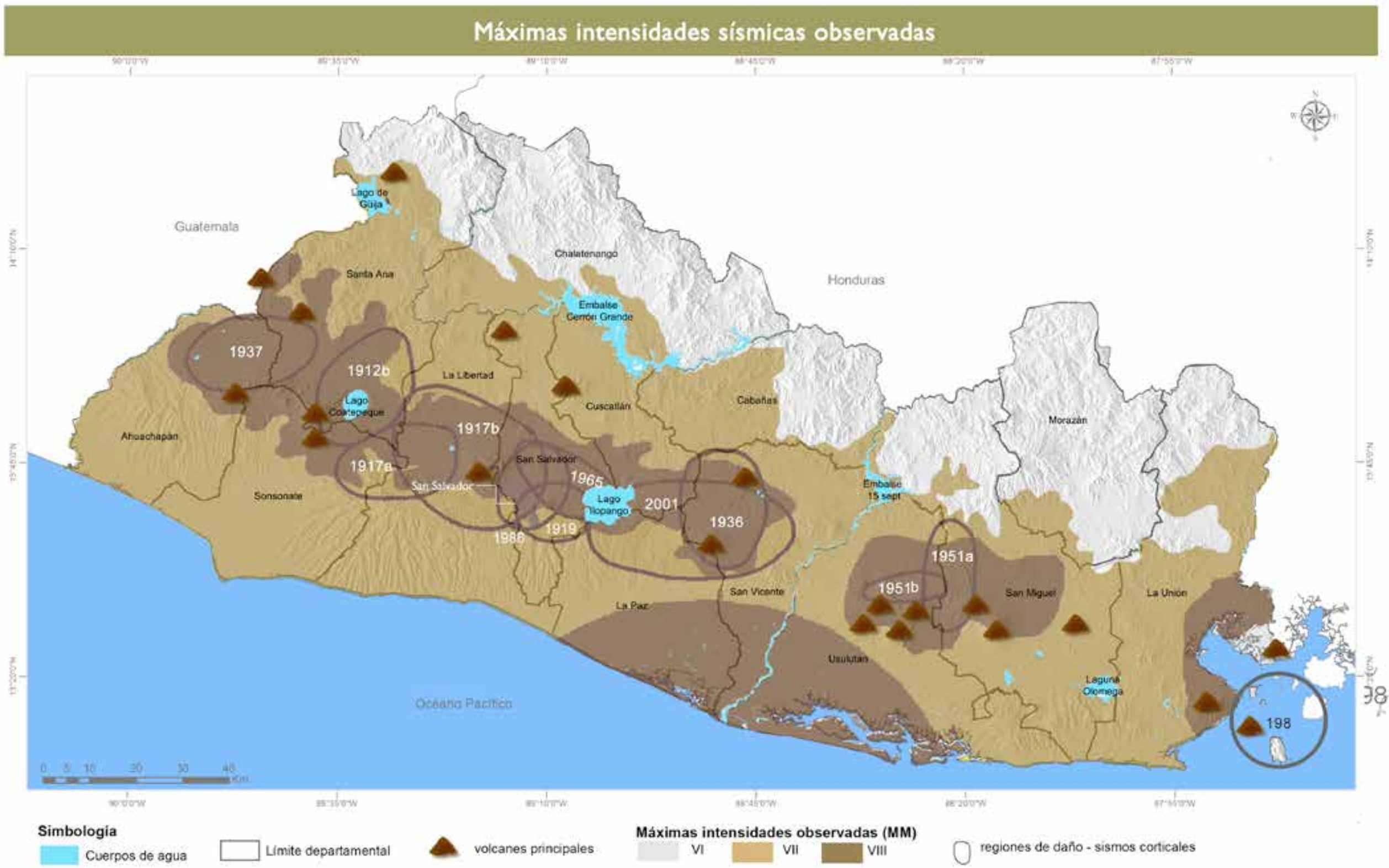


Figura 39: Mapa de máximas intensidades sísmicas observadas y curvas de Isosistas mayor o igual a VII MMI para eventos corticales.
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 40: Mapa de amenaza sísmica de El Salvador en términos de PGA (gal) para Período de Retorno PR=500 años
 Fuente: Marroquín G. y Benito, B (2009), Evaluación de la Amenaza Sísmica en El Salvador. Informe nacional derivado del estudio RESIS II.

Las funciones de amplificación relativa para cada zona, estimadas sobre la base de datos sísmicos, reflejan una función de modificación al espectro de respuesta, obtenido del estudio de amenaza a escala nacional para la condición de "roca", considerado como un espectro de línea base de efecto de sitio. La figura 41 ilustra la metodología para el cálculo, utilizando registros de un pozo instrumentado en fondo y superficie. En esta etapa se ha considerado, únicamente, el comportamiento elástico de los suelos (registros de amplitud moderada).

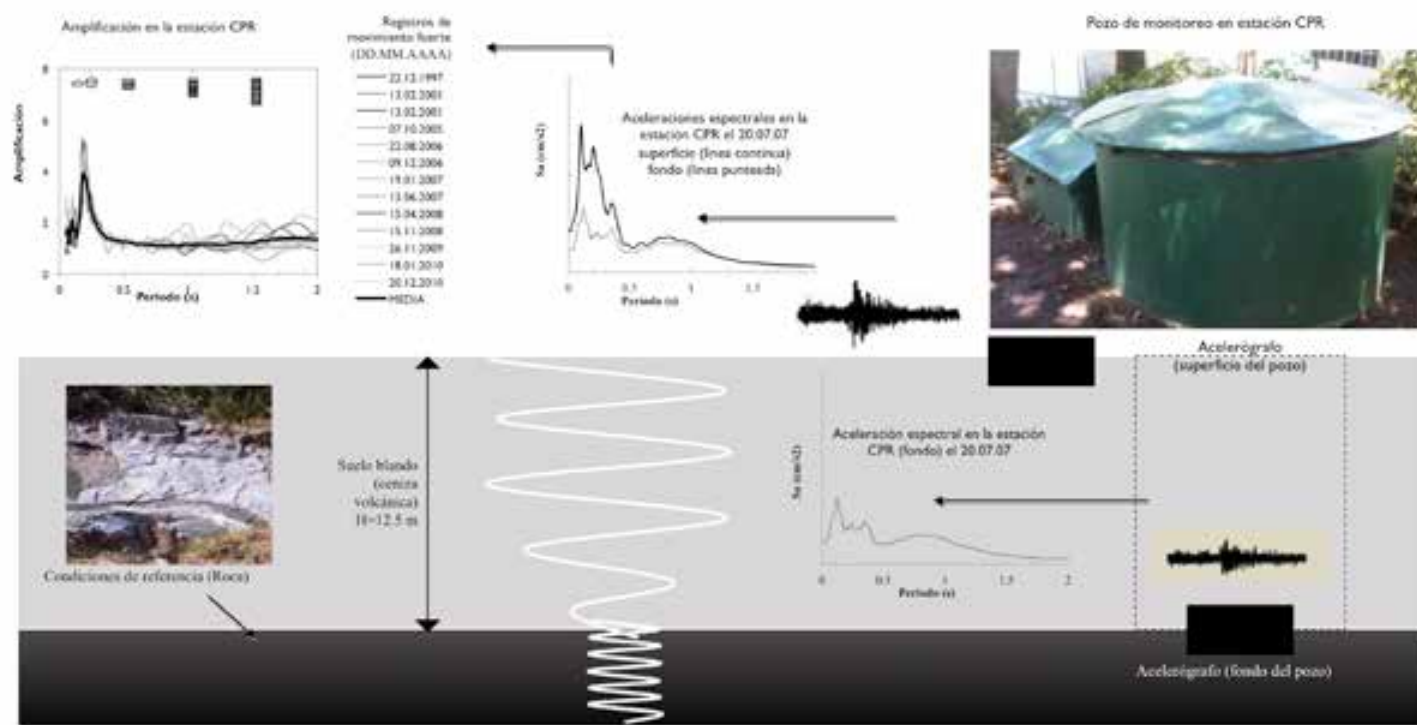


Figura 41: Amplificación de ondas sísmicas para el caso del pozo instrumentado en Casa Presidencial (CPRS/CPRF)
 Fuente: Modificado de Kattan, C. Lopez M., Menjivar L. (2016), Seismic Risk Scenarios for the City of Santa Tecla, El Salvador, Conference Paper - 16th World Conference on Earthquake Engineering, I6WCEE-2017, Santiago Chile

El mapa preliminar de zonas de respuesta sísmica similar se muestra en la figura 42 que representa una primera aproximación para la estimación de respuesta de sitio, y debe ser considerada como tal. Este mapa no pretende, bajo ningún punto de vista, reemplazar ni descartar estudios de detalle.

El detalle del espesor de suelo blando superficial, función de amplificación típica, y la descripción del tipo de edificación que pudiera verse más afectada por efectos de sitio se muestra en la figura 43. Por la geología particular del Área Metropolitana de San Salvador, los menores períodos se obtienen en las cercanías del volcán de San Salvador; aumentando hasta alcanzar los máximos en las orillas del lago de Ilopango, donde se alcanzan los mayores espesores de piroclastos no consolidados. Amplificaciones importantes pueden observarse en un amplio rango de períodos de interés ingenieril y períodos de resonancia cercanos a los pericarácterísticos de las estructuras dominantes en la mayoría de las zonas.

Zona	Condiciones típicas de suelo	Funciones de amplificación (rango elástico) y estructuras más afectada por efectos de sitio
ZONA I Suelo blando < 5m	Colonia Escalón (2011)	 Estructura 1 nivel
ZONA II Suelo blando 5-15m	Zona de Multiplaza (2007*)	 Estructura 1 a 3 niveles (típico 2)
ZONA III Suelo blando 15-25m	Centro de Gobierno (2010)	 Estructura 2 a 5 niveles (típico 3)
ZONA IV Suelo blando 25-50m	Altos del Boulevard (2008*)	 Estructura 4 a 9 niveles (típico 5)
ZONA V Suelo blando > 50m	Rio Las Cañas (2010)	 Estructura mas de 8 niveles (típico 10)

*Fotografías cortesía de Walter Hernández

Figura 43. Condiciones típicas de suelo, funciones de amplificación y estructuras más afectadas por efectos de sitio³⁰
 Fuente: Kattan, C., (2012) Estudio Preliminar de Microzonificación Sísmica del AMSS, MARN.

³⁰ Kattan, C., (2012) Estudio Preliminar de Microzonificación Sísmica del AMSS, MARN.

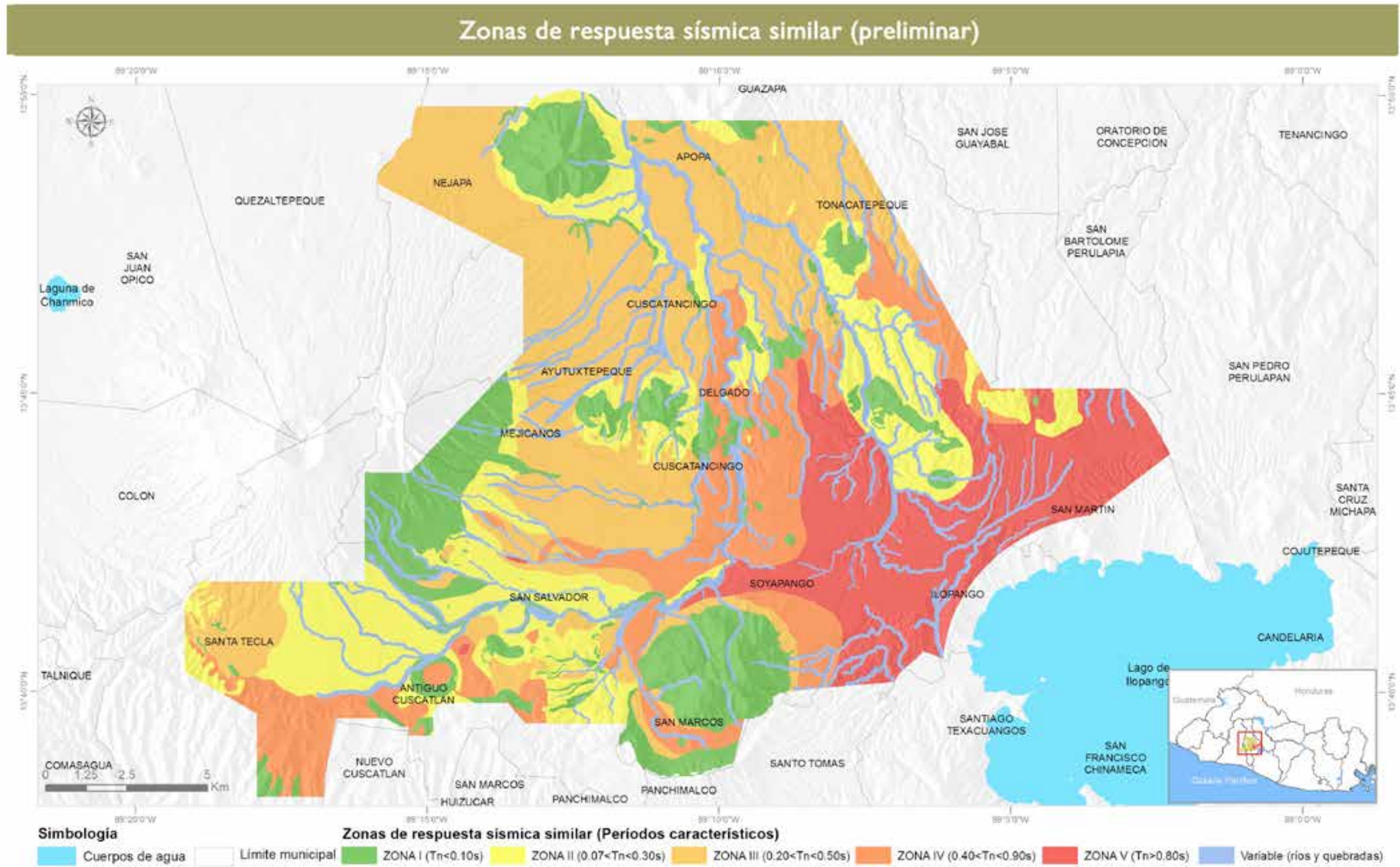


Figura 42: Mapa preliminar de zonas de respuesta sísmica similar en función de período predominante de suelo
 Fuente: Kattan C., Estudio preliminar de Microzonificación Sísmica del AMSS, MARN, 2012

4.2 Amenaza por tsunamis

4.2.1 Tsunamis en El Salvador

Un tsunami es una ola o serie de olas que se producen en una masa de agua al ser empujada con violencia por una fuerza que la desplaza verticalmente. Los tsunamis pueden ser provocados por terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos costeros o subterráneos, explosiones de gran magnitud o incluso meteoritos. Las olas de tsunamis se propagan rápidamente en todas las direcciones desde su lugar de origen. En alta mar, las masas de agua que se desplazan, llegan a alcanzar altas velocidades con altura de olas muy pequeñas, conforme el tsunami se acerca a la costa la ola pierde velocidad pero va aumentando su altura.³¹

Los tsunamis son considerados fenómenos naturales que causan daños menores en Centroamérica, comparado con los daños provocados por fenómenos más frecuentes como los terremotos, los deslizamientos y las inundaciones. Sin embargo, datos históricos muestran que, los tsunamis, han causado pérdida de vidas y daños en la infraestructura costera centroamericana. Los países de Centroamérica están expuestos a tsunamis generados por fuentes cercanas, es decir, sismos localizados frente sus costas, así como por fuentes lejanas o sismos distantes cuyo epicentro se localiza a una distancia mayor a 1,000 kilómetros de las costas centroamericanas.

4.2.2 Tsunamis históricos

El catálogo de tsunamis para Centroamérica (1539-1996) tiene un registro de 50 eventos, 47 de ellos fueron generados en las costas de Centroamérica, tanto en el Caribe como en el Pacífico, uno en Ecuador en 1906, uno en Chile en 1960, y uno en las islas Aleutianas en 1957.³²

La mayoría de los eventos de tsunami pasados causaron pérdidas de vidas humanas y destrucción de infraestructuras y cultivos. En el caso de El Salvador, fueron los de 1902 y 1957. El tsunami del 26 de febrero de 1902, ha sido el más devastador, afectó a la zona occidental del país en Barra de Santiago y Garita Palmera, causó 185 muertes y daños materiales importantes, abarcó 120 kilómetros de costa aproximadamente. El del 9 de marzo de 1957, originado por un sismo en las islas Aleutianas, causó afectación en la costa salvadoreña, pérdidas humanas e importantes daños en el puerto de Acajutla. En 1992 se produjo un importante tsunami en Nicaragua, considerado el más grande ocurrido en Centroamérica; sin embargo, su amplitud al llegar a la costa de El Salvador fue pequeña y apenas causó daños. El más reciente, aunque de menor magnitud, ocurrió el 26 de agosto de 2012 y afectó la península San Juan del Gozo de la bahía de Jiquilisco. En el cuadro 9 se presenta información de los tsunami registrados en El Salvador a escala local, regional y distal.

El último tsunami registrado en el país fue el ocurrido el 26 de agosto del 2012, que tuvo su origen por un sismo localizado frente a la costa de Usulután. El tsunami causó daños en la infraestructura ubicada en la Isla de Méndez, península de San Juan del Gozo, lesionó a varias personas que, en ese momento, desarrollaban actividades económicas en la costa (figura 44). El sismo tuvo deficiencias considerables de energía de ondas primarias de alta frecuencia

(corto período) y, a pesar de su magnitud (Mw 7.3) fue levemente percibido en zonas cercanas al epicentro. Este tipo de eventos son conocidos como sismos lentos o sismos-tsunami.

Tal como se indica en el cuadro 9, tsunamis como los ocurridos en Chile en 2010, y Japón en 2011, según mareógrafo instalado en el Puerto de Acajutla, solo generaron variaciones menores a los 50 centímetros en el nivel del mar.

Cuadro 9. Tsunamis registrados en El Salvador³³

Fecha	Datos de sismo		Datos de tsunami			Efectos del tsunami
	País	Magnitud	Registro del tsunami	Distancia al origen (km)	Altura de registro (m)	Muertos
25/08/1859	El Salvador	6.2	La Unión	-	Desconocido	
09/12/1859	El Salvador	7.0	Acajutla	15	Desconocido	
26/02/1902	El Salvador	7.0	Acajutla	37	Desconocido	
			Barra de Santiago	59	Desconocido	100
			Garita Palmera	-	Desconocido	85
25/05/1906	Ecuador	8.8	Los Negros	1,584	Desconocido	
07/09/1915	El Salvador	7.9	Barra de Santiago	115	Desconocido	
05/10/1950	Costa Rica	7.7	La Libertad	545	0.1	
			La Unión	401	0.09	
23/10/1950	Guatemala	7.5	La Unión	456	0.1	
04/11/1952	Rusia	9.0	La Libertad	10,149	0.58	
09/03/1957	USA	8.6	Acajutla	8,548	0.5	
			La Unión	8,706	0.03	
22/05/1960	Chile	9.5	La Unión	5,919	0.53	
28/03/1964	USA	9.2	Acajutla	6,991	0.2	
			La Unión	7,116	0.1	
19/09/1985	México	8.0	Acajutla	1,452	0.29	
13/01/2001	El Salvador	7.7	Acajutla	139	0.25	
26/12/2004	Indonesia	9.1	Acajutla	18,040	0.16	
27/02/2010	Chile	8.8	Acajutla	5,806	0.25	
			Acajutla	12,100	0.48	
11/03/2011	Japón	9.1	La Unión	12,262	0.05	
			Península San Juan del Gozo	120	6.3	
27/08/2012	El Salvador - Nicaragua	7.3	La Unión	157	0.03	
			Acajutla	209	0.1	
			Acajutla	227	0.10	
07/11/2012	Guatemala	7.3	Acajutla	96	0.02	
14/10/2014	El Salvador	7.3	La Unión	96	0.02	
			Acajutla	5,383	0.17	
16/09/2015	Chile	8.3	Acajutla	5,383	0.17	
			La Unión	5,283	0.07	

Fuente: National Center for Environmental Information. NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database, 2100 BC to present. Recuperado el 22/05/2017 en https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml

³¹ Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN, 2012). Evaluación del Riesgo por Tsunami en la costa de El Salvador, fase II: vulnerabilidad y riesgo.

³² Molina, E. (1997). Tsunami Catalogue for Central America 1539-1996. Reduction of Natural Disasters in Central America, Earthquake Preparedness and Hazard Mitigation, Phase II 1996-2000.

³³ National Center for Environmental Information. NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database, 2100 BC to present. Recuperado el 22/05/2017 en https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml

³⁴ No indica que solamente allí fue observado, sino que es allí donde se tiene el registro

³⁵ La altura del registro es el nivel registrado, no necesariamente la altura de ola en la costa



Figura 44. Efectos del tsunami ocurrido el 26 de agosto de 2012, Isla de Méndez.
Fuente: Elaboración propia MARN

4.2.3 Amenaza por tsunamis³⁶

La primera medida de prevención ante los tsunamis es evaluar la peligrosidad, es decir, determinar las características de un posible tsunami, la altura de olas, las áreas de inundación, y el tiempo de arribo de olas.

La elaboración de mapas temáticos de peligrosidad por tsunamis requiere de la caracterización y elaboración de información base (recolección de eventos históricos, caracterización de fuentes de generación, reconstrucción de topo-batimetrías), caracterización de escenarios de tsunamis, la aplicación de modelos numéricos para la generación, propagación e inundación en la costa y la generación de mapas temáticos.

En este contexto, se dispone del mapa de inundación por tsunami de El Salvador elaborado con los siguientes escenarios, considerados como casos desfavorables pero probables:

Escenario 1

Fuentes lejanas: es la combinación de cinco casos creíbles de tsunami, el generado por el terremoto de 1960 en Chile (Mw9.5), el de 2010, también en Chile (Mw 8.8), el de 1952 en Kamchatka (Mw9.0), el de 1964 en Alaska (Mw 9.0) y el de 2009 en Samoa (Mw 8.1). Estos eventos han sido simulados en un nivel del mar de pleamar media viva equinoccial.

Escenario 2

Fuentes regionales o intermedias: se representa por dos tsunamis, el ocurrido en México en 1787 (Mw 8.7), y en Colombia en 1906 (Mw 8.8). Estos eventos también han sido simulados en un nivel del mar de pleamar media viva equinoccial.

Escenario 3

Fuentes cercanas: se representa por 16 eventos potenciales en la zona de subducción de Centroamérica: 12 Eventos asociados a 12 fallas tipo normal y a 4 fallas tipo inverso. Estos eventos también han sido simulados en un nivel del mar de pleamar viva equinoccial.

El mapa nacional de peligrosidad por tsunami (figura 45) muestra la zona de máxima inundación en tierra por un tsunami. La escala de colores representa la peligrosidad asociada a la profundidad de la lámina de agua. De esta manera se pueden identificar los puntos críticos, considerados como de alta peligrosidad que son más importantes: la planicie costera occidental, el Estero de Jaltepeque y la Bahía de Jiquilisco. En la zona de la planicie costera occidental se observan alturas de ola que alcanzan los cuatro metros en la zona de la Barra de Santiago, incluso, elevaciones mayores en la zona al sur del Puerto de Acajutla. Además, se observan alturas considerables en las zonas bajas y a gran distancia de la costa, que se encuentran detrás del estero Garita Palmera.

El arribo de un tsunami local puede tardar entre 30 y 90 minutos; la altura de las olas puede alcanzar hasta los seis metros. Las inundaciones pueden tener una profundidad de hasta siete metros, y la velocidad, un nivel de arrastre de 5 m/s.

³⁶ Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN, 2011). Evaluación del riesgo de tsunamis en la costa de El Salvador fase I. Peligrosidad.



Figura 45. Mapa nacional de peligrosidad por Tsunami.
 Fuente: Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN, 2012). Evaluación del Riesgo por Tsunami en la costa de El Salvador; fase II: vulnerabilidad y riesgo.

4.3 Amenaza volcánica

4.3.1 Vulcanismo en El Salvador

La cadena volcánica del país se ubica dentro del *Cinturón de Fuego del Pacífico*, caracterizado por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo y una intensa actividad sísmica y volcánica. La actividad volcánica es generada a partir de ascensos magmáticos que resultan de la interacción de las placas, en el caso de El Salvador, las placas de Cocos y Caribe. Las erupciones volcánicas forman los edificios volcánicos a partir del ascenso de magma a través de fallas y fracturas de la corteza continental hasta alcanzar la superficie terrestre.

A pesar que la interacción de los procesos físicos y químicos que ocurren en la subducción es compleja, existen características comunes asociadas al magmatismo de los arcos volcánicos, tales como la presencia de líneas de volcanes y la correlación negativa entre el ancho del arco volcánico y el ángulo de la subducción (figura 46). La profundidad a la superficie de la litosfera que subduce es constante a ~110 km (profundidad correspondiente a la presión esperada para la deshidratación de anfíboles y cloritas) y ~170 km (profundidad correspondiente a la presión esperada para la deshidratación de las flogopitas), respectivamente, por debajo del arco volcánico³⁷. Como en muchos arcos volcánicos que resultan de procesos de subducción, en El Salvador se tienen dos regiones de magmatismo: el frente volcánico y el tras arco o *back arc*³⁸. Estos volcanes que se encuentran referidos al *backarc*, muy posiblemente estén asociados a un proceso de migración magmática más que al vulcanismo moderno. El vulcanismo en El Salvador ha sido un fenómeno geológico que ha hecho que, prácticamente, más de un 90 % del territorio esté formado por rocas y suelos de origen volcánico.

La zona central de El Salvador es escenario de una cadena volcánica joven en donde fácilmente pueden identificarse más de 50 volcanes de diferente forma y tipo. Seis de estos tienen características especiales que permiten clasificarlos como activos. Los volcanes activos, tienen un registro histórico y hay evidencias claras de que han tenido erupciones durante los últimos 500 años o presentan alguna de las siguientes características: se encuentran en zonas con antecedentes de enjambres sísmicos, en sus alrededores ocurren sismos o poseen un cráter y un cono bien conservado; con sismicidad, fumarolas y fuentes termales, aunque no exista registro de erupciones históricas. En El Salvador, se estima que más de 1.3 millones de habitantes residen a menos de 10 km de un volcán históricamente activo, el valor máximo de la región.

Por sus erupciones recientes y actividad fumarólica, los principales volcanes activos en el país son los siguientes: volcán de Santa Ana (Ilaquepe, 2005), volcán de Izalco (1966), volcán de San Salvador (Quezaltepec, 1917), volcán de Ilopango (1880), volcán de San Vicente (Chichontepec) y volcán de San Miguel (Chaparrastique, 2013).

Caracterización de los volcanes activos salvadoreños

Los rasgos que caracterizan a un volcán en particular dependerán del tipo de volcán, de la composición de su magma y de la evolución que esta tenga durante el tiempo de almacenamiento en la cámara magmática. Estas características permiten definir, de forma general, el estilo eruptivo que el volcán pueda presentar, así como las dinámicas de sus productos durante la trayectoria y depósito, sea esta de forma superficial o aérea.

La composición del magma, específicamente la concentración de Dióxido de Silicio (SiO_2), es el modulador del estilo eruptivo. Magmas que contienen concentraciones de SiO_2 menor al 52 % se denominan *básicos* y aquellas que superan el 66 % se denominan *ácidos*. Esta denominación, clasifica a los volcanes en efusivos o explosivos. En la figura 48 se muestra el diagrama *Total Alkalies vs Silica* (TAS) que se emplea para clasificar las rocas volcánicas y utiliza términos químicos que clasifican las rocas.

Esta clasificación las determina como ultrabásicas, básicas, intermedias, y ácidas, en función de la abundancia de SiO_2 en porcentajes y en peso.

La explosividad que pueda presentar un volcán durante el proceso eruptivo, aumenta conforme los magmas posean mayor concentración de SiO_2 , y se describe con el Índice de *Explosividad Volcánica* (IEV), que es un indicador general del carácter explosivo de una erupción volcánica. Con este indicador se brinda una medida o estimación de la magnitud de la erupción, cantidad de material volcánico expulsada, altitud que alcanza la columna eruptiva y el tiempo de duración. Comprende valores de 0 a 8, siendo 0 una erupción débil como a causa de una simple salida de gases y 8 una erupción ultra pliniana cuyo impacto es planetario. El aumento de una unidad indica una erupción 10 veces más potente. (figura 47).

La implicación de la caracterización magmática varía en los volcanes salvadoreños, se tiene volcanes con características básicas que han presentado erupciones poco violentas con producción de flujos de lava como los volcanes Izalco y de San Miguel.

De igual forma, se cuenta con estructuras de características ácidas como las calderas de Ilopango, de Coatepeque y volcán de San Vicente que han producido erupciones colosales de gran poder explosivo. Es importante destacar que otras estructuras volcánicas como los volcanes de Santa Ana y de San Salvador han presentado ambos estilos eruptivos, debido a la evolución del magma durante su almacenamiento en la cámara magmática que, tiende a acidificarse conforme el tiempo de reactivación sea más prolongado.

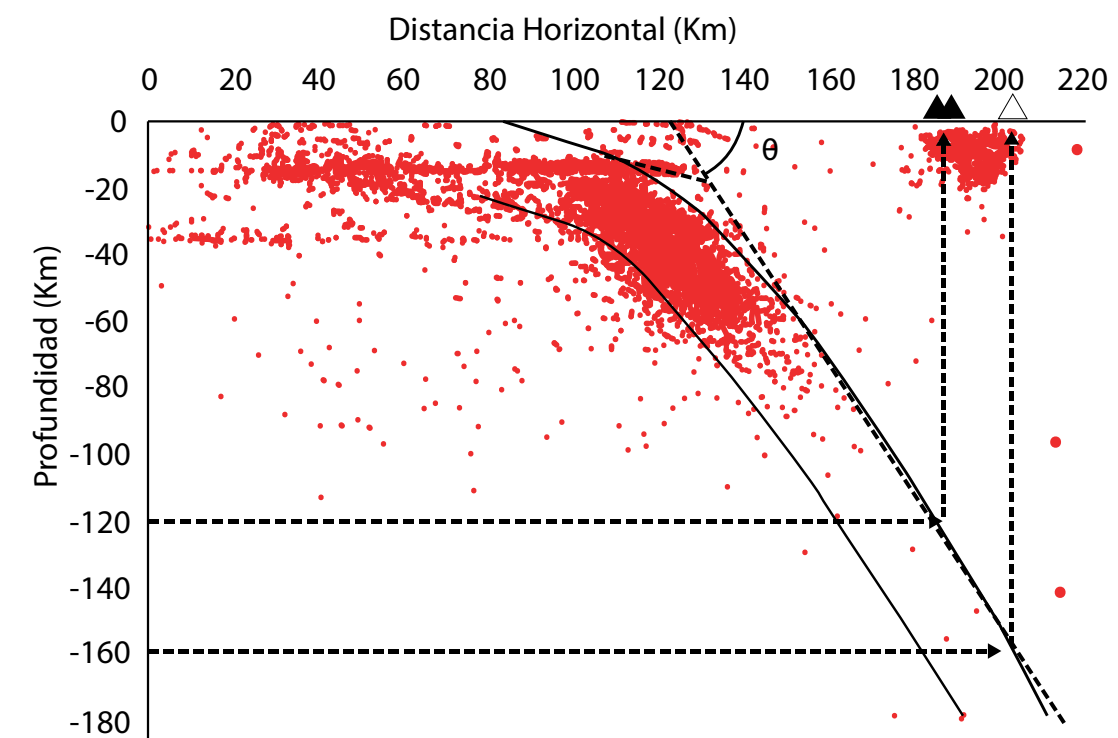


Figura 46. Sismicidad 1992-2012 según profundidad hipocentral. Triángulos llenos representan volcanes del frente volcánico, triángulos abiertos representan volcanes del backarc. Fuente: Elaboración propia MARN

³⁷ Tatsumi, Y. (2005). "The subduction factory: How it operates in the evolving Earth." *GSA today*, 15(7), 4-10.

³⁸ Patino, L. C., Carr, M. J., and Feigenson, M. D. (2000). "Local and regional variations in Central American arc lavas controlled by variations in subducted sediment input." *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 138(3), 265-283.

Tipos de erupciones volcánicas

IEV	Clasificación	Descripción	Columna eruptiva	Volumen arrojado	Periodicidad
0	Hawaiiana	No explosiva	<100 m	>1000 m ³	diaria
1	Hawaiiana Stromboliana	Ligera	100 - 1000 m	> 10,000 m ³	diaria
2	Stromboliana Vulcaniana	Explosiva	1-5 km	> 10 ⁶ m ³	semanal
3	Vulcaniana Peleana	Violenta	5 - 15 km	> 10 ⁷ m ³	anual
4	Peleana Pliniana	Cataclísmica	10 - 25 km	> 0,1 Km ³	cada 10 años
5	Pliniana	Paroxística	> 25 km	> 1 Km ³	cada 100 años
6	Pliniana Ultrapliniana	Colosal	> 25 km	> 10 Km ³	cada 100 años
7	Ultrapliniana	Supercolosal	> 25 km	> 100 Km ³	cada 1000 años
8	Krakatoana	Megacolosal	> 25 km	> 1000 Km ³	cada 10000 años

VOLCAN	NUMERO DE VOLCAN	LATITUD N	LONGITUD W	ELEVACION (metros sobre nivel mar)	POBLACION				TIPO DE ROCA	TIPO DE VOLCAN	ESTATUS
					5 km	10 km	30 km	100 km			
San Miguel	1403-10=	13.434 N	88.269W	2130	4	5	6	7	AB	Estratovolcán	Histórica
Santa Ana	1403-02=	13.853	89.63	2381	3	5	7	7	AYBdr	Estratovolcán	Histórica
San Salvador	1403-05	13.734N	89.294W	1893	5	6	7	7	ABD	Estratovolcán	Histórico
Izalco	1403-03=	13.813	89.633	1950	3	5	7	7	Ab	Estratovolcán	Histórica
Ilopango	1403-06=	13.672N	89.053 W	450	7	7	7	7	DABr	Caldera	Histórico
San Vicente	1403-07=	13.595 N	88.837W	2182	4	6	6	7	ADBr	Estratovolcán	Holoceno

Código	Población
0	0
1	menor que 10
2	mayor que 10
3	mayor que 100
4	mayor que 1000
5	mayor que 10000
6	mayor que 100,000
7	mayor que 1,000,000
8	mayor que 10,000,000

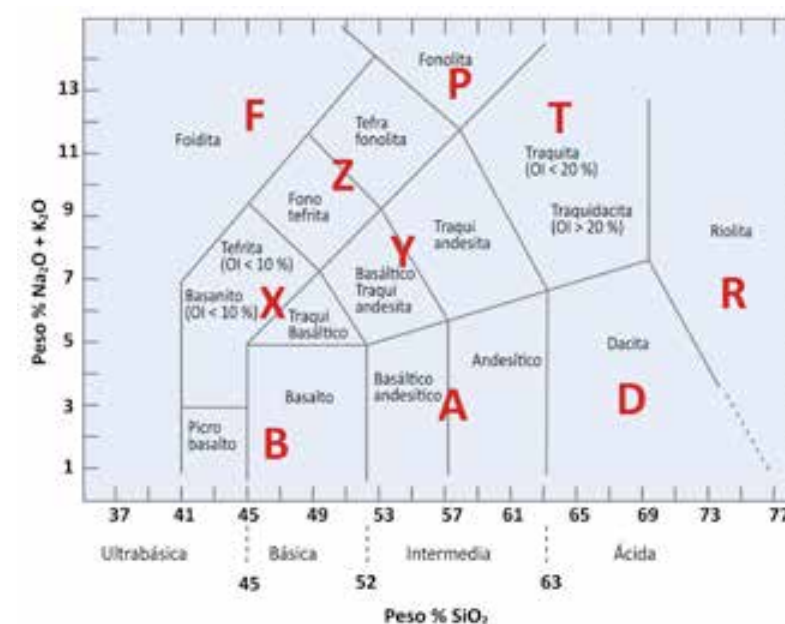


Figura 48. Diagrama de clasificación TAS (Total Alkalies vs. Silica por sus siglas en inglés). Fuente: Le Bas et al., 1986. Adaptado con referencia para caracterización de magmas en volcanes activos El Salvador.

4.3.2 Erupciones históricas

El historial eruptivo de los volcanes salvadoreños data del siglo XVI (1501-1600 d. C.), ya que es, en la época de la conquista, cuando se comenzó a tener registros escritos de algunas erupciones y quedaron muchas sin datación. Ejemplo de estas erupciones son los registros de 54 eventos del volcán de Izalco, el cual surge a finales de 1770 y finalizó su ciclo eruptivo en 1966. El volcán de Izalco se convirtió en el volcán salvadoreño con mayor cantidad de datos en su historial eruptivo. En el caso del volcán de San Salvador se tiene registros, únicamente, de siete eventos eruptivos datados y del volcán de San Vicente no se cuenta con registros de erupción.

En el cuadro 10 se presenta el resumen del historial eruptivo, tipo de erupción y características del registro eruptivo de los seis volcanes activos de El Salvador.

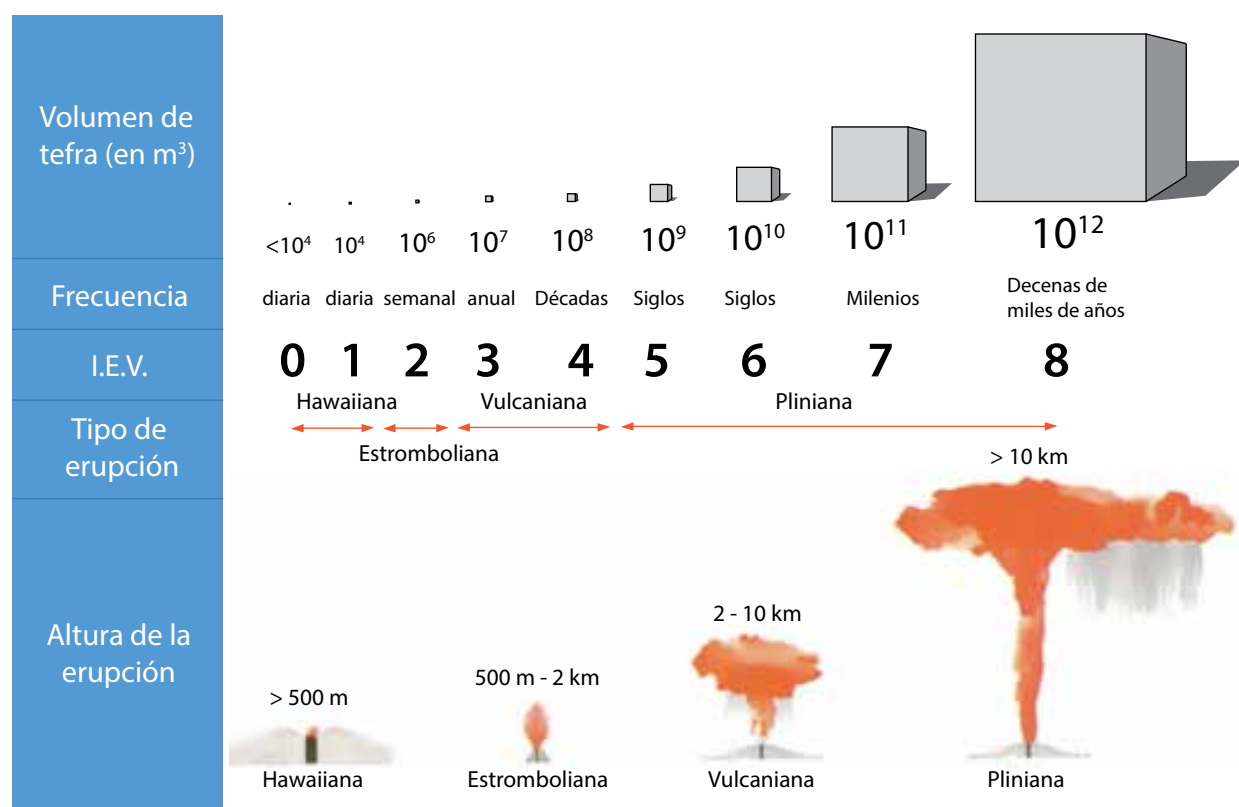
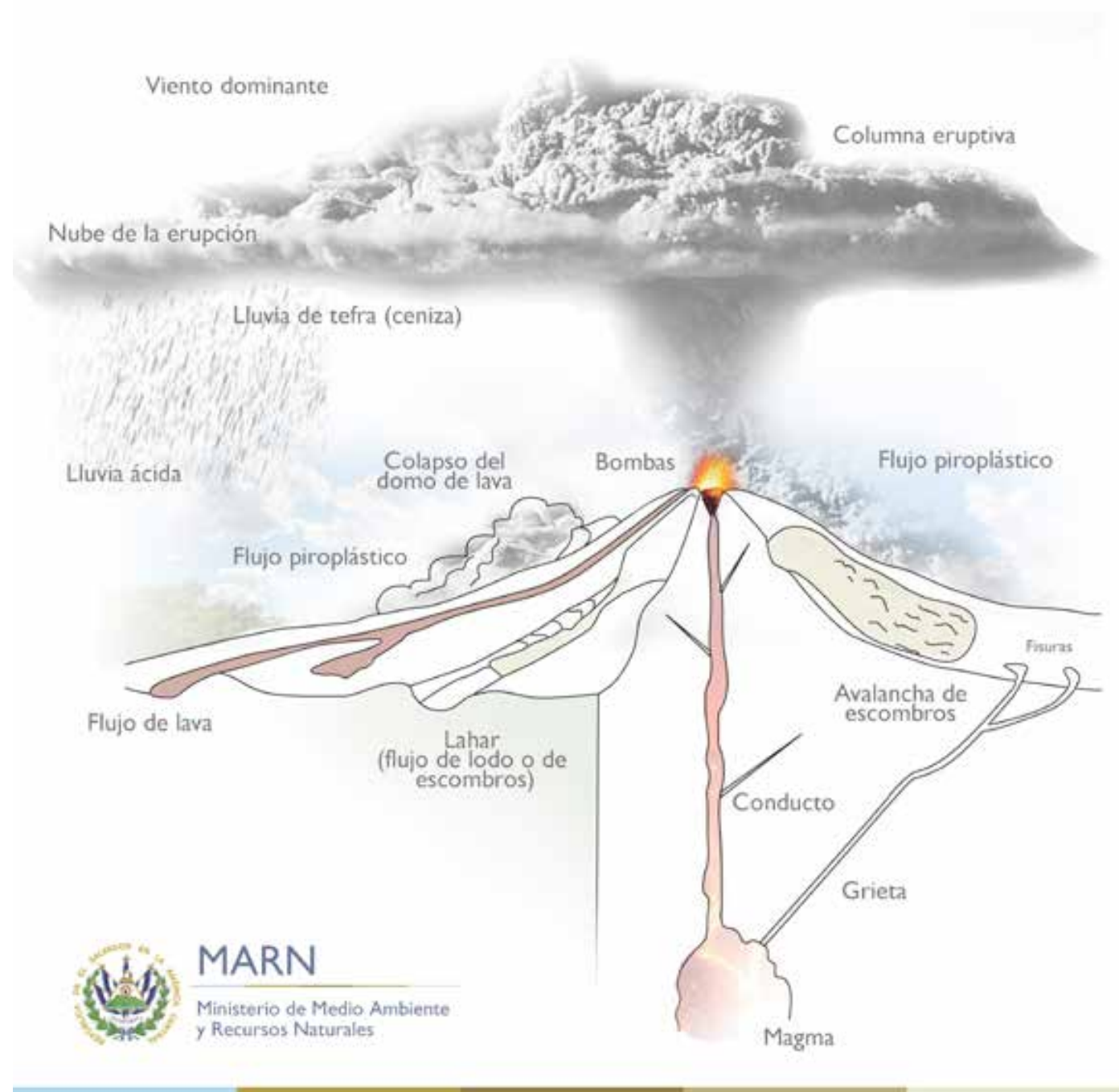


Figura 47. Índice de Explosividad Volcánica o IEV. Fuente: (Newhall y Self, 1982) tomado de http://1.bp.blogspot.com/-dkQIz4Z0K_w/UqG6salzyGI/AAAAAAAABiE/wJhXvXEOi5I/s1600/tipos%2Bde%2Berupciones%2Biev%2B2.png

En la figura 48 se muestra el resumen de la caracterización de los volcanes activos, código del tipo de roca predominante y población de acuerdo a la cercanía en kilómetros del cráter central.



Las erupciones se pueden dividir en: a) efusivas y b) explosivas. Las efusivas se ajustan a dinámicas eruptivas derivadas a la fluidez del magma, relacionado a la composición de mineralógica, cantidad de agua juvenil y volátiles que contenga. Las erupciones son caracterizadas por producir eventos de baja explosividad y flujos de lava que tienen un menor peligro para las personas, ya que su avance es lento y depende de la pendiente del terreno; sin embargo, todo lo que encuentre a su paso será destruido o quemado.

En cambio, las erupciones explosivas se generan cuando los gases magmáticos o el vapor generado del contacto agua-magma se liberan rápidamente y generan columnas eruptivas. Esta liberación de energía no se efectúa siempre de la misma manera, es por ello que, estas erupciones se clasifican en función de la forma en que los gases se escapan del magma.

Las erupciones explosivas se caracterizan por la abundante emisión de piroclastos que son lanzados violentamente a la atmósfera. Dependiendo de la altura alcanzada por la columna de cenizas, esta puede alcanzar amplias áreas de dispersión en función de la dirección del viento y su espesor variará de acuerdo a la cantidad de material eyectado.

De igual forma, las erupciones explosivas forman los flujos y/u oleadas piroclásticas que son los fenómenos más destructivos que existen. Su impacto se debe a la movilidad, temperatura y densa mezcla de rocas, cenizas y gases que se desplazan sobre la superficie, destruyendo todo a su paso.

El estudio de los materiales expulsados por las erupciones pasadas permite reconstruir la historia de los volcanes, conocer cómo fue la erupción y cuáles son las zonas afectadas e interpretar y cómo sería una erupción futura. Esta es la base de los estudios de vulcanología física para la elaboración de mapas de peligrosidad volcánica y la determinación de los tiempos de recurrencia de un volcán.

En estos estudios se analiza las posibles trayectorias de los fenómenos volcánicos y su probabilidad de ocurrencia, lo cual se obtiene a partir de la caracterización de los depósitos volcánicos, según estudios geológicos anteriores y la simulación numérica de los fenómenos volcánicos que los produjeron. Los diferentes productos volcánicos se simulan con softwares específicos y se obtiene los mapas de peligros volcánicos.

Estos mapas toman en cuenta, al menos, tres escenarios posibles con base a su magnitud: a) baja magnitud que tiene un menor alcance y su periodicidad es alta; b) intermedia magnitud que implica un alcance medio y su periodicidad es menor que la anterior; y c) alta magnitud que tiene un gran alcance y su periodicidad es muy baja, lo cual conlleva largo tiempo de reposo de la actividad volcánica.

Las figuras 50, 51 y 52 presentan la zonificación de peligros volcánicos para los volcanes de San Salvador, Santa Ana y San Miguel, respectivamente.

Figura 49 Esquema de los principales peligros volcánicos. Cada volcán puede producir diversos tipos de peligros dependiendo de la dinámica del proceso eruptivo y tipo de volcán

Fuente. Adaptación de representación de los peligros volcánicos según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Understanding volcanic hazards can save lives. <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/index.php>

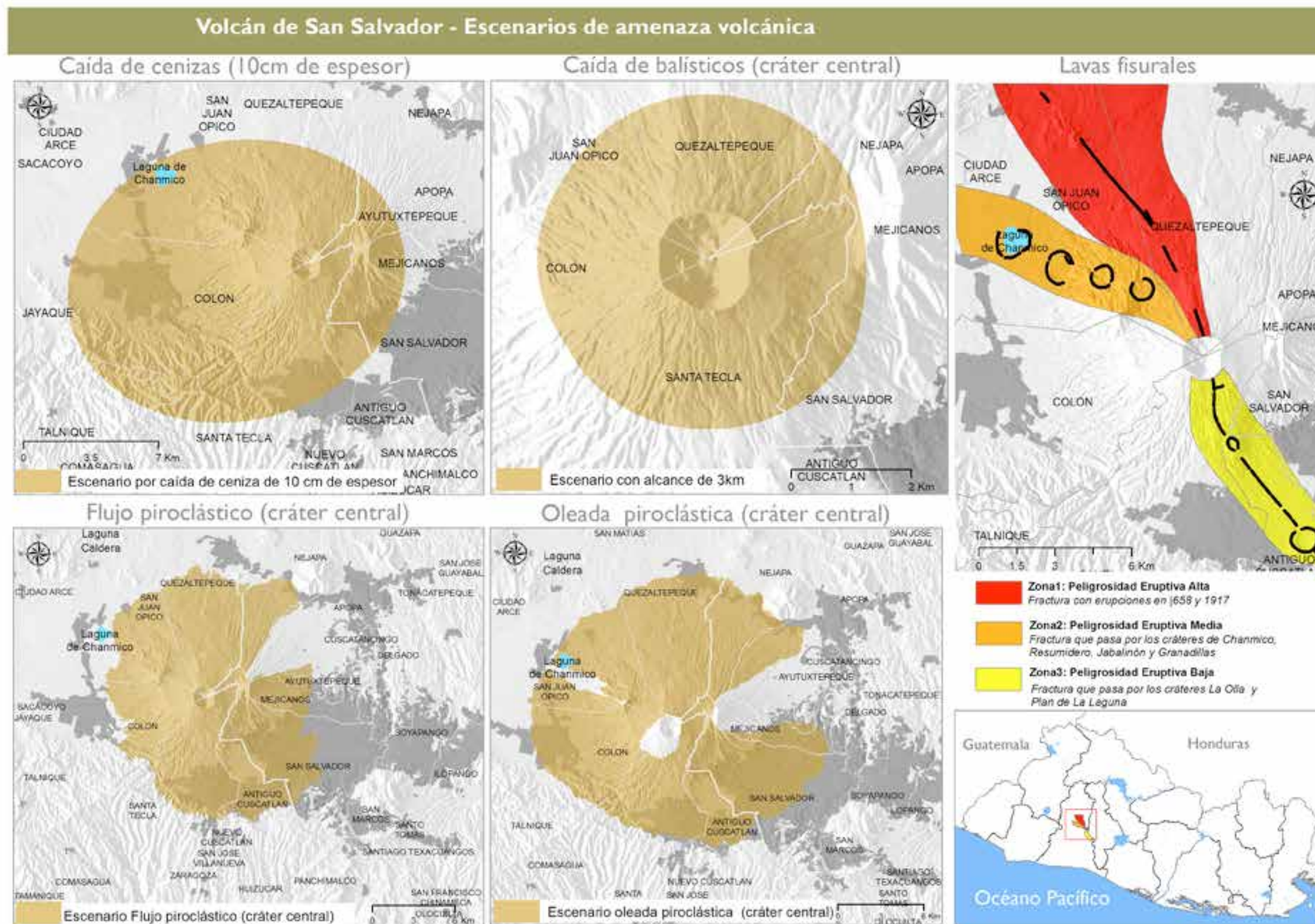


Figura 50. Mapa de escenarios de amenaza volcánica para el volcán de San Salvador
Fuente: FD. Ferrés, Estratigrafía, geología y evaluación de peligros volcánicos del complejo volcánico de San Salvador, El Salvador. (UNAM-MARN, 2014)

Volcán de Santa Ana - escenarios de amenaza volcánica

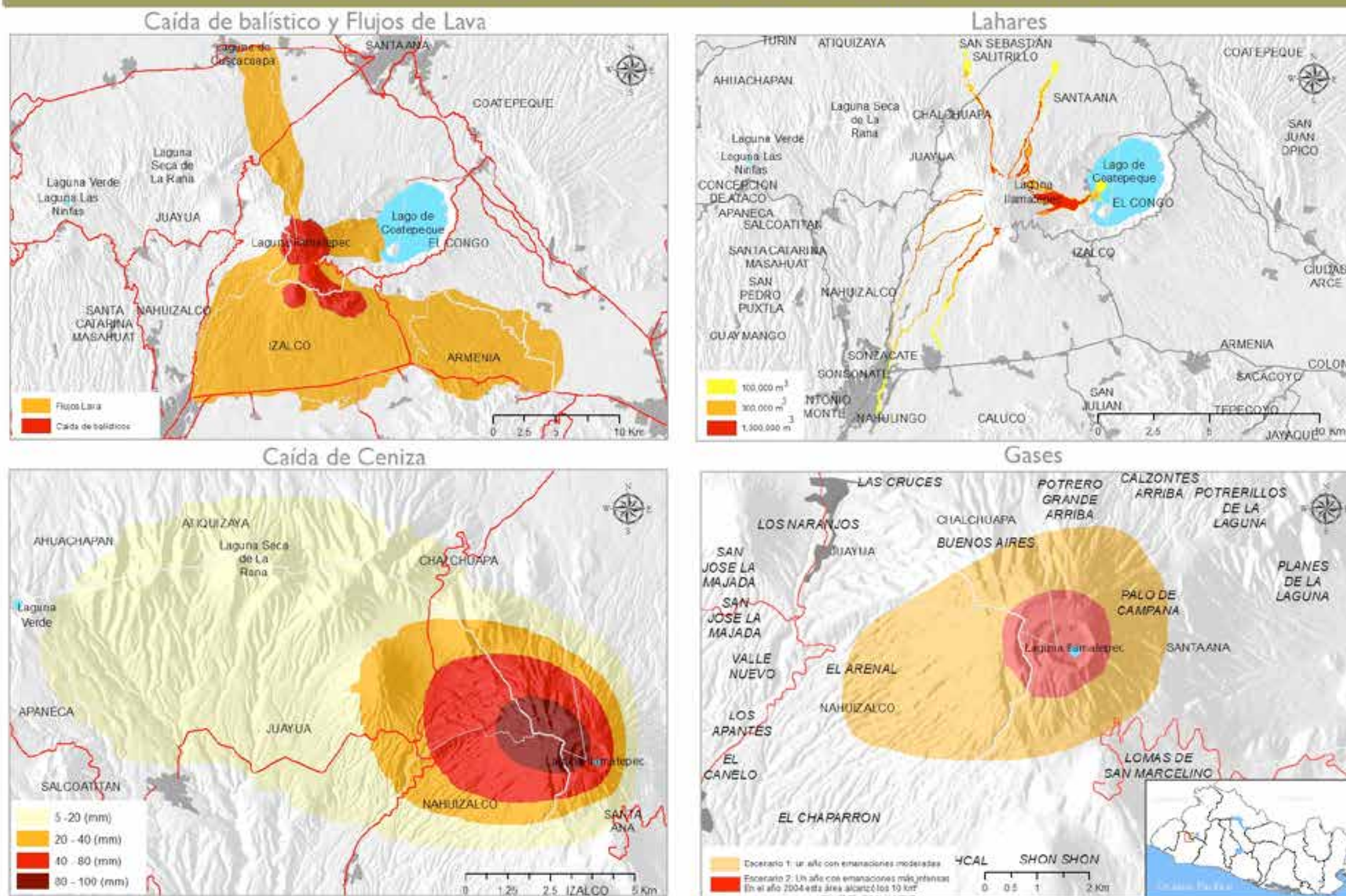


Figura 51. Mapa de escenarios de amenaza volcánica para el volcán de Santa Ana

Fuente: Ferrés, D., Escobar, D., Pullinger, C., Vallance, J.W., Griswol, J.P. (2005). Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica, Complejo Volcánico Santa Ana. Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Servicio Geológico de los Estados Unidos (SNET, USGS, 2005).

Volcán de San Miguel - escenarios de amenaza volcánica

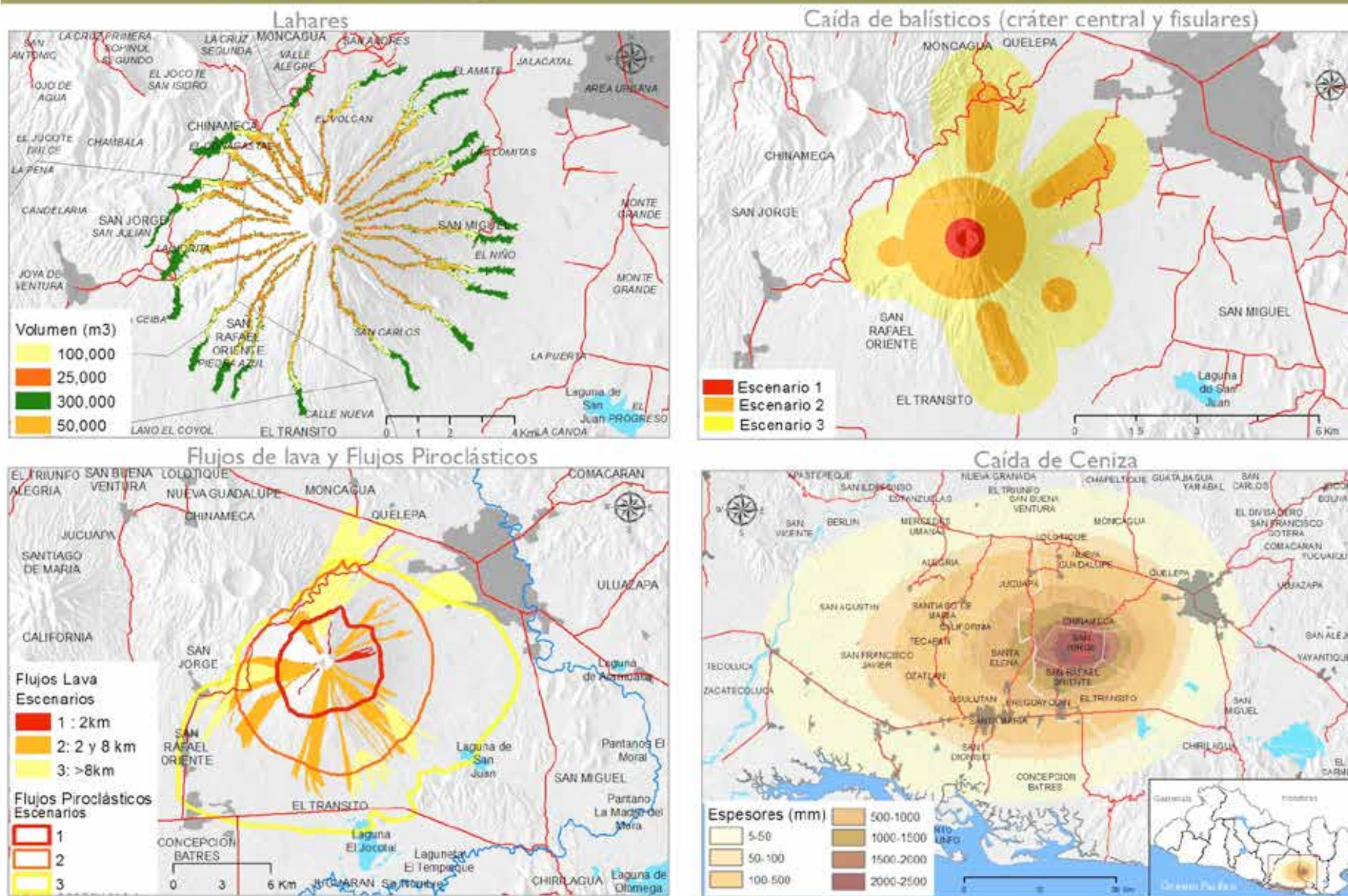


Figura 52. Mapa de escenarios de amenaza volcánica para el volcán de San Miguel

Fuente: Escobar, D., Ferrés, D., Pullinger, C., Delgado, H.G., Farraz, I.A., A la Torre, M.A.I. (2004). Mapa de Escenarios de Amenaza Volcánica, Volcán de San Miguel o Chaparrastique, Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México (SNET, UNAM, 2004).

4.4 Movimiento de masas

4.4.1 Deslizamientos en El Salvador

Los deslizamientos son movimientos de rocas, suelos, materiales artificiales o una combinación de los mismos, que se producen a lo largo de una superficie a favor de la pendiente. Los factores que causan los deslizamientos están asociados a condiciones climáticas, sísmicas y volcánicas particulares que influyen en la estabilidad de las laderas. En El Salvador, el principal detonante de los deslizamientos de tierra es la intensa lluvia y la lluvia acumulada en zonas específicas. Sin embargo, la actividad sísmica también ha generado importantes deslizamientos de tierra.

En el país, los deslizamientos ocurren en zonas con morfología accidentada, que presentan fuertes pendientes y materiales no consolidados. En la mayoría de los casos, estos eventos han ocurrido en la cadena montañosa del norte del país y en la cadena volcánica central (ver figura 53).

La zona montañosa del norte del país se caracteriza por producir movimientos de ladera de lento desplazamiento, normalmente del tipo rotacional y traslacional, los cuales ocurren sobre una superficie de ruptura con forma cóncava y curva o casi plana en algunas ocasiones. Los suelos arcillosos que prevalecen en esta porción del territorio, conformados por erupciones volcánicas muy antiguas (del periodo Terciario), han favorecido este tipo de fenómeno. En general, el factor de disparo para este tipo de deslizamientos está asociado con la ocurrencia de precipitaciones prolongadas de tipo temporal.

Normalmente, la cadena volcánica central se caracteriza por producir deslizamientos de tierra súbitos, tipificados como deslaves, lahares o flujos de escombros. Estos se originan en la parte alta de cerros y volcanes, y se desplazan hacia abajo a gran velocidad, encauzándose por las quebradas del sistema de drenaje en este tipo de relieve.

La geología superficial de la cadena volcánica está conformada, principalmente, por suelos poco consolidados, compuestos por materiales provenientes de un vulcanismo joven, del periodo Cuaternario (tierra blanca, escorias, lapilli, tefra, rocas fracturadas, entre otras). Esta condición geológica y las fuertes pendientes favorecen la ocurrencia de este tipo movimientos de masa. El factor de disparo está asociado con la ocurrencia de precipitaciones intensas.

En el caso particular de la cadena volcánica central (incluyendo la pared norte de la Cordillera del Bálsamo), también se pueden observar deslizamientos disparados por sismos, tales como los casos de Las Colinas y la Finca San Luis (sur de Santa Tecla), Cerro de Jayaque, el río Desagüe y la Curva de La Leona, generados durante la actividad sísmica del año 2001. La zona sur de la Cordillera del Bálsamo y la Sierra de Jucuarán se caracterizan por generar deslizamientos de tipo traslacional y caída de rocas, que son condicionados por una geología del periodo Terciario, compuesta por rocas embebidas en una matriz arcillosa. El factor de disparo para este tipo de eventos suele ser la lluvia.

De acuerdo con los registros históricos, es posible identificar ocho grandes zonas críticas en el territorio nacional, donde la susceptibilidad a deslizamientos y los efectos de este fenómeno, podrían causar la pérdida de vidas y daño a la infraestructura: 1) cerro de Apaneca; 2) volcán de Santa Ana; 3) El Picacho, en el volcán de San Salvador; 4) ladera norte del volcán de San Vicente; 5) Berlín, en Usulután; 6) volcán de San Miguel; 7) volcán de Conchagua; 8) y el cantón Vainillas en Chalatenango.

Con relación a la época en la que ocurren los deslizamientos de tierra en el país, es importante mencionar que corresponden a la época lluviosa, es decir, al periodo de mayo a octubre. Entre 1915 y 2013, el 30 % de los deslizamientos ocurrió en octubre; un 15 % en junio; otro 15 % en agosto y un 15 % en septiembre. En general, las lluvias incrementan el peso de los suelos y generan procesos de erosión y cambios mineralógicos. Estos procesos modifican las propiedades y la resistencia de los suelos, haciéndolos susceptibles a deslizar.

4.4.2 Deslizamientos históricos

En El Salvador y durante el período de 1982 a 2012, ocurrieron los principales deslizamientos, entre los cuales destacan: el Picacho en el volcán de San Salvador, las Colinas en Santa Tecla, Cerrón Mascarrón en el lago de Coatepeque, cerro Pelón en Berlín, Usulután; la Zompopera en Chalatenango; Verapaz y Guadalupe en San Vicente; cantón Vainillas en Chalatenango, entre otros (ver cuadro 11 y figura 54 a la 63).

Cuadro 11. Principales deslizamientos en El Salvador desde 1982 hasta el 2012

Deslizamientos	Fecha (dd/mm/aa)	Tipo	Zona morfológica	Factor disparo
El Picacho, San Salvador	19/09/1982	Flujo de escombros	Cadena volcánica central	Lluvia
Maradiaga, San Vicente	19/08/1995	Flujo de escombros	Cadena volcánica central	Lluvia
La Cuaresma, Metapán	21/09/1995	Flujo de escombros	Cadena montañosa del norte	Lluvia
La Burrera, Cabañas	27/09/1996	Rotacional	Cadena montañosa del norte	Lluvia
La Zompopera, Chalatenango	01/11/1998	Traslacional	Cadena montañosa del norte	Lluvia
Cerro Pelón, Usulután	01/11/1998	Flujo de escombros	Cadena volcánica central	Lluvia
Las Colinas, La Leona, El Desagüe	13/01/2001 13/02/2001	Rotacional	Cadena volcánica central	Sismo
Guadalupe, San Vicente	15/09/2001	Flujo de escombros	Cadena volcánica central	Lluvia
Apaneca, Ahuachapán	26/06/2005	Flujo de escombros	Cadena volcánica central	Lluvia
Volcán de Santa Ana, Santa Ana	02/10/2005	Flujo de escombros	Cadena volcánica central	Lluvia
El Picacho	--/10/2008	Flujo de escombros	Cadena volcánica central	Lluvia
San Vicente	08/11/2009	Flujo de escombros	Cadena volcánica central	Lluvia
Cantón Vainillas y caserío El Camalote, municipio de El Carrizal, Chalatenango	26/09/2011	Rotacional	Cadena montañosa del norte	Lluvia
Comasagua, La Libertad	--/10/2012	Flujo de escombros	Cadena volcánica central	Lluvia

Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 54: Viviendas afectadas por flujo de escombros (deslave) originado en El Picacho y que afectó Montebello en septiembre de 1982. Fuente: elsalvador.com



Figura 55: "La Casa Rosada" fue una de las pocas viviendas que soportó el deslave que afectó Montebello en septiembre de 1982. Fuente: Archivo El Diario de Hoy



Figura 53. Mapa de zonas susceptibles a deslizamientos en El Salvador
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 56: Deslizamiento la Zompopera, Chalatenango, activado en 1998
Fuente: MARN



Figura 57: Cicatriz de deslizamiento en la parte alta de el Picacho, volcán de San Salvador, octubre de 2008
Fuente: MARN



Figura 58: Vista aérea de la parte alta del deslave en la finca La Ascensión, Comasagua
Fuente: MARN



Figura 59: Vista aérea del deslizamiento en las cercanías del caserío El Camalote, Chalatenango
Fuente: MARN



Figura 60: Quebradas del volcán de San Vicente por donde descendieron los flujos de escombros durante la tormenta Ida en noviembre 2009
Fuente: MARN



Figura 61: Flujo de escombros que afectó la ciudad de Verapaz en San Vicente, noviembre 2009
Fuente: MARN



Figura 62: Rocas depositadas en quebrada el Derrumbo, cercanías de Guadalupe, San Vicente, noviembre 2009
Fuente: MARN



Figura 63: Flujo de escombros en Verapaz, noviembre 2009
Fuente: MARN

Deslizamientos de tierra en sitios críticos

Cerro de Apaneca. En junio del 2005, un deslave en el flanco oriental del cerro de Apaneca (Chichicastepec), afectó al caserío Tizapa y al cantón Taltapanca, municipio de Apaneca. El área total afectada fue de aproximadamente 26,000 m². El evento causó cuatro muertos, varios heridos y la destrucción de varias viviendas.

Berlín, Usulután. En mayo del 2007, tres deslaves se originaron en el cerro Pelón, ubicado a un kilómetro al sureste de la ciudad. Este evento fue provocado por una intensa lluvia que dejó 170 mm en aproximadamente cuatro horas. Los deslizamientos se caracterizaron por el desprendimiento superficial de rocas y suelos que encausaron por quebradas poco profundas, arrastrando árboles y maleza en su recorrido. El volumen del mayor deslave se estimó en unos 2,500 metros cúbicos que, al llegar a la base del cerro, impactó en la lotificación Brisas del Sol, y causó la muerte de cuatro personas y la destrucción de varias viviendas. Un deslizamiento similar se generó en 1998 y tuvo como detonante las lluvias dejadas por el huracán Mitch.

Volcán de Conchagua. Durante los últimos años no se tienen registros de deslizamientos significativos en el volcán de Conchagua. No obstante, en agosto del 2007 se produjo una inundación en la colonia San Antonio, ciudad de La Unión, que ocasionó daños de consideración. Esta colonia se ubica en el sector sur-poniente de la ciudad de La Unión y es atravesada, de sur a norte, por el cauce de la quebrada el Chogual, la cual desciende desde las laderas del volcán de Conchagua.

El Picacho, volcán de San Salvador. El 19 de septiembre de 1982 ocurrió un deslave que se originó en la parte alta de El Picacho y que encausó en la quebrada el Níspero, arrastró rocas y árboles a su paso por la quebrada hasta depositarse en la colonia Montebello y en otras colonias cercanas. El volumen del deslave osciló entre 200 a 300 mil metros cúbicos de suelo y rocas, y la distancia recorrida fue de unos cuatro kilómetros. Este deslave afectó 65 viviendas de las cuales 17 quedaron totalmente destruidas, 500 personas perdieron la vida y 2380 personas damnificadas. Las colonias afectadas fueron: Reparto Montebello Poniente, colonias Lorena, San Mauricio, San Ramón, Santa Margarita y Residencial Montebello.

Volcán de San Vicente. La lluvia del 7 y 8 de noviembre del 2009 generaron varios deslaves (flujos de escombros) en el volcán de San Vicente. Estos deslaves afectaron las ciudades de Verapaz y de Guadalupe y causaron pérdidas en vidas humanas y daños materiales. El registro de lluvia alcanzó los 355 mm en aproximadamente seis horas. Los deslaves iniciaron en la parte media alta del volcán y activaron, al menos, cuatro quebradas: El Derrumbo (en dirección a Guadalupe), La Quebradona (en dirección a Verapaz), El Infiernillo y Amate Blanco (en dirección a Tepetitán).



Figura 64. Mapa de ubicación de ocurrencia de deslizamientos en El Salvador desde el año 1774 hasta el 2012.
Fuente: Elaboración propia MARN

Otros deslaves importantes:

1921: Verapaz fue destruida totalmente por un deslave, causó numerosas muertes tanto en Verapaz como en Agua Agria, poblado situado en la parte alta de la ladera del volcán.

1934: un deslave originado en la quebrada el Amate Blanco destruyó totalmente a Tepetitán. El desastre provocó numerosas víctimas.

1966: en la ladera sur del volcán un desprendimiento bloqueó la vía principal entre Tecoluca y Zacatecoluca.

1974: deslave en la ladera noreste del volcán, el cual afectó a la ciudad de San Vicente.

2001: los derrumbes ocasionados por el terremoto del 13 de febrero en las laderas norte y noroeste fluyeron hacia el valle, aún sin transformarse en deslaves. Los derrumbes depositaron más de 200,000 metros cúbicos de sedimentos en los canales que drenan del volcán. Esta situación incrementó la probabilidad de inundaciones y deslaves aguas abajo hacia Guadalupe, Tepetitán y Verapaz.

2001: el 15 de septiembre, un deslave provocado por lluvias y proveniente de la quebrada el Derrumbo, afectó a Guadalupe. El deslave provocó la muerte de una persona y numerosas casas destruidas en, aproximadamente, la misma zona afectada por el evento de 1934.

Volcán de Santa Ana. En octubre del 2005 se generaron varios deslaves (flujos de escombros) en la ladera oriente del volcán de Santa Ana, producto de la erupción del 1 de octubre y la situación lluviosa que afectó al país. Los deslaves se originaron cerca del cráter y se desplazaron por las quebradas hasta depositarse en el cantón Planes de La Laguna, en la ribera poniente del lago de Coatepeque. Se acumuló gran cantidad de lodo y de rocas que, a su vez, produjeron la destrucción de varias viviendas.

4.4.3 Susceptibilidad y amenaza por deslizamientos

Para determinar la susceptibilidad de deslizamientos de tierra en El Salvador, se ha utilizado el modelo determinación *a priori* de la amenaza de deslizamientos en grandes áreas y utilizando indicadores morfodinámicos, también conocidos por *método Mora-Vahrson*. El modelo evalúa cinco factores agrupados en dos categorías:

Factores intrínsecos: son los característicos de las propiedades y de los comportamientos del medio. Estos factores son el relieve relativo, la litología y la humedad.

Factores externos: son los que inducen, desde el exterior, hacia un comportamiento activo de las masas de suelo. Estos factores son la Intensidad de los sismos y la intensidad de las lluvias.

Cada uno de los factores se pondera con un valor, el cual define su grado de influencia en los deslizamientos de tierra. El mapa muestra cuatro tipos de zonas, caracterizadas según un grado de susceptibilidad:

Muy alta susceptibilidad: zonas donde todas las condiciones del terreno son muy favorables para generar deslizamientos.

Alta susceptibilidad: zonas donde la mayoría de condiciones del terreno son favorables para generar deslizamientos. La figura 65 muestra las zonas susceptibles a deslizamientos en El Salvador.

Modelaciones en sitios críticos

Los sitios en los que, de manera recurrente hay deslizamiento de tierra tipo deslaves (lahares o flujos de escombros), por lluvia o por movimiento sísmico son: el cerro de Apaneca, el volcán de Santa Ana, El Picacho, en el volcán de San Salvador; las laderas norte y sur del volcán de San Vicente; Berlín, en Usulután; los volcanes de San Miguel y de Conchagua. En esas áreas se han realizado simulaciones de los flujos de escombros que pueden generarse para diferentes volúmenes de materiales y se utilizó el programa LAHARZ (ver figura 66 a la 75).

El programa LAHARZ ha sido desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), y tiene como objetivo delimitar las áreas con probabilidad de ser afectadas por deslaves y/o flujos de escombros que cubran zonas de interés.

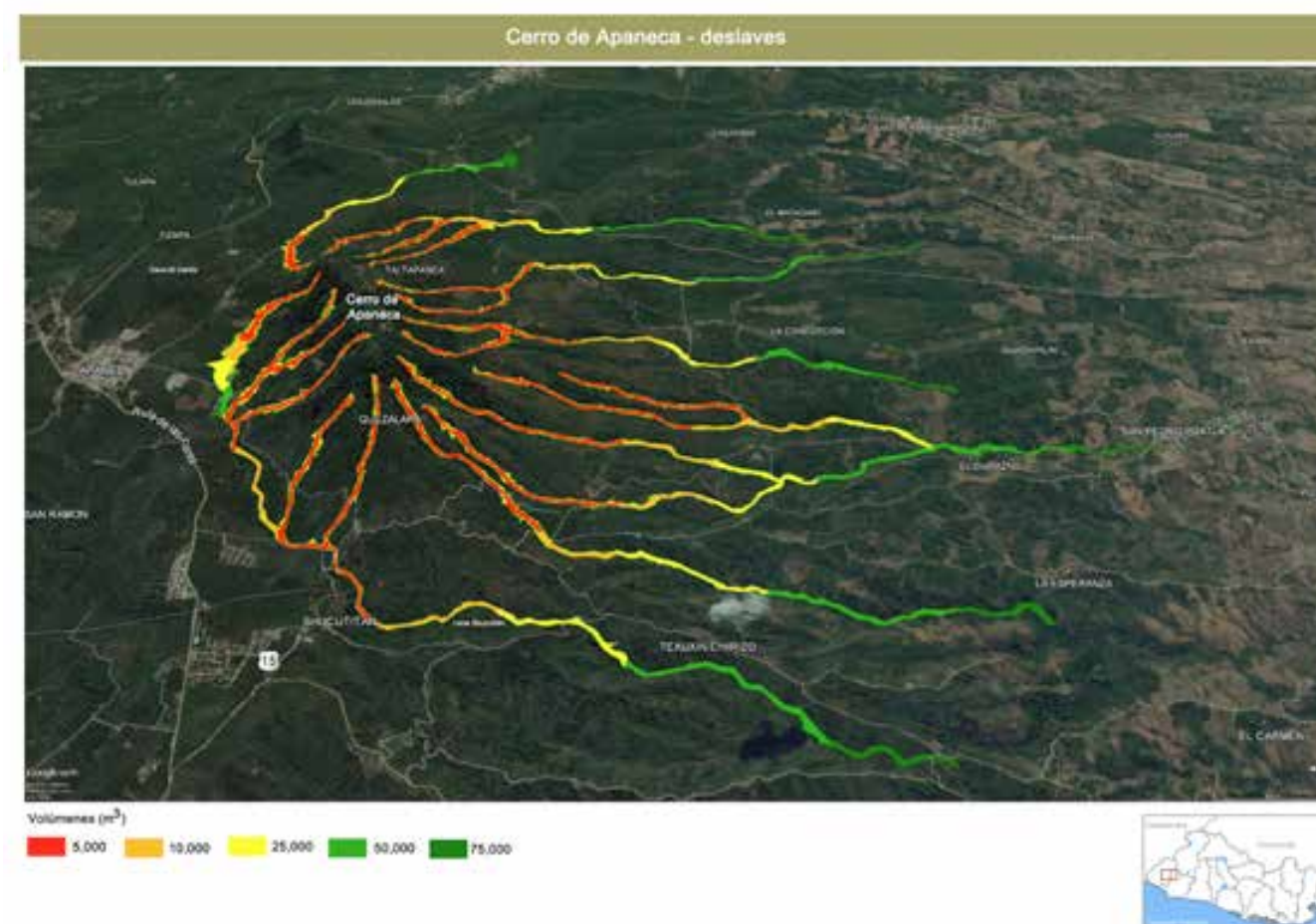


Figura 66. Amenaza por flujos de escombros o lahares en cerro de Apaneca, Ahuachapán
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 65. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos en El Salvador
Fuente: Elaboración propia MARN

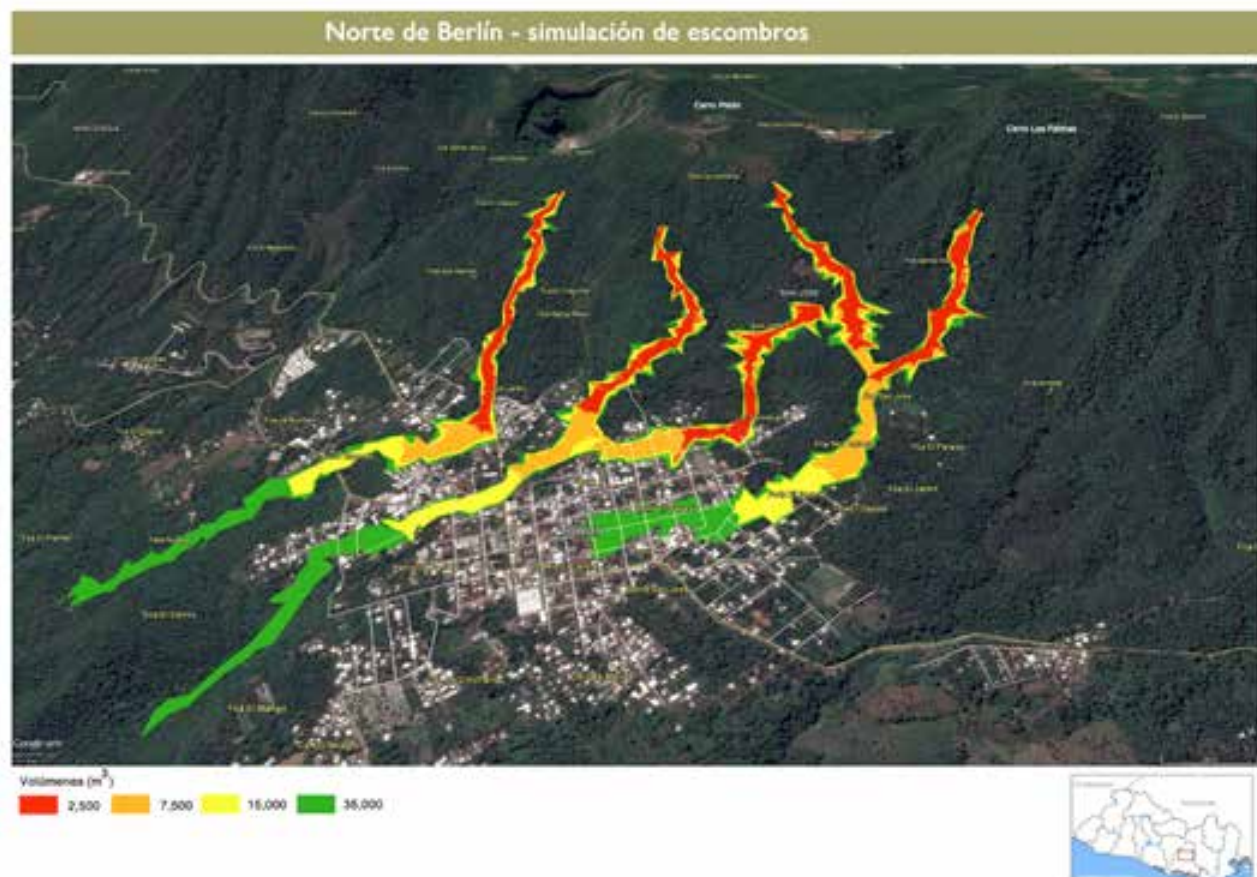


Figura 67. Mapa de amenaza por deslaves en ladera noroeste de los cerros Las Palmas, Pelón y El Pinal, ciudad de Berlín, Usulután
Fuente: Elaboración propia MARN

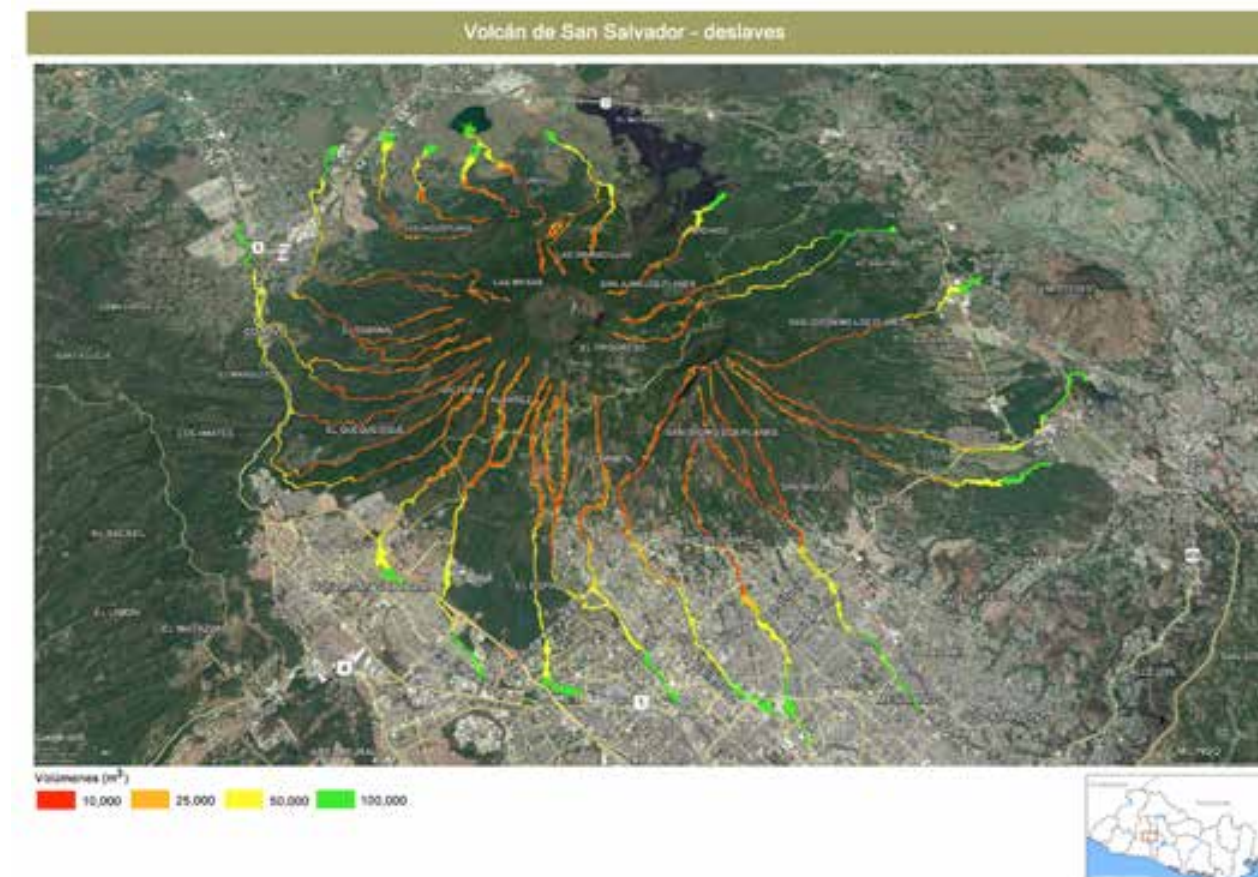


Figura 68. Mapa de amenaza por deslaves en el volcán de San Salvador para un volumen máximo de 100,000 m³
Fuente: Elaboración propia MARN

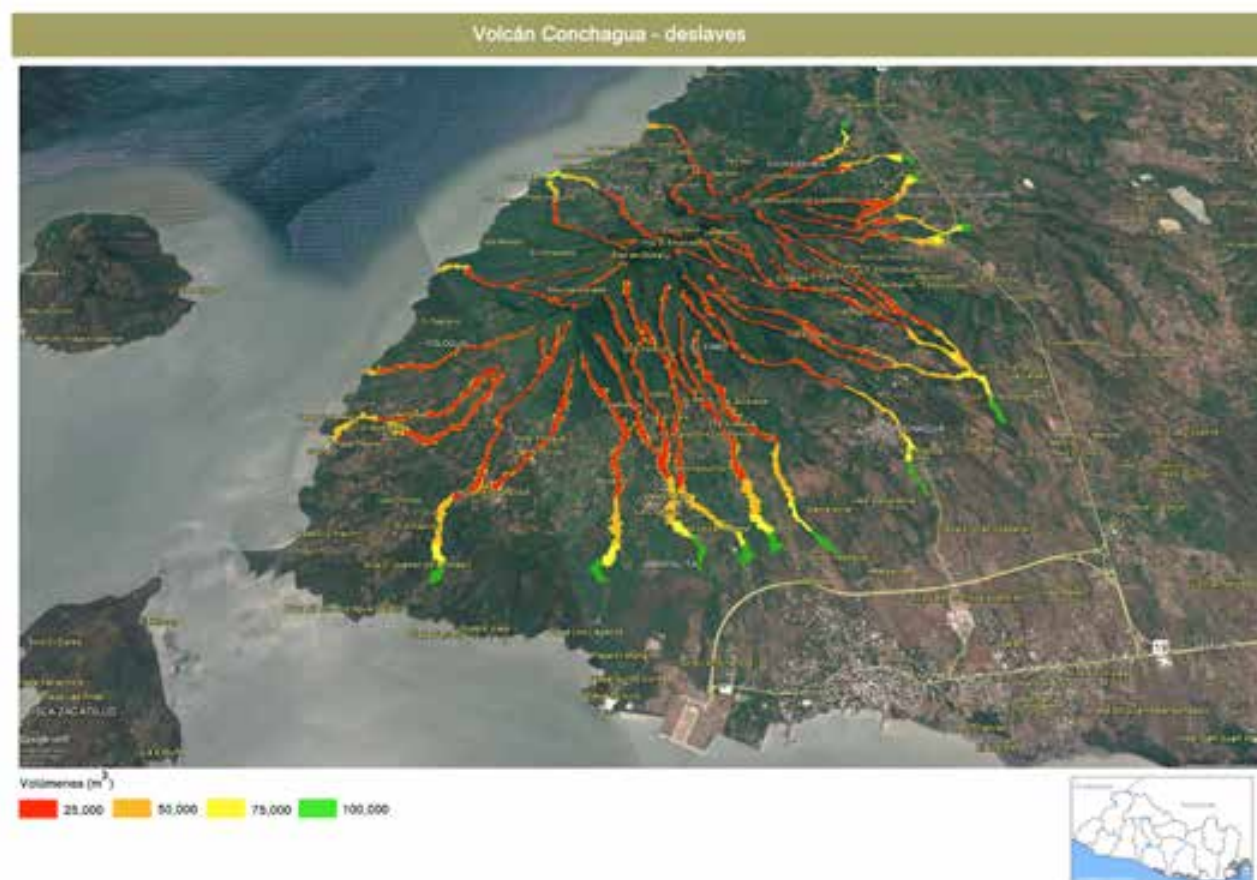


Figura 69. Mapa de amenaza por deslaves en el volcán de Conchagua, para un volumen máximo de 100,000 m³
Fuente: Elaboración propia MARN

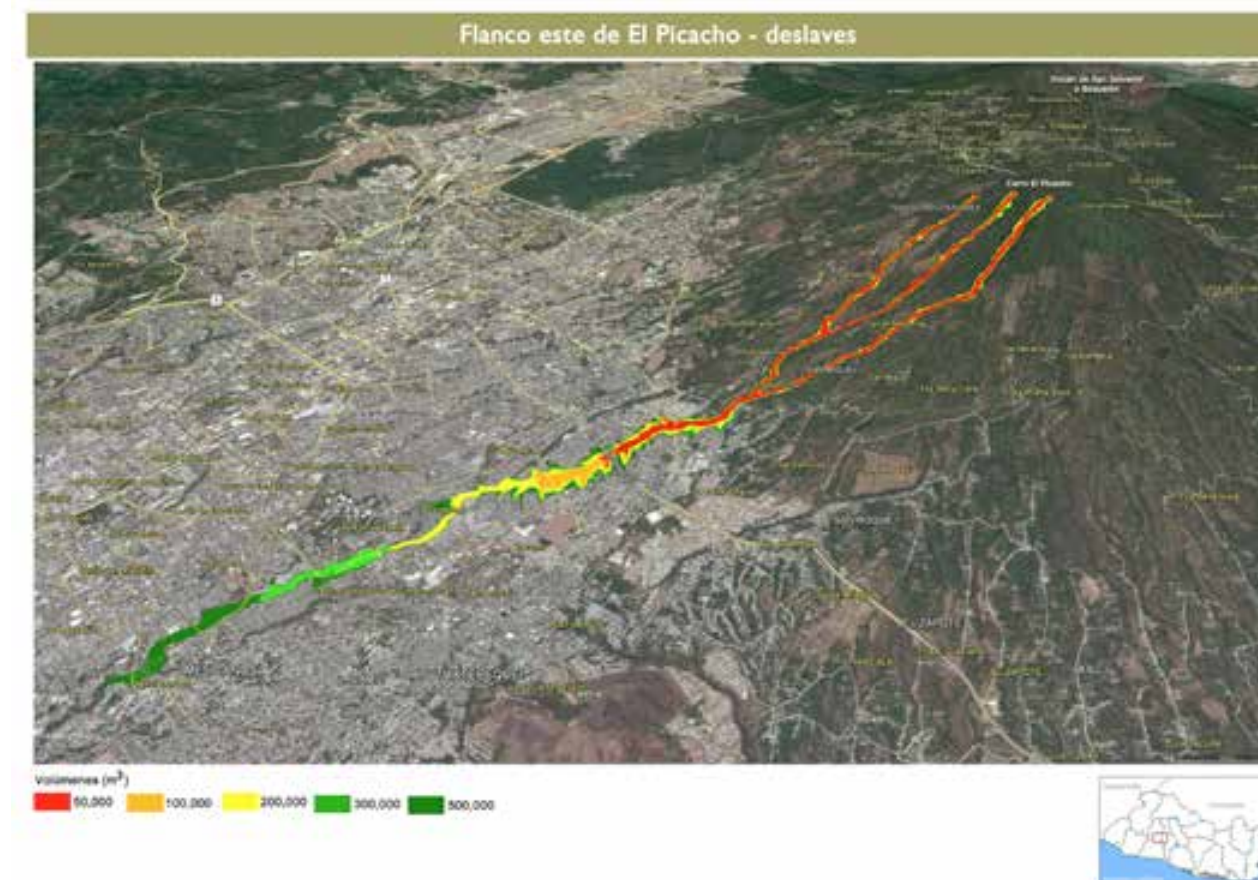


Figura 70. Mapa de amenaza por deslaves para las quebradas principales de El Picacho, volcán de San Salvador
Fuente: Elaboración propia MARN

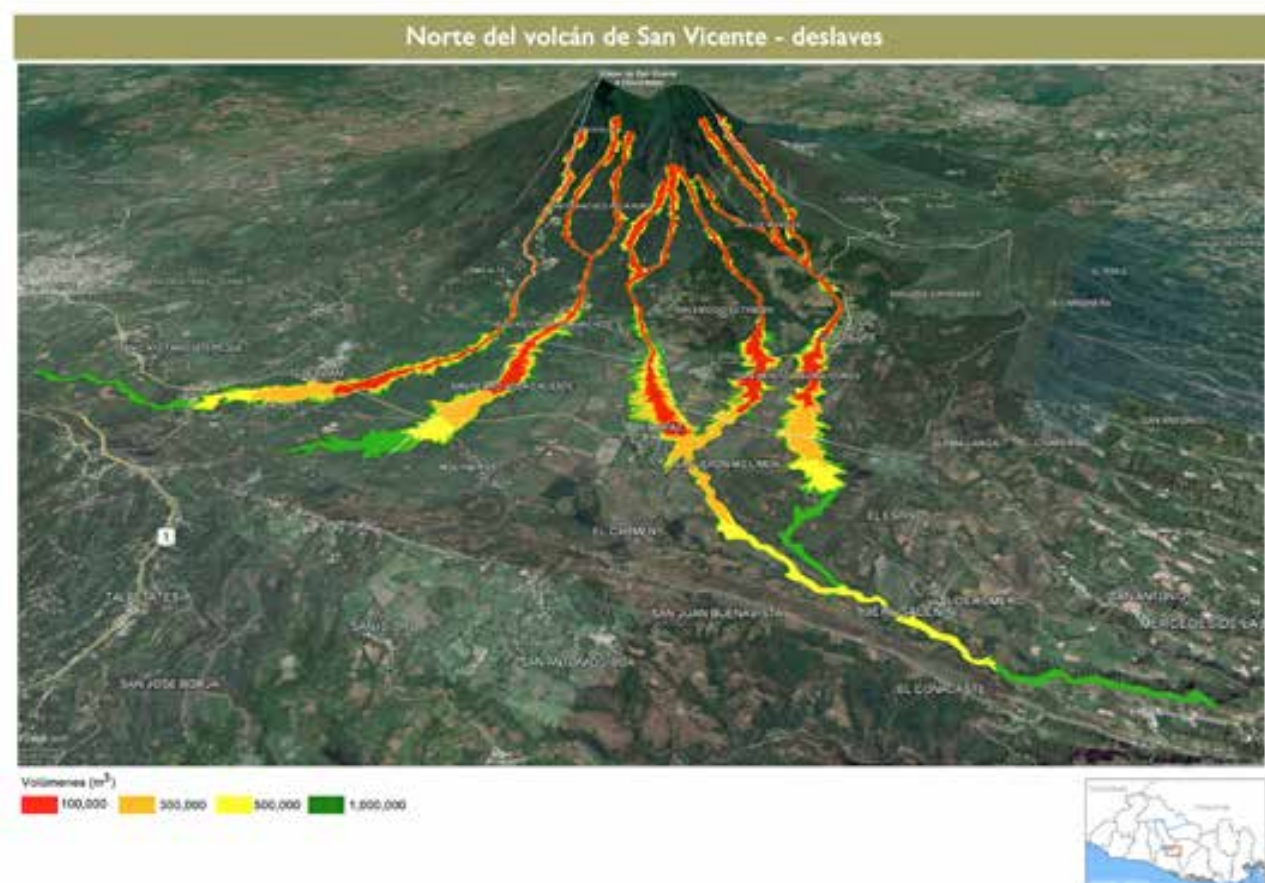


Figura 71. Mapa de amenaza por deslaves sobre flanco norte del volcán de San Vicente sobre los municipios de Guadalupe, Verapaz y Tepetitán, San Vicente
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 72. Mapa de amenaza por deslaves en flanco noreste de volcán de San Vicente, municipio de San Vicente, San Vicente
Fuente: Elaboración propia MARN

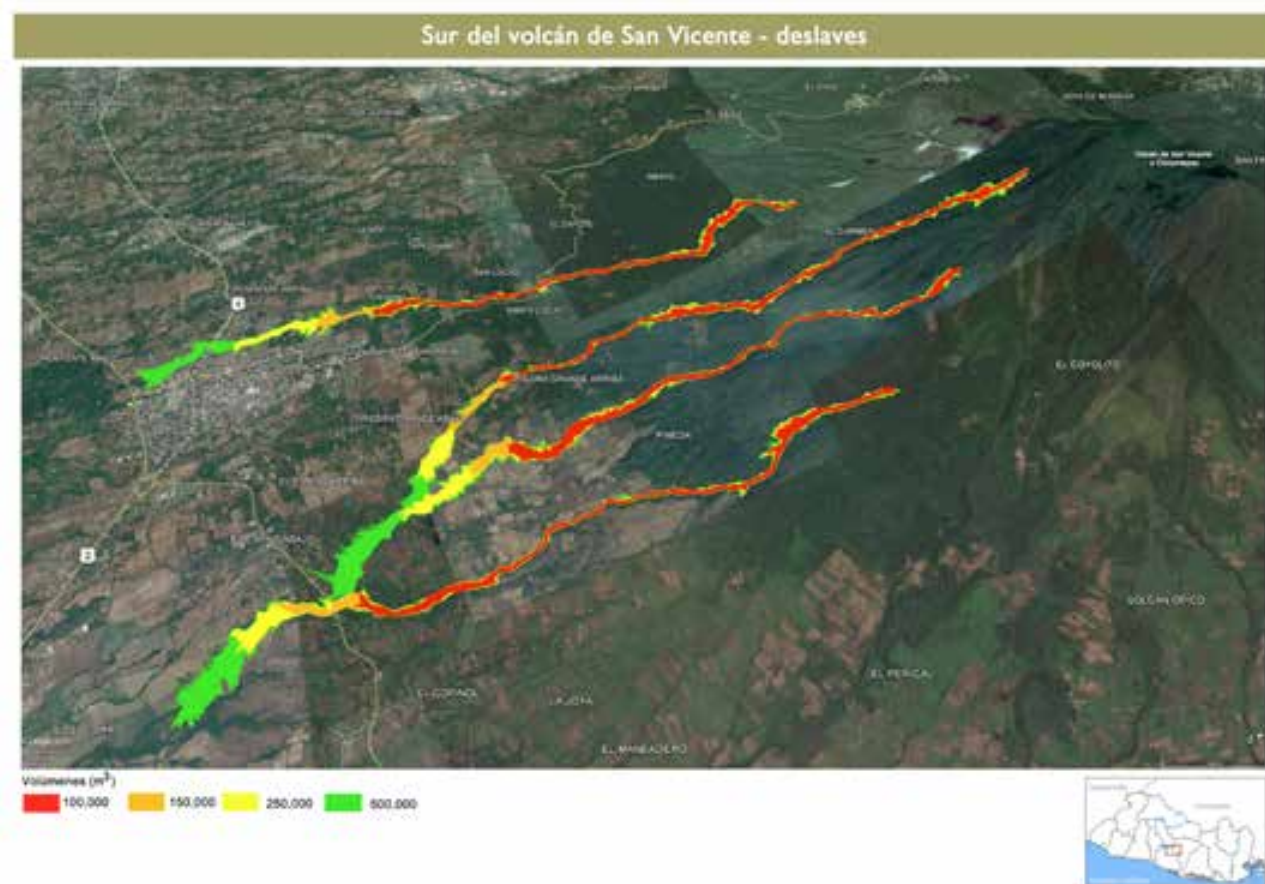


Figura 73. Mapa de amenaza por deslaves en flanco sur de volcán de San Vicente, municipio de Zacatecoluca, La Paz
Fuente: Elaboración propia MARN

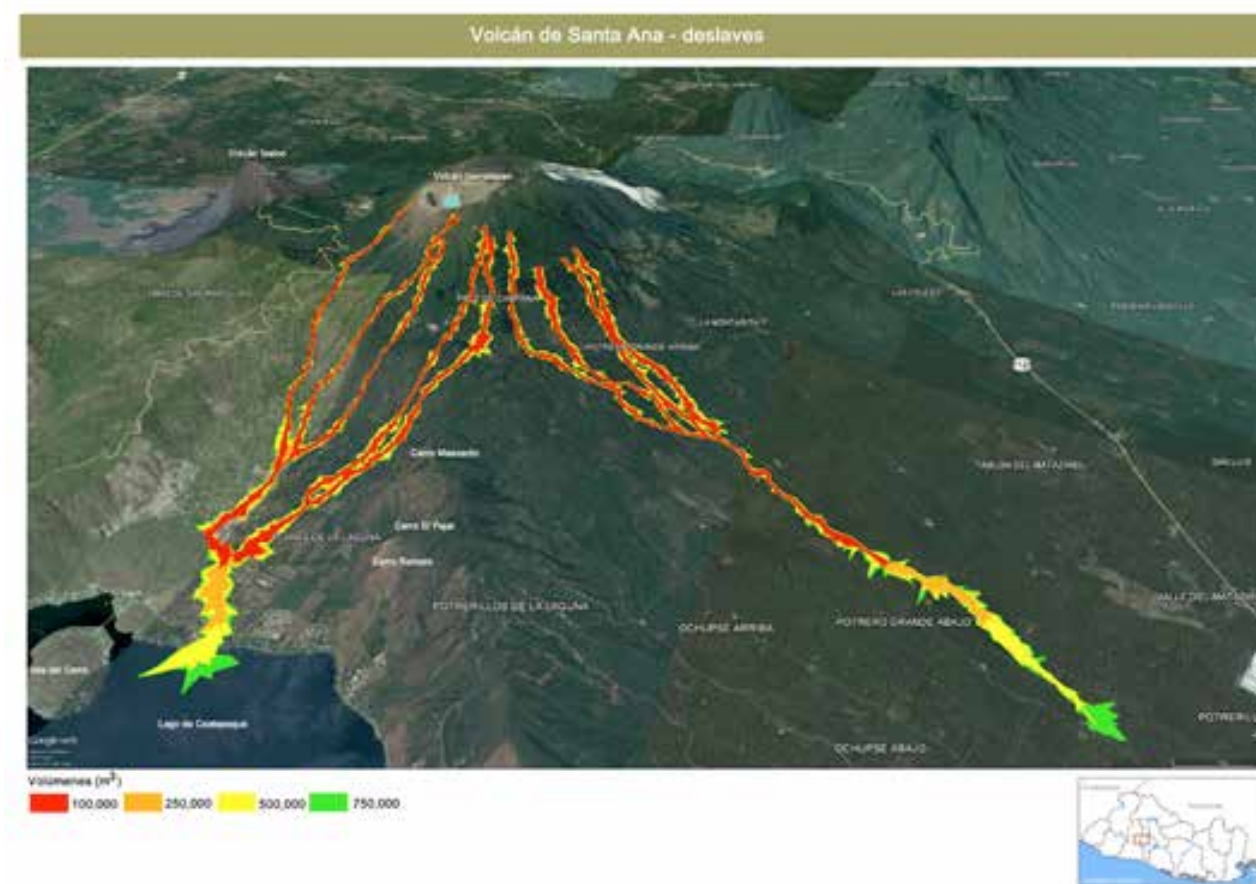


Figura 74. Mapa de amenaza por deslaves en el volcán de Santa Ana
Fuente: Elaboración propia MARN

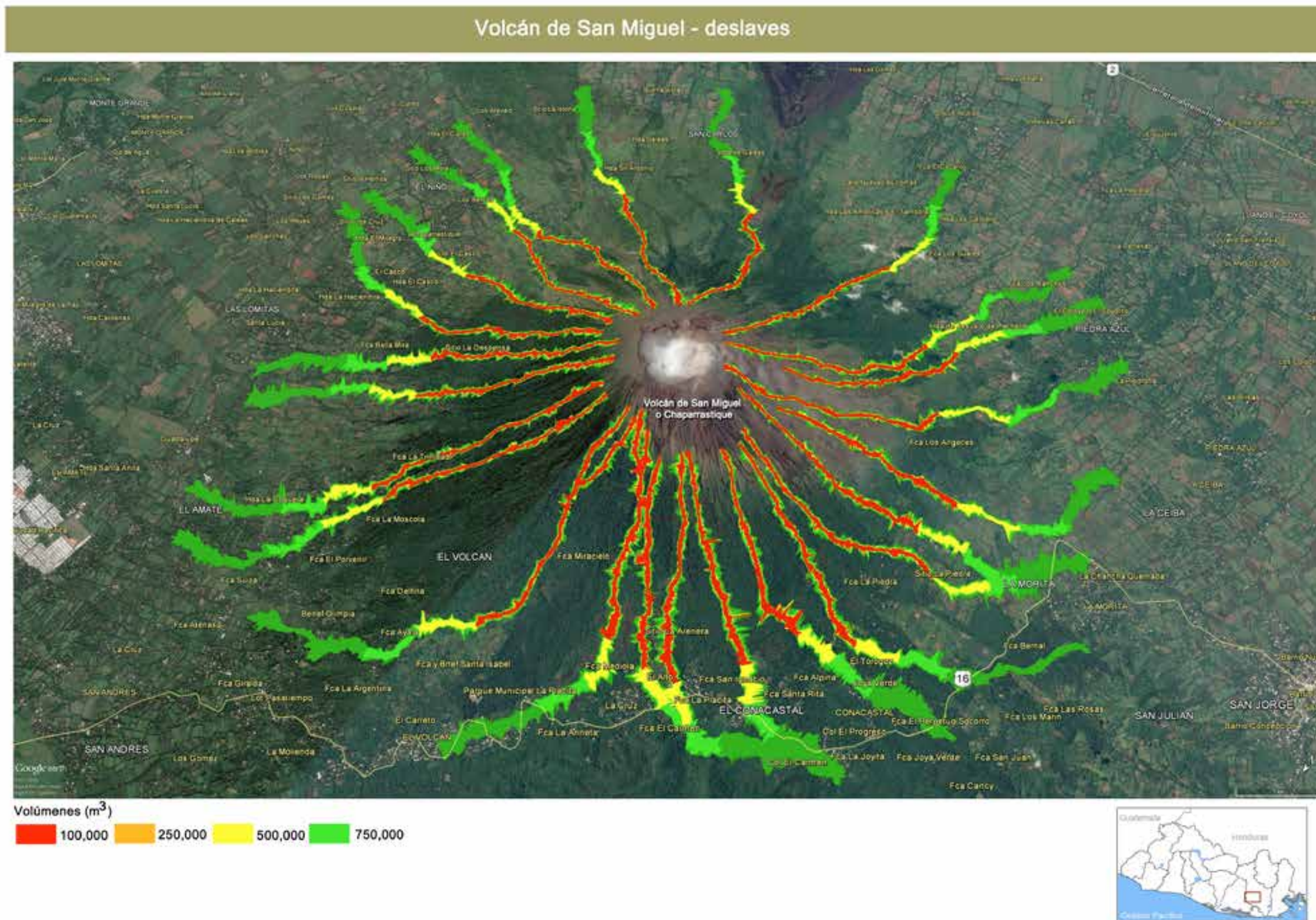


Figura 75. Mapa de amenaza por deslaves en el volcán de San Miguel
Fuente: Elaboración propia MARN

4.5 Amenaza climática y fenómenos hidrometeorológicos extremos

4.5.1. Tendencias del clima: cambio climático y variabilidad climática

En Centroamérica, existe amplia evidencia de los impactos ocasionados por la variabilidad climática, la cual se define como la desviación de las pautas normales del clima o climatología en un lugar determinado. Esta variabilidad puede ocurrir en diversas escalas de tiempo, desde variabilidad intra-estacional hasta de varios años o décadas. La variabilidad del clima se asocia con fenómenos que producen impactos de importantes consecuencias y se ve exacerbada por el cambio climático.

El cambio climático puede definirse como una modificación natural del clima respecto a su historial en lo regional y global, y el cual se asocia al impacto humano sobre el planeta. Más allá de los cambios lentos e inexorables de la temperatura y del nivel del mar, en El Salvador ya se experimentan elevadas pérdidas y daños por eventos climáticos extremos, que comprometen, en el corto plazo, la posibilidad del desarrollo económico y social³⁹.

Producto de la variabilidad climática y del cambio climático, se ha evidenciado una clara tendencia a que se exacerben los fenómenos hidrometeorológicos extremos y cada vez, estos eventos se hacen más frecuentes e intensos, se incrementa la convectividad de las tormentas (mayor intensidad de lluvia), la distribución espacial y temporal de las precipitaciones es mucho más irregular. Existen cambios en el origen, la trayectoria y número de sistemas ciclónicos originados en los océanos Pacífico y Atlántico que inciden sobre el territorio. Además, se registran vientos nortes más fuertes y prolongados, heladas y temperatura ambiente más alta o más baja; así como la temperatura de las aguas de los océanos se vuelven más extremas.

La amenaza climática creciente que enfrenta El Salvador, producto del cambio climático global, es el hecho ambiental de mayor reconocimiento nacional. Esta amenaza, también ha sido reconocida internacionalmente por la organización Germanwatch, al colocar al país, en el 2009, en la primera posición del Índice Global de Riesgo Climático. Esta posición de riesgo en la que se ubicó a El Salvador, se debió a los impactos causados por la Baja Presión E96 asociada a la baja presión asociada a Ida en noviembre del mismo año.

Eventos posteriores como la tormenta tropical Agatha (mayo 2010) y la Depresión Tropical 12E (octubre 2011), confirmaron que la variabilidad climática es una amenaza creciente para El Salvador. Los años 2010 y 2011 fueron en los que se registró la mayor cantidad de lluvia acumulada en 46 años de registro. A tres años continuos de eventos extremos lluviosos e impactos severos por inundaciones (con registros históricos de lluvia en intensidad y duración), le han seguido cinco años en que han predominado comportamientos e impactos de sequía, con fuertes implicaciones socioeconómicas, especialmente en comunidades más vulnerables. Por lo anterior, se definió como línea prioritaria de acción la *Adaptación al Cambio Climático y Reducción de Riesgos*⁴⁰.

Según el último Informe de *Índice de Riesgo Climático*, presentado por Germanwatch en el año 2017, se indica que para el período 1996-2015, la región centroamericana fue una de las zonas más afectadas por eventos climáticos, encontrándose El Salvador entre los 20 países más impactados (ver figura 76).

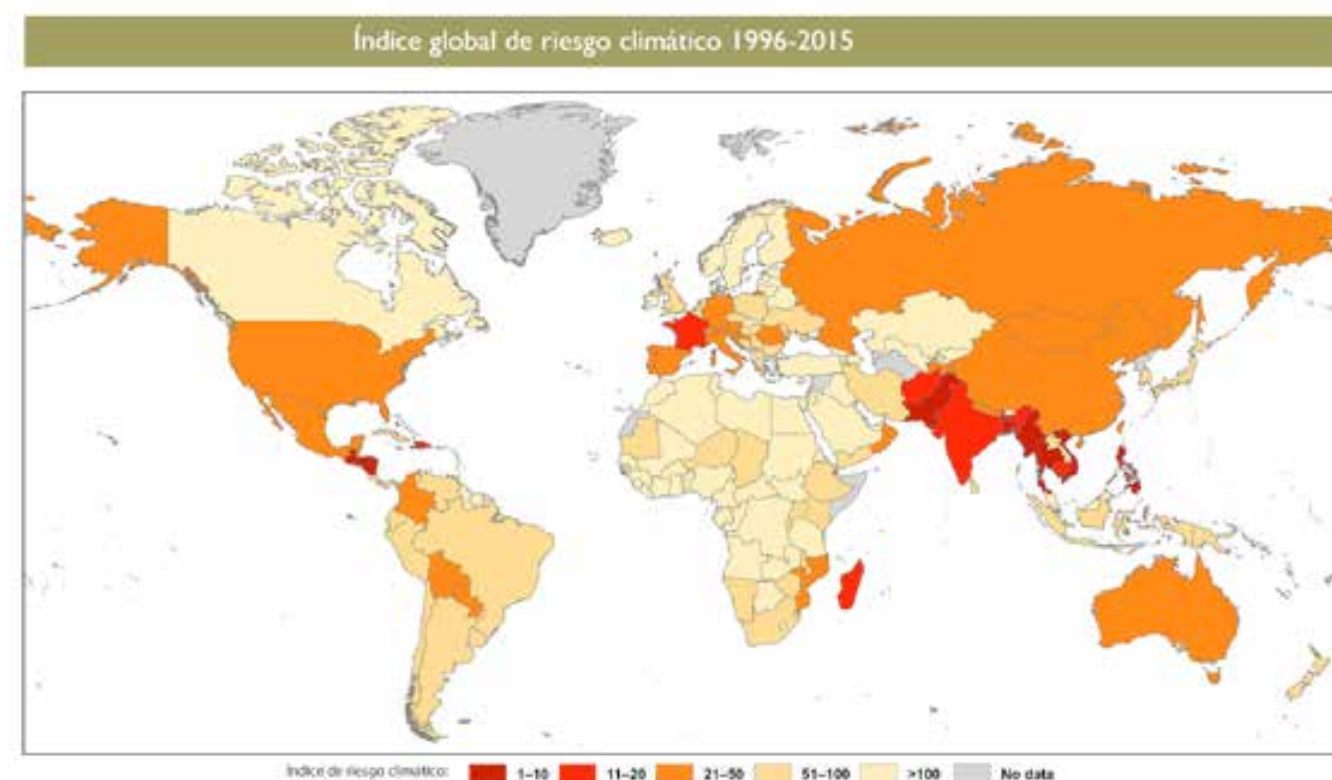


Figura 76. Mapa de índice de Riesgo Climático Global, 1996-2015⁴¹
Fuente: Germanwatch y Munich Re NatCatSERVICE, 2017

Escenarios de cambio climático realizados por la CEPAL para El Salvador; reflejan una progresiva disminución de la precipitación durante el primer trimestre de cada época lluviosa. Esta condición identificada, muestra una tendencia hacia la desaparición de la curva bimodal que ha sido característica en el país, desplazando la lluvia más hacia el final del año.

De hecho, el régimen de lluvia, caracterizado típicamente por una época seca (de noviembre a abril) y una época lluviosa (de mayo a octubre), se alteró en las últimas décadas. En estos últimos años, se presentaron diversas anomalías en el patrón temporal y espacial de la lluvia, lo que ha derivado en un incremento de los desastres vinculados a fenómenos hidrometeorológicos, tanto por exceso como por falta de precipitación.

Investigaciones recientes indican que los cambios permanentes del clima, provocados por el cambio climático, se instaurarán más temprano que lo previsto, y todavía antes en países tropicales como El Salvador, anticipándose que ocurrirán en los años 2030. Las tendencias observadas en lo nacional y regional, estarían mostrando que esos cambios tendrían lugar, incluso, antes.

Por lo anterior, el análisis del comportamiento creciente de pérdidas y daños, se vuelve un elemento fundamental para la reducción del riesgo por fenómenos naturales y socionaturales.

³⁹ Estrategia Nacional de Cambio Climático, 2013.

⁴⁰ Política Nacional del Medio Ambiente, 2012

⁴¹ Germanwatch y Munich Re NatCatSERVICE, 2017

De acuerdo con los mismos escenarios realizados por la CEPAL en el estudio denominado *La Economía del Cambio Climático en Centroamérica*⁴², aun sin considerar la anticipación de los cambios de estado del clima, la disponibilidad de agua para el año 2020, bajará al menos un 6 % respecto de la existente en el año 2000. También indica que las demandas de agua del país crecerán un 300 % hacia 2050 sin incidencias del cambio climático, y más del 400 % con cambio climático.

4.5.2. Récords de lluvias intensas

En El Salvador, al considerar como eventos hidrometeorológicos extremos, aquellos que producen una precipitación superior a 100 milímetros (mm) en 24 horas y acumulados de más de 350 mm en 72 horas, resulta significativo el aumento de esos fenómenos climáticos extremos. Según los registros de lluvia, el país fue impactado por 16 eventos hidrometeorológicos extremos desde la década de los sesenta, la mitad de estos ocurrieron en un periodo de 10 años (entre el 2002 y 2011) y cuatro de estos ocho eventos se formaron en el océano Pacífico. En la década de los sesenta y setenta, se registró solamente un evento por década; en la década de los ochenta, el número de eventos aumentó a dos; y en los noventa, se incrementó a cuatro. En el periodo 2009-2011 hubo uno o más eventos en cada época lluviosa.

En la figura 77 se muestra los ciclones tropicales y los sistemas de baja presión que provocaron lluvias torrenciales en el período 1961-2011 (se especifica la duración del evento, el promedio nacional de lluvia acumulada, y la máxima lluvia acumulada en puntos concretos del país). En el cuadro 12 se presenta los impactos económicos de eventos extremos entre 1982-2011.

Entre los eventos más recientes se tiene la baja presión E96 asociada a Ida en noviembre de 2009, cuando se alcanzó un récord de lluvia acumulada en seis horas de 350 mm en el volcán de San Vicente (figura 78). Este evento extremo, muy concentrado espacialmente y, el primero de este tipo, registrado durante la transición hacia la época seca; provocó un deslizamiento de tierra en el municipio de Verapaz, departamento de San Vicente, desbordamientos de ríos, destrucción de puentes, importantes daños a la agricultura, 199 personas fallecidas y 15 mil personas refugiadas (CEPAL, 2009).⁴³

Cuadro 12. El Salvador: Impactos económicos de eventos seleccionados 1982-2011 (millones de USD\$)⁴⁴

Evento y año	Sectores sociales	Sectores productivos	Infra-estructura	Medio ambiente	Total
Huracán Paul (1982)*	21.1	87.5	20.3	n.d.	128.9
Huracán Mitch (1998)	37.6	269.2	74.3	7.0	388.1
Tormenta tropical Stan (2005)**	149.5	56.1	113.5	21.8	355.6
Huracán Ida (2009)	39.7	82.4	132.7	60.1	314.8
Tormenta tropical Agatha (2010)	43.9	20.6	35.5	12.1	112.1
Depresión tropical 12-E (2011)	207.1	339.1	279.6	76.5	902.3
Totales	498.9	854.9	655.9	177.5	2,201.8

* Incluye impactos económicos ocasionados por el terremoto de 1982

Fuente: Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de El Salvador (MARN, 2013)

De igual forma la depresión tropical 12 E en octubre de 2011, estableció récord de duración: 10 días de lluvia continua con un máximo acumulado de lluvia de 1,513 mm en la cordillera del Bálsamo y considerables daños y pérdidas cuantificadas en aproximadamente 4 % del Producto Interno Bruto (PIB). La figura 79 muestra la distribución de la lluvia registrada durante la depresión tropical 12E.

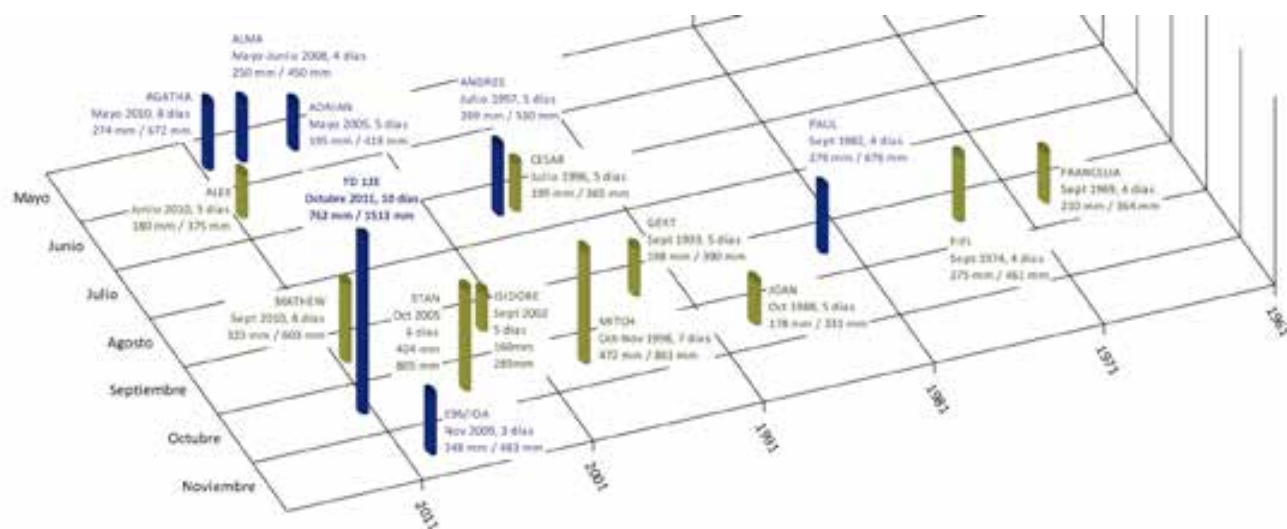
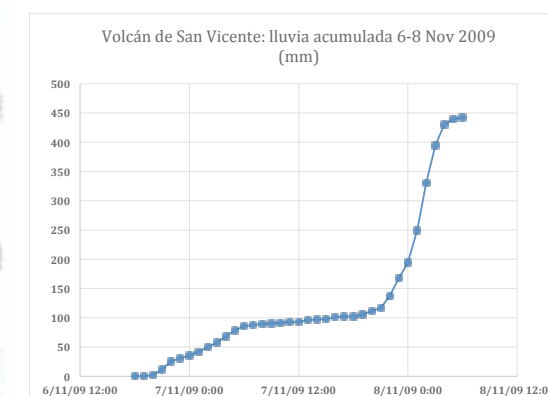


Figura 77. Eventos meteorológicos extremos de los océanos Pacífico y Atlántico que han impactado a El Salvador
Fuente: Estrategia Nacional de Cambio Climático, 2013. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales



Figura 78. Mapa de lluvia registrada durante la baja presión E96 e Ida
Fuente: Elaboración propia MARN



⁴²Galindo, L. M., & Samaniego, J. (2010). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: algunos hechos estilizados. Revista Cepal.

⁴³ y ⁴⁴Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de El Salvador (MARN, 2013)

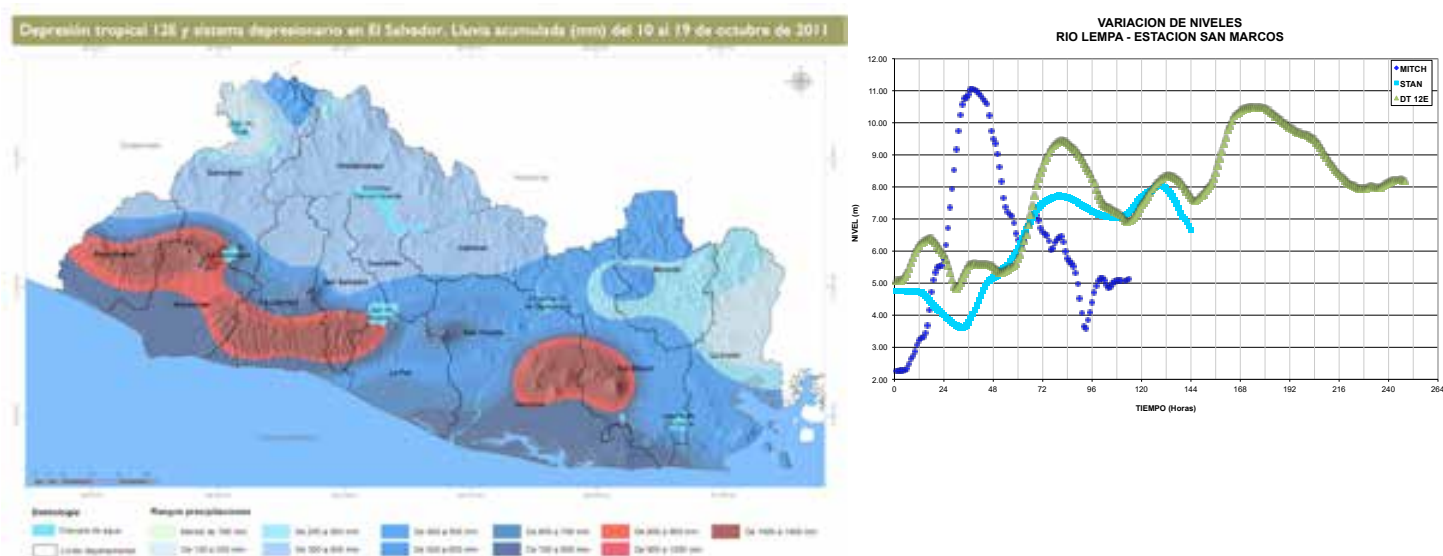


Figura 79: Mapa de lluvia acumulada registrada durante la depresión tropical 12E (izq.) y variaciones de niveles causados por la misma en comparación con otros eventos hidrometeorológicos extremos (der.)

Fuente: Elaboración propia MARN

4.5.3. Inundaciones en El Salvador

Durante su historia, El Salvador ha sido afectado por desbordamiento de ríos e inundaciones que han provocado importantes pérdidas materiales y humanas. Diversas referencias bibliográficas destacan fenómenos hidrometeorológicos extremos acontecidos en los años 1762, 1774, 1781, 1852, 1906, 1922, 1934. Eventos que provocaron inundaciones, pérdidas de vida y daños materiales en diferentes zonas del país.

Asimismo, en 1974, el huracán Fifi produjo graves inundaciones en el país. En 1998, el huracán Mitch y en el 2009, la baja presión E96 asociada a Ida; en el 2010, la tormenta tropical Agatha y en el 2011, la depresión tropical 12E.

Aunque las inundaciones han ocurrido siempre, el daño y las pérdidas generadas por ellas se han incrementado en los años recientes. La transformación de la morfología del territorio, cambio de usos del suelo y el desarrollo urbanístico han agravado la problemática de inundaciones, afectando diferentes zonas del país y, en especial, a la población de más escasos recursos que habita en asentamientos precarios o cerca de ríos y quebradas. Las inundaciones también han provocado pérdidas en cosechas y animales y daños a infraestructura básica como puentes, carreteras, casas, escuelas y unidades de salud.

El cambio en la distribución espacial y temporal de la lluvia debido al cambio climático y variabilidad climática, junto con el incorrecto manejo de las cuencas, ocasiona además de inundaciones, incremento de la erosión, disminución de la infiltración y aumento de la escorrentía superficial, entre otros.

Las inundaciones pueden estar relacionadas a diferentes factores, siendo los principales los relativos a la lluvia y la cuenca. Los factores relacionados a la lluvia son: a) intensidad: cantidad de lluvia por unidad de tiempo (mm/h); b) duración: cantidad de tiempo en que se produce la lluvia, puede ser de corta duración (es el caso de las tormentas) o de larga duración (lluvia tipo temporal); c) frecuencia: se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un evento con una magnitud igual o superior a una determinada; y d) patrón: que indica la variación espacial y temporal de la lluvia.

Los factores relacionados con la cuenca se refieren a la cantidad de agua que se genera a partir de una lluvia determinada, así como a la retención de esa agua en la cuenca y a los tiempos de llegada hacia las partes bajas. Los factores relativos a las cuencas son los siguientes: a) morfometría, es decir, área, elevaciones, pendiente de la cuenca, pendiente del cauce, forma de la cuenca, tiempos de concentración; y b) tipos y uso del suelo, los cuales determinan la capacidad de retención y de almacenamiento del agua de la cuenca.

Por sus características, las inundaciones en El Salvador pueden clasificarse en:

- Inundaciones en cuenca baja de ríos medianos y grandes: ocasionadas por eventos hidrometeorológicos tipo temporal que, a su vez, son provocados por bajas presiones, depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes. Este tipo se asocia a grandes inundaciones que tienen menor frecuencia.
- Inundaciones en cuencas de respuesta rápida: ocasionadas por precipitaciones convectivas, focalizadas y de alta intensidad, generadas en pocos minutos u horas de duración. Este tipo de inundaciones ocurren en diferentes ocasiones durante cada época lluviosa, por lo que su frecuencia es alta.
- Inundaciones en cuencas urbanas: también ocasionadas por precipitaciones convectivas de alta intensidad, pero a las que se suman otras problemáticas: deficiencias y limitaciones en el sistema de drenaje urbano, infraestructura construida en cauces de ríos y en quebradas, desechos sólidos en las quebradas, y el incremento de escorrentía por la impermeabilización de la cuenca alta. Durante los últimos años, las inundaciones urbanas se han vuelto muy frecuentes, a tal grado que lluvias de moderada intensidad ocasionan daños e interrupción del tráfico.

4.5.3.1. Susceptibilidad a inundaciones

Aproximadamente el 10 % del territorio salvadoreño es susceptible a inundaciones, lo que corresponde a un área estimada de 2,000 kilómetros cuadrados (figura 80), de este total, el 80 % se encuentra ubicado en la zona costera, donde las elevaciones del terreno son inferiores a la cota de 10 msnm. En el cuadro 13 se muestran las zonas del país donde las inundaciones son más recurrentes.

El mapa de susceptibilidad a inundaciones delimita las zonas inundables asociadas a la frecuencia de acuerdo con los siguientes criterios:

- Delimitación de zona de susceptibilidad moderada que se refiere a inundaciones extraordinarias.
- Delimitación de zona de susceptibilidad alta.
- Delimitación de zona muy alta que se refiere a zonas donde la frecuencia de inundaciones es mayor.

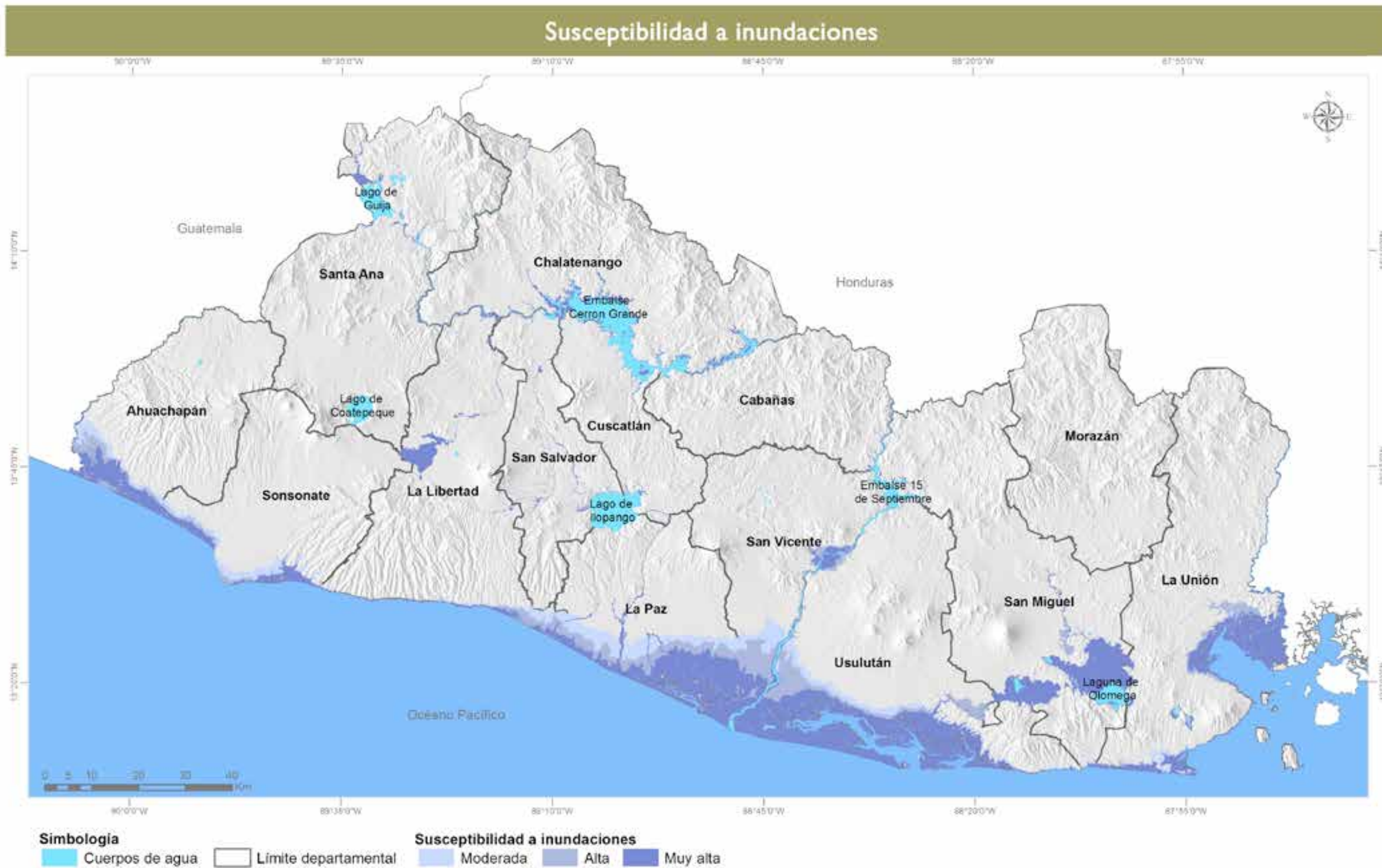


Figura 80. Mapa de susceptibilidad a inundaciones en El Salvador
Fuente: Elaboración propia MARN

Cuadro 13. Zonas de inundación más recurrentes en el país activos de El Salvador

Área afectada	Descripción del área	Comunidades afectadas
Cuenca baja del río Paz	<p>La cuenca binacional del río Paz, localizada en la región limítrofe entre El Salvador y Guatemala, presenta un desequilibrio territorial y ambiental que se traduce en problemas ligados a la cantidad y calidad del recurso disponible en la cuenca.</p> <p>La deforestación existente en la parte alta y media de la cuenca, contribuye al aumento de la magnitud de las crecidas naturales asociados a fenómenos hidrometeorológicos extremos, contribuyen al arrastre de sedimentos hacia los cuerpos de agua y con el tiempo, limitan la capacidad de hidráulica del canal principal del río así como el de los afluentes secundarios al mismo. Este proceso causa, a su vez, el aumento de la magnitud y la frecuencia de las inundaciones que se producen en la región de la cuenca baja, donde las condiciones topográficas contribuyen a que las consecuencias y efectos de estas crecidas y desbordamientos sean más devastadoras.</p> <p>Adicionalmente, la dinámica del cambio constante en el cauce del río y la ubicación de asentamientos humanos en las zonas de inundación extraordinaria del mismo, hacen que la problemática sea mucho mayor.</p>	<p>Comunidades ubicadas a lo largo del cauce principal desde el puente Manuel José Arce, en el paso fronterizo La Hachadura hasta la desembocadura en Bola de Monte. Incluyendo Hacienda Rancho San Marcos, Las Salinas, Hacienda El Salamar, Hacienda El Guayabo, Colonia ISTA, Comunidad El Limón. Adicionalmente, cuando se desborda el río Paz en su parte baja, directamente son afectadas las comunidades en la microrregión Cara Sucia, incluyendo comunidades El Chino, Hacienda Santa Rita, comunidad Güisnay y Garita Palmera. Entre las afectaciones y pérdidas se pueden mencionar: carreteras, puentes y caminos de acceso, casas en diferentes comunidades, animales de corral y ganado, así como terrenos con plantaciones de diferentes cultivos.</p> <p>En los últimos eventos meteorológicos: Agatha y depresión tropical 12E, también se afectó el paso entre Guatemala y El Salvador por daños en la infraestructura del puente Arce.</p>
Cuenca baja del río Jiboa	<p>La cuenca del río Jiboa es un área de vocación comercial y agrícola. Sus habitantes (aproximadamente 94,112) son campesinos de escasos recursos que se dedican a la siembra de granos básicos para su subsistencia. Sin embargo, estas labores se ven amenazadas cada año por las recurrentes inundaciones asociadas a diferentes factores entre los cuales se destacan:</p> <p>a) La pobre cubierta vegetal en la parte alta de la cuenca, provocando que la lluvia no se infiltre adecuadamente y favorece a que el agua fluya rápidamente hacia el cauce principal de los ríos y quebradas. Lo anterior, ocasiona que depósitos de materiales gruesos y finos sean transportados desde la cuenca alta, disminuyendo la capacidad hidráulica del cauce del río y favorece la ocurrencia de las inundaciones.</p> <p>b) El aumento en la explotación desmedida de materiales finos (arena del río) sin ningún permiso o control, mantienen un constante desequilibrio en la parte baja de la cuenca.</p> <p>c) La erosión en la parte alta de la cuenca y el exceso de sedimentación aguas abajo de la misma.</p>	<p>Zona de El Pedregal, caserío El Achiotal, Las Isletas, cantón Las Moritas, caserío Santa María El Coyol, San Marcos Jiboa, caserío y playa Las Hojas, San Marcelino.</p> <p>Entre las afectaciones y pérdidas ocasionadas por la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos que provocan inundaciones en la zona se pueden mencionar: daños en carreteras, puentes y caminos de acceso, daños de casas en diferentes comunidades, muerte de animales de corral y ganado, así como anegación en terrenos con plantaciones de diferentes cultivos.</p>
Cuenca baja del río Lempa	<p>La parte baja de la cuenca del río Lempa que es una de las áreas con mayores problemas de inundaciones en El Salvador, donde casi todos los años se ven afectadas las familias en 98 comunidades por los desbordamientos del río a causa de condiciones hidrometeorológicas extremas. El área cubierta y con problemas de inundaciones de diversa magnitud es de aproximadamente 23,000 hectáreas de tierras, fundamentalmente agrícola, entre los departamentos de Usulután, San Vicente y La Paz.</p>	<p>Comunidades Rancho Grande, El Marillo I y II, El Coyol, La Canoa, El Taura, La Pita, El Zamorano, Los Lotes, entre otras.</p>

Cuenca media-baja del río Grande de San Miguel	<p>El río Grande de San Miguel experimenta crecidas e inundaciones por lluvias de tipo temporal, pero también ocurren inundaciones en ríos de respuesta rápida, especialmente en las cuencas que drenan desde el complejo volcánico de San Miguel. Las inundaciones en estas cuencas son ocasionadas por precipitaciones altamente convectivas –intensas y localizadas, con una duración de tres a seis horas.</p> <p>En años recientes, el daño y pérdidas por inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel se ha incrementado debido a factores como: incremento de urbanizaciones y cambio de uso de suelo, ubicación de asentamientos humanos sin control ni ordenamiento en áreas de inundación, deficiencias en el planeamiento urbano y de asentamientos.</p> <p>Esta problemática se ve incrementada por la deposición de sedimentos que se dan en el río y la construcción de bordas sin un planeamiento integral. Muchas veces las mismas bordas construidas en un sitio, tiene efectos de erosión aguas arriba y de sedimentación aguas abajo, alterando el comportamiento del río, por lo que para mejorar su comportamiento hidráulico y reducir las inundaciones en las zonas, es necesario realizar una intervención integral en toda la cuenca.</p>	<p>Las zonas de inundación más recurrente son: colonia Jardines del Río, Los Ranchos, El Cedral, cantón Miraflores y La Canoa, departamento de San Miguel. Puerto Parada, Capitán Lazo, La Barca, Las Conchas, El Limón, Botoncillo 1 y 2, Puerto El Flor, El Chorizo, La Bomba, Quebrada La Gallina, El Carao y La Cocosica, departamento de Usulután.</p>
Cuenca del río Goascorán	<p>La cuenca se puede dividir en tres zonas: la parte alta o zona norte, constituida por áreas montañosas. En territorio hondureño y salvadoreño presenta un grado alto de escorrentía y mínima infiltración. La parte media de la cuenca, la escorrentía se puede catalogar de moderada a alta. La parte baja comprende la desembocadura del río al golfo de Fonseca, presentando una escorrentía relativamente baja, lo que facilita el riesgo alto a experimentar inundaciones en todo el área, además de verse afectado por reflujos de la marea del golfo de Fonseca.</p> <p>En todo el recorrido del cauce principal se le incorporan varios tributarios o afluentes secundarios que, durante la época lluviosa, también tienen la capacidad de generar problemas de desbordamientos e inundación en diferentes lugares. Entre los afluentes secundarios se pueden mencionar los ríos: El Sauce, Santa Rosa, Pasaquina y Anamorós.</p> <p>La principal problemática de este río y de sus zonas de inundación, estriba en la ocupación del cauce del río por viviendas. Es decir, el cauce de crecida del río (aún no extraordinarias) está ocupado por comunidades.</p> <p>La parte media-baja de la cuenca también presenta problemas de inundación, por la reducción considerable de la capacidad de drenaje del cauce principal del río debido al alto transporte de sedimentos que provienen de la cuenca media y alta del río.</p>	<p>Zonas afectadas: Barrancones, municipio de Pasaquina, Candelaria de La Rompición, Los Carpules y Piedras Blancas, Horcones, Agua Fría. El río Pasaquina y El Sauce también reportan crecidas y desbordamientos.</p>

<p>Área Metropolitana de San Salvador</p>	<p>El problema de las inundaciones en el Área Metropolitana de San Salvador, es muy antiguo y se tiene registro en documentos y periódicos desde inicios del siglo pasado. Las causas de las inundaciones son complejas y varían desde la poca capacidad hidráulica del cauce en algunos sitios, la ubicación de construcciones dentro del cauce del río o en su zona de inundación; obras hidráulicas de capacidad reducida que generan represamiento de los caudales, hasta el incremento de la escorrentía, especialmente en la última década, por los cambios de uso de suelo que se han producido en la parte alta y media de la cuenca⁴⁵.</p> <p>En algunos sitios, se ha tratado de solventar los problemas de inundación con la construcción de obras hidráulicas de conducción, las cuales han acelerado el flujo de la corriente y han generado o incrementado el problema de inundaciones en sectores aguas abajo.</p> <p>Actualmente se siguen analizando posibles intervenciones a realizarse en el corto y mediano plazo para disminuir la problemática de inundaciones en la ciudad, entre las que se encuentran medidas estructurales y no estructurales, tales como: la recuperación de ecosistemas en las laderas del volcán de San Salvador; la zonificación ambiental del AMSS, la exigencia de escorrentía controlada por parte de nuevas construcciones dentro de la ciudad, obras hidráulicas de retención temporal de caudales de crecida como son lagunas de laminación, fortalecimiento del sistema de alerta temprana por inundaciones, entre otras.</p>	<p>Son recurrentes las inundaciones principalmente en los barrios San Jacinto, Modelo, Candelaria, La Vega, Santa Anita, colonias La Málaga, Nueva Israel, Las Palmas, comunidades Granjero I y II, El Coro, Altos de Jardines, comunidades Tutunichapa I y III, boulevard Constitución, Alameda Roosevelt y 49 Av. Sur, colonia Las Mercedes en Mejicanos, colonias Costa Rica, Nicaragua, y Santa Marta y el Instituto Salvadoreño para el Desarrollo Integral de la Niñez y la Adolescencia (ISNA).</p>
---	--	--

Fuente: Elaboración propia MARN

La franja costera del país es la zona más susceptible de sufrir grandes inundaciones, especialmente la cuenca baja de los ríos Lempa, Paz y bahía de Jiquilisco. Estas zonas se ven especialmente afectadas por las grandes crecidas provocadas por sistemas de gran intensidad y larga duración, que provocan inundaciones que tardan días, incluso meses, en ser drenadas y afectan seriamente a comunidades agrícolas, campos de cultivo e infraestructuras.

En el interior del país, las tormentas de corta duración y gran intensidad provocan crecidas que se propagan con gran rapidez y energía, provocando graves problemas por inundación. Las zonas de mayor riesgo son aquellas en las que hay mayor concentración de población y, por tanto, mayor antropización del espacio natural de expansión de los ríos y quebradas durante las crecidas. En esta misma condición de riesgo se encuentran las infraestructuras, ya sean estas de tipo social o productiva.

4.5.3.2. Inundaciones urbanas - Área Metropolitana de San Salvador

Considerando que el Área Metropolitana de San Salvador es el área urbana más extensa del territorio nacional y supone, además, la mayor concentración poblacional y económica que puede ser afectada por las crecidas de las quebradas que constituyen la cuenca alta del río Acelhuate, estudiar sus amenazas se vuelve primordial.

Las inundaciones en la ciudad de San Salvador son un problema antiguo del cual se tiene registro en documentos y periódicos desde inicios del siglo pasado. Las causas de estas inundaciones son complejas y variadas, entre las que se destacan: la poca capacidad hidráulica del cauce en algunos tramos, la ubicación de construcciones, ya sea dentro del cauce del río o dentro de la zona de inundación, las obras hidráulicas de capacidad reducida que generan represamiento de los caudales y el incremento de la escorrentía por los cambios de uso de suelo que se han producido en la parte alta y media de la cuenca.

La recurrencia de inundaciones es mayor, principalmente, en los sitios de los barrios de San Jacinto, Modelo, Candelaria, La Vega, Santa Anita, colonia La Málaga, Nueva Israel, Las Palmas, comunidades Granjero I y II, el Coro, Altos de Jardines, Tutunichapa I y III, boulevard Constitución, Alameda Roosevelt y 49 Avenida Sur, colonias Las Mercedes en Mejicanos, Comunidad El Cañito, Costa Rica, Nicaragua, y Santa Marta y zona del Instituto Salvadoreño para el Desarrollo Integral de la Niñez y la Adolescencia (ISNA).

Entre los años 2002 y 2011, se registraron pérdidas de vidas humanas y materiales en la ciudad por diferentes eventos de crecida del Arenal Monserrat. El evento del 3 de julio del año 2008, en el que una lluvia de alta intensidad, ocasionó una repunta que arrastró a un bus con 32 personas hacia el cauce del río en la zona de la colonia La Málaga y generó la muerte de sus ocupantes. Posterior a este evento, han sucedido desbordamientos en diferentes sectores de la ciudad con los eventos de la baja presión asociada a Ida (7 – 8 de noviembre 2009), tormenta tropical Agatha (29 – 30 mayo de 2010), depresión tropical 12E (10 – 20 de octubre de 2011).



Figura 81. Daños causados por la baja presión asociada a Ida (noviembre de 2009) en la colonia Málaga.
Fuente: MARN

⁴⁵Erazo.A.M. Impactos del cambio de uso del suelo en la escorrentía superficial en la cuenca Arenal Monserrat en la ciudad de San Salvador en el periodo 1992 – 2009: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador.



Figura 82. Evento del 3 de julio de 2008, colonia La Málaga.
Fuente: El Diario de Hoy



Figura 83. Nivel alcanzado en evento del 12 de julio de 2009 en colonia Las Mercedes (Mejicanos)
Fuente: MARN



Figura 84. Nivel alcanzado en evento Agatha (mayo de 2010) en colonia Las Mercedes (Mejicanos)
Fuente: MARN

Mediante recorridos en las diferentes quebradas que constituyen el río Acelhuate, se identificaron los sitios susceptibles a inundación y se clasificaron en categorías baja media y alta (figura 85).

En el año 2012 se realizaron las modelaciones hidrológicas e hidráulicas en los afluentes del Área Metropolitana de San Salvador. Para la realización de las muestras se consideró las lluvias para diferentes periodos de retorno y duraciones (de 2 y 24 horas), y abarca de esa forma, lluvias de tipo convectivo y temporal, así como el análisis de los diferentes eventos sucedidos en años más recientes. Las figura 86 a la figura 88 muestran las áreas de inundación por crecidas de los arenales Monserrat, Mejicanos, Tutunichapa y quebrada El Garrobo, todos afluentes del río Acelhuate.

4.5.4. Sequías en El Salvador

La ubicación geográfica de El Salvador en Centroamérica rodeado de dos océanos, lo hace vulnerable a los cambios de temperatura en las vertientes oceánicas. El fenómeno de la canícula o sequía meteorológica, en muchos casos, es desencadenado por el calentamiento de las aguas del océano Pacífico Ecuatorial Central y en otras ocasiones por un enfriamiento del océano Atlántico Tropical Norte. El impacto de la sequía se aumenta por factores como la deforestación, mal uso de la tierra, la erosión, tipos de suelo, entre otros. La influencia sobre el clima de país, del sistema océano-atmósfera de los océanos vecinos, conocida como variabilidad climática ha sido evidente en la historia, observándose períodos de sequías e inundaciones asociadas a Niños y a Niñas respectivamente, lo que provocan afectaciones en la agricultura, recurso hídrico y el medio rural, donde las comunidades son muy vulnerables.

Desde el punto de vista climatológico, la sequía es una manifestación común en todo tipo de regímenes climáticos, independiente del mayor o menor volumen de precipitación que registren. La sequía supone una desviación con respecto a los valores considerados habituales, que viene marcada por su temporalidad; no se trata de un fenómeno permanente como pueda ser la aridez.

Las sequías generan fuertes impactos en la producción agrícola y seguridad alimentaria de la población. Más del 85 % de la agricultura salvadoreña es de secano y está regido por la ocurrencia de las lluvias de mayo a octubre. Sin embargo, la época lluviosa presenta varios períodos de reducción en la precipitación, que en muchos casos pueden causar déficit hídrico en los cultivos, lo cual disminuye su rendimiento y en consecuencia, los niveles de rentabilidad para los productores. Entre 2014 y 2015 las pérdidas en la agricultura, producto de las lluvias deficitarias, ascendieron a más de USD\$ 140 millones de dólares.

Eventos extremos secos y las altas temperaturas que los acompañan, generan también, impactos severos en la salud, agropecuarios y el medio ambiente. Asimismo, la reducción o deficiencia de precipitación por períodos prolongados, tiene un fuerte impacto en la disponibilidad y calidad del agua, tanto superficial como subterránea. Lo anterior, afecta directamente los diferentes usos del recurso especialmente consumo humano y los ecosistemas, producción agropecuaria y generación de electricidad, entre otros.

El almacenaje de agua en depósitos insalubres potencia los criaderos de zancudos, agravado también por las altas temperaturas. El incremento en la alta temperatura acrecientan, además, las plagas en las cosechas (incluyendo la Roya) y los pastos secos impactan la ganadería e incrementan la probabilidad de incendios forestales. Adicionalmente, las aguas cálidas frente a la costa en el océano Pacífico o El Niño generan reducción en la pesca.

El régimen pluviométrico o lluvioso durante abril hasta octubre, presenta cuatro variantes o regiones en el país.

- Regiones costeras, con doble moda, máximo en septiembre y disminución en julio/agosto.
- Regiones de valle interiores, no es claro un máximo, ni tampoco el déficit en julio.

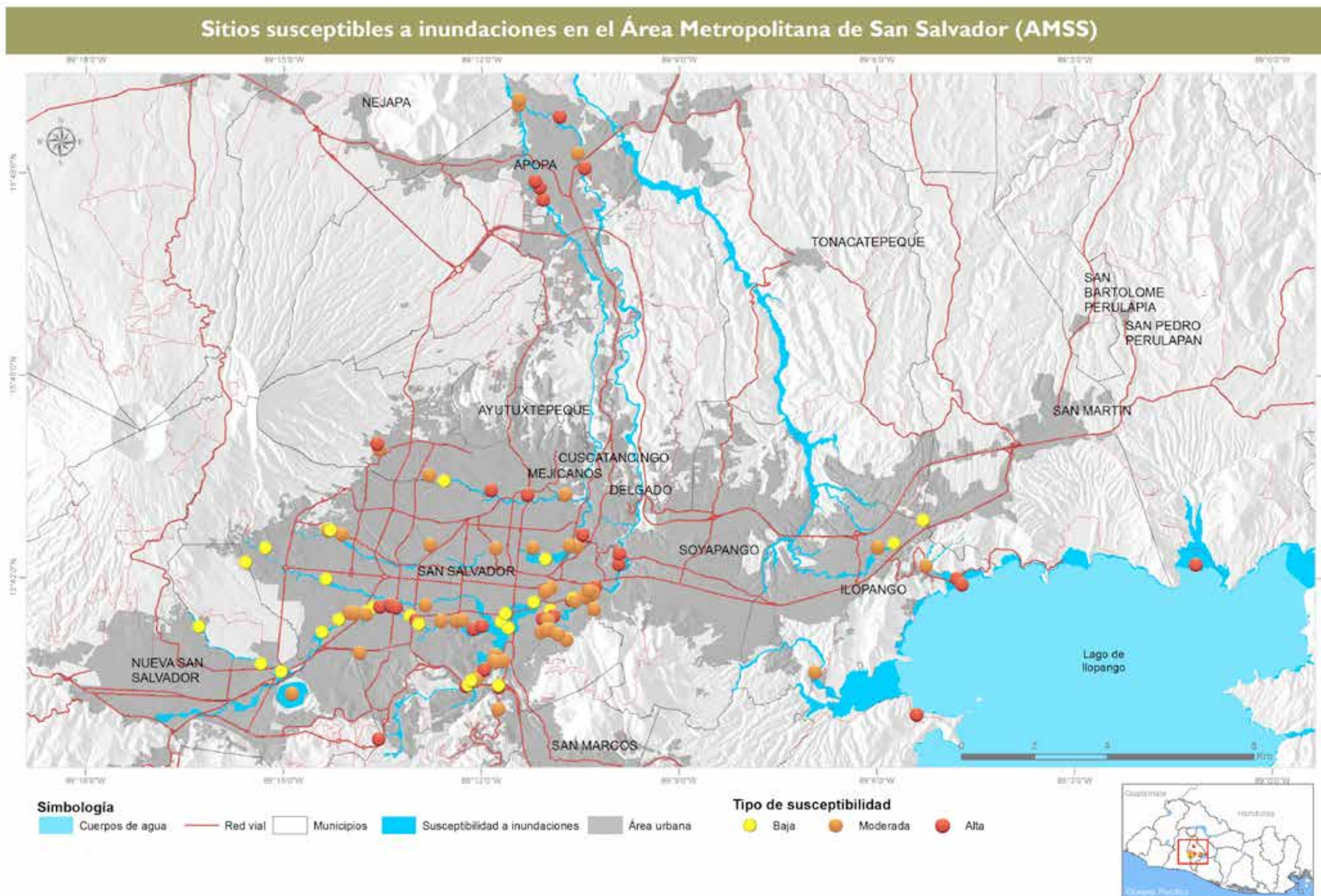


Figura 85. Mapa de sitios susceptibles a inundación en el Área Metropolitana de San Salvador (MARN, 2009)
 Fuente: Recopilación de estudios MARN 2012-2017 sobre Erosión Sedimentación en la zona costera de El Salvador, elaborados por Ing. Haydee Beltrán Mayorga.

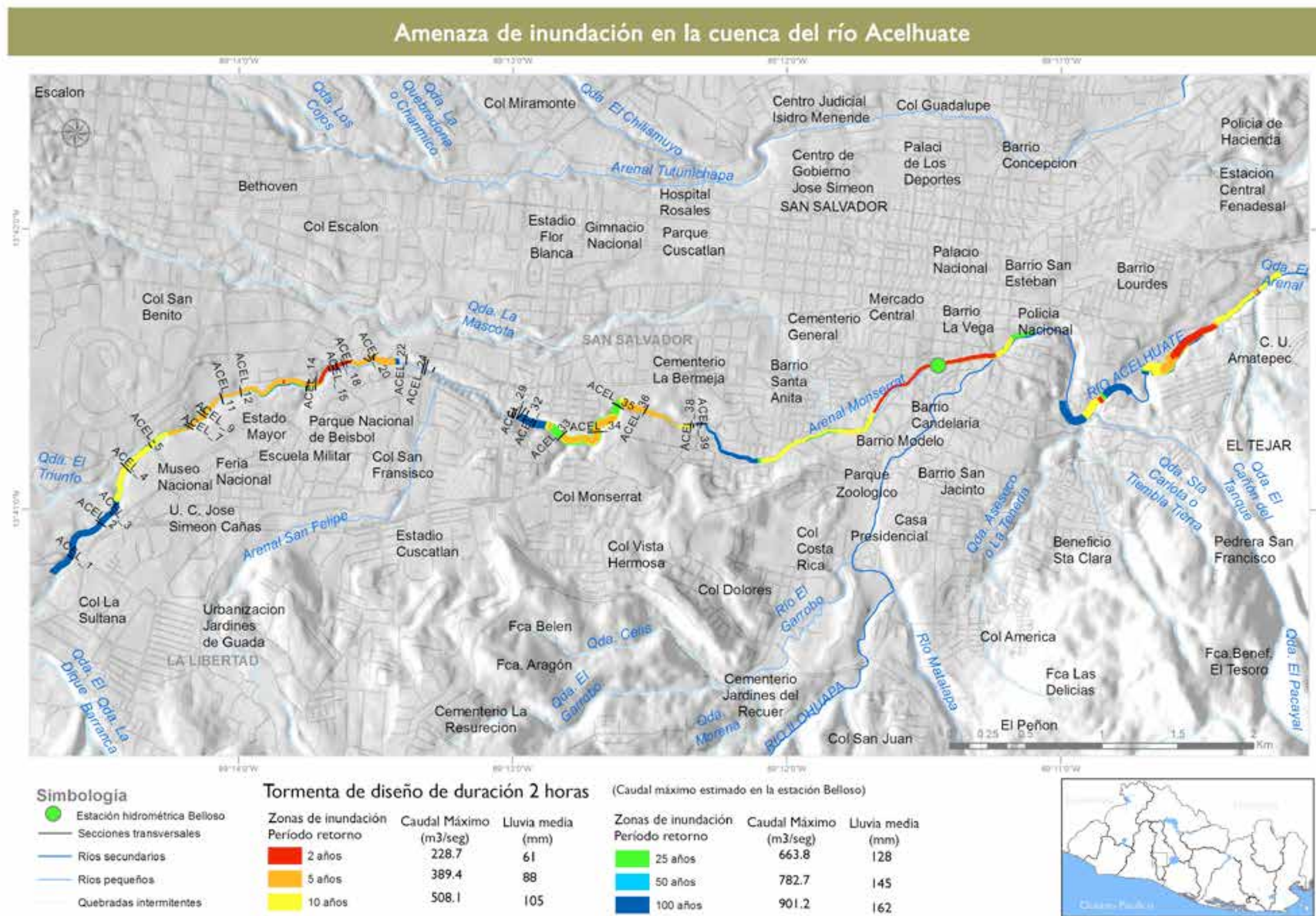


Figura 86. Mapa de amenaza de inundación en la cuenca del río Acelhuate para lluvia de dos horas de duración (MARN, 2011)
 Fuente: Erazo A., Vásquez M., Martínez E., et al, MARN 2012. Escenarios de riesgo: Amenaza por inundación cuenca alta del río Acelhuate.

Inundación por baja presión asociada a Ida en la subcuenca del río Acelhuate

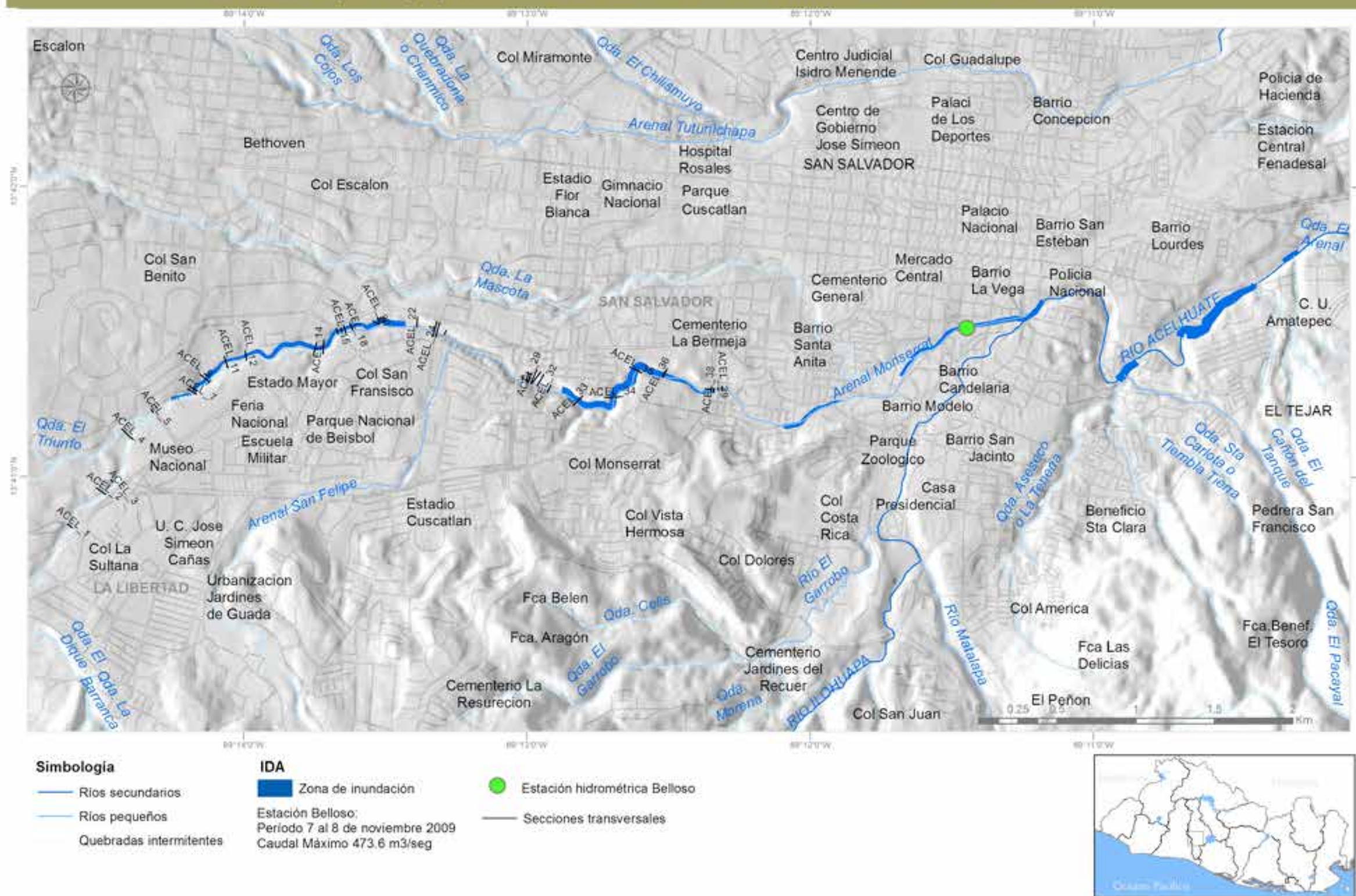


Figura 87. Mapa de inundación en la cuenca del río Acelhuate para el evento de la baja presión asociada a Ida. (MARN, 2011)
Fuente: Erazo A., Vásquez M., Martínez E., et al, MARN 2012. Escenarios de riesgo: Amenaza por inundación cuenca alta del río Acelhuate.

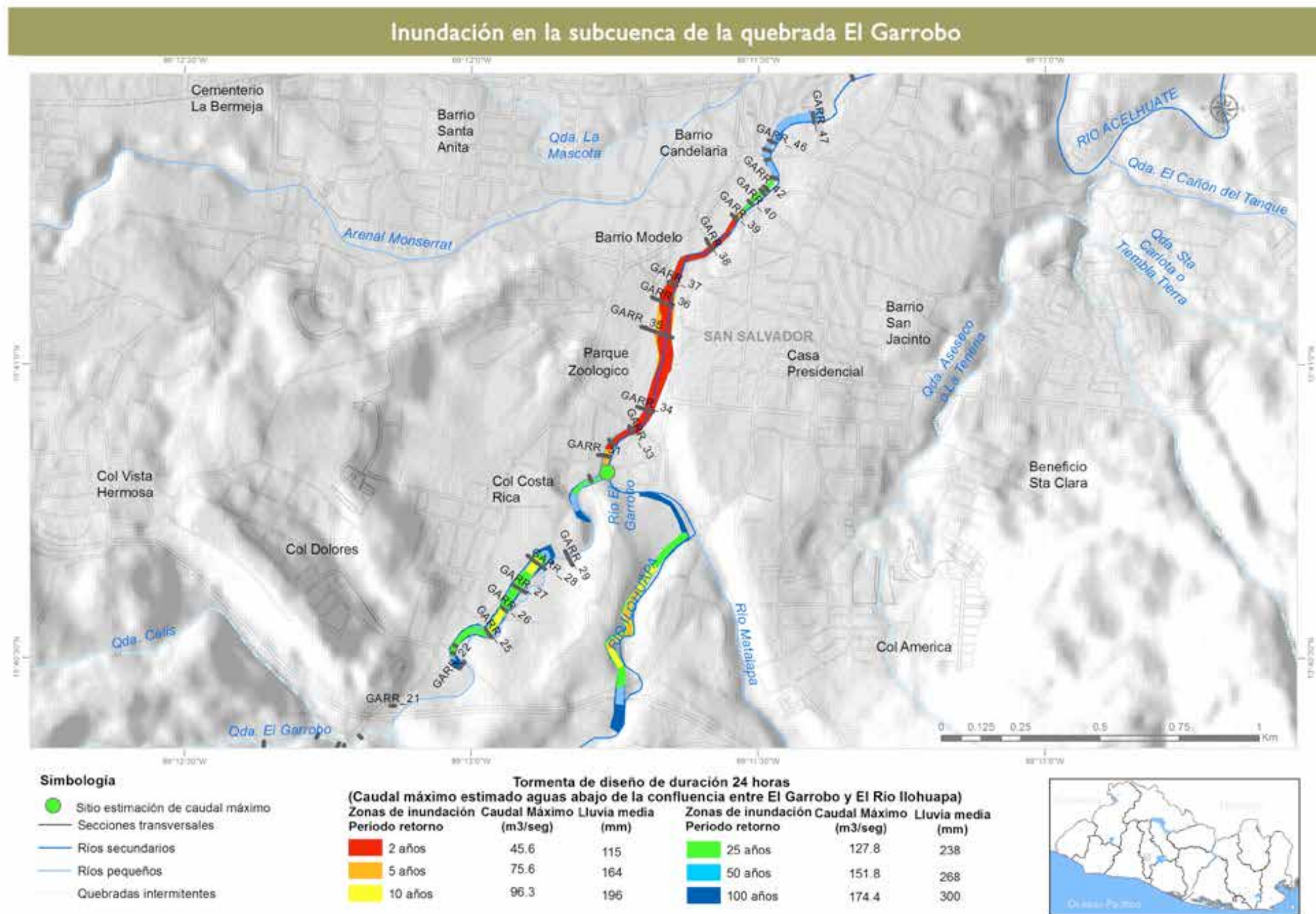


Figura 88. Mapa de amenaza de inundación en la quebrada El Garrobo para lluvia con duración de 24 horas
Fuente: Erazo A., Vásquez M., Martínez E., et al, MARN 2012. Escenarios de riesgo: Amenaza por inundación cuenca alta del

c) Regiones de la zona norte, doble moda, máxima cantidad en junio y con disminución en julio.

d) Región noroccidental, cercano al lago de Güija, pero con menor cantidad de lluvia.

Entre los meses de julio y agosto es típico que se presente reducción de las precipitaciones, a lo cual se le conoce con el nombre de canícula. La canícula se caracteriza por registrarse varios días secos, en ocasiones consecutivos, que afectan la agricultura por estrés hídrico, específicamente los granos básicos como el maíz y el frijol.

La mayor frecuencia de la canícula ocurre en la segunda quincena de julio y los primeros diez días de agosto, teniéndose datos de disminuciones extremas como la registrada en julio 2014, cuando en la zona suroriental de El Salvador se obtuvieron datos mensuales de lluvia acumuladas inferiores a 10 mm, es decir, un déficit del 95 % respecto al promedio o normal.

Las figura 89 a la figura 92 muestran el régimen de precipitación para distintas estaciones ubicadas en las cuatro regiones descritas, y muestran sus valores medios climatológicos y valores registrados en años muy secos (1997, 2014, 2015)

En las regiones costeras, en el mes de septiembre la mayoría de estaciones presentan un máximo primario de precipitación y un máximo secundario en junio, es decir, un comportamiento bimodal. De igual forma, se identifica una disminución clara y fuerte de la precipitación en julio y agosto, tal como se muestra en la figura 89 donde aparece la distribución anual de la lluvia en La Unión, representativa de la zona costera.

En la regiones de los valles interiores, en septiembre, el comportamiento mensual registrado por las estaciones, muestran un solo máximo o unimodal; no se logra distinguir el déficit de julio y agosto, siendo esta su principal característica, como se evidencia en la estación meteorológica de Ilopango en la figura 90.

En la región de la zona norte y de acuerdo con los datos de las estaciones, evidencian la distribución mensual de la lluvia tipo bimodal, el máximo de precipitación en junio y disminución en julio. Anualmente las estaciones presentan una tendencia similar, diferenciándose principalmente en las cantidades de precipitación, ya que se cuenta con estaciones en diferentes alturas, observándose los valores de lluvia anuales más altos por arriba de los 2500 mm en Nueva Concepción (figura 91).

En la región noroccidental cercana al lago de Güija, tiene un comportamiento parecido en la distribución mensual de la lluvia en las estaciones ubicadas en la región de los valles interiores, pero con lluvia acumulada en menor cantidad, bimodal. Sin embargo, el máximo principal registrados se muestra en junio y una ligera disminución en julio en la estación Güija (figura 92).

La relación entre la lluvia y el fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS), indican que en julio y agosto el déficit se incrementa, siendo claro esto para la zona costera y el oriente de El Salvador. El énfasis mayor del déficit se evidencia más claramente durante episodios fuertes y muy fuertes del fenómeno El Niño, los cuales tienen una frecuencia de alrededor de 10 años y una duración entre 12 y 36 meses.

Las canículas convertidas en sequías agrícolas registradas en la zona oriental del país, donde se han reportado cuantiosas pérdidas de las cosechas, se presentan en su mayoría, por una combinación de déficit de lluvias en el mes de junio y se prolonga hasta julio y agosto. Los meses de junio secos ocurren con más frecuencia durante episodios fríos en el Atlántico Tropical Norte (ATN), mientras que en julio y agosto, se presentan con la combinación de eventos cálidos en el Pacífico (El Niño) y fríos en el ATN.

Se ha observado que los episodios El Niño han incrementado su frecuencia durante los últimos años y, el mismo comportamiento, han tenido los períodos caniculares entre julio y agosto. Cuando se analiza el número de días secos no consecutivos ente junio y agosto en la zona oriental, se destaca que en años deficitarios como: 1972, 1977, 1982, 1991, 1994, 1997, 2001, 2004, 2012, 2014 y 2015 se contabiliza una cantidad cercana a los 60 días secos (figura 93).

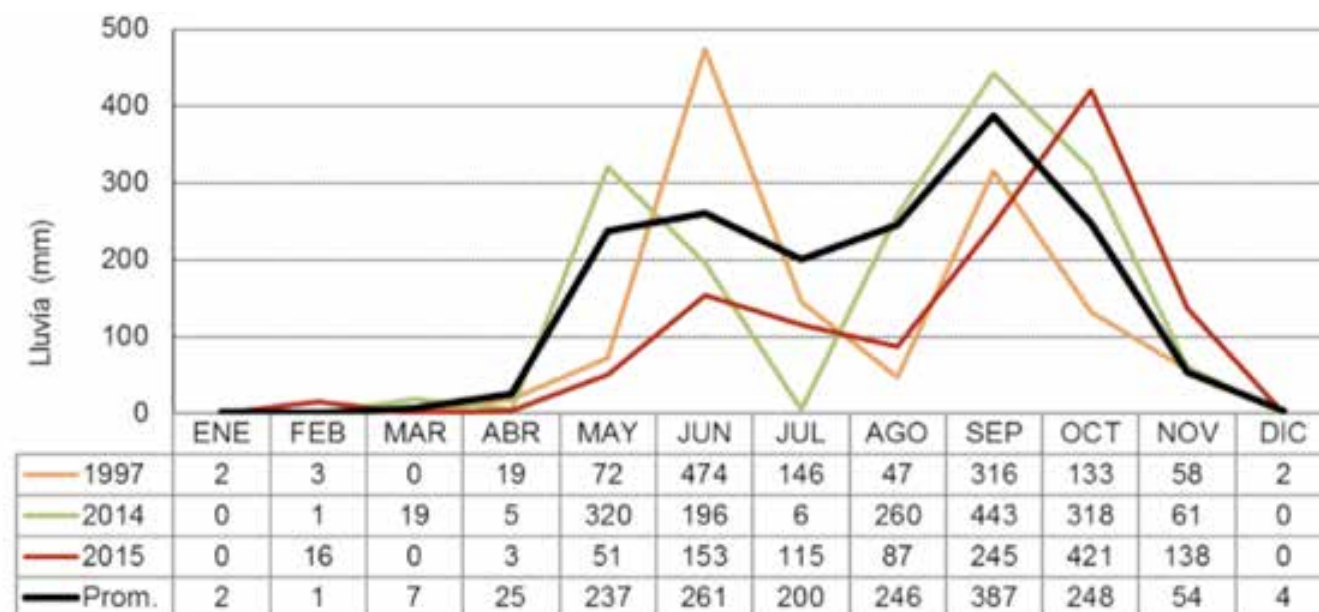


Figura 89. Región costera con un comportamiento bimodal, máximo en septiembre, disminución en julio y agosto. Lluvia mensual 1980-2010 y años secos 1997, 2014 y 2015 en la estación La Unión
Fuente: Elaboración propia MARN

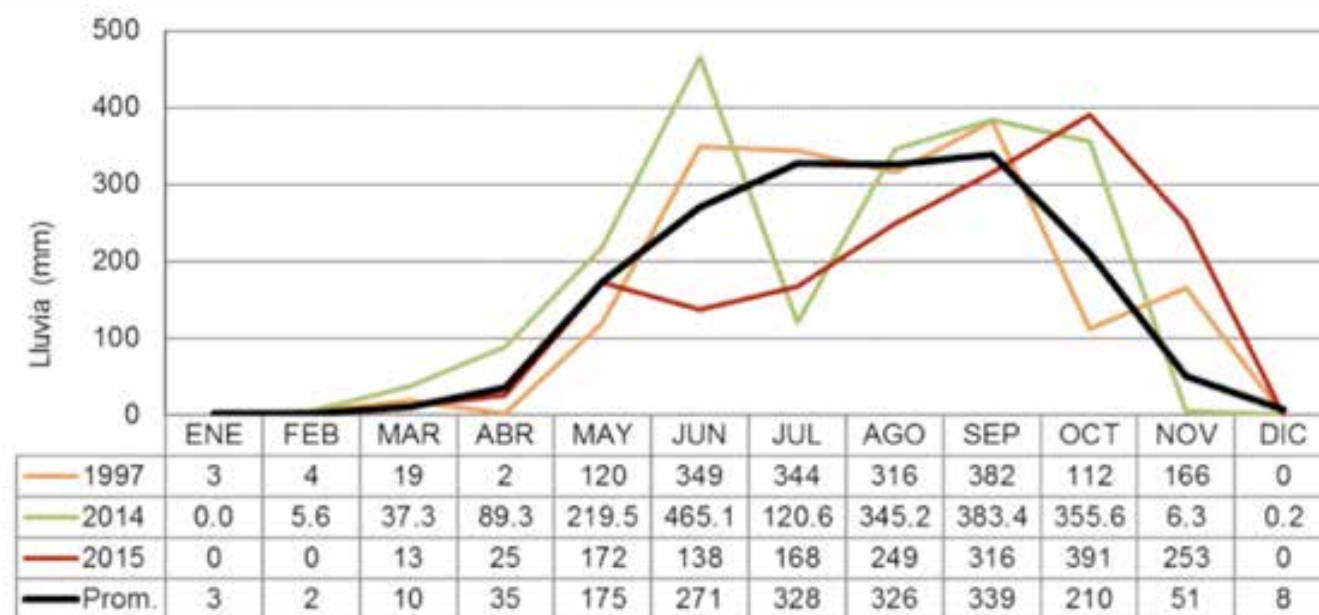


Figura 90. Región valles interiores con un comportamiento unimodal, máximo en septiembre, sin canícula identificable. Lluvia mensual 1980-2010 y años secos 1997, 2014 y 2015 en la estación Ilopango
Fuente: Elaboración propia MARN

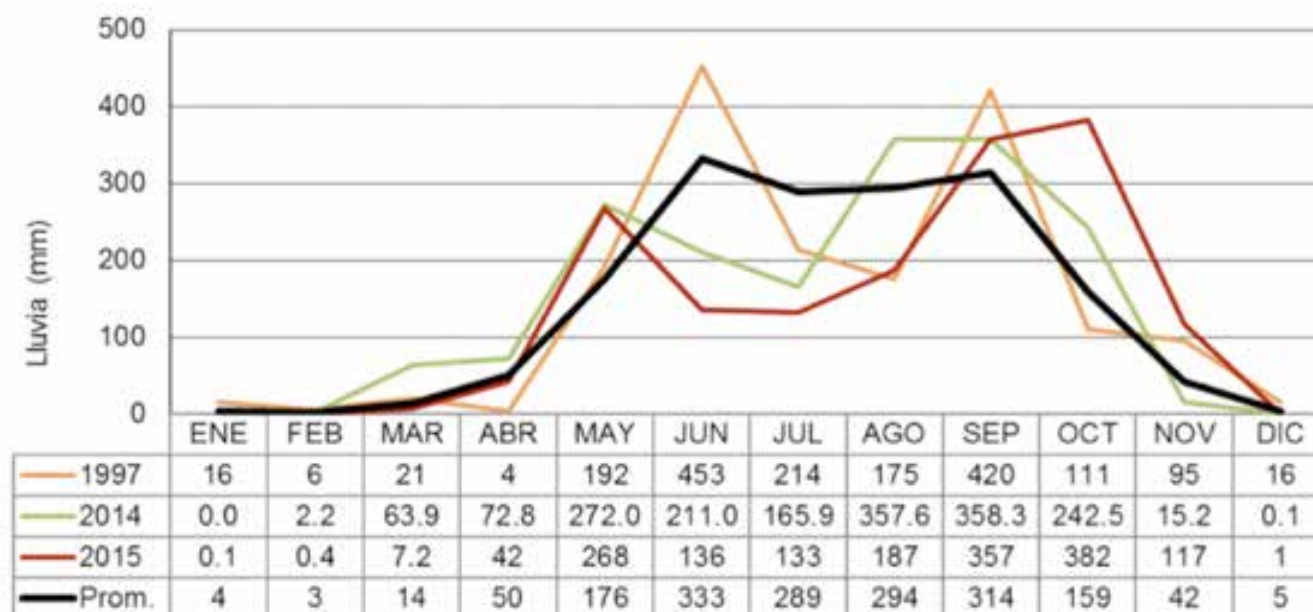


Figura 91. Región zona norte con un comportamiento bimodal, máximo en junio y leve disminución en julio. Lluvia mensual 1980 - 2010 y años secos 1997, 2014 y 2015 en la estación Nueva Concepción
Fuente: Elaboración propia MARN

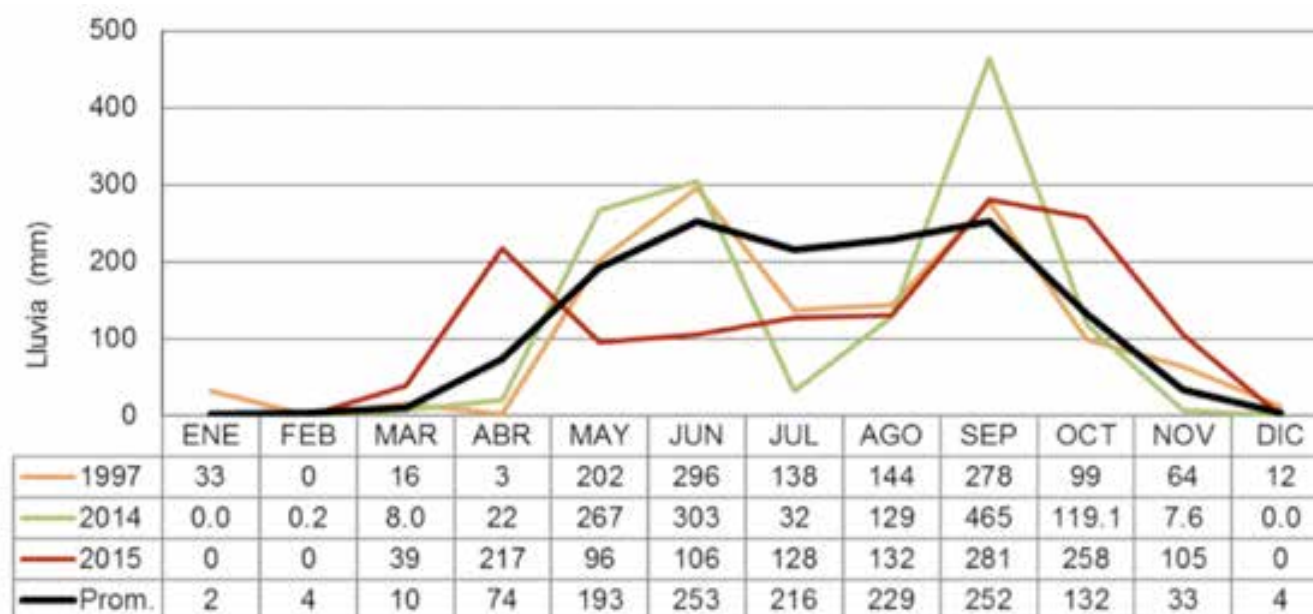


Figura 92. Región zona noroccidental con un comportamiento bimodal, poca diferencia entre los máximos de junio y septiembre, ligera disminución en julio. Lluvia mensual 1980 - 2010 y años secos 1997, 2014 y 2015 en la estación Güija
Fuente: Elaboración propia MARN

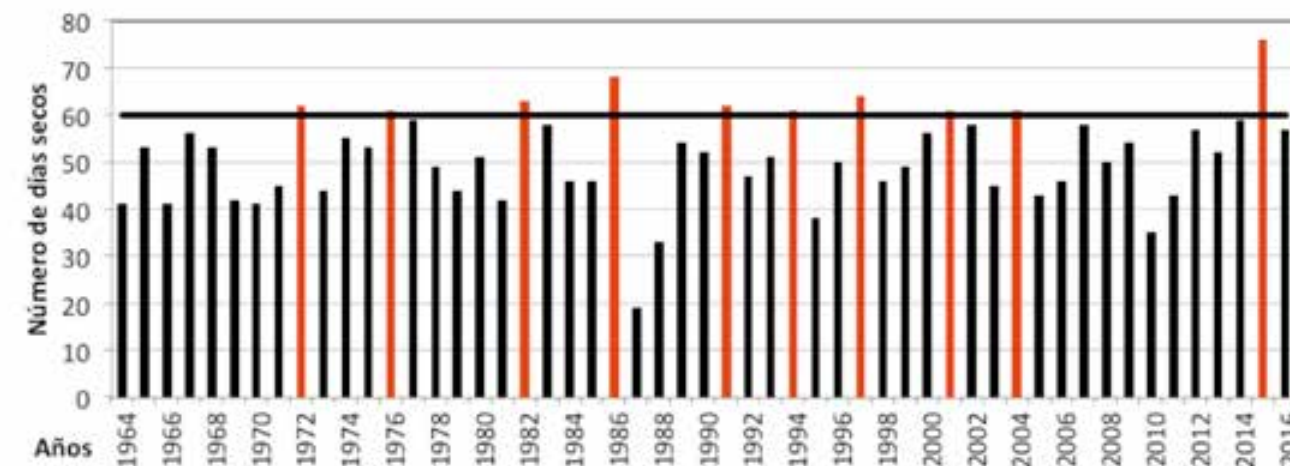


Figura 93. Número de días secos en trimestre junio - agosto, San Miguel
Fuente: Elaboración propia MARN

La sequía meteorológica se clasifica de acuerdo con el número de días secos consecutivos (lluvia inferior a 1 mm). Para el país se define como sequía meteorológica débil cuando se presentan 5 a 10 días secos consecutivos; sequía moderada por períodos de 11 a 15 días secos consecutivos, y fuerte a períodos mayores a 15 días.

La figura 94 muestra la propensión (susceptibilidad) de ocurrencia de la sequía en el territorio nacional, cuando se produce anomalía cálida en la temperatura superficial del mar en el océano Pacífico ecuatorial en la región Niño 3.4 (típicamente El Niño) y una anomalía negativa de la temperatura en el océano Atlántico Tropical Norte (ATN). Aproximadamente, el 70 % del territorio es susceptible a sufrir una sequía meteorológica débil o mayor, el 53 % a ser impactado por una sequía meteorológica moderada o mayor y el 35 % a desarrollarse una sequía meteorológica fuerte. El resto del país no es frecuente que sea afectado con períodos secos asociados a la canícula.



Figura 94: Mapa síntesis de sequía meteorológica en El Salvador
Fuente: Elaboración propia MARN

4.5.5. Sequía hidrológica

La sequía hidrológica es un concepto que suele definirse como la desviación de las pautas de escurrimiento de agua en la superficie y en el subsuelo. Lo anterior, tomando como referencia valores promedio de las series de datos registrados que conlleva a la deficiencia en la disponibilidad de recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, al disminuir la esorrentía superficial y recarga de acuíferos.

En lo que respecta al agua superficial y específicamente al caudal de los ríos, la reducción de lluvias de los últimos años ha afectado, de manera considerable, los caudales promedio en todo el territorio nacional y los niveles de agua subterránea, generando una condición de sequía hidrológica en los años 2015, 2016 y principios del 2017.

Las condiciones de los ríos a escala nacional se monitorean permanentemente por medio de la red de estaciones hidrométricas equipadas para el registro automático de datos y, se complementa, por un programa de mediciones de campo rutinarias por el personal técnico del MARN.

Los datos muestran que durante los años hidrológicos 2015-2016 y 2016-2017, los caudales registrados en los ríos Paz en la zona occidental, Lempa en la zona central, Grande de San Miguel y Goascorán en la zona oriental, se mantuvieron por debajo del promedio histórico y, en algunos casos, muy cercanos a los valores mínimos históricamente registrados (ver figura 95 a la 97). La figura 98 muestra el mapa de anomalía de escurrimiento registrada en valores mínimos anuales

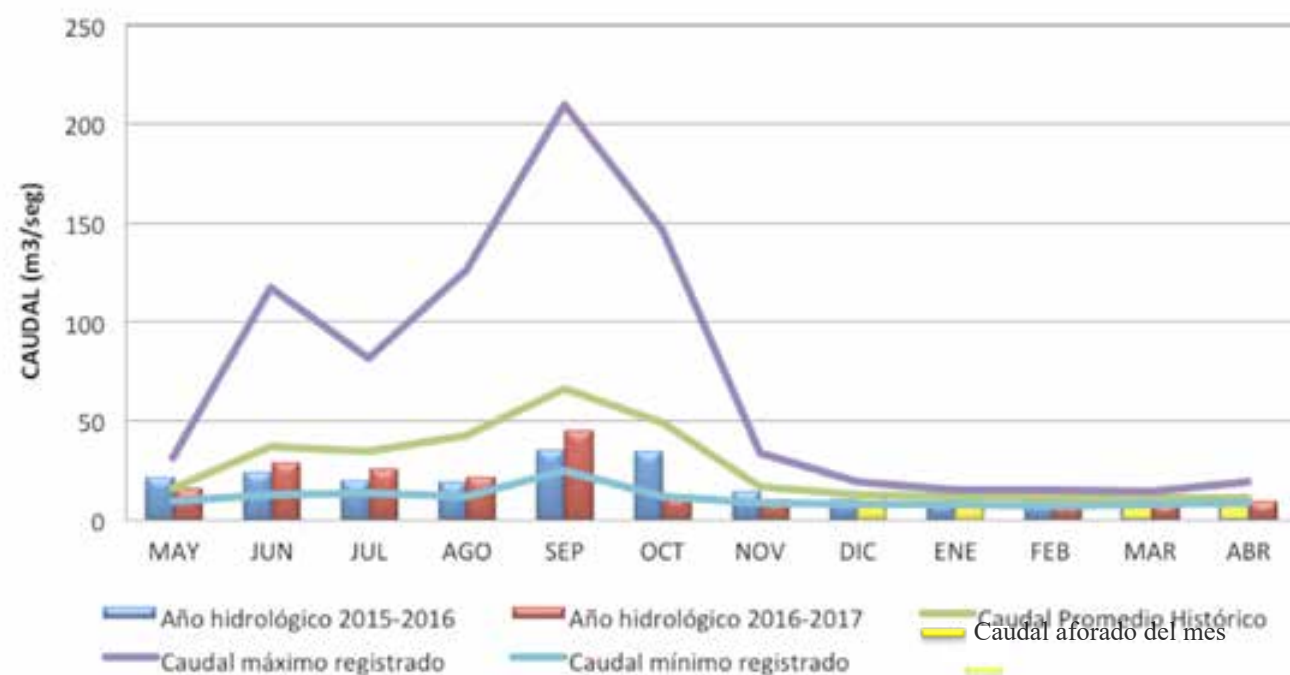


Figura 95. Relación de caudales promedios mensuales en ríos respecto al promedio histórico mensual en el río Paz, estación hidrométrica La Hachadura
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 96. Relación de caudales promedios mensuales en ríos respecto al promedio histórico mensual en el cauce principal del río Lempa (cuenca alta), estación hidrométrica El Zapotillo
Fuente: Elaboración propia MARN

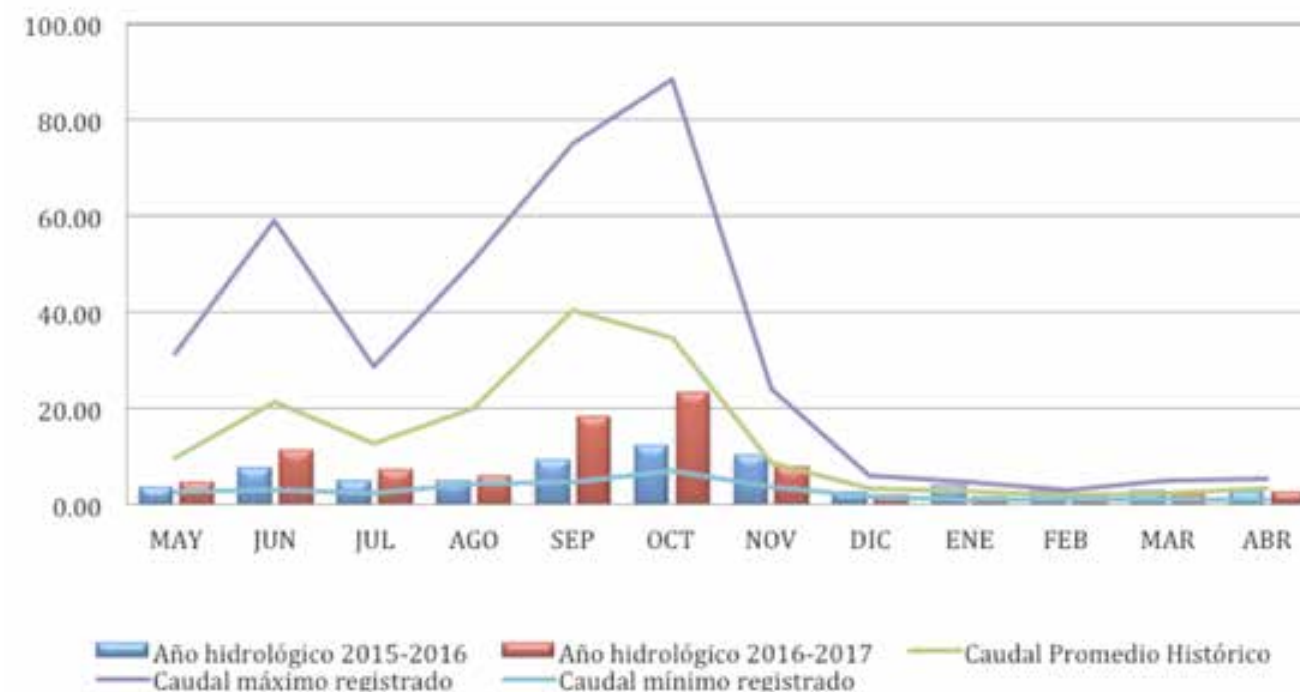


Figura 97. Relación de caudales promedios mensuales en ríos respecto al promedio histórico mensual en el río Grande de San Miguel, estación hidrométrica Villeras Campo Aventura
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 98. Mapa de anomalía de escurrimiento registrada en valores mínimos anuales de caudales promedio históricas en El Salvador.
Fuente: Elaboración propia MARN

Las sequías hidrológicas también afectan los recursos hídricos subterráneos y la generación hidroeléctrica. Las figura 99 y figura 100 muestran los niveles de los embalses de almacenamiento estacional de las centrales hidroeléctricas Cerrón Grande y Guajoyo durante los años en los que no alcanzaron el nivel máximo de operación.

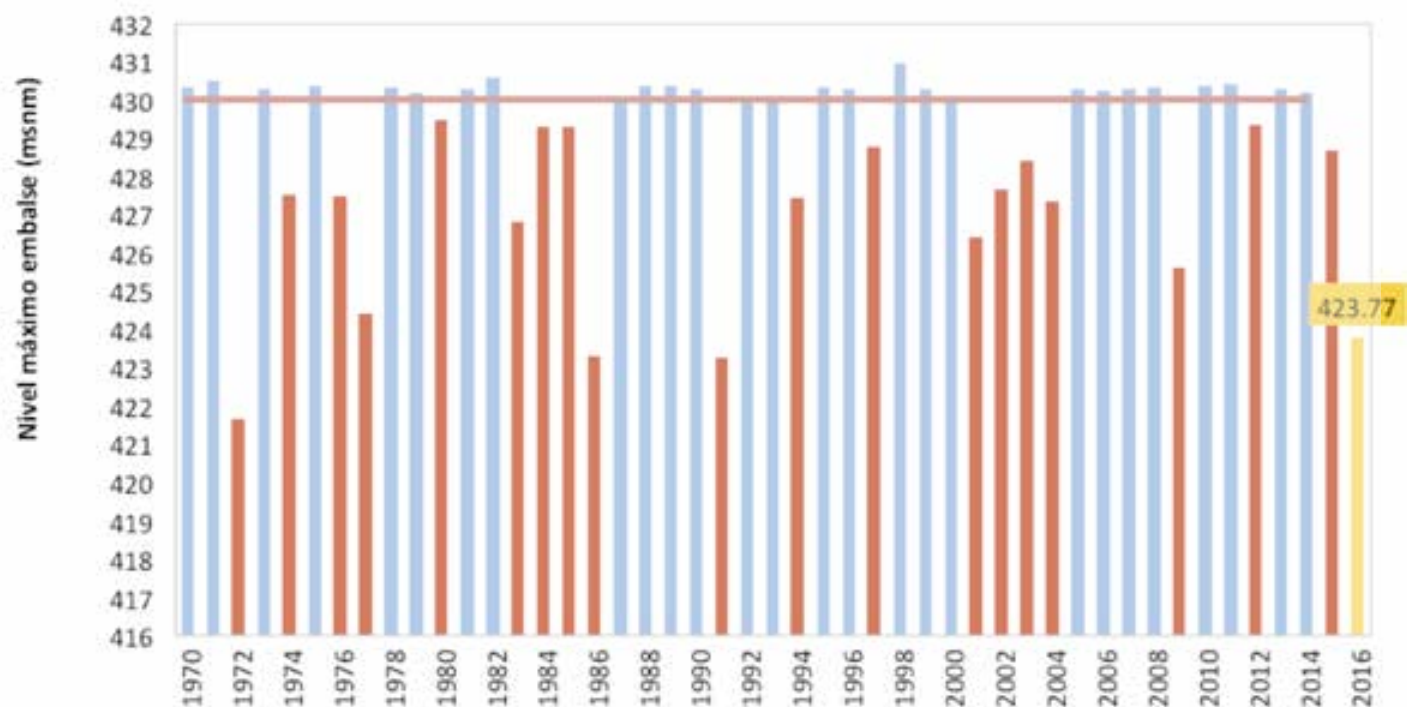


Figura 99. Niveles máximos anuales en el embalse de Guajoyo, periodo 1970 - 2016
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 100. Niveles máximos anuales en embalse del Cerrón Grande, periodo 1977 - 2016
Fuente: Elaboración propia MARN

4.6 Oleaje extremo

4.6.1 Origen de eventos de oleaje extremo

El oleaje en El Salvador es del tipo de mar de leva porque es generado por el viento de tormentas lejanas. Las tormentas pueden clasificarse, por su localización, con respecto al Ecuador geográfico en tropicales, extratropicales y polares.

En El Salvador, es frecuente leer sobre las tormentas tropicales que se desplazan de este a oeste alrededor del Ecuador geográfico, porque asociadas a ellas se registran incrementos en la precipitación. También, con frecuencia se informa sobre las tormentas extratropicales del hemisferio norte que se desplazan de oeste a este alrededor de los 45° norte, porque asociadas a ellas, se registran incrementos en la velocidad del viento y decrementos en la temperatura del aire.

El oleaje en la costa salvadoreña es generado por las tormentas extratropicales del hemisferio sur que se desplazan de este a este alrededor de los 45° sur. En el Pacífico, la trayectoria de estas tormentas es sobre el agua de mar que les transfiere calor y humedad. En su zona de generación tiene velocidad entre 10 y 20 km/h y altura entre 4 y 12 metros; luego se propaga en todo el Pacífico y arriba a la costa de El Salvador con velocidad entre 30 y 60 km/h y altura entre 1 y 3 metros en aguas profundas. La dirección de propagación es del suroeste debido al efecto de la rotación de la Tierra (ver figura 101).

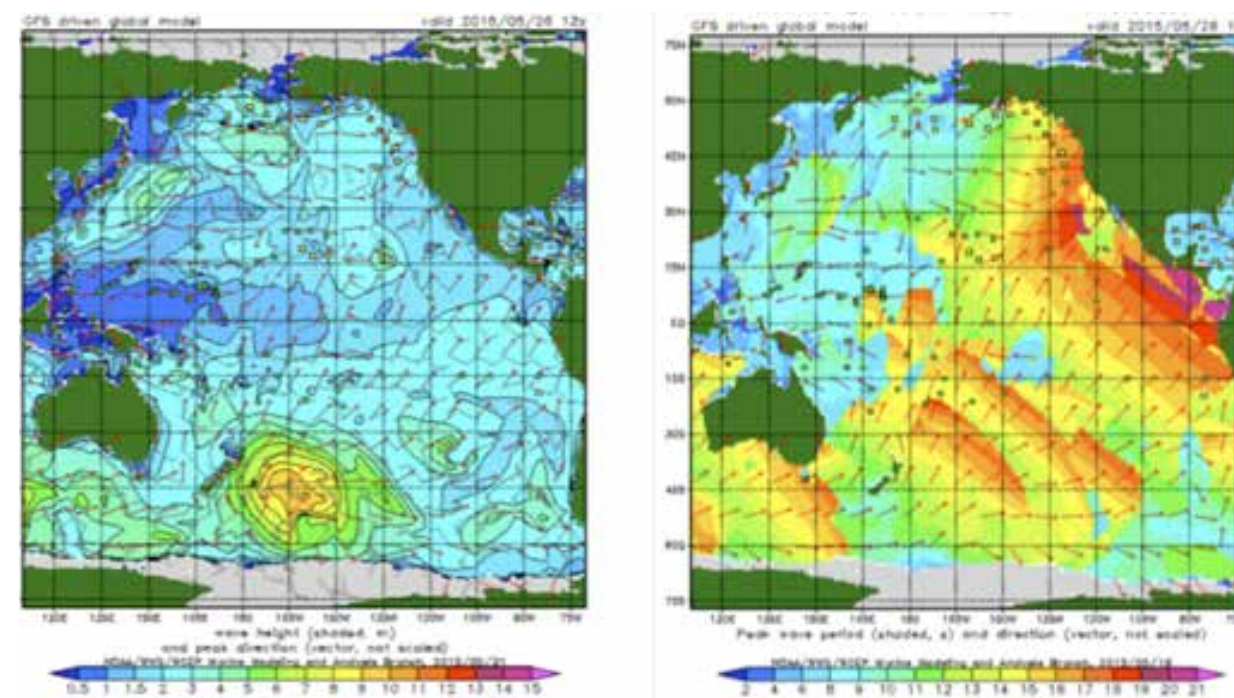


Figura 101: Zona de generación de las tormentas extratropicales del hemisferio sur y propagación del oleaje
Fuente: [11:17, 17/11/2017] Sandra Carranza Marn: The WAVEWATCH III. Development Group (WW3DG), 2016: User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 5.16. Tech. Note 329, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, College Park, MD, USA, 326 pp. +Appendices.

La altura de las olas es mayor y los eventos de oleaje extremo tienen mayor incidencia entre los meses de marzo a octubre, debido a que las tormentas extratropicales que los generan, son más intensas en los meses del invierno del Hemisferio Sur (mayo, junio, julio y agosto). La altura de las olas es mayor en occidente que en oriente por el efecto sombrilla del archipiélago de las islas Galápagos. Cuando el tren de olas que proviene del suroeste, pasa por las islas, la altura disminuye atrás de estas, es decir, hacia el noreste, por efecto de la difracción.

4.6.2 Eventos de oleaje extremo

Para caracterizar los eventos de oleaje se determina la frecuencia y la potencia a partir de las relaciones:

$$Frecuencia = \frac{\text{eventos en cada mes (número)}}{\text{años (número)}}$$

$$Potencia(kW) = 0.5 * Período(s) * Altura^2(m)$$

La figura 102 y figura 103 muestran la frecuencia y potencia de los eventos extremos ocurridos entre 2008 y 2016. Puede observarse que la frecuencia del oleaje extremo es: nula (0.0) en noviembre, diciembre, enero, febrero; baja (0.1) en septiembre y octubre; media (0.3) en marzo, abril y agosto; y alta (0.6 y 0.7) en mayo, junio y julio. Al analizar la potencia del oleaje extremo en los últimos 10 años, se puede evidenciar que la mayoría de los eventos alcanzan una potencia inferior a los 60 kW, superado únicamente por nueve eventos y un evento extremo con potencia mayor a 80 kW, ocurrido entre el 2-4 de mayo de 2015.

Evento del 2-4 de mayo de 2015

El 27 de abril de 2015 una tormenta extratropical del hemisferio sur generó un oleaje que se propagó hacia las costas de Suramérica, Centroamérica y Norteamérica, ocasionando daños en infraestructura marina (puertos mercantes, pesqueros y deportivos) e inundación tierra adentro, afectando a la población que habita en la línea de costa.

El 2 de mayo arribaron a toda la costa de El Salvador olas muy rápidas (70 km/h) y altas (entre 1 y 2 m). El 3 de mayo, las olas fueron rápidas (60 km/h) y muy altas (entre 2 y 3 m). El 4 de mayo las olas fueron rápidas (50 km/h) y más altas (entre 1 y 2 m) de lo normal. Las figura 104 y figura 105 muestran la altura y distancia de inundación registradas durante el evento de oleaje extremo.

Las figuras 106, 107 y 108 muestran los impactos causados por el oleaje, la dinámica de erosión y sedimentación se aborda con más detalle en el apartado 4.7.

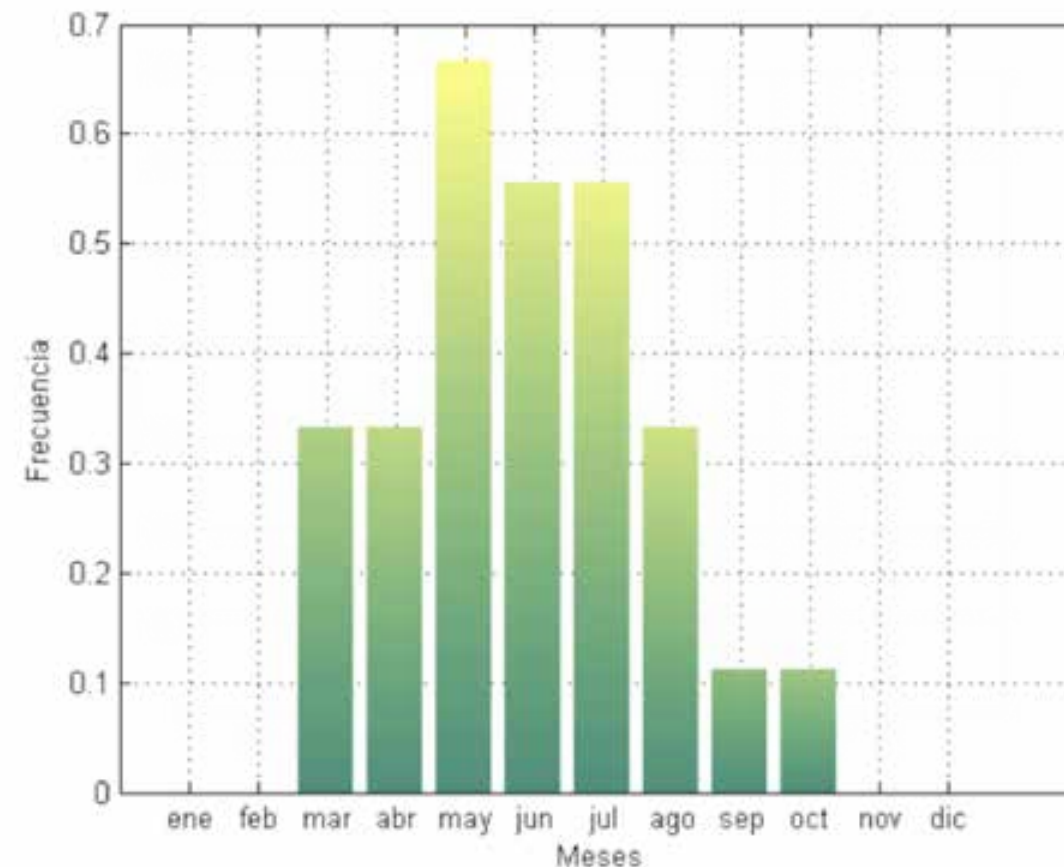


Figura 102. Diagrama de barras de la frecuencia de eventos de oleaje extremo
Fuente: Elaboración propia MARN

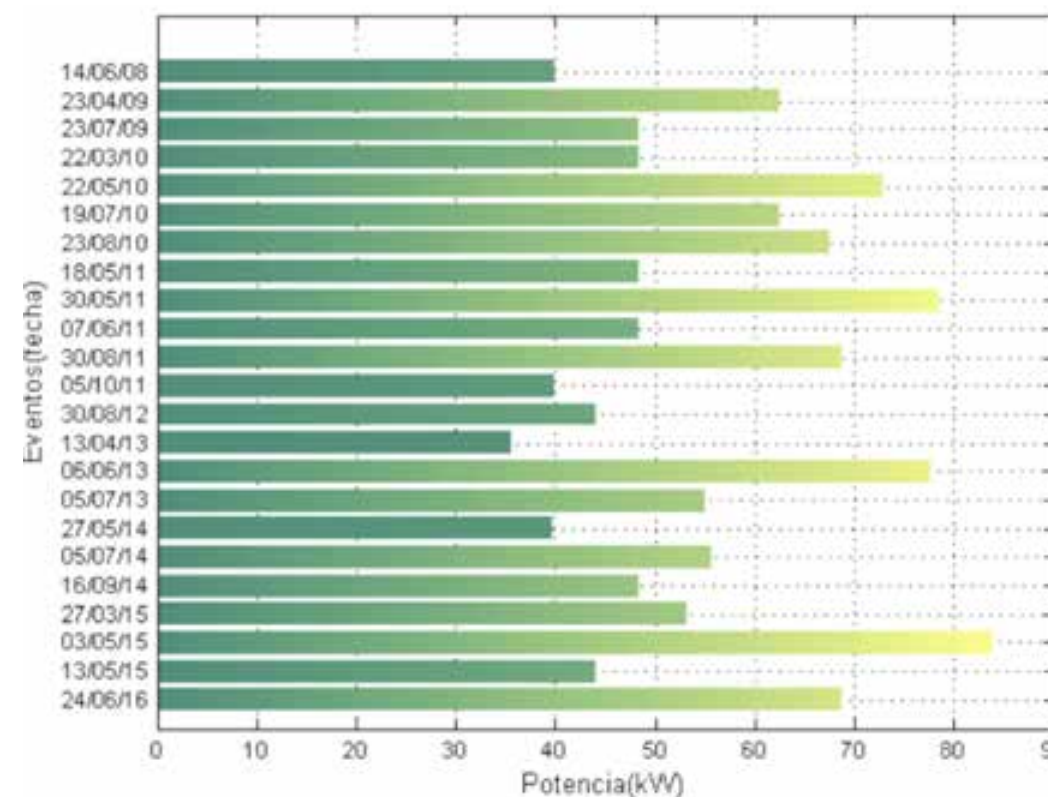


Figura 103. Diagrama de barras de la potencia de eventos de oleaje extremo
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 104. Mapas de altura de lámina de inundación durante el evento de oleaje extremo de mayo 2015
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 105. Mapas de distancia de inundación durante el evento de oleaje extremo de mayo 2015
 Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 106. Fuerte oleaje impactando la estructura del muelle de La Libertad entre el 2 - 4 de mayo de 2015 (Foto: Mario Amaya)
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 108. Impactos observados en la línea de costa tras el oleaje extremo del 2 al 4 de mayo de 2015
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 107. Fuerte oleaje ingresando a las calles en El Zonte entre el 2 al 4 de mayo de 2015 (Foto: Olas Permanentes)
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 109. Impactos observados en la línea de costa tras el oleaje extremo del 2 al 4 de mayo de 2015
Fuente: Elaboración propia MARN

4.6.3 Amenaza por eventos de oleaje extremo

Los eventos de oleaje extremo ocasionan afectaciones en actividades marítimas como pesca, navegación y turismo. En marea alta, la mayor altura de las olas en la zona de rompiente puede ocasionar volcamiento de embarcaciones e inundación de la berma de playa. En marea baja, la mayor velocidad de las corrientes de retorno puede ocasionar ahogamiento de personas que ingresan al mar y rompimiento de amarras de embarcaciones en dársenas de puertos.

Además, por el constante impacto de olas más rápidas y altas, el riesgo en la navegación de embarcaciones y las actividades que se realizan en infraestructura dentro del mar, es mayor. Por otra parte, durante la ocurrencia de eventos de oleaje extremo, aumenta la intensidad de los procesos costeros, acelerando la erosión de playas y azolvamiento de canales en desembocaduras de ríos, bocanas de esteros y entradas de bahías.

El mapa de amenaza por eventos de oleaje extremo se ha elaborado considerando que las afectaciones son entre la zona de rompiente y la berma de playa; el grado de afectación depende de la geomorfología de la línea de costa. En El Salvador, se cuenta con planicies, elevaciones, lagunas y ríos a las cuales están asociadas playas extendidas, playas de bolsillo, barras de arena y estuarios.

Para calcular los umbrales de intensidad se procesaron las series temporales de los parámetros del oleaje del modelo Wave Watch III. A partir de los umbrales de intensidad, se definieron los niveles de amenaza para diferentes secciones de la línea de costa de El Salvador y se calculó la potencia o flujo de energía del oleaje (cuadro 14).

Los niveles de amenaza por eventos de oleaje extremo se presentan en cada sección de línea de costa en el formato de barras de colores. Nótese que la línea de costa es representada por una línea doble porque las afectaciones impactan entre la zona de rompiente y la berma de playa (figura 110).

Cuadro 14. Niveles de amenaza por eventos de oleaje extremo para secciones de la línea de costa de El Salvador

Nivel	Alta	Media	Baja
Sección	Potencia (kW)	Potencia (kW)	Potencia (kW)
Planicie Costera Occidental	54	38	29
Cordillera del Bálsamo	57	41	31
Planicie Costera Central	51	35	28
Planicie Costera Oriental	50	34	27
Sierra de Jucuarán	48	33	26

Fuente: Elaboración propia MARN

4.7 Erosión y sedimentación costera

4.7.1 Causas y orígenes

La erosión y la sedimentación costera son procesos naturales que se ven provocados o incrementados por actuaciones antrópicas, los cuales generan impactos económicos y sociales que afectan directamente a las localidades que limitan con el mar. Estos procesos son originados por el desbalance o alteración de la cantidad de sedimentos que llegan a un punto dado de la costa, lo que puede ser generado por diferentes causas individuales o combinadas. Dependiendo del tipo o tipos de causas que generen estos procesos, la velocidad en que se presenten puede ser de forma rápida o lenta y el problema se evidencia con mucha más lentitud.

Entre las causas naturales se distinguen: el efecto de los eventos hidrometeorológicos extremos que generan oleajes de gran energía con alto potencial erosivo; el régimen de mareas, especialmente las mareas vivas que logran penetrar tierra adentro acrecentado su poder erosivo. También, se dan por los cambios en el transporte sedimentario, debido a la modificación en los patrones generales de circulación de las aguas oceánicas; los procesos tectónicos y el aumento del nivel del mar que modifican el perfil de la playa y, que provocan, la adaptación a las nuevas condiciones en busca de una configuración de equilibrio para estabilizarse.

Además, existen causas antrópicas que pueden incrementar o minimizar los procesos naturales o generar nuevos, entre las cuales se citan: la construcción de presas en ríos lo cual reduce la cantidad de sedimento que llega a la costa y que produce desbalance en la alimentación de las playas; la construcción de infraestructura sobre la playa y las dunas. De igual forma se identifica la construcción de obras marítimas; la eliminación de las dunas en el frente de playa, sobre todo, la extracción de arena para la construcción; la agricultura en las zonas interiores del territorio que destruye la vegetación originaria e incrementa la erosión en las cuencas; la eliminación de los manglares y zonas de amortiguamiento; la extracción de áridos en los ríos que generan la disminución de los aportes de sedimentos en las playas.

Debido a las causas mencionadas, en El Salvador se presentan los procesos erosivos de costa, especialmente en las playas de arena de la planicie costera central y la occidental, que por estar conformadas por materiales aluviales que tienen poca cohesión, están sujetas a un mayor impacto erosivo. Los procesos sedimentarios se están manifestando con mayor intensidad en la zona del golfo de Fonseca, no solo por su naturaleza sedimentaria, sino también por la modificación de la deriva litoral que transporta los sedimentos y que se ve interrumpida por la construcción de infraestructura portuaria y turística. En el caso de Barra de Santiago la eliminación, tanto de los manglares y como de la cobertura vegetal de las cuencas, promueve el aumento de los volúmenes de sedimentos.

4.7.2 Eventos históricos

En los procesos erosivos y/o sedimentarios de costa de rápido desarrollo que se han dado en el país, se pueden mencionar eventos asociados a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos u oceanográficos extremos y que ocasionaron cambios de considerable magnitud, especialmente en la costa del estero de Jaltepeque (1934), modificaciones en la playa El Espino (2009, 2012, 2015 y 2016) e impactos por oleaje en gran parte de la costa salvadoreña (mayo del 2015).



Figura 110. Mapa de niveles de amenaza por eventos de oleaje extremo para secciones de la línea de costa de El Salvador y sus impactos
Fuente: Elaboración propia MARN

En el estero de Jaltepeque, en 1934 se produjo un proceso sedimentario de gran magnitud, debido a una tormenta tropical que afectó gran parte del territorio nacional en el mes de junio. Los altos volúmenes de precipitación produjeron grandes cantidades de sedimentos que fueron arrastrados por los ríos hacia el mar, provocó modificaciones morfológicas de importancia en la zona costera. Las desembocaduras de los ríos Lempa, Paz y Jiboa se vieron fuertemente afectadas, según los periódicos de la época. De estos casos el mejor documentado es la modificación de la antigua desembocadura del estero de Jaltepeque, donde el sedimento cerró completamente la antigua desembocadura y azolvó el puerto de La Concordia. El flujo rompió y fragmentó la barra, creando una nueva salida al mar, la que en los años siguientes se reacomodó a la configuración que actualmente tiene (figura 111).



Figura 111: Imagen del estero de Jaltepeque. A la derecha el recorte de mapa oficial de El Salvador de 1859 con la anterior desembocadura del estero. El círculo rojo indica la antigua ubicación del puerto, donde actualmente se encontraba la Hacienda El Jaral, sobre imagen Google de 2016
Fuente: Elaboración propia MARN

En mayo de 2015, y por causa de oleajes de fondo, se produjeron procesos erosivos de costa en los departamentos de Sonsonate y La Unión; de sedimentación en Ahuachapán, La Libertad y Sonsonate, y una combinación de ambos fenómenos en Usulután y La Paz. La variabilidad de estos fenómenos está relacionada con la dirección de las corrientes, con el ángulo de arribo del oleaje a las playas y el material de la misma. En este evento del 2015, la energía del oleaje modificó fuertemente los perfiles de playa en algunos puntos, lo cual fue advertido por la población con el acercamiento de las zonas de rompiente y el avance del mar tierra adentro. En la figura 112 se muestra la distribución del impacto en El Salvador.

Por la misma causa, la playa El Espino ubicada en el departamento de Usulután ha sido impactada durante los años: julio del 2009, junio del 2012, mayo del 2015 y junio del 2016, causando destrucción en la primera línea de construcciones y en la calle paralela al mar, con pérdidas totales en infraestructura hotelera y de restaurantes. La figura 113 muestra los impactos generados en la playa El Espino producto del oleaje del 2015.



Figura 113: Fotografías de la playa El Espino donde se muestra la erosión dejada por el oleaje de mayo de 2015. El oleaje modificó el perfil de playa, lo que fue perceptible como un cambio en el alcance del mar y el acercamiento de la zona de rompiente, debido al movimiento de volúmenes de arena en el fondo marino.
Fuente: elaboración propia MARN.

4.7.3 Amenaza de erosión/sedimentación

La amenaza de erosión/sedimentación está presente en diversas magnitudes a lo largo de la costa salvadoreña. Con base en casos de estudio analizados, se ha identificado la tasa de cambio, ya sea por procesos erosivos o sedimentarios en diferentes playas del país. Puede notarse que en los extremos del territorio, se están dando casos de sedimentación asociados a ambientes sedimentarios como lo es el golfo de Fonseca y el estero de Barra de Santiago. En estos lugares, la pérdida de vegetación natural y las construcciones promueven el aumento de los volúmenes de sedimento descargado por las cuencas. En el resto del país, predomina la erosión como respuesta a la extracción de áridos y la pérdida de la vegetación natural, entre otras.



Figura 112. Mapa de distribución de los fenómenos de erosión y sedimentación durante oleaje del 2 al 4 de mayo de 2015.
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 114. Mapa de puntos estudiados a lo largo del territorio nacional y su grado de erosión o sedimentación según sea el caso. Fuente: elaboración propia MARN.

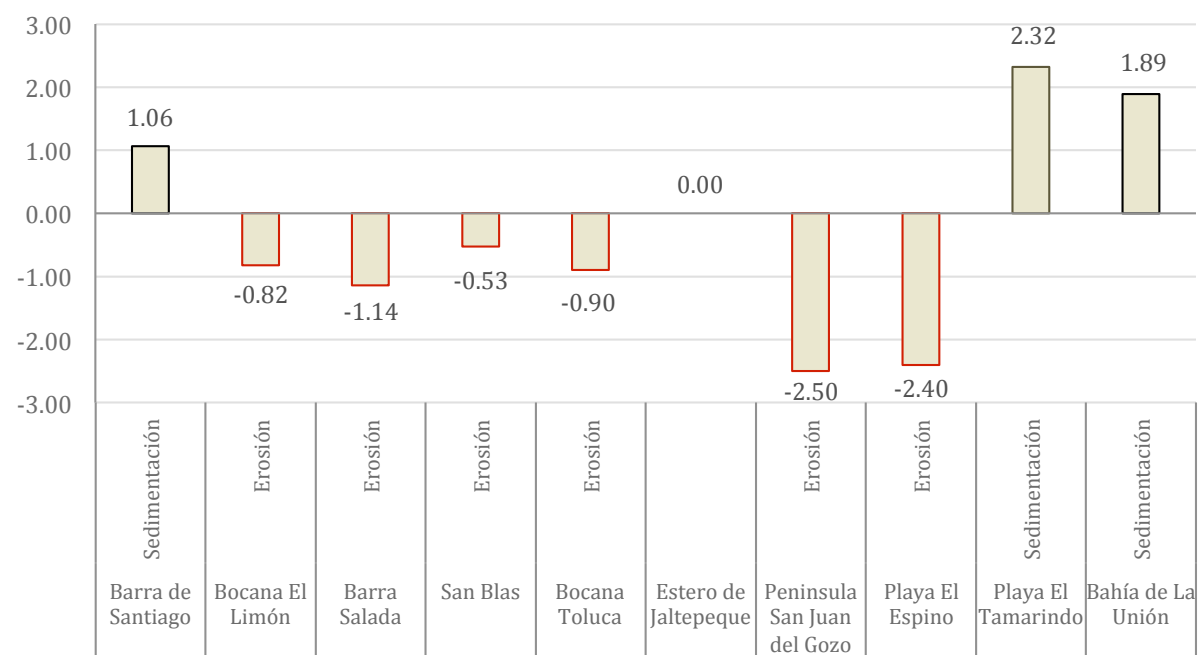


Figura 115. Valores de erosión/sedimentación en playas de El Salvador
Fuente: Elaboración propia MARN

Casos de estudio

Los casos de estudio analizados hasta el momento, han respondido a playas donde se ha tenido mayores impactos, ya sea por erosión o sedimentación y aunque son procesos que han estado activos desde hace mucho tiempo, se han visto incrementados en los últimos años. Los análisis fueron basados en la determinación de los cambios multitemporales a través de imágenes satelitales, desde 1949 a la fecha de realización de cada uno de los estudios, y con base en visitas de campo y mediciones en diferentes épocas. Se destacan los siguientes casos:

- Playa El Espino⁴⁶: se encuentra sometida a procesos erosivos con una magnitud promedio de 2.40 metros por año para los últimos 30 años. Clasificada como *muy alta* , y una tendencia a incrementarse. En los últimos años se perdieron dos líneas de construcción frente al mar y la calle de acceso.

De acuerdo con el análisis multitemporal realizado en el año 2012 se verifica que, entre 1949 y 1979, hubo un incremento en la acumulación de sedimentos en el extremo oeste, lo que provocó un aumento notable en la forma de la barra. En los siguientes 30 años la línea de costa retrocedió en un porcentaje mayor a lo ganado en el primer periodo. Este fenómeno pudo ser el resultado de aportes significativos de sedimentos asociados a las crecidas de los ríos u oleajes generados por eventos meteorológicos extremos, que transportaron arena en dirección oeste. Un caso diferente ocurre en el extremo este de la barra, donde apareció una flecha que se está consolidando y cubriendo por vegetación, lo que constituye una clara evidencia de la dirección de la deriva litoral neta en este sector de costa.

Los procesos de erosión que se están gestando en la playa El Espino son determinados, fundamentalmente, por acciones antrópicas. Se destaca la eliminación de la vegetación original de la playa y la construcción de instalaciones y viviendas sobre la zona activa de la playa y para ello se utilizan estilos constructivos que no favorecen el funcionamiento morfodinámico de las playas.



Figura 116. Posición de la línea de vegetación consolidada en el extremo oeste de la playa El Espino en fotografía PACAP.
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 117. Flecha consolidada que ocupa el extremo este de la playa, base fotografías PACAP.
Fuente: Elaboración propia MARN

⁴⁶Beltrán, Haydée; Rodríguez, Ridel, Estudio de los procesos de Erosión y Sedimentación de Playa El Espino, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador (Mayo, 2012).

- Estero de Barra Salada: este estero ha sido impactado, a través del tiempo, por la reducción del manglar que cubría amplias zonas de su desembocadura y por la de los bosques de las zonas altas, lo que ha generado cambios en su dinámica. Con base en el análisis multitemporal, entre los años 1949 a 2014, se determinaron las variaciones al interior del canal principal, el vaso del estero y sus ramales secundarios. Estos cambios han sido significativos, en unos casos de consolidación de las islas interiores y en otros casos de pérdida, porque las formas del relieve que allí aparecen son efímeras.

La disminución en el área cubierta por manglar ha generado un rápido aumento de la sedimentación y el progresivo estrechamiento del canal de descarga del estero hacia el mar, más acentuado en el periodo de 1949 a 1969. Este proceso coincide con el periodo en el que se identifica una mayor pérdida del área de manglar. En el caso particular de la bocana, las imágenes muestran modificaciones tendientes al cierre de la zona de descarga. Se evidencia una marcada disminución en el vaso del estero, y la población se encarga de abrir de nuevo el sistema para evitar el cierre definitivo o el rompimiento en algún punto de debilidad, que pueda provocar consecuencias desastrosas. Las islas que se encuentran dentro del vaso del estero se observan en una fase estable que evolucionará hacia el crecimiento al disminuir las profundidades del estero, como consecuencia de la carga de los sedimentos arrastrados por los canales. Los canales se cerrarán como ha ocurrido en la mayoría de los ramales que los conformaban.

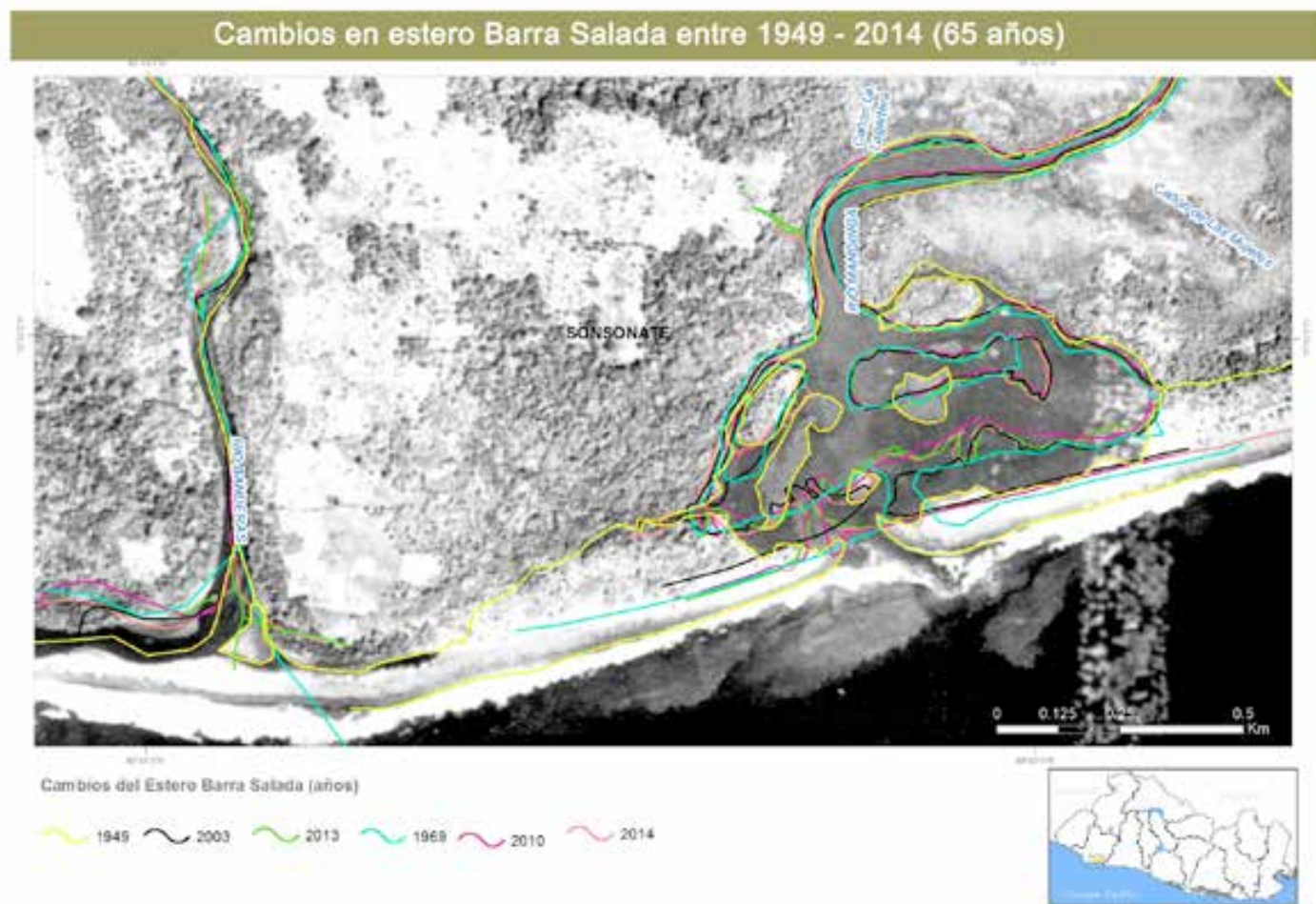


Figura 118. Composición de trazos de los cambios del estero de Barra Salada durante los años 1949, 1969, 2003 y 2014 sobre fotografía aérea de 1949. Con respecto a 1949, las barras han retrocedido significativamente y el río Banderas ha perdido su conexión con el estero. Fuente: Elaboración propia MARN

- Playa El Tamarindo: esta playa ha experimentado el crecimiento y estabilización de la punta de barra que forma el estero. En 47 años (1969 a 2016), la barra incrementó el 37.7 %, y puede observarse el azolvamiento y paulatino cierre de los canales del estero, tal como se muestra en las imágenes Google de la figura 119. La principal causa asociada al incremento de las descargas de sedimentos es la disminución del bosque salado. Estos cambios afectan las vías de transporte acuático hacia la carretera litoral y la obtención de recursos que se extraen del estero.



Figura 119. Playa El Tamarindo, departamento de La Unión. Muestra el crecimiento por la sedimentación, principalmente en el gancho de entrada al estero y el inicio del cierre de la bocana. Fuente: Elaboración propia MARN

- Puerto de La Unión: en este caso se trata de un sistema sedimentario de baja energía que recibe aportes importantes de los ríos Sirama y Goascorán, así como arena arrastrada por las corrientes de marea, ante lo cual, los volúmenes arrastrados por las corrientes y el oleaje son considerables. De acuerdo con cálculos realizados, el crecimiento de la mancha de sedimentos transversal a la línea de costa es de 1.89 metros por año en el lateral derecho y 0.62 metros por año en el lateral izquierdo del malecón existente (muelle Los Coquitos).

La sedimentación está presente en ambos lados del malecón pero es mayor en el lado derecho, producto de la obstrucción de las corrientes y menor en el lado izquierdo, debido a la formación de la ensenada y la reducción de la velocidad de la corriente en ese punto (figura 120). El sistema posee una velocidad de sedimentación que alcanza valores máximos de 2.38 m/año y valores promedio de 1.89 en el frente, lo que genera el cambio de calado en las zonas de aproximación a los puertos y zonas de desembarque.



Figura 120. La imagen muestra la sedimentación en ciudad puerto de La Unión, como consecuencia de la construcción de muelles que interrumpen el flujo de líneas de corriente. Fuente: Imágenes de Google Earth y fotografías aéreas. Fuente: Elaboración propia MARN

5. Vulnerabilidad

Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades

Vulnerabilidad

5. Vulnerabilidad

Como se indicó en el numeral 2.1, la vulnerabilidad representa la condición determinada por procesos físicos, sociales, factores económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad al impacto de las amenazas⁴⁷. La vulnerabilidad determina la intensidad de los daños que pudiera producir la ocurrencia efectiva de una amenaza sobre un territorio determinado; así como la capacidad de la población para recuperarse del impacto. El análisis de vulnerabilidad en sus diferentes ámbitos: físico, social, ambiental, económico, cultural, entre otros, es clave para caracterizar y comprender las condiciones específicas en que se encuentran los puntos críticos de riesgos. Lo anterior es determinante en la implementación de estrategias y políticas orientadas a la reducción del riesgo, y al incremento de la resiliencia y de las capacidades de la población para responder a las distintas amenazas.

En los siguientes apartados se abordan los principales tipos de vulnerabilidad, la vulnerabilidad física – asociada a las características de la infraestructura expuesta, y la vulnerabilidad social – asociada a las características de la población expuesta.

5.1 Vulnerabilidad física⁴⁸

La vulnerabilidad física se refiere a las deficiencias de las estructuras físicas para absorber los efectos de una amenaza de determinada intensidad. Está asociada a las características de la infraestructura, materiales de construcción, criterios de estructuración, requisitos o normas de diseño y construcción, entre otros.

Existen muchos métodos disponibles para evaluar la vulnerabilidad física, incluidos métodos simplificados como opiniones de expertos, modelos analíticos simples y procedimientos de análisis detallados. Estos métodos difieren en esfuerzo y precisión: la elección depende del objetivo de la evaluación, así como de la disponibilidad de datos y tecnología para el análisis (cuadro 15).

Cuadro 15. Métodos para la evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura⁴⁹

Gasto	Aumento del esfuerzo computacional				
Aplicación	Grupo de edificios		Edificios individuales		
Métodos	Vulnerabilidad observada	Opinión de expertos	Modelos analíticos simplificados	Asignación de calificaciones	Procedimientos detallados de análisis

Fuente: Lang, K. (2002), *Seismic Vulnerability of Existing Buildings*, Institute of Structural Engineering (IBK), ETH Zurich, Report No. 273, Hochschulverlag AG, Zürich

El análisis de vulnerabilidad física cobra mayor relevancia para el caso de los sismos, dado que para su determinación es necesario analizar la capacidad del sistema estructural para resistir fuerzas o desplazamientos laterales impuestos. Lo anterior está condicionado por las propiedades de los materiales de construcción que componen el sistema estructural, las características del sistema estructural – incluyendo defectos estructurales, el nivel de diseño sismorresistente, los modos de vibración y el período dominante, entre otros. Para la amenaza por inundación (de carácter lento), la vulnerabilidad física se ve, en su mayoría, influenciada por el tipo de material de construcción e instalaciones eléctricas, mientras que, para el análisis de vulnerabilidad ante caída de ceniza, viento y otros, intervienen factores como el tipo de cubierta y las conexiones techo-estructura. Este apartado se enfocará, por tanto, principalmente en el análisis de vulnerabilidad por sismos.

⁴⁷Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. Terminología 2004. Términos básicos de la reducción del riesgo de desastres. <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng%20home.htm>

⁴⁸El capítulo está basado con algunas variantes en la investigación realizada por Kattan Jokisch, C. (2010). *Re-Interpretation of Seismic Damage Scenarios: Risk Mapping for the case Study of San Salvador (El Salvador, 1986)*, Master Thesis, Bauhaus Universität Weimar & Earthquake Damage Analysis Center, Weimar, Alemania.

⁴⁹Lang, K. (2002), *Seismic Vulnerability of Existing Buildings*, Institute of Structural Engineering (IBK), ETH Zurich, Report No. 273, Hochschulverlag AG, Zürich

⁵⁰Coburn, A. y Spence, R. (1992) *Earthquake protection*, John Wiley&Sons, 355pp

5.1.1 Vulnerabilidad observada

La vulnerabilidad observada se refiere a la evaluación basada en datos estadísticos de daños por eventos pasados. Es especialmente útil para la evaluación de infraestructura no ingenieril construida con materiales de baja resistencia, tales como: adobe, bahareque, mampostería no reforzada, entre otros, cuya capacidad para soportar las sollicitaciones sísmicas o por otras amenazas, es difícil de cuantificar, y para las cuales existe una cantidad sustancial de datos estadísticos de daños. El uso de la vulnerabilidad observada es cada vez más relevante para el caso de tipologías comunes de construcción ingenieril, tales como marcos de concreto reforzado, ya que la cantidad de datos sobre daños aumenta con el tiempo.

Coburn y Spence (1992)⁵⁰ ofrecen un conjunto de funciones para los diferentes tipos de edificios más comúnmente observados en las regiones propensas a sismos con base en los datos recopilados de los daños causados por una serie de terremotos en diferentes países. Para cada tipología, se supone que la dispersión de intensidad a que, cada estructura individual supera un determinado umbral de daño (grados de daño), se distribuye normalmente.

La distribución de los daños se expresa, gráficamente, por la probabilidad de excedencia de un cierto grado de impacto dada para una sollicitación sísmica definida por una escala de intensidad sin parámetros, como se muestra en la figura 121, siendo D1: daños insignificantes o ligeros, D2: daños moderados, D3: daños sustanciales a fuertes, D4: daños muy fuertes y D5: destrucción. La clasificación de las tipologías estructurales depende, no solo de las características estructurales de mayor influencia en el comportamiento ante una determinada sollicitación (en este caso sísmica), sino también de la cantidad de información disponible.

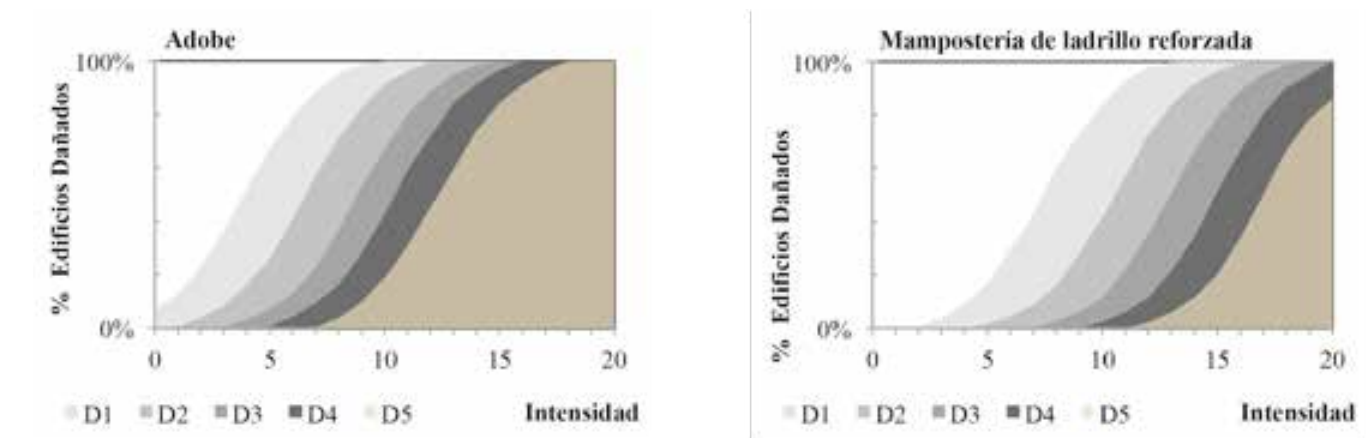


Figura 121. Ejemplos de funciones de vulnerabilidad para tipologías estructurales comunes (digitalizado de Coburn y Spence, 1992)

Fuente: Coburn, A. y Spence, R. (1992) *Earthquake protection*, John Wiley&Sons, 355pp

5.1.2 Vulnerabilidad basada en criterio de experto

Este método utiliza el conocimiento personal y la experiencia de una persona experta o grupo de expertos para estimar el porcentaje esperado de daño que resultaría a un tipo estructural específico, sometido a una sollicitación determinada.

El principal inconveniente de este enfoque es su subjetividad ya que las matrices de probabilidad de daño se basan, exclusivamente, en la opinión de los expertos. Por lo tanto, además de las incertidumbres inherentes a cualquier estimación de daño debido a la variabilidad en el comportamiento real del edificio, hay incertidumbre relacionada con la opinión de los expertos. Las matrices de probabilidad de daños, basadas en opiniones de expertos, también son difíciles de calibrar o modificar para incorporar nuevos datos o tecnologías; de igual forma es difícil de extender a otros tipos de edificios y otras regiones, así como a las características individuales del edificio.

Uno de los primeros intentos sistemáticos para determinar la vulnerabilidad sísmica de los edificios, fue realizado por el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC-13). Al consultar a 58 expertos, se derivaron matrices de probabilidad de daños para 78 clases de infraestructura ante sismos, 40 de las cuales eran edificios. Basándose en su conocimiento personal y experiencia, los expertos tuvieron que rellenar un cuestionario formal con sus mejores estimaciones de relaciones de daño, definidas como pérdidas monetarias con respecto al valor de reemplazo. Sin embargo, en algunos casos, muy pocas personas se consideran suficientemente expertos con respecto a un determinado tipo estructural para aventurarse a emitir una opinión.

A pesar de todos los inconvenientes principales de este enfoque, fue el primer estudio relativamente completo sobre la estimación de daños y pérdidas por terremoto y se convirtió en la referencia estándar para muchas evaluaciones de vulnerabilidad por sismos hasta mediados de los años 90.

En 1997, la *Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos de América (FEMA)* lanzó, por primera vez, un software interactivo para la evaluación de riesgos, HAZUS®, desarrollado por el *Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción (NIBS)*, el cual ha continuado su actualización y expansión a distintos tipos de amenazas (sismo, huracán, inundación, tsunami) ahora conocido como HAZUS®-MH⁵¹.

Las funciones de daño y pérdida de HAZUS®-MH para los tipos genéricos de construcción, se consideran predictores fiables de los efectos de una amenaza en grandes grupos de edificaciones, que incluyen, tanto casos por encima de la media como por debajo de la media. Sin embargo, pueden no ser muy buenos predictores para un edificio específico o un tipo particular de edificio para el cual se conoce que se tiene una debilidad inherente o vulnerabilidad. Funciones de daño para edificios específicos deben ser generadas por los usuarios, ingenieros con experiencia en métodos de análisis no lineal⁵².

Para estimar los niveles promedio de daños a cada tipo de instalación (edificaciones clasificadas según el material, sistema estructural, número de niveles, nivel de diseño sismorresistente, líneas vitales, etc.) con relación a los diferentes niveles de intensidad de las amenazas, se cuenta con un conjunto de funciones de daños. Estas funciones toman como insumo la intensidad de la amenaza específica para cada tipo de amenaza y produce un nivel de daños entre 0 y 100 %. Los valores de entrada son las medidas de la intensidad de la amenaza para un escenario específico, el cual puede ser el nivel de movimiento sísmico del terreno (desplazamientos y aceleraciones espectrales), la profundidad de la inundación, etc.

El nivel de daños de la salida representa el costo de recuperar el funcionamiento pleno de la instalación y es un porcentaje del costo de reposición. Un nivel del 100 % no quiere decir necesariamente que el 100 % de la instalación haya sido destruido físicamente, sino más bien, que el costo de recuperar sus servicios sería el equivalente de construir una instalación nueva.

Otro tipo de función de vulnerabilidad basada en la vulnerabilidad observada y en las opiniones de expertos es el uso de la vulnerabilidad de los edificios implícita en las escalas macrosísmicas, para el caso de terremotos, donde la capacidad estructural cobra mayor relevancia. La *Escala Macrosísmica Europea (EMS-98)*⁵³, base para la evaluación de la intensidad en Europa y ampliamente utilizada en todos los continentes, presenta la ventaja de incorporar grados de daño para edificaciones en función de la clase de vulnerabilidad en la definición del grado de intensidad. A partir de la descripción del daño de las edificaciones a diferentes intensidades, se puede entonces, deducir las funciones o clases de vulnerabilidad. Los grados de intensidad, los grados de daños y las definiciones de cantidad según EMS-98 se muestran en los cuadros 16 y 17, y figura 122.

Cuadro 16. Definición de grados de intensidad, considerando únicamente el factor daño en edificios (modificada de Grünthal 1998)⁵³

Grado	Descripción (considerando únicamente el daño en edificios)
V	Fuerte Daños de grado 1 en algunos edificios de clases de vulnerabilidad A y B.
VI	Levemente dañino Se presentan daños de grado 1 en muchos edificios de clases de vulnerabilidad A y B; algunos de clases A y B sufren daños de grado 2; algunos de clase C sufren daños de grado 1.
VII	Dañino Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 3, algunos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 2, algunos de grado 3. Algunos edificios de clase de vulnerabilidad C presentan daños de grado 2. Algunos edificios de clase de vulnerabilidad D presentan daños de grado 1.
VIII	Gravemente dañino Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 4, algunos de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 3, algunos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2, algunos de grado 3. Algunos edificios de clase de vulnerabilidad D presentan daños de grado 2.
IX	Destructor Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A presentan daños de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 4, algunos de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 3, algunos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2, algunos de grado 3. Algunos edificios de clase de vulnerabilidad E presentan daños de grado 2.
X	Muy destructor La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad A presentan daños de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4, algunos de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 3, algunos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2, algunos de grado 3. Algunos edificios de clase de vulnerabilidad F presentan daños de grado 2.
XI	Devastador La mayoría de edificios de clase de vulnerabilidad B presentan daños de grado 5. La mayoría de edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4, muchos grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 4, algunos de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 3, algunos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2, algunos de grado 3.
XII	Completamente devastador Se destruyen todos los edificios de clases de vulnerabilidad A, B y prácticamente todos los de clase C. Se destruyen la mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad D, E y F.






Fuente: Modificada de Grünthal, G. (Ed.) *European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologi.*

⁵¹ FEMA, *Hazus- Multi-hazard Loss Estimation Methodology, FEMA* (<https://www.fema.gov/hazus>).

⁵² FEMA, "Hazus 2.1 - Multi-hazard Loss Estimation Methodology; Earthquake Model; Technical Manual," FEMA (<https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609>).

⁵³ Grünthal, G. (Ed.) *European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologi.*

Cuadro 17. Clasificación de daños en edificaciones de mampostería (modificada de Grünthal 1998)⁵³

<p>Grado 1 (DG1): Daños de despreciables a ligeros (ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros) Fisuras en muy pocos muros Caída sólo de pequeños trozos de revestimiento Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos</p>	
<p>Grado 2 (DG2): Daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados) Grietas en muchos muros Caída de trozos bastante grandes de revestimiento Colapso parcial de chimeneas</p>	
<p>Grado 3 (DG3): Daños de importantes a graves (daños estructurales moderados, daños no estructurales graves) Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros Se sueltan tejas del tejado Rotura de chimeneas por la línea del tejado Se dañan elementos individuales no-estructurales (ej. tejados)</p>	
<p>Grado 4 (DG4): Daños muy graves (daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves) Se dañan seriamente los muros Se dañan parcialmente los tejados y forjados</p>	
<p>Grado 5 (DG5): Destrucción (daños estructurales muy graves) Colapso total o casi total</p>	

Fuente: Modificada de Grünthal, G. (Ed.) *European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologi.*

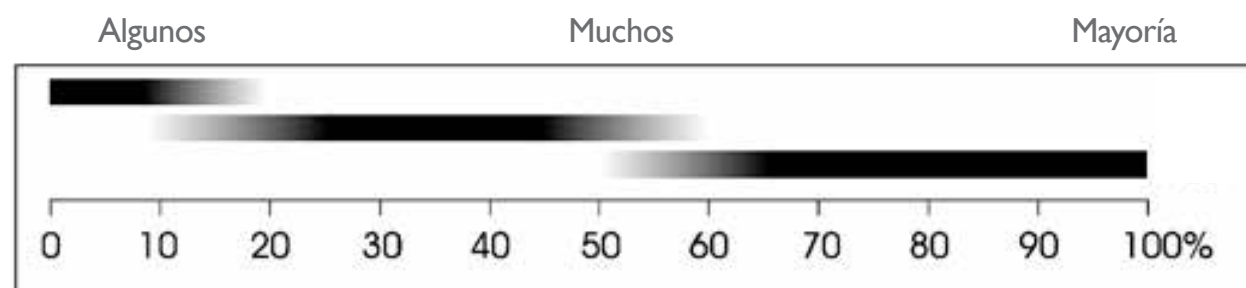


Figura 122. Definición de cantidad (Grünthal, 1998)

Fuente: Modificada de Grünthal, G. (Ed.) *European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologi.*

5.1.3 Vulnerabilidad basada en modelos simples

Otros métodos de evaluación de la vulnerabilidad, como la vulnerabilidad prevista, se refieren a la evaluación del desempeño esperado de los edificios sobre la base de cálculos y especificaciones de diseño. Estos métodos son adecuados para su uso, principalmente, con estructuras e instalaciones de ingeniería, donde se puede hacer una estimación razonable de la resistencia, aunque para la cual solo se dispone de una cantidad limitada de datos de daños.

Mientras más simple es el modelo, más rápida es la evaluación, pero menos precisos son los resultados. Por lo tanto, los resultados deben considerarse con cuidado cuando se trata de edificios individuales, teniendo un significado más estadístico⁴⁹.

5.1.4 Asignación de puntuaciones

Los procedimientos de asignación de puntuaciones tienen por objeto identificar los edificios peligrosos mediante la exposición de deficiencias estructurales. Con frecuencia, forman la primera fase de un procedimiento multifase, para identificar edificios peligrosos que luego deben analizarse con más detalle para decidir sobre estrategias de mejora. Las posibles deficiencias estructurales se identifican a partir de las correlaciones observadas entre el daño y las características estructurales.

5.1.5 Procedimientos detallados: modelos analíticos

Los procedimientos de análisis pueden dividirse en procedimientos lineales (estático lineal y dinámico lineal) y procedimientos no lineales (estático no-lineal y dinámico no-lineal).

En un procedimiento estático lineal, el edificio es modelado como un sistema de un grado de libertad equivalente (SDOF por sus siglas en inglés), con una rigidez elástica lineal y un amortiguamiento equivalente. Este procedimiento simplificado, se incluye a menudo en los códigos para propósitos de diseño de edificios regulares. Para el caso de sismos, la sollicitación sísmica es modelada por una fuerza lateral equivalente (la aceleración espectral, determinada a partir del espectro de respuesta apropiado, multiplicada por la masa del edificio). El período fundamental del edificio se determina mediante relaciones empíricas.

En un procedimiento dinámico lineal, el edificio es modelado como un sistema de varios grados de libertad (MDOF por sus siglas en inglés), con una matriz de rigidez elástica lineal y una matriz de amortiguación equivalente. La entrada sísmica es modelada, usando análisis espectral modal o análisis de tiempo-historia (*time-history*). Este método es aplicable a edificios irregulares, pero su aplicabilidad disminuye con el aumento del comportamiento no lineal.

En un procedimiento estático no lineal el modelo incorpora directamente las características de fuerza-deformación no lineal de componentes individuales, debido a la respuesta inelástica de los materiales. La característica no lineal de fuerza-deformación del edificio está representada por una curva de capacidad o *push-over* (curva de cortante basal versus desplazamiento superior), obtenida sometiendo al modelo a fuerzas laterales que aumentan monótonicamente (o desplazamientos crecientes), distribuidas a lo largo de la altura del edificio con variación constante, de acuerdo a diferentes criterios, hasta que el edificio colapsa.

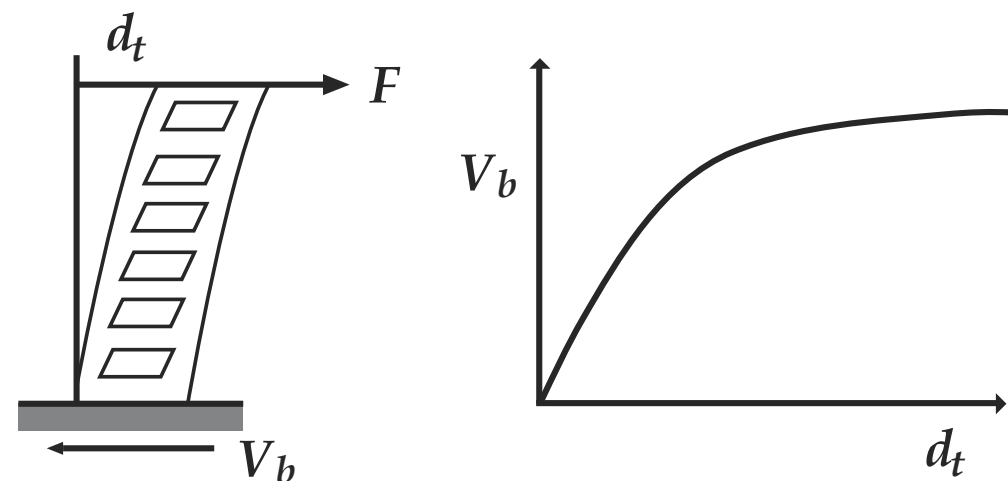


Figura 123. Representación de una curva de capacidad
Fuente: Federal Emergency Management Agency FEMA (1997) NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, Washington, DC

Este procedimiento toma en cuenta el efecto de la respuesta no-lineal de los materiales, por lo que las fuerzas internas y las deformaciones obtenidas son una predicción más precisa de las esperadas durante un sismo. La rigidez de los elementos se modifica de acuerdo con el grado de daño (formación de rótulas plásticas) y el resultado que se obtiene es la relación entre el cortante basal V_b y el desplazamiento lateral máximo en la cubierta del edificio S_t (ver ATC-40, 1996⁵⁴ y FEMA-273, 1997)⁵⁵. Una vez que un elemento alcanza el colapso, como una falla dúctil o frágil, su contribución a la resistencia global solo está relacionada con su capacidad de soportar cargas verticales. El desempeño aceptable se basa en estados límite, en términos del desplazamiento global en la curva de capacidad, que se refiere a la condición general del edificio.

Generalmente, la curva de capacidad se construye para representar la respuesta del primer modo del edificio, que se supone, es el modo predominante de vibración. La fuerza horizontal aplicada para la construcción de la curva debe satisfacer este criterio. El análisis de *push-over* puede considerarse como la envolvente de los puntos máximos de la curva, resaltados por el análisis dinámico no lineal. Las curvas de capacidad tienen el propósito de representar la envolvente de los ciclos de histéresis, producidos durante un evento sísmico, y pueden considerarse un indicador del comportamiento postelástico de la estructura. El análisis *push-over* se creó como una simplificación del análisis dinámico no lineal, obteniendo los mismos resultados, pero con menos trabajo y cálculos más rápidos. Para realizar un procedimiento analítico utilizando la técnica del *push-over*, es condición necesaria disponer de información sobre el sistema estructural: dimensiones, refuerzo, conexiones.

Por su parte, el procedimiento dinámico no-lineal es el procedimiento de análisis más sofisticado para predecir las fuerzas y los desplazamientos bajo una sollicitación determinada. El modelo es similar al utilizado en procedimientos estáticos no lineales que incorporan directamente la respuesta inelástica de los materiales, pero la entrada sísmica se modela utilizando un análisis de tiempo-historia (*time-history*) que implica la evaluación de la respuesta del edificio para cada punto del tiempo.

De estos cuatro métodos solo los dos últimos pueden predecir el deterioro que ocurre en una estructura cuando se expone a una sollicitación sísmica, y por lo tanto, son los que se utilizan para la evaluación de daños y pérdidas. Las funciones de vulnerabilidad física pueden ser directamente obtenidas utilizando métodos simplificados como los detallados en los apartados 5.1.1 - 5.1.4, o bien, derivándolas de las curvas de capacidad de carga para costos de reposición determinados.

5.2 Vulnerabilidad física de las tipologías estructurales típicas de El Salvador⁵⁶

Como se ha mencionado anteriormente, la determinación de la vulnerabilidad física está condicionada, tanto por las características estructurales de mayor influencia en el comportamiento ante una sollicitación o amenaza determinada, como por la información disponible. Este capítulo propone una clasificación general de las tipologías estructurales típicas de El Salvador, considerando su vulnerabilidad física.

5.2.1 Tipologías estructurales típicas de El Salvador

El Censo Nacional de Población y Vivienda 2007, clasifica las viviendas de acuerdo con el material predominante con el que se construyeron las paredes, el piso y el techo. La figura 124 y el cuadro 18 muestran la clasificación de las viviendas en El Salvador según el material de las paredes. El cuadro 19 y la figura 125 muestran la clasificación basado en el material de los techos y las paredes.

Puede observarse, que la mayor cantidad de viviendas corresponde a la clasificación de concreto o mixto, representando el 85 % de las viviendas en la zona urbana y el 48 % en la zona rural. En cuanto al material de techos, predominan los techos flexibles (lámina, teja, entre otros), observándose únicamente techos de losa de concreto en un pequeño porcentaje de viviendas de la tipología concreto o mixto.

Cuadro 18. Clasificación de las viviendas de acuerdo con el material de las paredes⁵⁷

<p>Concreto o mixto: cuando la pared es construida con grava, arena y cemento en una armazón de hierro y la de tipo mixto es la construida con ladrillo de calavera o bloques de concreto, arena y cemento, sostenidas con columnas y vigas de concreto</p>	<p>Bahareque: es la pared construida a base de tierra mezclada con zacate o pedazos de teja de barro, sostenida en una armazón hecha, principalmente, con varas de castilla o material similar.</p>
---	---



⁵⁴ Applied Technology Council ATC (1996), *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, volumes 1 and 2, Report No. ATC-40, Redwood City, CA.*

⁵⁵ Federal Emergency Management Agency FEMA (1997) *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, Washington, DC*

⁵⁶ El capítulo está basado con algunas variantes en la investigación realizada por Kattan Jokisch, C. (2010). *Re-Interpretation of Seismic Damage Scenarios: Risk Mapping for the case Study of San Salvador (El Salvador, 1986), Master Thesis, Bauhaus Universität Weimar & Earthquake Damage Analysis Center, Weimar, Alemania*

⁵⁷ Modificado de Censo Nacional de Población y Vivienda (2007) y Kattan Jokisch, C. (2010). *Re-Interpretation of Seismic Damage Scenarios: Risk Mapping for the case Study of San Salvador (El Salvador, 1986), Master Thesis, Bauhaus Universität Weimar & Earthquake Damage Analysis Center, Weimar, Alemania.*

Adobe: el adobe tiene forma de un ladrillo con dimensiones mayores que éste. Está fabricado a base de tierra mezclada con zacate, el cual es compactado en moldes y secado al sol. Los adobes son pegados entre sí con lodo.



Madera: generalmente están construidas con tablas y sostenidas por una armazón de cuarterones o cuarteroncillo.



Lámina metálica: las Láminas pueden ser lisas o acanaladas, sostenidas comúnmente por armazones de madera.



Paja, palma u otro vegetal: este tipo de material se utiliza para construir los ranchos, en su mayoría, localizados en el área rural.



Deshechos: esta clase de material se encuentra en las viviendas marginales y se refiere a pedazos de madera, láminas, plásticos, entre otros.



Otro: se anotará el material no incluido en las categorías anteriores, tales como: lámina de asbesto, lona, etc.

Fuente: Modificado de Censo Nacional de Población y Vivienda (2007) y Kattan Jokisch, C. (2010). Re-Interpretation of Seismic Damage Scenarios: Risk Mapping for the case Study of San Salvador (El Salvador, 1986), Master Thesis, Bauhaus Universität Weimar & Earthquake Damage Analysis Center, Weimar, Alemania.

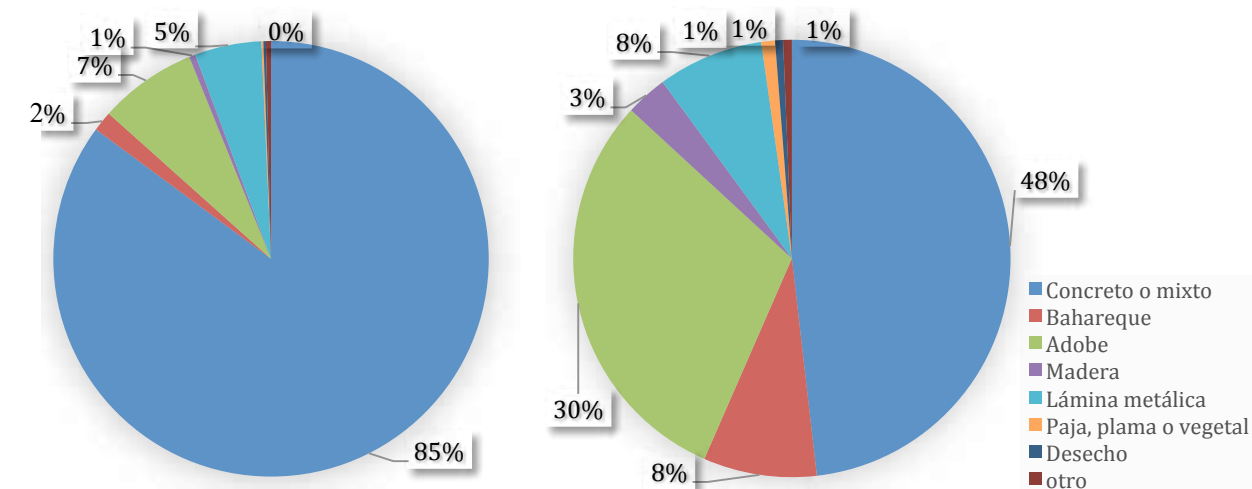


Figura 124. Viviendas en El Salvador clasificadas por el material de sus paredes en zonas urbanas (izquierda) y rurales (derecha) ⁵⁸

Cuadro 19. Viviendas en El Salvador clasificadas por el material de sus techos ⁵⁸

Material del techo	Material de las paredes							
	Concreto o mixto	Bahareque	Adobe	Madera	Lámina metálica	Paja, palma, vegetal	Desecho	otro
Losa de concreto	82,195	0	0	0	0	0	0	0
Lámina de asbesto	344,558	1,549	5,241	0	0	0	0	0
Lámina de fibrocemento	119,660	413	2,059	0	0	0	0	0
Teja	193,671	24,904	149,414	6,285	6,640	2,293	936	2,239
Lámina metálica	234,793	27,703	53,310	12,653	81,357	3,794	3,269	4,534
Paja, palma o vegetal	884	503	296	312	306	1,206	104	87
Desecho	138	226	167	101	159	84	1,123	29
Otro material	2,051	108	221	91	162	63	51	911

Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda (2007)

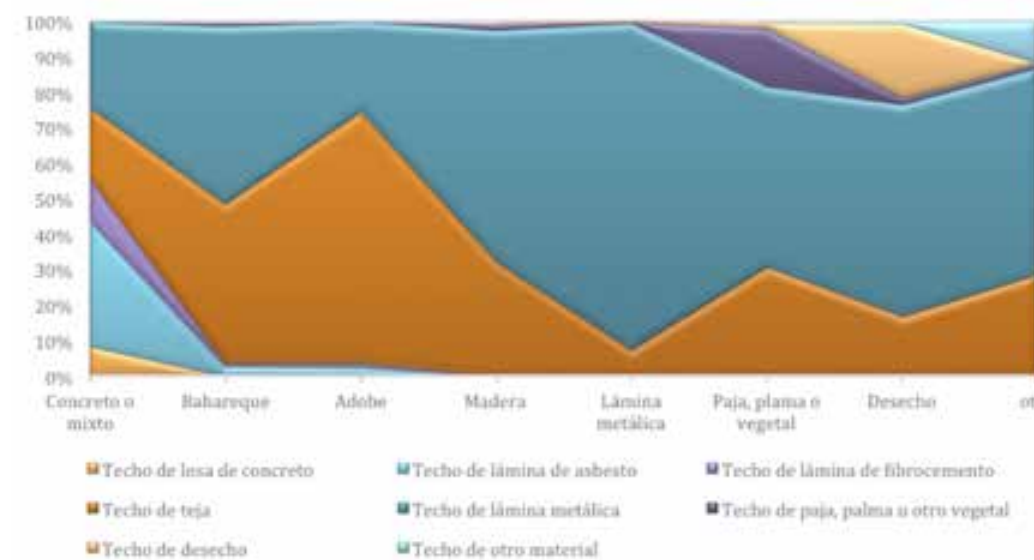


Figura 125. Viviendas en El Salvador clasificadas por el material de sus techos y paredes ⁵⁸

Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda (2007)

⁵⁸Censo Nacional de Población y Vivienda (2007)



Figura 126. Vista aérea del Área Metropolitana de San Salvador
Fuente: MARN

5.2.2 Registros de daños

A pesar de que El Salvador es un país altamente susceptible a distintas amenazas, nunca se ha realizado una valoración exhaustiva de daños, que permita realizar una determinación directa de la vulnerabilidad física basada en datos estadísticos. Es importante destacar lo anterior, principalmente, debido a que en caso de desastre, las evaluaciones se centran en las edificaciones o instalaciones más afectadas o colapsadas, y se deja fuera del análisis, aquellos activos con daños menores o sin daños, información que es fundamental para la determinación de la vulnerabilidad observada, asociada a valores de intensidad.

Existen algunos estudios que proveen información muy útil para el análisis de la vulnerabilidad física, sobre la base de procedimientos multifase, lo cual permite identificar las tipologías y configuraciones estructurales más vulnerables. Esto sumado a conocimientos sobre prácticas constructivas y comportamiento estructural, códigos de diseño, resultados de modelos analíticos, etc., puede facilitar la determinación de las clases o curvas de vulnerabilidad.

Tras los sismos del 2001, la Universidad Complutense de Madrid junto con Universidad Centroamericana José Simeón Cañas y el entonces Servicio Nacional de Estudios Territoriales (ahora Observatorio Ambiental del MARN), condujeron un estudio de la caracterización del movimiento del suelo y los efectos en la infraestructura⁵⁹. Se recopiló información de daños tanto en edificios públicos como en viviendas. Las figura 127 y 128 muestran los daños observados por departamento para los sismos de enero del 2001 (Mw 7.6, frente a las costas de La Libertad) y febrero del 2001 (Mw 6.6, San Vicente) respectivamente.

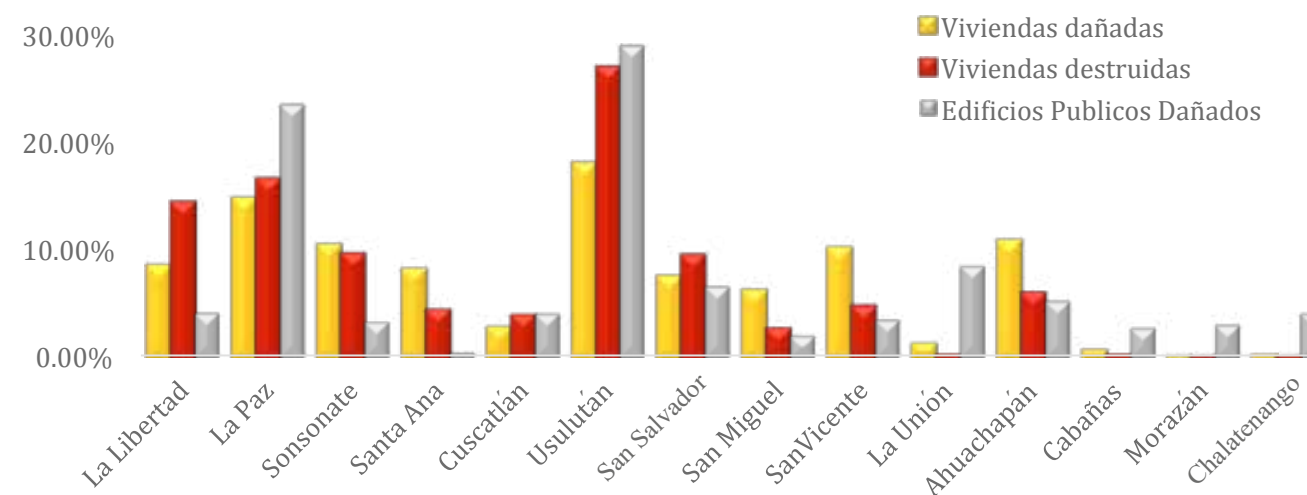


Figura 127. Edificaciones dañadas durante el sismo del 13 de enero del 2001, por departamento⁵⁹
Fuente: Benito B., Hasbun, P., Cepeda, J., Hernández, D., Pullinger, C., Marroquin, G., Martínez, J., (2005)

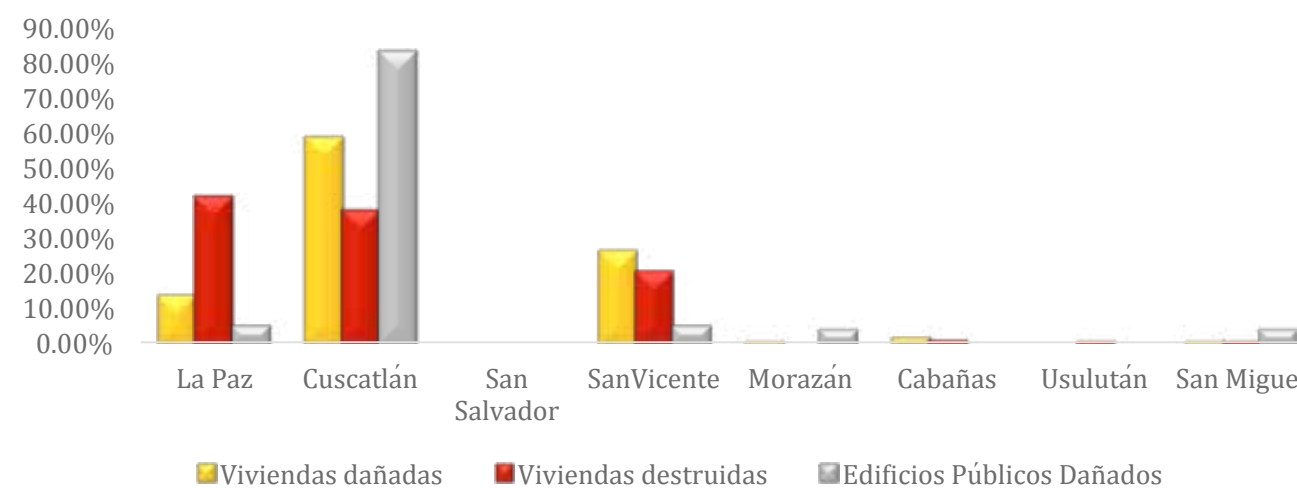


Figura 128. Edificaciones dañadas durante el sismo del 13 de febrero del 2001, por departamento⁵⁹
Fuente: Benito B., Hasbun, P., Cepeda, J., Hernández, D., Pullinger, C., Marroquin, G., Martínez, J., (2005)

⁵⁹Benito B., Hasbun, P., Cepeda, J., Hernández, D., Pullinger, C., Marroquin, G., Martínez, J., (2005) Caracterización del Movimiento del Suelo y sus Efectos en la Infraestructura durante los Terremotos del 2001, El Salvador, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas y Servicio Nacional de Estudios Territoriales, San Salvador, El Salvador.

Los grados de daño (DG) asignados a las estructuras afectadas por los sismos, según tipología constructiva, se muestran en la figura 129. Los grados de daño se correlacionaron con las *banderas* asignadas, que representaban el estado de los edificios después de los terremotos, de la siguiente manera.⁵⁹

- Bandera verde (DG1): sin daños visibles en elementos estructurales, posibles fisuras en repellos de paredes, losas y en elementos estructurales, pocos daños a la construcción. No presenta reducción de su capacidad sismorresistente.
- Bandera amarilla (DG2): fisuras diagonales y de otro tipo en paredes. Fisuras grandes en elementos estructurales. Disminución de su capacidad sismorresistente. Puede repararse sin necesidad de refuerzo.
- Bandera naranja (DG3): grietas grandes con trituración del material de las paredes. Grietas grandes con pequeñas dislocaciones en elementos estructurales. Fracturas, disminución de resistencias y rigideces de los elementos. Muy disminuida su capacidad sismorresistente. Necesitan ser reparadas y reforzadas.
- Bandera roja (DG4 y DG5): elementos estructurales y uniones muy dañados, dislocados y repetitivos. Colapsos, ruina parcial o total. Posible demolición después de una evaluación más detallada.

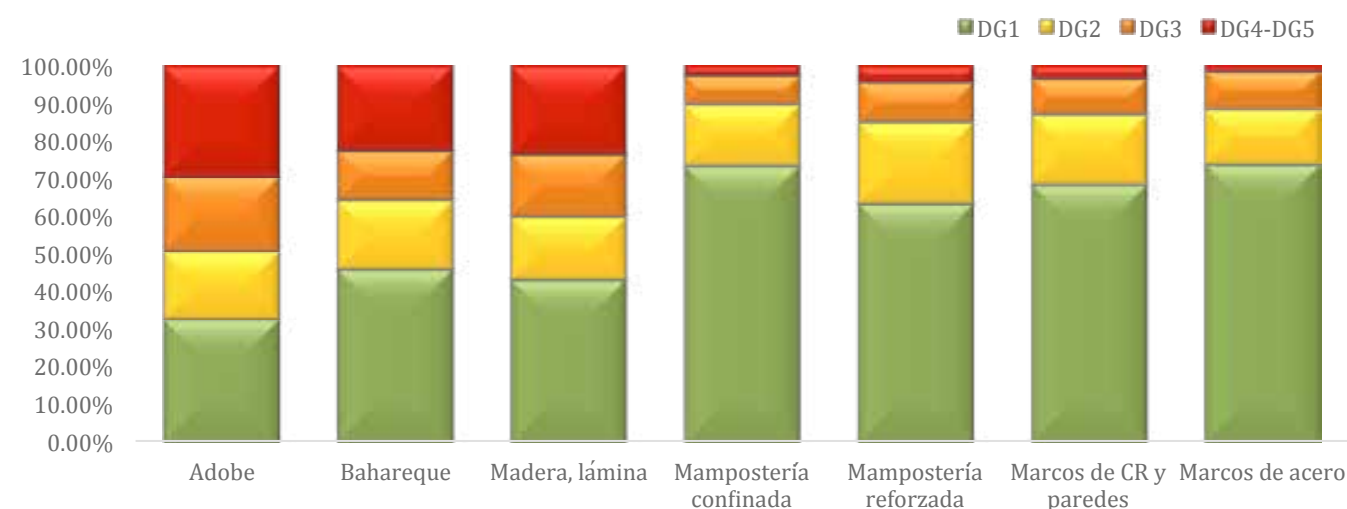


Figura 129. Edificaciones dañadas durante los sismos del 2001 por tipología constructiva
Fuente: elaboración propia con datos de Benito et al. 2005⁵⁹

Puede notarse que las tipologías constructivas como adobe, bahareque y madera o lámina, presentan mayores porcentajes de viviendas con daños importantes (DG3-DG5). En las tipologías como mampostería reforzada o confinada y marcos de concreto o acero, los daños importantes son menores; es decir, las tipologías de mampostería reforzada-confinada y de marcos de concreto o acero, presentaron mejor comportamiento estructural que las de adobe, bahareque y madera o lámina. Las figuras 130 y 131 presentan daños registrados durante los sismos del 2001.

Para otros eventos sísmicos significativos, como el terremoto de 1986, a pesar de no contar con información tan sistematizada de los daños, se dispone de análisis de daños importantes en edificaciones afectadas. Este análisis permitió estudiar el comportamiento sismorresistente de diversos sistemas estructurales, identificar defectos estructurales e inferir la influencia del código de diseño vigente (principalmente para edificaciones de mediana altura, para cuyos períodos, el espectro de diseño ha sufrido mayores cambios). Las figuras de la 132 a la 135 muestran ejemplos de algunos de los daños más emblemáticos ocasionados por el sismo de 1986 (M5.7, San Salvador).



Figura 130. Daños observados durante los sismos del 2001⁶⁰
Fuente: Earthquake Engineering Research Institute, 2001 M 7.7 & M 6.6 El Salvador Series



Figura 131. Daños observados durante los sismos del 2001⁶⁰
Fuente: Earthquake Engineering Research Institute, 2001 M 7.7 & M 6.6 El Salvador Series



Figura 132. Daños observados durante el sismo de 1986, M5.7 – San Salvador
Fuente: Earthquake Engineering Research Institute, 2001 M 7.7 & M 6.6 El Salvador Series

⁶⁰Earthquake Engineering Research Institute, 2001 M 7.7 & M 6.6 El Salvador Series



Figura 133. Daños observados durante el sismo de 1986, M5.7 – San Salvador⁶¹
Fuente: Olson, Robert A. Collection. Earthquake Engineering Online Archive, National Information Service for Earthquake Engineering, EERC, University of California, Berkeley



Figura 134. Daños observados durante el sismo de 1986, M5.7 – San Salvador⁶¹
Fuente: Olson, Robert A. Collection. Earthquake Engineering Online Archive, National Information Service for Earthquake Engineering, EERC, University of California, Berkeley



Figura 135. Daños observados durante el sismo de 1986, M5.7 – San Salvador⁶¹
Fuente: Olson, Robert A. Collection. Earthquake Engineering Online Archive, National Information Service for Earthquake Engineering, EERC, University of California, Berkeley

5.2.3 Prácticas constructivas históricas y evolución de la normativa de diseño por sismo

Antes de 1942, en El Salvador no existían edificios por encima de tres niveles, y casi todas las construcciones se desarrollaron utilizando métodos tradicionales para la albañilería, aunque mejorado con barras de refuerzo. Las construcciones de madera y bahareque fueron ampliamente utilizadas.⁶²

Durante el período comprendido entre 1942 y 1957, en la región se construyó la primera serie de edificios de mediana altura (de hasta ocho niveles), en la mayoría de ellos se utilizó marcos de concreto reforzado con paredes de mampostería⁶³. El diseño no consideraba las irregularidades o efectos de torsión que pudiesen afectar el comportamiento sísmico de la estructura. Paredes de mampostería se construían con total interacción con los marcos. No existía un código nacional y no se aplicaban, sistemáticamente, códigos estructurales extranjeros hasta mediados de los años 40.

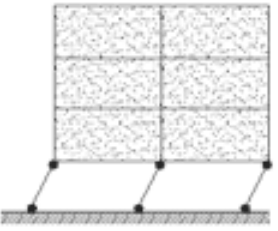
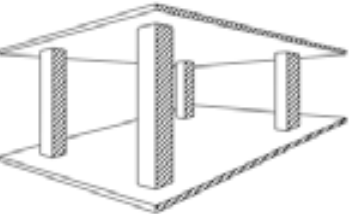
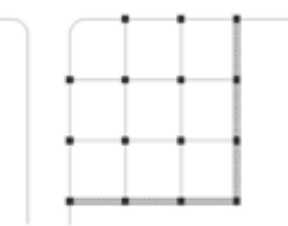
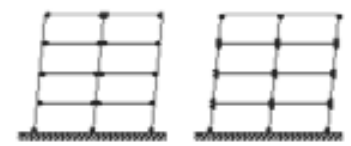
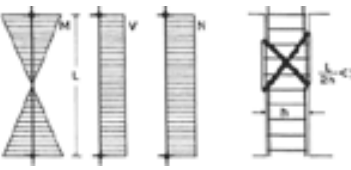
El primer código sísmico fue adoptado en mayo de 1966, tras el devastador sismo del 3 de mayo de 1965 en San Salvador, que causó la destrucción total de más de 4,000 casas. El código fue adoptado de la ciudad de Acapulco, México, con algunos cambios menores, pero nunca fue legalmente impuesto. Este código, sin embargo, resultó no ser adecuado para las condiciones sísmológicas y geológicas del país.

El 10 de octubre de 1986, un sismo de magnitud 5.7 (Mw) impactó nuevamente la ciudad de San Salvador. Más de 60,000 viviendas resultaron destruidas o dañadas y numerosas edificaciones colapsaron totalmente. El evento causó daños significativos, principalmente, en edificaciones de mediana altura (entre tres y ocho niveles), en correspondencia al período predominante de los suelos del AMSS, lo cual no era adecuadamente contemplado por el código adoptado de la ciudad de Acapulco. Este código utilizaba, únicamente, un espectro para condiciones de roca. Defectos estructurales asociados a la práctica constructiva de integrar las paredes de mampostería a los sistemas de marcos de concreto reforzado, salieron a relucir durante el evento, ocasionando daños importantes (ver cuadro 20).

⁶¹Olson, Robert A. Collection. Earthquake Engineering Online Archive, National Information Service for Earthquake Engineering, EERC, University of California, Berkeley
in San Salvador, Earthquake Spectra, v. 3, no. 3, p. 491-496

⁶²Lara, M. [1987] The San Salvador Earthquake of October 10, 1986 – History of Construction Practices
⁶³Bommer, J.J. (1996) Sismología para Ingenieros Papeles Técnicos UCA, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, San Salvador, El Salvador.

Cuadro 20. Defectos estructurales comunes observados en El Salvador⁶⁴

	<p>Piso débil o flexible</p> <p>Pisos vulnerables al daño sísmico debido a que tienen menor rigidez, menor resistencia o ambas. Este es uno de los casos más comunes de irregularidad en elevación, y ocurre comúnmente en edificios donde el primer nivel está abierto (estacionamientos y/o locales comerciales), y paredes de relleno de mampostería integradas al sistema principal en los niveles superiores. Los niveles superiores se transforman, sin intención, en un sistema rígido, y grandes deformaciones ocurren en el piso flexible, induciendo daños en las columnas e incluso el colapso de la edificación.</p>
	<p>Entrepiso sin vigas</p> <p>Corresponde al caso de losas o placas planas que transmiten las cargas directamente a las columnas, sin la ayuda de vigas. La disipación de energía se concentra en la articulación losa-columna, que generalmente no es adecuada para soportar deformaciones inelásticas, resultando en graves daños en esas uniones e incluso en el colapso total de la estructura (colapso tipo <i>pancake</i>).</p>
	<p>Irregularidad torsional</p> <p>Muchos edificios de esquina presentan espacios abiertos en las fachadas principales y paredes de mampostería integradas en los bordes interiores. Las paredes tienden a desplazar el centro de rigidez con respecto al centro de masa del edificio, generando grandes excentricidades y momentos torsionales (si los diafragmas no son flexibles). Esta torsión ocasiona que, los elementos estructurales de un mismo nivel presenten desplazamientos horizontales diferentes, y las columnas y paredes que se desplazan más, sufren mayores daños.</p>
 <p>a) Columna fuerte – viga débil (adecuado), izquierda, y b) Columna débil, viga fuerte (inadecuado), derecha.</p>	<p>Columna débil, viga fuerte</p> <p>El enfoque actualmente aceptado para el diseño sismorresistente de marcos de concreto reforzado es el denominado enfoque de columna fuerte-viga débil. Cuando se sigue este enfoque, se espera que el daño ocurra primero en las vigas, y cuando se asegura un comportamiento dúctil mediante un detallado especial, los marcos pueden deformarse significativamente a pesar del daño progresivo y el apareamiento de rótulas plásticas (considerado daño aceptable). Cuando las columnas son más débiles que las vigas, tienden a sufrir daños severos localizados en las partes superior e inferior de un piso particular, lo cual puede ocasionar el colapso de un edificio. Las estructuras con columnas débiles y vigas fuertes se caracterizan por dimensiones de columna relativamente pequeñas en comparación con las de las vigas.</p>
	<p>Columna corta</p> <p>El tipo más peligroso de daño en columnas de concreto ocasionado por un sismo se debe al cortante cíclico y baja flexión, cuando existe una fuerte compresión axial. El tipo de daño se manifiesta en forma de grietas y en forma de X en las zonas más débiles de la columna. Ocurre en columnas con bajas relaciones de esbeltez, en las cuales, la capacidad a flexión es menor a la capacidad a cortante, y la falla por cortante prevalece.</p> <p>La forma más extrema de este tipo de daño corresponde a las fallas explosivas de las columnas cortas que pueden llevar a un colapso completo de la estructura. Paredes de mampostería integradas al sistema principal sin un diseño adecuado, pueden disminuir la relación de esbeltez o restringir los desplazamientos laterales de la estructura y reducir la altura libre de la columna, cambiándolos por elementos rígidos que absorben la mayor porción de las fuerzas laterales. Las partes altas de las columnas se desplazan junto con las losas durante el sismo, pero dado que las paredes restringen el movimiento de la parte baja, la columna se desplaza en su totalidad sobre el pequeño segmento libre.</p>

A raíz del terremoto del 10 de octubre de 1986, en el país se emitió el *Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de la República de El Salvador*, mediante Decreto Ejecutivo N° 14 de fecha 12 de septiembre de 1989, publicado en el Diario Oficial N° 170, Tomo N° 304, del día 14 de ese mismo mes y año, el cual tenía una vigencia limitada debido a su naturaleza.

Por tal motivo, y considerando que mediante Decreto Legislativo N° 1904, de fecha 9 de agosto de 1955, publicado en el Diario Oficial N° 151, Tomo N° 168, del 18 del mismo mes y año, se faculta al Órgano Ejecutivo en el Ramo de Obras Públicas, para que emita reglamentos que guíen el futuro desarrollo de las poblaciones de un modo coordinado y armónico. El objeto del reglamento es mejorar el diseño de las edificaciones. Se optó por dictar un reglamento de carácter permanente que contenga los requisitos mínimos de seguridad estructural, así como los mecanismos adecuados que garanticen que tales requisitos sean cumplidos tanto en las construcciones nuevas como en aquellas que vayan a modificarse, repararse o demolerse.

En el año 1994 se establece el *Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones de El Salvador*, el cual contiene una serie de *Normas Técnicas entre las cuales figura la Norma Técnica para Diseño por Sismo*. Este reglamento entra en vigencia hasta el año 1996, mediante Decreto Ejecutivo No. 105 de fecha 23 de octubre de 1996, publicado en el Diario Oficial No. 204, Tomo No 333, del 30 de octubre del mismo año.

El nivel de daño ocasionado por los sismos de enero y febrero del 2001, fue considerablemente menor en el Área Metropolitana de San Salvador, lo cual puede atribuirse, en cierta forma, a las medidas de mitigación de riesgo sísmico empleadas en los últimos años, especialmente a la introducción del *Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones (RESESCO)*, y la *Norma Técnica de Diseño por Sismo (NTDS)*, incluida en el reglamento. Se debe destacar sin embargo, que el buen desempeño de las estructuras no se debió única y/o necesariamente a mejoras en el diseño, ya que la demanda impuesta (aceleración espectral) por estos eventos en la mayor parte del AMSS fue considerablemente menor.

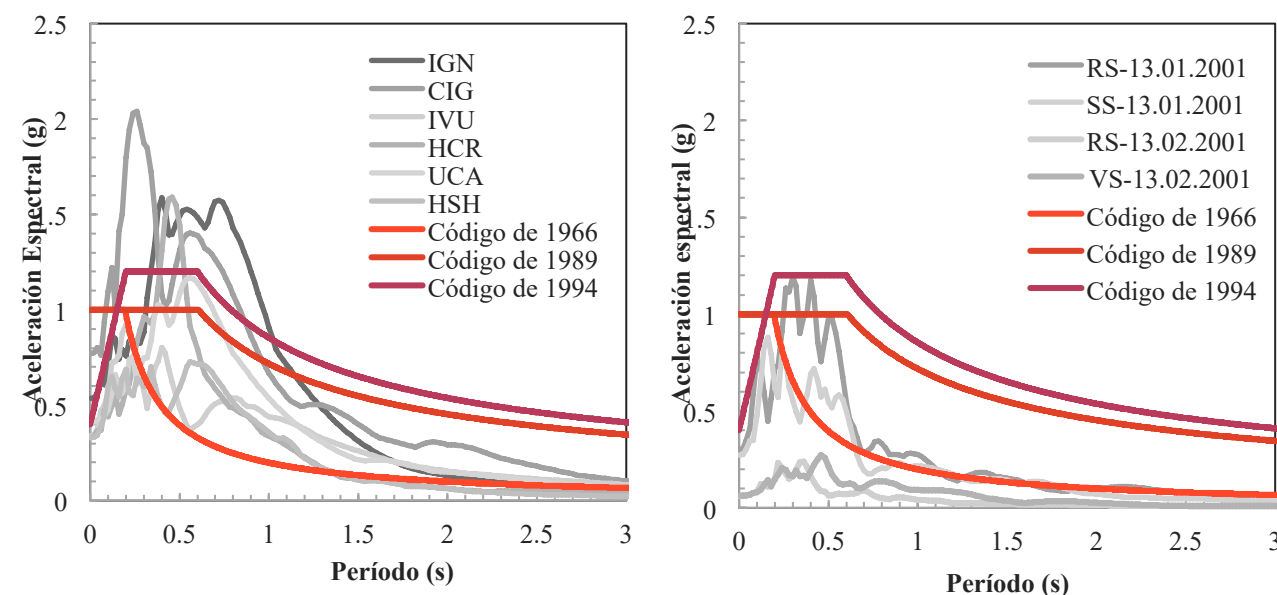


Figura 136. Espectros de diseño elástico de los códigos de diseño de 1966, 1989 y 1994, comparado con los espectros de respuesta elástica obtenidos para el sismo de octubre de 1986 en las estaciones IGN, CIG, IVU; HCR, UCA y HSH ubicadas en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), para un 5 % de amortiguamiento⁶⁴ (izq) y los espectros de respuesta elástica obtenidos para los sismos de enero y febrero 2001 en las estaciones RS, SS y VS, ubicadas en el AMSS para un 5 % de amortiguamiento.⁶⁴ Fuente: Modificado de Kattan Jokisch, C. (2010)

Fuente: Modificado de Kattan Jokisch, C. (2010). Re-Interpretation of Seismic Damage Scenarios: Risk Mapping for the case Study of San Salvador (El Salvador, 1986), Master Thesis, Bauhaus Universität Weimar & Earthquake Damage Analysis Center, Weimar, Alemania.

⁶⁴Modificado de Kattan Jokisch, C. (2010). Re-Interpretation of Seismic Damage Scenarios: Risk Mapping for the case Study of San Salvador (El Salvador, 1986), Master Thesis, Bauhaus Universität Weimar & Earthquake Damage Analysis Center, Weimar, Alemania.

5.2.4 Clasificación de las tipologías estructurales típicas de El Salvador

Tomando como base la información relevante para la vulnerabilidad sísmica, que incluye información sobre las características del sistema estructural, los materiales de construcción, altura y período dominante; las prácticas constructivas y la evolución de la normativa para el diseño sísmico (resultados de modelos analíticos, información de daños históricos, entre otros), se ha realizado una clasificación de las principales tipologías constructivas siguiendo la metodología planteada por la EMS-98 (cuadro 21).

Cuadro 21. Tipologías constructivas y clases de vulnerabilidad: cuadro de vulnerabilidad adaptada ⁶⁵

Clase	Subclase 1	Subclase 2	Ejemplo	Clase de vulnerabilidad					
				A	B	C	D	E	F
Marcos de concreto reforzado / paredes	EMS-98: Marcos sin diseño sismorresistente								
	Sin diseño sismo-resistente (precódigo / código 1966)	Bajos (1-2 niveles)							
		Medios (3-8 niveles)							
Marcos de concreto reforzado / paredes	EMS-98: Marcos con nivel moderado de diseño sismorresistente								
	Con nivel bajo-moderado de diseño sismo-resistente (1989, transición)	Bajos (1-2 niveles)							
		Medios (3-8 niveles)							
Marcos de Concreto reforzado / paredes	EMS-98: Marcos con nivel alto de diseño sismorresistente								
	Con nivel moderado-alto de diseño sismorresistente (Código 1994)	Bajo, medio y alto							

○ Clase de vulnerabilidad más probable — Rango probable Rango menos probable, excepcional

Fuente: Modificado de Kattan Jokisch, C. (2010). Re-Interpretation of Seismic Damage Scenarios: Risk Mapping for the case Study of San Salvador (El Salvador, 1986)

Clase	Subclase 1	Subclase 2	Ejemplo	Clase de vulnerabilidad					
				A	B	C	D	E	F
Marcos de acero	EMS-98: Estructuras de acero								
		Bajos, medios y altos							
Mampostería	EMS-98: Reforzada y confinada								
	Reforzada y confinada	Estructuras ingenieriles							
		Mampostería de baja calidad y otros sistemas*							
Mampostería	EMS-98: Adobe								
		Adobe							
Madera y mixto	EMS-98: Estructuras de madera								
		Madera							
Madera, mixto	Bahareque								
		Palma, paja y otro vegetal							
Otros	Lámina metálica								
	Desecho								

*La mampostería de *baja calidad* y *otros sistemas* refiere a estructuras de mampostería no ingenieriles o precarias, de baja calidad en los materiales, construcción pobre y combinación con otros materiales y sistemas (bahareque, láminas metálicas, madera, entre otras.)

⁶⁵ Modificado de Kattan Jokisch, C. (2010). Re-Interpretation of Seismic Damage Scenarios: Risk Mapping for the case Study of San Salvador (El Salvador, 1986), Master Thesis, Bauhaus Universität Weimar & Earthquake Damage Analysis Center, Weimar, Alemania.

Al considerar las tipologías constructivas identificadas en el censo de población y vivienda⁵⁸ (cuadro 19, figuras 125 y 126), puede observarse una clara diferencia entre la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de concreto o mixto, que refiere principalmente a mampostería reforzada o confinada, y el resto de tipologías identificadas (adobe, bahareque, madera, lámina, desecho, paja, palma u otro vegetal), estas últimas presentan un grado de vulnerabilidad mucho mayor (vulnerabilidad clase A-B) a las primeras (vulnerabilidad clase C-D). La figura 137 muestra comparación de daños observados en estructuras de bahareque y mampostería reforzada durante enjambre sísmico en El Carmen, La Unión, en noviembre-diciembre del 2011 (Magnitud máxima Mw 4.9).



Figura 137. Daños observados en viviendas de adobe y mampostería reforzada durante enjambre sísmico en El Carmen, La Unión, noviembre - diciembre del 2011 (Magnitud máxima Mw 4.9)⁶⁶

Fuente: Kattan C y Torres R, 2012, Enjambre Sísmico en los Municipios de El Carmen y La Unión - 2011

Considerando además, otras amenazas relevantes en nuestro contexto nacional, como la amenaza por eventos hidrometeorológicos, resulta aún más evidente esta diferencia, dado que los materiales que componen las estructuras de mampostería reforzada o confinada son mucho más resistentes a la intemperie y la acción del agua, que las construidas a partir de los otros materiales.

Otras amenazas como la de caída de ceniza y amenaza por viento, dependen más de los materiales de los techos y los amarres. Sin embargo, tal como se muestra en la figura 125, las viviendas de concreto y mixtas, presentan el mayor porcentaje de techos de losa, y para otros tipos de cubierta, los amarres tienden a ser mejores, debido a las características de los materiales de las paredes.

Las figuras 138 y 139 muestran la cantidad y porcentaje de viviendas de construcción más vulnerable por municipio y se hace la distinción entre las tipologías de concreto y mixto de las tipologías de construcción más vulnerable, como las construidas a partir de adobe, bahareque, madera, lámina, paja, palma u otro vegetal y desecho.

Puede identificarse que los departamentos de Santa Ana, San Salvador, La Libertad y Ahuachapán tienen la mayor cantidad de viviendas vulnerables, pero al observar la relación al total de viviendas, Morazán y Chalatenango cuentan con el mayor porcentaje de viviendas vulnerables. San Salvador presenta el menor porcentaje de viviendas vulnerables respecto al total de viviendas de los 14 departamentos, con únicamente un 10.25 %.

5.3 Vulnerabilidad social

Una de las formas menos estudiada de la vulnerabilidad es la social, un concepto dinámico y multidimensional que incluye factores como la variabilidad de ingresos, consumos y de otras dimensiones del bienestar, materiales y no materiales, como el acceso a los servicios de salud, educación y protección social.

De acuerdo con la CEPAL, “la vulnerabilidad social de sujetos y colectivos de población se expresa de varias formas, ya sea como fragilidad e indefensión ante cambios originados en el entorno, tales como: desamparo institucional desde el Estado que no contribuye a fortalecer ni cuida sistemáticamente de sus ciudadanos; como debilidad interna para afrontar concretamente los cambios necesarios del individuo u hogar para aprovechar el conjunto de oportunidades que se le presentan; como inseguridad que paraliza, incapacita y desmotiva la posibilidad de pensar estrategias y actuar a futuro para lograr mejores niveles de bienestar”⁶⁷ En ese sentido, puede decirse que todos los seres humanos y comunidades, en mayor o menor medida, son vulnerables, ya sea por ingresos, por patrimonio, por lugares de residencia, por país de nacimiento, por origen étnico, por género, por discapacidad, por enfermedad, por factores políticos, ambientales o por una infinidad de motivos que implican riesgos e inseguridades que sería imposible enumerar.

La extensión territorial de El Salvador es de 21,041 km², la menor de América Central; sin embargo, es el país más densamente poblado del continente americano, con un promedio nacional de 309 hab/km², el cual se incrementa drásticamente en las principales ciudades, destacándose las ciudades de Santa Ana, San Miguel y, en el caso más extremo, el Área Metropolitana de San Salvador, en zonas con densidad superior a 16,000 hab/km² (ver 3.2). Asimismo, los municipios del norte del país tienen las menores densidades y, por el contrario, la mayoría de municipios ubicados en la zona de la cordillera volcánica, costeros y los periféricos a las principales ciudades, son los que tienen las más grandes densidades.

Otro de los factores importantes que confiere problemas y vulnerabilidades a las personas es su condición de pobreza. Condición que, en El Salvador, limita la oportunidad de educación, conocimiento, empleo, alimentación y adquisición de vivienda segura. De acuerdo con un estudio elaborado por el PNUD⁶⁸, denominado *Medición Multidimensional de la Pobreza* (ver 3.5), se define la pobreza como “la privación de los recursos, capacidades y acceso efectivo de las personas para gozar de sus derechos y tener una mejora continua de su nivel de vida”. Este concepto reconoce que la pobreza es más que la insuficiencia de ingresos y que, más bien, es la acumulación de privaciones en diversas áreas que determinan y restringen la capacidad de las personas de lograr el plan de vida que desean. Estos factores no solo privan a las personas de lograr el plan de vida que desean, sino también, les limitan a desarrollar otro tipo de capacidades necesarias para afrontar crisis, riesgos asociados a desastres ocasionados por eventos de origen natural. La medición multidimensional de la pobreza considera dimensiones e indicadores relacionados a la educación, a las condiciones de vivienda, trabajo y seguridad social, salud, servicios básicos y seguridad alimentaria y calidad de hábitat (ver 3.5).

⁶⁶ Kattan C y Torres R, 2012, *Enjambre Sísmico en los Municipios de El Carmen y La Unión - 2011: Contexto, Caracterización y Consecuencias*, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

⁶⁷ Busso, Gustavo, *Vulnerabilidad Social: Nociones e implicaciones de políticas para Latinoamérica a inicios del Siglo XXI*. CEPAL, Santiago de Chile, 2001.

⁶⁸ STPP y MINEC-DIGESTYC (2015). *Medición multidimensional de la pobreza. El Salvador*. San Salvador: Secretaría Técnica y de Planificación de la Presidencia y Ministerio de Economía, a través de la Dirección General de Estadística y Censos.

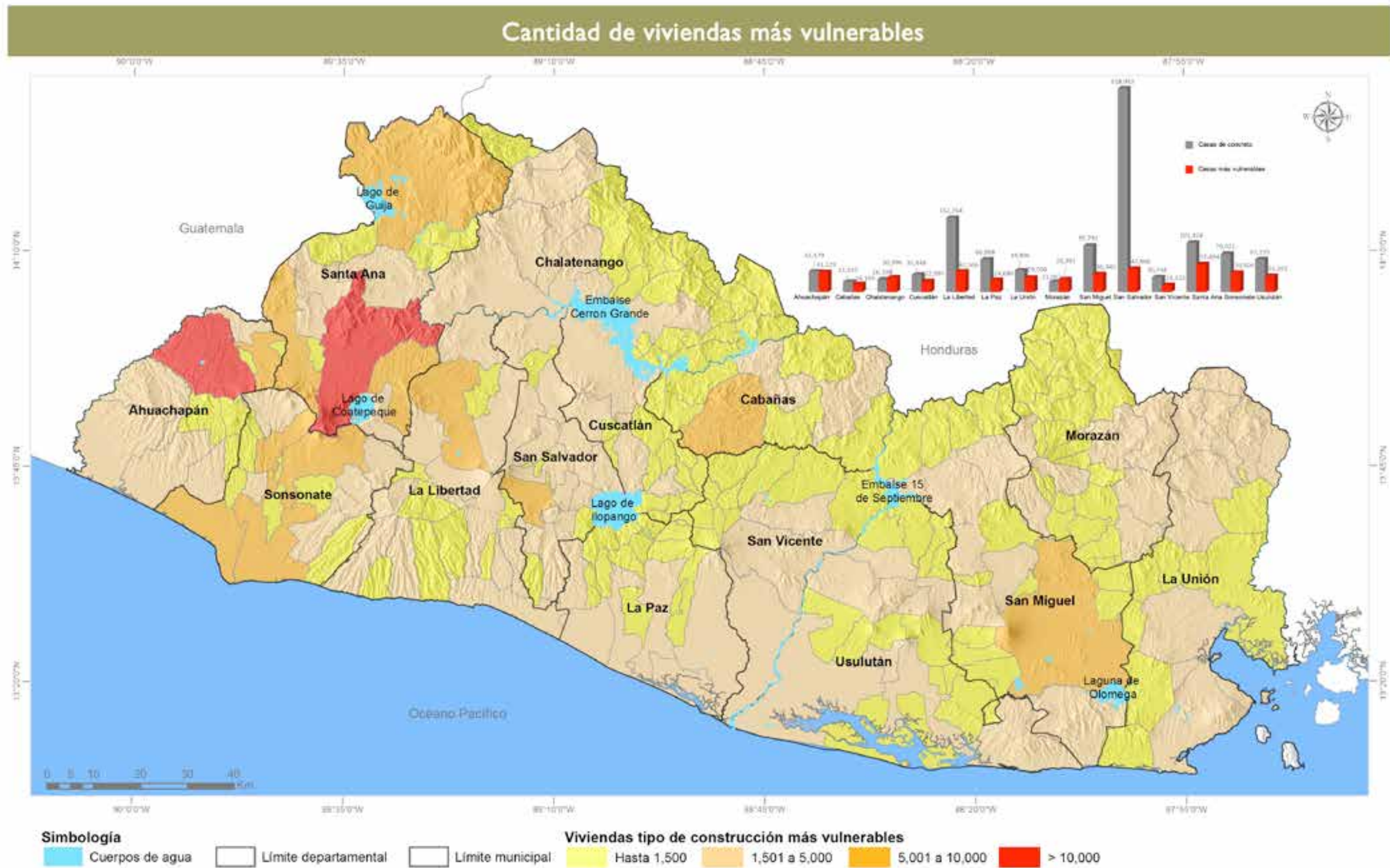


Figura 138. Mapa de cantidad de viviendas de construcción más vulnerable por municipio. Las tipologías más vulnerables se refieren a las que presentan paredes construidas a partir de adobe, bahareque, madera, lámina, desecho, paja palma u otro vegetal
Fuente: Elaboración propia MARN

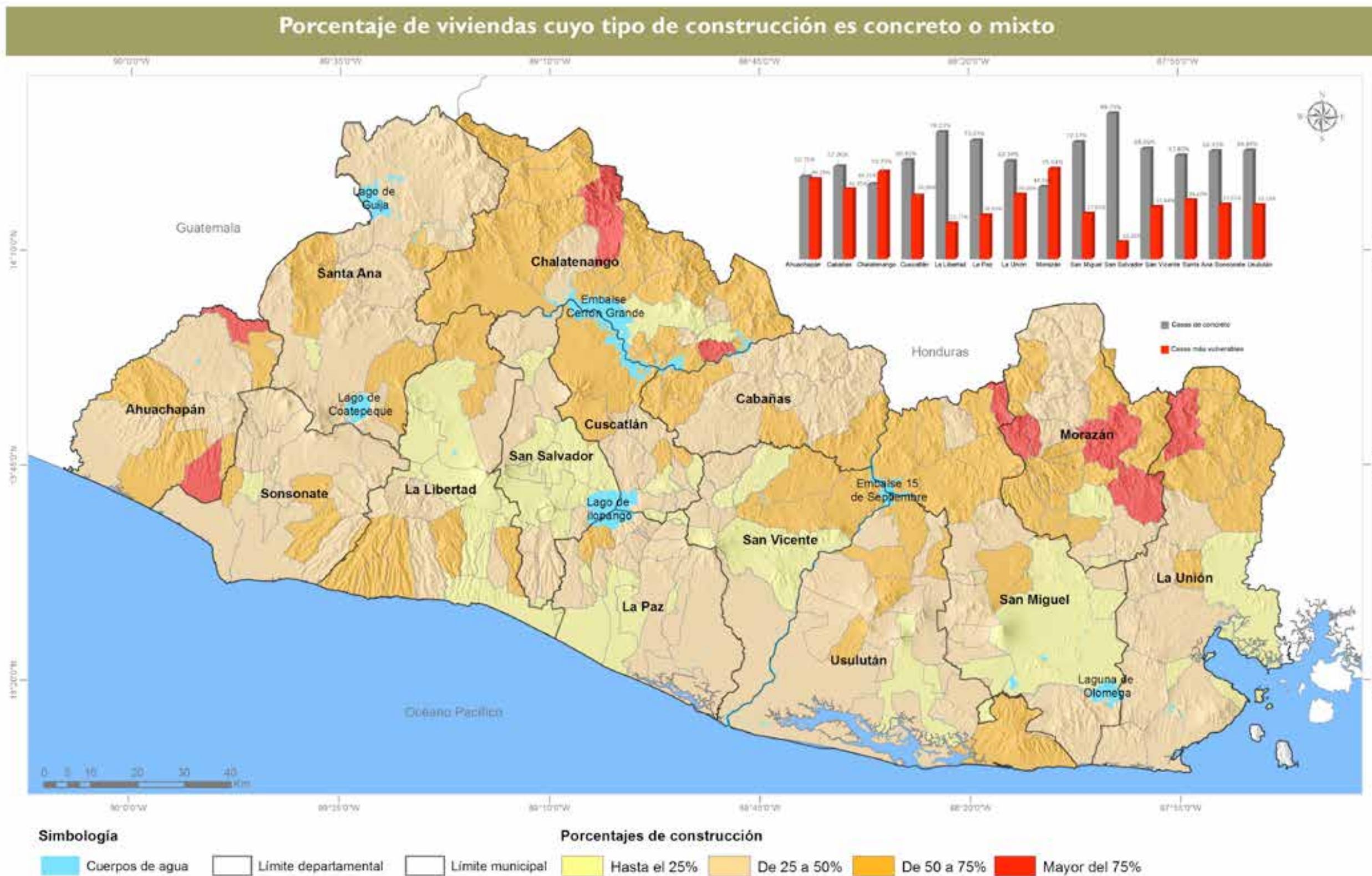


Figura 139. Mapa de porcentaje de viviendas con tipo de construcción concreto o mixto. Las tipologías más vulnerables se refieren a las que presentan paredes construidas a partir de adobe, bahareque, madera, lámina, desecho, paja palma u otro vegetal
Fuente: Elaboración propia MARN

Los indicadores mostrados en el apartado 3.5 ponen en evidencia que, en nuestro país, las personas y las comunidades presentan una serie de carencias y desequilibrios sociales, que las predisponen de sufrir crisis y daños ambientales por el impacto de eventos naturales. Si bien no se puede afirmar que los factores sociales estudiados determinan directamente el aumento de la vulnerabilidad social en El Salvador, sí se puede indicar que los mismos inciden en que las comunidades que resultan afectadas tienen una capacidad de reacción a los impactos de los desastres menor, que aquellas que tienen esos factores sociales resueltos.

En 2015, el Pacific Disaster Center desarrolló en El Salvador una *Evaluación Nacional de Preparación para Desastres* (NDPBA por sus siglas en inglés)⁶⁹, la cual contiene una Evaluación del Riesgo y la Vulnerabilidad (RVA) a escala de departamento, en coordinación con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y con el apoyo de otras instituciones en el país. La evaluación de riesgo y vulnerabilidad del NDPBA subnacional fue adaptado del marco de evaluación de riesgo y vulnerabilidad global establecido por el Pacific Disaster Center para satisfacer las necesidades específicas de El Salvador, haciendo uso de un enfoque de índice compuesto.

Los índices compuestos se construyeron combinando conjuntos de datos que representan temas generales que contribuyen al riesgo (por ejemplo, acceso a la información, estado de salud o gobernabilidad). Las variables individuales o indicadores son características uniformes y cuantificables que reflejan los conceptos generales requeridos para el análisis. Los datos se combinaron para representar los componentes de la exposición al riesgo, vulnerabilidad y capacidad de respuesta.

El índice creado representa el riesgo multi-amenaza (MHR), como una función de índices compuestos: i) la exposición multi-amenaza (MHE), que describe la población presente en las zonas de amenaza que están, por lo tanto, sujetas a pérdidas potenciales, ii) vulnerabilidad (V), que describe las características y circunstancias de una comunidad, sistema o activo que lo hacen susceptible a los efectos dañinos de un peligro y iii) capacidad de respuesta (CC), que caracteriza la capacidad de las personas, organizaciones y sistemas, utilizando las habilidades y recursos disponibles, para afrontar y manejar condiciones adversas, emergencias o desastres.

5.3.1 Índice de vulnerabilidad⁷⁰

El índice de vulnerabilidad se refiere a las características y circunstancias de una comunidad, sistema o activo que lo hace susceptible a los efectos dañinos de una amenaza determinada. Las áreas con mayores puntajes del índice de vulnerabilidad son más susceptibles a sufrir daño ante las amenazas, a menudo, carecen de los recursos necesarios para prepararse adecuadamente, responder y recuperarse de los desastres. La figura 142 muestra los índices de vulnerabilidad por departamento.

El índice de vulnerabilidad está compuesto por diversos subcomponentes y sus respectivos indicadores, tales como: limitaciones económicas, acceso a la información, acceso a agua potable, estado de salud, desigualdad de género, presiones de población y estrés ambiental (ver figura 140 y 141).

Un examen de los subcomponentes del índice de vulnerabilidad revela los factores de vulnerabilidad dentro de los departamentos. Aunque muchos de estos factores están unidos, la vulnerabilidad es multifacética y una sola intervención puede no reconocer todos los componentes.

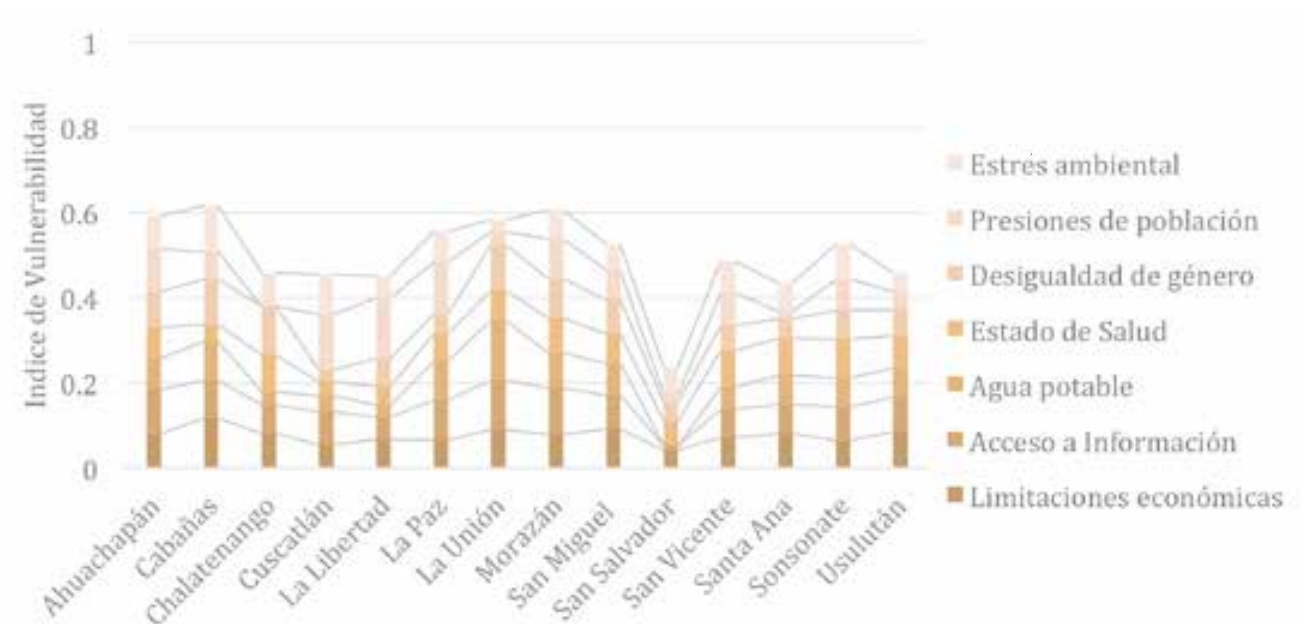


Figura 140. Índice de vulnerabilidad por departamento y subcomponentes (elaboración propia con datos de Pacific Disaster Center, 2015)⁶⁹
Fuente: Elaboración con datos de *National Disaster Preparedness Baseline Assessment: El Salvador*

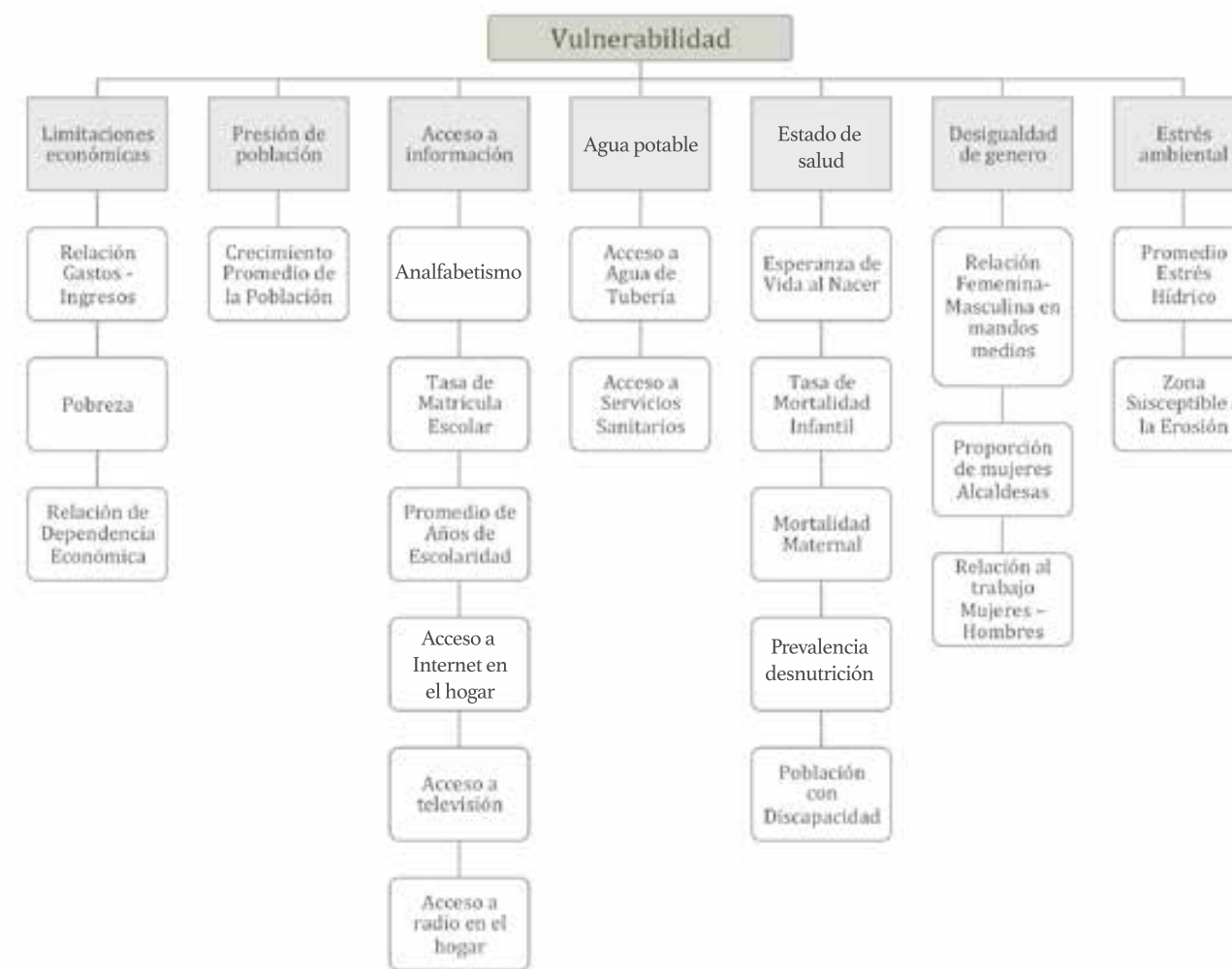


Figura 141. Subcomponentes del índice de vulnerabilidad y sus indicadores⁶⁹
Fuente: Elaboración con datos de *National Disaster Preparedness Baseline Assessment: El Salvador*

⁶⁹Pacific Disaster Center (2015), *National Disaster Preparedness Baseline Assessment: El Salvador*



Figura 142. Mapa de índice de vulnerabilidad por departamento⁶⁹
 Fuente: Elaboración con datos de *National Disaster Preparedness Baseline Assessment: El Salvador*

En El Salvador, Cabañas (1 de 14) no sólo representa la mayor vulnerabilidad general, sino que también ocupa el lugar más alto en las limitaciones económicas y el estrés ambiental, y exhibe una alta vulnerabilidad al acceso al agua limpia, desigualdad de género y vulnerabilidad al acceso a la información. Morazán (2 de 14) y Ahuachapán (3 de 14) muestran distribuciones similares, fuertemente influenciadas por la vulnerabilidad al acceso a la información, la desigualdad de género y las presiones demográficas. Estas sensibilidades se traducen en una mayor susceptibilidad a los impactos de las amenazas como resultado de limitados recursos económicos, incapacidad para acceder y comprender información vital de emergencia, servicios de agua y saneamiento comprometidos, grandes cambios en la población y diferencias de acceso, servicios y oportunidades.

En el caso de Cabañas, los responsables del manejo de emergencias y los encargados de formular políticas, pueden tomar medidas para orientar la ayuda humanitaria y promover el crecimiento económico para reducir la vulnerabilidad. En Morazán y Ahuachapán los programas de educación podrían estar dirigidos a mejorar la alfabetización y la matrícula escolar, mejorar el acceso a la información y reducir la vulnerabilidad. El análisis de los subcomponentes de vulnerabilidad es importante para comprender dónde se encuentran las poblaciones sensibles y cómo diseñar intervenciones para reducir su susceptibilidad a impactos negativos.

5.3.2 Capacidad de respuesta⁷⁰

El índice de capacidad de respuesta representa factores que influyen en la capacidad de un departamento para absorber efectivamente impactos negativos asociados con un evento de peligro.

El índice de capacidad de respuesta se estimó considerando cuatro subcomponentes: gobernabilidad, infraestructura, capacidad económica y capacidad ambiental, y se calculó utilizando un promedio ponderado (ver figura 143). La ponderación de la gobernanza fue del 30 %, de la infraestructura al 30 %, de la capacidad económica del 30 % y de la capacidad ambiental del 10 %. La figura 144 muestra los índices de capacidad de respuesta por departamento, la figura 143 muestra el aporte de los subcomponentes a la estimación del índice.



Figura 143. Subcomponentes del índice de capacidad de respuesta y sus indicadores ⁶⁹
Fuente: Elaboración con datos de National Disaster Preparedness Baseline Assessment: El Salvador

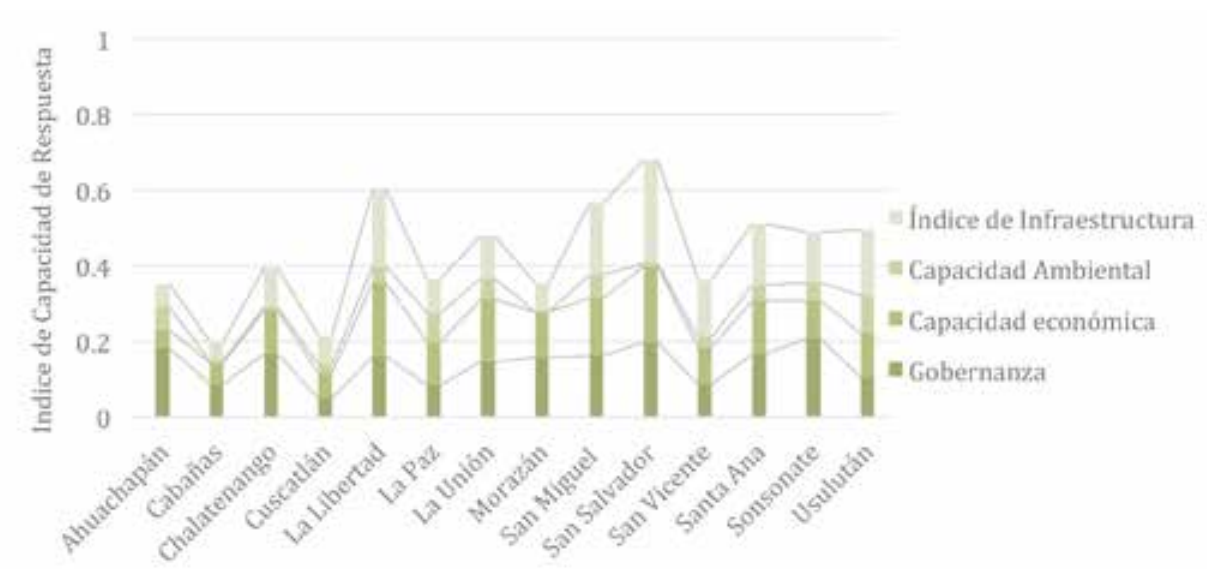


Figura 144. Índice de capacidad de respuesta por departamento y subcomponentes
Fuente: elaboración propia con datos de Pacific Disaster Center, 2015 ⁶⁹

Por ejemplo, la baja capacidad de respuesta en Cabañas es atribuible a puntuaciones muy bajas en todos los subcomponentes (gobernabilidad, infraestructura, capacidad económica y capacidad ambiental). En términos relativos, Cabañas tiene menos infraestructura y baja capacidad económica y ambiental en comparación con los otros departamentos. Asimismo, Cuscatlán presenta puntuaciones bajas en cada uno de los subcomponentes. Cuscatlán ocupa el lugar más bajo en el país en materia de gobernabilidad y cuenta con menos infraestructura sanitaria. Ahuachapán ocupa el lugar más bajo en el país, en cuanto a fortaleza económica, y muy bajo en infraestructura, al tiempo que obtiene puntuaciones más altas en cuanto a fortaleza de gobernabilidad y fortaleza ambiental.

La baja capacidad económica de los tres departamentos (Cabañas, Cuscatlán y Ahuachapán), sugiere que los hogares en estas áreas pueden no tener las reservas financieras para absorber o manejar las pérdidas por riesgo. Esto puede conducir a una mayor dependencia de la ayuda externa durante la respuesta y la recuperación. Las puntuaciones más bajas de infraestructura pueden indicar una reducción en el intercambio de información, y un acceso reducido a recursos vitales y servicios de salud. Una gobernanza más débil puede conducir a una serie de problemas en la gestión de los riesgos, incluida la reducción de la seguridad pública y la planificación ineficaz de los desastres. Ejemplos de intervenciones, podrían incluir, el fomento de la producción económica y el crecimiento de las pequeñas empresas para aumentar los ingresos, y campañas nacionales para mejorar la equidad de la infraestructura. El apoyo adicional a la policía local, bomberos y recursos médicos de emergencia puede mejorar la seguridad pública, tanto en condiciones normales como durante una emergencia. Por último, la adopción de planes integrales para cada fase de la gestión de desastres y la participación del público, para comprender e informar estos planes, podría mejorar la gobernanza en el contexto de esta evaluación.

5.3.3 Índice de falta de resiliencia

La falta de resiliencia combina vulnerabilidad y capacidad de respuesta para representar la combinación de susceptibilidad al impacto y la relativa incapacidad para absorber, responder y recuperarse de los impactos negativos que se producen a corto plazo. La vulnerabilidad (V) y la capacidad de respuesta (CC) están compuestas por indicadores estrechamente relacionados.

El índice de falta de resiliencia se calcula como:

$$\text{Índice de falta de resiliencia} = (V + (1-CC)) / 2$$

⁷⁰Este subcapítulo es un resumen de la investigación realizada por Pacific Disaster Center (2015), National Disaster Preparedness Baseline Assessment: El Salvador



Figura 145. Mapa de índice de capacidad de respuesta por departamento⁶⁹
 Fuente: Elaboración con datos de *National Disaster Preparedness Baseline Assessment: El Salvador*



Figura 146. Mapa de índice de falta de resiliencia por departamento⁶⁹
 Fuente: Elaboración con datos de *National Disaster Preparedness Baseline Assessment: El Salvador*

6. Análisis del riesgo

Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades

Análisis del riesgo

6.1 Exposición al riesgo

Cuando no existe información suficiente de vulnerabilidad para la realización de análisis de riesgo, la evaluación de la exposición al riesgo permite tener una lectura rápida de las zonas y activos potencialmente afectados por un fenómeno determinado. Los elementos expuestos y amenazas a considerar dependen de los propósitos del análisis. Por ejemplo, para la preparación y respuesta ante emergencias, puede resultar muy útil conocer la cantidad de población o infraestructura vulnerable expuesta ante una amenaza determinada, y para el establecimiento de medidas correctivas, prospectivas y de protección financiera, puede resultar, además, útil conocer el potencial económico expuesto a las mismas.

La condición de exposición al riesgo es definida por la intersección de los elementos analizados y las capas geográficas de las amenazas consideradas. En el presente documento se consideraron las amenazas prioritarias, definidas como aquellas que mayor daño y pérdidas han causado en el pasado: inundaciones, deslizamientos, sismos y sequías (ver 1.0).

Para los casos de inundaciones y deslizamientos, se consideraron las zonas de susceptibilidad alta y muy alta de los mapas de susceptibilidad a inundaciones (ver 4.5) y a deslizamientos (ver 4.4) respectivamente. Para el caso de sequía se consideraron las zonas de propensión a sequía del mapa de sequía meteorológica síntesis de El Salvador, estimadas a partir de los registros de déficit de lluvia desde 1980 hasta 2017 (ver 4.5).

La amenaza sísmica alta y muy alta se obtuvo a partir de clasificar las aceleraciones máximas esperadas en el territorio nacional, en un período de retorno de 500 años, superiores a 50 % de la gravedad (ver 4.1), en consistencia a los valores establecidos por la actual normativa de diseño por sismo.

Como elementos expuestos se ha considerado: i) la población, la cual se obtiene del último censo de población, identificando el número de personas por segmento censal; ii) viviendas vulnerables, que se han obtenido agrupando aquellas con características estructurales más susceptibles a verse afectadas por las amenazas consideradas (ver 5.2); y iii) distribución del potencial económico, obtenido a partir del Producto Interno Bruto (PIB), según el origen de la producción, las actividades económicas, y la cobertura y uso del suelo (ver 3.3); iv) áreas de cultivos de granos básicos, estimadas a partir del mapa de uso de suelos (ver 3.6).

6.1.1 Población expuesta

Los datos de población fueron cruzados con las condiciones de amenaza o susceptibilidad a sismos, inundaciones y deslizamientos, presentadas tanto por segmentos censales como a escala municipal, para facilitar la gestión local y nacional del riesgo (figura de la 147 a la 152). Puede notarse que los departamentos de San Salvador, La Libertad y La Paz tienen la mayor cantidad de población expuesta a susceptibilidad a inundaciones alta y muy alta; mientras que en los departamentos de San Salvador, La Libertad y Sonsonate, la mayor cantidad de población está expuesta a susceptibilidad a deslizamientos alta y muy alta.

Para el caso de amenaza sísmica, los departamentos de San Salvador, La Libertad y Sonsonate concentran la mayor cantidad de población expuesta. Los departamentos de San Salvador y La Libertad, en los primeros lugares de las listas, no concentran los mayores niveles de amenaza, pero debido a la alta densidad poblacional en los mismos, la exposición al riesgo es mayor.

6.1.2 Potencial económico expuesto

El potencial económico es presentado considerando, tanto la amenaza sísmica como la susceptibilidad alta y muy alta a inundaciones y deslizamientos. Puede observarse que el mayor potencial económico expuesto se encuentra

en el Área Metropolitana de San Salvador para todas las amenazas. El AMSS se establece como el centro direccional del país en materia política, financiera, económica y cultural, concentrando el 27 % de la población y el 70 % de la inversión pública y privada, todo esto, en un 3 % del territorio nacional retomado de IPGARAMSS 2011.

Las figuras 153, 154 y 155 muestran el potencial económico, calculado a partir del producto interno bruto según el origen de la producción, las actividades económicas, y la cobertura y uso del suelo, expuesto a susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y amenaza alta y muy alta, respectivamente.

6.1.3 Tipologías constructivas expuestas: viviendas vulnerables

La información de viviendas vulnerables, consideradas como aquellas tipologías constructivas edificadas a partir de adobe, bahareque, madera, lámina, desecho, paja, palma u otro vegetal (ver 5.2) fue analizada en contraste con la amenaza sísmica y la susceptibilidad a inundación, amenazas para las cuales, la información de las características de las tipologías constructivas tiene mayor influencia en la respuesta. Para el caso de deslizamientos, una zona se puede ver igualmente afectada independientemente de las condiciones de la infraestructura expuesta.

Las figuras 156 y 157 muestran las viviendas vulnerables expuestas a susceptibilidad alta y muy alta a inundaciones, y a amenaza sísmica alta y muy alta, por segmento censal, y agrupadas a escala municipal. Puede observarse que los departamentos de San Salvador, La Libertad y Usulután concentran la mayor cantidad de viviendas vulnerables expuestas a alta y muy alta susceptibilidad a inundación; mientras que los departamentos de San Salvador, Santa Ana y La Libertad, la mayor cantidad de viviendas vulnerables expuestas a alta y muy alta amenaza sísmica.

Sin embargo, es importante tener presente que, a pesar que los departamentos de Santa Ana, San Salvador, La Libertad y Ahuachapan tienen la mayor cantidad de viviendas vulnerables, al observar la relación al total de viviendas (porcentaje de viviendas vulnerables respecto al total), los departamentos de Morazán y Chalatenango presentan los valores más altos. San Salvador presenta el menor porcentaje de viviendas vulnerables respecto al total de viviendas de los 14 departamentos, con únicamente un 10.25 % (ver 5.2). Aún cuando San Salvador presenta una cantidad de viviendas vulnerables expuestas mayor al resto de los departamentos, es un porcentaje bajo respecto al total de viviendas del mismo departamento.

6.1.4 Cultivos expuestos

Las áreas de cultivos de granos básicos, obtenidas a partir del mapa de uso de suelos (ver 4.4 y 4.6), fueron estudiadas considerando la propensión a sequía y la susceptibilidad a inundaciones, fenómenos que pueden causar mayores impactos sobre los mismos.

Las figuras 160 y 161 muestran las áreas de cultivos de granos básicos expuestas a sequía meteorológica débil, moderada y fuerte, y a susceptibilidad moderada, alta y muy alta a inundaciones respectivamente.

El 36 % del área de cultivos de granos básicos está expuesto a posibles sequías meteorológicas fuertes – concentradas en la zona oriental del país, el 19 % a moderadas, el 20 % a débiles y el 25 % restante no se ve potencialmente afectado por sequías. Únicamente un pequeño porcentaje (10 %) de área de cultivo de granos básicos está expuesto a susceptibilidad moderada, alta y muy alta a inundaciones: 5 % a susceptibilidad muy alta, 4 % a susceptibilidad alta y 1 % a susceptibilidad moderada. Lo anterior no implica necesariamente que solo el 10 % del área de cultivos pueda ser afectado por eventos de exceso de lluvia, pues la afectación potencial no está solamente asociada a la inundación.

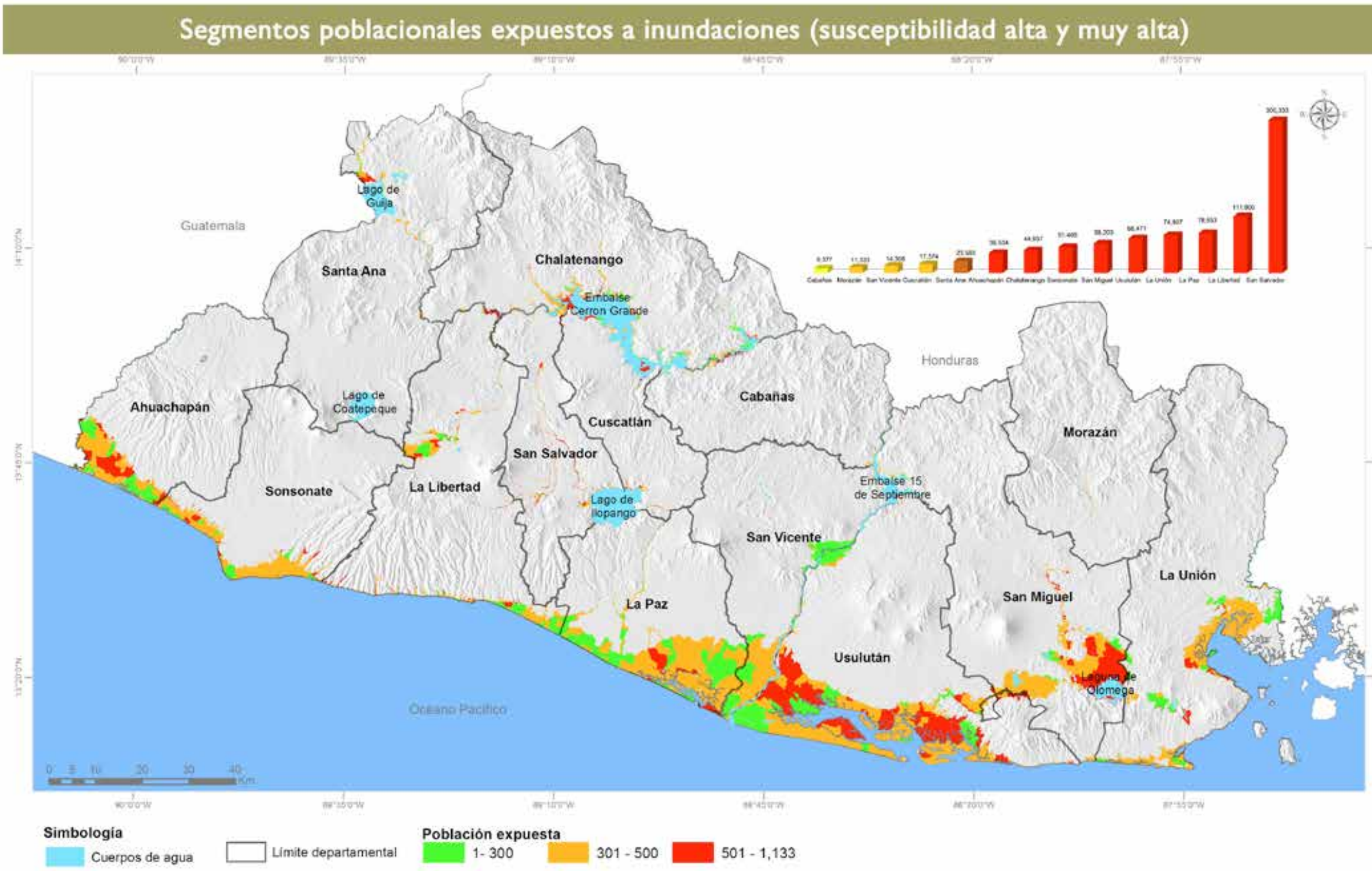


Figura 147. Mapa de población expuesta a susceptibilidad a inundaciones alta y muy alta, por segmento censal
Fuente: Elaboración propia MARN

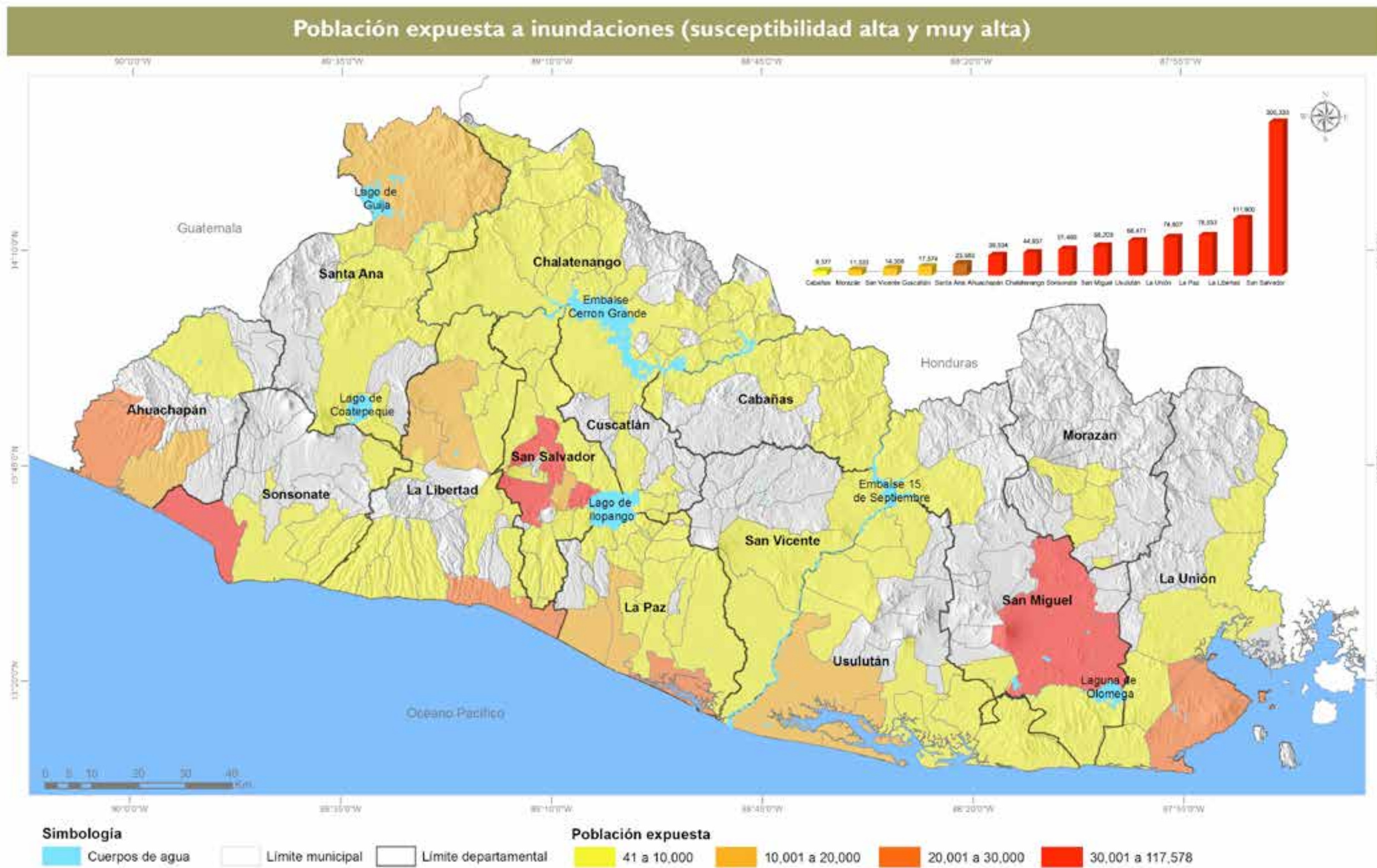


Figura 148. Mapa de población expuesta a susceptibilidad a inundaciones alta y muy alta, agrupada a nivel municipal
Fuente: Elaboración propia MARN

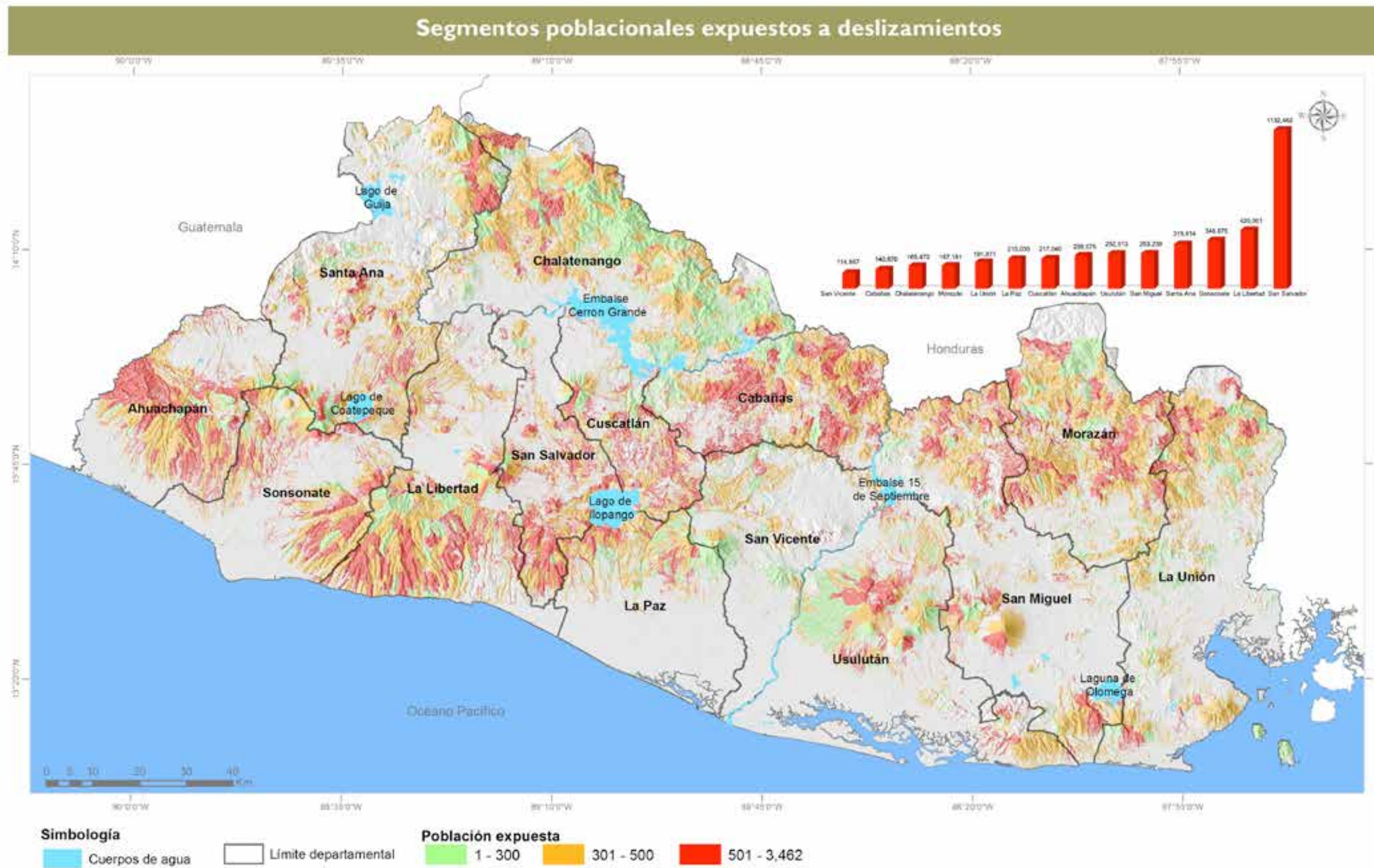


Figura 149. Mapa de población expuesta a susceptibilidad a deslizamientos alta y muy alta, por segmento censal
Fuente: Elaboración propia MARN

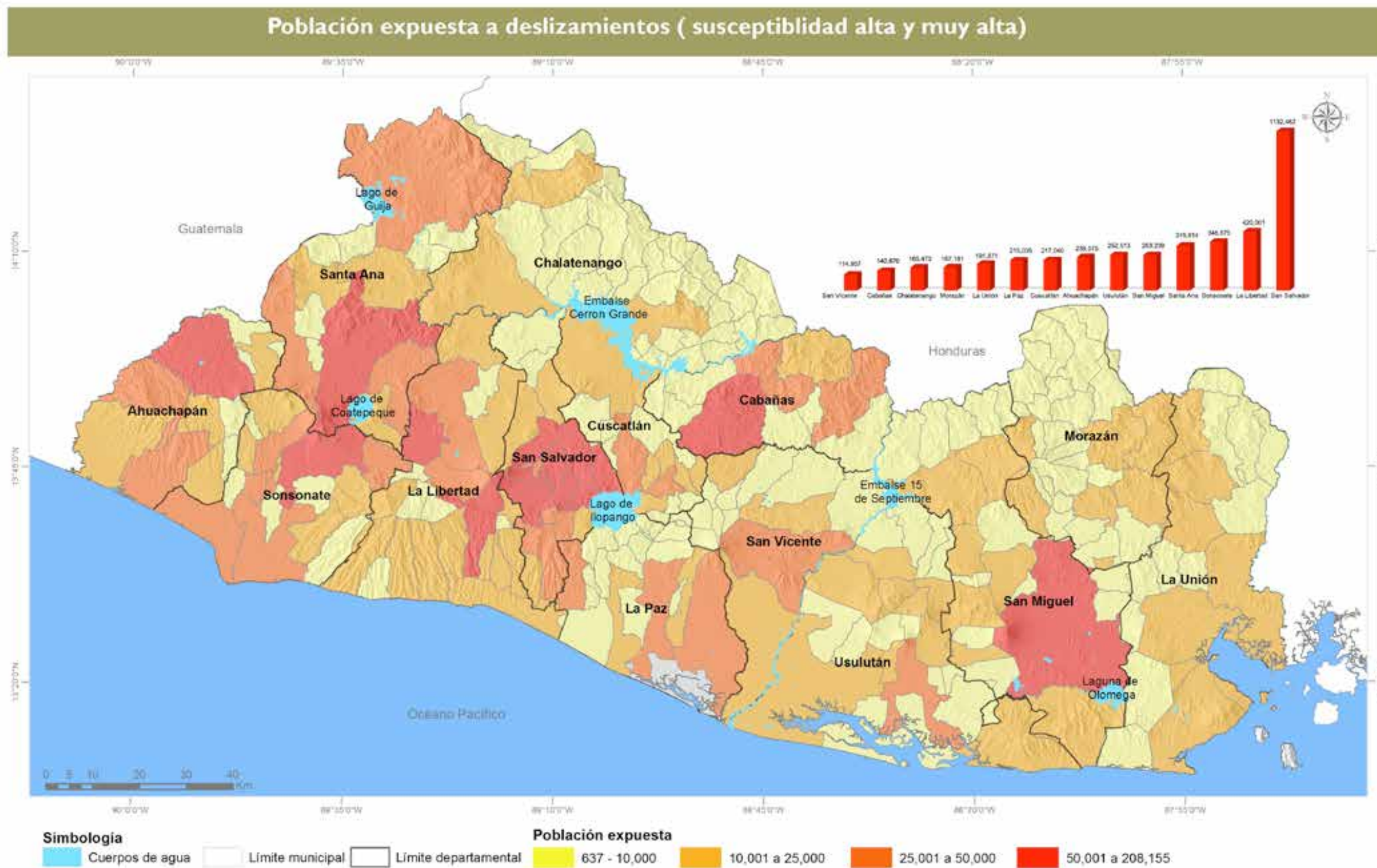


Figura 150. Mapa de población expuesta a susceptibilidad a deslizamientos alta y muy alta, agrupada a escala municipal
Fuente: Elaboración propia MARN

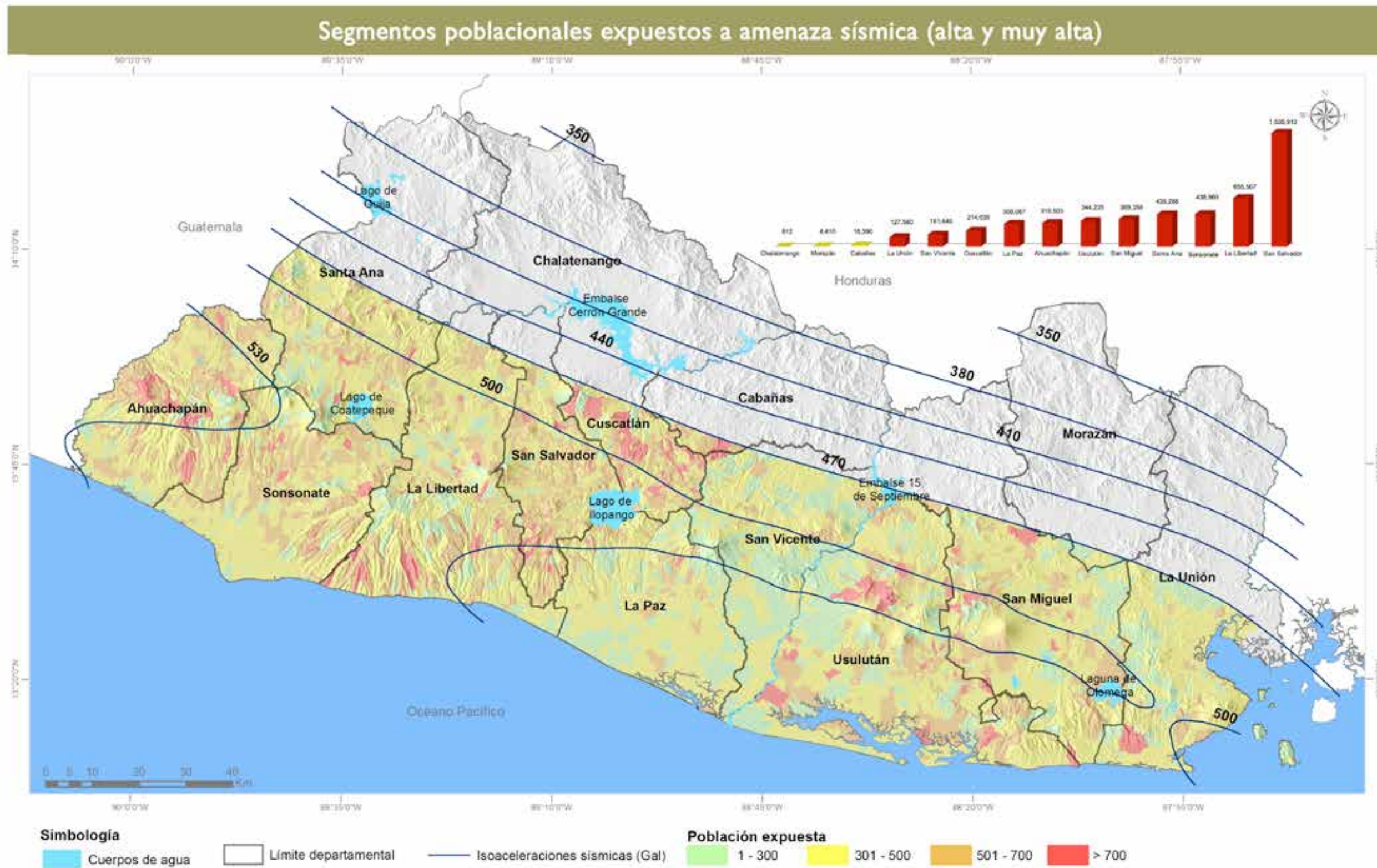


Figura 151. Mapa de población expuesta a amenaza sísmica alta y muy alta, por segmento censal
Fuente: Elaboración propia MARN

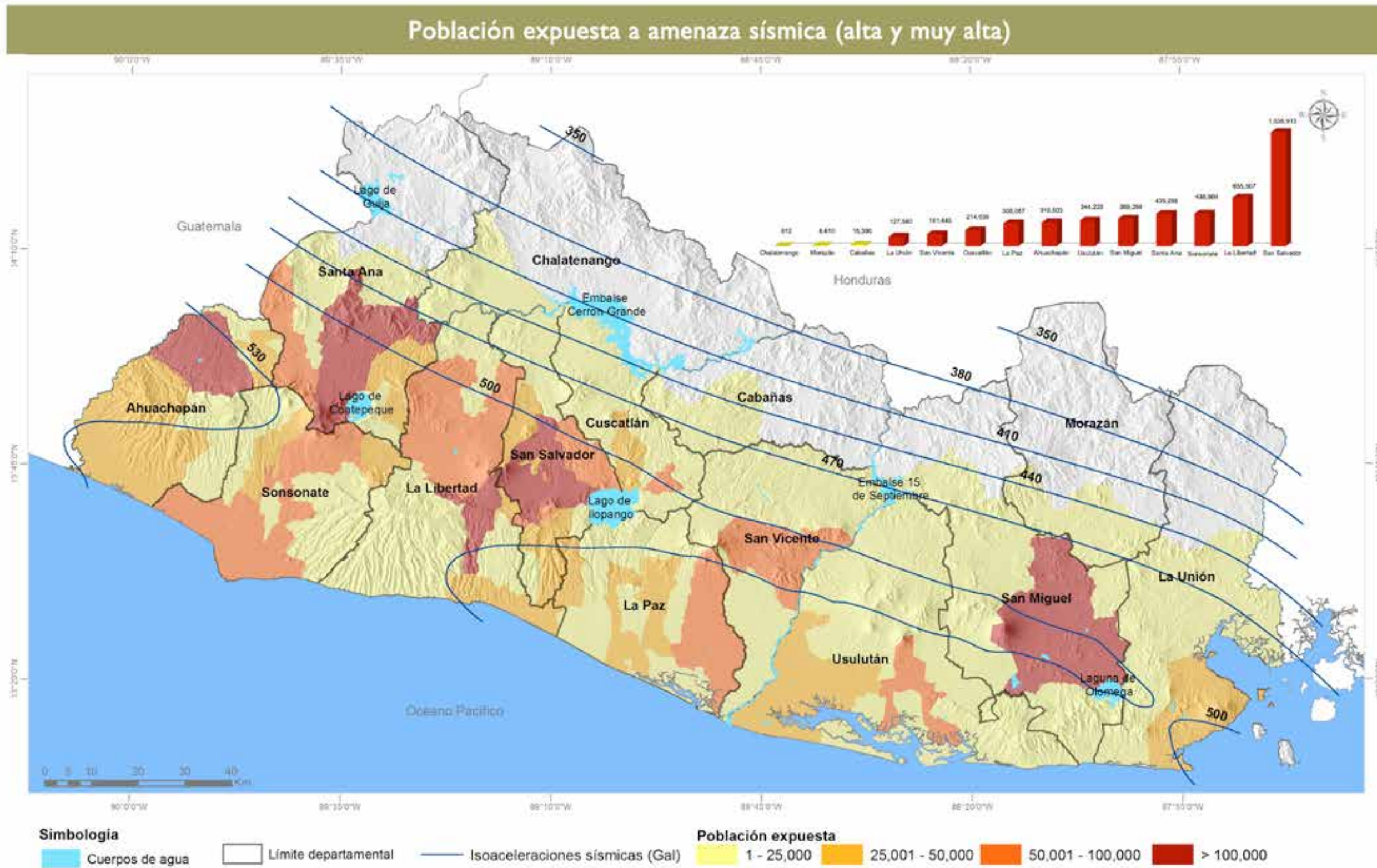


Figura 152. Mapa de población expuesta a amenaza sísmica alta y muy alta, agrupada a escala municipal
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 153. Mapa de potencial económico expuesto a susceptibilidad a inundaciones alta y muy alta
Fuente: Elaboración propia MARN



Figura 154. Mapa de potencial económico expuesto a susceptibilidad a deslizamientos alta y muy alta
Fuente: Elaboración propia MARN

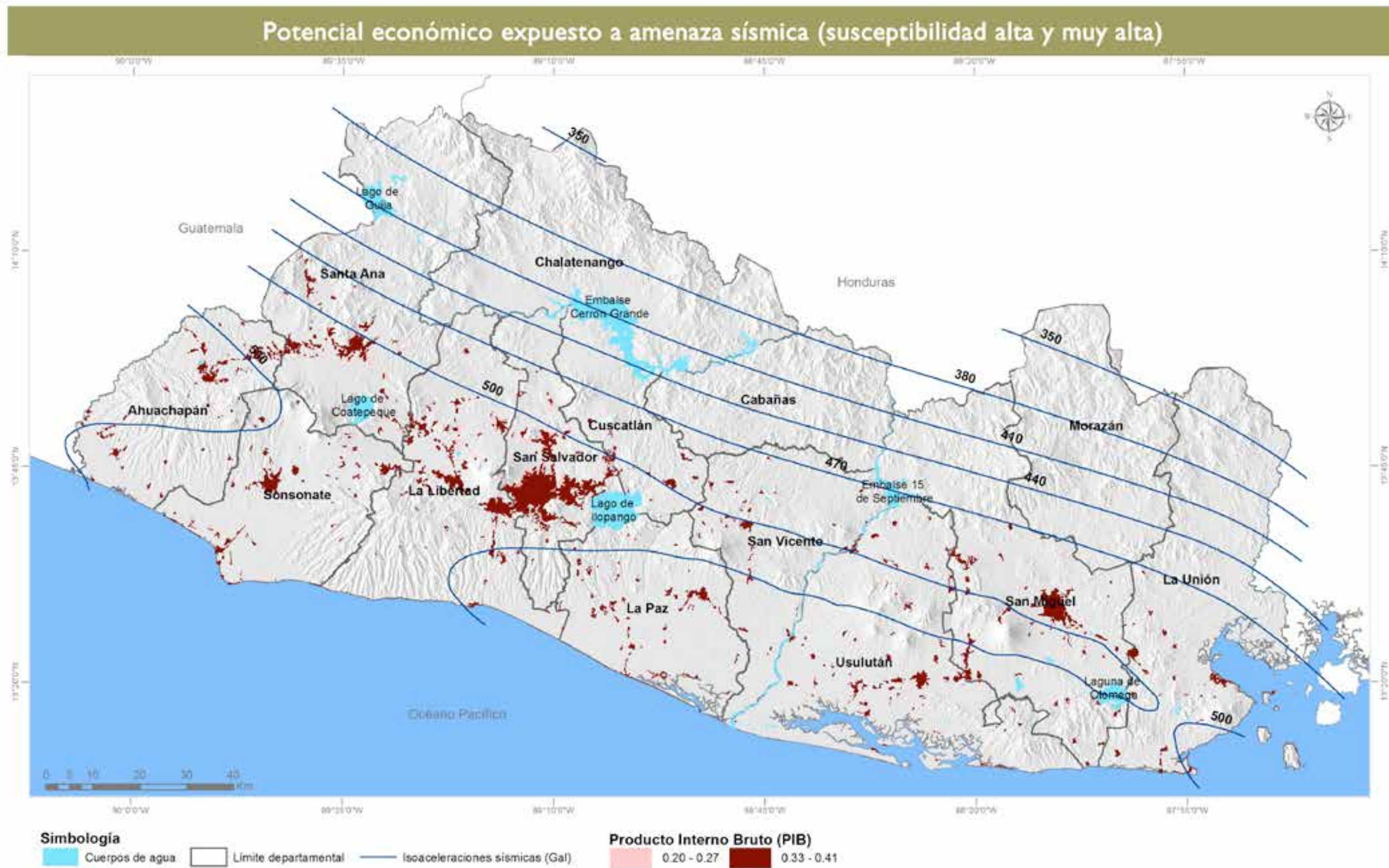


Figura 155. Mapa de potencial económico expuesto a amenaza sísmica alta y muy alta
Fuente: Elaboración propia MARN

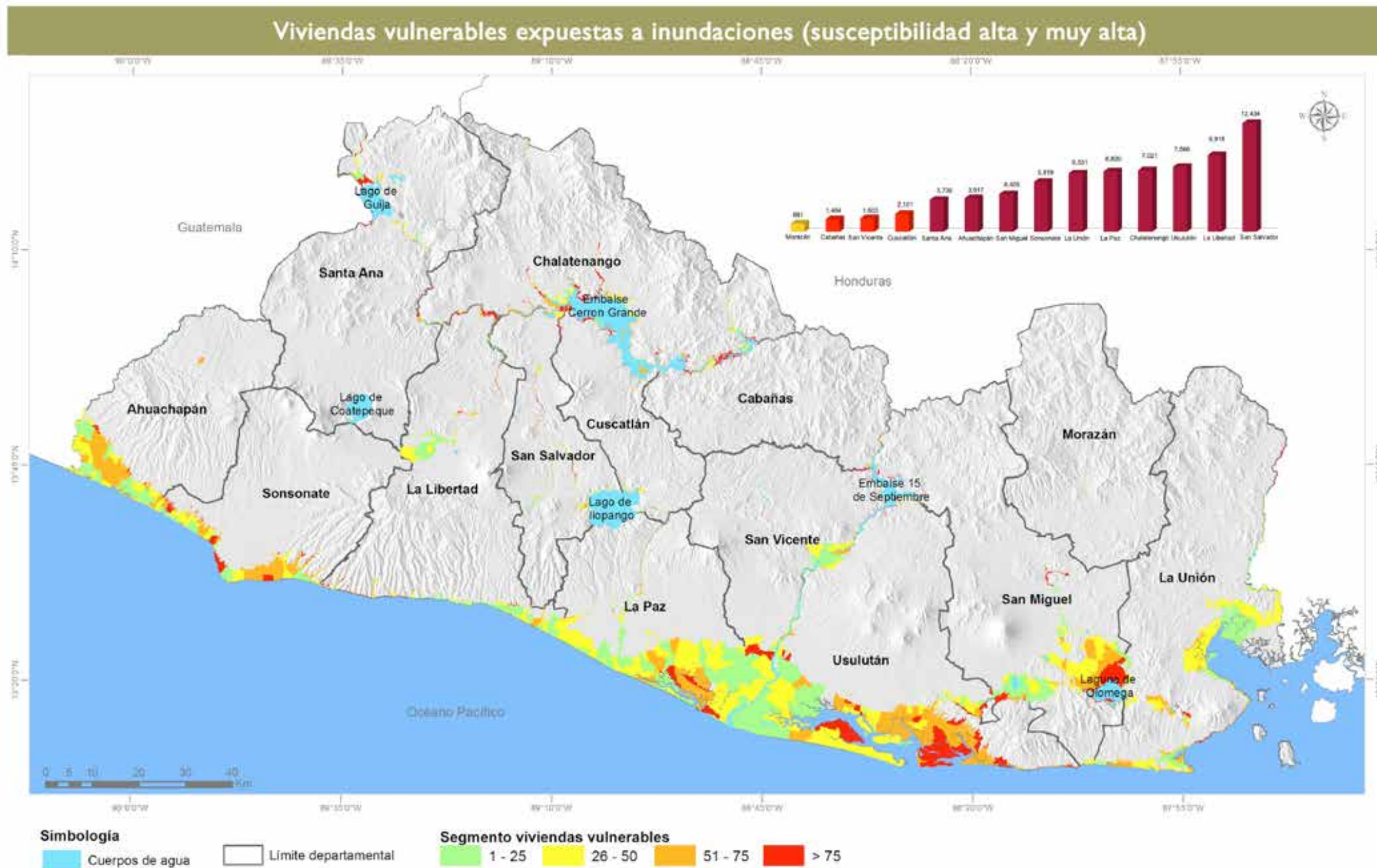


Figura 156. Mapa de viviendas vulnerables expuestas a susceptibilidad a inundaciones alta y muy alta, por segmento censal
Fuente: Elaboración propia MARN

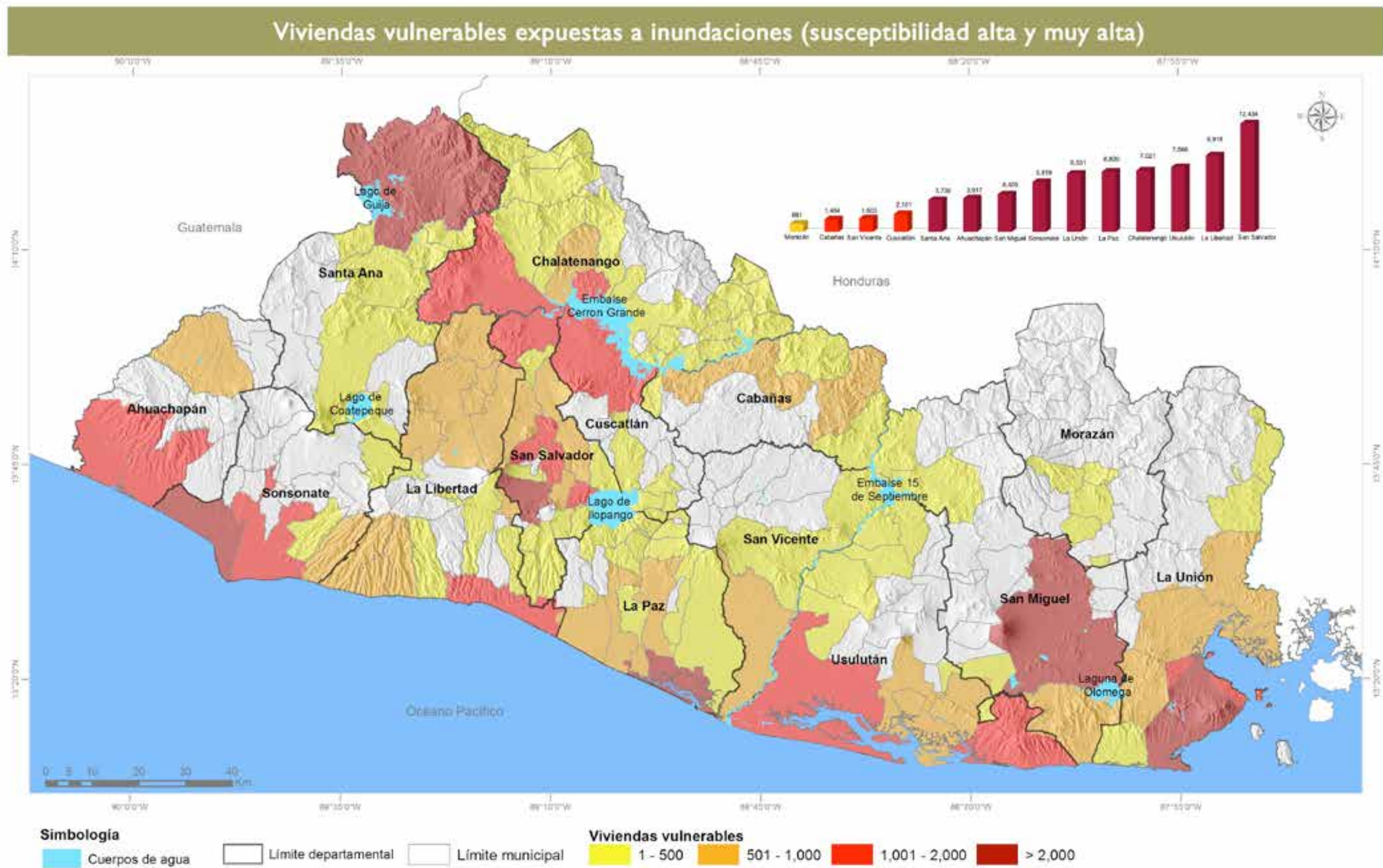


Figura 157. Mapa de viviendas vulnerables expuestas a susceptibilidad a inundaciones alta y muy alta, agrupadas a escala municipal
Fuente: Elaboración propia MARN

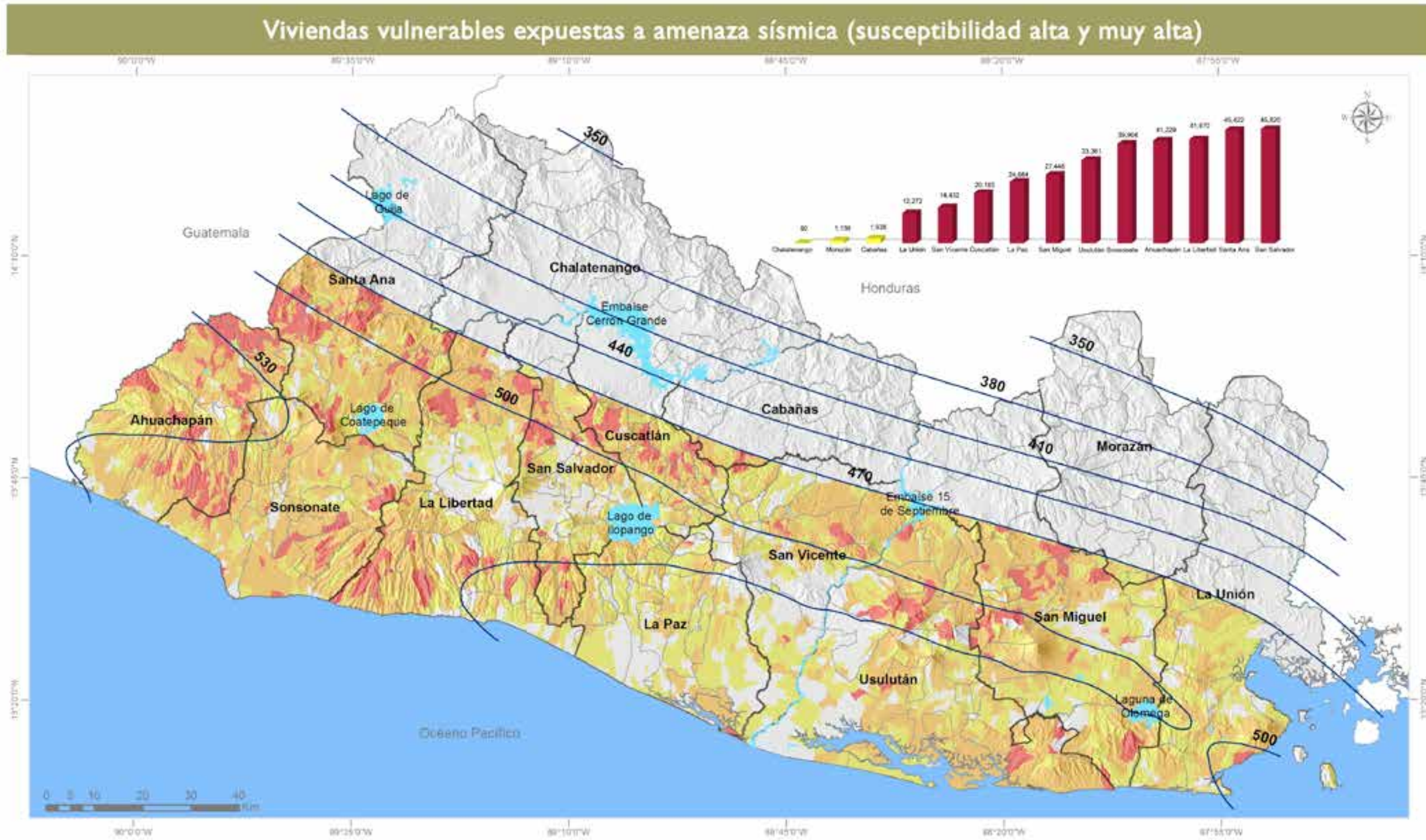


Figura 158. Mapa de viviendas vulnerables expuestas a amenaza sísmica alta y muy alta, por segmento censal
Fuente: Elaboración propia MARN

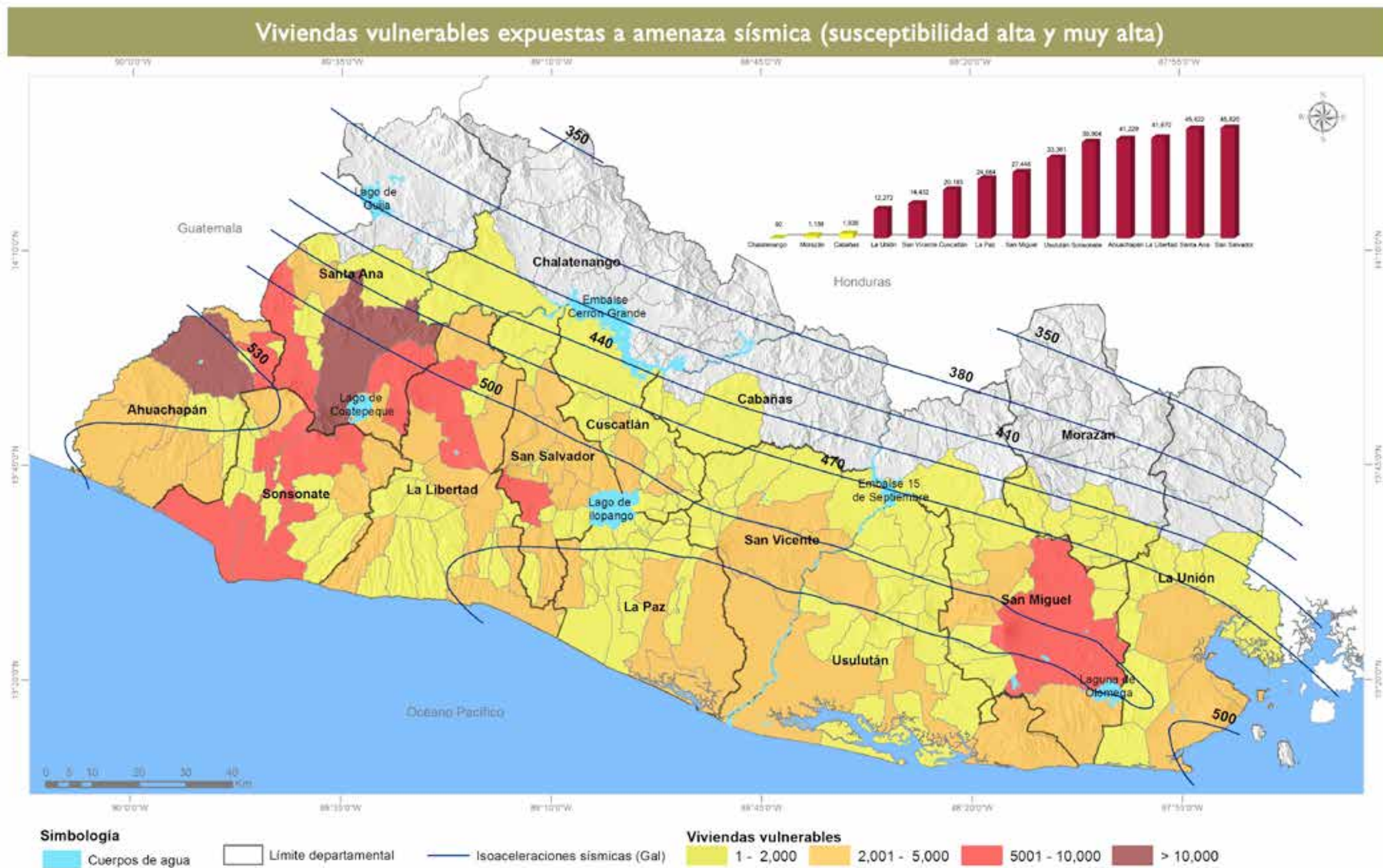


Figura 159. Mapa de viviendas vulnerables expuestas a amenaza sísmica alta y muy alta, agrupados a escala municipal
Fuente: Elaboración propia MARN

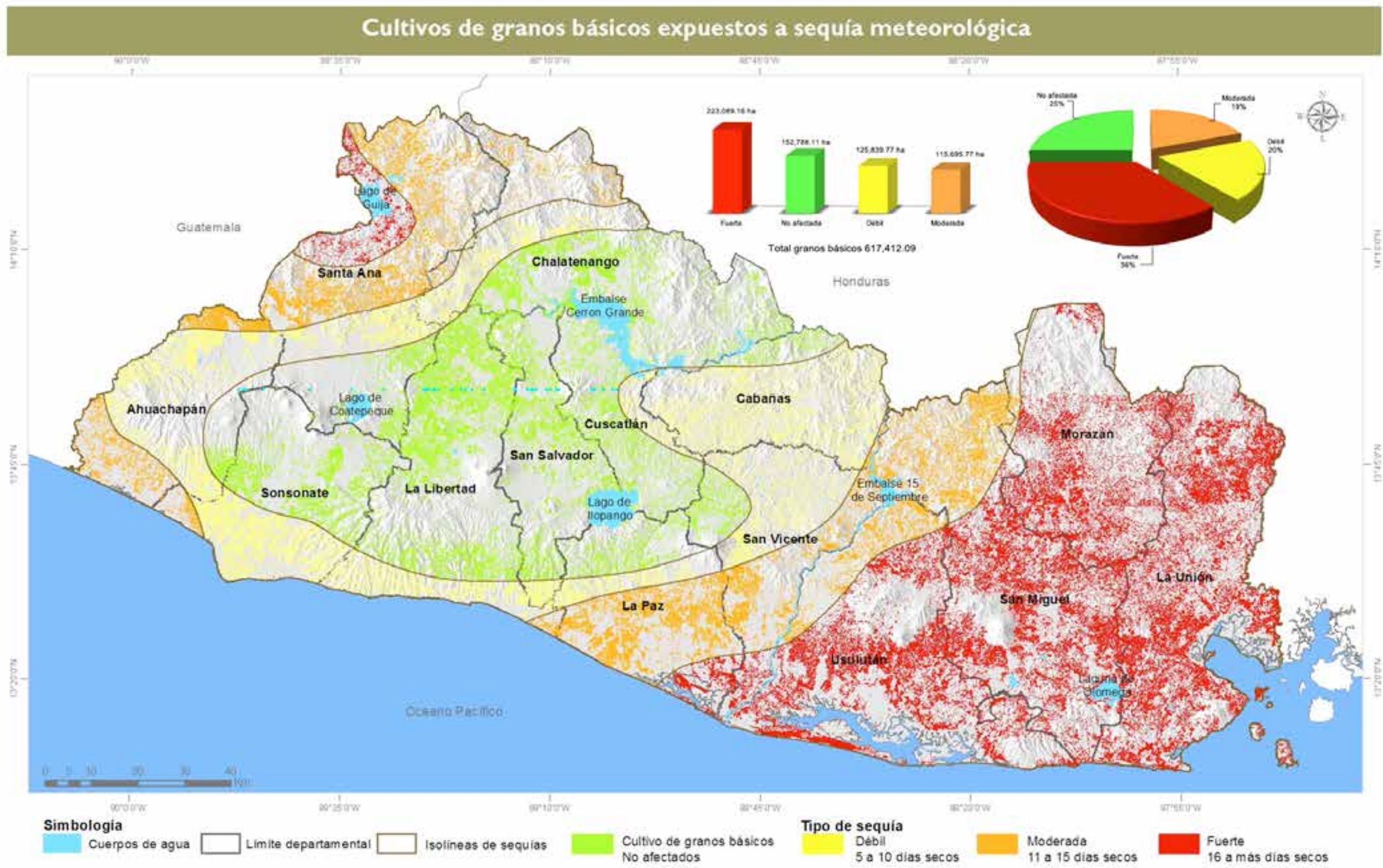


Figura 160. Mapa de cultivos de granos básicos expuestos a sequía meteorológica
Fuente: Elaboración propia MARN

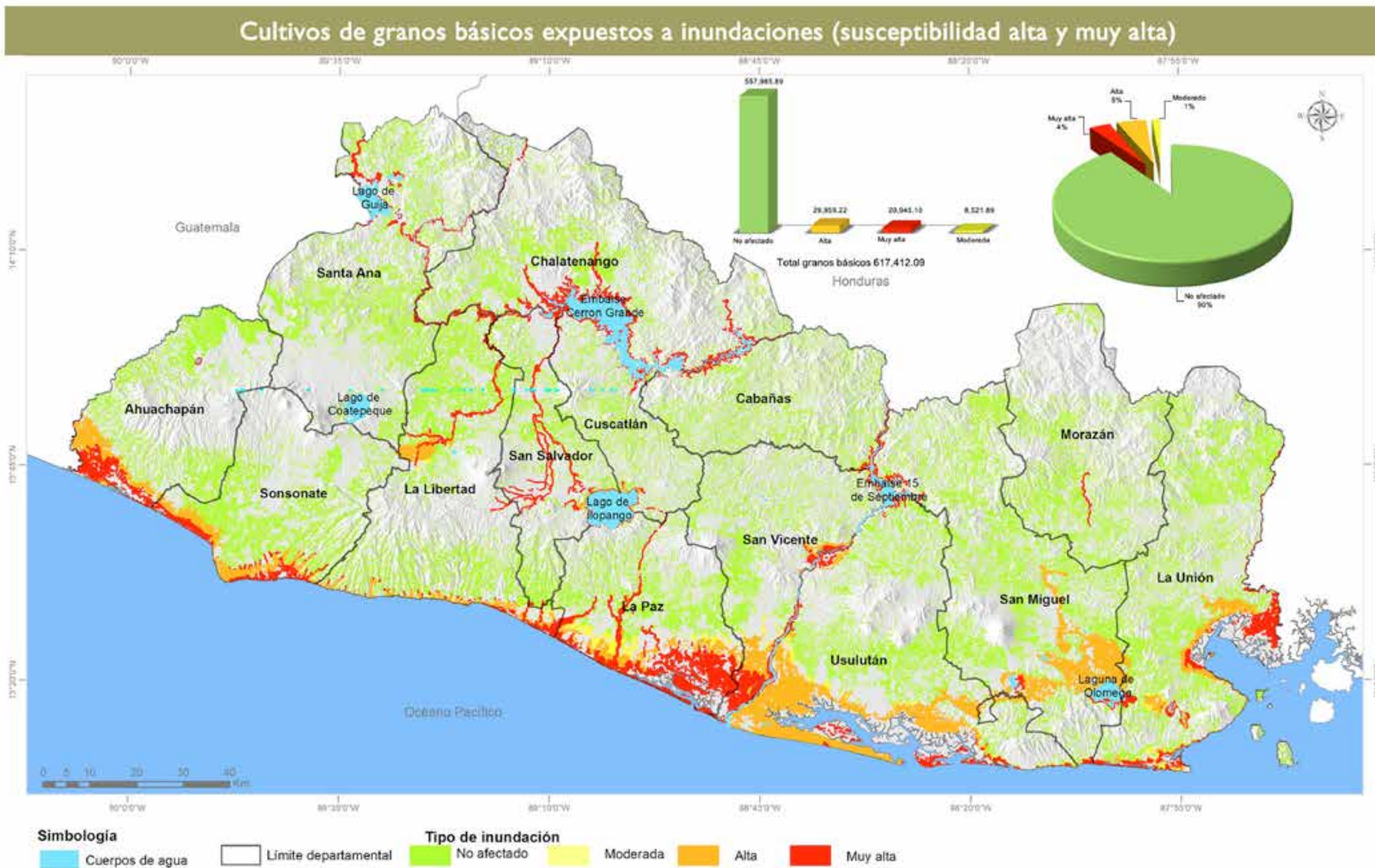


Figura 161. Mapa de cultivos de granos básicos expuestos a susceptibilidad a inundación alta y muy alta
Fuente: Elaboración propia MARN

6.2 Casos de estudio

El análisis de exposición al riesgo ofrece información importante y permite identificar las amenazas o zonas más críticas, donde estudios de mayor detalle deben ser realizados. El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) es un área prioritaria debido a la concentración de población y actividad económica expuesta a distintas amenazas, principalmente las amenazas por inundaciones y sismos, dados los impactos históricos y potenciales de las mismas.

El objetivo principal de la evaluación del riesgo de desastres es brindar herramientas para la toma de decisiones, en materia de reducción y mitigación de riesgos e incluye, tanto medidas de prevención como de preparación. En el presente apartado se abordan los estudios de riesgo realizados para distintas amenazas y activos expuestos, aplicando diversas metodologías de análisis seleccionadas en función de los resultados esperados.

6.2.1 Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico en el Área Metropolitana de San Salvador: portafolios de Educación, Salud y Gobierno⁷¹

A la base de la plataforma CAPRA⁷², se realizó una modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para edificaciones de salud, educación y gobierno en el Área Metropolitana de San Salvador. La amenaza sísmica se evaluó, en términos de aceleraciones espectrales, mediante un catálogo sintético de aproximadamente 25,000 escenarios sísmicos. Este catálogo se obtuvo a partir de la desagregación de la amenaza sísmica nacional, para distintos períodos de retorno y distintas ordenadas espectrales, y fue considerada una estimación preliminar de efectos de amplificación por condiciones locales de suelo (ver 4.1). 1,550 edificaciones fueron inspeccionadas para obtener información de exposición y examinar las características más influyentes en la capacidad de las estructuras a resistir cargas sísmicas, estudiada en términos de funciones de vulnerabilidad.

Los resultados obtenidos brindan herramientas importantes para la toma de decisiones en materia de reducción y mitigación de riesgos. Estos resultados incluyen, tanto medidas de prevención (gestión correctiva y prospectiva), como de preparación (gestión reactiva y protección financiera). Las pérdidas máximas obtenidas, concentradas en una pequeña cantidad de edificaciones, permiten la priorización de la infraestructura crítica y facilitan la definición de lineamientos de reducción de riesgo sísmico a corto, mediano y largo plazo.

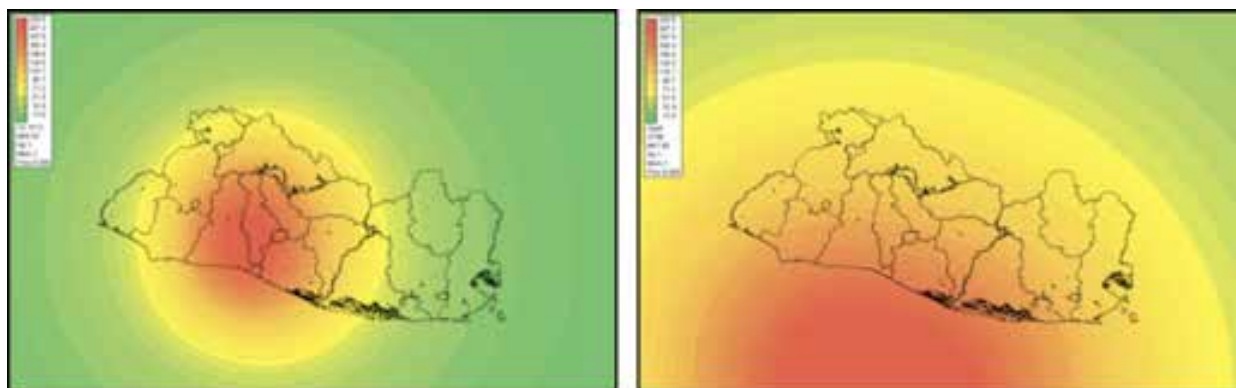


Figura 162. Cultivos de granos básicos expuestos a sequía meteorológica, ejemplos de los casi 25,000 escenarios sísmicos modelados
Fuente: Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, 2012

6.2.1.1 Información de exposición

La figura 163 muestra, para los distintos portafolios, el detalle de las instituciones levantadas en relación al total de instituciones existentes en el AMSS; así como el número total de edificios estudiados, considerando que una institución puede tener más de un edificio. En el caso del portafolio de educación, se definió una muestra del 20 % de las instituciones y se utilizó un procedimiento estadístico basado en una distribución estratificada y proporcional, para finalmente aplicar una selección aleatoria, de acuerdo con los siguientes criterios: a) ubicación geográfica, b) sector público o privado (10 % privado, 90 % público) c) urbano o rural, d) tamaño físico.

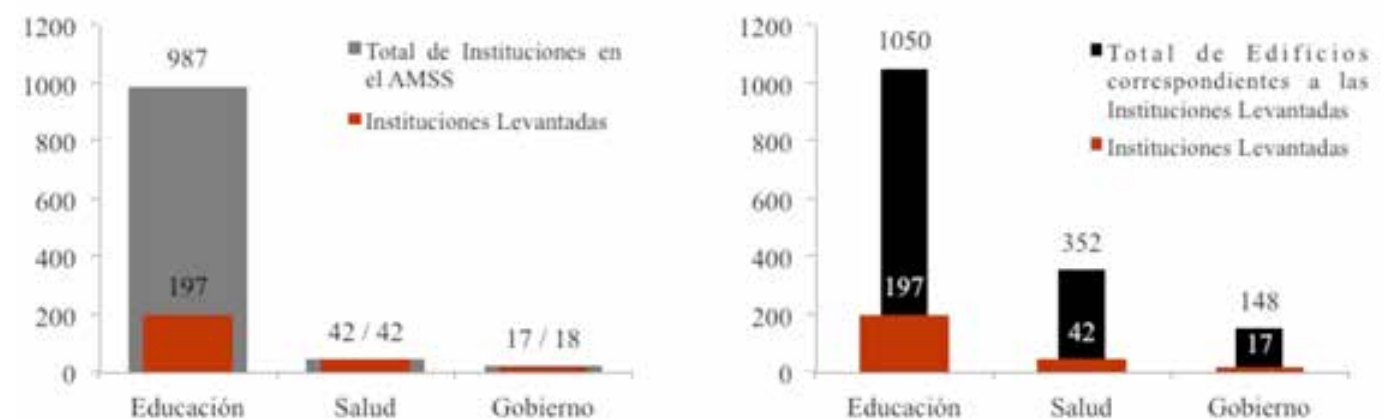


Figura 163. Detalle de instituciones y edificios levantados por portafolio
Fuente: Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, 2012

Para cada una de las edificaciones, en cada una de las instituciones, se levantó tanto información general como información técnica, considerada a tener mayor influencia en la vulnerabilidad sísmica de las construcciones, con atención a las principales causas estructurales de daños durante eventos sísmicos pasados (ejemplo defectos estructurales).

- Información general:

Portafolio y código de institución, ubicación geográfica, uso, área de construcción, número de ocupantes (distinguir entre mañana, tarde y noche), valor de reposición.

- Información técnica indispensable:

Año de construcción (relacionado al nivel de diseño sismorresistente - código vigente), número de pisos y altura típica de entrepiso (relacionado al período estructural), sistema estructural.

- Información técnica complementaria:

Tipo de estructura de techo, defectos estructurales, información de daños por sismo.

La figura 164 muestra algunos resultados de la investigación de campo para todos los portafolios. La asignación del código de las tipologías se basó en el sistema estructural, el número de pisos y el año de construcción (figura 165).

⁷¹ Kattan Jokisch, C.; Menjivar Recinos, L. E.; Castellanos Araujo, R.A.; Ramos Huezo, J.A.; Ayala Leiva, N. E.; Méndez de Hasbun, P. (2012). Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, incluye análisis de portafolios de educación, salud y gobierno, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SS. ⁷² Cardona, O.D.; Ordaz, M.G.; Reinoso, E.; Yamín, L.E.; Barbat, A.H. (2012): CAPRA - Comprehensive Approach to Probabilistic Risk Assessment: International Initiative for Risk Management Effectiveness. Conference Paper - 15th World Conference on Earthquake Engineering, At Lisbon.

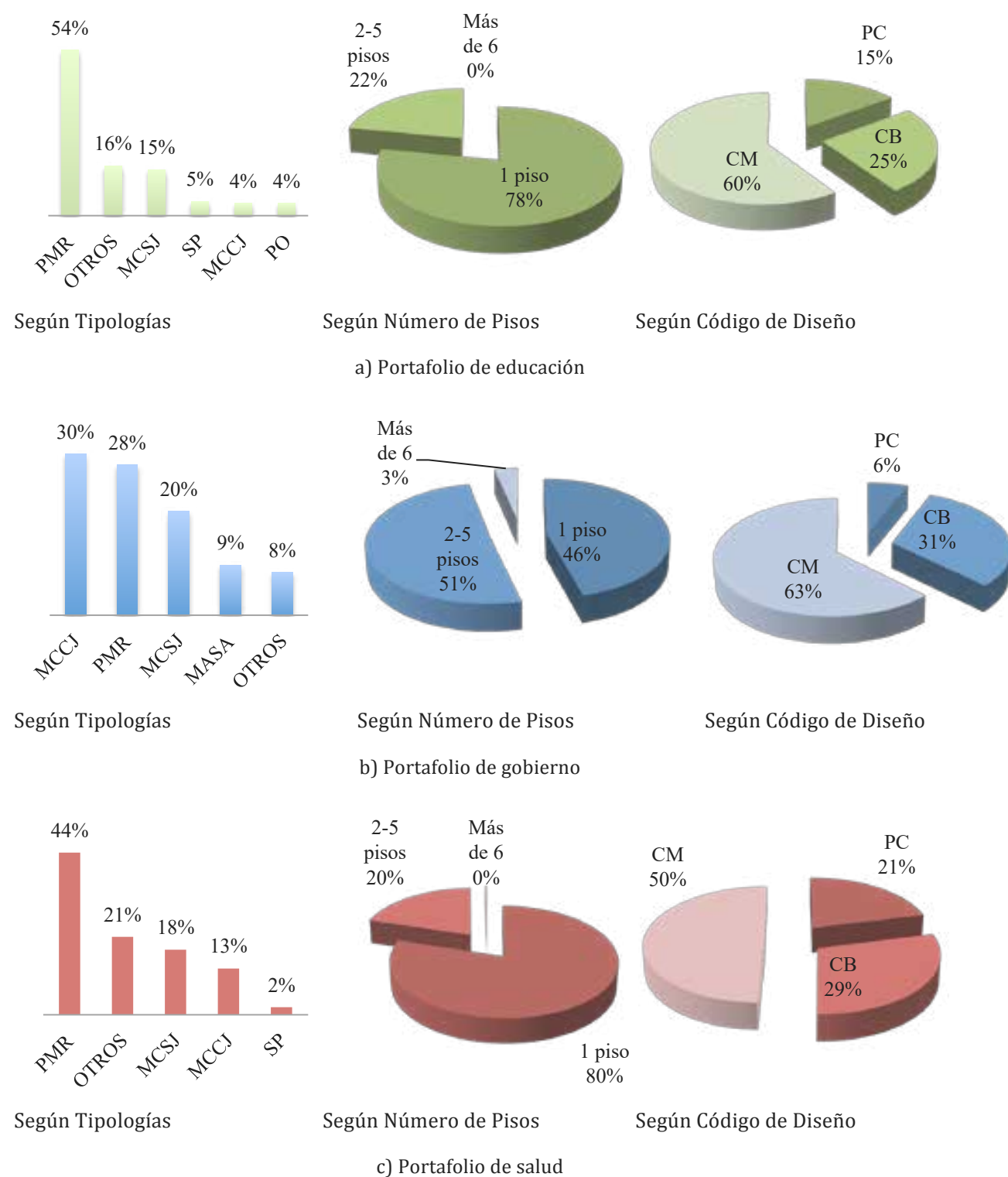


Figura 164. Análisis de edificaciones evaluadas para los portafolios de educación, salud y gobierno
Fuente: Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, 2012



Figura 165. Codificación básica de tipologías constructivas
Fuente: Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, 2012

6.2.1.2 Curvas de vulnerabilidad sísmica

Se generaron curvas de vulnerabilidad para todos los sistemas identificados, diferenciando tipologías constructivas, rango de número de niveles, nivel de código sismorresistente (año de construcción), y se incorporaron factores de reducción de resistencia ante la existencia de defectos estructurales. Las curvas de vulnerabilidad resultantes fueron calibradas con la utilización de información de daños de los sismos de 2001 y registros acelerográficos. Para cada edificación se relacionó la intensidad correspondiente (aceleración espectral), en la estación acelerográfica más cercana, al nivel de daño según la calificación por bandera.

6.2.1.3 Modelo de riesgo sísmico

El análisis probabilista de riesgo sísmico consideró 24,996 posibles escenarios sísmicos y 1,550 edificaciones de los portafolios de educación, salud y gobierno. Con este análisis se obtuvo un valor de prima pura (costo anual del riesgo, sin considerar gastos de gestión) de USD\$ 14.7 millones, lo que representa, aproximadamente, un 5.78 % del valor de infraestructura expuesta. La prima pura indica el valor que debe ser reservado anualmente para cubrir las pérdidas esperadas futuras, y está dada por la pendiente de las pérdidas acumuladas en el tiempo (figura 166). La figura 167 presenta los resultados, en términos de pérdidas máximas probables, para diferentes períodos de retorno.

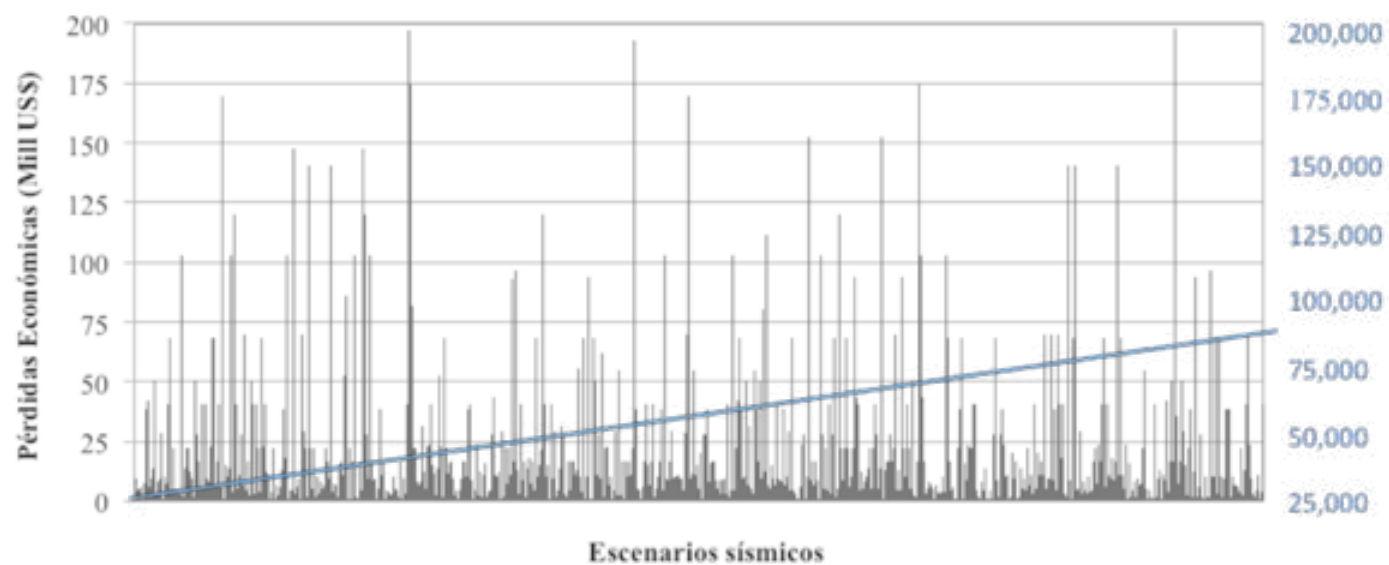


Figura 166. Resultados del análisis probabilista de riesgo - prima pura (costo anual del riesgo)
Fuente: Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, 2012

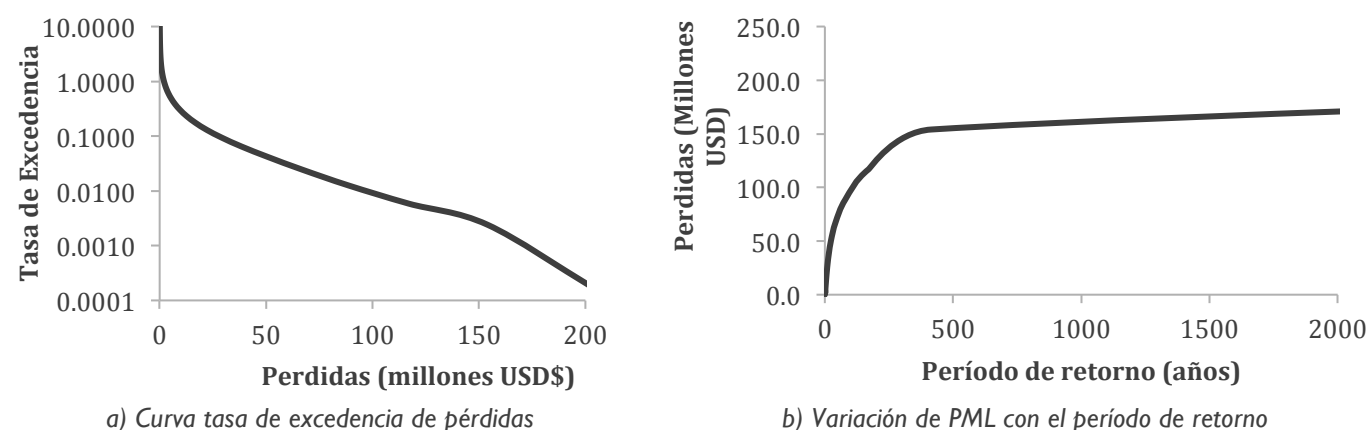
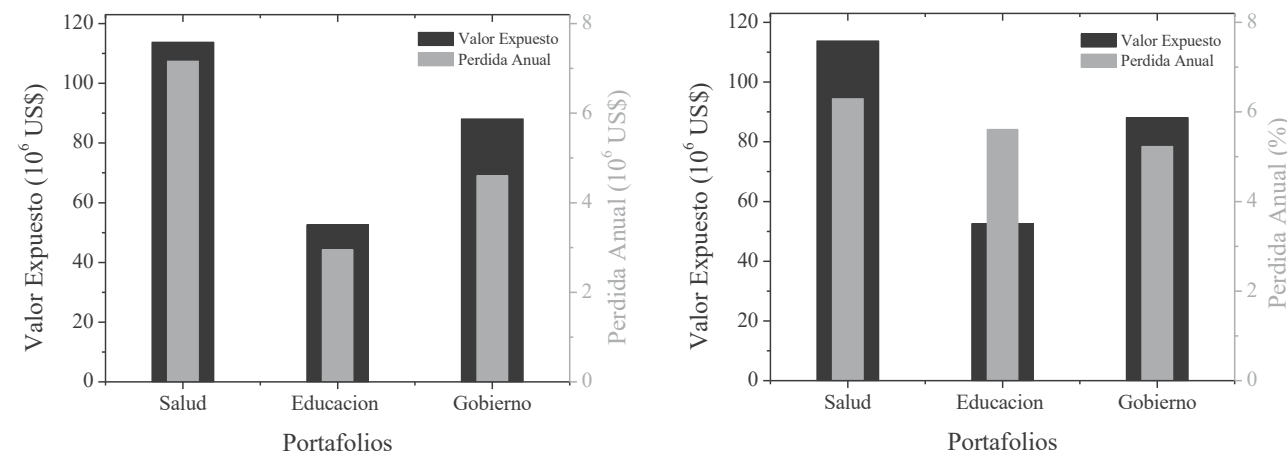


Figura 167. Resultados del análisis probabilista de riesgo - Pérdidas Máximas Probables (PML)
Fuente: Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, 2012

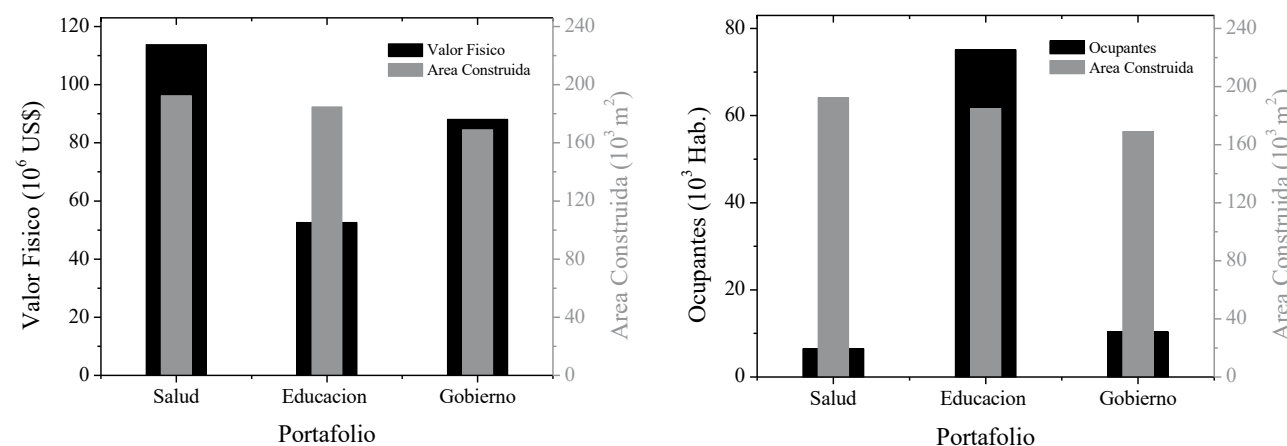
Las mayores pérdidas físicas las concentra el portafolio de salud, con una prima pura o pérdida anual esperada de USD\$ 7.16 millones, que corresponde al 6.29 % del valor total expuesto para este portafolio. Para los portafolios de educación y gobierno, se estiman pérdidas físicas anuales esperadas de USD\$ 2.95 millones y USD\$ 4.61 millones respectivamente, 5.61 y 5.22 % de los valores expuestos de la infraestructura analizada.

La figura 168 presenta los resultados obtenidos para cada portafolio, en términos de pérdida anual esperada o prima pura. Importante notar que el portafolio de salud, a pesar de estar constituido por menos instituciones que el portafolio de educación, el total de área construida y el valor físico expuesto es considerablemente mayor (costo de reposición es mayor), que para el resto de carteras. Caso contrario sucede al analizar la población expuesta, la cual se concentra, en su mayoría, en el sector educativo (figura 169).



a) Pérdida anual esperada en millones USD\$ b) Pérdida anual esperada en % del valor expuesto

Figura 168. Valor expuesto y pérdida anual esperada para los portafolios analizados
Fuente: Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, 2012



a) Valor físico b) Ocupación

Figura 169. Distribución de valores expuestos y área construida para los portafolios analizados
Fuente: Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, 2012

La figura 171 muestra la distribución espacial de los resultados del análisis en términos de prima pura para las edificaciones expuestas en porcentaje del valor.

Con el objetivo de investigar el nivel de daño que pudiera esperarse en la infraestructura actual de los portafolios analizados, también se estudiaron escenarios sísmicos con características similares a eventos históricos. La figura 171 presenta los resultados para sismos con las mismas características del evento del 10 de octubre de 1986 con magnitud (Mw 5.7).

Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el AMSS - portafolios de salud, educación y gobierno

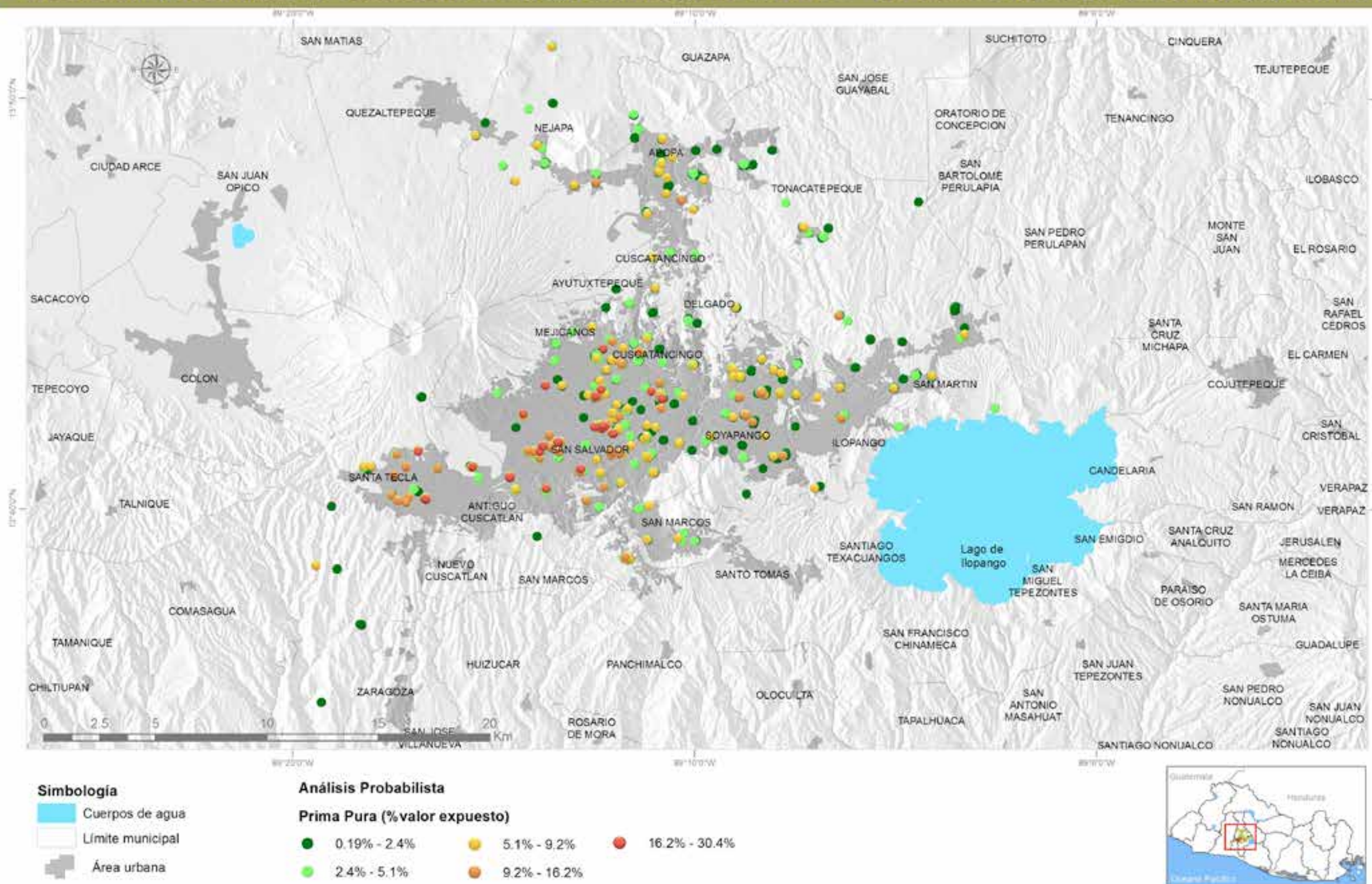


Figura 170. Mapa de modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el AMSS en los portafolios de Educación, Salud y Gobierno.

Fuente: Kattan Jokisch, C.; Menjivar Recinos, L.E.; Castellanos Araujo, R.A.; Ramos Huezo, J.A.; Ayala Leiva, N.E.; Méndez de Hasbun, P. (2012). Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, incluye análisis de portafolios de educación, salud y gobierno, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SS.

Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el AMSS - portafolio de salud, educación y gobierno

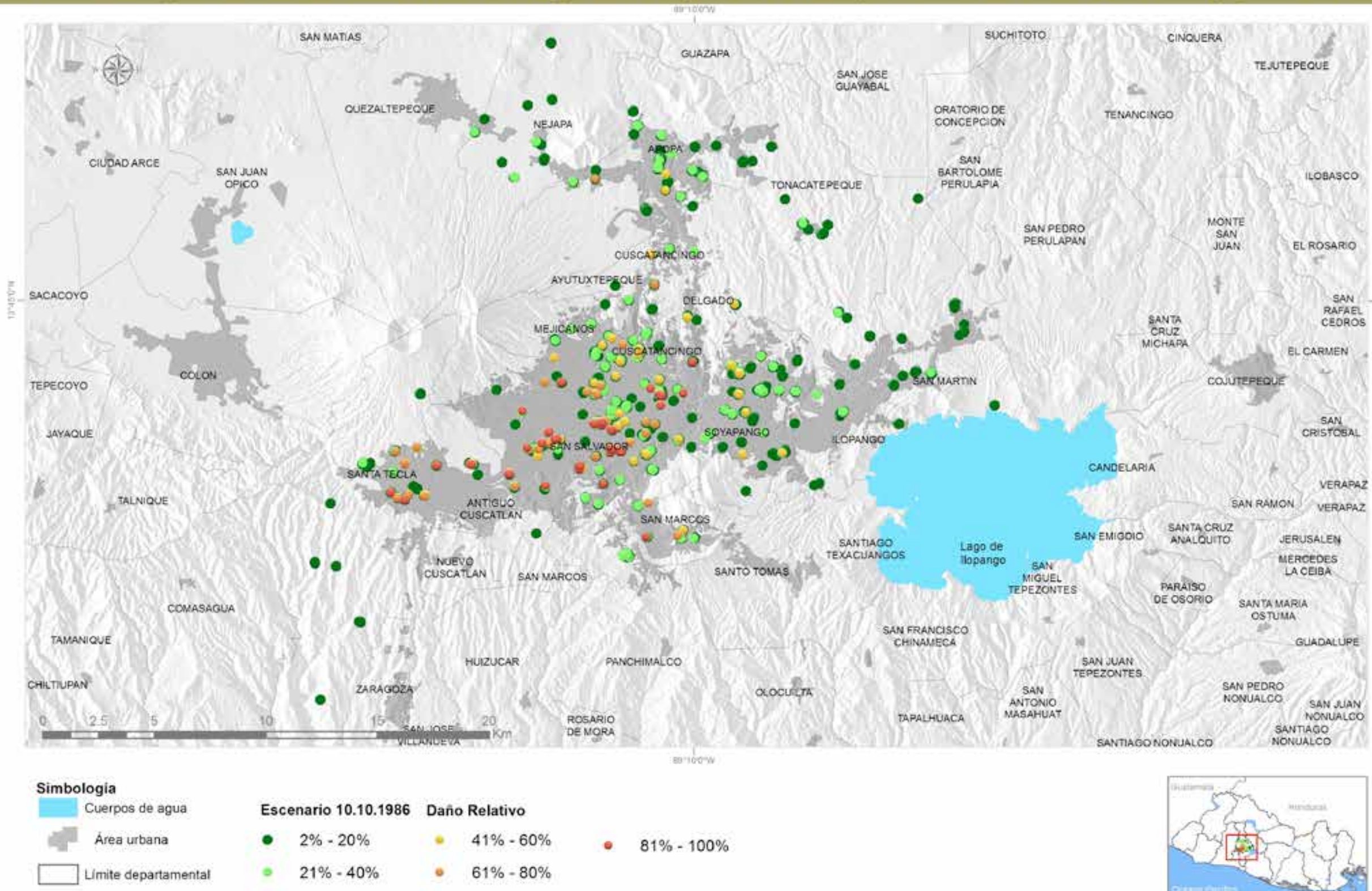


Figura 171. Mapa de modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el AMSS en los portafolios de Educación, Salud y Gobierno. Fuente: Kattan Jokisch, C.; Menjivar Recinos, L. E.; Castellanos Araujo, R. A.; Ramos Huevo, J. A.; Ayala Leiva, N. E.; Méndez de Hasbun, P. (2012).

6.2.2 Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico en el Área Metropolitana de San Salvador, ciudad de Santa Tecla⁷³

La ciudad de Santa Tecla fue fundada en 1854 con el objetivo de construir una nueva capital para El Salvador, posterior a que un sismo destruyó la ciudad de San Salvador, objetivo que no se materializó. Santa Tecla ha sufrido el mismo destino que su vecino, efecto parcialmente atribuido a las condiciones locales del suelo, con períodos dominantes en el mismo rango que los períodos dominantes de las tipologías constructivas típicas en la zona (ver 4.1). Debido a ello, Santa Tecla ha sido identificada como una de las áreas más críticas del país, en términos de riesgo sísmico.

La modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico en Santa Tecla se realizó a partir de la metodología utilizada para la modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico en el Área Metropolitana de San Salvador, para los portafolios de educación, salud y gobierno⁷³ (ver 6.2.1). El proyecto consideró cuatro actividades principales: la calibración del mapa de amenaza sísmica nacional y una estimación de los efectos de sitio (4.1), estimación de los activos expuestos en el área de estudio y cuantificación de su vulnerabilidad estructural. El análisis probabilista de riesgo consideró casi 25,000 escenarios sísmicos probables y 16,444 edificaciones pertenecientes a portafolio residencial, comercio, industria y otros, con un valor expuesto aproximado de 963,414 millones de dólares. La pérdida anual esperada obtenida confirma el alto nivel de riesgo sísmico en el área de estudio.

La información de exposición se levantó mediante campañas de campo y se utilizó una ficha técnica y posteriormente ingresada a una base de datos geográfica. El levantamiento contenía tanto información general, ubicación, identificación catastral, área en metros cuadrados, portafolio, año de construcción y uso, como información técnica del sistema estructural, geometría, dimensiones, número de niveles y altura de nivel, tipo y material del techo, y tipo y material de piso. La información complementaria contenía datos como defectos estructurales y daños por sismos previos, si habían sido reforzados o no, también fue identificada en la medida de lo posible. El área de estudio se dividió en dos segmentos, en el Centro Histórico las edificaciones fueron estudiadas individualmente, mientras que, en las afueras, se estudiaron utilizando manzanas homogéneas.

Las edificaciones se clasificaron en tipologías estructurales típicas y se asignaron curvas de vulnerabilidad para cada una de ellas. Las tipologías se clasificaron sobre la base del sistema estructural, número de niveles y altura – relacionado al período estructural, y nivel de diseño sismorresistente – inferido a partir del año de construcción y el año en el que los distintos códigos de diseño fueron implementados (<1966 precódigo, 1966-1994 código bajo, > 1994 código medio).

Las funciones de vulnerabilidad existentes fueron analizadas y calibradas, y nuevas curvas fueron desarrolladas, basándose en criterio de expertos, información de daños y modelos numéricos cuando fue posible. En el Centro Histórico, 1,928 edificaciones fueron estudiadas, dos tercios de las cuales pertenecen al portafolio residencial y un número significativo a comercio, dado que esta área concentra la actividad económica de la municipalidad. En los suburbios, 664 activos fueron inspeccionados, 90 % de los mismos pertenecientes al portafolio residencial. La mayoría de las estructuras corresponden a la tipología de mampostería reforzada. La figura 172 muestra las estructuras clasificadas por tipología y número de niveles. Puede notarse que la mayoría de las construcciones cuentan con 1 - 2 niveles, lo cual tiene implicaciones debido al período predominante del suelo en la zona.

Los procedimientos de cálculo para la estimación del riesgo probabilista consisten en evaluar las pérdidas causadas por cada uno de los escenarios sísmicos probables e integrar, en una forma probabilística, utilizando como factor de peso la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios. La evaluación probabilista fue realizada a la base de la plataforma CAPRA, la cual evalúa los efectos potenciales de un evento mediante una convolución de la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos. El riesgo se expresa en términos de daños físicos y pérdidas absolutas o relativas, permitiendo el cálculo de la curva de excedencia de la pérdida: pérdidas anuales estimadas y pérdidas máximas probables.

Para la ciudad de Santa Tecla se calcularon los escenarios probabilistas de riesgo sísmico. La pérdida anual esperada, calculada considerando efectos de sitio y se estimó en 5.46 % del valor total expuesto. La figura 173 muestra la distribución espacial de la pérdida anual esperada. Puede notarse que las máximas pérdidas esperadas se concentran en el Centro Histórico, principalmente debido a la presencia de tipologías como adobe y bahareque y estructuras precarias. Las menores pérdidas esperadas se concentran al oeste de la ciudad, coincidiendo con las variaciones de los depósitos de suelo, que produce menor amplificación en la zona. Los resultados muestran las pérdidas máximas concentradas en un porcentaje pequeño de edificaciones, lo cual permite la priorización de posibles intervenciones. Las pérdidas relativas facultan ubicar edificaciones potencialmente más afectadas, y no necesariamente, las mayores pérdidas económicas o de vidas humanas.



Figura 172. Estructuras clasificadas por tipología y número de niveles. Las tipologías se describen en el cuadro 22⁷⁴
Fuente: Kattan, C. Lopez M., Menjivar L. (2017), Seismic Risk Scenarios for the City of Santa Tecla, El Salvador

Cuadro 22. Tipologías estructurales encontradas en el área de estudio

Tipología	Código	Niveles
Marcos de acero con arriostramiento (MACA)	Precódigo, bajo, medio	1, 2-5
Marcos de concreto sin junta de dilatación incluye el caso de marcos de concreto con arriostramiento (MCSJ)	Precódigo, bajo, medio	1, 2-5
Marcos de acero sin arriostramiento (MASA)	Bajo y medio	1, 2-5
Bahareque (B)	bajo	1
Polines (PO)	Bajo y medio	1
Paredes estructurales de concreto reforzado (PCR)	Precódigo, bajo, medio	1, 2-5
Paredes estructurales de mampostería reforzada incluye el caso de paredes de mampostería confinada (PMR)	Precódigo, bajo, medio	1, 2-5
Madera (M)	Bajo y medio	1
Adobe (A)	Bajo y medio	1
Marcos de concreto con junta de dilatación incluye el caso de marcos de concreto sin arriostramiento (MCCJ)	Precódigo, bajo, medio	1, 2-5
Paredes de Mampostería sin refuerzo (PMSR)	Precódigo, bajo, medio	1, 2-5
Prefabricado (PR)	Bajo	1
Estructuras precarias (SP)	Bajo	1

Fuente: Kattan, C. Lopez M., Menjivar L. (2017), Seismic Risk Scenarios for the City of Santa Tecla, El Salvador

⁷³El capítulo se basa en la investigación de Kattan, C. López M., Menjivar L. (2017), Seismic Risk Scenarios for the City of Santa Tecla, El Salvador, Conference Paper - 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, Santiago Chile.

⁷⁴Kattan, C. López M., Menjivar L. (2017), Seismic Risk Scenarios for the City of Santa Tecla, El Salvador, Conference Paper - 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, Santiago Chile.

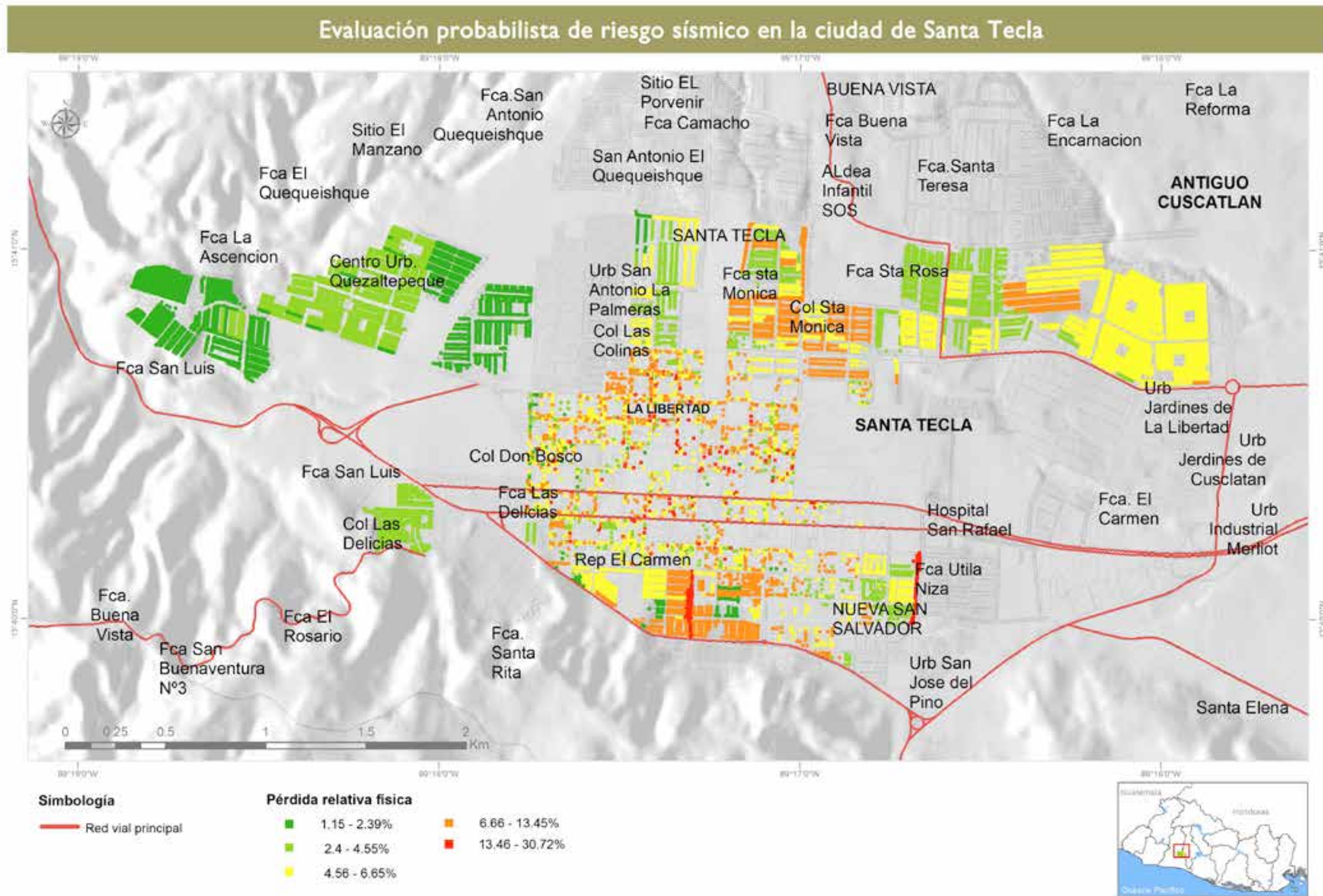


Figura 173. Mapa de evaluación probabilista de riesgo sísmico en la ciudad de Santa Tecla

Fuente: Kattan, C. López M., Menjivar L. (2017), *Seismic Risk Scenarios for the City of Santa Tecla, El Salvador*, Conference Paper - 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, Santiago Chile.

6.2.3 Inundación en cuencas prioritarias y perfil de riesgo por inundaciones⁷⁵

La base de datos histórica indica que en el país se han registrado más de 2,100 eventos de inundación a lo largo de un siglo. De los eventos de inundación registrados entre 1900 y 2012, se encuentra que las causas más comunes son las lluvias (61 % de los eventos históricos), las depresiones tropicales (19 %), los huracanes (10 %) y tormentas tropicales (6 %) y otros (4 %)⁷⁶. Las pérdidas económicas y humanas reportadas varían de un evento a otro, pero la información indica que varios eventos individuales generaron pérdidas económicas de varios millones de dólares, especialmente por el impacto en zonas cultivadas.

Históricamente, en el país se ha presentado un promedio de 48 eventos al año que han dejado pérdidas económicas superiores a USD\$ 20.5 millones en los eventos más críticos. Se estima un valor de pérdida promedio anual por inundaciones de tres millones de dólares, sin incluir, las pérdidas asociadas a escenarios catastróficos o extremos, que superen un periodo de retorno de 50 años. Esta pérdida anual para eventos frecuentes corresponde al 0.2 % del Producto Interno Bruto anual del país para el año 2011 (PIB para El Salvador año 2011 = USD\$ 45.15 mil millones).

En 2015, se realizó una evaluación de riesgo de desastres por inundación en las cuencas Sensunapán y Arenal de Monserrat, aplicando la metodología de análisis probabilista CAPRA. El modelo de riesgo se basa en formulaciones probabilísticas que incorporan el análisis de incertidumbre en la evaluación del riesgo. El modelo, construido a partir de módulos de análisis de la amenaza, exposición, vulnerabilidad y el riesgo, permite cuantificar las pérdidas potenciales. Entre los principales resultados de este análisis, están los valores de Pérdida Anual Esperada (AAL), también conocida como prima técnica de riesgo y la Pérdida Máxima Probable (PML), pérdida asociada a un periodo de retorno muy largo (o alternativamente a una tasa de excedencia muy baja). Ambos parámetros son de especial importancia para establecer una estrategia integral de gestión del riesgo por inundaciones, que incluya actividades de prevención, mitigación, estrategias de manejo y protección financiera, para cubrir la responsabilidad fiscal del Estado y la atención de emergencias, principalmente.

La metodología fue aplicada a la evaluación de las cuencas Sensunapán y Arenal Monserrat, que en su conjunto abarcan alrededor del 13 % del área del país. La cuenca del río Sensunapán (8 % del área total del país), incluye gran cantidad de tierras fértiles y zonas cultivadas expuestas a lo largo de toda la cuenca. En la cuenca del río Arenal Monserrat (5.1 % del área total del país), se ubica más del 24 % de la población total del territorio nacional, atravesando una parte importante de la ciudad de San Salvador, capital y su ciudad más poblada.

Para cada cuenca, se identificaron y evaluaron los tramos o zonas críticas en que pudiesen llegar a presentarse eventos de inundación, en función del nivel de amenaza, grado de vulnerabilidad, potencial de generación de daños materiales y potencial de generación de impactos sociales, y se evaluó el escenario crítico de riesgo en el tramo más desfavorable. Los escenarios críticos de inundación analizados, corresponden a eventos que generan una pérdida económica con un periodo de retorno de 100 años, siendo allí donde se deben concentrar los esfuerzos para la prevención y mitigación en una primera fase de posibles intervenciones para la reducción del riesgo.

6.2.3.1 Cuenca Sensunapán

Cinco tramos o zonas críticas fueron analizadas: (1) río Julupe, desde la comunidad Julupe hasta la confluencia con el río Sensunapán; (2) río Sensunapán, desde la comunidad Tres Ríos hasta la comunidad Paraíso, (3) desde la calle Obispo Marroquín (oficinas del CNR) hasta la confluencia con el río San Antonio o Los Milagros, (4) comunidades de Sensunapán y Vega de la Pradera, (5) lotificación Canales hasta comunidad La Coquera en Acajutla.

El análisis de zonas potencialmente inundables indica que, en esos tramos, se tiene un área aproximada de 0.54 km² bajo riesgo por inundación. En esta área se encuentran aproximadamente 4,000 edificaciones valoradas en unos USD\$ 128 millones con cerca de 24,742 personas expuestas y del orden de 194 hectáreas de cultivos expuestas que se valoran, aproximadamente, en USD\$ 308,000. En este análisis no se incluyeron las centrales hidroeléctricas en la cuenca ni las vías de circulación vehicular. Se obtuvo una pérdida anual esperada en el orden de USD\$ 5.4 millones, lo que representa una pérdida anual de USD\$ 0.54 millones por cada kilómetro de río, y una Pérdida Máxima Probable (PML para 250 años de periodo de retorno) en el orden de los USD\$ 12.3 millones.

En la figura 174 se presenta la pérdida relativa física para los tramos 1 y 2, correspondiente a los ríos Julupe y Sensunapán, donde, como era de esperar, la pérdida relativa física más alta (superior al 54 % y hasta de 100 %), se concentra más cerca del cauce de los ríos, disminuyendo con la distancia desde ambos márgenes. La figura 175 muestra la pérdida relativa física en el tramo 5, que corresponde a la desembocadura del río Sensunapán en Acajutla. En este análisis se destaca que las pérdidas relativas, en su mayoría, son inferiores al 5 % y solamente en una pequeña área denominada lotificación Canales presenta pérdidas del 100 %.

Los escenarios críticos de inundación analizados corresponden a eventos que generan una pérdida económica con un periodo de retorno de 100 años (de la curva de PML). La cuenca Sensunapán es el escenario crítico de riesgo en la zona 3, (que va desde la calle Obispo Marroquín hasta la confluencia con el río San Antonio o Los Milagros), y que corresponde a una lluvia concentrada en la cuenca durante un lapso de un día. Esta condición tiene un periodo de retorno de 50 años y una profundidad de precipitación máxima espacial de 343.92 mm durante el día del evento. Las pérdidas económicas esperadas están en el orden de USD\$ 10 millones en la cuenca, 5,000 personas afectadas, 1,930 predios afectados y 1,154 edificaciones destruidas.

El riesgo por inundación en cultivos es relativamente bajo. Para un valor expuesto aproximado de cultivos en zonas susceptibles a inundación del orden de USD\$ 308,000, se tiene una pérdida anual esperada de aproximadamente USD\$ 8,200 y una pérdida máxima probable de USD\$ 20,000. No es un riesgo significativo en comparación al de las viviendas en las zonas críticas.

Las pérdidas en cultivos, en porcentaje, se muestran en la que define el área afectada entre los ríos San Pedro y Sensunapán, donde predominan cocoteros, cultivos de yuca, maíz y caña de azúcar. Las pérdidas relativas en su mayoría son menores al 31 %, que corresponde principalmente a caña y se identifican pérdidas hasta del 100 % en cultivos de yuca y maíz.

⁷⁵Análisis de Riesgo por Inundación en Cuencas Prioritarias y Perfil de Riesgo de Inundaciones. Resumen Ejecutivo MARN/BID, enero, 2015

⁷⁶DesInventar, 2013



Figura 174. Distribución de pérdida relativa física en los tramos 1 y 2 en la cuenca del río Sensunapán-Julupe
Fuente: Análisis de Riesgo por Inundación en cuencas prioritarias y perfil de riesgo de Inundaciones. MARN/BID, 2015



Figura 176. Distribución de pérdida relativa física en cultivos del tramo cinco del río Sensunapán, zona de Acajutla
Fuente: Análisis de Riesgo por Inundación en cuencas prioritarias y perfil de riesgo de Inundaciones. MARN/BID, 2015



Figura 175. Distribución de pérdida relativa física en el tramo 5 del río Sensunapán, zona de Acajutla
Fuente: Análisis de Riesgo por Inundación en cuencas prioritarias y perfil de riesgo de Inundaciones. MARN/BID, 2015

6.2.3.2 Cuenca Arenal Montserrat

Se analizaron tres tramos o zonas críticas: (1) desde la 25ª avenida sur, comunidad Don Bosco, hasta la calle Modelo del barrio Modelo, incluye la colonia La Málaga; (2) desde el barrio Modelo hasta la bóveda de la 10ª avenida sur, Barrio La Vega y (3) Desde la bóveda de la 10ª avenida sur en el barrio La Vega, hasta el sitio conocido como puente Eureka en el bulevar del Ejército Nacional.

La cuenca del Arenal Montserrat tiene un área de aproximadamente 0.21 km² bajo riesgo por inundación en los tramos analizados, en la que se encuentran alrededor de 2,147 edificaciones valoradas en unos USD\$ 74.5 millones y con cerca de 14,000 personas expuestas. En este análisis no se incluyen las vías de comunicación ni las obras de paso existentes.

El análisis de riesgo indica una pérdida anual esperada de USD\$ 2.1 millones lo que representa una pérdida anual de USD\$ 0.42 millones por cada kilómetro de río, pérdida máxima probable (PML para 250 años de periodo de retorno) de USD\$ 3.4 millones.

El escenario crítico de riesgo por inundación correspondiente a eventos genera una pérdida económica con un periodo de retorno de 100 años (de la curva de PML). Para este escenario crítico de riesgo en la zona o tramo tres, (desde la bóveda de la 10ª avenida sur en el barrio La Vega, hasta el sitio conocido como puente Eureka en el bulevar del Ejército Nacional), corresponde a una lluvia concentrada, en la cuenca durante un día, a un periodo de retorno de 200 años y una profundidad de precipitación máxima espacial de 308.16 mm durante el día del evento. Las pérdidas económicas esperadas serían de USD\$ 3.2 millones en la cuenca; un total esperado de 1,500 personas afectadas, 352 edificaciones afectadas y 51 edificaciones destruidas.

La figura 177 muestra la pérdida relativa física de los tres tramos analizados en el río Arenal Monserrat-Acelhuate. Debido al tipo de materiales de construcción, predominantemente de sistema mixto, las pérdidas relativas físicas máximas se han determinado entre el 45 al 60 % y por la complejidad de los sistemas de drenaje, las mayores pérdidas no necesariamente son las más cercanas al cauce.



Figura 177. Mapa de pérdida relativa física de los tres tramos analizados en el río Arenal de Monserrat-Acelhuate
Fuente: Análisis de Riesgo por Inundación en Cuencas Prioritarias y Perfil de Riesgo de Inundaciones. Resumen Ejecutivo MARN/BID, enero, 2015

6.2.4 Riesgo por tsunamis⁷⁷

La evaluación de riesgo por tsunamis se realizó a partir del mapa de amenaza ante tsunamis (ver 4.2), y de indicadores de exposición y vulnerabilidad de los distintos municipios costeros del país frente a un evento de esta naturaleza. Los resultados obtenidos abarcaron diferentes dimensiones: humana, ambiental, socioeconómica, y de infraestructuras, con el fin de facilitar el establecimiento de medidas de mitigación a escala nacional y local frente a los tsunamis.

La exposición se determinó con la identificación de todos los elementos en el área potencialmente inundable por un gran tsunami, lo que integró: personas, ecosistemas, actividades socioeconómicas, edificaciones y viviendas.

La vulnerabilidad es determinada por factores o procesos físicos, ambientales, sociales, económicos y administrativos, y considera el porcentaje de elementos expuestos que es probable se pierdan debido a la amenaza.

Para la cuantificación de la vulnerabilidad se determinó la sensibilidad, definida como el grado de afección que puede generar la amenaza en los elementos expuestos. La resiliencia, se define como la capacidad de un sistema expuesto a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse del impacto de una manera oportuna y eficiente. El cuadro 23 muestra el conjunto de indicadores utilizados para el cálculo de la exposición y vulnerabilidad en cada una de sus dimensiones.

En la figura 178 se presentan los municipios más vulnerables de acuerdo con todos los elementos antes mencionados. El mapa de riesgo agregado por tsunami a escala nacional (figura 179) muestra, con base en una escala de colores, el nivel de riesgo asociado a la combinación de la peligrosidad y la vulnerabilidad. De esta manera es posible identificar los puntos críticos más importantes considerados como de alto riesgo: el municipio de Acajutla, en Sonsonate; el estero de Jaltepeque; y la bahía de Jiquilisco.

La tabla mostrada en la figura 179 es el reflejo de un enfoque heurístico basado en índices, que permite estimar el riesgo a través de la combinación de factores. A manera de ejemplo, un riesgo muy bajo (1) es una combinación de una muy baja peligrosidad y una muy baja vulnerabilidad. De igual manera, un riesgo alto puede ser el resultado de una combinación de una peligrosidad media y de una vulnerabilidad muy alta.

6.2.4.1 Riesgo por tsunami en zonas críticas

Del análisis a escala nacional, se ha determinado que los sitios con mayor riesgo ante tsunamis son la planicie costera occidental, la zona paracentral del Puerto de La Libertad, el estero de Jaltepeque y la bahía de Jiquilisco, por lo que en esas zonas, se hicieron análisis en detalle para establecer tiempos y vías de evacuación. El estero de Jaltepeque aún no se ha analizado por falta de una batimetría de detalle.

A escala local, en el mapa de riesgo de la planicie costera occidental (figura 180), se evidencia como puntos críticos el estero de Garita Palmera, la playa de Barra de Santiago, Metalío y un pequeño sector del municipio de Acajutla (desembocadura del río Sensunapán). En estas zonas, habitan 7,083 personas que están en riesgo muy alto, dos centros de salud, cinco centros escolares, infraestructura de distribución de agua y pequeños hoteles.

En la zona de La Libertad (figura 181) los puntos críticos son la playa Conchalío, un sector del Puerto de La Libertad, playa El Obispo, el estero Ticuiziapa, y la playa y el estero San Diego. En estos lugares de alto riesgo viven 3,155 personas; se identificó infraestructura de abastecimiento de agua, estaciones de combustible, iglesias, centros comerciales y de ocio, y hoteles. Es importante considerar que las playas de La Libertad son el principal objetivo turístico en lo nacional, donde, según datos del Ministerio de Turismo (MITUR, 2011), se desplazan anualmente más de medio millón de personas.

En cuanto a la zona de la bahía de Jiquilisco (figura 182), los puntos críticos son los cantones de la península San Juan del Gozo: isla de Méndez, Ceiba Doblada, Corral de Mulas I y II y El Tular. En estos lugares de alto riesgo habitan 2,725 personas y la infraestructura identificada incluye una escuela, iglesias y dos hoteles.

Por último, es importante destacar que el grado de intervención en la península San Juan del Gozo es bajo. Sin embargo, se incrementa el número de infraestructura de la zona, así como de las actividades económicas, los niveles de riesgo de los sectores (niveles de riesgo bajo y medio), pasarían a ser de riesgo muy alto.

⁷⁷Evaluación del riesgo por tsunami en la costa de El Salvador, fase II: vulnerabilidad y riesgo, Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), 2012

Cuadro 23. Indicadores de exposición y vulnerabilidad. N= Nacional, L=Local

		Índices	Indicadores	Variables	Escala espacial	
Exposición		Exposición Humana (IEH)	EHI Población expuesta	Población permanente expuesta	N-L	
				Población temporal expuesta	N-L	
		Exposición Ambiental (IEA)	EAI Ecosistemas expuestos	Ecosistemas expuestos	N-L	
		Exposición Socioeconómica (IES)	ESI Actividades socioeconómicas expuestas	Actividades socioeconómicas expuestas	N-L	
VULNERABILIDAD	Sensibilidad	Exposición de Infraestructuras (IEI)	EII Infraestructuras expuestas	Infraestructuras expuestas	N-L	
			EI2 Edificaciones expuestas	Edificaciones expuestas	L	
		Sensibilidad Humana (ISH)		SH1 Grupos de edad sensibles	Personas menores de 10 años	N-L
				SH2 Analfabetismo	Personas mayores de 65 años	N-L
				SH3 Pobreza	Personas analfabetas	N-L
				SH4 Capacidades especiales	Personas en pobreza extrema	N-L
	SH5 Aislamiento			Personas con limitación física y/o mental	L	
	SH6 Evacuación crítica			Personas aisladas	L	
	Sensibilidad Ambiental (ISA)		SA1 Protección	Personas en edificaciones críticas	L	
			SA2 Singularidad	Ecosistemas protegidos	N-L	
			SA3 Amenaza	Ecosistemas singulares	N-L	
			SA4 Alteración	Ecosistemas amenazados	N-L	
	Sensibilidad Socioeconómica (ISS)		SS1 Generación de empleo	Ecosistemas alterados	L	
			SS2 Aportación al PIB	Generación de empleo	N-L	
			SS3 Aportación al comercio exterior	Aportación al PIB	N-L	
	Sensibilidad de Infraestructuras (ISI)		SII Infraestructuras sensibles	Aportación al comercio exterior	N-L	
				Infraestructura de abastecimiento de agua	N-L	
				Infraestructura de transporte	N-L	
				Infraestructuras peligrosas	N-L	
	Resiliencia	Resiliencia (IR)		Infraestructura de emergencia	N-L	
SI2 Edificaciones críticas				Edificaciones críticas	L	
SI3 Evacuación vertical				Edificaciones con menos de tres pisos	L	
SI4 Materiales				Edificaciones materiales no resistentes	L	
IR1 Capacidad de respuesta				Información y concienciación	N-L	
IR2 Capacidad de recuperación				Alerta y evacuación	N-L	
			Respuesta de emergencia	N-L		
			Recuperación Postdesastre	N-L		

Fuente: Evaluación del riesgo por tsunami en la costa de El Salvador, fase II: vulnerabilidad y riesgo, Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), 2012

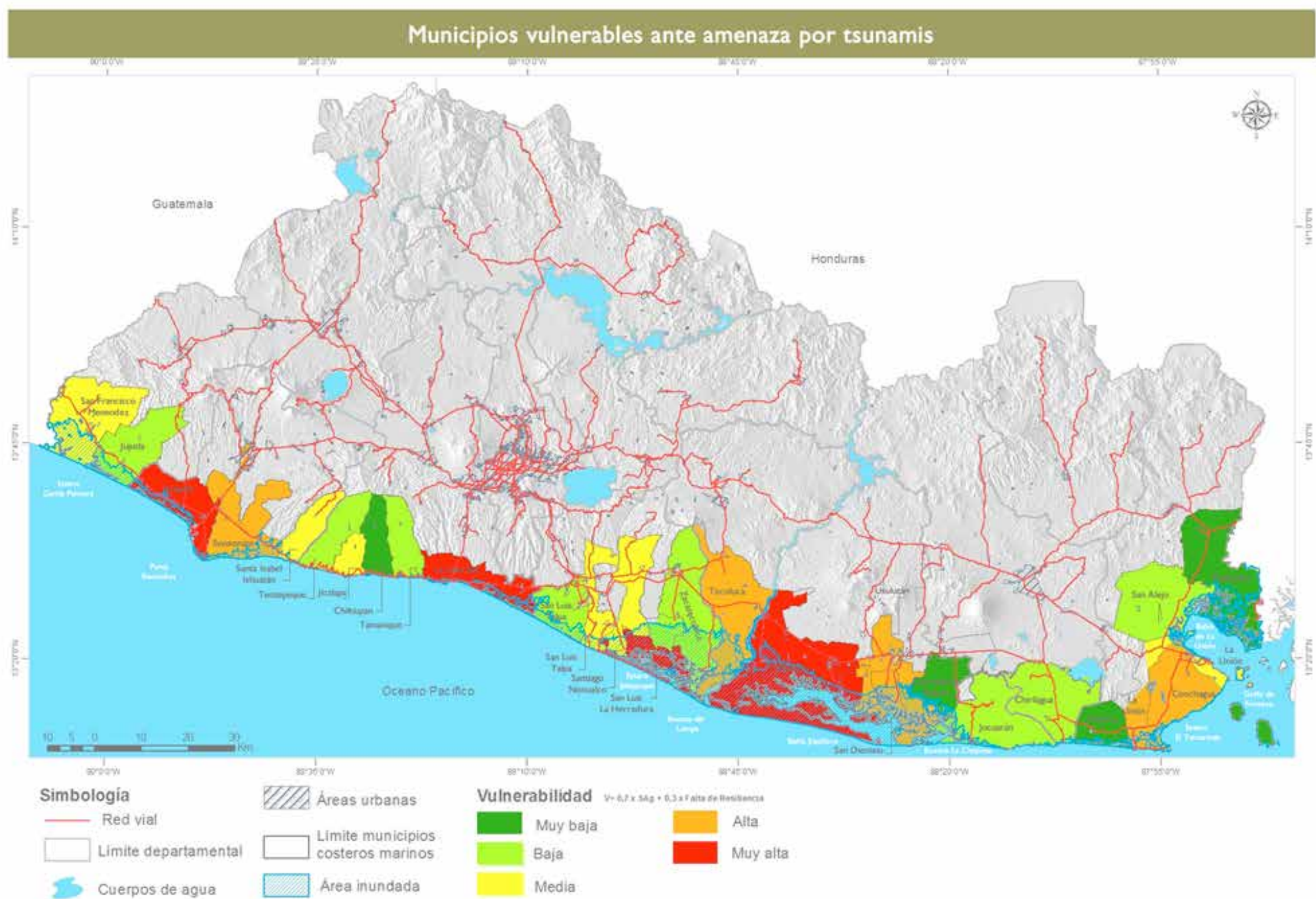


Figura 178. Mapa de municipios vulnerables ante amenaza por tsunamis en El Salvador

Fuente: Mapa de evaluación del riesgo por tsunami en la costa de El Salvador; fase II: vulnerabilidad y riesgo, Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), 2012

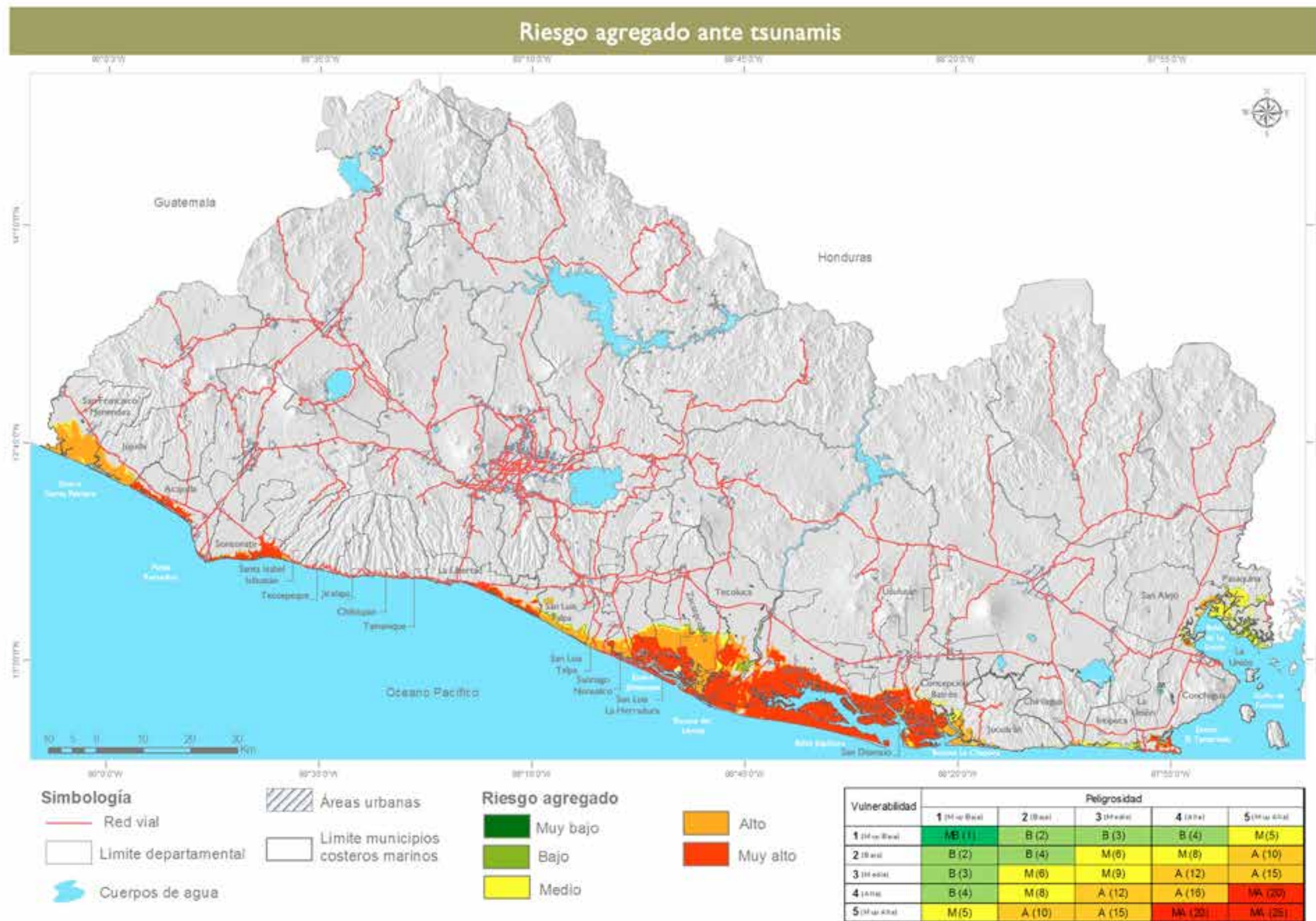


Figura 179. Mapa de riesgo agregado ante tsunamis. MARN 2012

Fuente: Mapa de evaluación del riesgo por tsunami en la costa de El Salvador; fase II: vulnerabilidad y riesgo, Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), 2012

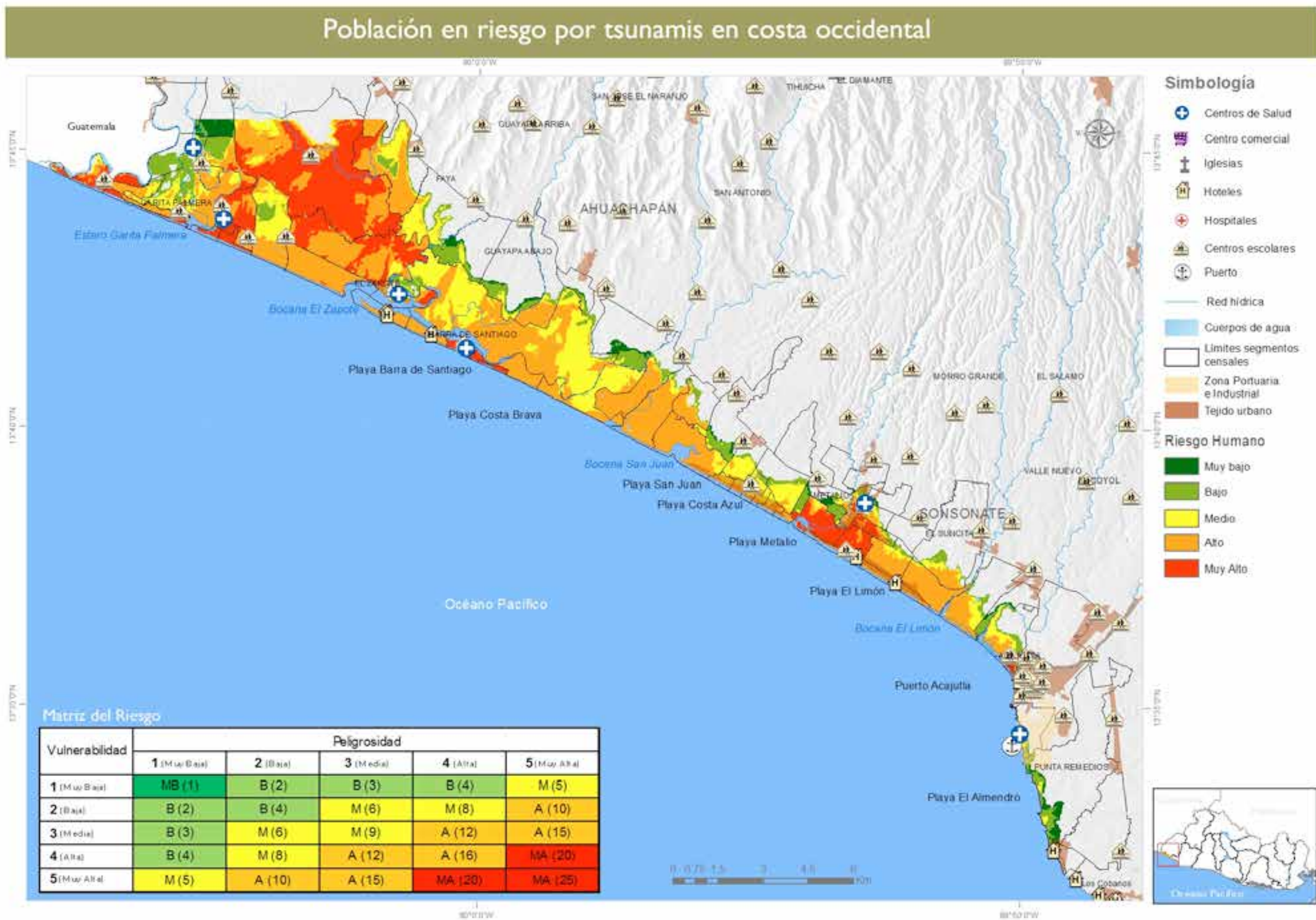


Figura 180. Mapa de población en riesgo por tsunamis en costa occidental
 Fuente: Mapa de evaluación del riesgo por tsunami en la costa de El Salvador, fase II: vulnerabilidad y riesgo, Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), 2012

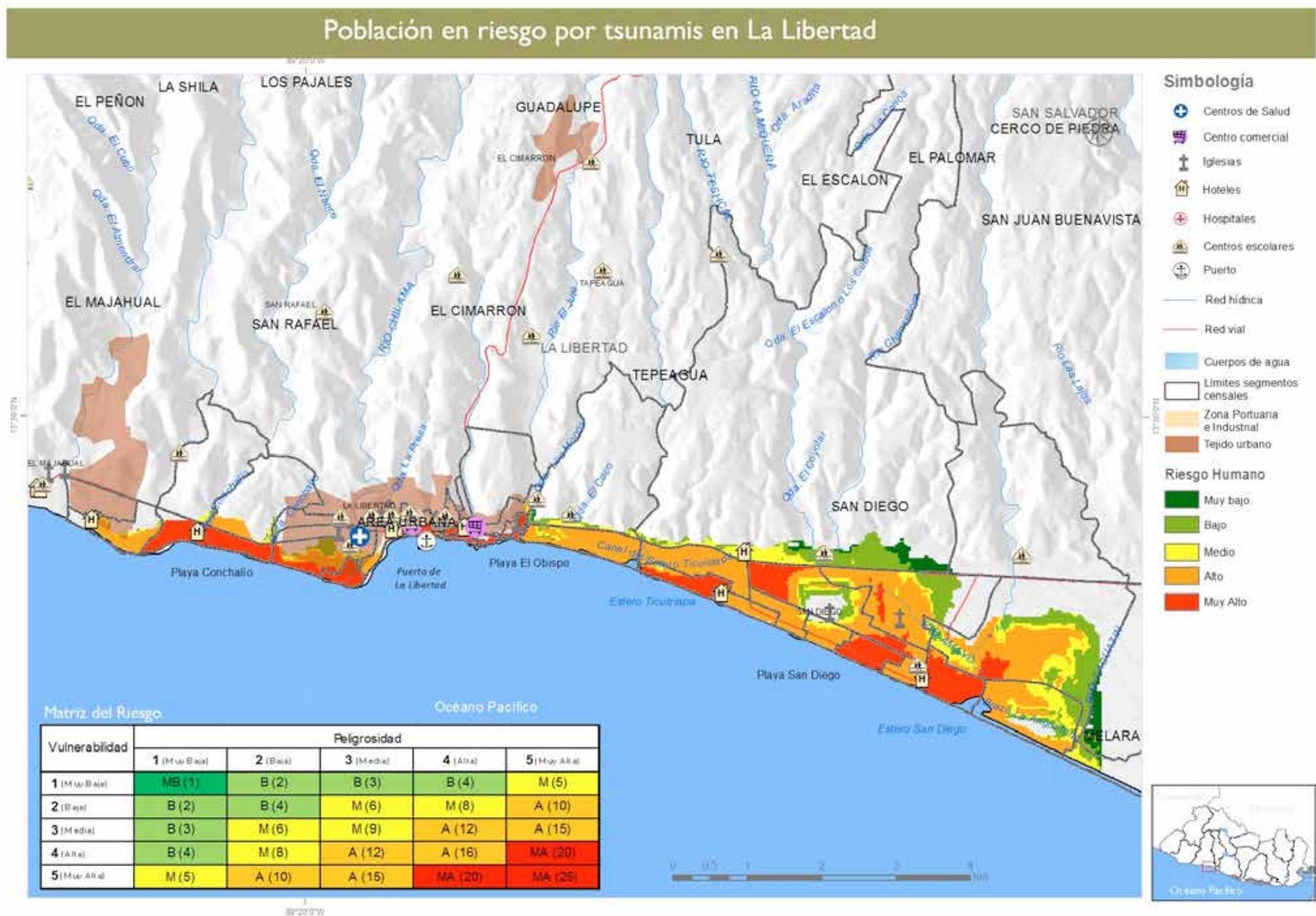


Figura 181. Mapa de población en riesgo por tsunamis en La Libertad

Fuente: Mapa de evaluación del riesgo por tsunami en la costa de El Salvador, fase II: vulnerabilidad y riesgo, Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), 2012

Población en riesgo por tsunamis en bahía de Jiquilisco

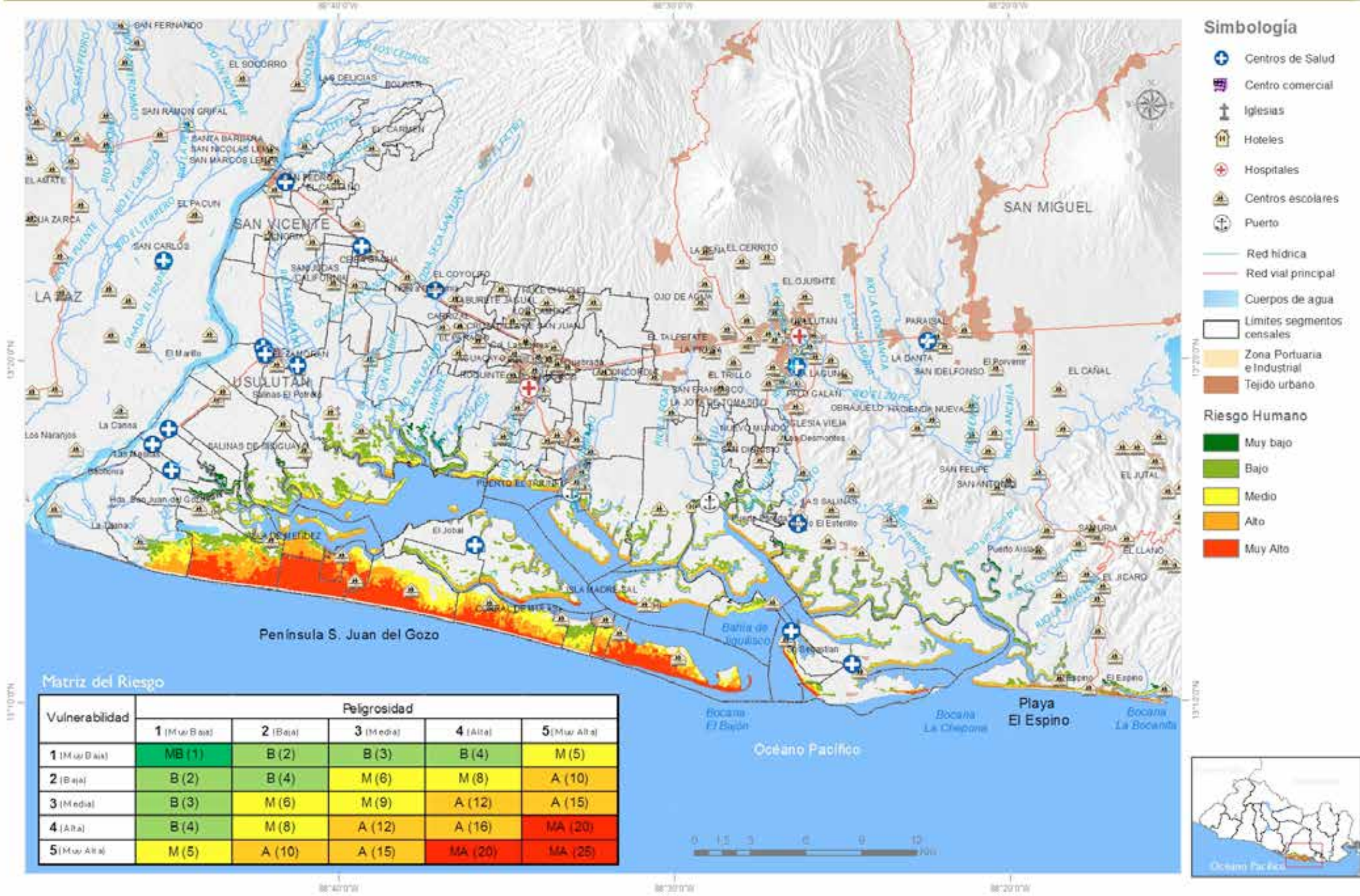


Figura 182. Mapa de población en riesgo por tsunamis en bahía de Jiquilisco
 Fuente: Mapa de evaluación del riesgo por tsunami en la costa de El Salvador, fase II: vulnerabilidad y riesgo, Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), 2012

6.3 Riesgo en infraestructura de prioridad estratégica⁷⁸

En el 2016, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) impulsó, con el apoyo de la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN por sus siglas en inglés), y de los ministerios de Educación, Salud, Obras Públicas, la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANANDA) y ETESAL, un análisis de riesgo de líneas vitales e infraestructura de prioridad estratégica.

La infraestructura de prioridad estratégica es considerada como aquella de mayor importancia para el país durante y después de un desastre; siendo prioritaria en la atención a la emergencia para la recuperación, y cuya permanencia es vital para la continuidad de la actividad económica y social, así como para minimizar los impactos socioeconómicos secundarios producto de los desastres. Dentro de esta se incluye vías de comunicación y transporte (red vial principal y secundaria), transmisión eléctrica, infraestructura de potabilización y distribución de agua, y servicios de salud, educación y gobierno.

Este estudio representa un paso inicial para mejorar la evaluación y, finalmente, la gestión de los riesgos de amenazas naturales para la infraestructura importante en El Salvador. Los mejores datos disponibles fueron recopilados en un marco que permite una comparación de los riesgos de diferentes amenazas, tales como: sismos, tsunamis, inundaciones, erupciones volcánicas y deslizamientos, y los niveles relativos de riesgo, para los diferentes tipos de infraestructura. El enfoque analítico se basa sobre un inventario espacial (Sistema de Información Geográfica - SIG) de infraestructura, que incluye estimados de sus valores de reposición, y combina estos valores con un conjunto de escenarios de las amenazas e información relacionada, que abarca la probabilidad de ocurrencia de los distintos escenarios en los sitios de ubicación de la infraestructura definida.

Las limitaciones de los datos implica que los estimados de los riesgos para las instalaciones específicas pueden ser algo inciertas, y por eso el usuario debe enfocarse en examinar los patrones nacionales que sean robustos ante los diferentes supuestos. Con base en la información disponible, se han asignado valores típicos de estudios, tanto internacionales como desarrollados en El Salvador, para las variables clave, en el análisis tales como las funciones de vulnerabilidad ante distintas amenazas.

Para cada tipo de amenaza, se desarrolló un conjunto de escenarios que permiten representar una gran gama de los eventos que pueden causar daños a la infraestructura. Cada escenario de amenaza se representa por una capa poligonal o rasterizada de SIG que, al superponerse a las ubicaciones de la infraestructura, define para cada elemento de la infraestructura, la intensidad de la amenaza y la probabilidad de que esta infraestructura experimente esa intensidad de amenaza.

Para poder realizar comparaciones entre las distintas amenazas, además de la definición de la medida de intensidad (aceleraciones espectrales en el caso de sismos, altura de inundación por tsunamis, profundidad de caída de ceniza, entre otras), es necesario poder establecer períodos de retorno de las mismas. Para algunas amenazas, como el caso de sismos, la información ya está disponible (ver 4.1), mientras que, para otras, como inundaciones y deslizamientos, la probabilidad de ocurrencia de los eventos debió ser determinada a partir de datos históricos y criterio de experto.

Para estimar los niveles promedio de daños a tipo de instalaciones para los diferentes niveles de intensidad de las amenazas, se creó un conjunto de funciones de daños o funciones de vulnerabilidad (ver 5.2). Dado que para el

análisis solamente se disponía de información sobre el tipo y la ubicación de la infraestructura, fue necesario definir funciones de vulnerabilidad genéricas para diferentes tipologías y ante diferentes amenazas, utilizando información de estudios previos, tales como investigaciones de riesgo sísmico realizados para el Área Metropolitana de San Salvador (ver 6.2), como información proveniente de bibliotecas internacionales, como el HAZUS-MH (ver 5.1).

La información sobre la infraestructura y las amenazas, combinada con las relaciones de intensidad de los daños o funciones de vulnerabilidad por amenazas, permitió estimar la Pérdida Anual Esperada (AAL por sus siglas en inglés) para cada componente de infraestructura y cada tipo de amenaza. La AAL fue elegida como una sola medida del riesgo, ya que permite comparaciones entre todos los tipos de amenazas y de infraestructura, siendo una manera de captar la pérdida prevista, a largo plazo, por los acontecimientos con diferentes probabilidades y niveles de daños.

Esta base de datos de los estimados de AAL generados por el análisis, podrán combinarse de diferente manera a fin de examinar el nivel de riesgo general, cómo se divide ese riesgo entre las amenazas o cuáles componentes de la infraestructura (hospitales, subestaciones eléctricas, etc.) tienen más exposición al riesgo, y cómo se distribuye el riesgo por diferentes partes del país. Las figuras 183 a la 185 muestran la pérdida anual esperada (AAL) considerando todas las amenazas para los sectores de educación, salud y obra vial respectivamente. La figura 186 presenta la pérdida anual esperada para todos los sectores (educación, salud, obra vial, energía, agua y saneamiento).

Para el sector salud, la amenaza crítica es la amenaza sísmica, ya que contribuye en un 74% al total de la pérdida anual esperada. Para el sector educación, las amenazas que más afectan son los sismos, en un 62%, seguidos por inundaciones con un 23%. La obra vial también se ve afectada principalmente por inundaciones y sismos, con un 33% de la pérdida anual esperada asociada a cada una de ellas. La obra vial considera tanto carreteras como puentes, por lo que el incremento de la contribución a la pérdida esperada por inundaciones al total de la pérdida anual esperada, resulta lógica dada su ubicación. Para el caso de los puentes, las inundaciones representan el 47% de la pérdida anual esperada.

Otra forma de visualizar el riesgo es analizando cuáles sectores son más afectados ante cada una de las amenazas, información que puede ser útil para la toma de decisiones ante la posible ocurrencia de un fenómeno determinado (figura 186). Puede observarse que el sector educativo es el más afectado por sismos e inundaciones, contribuyendo en un 51% y 48% respectivamente. Para el caso de deslizamientos, el sector más afectado es el de obra vial, representando un 54% del total de la pérdida anual esperada por esa amenaza.

Al analizar la totalidad de los sectores y de las amenazas, se puede identificar que la amenaza más crítica es la amenaza sísmica, con un 59% del total de pérdida anual esperada, seguida por la amenaza por inundación con un 17%. Los sectores más afectados son, el educativo, que contribuye en un 45% al total de la pérdida anual esperada, seguido de obra vial (carreteras y puentes) con un 28% y salud pública con un 16%.

De acuerdo con los resultados, se vuelve prioritaria la realización de estudios de mayor detalle para las amenazas, portafolios y activos que, mayor peso tienen en el nivel de riesgo del país, pero más que eso, se vuelve prioritario el establecimiento de medidas que permitan reducir los riesgos presentes y futuros. Estas medidas estarían enfocadas en salvaguardar vidas y garantizar la respuesta y recuperación del país ante la materialización de una amenaza, minimizando tanto los impactos directos y como los impactos socioeconómicos asociados.

⁷⁸El subcapítulo está basado, con algunos modificadores, en la investigación de Webb, T., Sorto, M. y Grande, L. (2016). Proyecto fortalecimiento institucional, Integración de factores climáticos en EIA y la vulnerabilidad climática en El Salvador (CDKN Project Reference: AALA-0010). Informe de investigación sobre la evaluación del riesgo en infraestructura crítica de El Salvador. Preparado por ESSA Technologies Ltd. y WESA BluMetric Environmental para la Alianza Clima y Desarrollo y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Los cambios incluyen una mejora en la ubicación de los sectores y revisión de los parámetros de intensidad por inundaciones.



Figura 183. Mapa de pérdida anual esperada para el sector educación considerando todas las amenazas
 Fuente: El subcapítulo está basado, con algunos modificadores, en la investigación de Webb, T., Sorto, M. y Grande, L. (2016). Proyecto fortalecimiento institucional, Integración de factores climáticos en EIA y la vulnerabilidad climática en El Salvador (CDKN Project Reference: AALA-0010). Informe de investigación sobre la evaluación del riesgo en infraestructura crítica de El Salvador. Preparado por ESSA Technologies Ltd. y WESA BluMetric Environmental para la Alianza Clima y Desarrollo y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Los cambios incluyen una mejora en la ubicación de los sectores y revisión de los parámetros de intensidad por inundaciones.

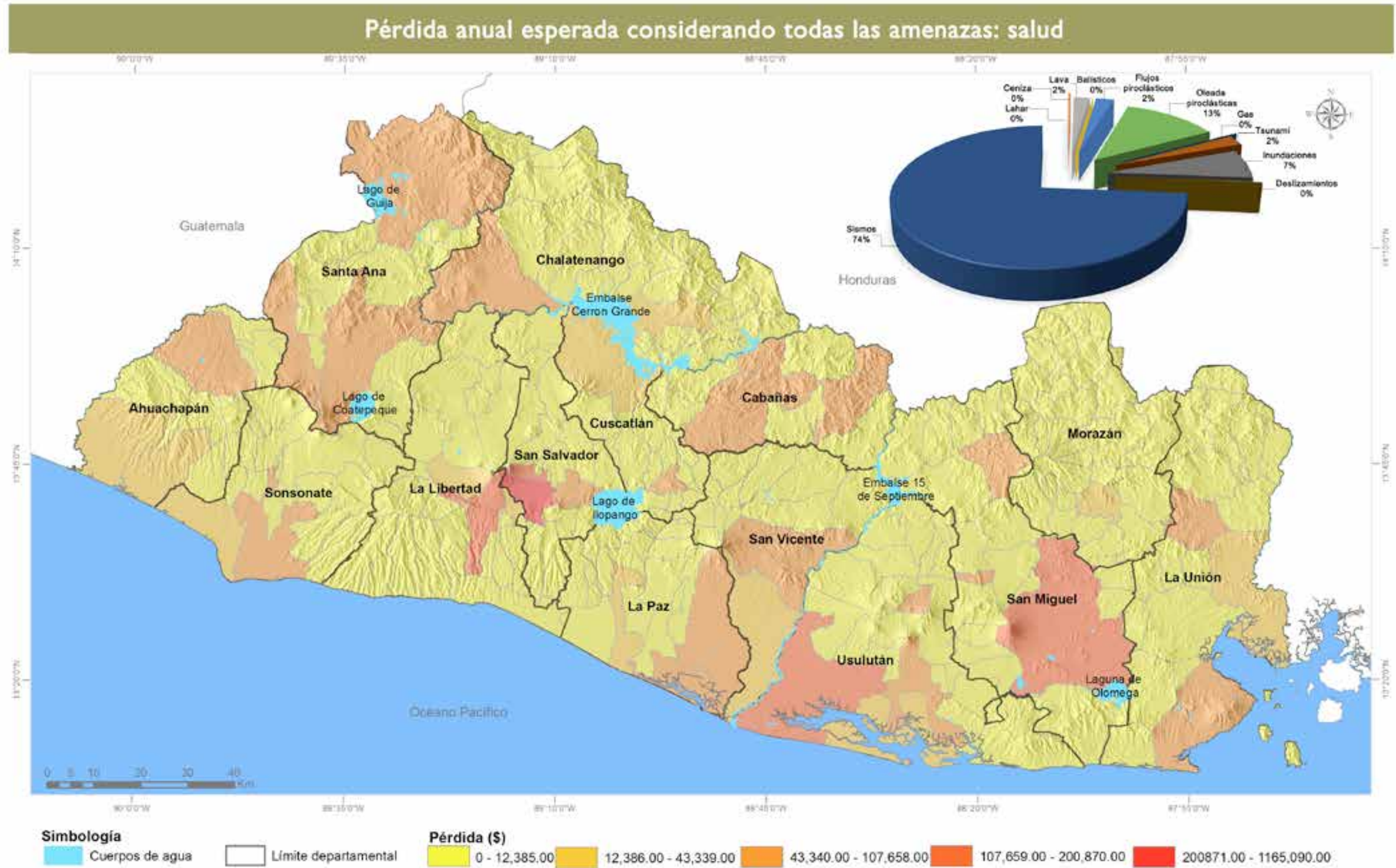


Figura 184. Mapa de pérdida anual esperada para el sector salud considerando todas las amenazas

Fuente: El subcapítulo está basado, con algunos modificadores, en la investigación de Webb, T., Sorto, M. y Grande, L. (2016). Proyecto fortalecimiento institucional, Integración de factores climáticos en EIA y la vulnerabilidad climática en El Salvador (CDKN Project Reference: AALA-0010). Informe de investigación sobre la evaluación del riesgo en infraestructura crítica de El Salvador. Preparado por ESSA Technologies Ltd. y WESA BluMetric Environmental para la Alianza Clima y Desarrollo y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Los cambios incluyen una mejora en la ubicación de los sectores y revisión de los parámetros de intensidad por inundaciones.

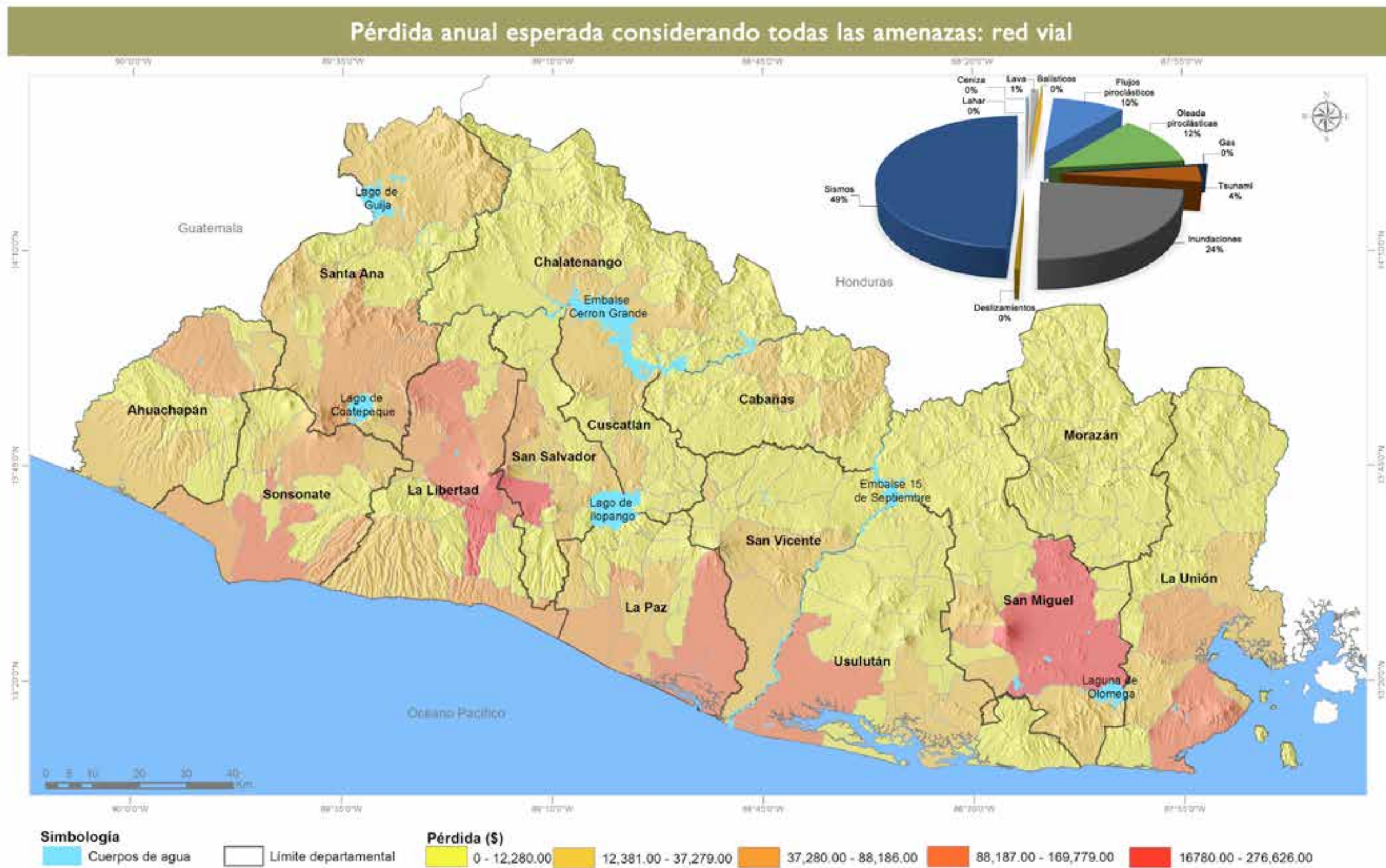


Figura 185. Mapa de pérdida anual esperada para la red vial considerando todas las amenazas
 Fuente: El subcapítulo está basado, con algunos modificadores, en la investigación de Webb, T., Sorto, M. y Grande, L. (2016). Proyecto fortalecimiento institucional, Integración de factores climáticos en EIA y la vulnerabilidad climática en El Salvador (CDKN Project Reference: AALA-0010). Informe de investigación sobre la evaluación del riesgo en infraestructura crítica de El Salvador. Preparado por ESSA Technologies Ltd. y WESA BluMetric Environmental para la Alianza Clima y Desarrollo y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Los cambios incluyen una mejora en la ubicación de los sectores y revisión de los parámetros de intensidad por inundaciones.

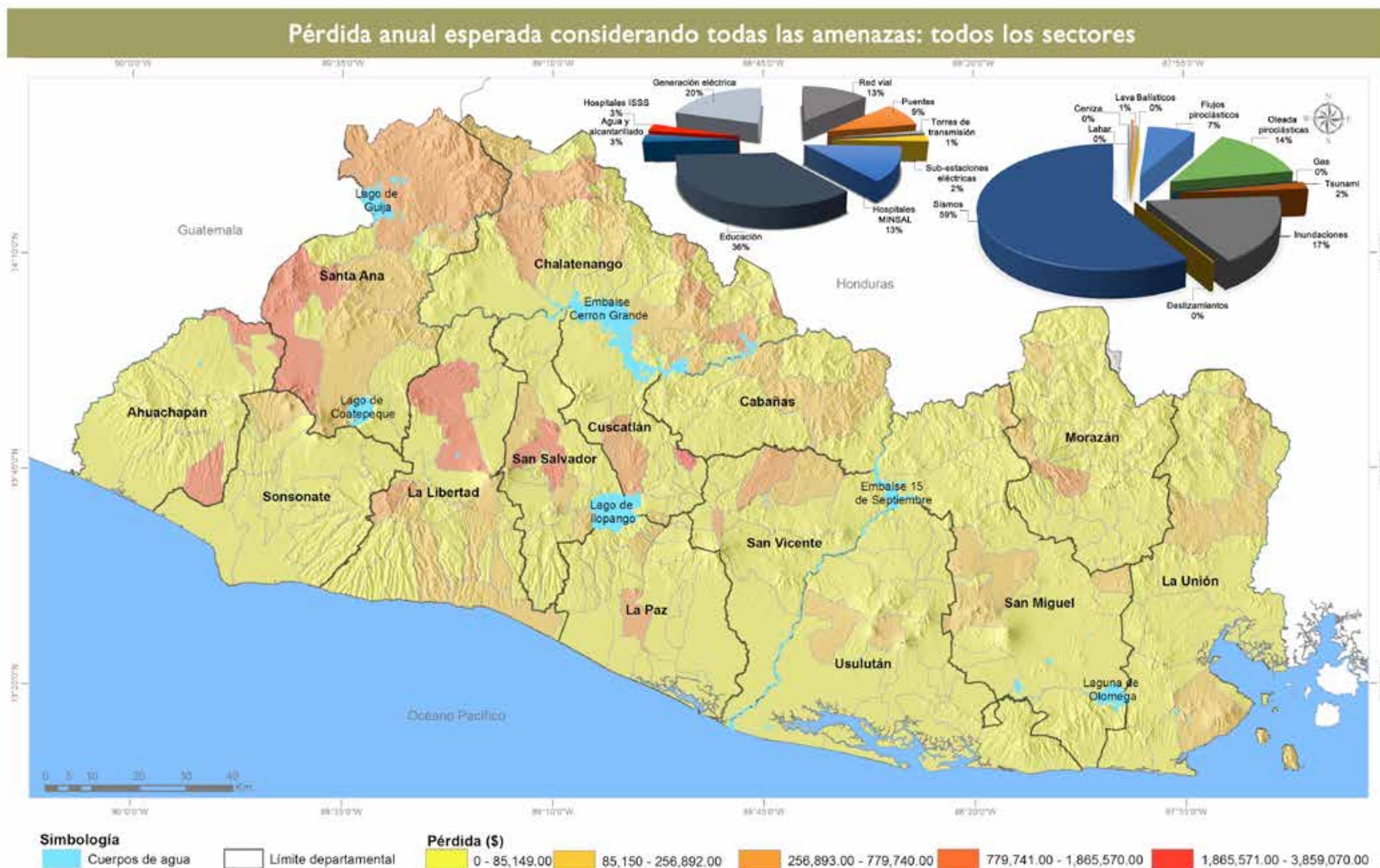


Figura 186. Mapa de pérdida anual esperada para todos los sectores y todas las amenazas
 Fuente: El subcapítulo está basado, con algunos modificadores, en la investigación de Webb, T., Sorto, M. y Grande, L. (2016). Proyecto fortalecimiento institucional, Integración de factores climáticos en EIA y la vulnerabilidad climática en El Salvador (CDKN Project Reference: AALA-0010). Informe de investigación sobre la evaluación del riesgo en infraestructura crítica de El Salvador. Preparado por ESSA Technologies Ltd. y WESA BluMetric Environmental para la Alianza Clima y Desarrollo y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Los cambios incluyen una mejora en la ubicación de los sectores y revisión de los parámetros de intensidad por inundaciones.

Sectores más afectados por las principales amenazas

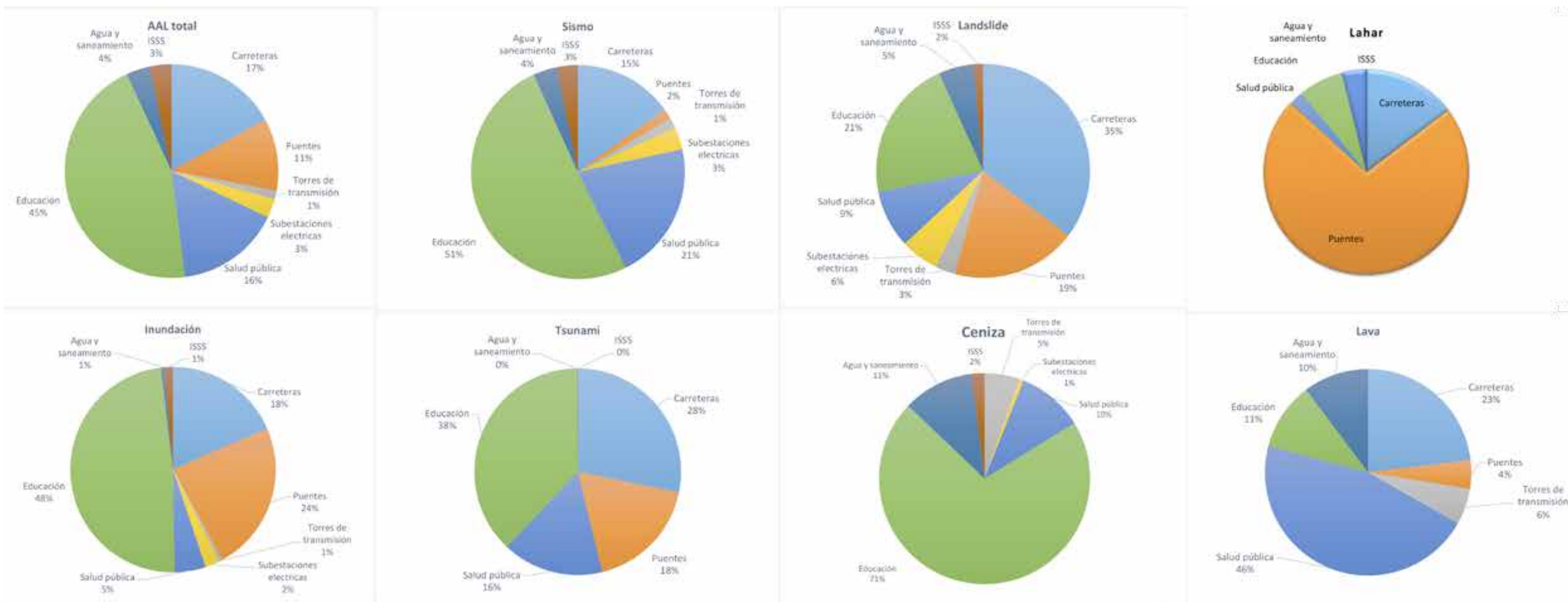


Figura 186. Sectores más afectados por las principales amenazas

Fuente: El subcapítulo está basado, con algunos modificadores, en la investigación de Webb, T., Sorto, M. y Grande, L. (2016). Proyecto fortalecimiento institucional, Integración de factores climáticos en EIA y la vulnerabilidad climática en El Salvador (CDKN Project Reference: AALA-0010). Informe de investigación sobre la evaluación del riesgo en infraestructura crítica de El Salvador. Preparado por ESSA Technologies Ltd. y WESA BluMetric Environmental para la Alianza Clima y Desarrollo y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Los cambios incluyen una mejora en la ubicación de los sectores y revisión de los parámetros de intensidad por inundaciones.

7. Indicadores de riesgo de desastre y de gestión del riesgo ⁷⁹

Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades

Indicadores de riesgo

7.1 Elementos generales

El sistema de indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgo tiene tres objetivos específicos: i) mejorar el uso y la presentación de información sobre riesgos, con el fin de ayudar a los responsables de formular políticas públicas a identificar las prioridades de inversión en prevención de riesgos y dirigir el proceso de recuperación después de un desastre; ii) suministrarles los medios necesarios para que puedan medir los elementos fundamentales de la vulnerabilidad de sus países ante los desastres de origen natural y su capacidad de gestión de riesgos, así como los parámetros comparativos para evaluar los efectos de sus políticas e inversiones en el desempeño de la gestión del riesgo de desastres; y iii) fomentar el intercambio de información técnica para la formulación de políticas y programas de gestión de riesgos en la región.

El Sistema de Indicadores permite la comparación de las evaluaciones para cada país en diferentes periodos. Esto facilita el moverse hacia un enfoque orientado a datos más analíticos y rigurosos para la toma de decisiones en gestión de riesgos. Este sistema de indicadores representa el riesgo a escala nacional, facilitan la identificación de aspectos esenciales que lo caracterizan, desde una perspectiva económica y social, y valorar el desempeño de la gestión del riesgo en los diferentes países estudiados, con el fin de establecer objetivos de desempeño que mejoren la efectividad de la gestión.

El sistema tiene cuatro índices compuestos y refleja los principales elementos que representan la vulnerabilidad y el desempeño de cada país en materia de gestión de riesgos de la siguiente manera:

1. El Índice de Déficit por Desastre (IDD) refleja el riesgo del país en términos macroeconómicos y financieros ante eventos catastróficos probables, para lo cual es necesario estimar la situación de impacto más crítica en un tiempo de exposición, definido como referente, y la capacidad financiera del país para hacer frente a esa situación.
2. El Índice de Desastres Locales (IDL) captura la problemática de riesgo social y ambiental que se deriva de los eventos frecuentes menores que afectan de manera crónica el ámbito local y subnacional, afectan en particular a los estratos socioeconómicos más frágiles de la población y generan un efecto altamente perjudicial para el desarrollo del país.
3. El Índice de Vulnerabilidad Prevalente (IVP) está constituido por una serie de indicadores que caracterizan las condiciones prevalentes de vulnerabilidad del país en términos de exposición en áreas propensas, fragilidad socioeconómica y falta de resiliencia en general.
4. El Índice de Gestión de Riesgo (IGR) corresponde a un conjunto de indicadores relacionados con el desempeño de la gestión de riesgos del país, que reflejan su organización, capacidad, desarrollo y acción institucional para reducir la vulnerabilidad, las pérdidas, prepararse para responder en caso de crisis y de recuperarse con eficiencia.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados de la aplicación del Sistema de Indicadores para El Salvador en el período de 2001-2011 o hasta donde la información lo permite. Estos resultados son de utilidad para analizar la evolución del riesgo y de la gestión de riesgos en el país, con base en la información suministrada por diferentes instituciones nacionales.

7.2 Estimación de los índices

7.2.1 Índice de Déficit por Desastre (IDD)

El IDD se relaciona con la pérdida económica que el país analizado podría sufrir cuando se enfrenta a la ocurrencia de un evento catastrófico y sus implicaciones en cuanto a los recursos que se requieren para atender la situación. El IDD corresponde a la relación entre la demanda de fondos económicos contingentes o pérdida económica que debe asumir el sector público como resultado de la responsabilidad fiscal a causa de un Evento Máximo Considerado (EMC) y la Resiliencia Económica (RE) de ese sector.

Las pérdidas causadas por el EMC se calculan mediante un modelo que tiene en cuenta, por una parte, diferentes amenazas naturales, que se calculan en forma probabilista de acuerdo con el registro histórico de las intensidades de los fenómenos que las caracterizan y, por otra parte, la vulnerabilidad física actual que presentan los elementos expuestos ante esos fenómenos. La RE se obtiene de estimar los posibles fondos internos o externos que el gobierno, como responsable de la recuperación o propietario de los bienes afectados, puede acceder en el momento de la evaluación.

Un IDD mayor que 1.0 significa incapacidad económica del país para hacer frente a desastres extremos, aún cuando aumente al máximo su deuda. A mayor IDD mayor es el déficit. En el cuadro 24 se presenta el IDD en los últimos lustros, para el Evento Máximo Considerado (EMC) con periodos de retorno de 50, 100 y 500 años.

Cuadro 24. IDD para diferentes periodos de retorno

IDD	2000	2005	2010	2012
IDD 50	0.55	0.61	0.22	0.27
IDD 100	1.45	1.59	0.59	0.74
IDD 500	2.24	2.40	1.02	1.25

Fuente: elaboración propia a partir de datos del BID

Para los eventos extremos máximos en 500 años de periodo de retorno para todos los años evaluados y de 100⁸⁰ años de periodo de retorno para 2000 y 2005, el IDD es superior a 1.0, lo que indica que el país no tendría recursos suficientes, por transferencia o financiación, factible para afrontar las pérdidas y realizar la reposición de los recursos de capital afectado. Para los eventos extremos máximo en 50⁸¹ años de periodo de retorno para todos los años evaluados y para 100 años de periodo de retorno para 2010 y 2012, el IDD es menor a 1.0, lo que indica que el país podría tener recursos propios suficientes para afrontar las posibles pérdidas. Se puede observar que el valor del IDD disminuyó de 2000 a 2010 pero presentó un aumento en 2012 en todos los periodos de retorno.

Además del IDD, también se calcula, de forma complementaria, el IDD'GC (Cuadro 2), que ilustra qué porción de los gastos de capital (GC) del país corresponde a la pérdida anual esperada o prima pura de riesgo. Es decir, qué porcentaje del presupuesto de inversión equivaldría al pago anual promedio por desastres futuros (IDEA, 2005)⁸², (Cardona, 2005)⁸³.

Cuadro 25. IDD' con respecto a gastos de capital

IDD'	2000	2005	2010	2012
IDDGC	6.67%	5.11%	3.71%	3.54%

Fuente: elaboración propia a partir de datos del BID

⁷⁹Este capítulo es un resumen de la investigación realizada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en su informe elaborado en 2015, *Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos*. Todos los datos fueron recabados, analizados e interpretados bajo su total responsabilidad.

⁸⁰Eventos que pueden ocurrir en cualquier momento y que tienen una probabilidad del 2 y 10 % de presentarse en un lapso de 10 años.

⁸¹Eventos que pueden ocurrir en cualquier momento y que tienen una probabilidad del 18 % de presentarse en un lapso de 10 años.

⁸²IDEA – Instituto de Estudios Ambientales (2005). *Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos: Informe Técnico Principal*, edición en español e inglés, ISBN: 978-95844-0220-2, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Disponible en: <http://idea.unalmz.edu.co>

⁸³Cardona (2005). "Sistema de Indicadores para la Gestión del Riesgo de Desastres: Informe Técnico Principal". Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos BID-IDEA, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://idea.unalmz.edu.co>

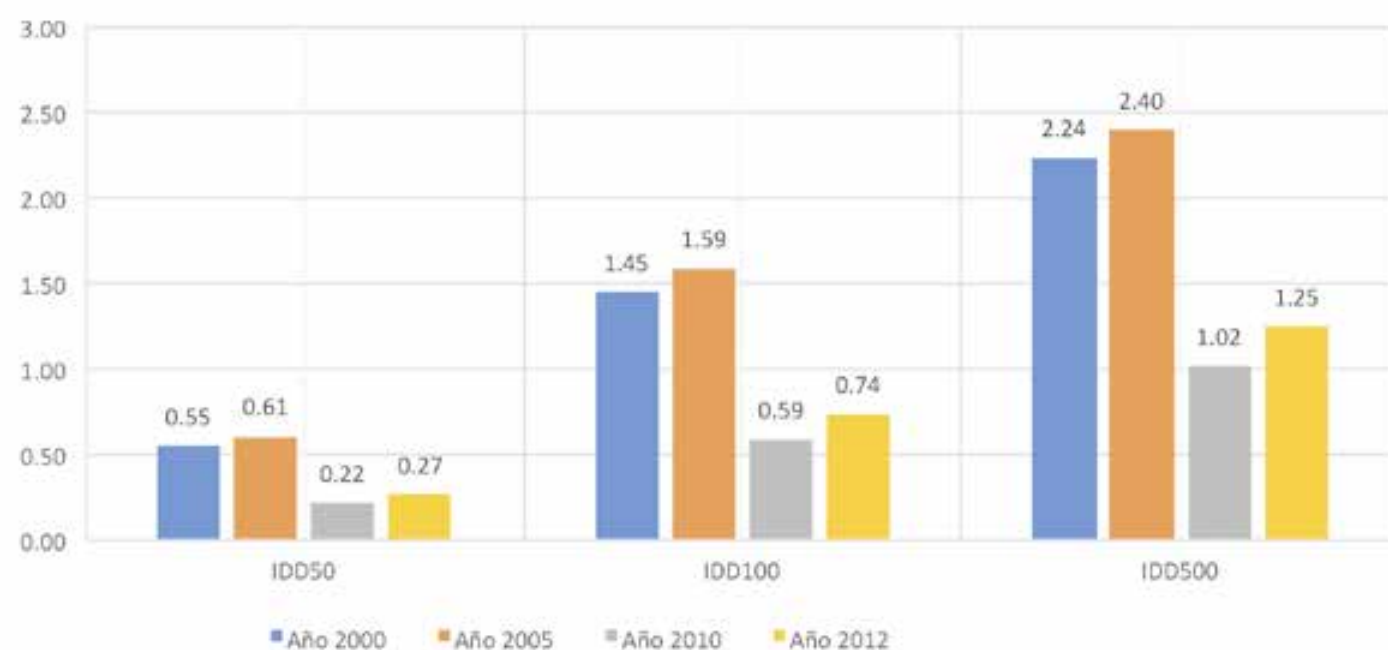


Figura 187. IDD para diferentes periodos de retorno
Fuente: elaboración propia a partir de datos del BID

7.2.2 Índice de Desastres Locales (IDL)

El IDL capta de manera simultánea la incidencia y la uniformidad de la distribución de efectos a escala local, es decir, da cuenta del peso relativo y la persistencia de los efectos causados por los diferentes fenómenos que originan desastres en la escala municipal. El IDL lo constituye la suma de tres sub indicadores, calculados con base en las cifras de personas fallecidas (K), personas afectadas (A) y pérdidas económicas (L) en cada municipio del país. La información fue obtenida de la base de datos DesInventar, causadas por cuatro tipos de eventos genéricamente denominados: deslizamientos y flujos, fenómenos sismo-tectónicos, inundaciones y tormentas, y otros eventos.

Un mayor valor relativo del IDL significa una mayor regularidad de los diferentes tipos de eventos y la distribución de los efectos entre todos los municipios de un país, debido a los diferentes tipos de fenómeno que los originan. Cada IDL va de 0 a 100 y el IDL total es la suma de los tres componentes, lo que significa que varía de 0 a 300. Un valor menor (0-20) del IDL por cada tipo de efectos (fallecidos, afectados y pérdidas económicas) y para el IDL total entre 0 y 60, significa que existe alta concentración de desastres menores en pocos municipios y una baja distribución espacial de sus efectos entre los municipios donde se han presentado. Valores medios (entre 20 y 50 por cada tipo

de efectos y entre 60 y 150 para el IDL total), significa que la concentración de desastres menores y la distribución de sus efectos son intermedias y valores mayores (50 en adelante por cada tipo de efectos y 150 en adelante para el IDL total), indican que la mayoría de los municipios están teniendo desastres menores y que sus efectos son muy similares en todos los municipios afectados. Esta última situación, cuando los valores son muy altos, refleja que la vulnerabilidad y las amenazas son generalizadas en el territorio.

La formulación metodológica original del IDL (IDEA, 2005)⁸² incluía los efectos de todos los eventos (menores o grandes) ocurridos en un país; es decir, tanto los efectos de los eventos menores y frecuentes como de los eventos extremos y esporádicos. Desde el mismo momento que se hizo dicha evaluación se consideró que reflejar la influencia de los eventos extremos no era el objetivo de este indicador, por lo cual se recomendó que, para una nueva evaluación, como la actual, se tuvieran en cuenta sólo los eventos menores. Por esta razón en esta actualización se han extraído de la base de datos los eventos extremos mediante la identificación estadística de *outliers* (Marulanda y Cardona, 2006)⁸⁴.

De manera complementaria, se ha formulado el IDL' que da cuenta de la concentración de las pérdidas económicas agregadas a escala municipal. Su valor ahora va de 0.0 a 1.0. A mayor IDL' mayor es la concentración de pérdidas económicas por desastres menores en muy pocos municipios. Este indicador refleja la disparidad del riesgo al interior de un país. Un IDL' por ejemplo de 0.80 y 0.90 significa que, aproximadamente, el 10 % de los municipios del país concentra el 70 y 80 % respectivamente de las pérdidas que se han presentado por desastres menores en el país. En el cuadro 26 se aprecia el IDL para muertos, afectados y pérdidas, así como el IDL total y el IDL' para todos los eventos que se presentaron en el país en los periodos de 1981-1985, 1986-1990, 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010 y 2011-2012. El cálculo del IDL y el IDL' se realizó, nuevamente, para todos los periodos anteriores dado que a la base de datos se le extrajeron los eventos mayores y se realizaron ajustes menores a la formulación analítica de los IDL. Se consideró que se trata de eventos mayores cuando el número de fallecidos supera 50, el número de viviendas destruidas es mayor a 500⁸⁵ y los afectados superan la cifra de 2,500.

Cuadro 26. Valores IDL

	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2012
IDL_K	25.60	51.53	38.73	51.74	88.30	65.15	43.64
IDL_A	68.12	61.93	13.41	2.25	55.20	71.22	21.81
IDL_L	36.74	47.25	8.86	2.32	10.86	56.66	9.18
IDL	130.47	160.71	61.00	56.32	154.36	193.03	74.63
IDL'	0.91	0.92	0.94	0.91	0.63	0.50	0.76

Fuente: elaboración propia a partir de datos del BID

⁸⁴Marulanda, M.C. and O.D. Cardona (2006). Análisis del impacto de desastres menores y moderados a nivel local en Colombia. ProVenton Consortium, La RED. Available at: <http://www.desinventar.org/sp/proyectos/articulos/>

⁸⁵Los umbrales y la técnica de identificación de outliers fue propuesta por Marulanda y Cardona (2006) y de allí se derivó el concepto de riesgo intensivo y extensivo utilizado en el Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (ISDR, 2009). En dicho informe se plantearon los umbrales aquí utilizados para fallecidos y casas destruidas.

Para una mejor visualización, los valores del cuadro 24 se representan gráficamente en la figura 188, donde se delimitan los diferentes niveles de precariedad del territorio bajo consideración.

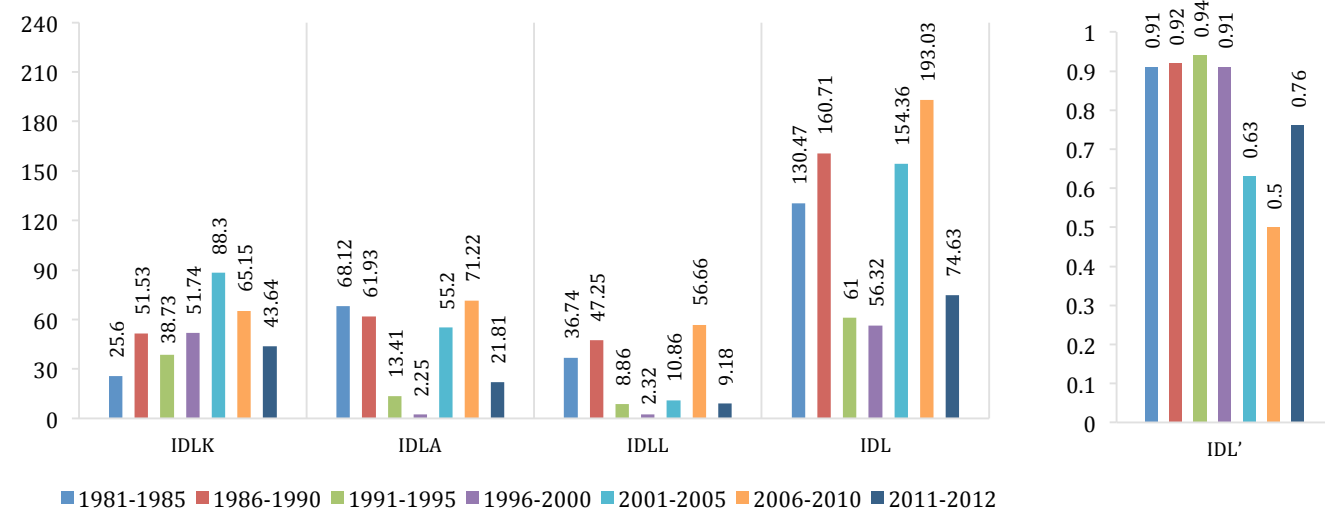


Figura 188. IDL y sus componentes e IDL' para diferentes periodos
Fuente: elaboración propia a partir de datos del BID

7.2.3 Índice de Vulnerabilidad Prevalente (IVP)

El IVP es un índice que caracteriza las condiciones prevalentes de vulnerabilidad del país en términos de exposición en áreas propensas, fragilidad socioeconómica y falta de resiliencia. Estos aspectos favorecen el impacto físico directo y el impacto indirecto e intangible en caso de presentarse un fenómeno peligroso. Es un indicador compuesto que intenta dar cuenta, con fines de comparación, de una situación o *pattern* y sus causas o factores. Las condiciones de vulnerabilidad inherente, es decir, condiciones socio-económicas predominantes de las comunidades que favorecen o facilitan que haya efectos en las mismas, ratifican la relación del riesgo con el desarrollo, en la medida que las condiciones (de vulnerabilidad) que subyacen la noción de riesgo son, por una parte, problemas causados por un proceso de inadecuado crecimiento y, por otra, debido a ser deficiencias que se pueden intervenir mediante procesos adecuados de desarrollo.

El IVP refleja susceptibilidad por el grado de exposición física de bienes y personas, IVP_{ES} , lo que favorece el impacto directo en caso de eventos peligrosos. Igualmente, refleja condiciones de fragilidad social y económica que favorecen el impacto indirecto e intangible, IVP_{FS} . Y, también, refleja falta de capacidad para anticiparse, absorber las consecuencias, responder eficientemente y recuperarse, IVP_{FR} (Cardona, 2005)⁸³.

En general, cada IVP varía entre 0 y 100, siendo 80 un valor muy alto, de 40 a 80 un valor alto, de 20 a 40 un valor medio y menos de 20 un valor bajo. Los IVP han sido calculados de nuevo para todos los períodos debido a que, diversos valores de las bases de datos que no fueron dadas a conocer, ahora están disponibles o han sido modificados como resultado de revisiones que se realizaron posteriormente a la evaluación elaborada con anterioridad. Para la nueva evaluación se hicieron modificaciones, también en los valores máximos y mínimos de referencia, que permiten hacer la normalización de los valores de los sub indicadores de manera uniforme para todos los países evaluados.

En general, el IVP refleja susceptibilidad por el grado de exposición física de bienes y personas, IVP_{ES} , lo que incrementa el impacto directo en caso de eventos peligrosos. Igualmente, refleja condiciones de fragilidad social y económica que favorecen el impacto indirecto e intangible, IVP_{FS} . También, refleja falta de capacidad para absorber las consecuencias, responder eficientemente y recuperarse, IVP_{FR} . La reducción de este tipo de factores, objeto de un proceso de desarrollo humano sostenible y de políticas explícitas de reducción de riesgo es uno de los aspectos en los cuales se debe hacer especial énfasis.

En el cuadro 27 y la figura 189 se presenta el IVP total y sus componentes relacionados con exposición y susceptibilidad, fragilidad socio-económica, y falta de resiliencia. Es importante señalar que para efectos de considerar la participación de varios sub indicadores de los cuales, sólo existe un valor reciente, se optó por colocar el mismo valor en todos los períodos para no afectar el valor relativo de los índices y con la expectativa que, en un futuro, el valor de estos sub indicadores se siga publicando.



Figura 189. Valores del Índice de Vulnerabilidad Prevalente (IVP) para diferentes años
Fuente: elaboración propia a partir de datos del BID

Cuadro 27. Valores del Índice de Vulnerabilidad Prevalente (IVP) para diferentes años

	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011
IVP	49.68	52.27	55.46	51.54	45.86	43.74	46.47
IVP_{ES}	31.88	40.26	51.92	48.13	41.79	35.52	36.02
IVP_{FS}	46.43	47.74	46.63	41.14	38.29	36.14	36.05
IVP_{FR}	70.73	68.80	67.84	65.36	57.48	59.56	67.36

Fuente: elaboración propia a partir de datos del BID

7.2.4 Índice de Gestión del Riesgo (IGR)

El objetivo del IGR es la medición del desempeño o *performance* de la gestión del riesgo. Es una medición cualitativa de la gestión con base en unos niveles preestablecidos (*targets*) o referentes deseables (*benchmarking*) hacia los cuales se debe dirigir la gestión del riesgo, según sea su grado de avance. Para la formulación del IGR se tiene en cuenta cuatro componentes o políticas públicas: identificación del riesgo, (IR); reducción del riesgo (RR); manejo de desastres (MD); y gobernabilidad y protección financiera (PF).

La evaluación de cada política pública tiene en cuenta seis subindicadores que caracterizan el desempeño de la gestión en el país. La valoración de cada subindicador se hace utilizando cinco niveles de desempeño: bajo, incipiente, significativo, sobresaliente y óptimo que corresponden a un rango de uno a cinco, siendo uno el nivel más bajo y cinco el nivel más alto. Este enfoque metodológico permite utilizar cada nivel de referencia simultáneamente como un objetivo de desempeño y, por lo tanto, facilita la comparación y la identificación de resultados o logros, hacia los cuales, los gobiernos deben dirigir sus esfuerzos de formulación, implementación y evaluación de política en cada caso.

Una vez evaluados los niveles de desempeño de cada subindicador, mediante un modelo de agregación no lineal, se determina el valor de cada componente del IGR (Cardona, 2005). El valor de cada indicador compuesto está en un rango entre 0 y 100, siendo 0 el nivel mínimo de desempeño y 100 el nivel máximo. El IGR total es el promedio de los cuatro indicadores compuestos que dan cuenta de cada política pública. A mayor IGR se tendrá un mejor desempeño de la gestión del riesgo en el país.

La gestión del riesgo de desastres es una actividad transversal que involucra diferentes instituciones en el país. Los resultados del IGR se obtuvieron a partir de consultas realizadas a expertos y a funcionarios de diferentes instituciones involucradas en la gestión del riesgo. Para esta evaluación, se ha tenido en cuenta las instituciones relevantes en el tema: ministerios de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOP), de Educación (MINED), de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), de Salud (MINSAL), Ministerio de Relaciones Exteriores (MIREX), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Ministerio de Hacienda (MH), Superintendencia del Sistema Financiero (SSF), Cuerpo de Bomberos de El Salvador, Dirección General de Protección Civil, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, (UCA) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

De esta forma, este índice refleja el desempeño de la gestión del riesgo con base en evaluaciones de académicos, profesionales y funcionarios del país. La presente actualización corresponde a los años, 2010 y 2013.

En el cuadro 28 y la figura 190 se presenta el IGR total y sus componentes en cada período de identificación del riesgo, IGR_{IR}; reducción del riesgo, IGR_{RR}; manejo de desastres, IGR_{MD}; y gobernabilidad y protección financiera, IGR_{PF}. El Cuadro 28 incluye resultados obtenidos en evaluaciones anteriores para los años 1995, 2000, 2005 y 2008; así como los resultados de la presente actualización 2010 y 2013. En los casos del IGR_{RR}, IGR_{MD}, el IGR_{PF} y como consecuencia en el IGR total, se observa que se presentan aparentes retrocesos respecto a evaluaciones anteriores. Estos casos parecen ser sobrevaloraciones realizadas por los evaluadores en cada caso. Posiblemente, la ocurrencia de eventos muy severos como los sismos de 2001 o 2011 ha influido a que, en una evaluación posterior, se haya tenido un mayor cuidado en la calificación de los diferentes aspectos de la gestión del riesgo de desastres.

Cuadro 28. Valores IGR y sus componentes

Año	1995	2000	2005	2008	2010	2013
IGR _{IR}	29.44	30.12	30.12	36.42	42.72	52.33
IGR _{RR}	13.76	26.21	5.25	9.33	23.34	25.05
IGR _{MD}	11.38	38.31	11.06	33.83	33.83	43.02
IGR _{PF}	35.98	37.43	7.65	12.41	12.9	16.02
IGR	22.64	33.02	13.52	23.00	28.2	34.1

Fuente: elaboración propia a partir de datos del BID

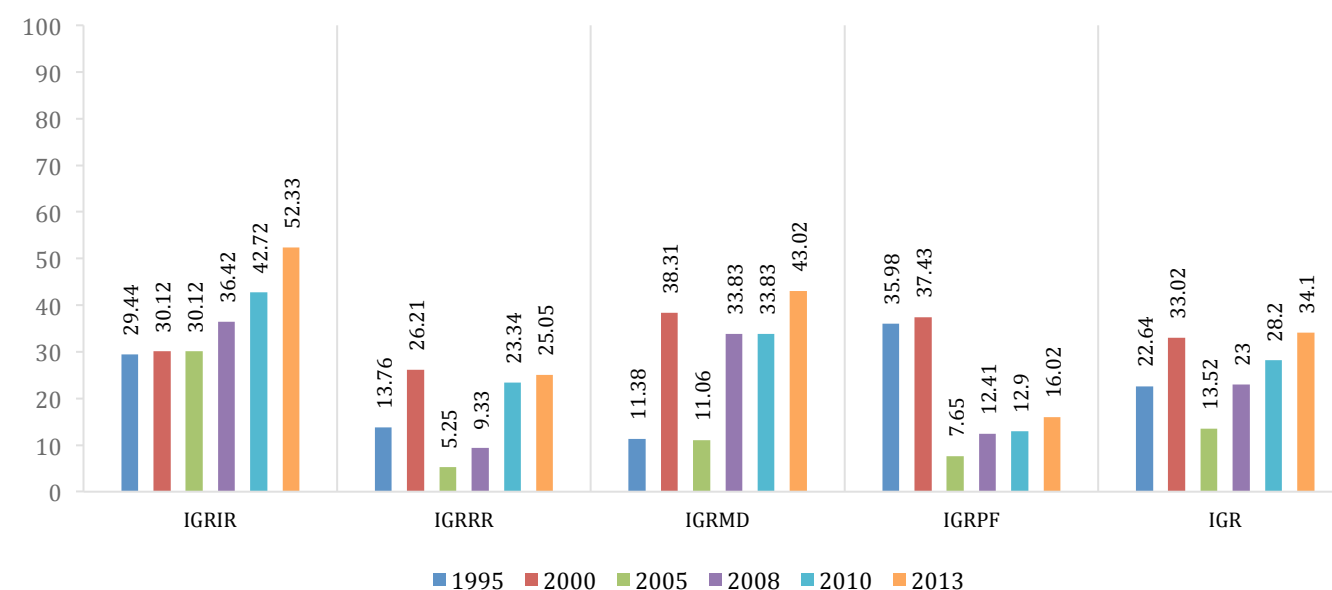


Figura 190: Valores del Índice de Gestión del Riesgo (IGR) para diferentes años

Fuente: elaboración propia a partir de datos del BID

Referencias

- Adaptación de representación de los peligros volcánicos según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). *Understanding volcanic hazards can save lives*. <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/index.php>
- Alvarado, D., Demets, C., Tikof, B., Hernández, D., Wawrzyneic, T.F., Pullinger, C., Mattioli, G., Tuner, H.L., Rodríguez, M. & Correa-Mora, F. (2011) *Forearc motion and deformation between El Salvador and Nicaragua: GPS, seismic, structural, and paleomagnetic observation*. *Lithosphere*, 3(1): 3-21.
- Applied Technology Council ATC (1996), *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, volumes 1 and 2*, Report No. ATC-40, Redwood City, CA.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en su informe elaborado en 2015, *Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos*.
- Beltrán, Haydée; Rodríguez, Ridel, *Estudio de los Procesos de Erosión y Sedimentación de Playa El Espino*, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador (Mayo, 2012).
- Benito B., Hasbun, P., Cepeda, J., Hernández, D., Pullinger, C., Marroquín, G., Martínez, J., (2005) *Caracterización del Movimiento del Suelo y sus Efectos en la Infraestructura durante los Terremotos del 2001*, El Salvador, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas y Servicio Nacional de Estudios Territoriales, San Salvador, El Salvador.
- Bommer, J., W. Salazar, R. Samayoa. (1998) *Riesgo Sísmico en la Región Metropolitana de San Salvador*. Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA).
- Bommer, J.J. (1996) *Sismología para Ingenieros Papeles Técnicos UCA*, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, San Salvador, El Salvador.
- Busso, Gustavo, Vulnerabilidad Social: Nociones e Implicaciones de Políticas para Latinoamérica a inicios del Siglo XXI. CEPAL, Santiago de Chile, 2001.
- Cardona, O.D.; Ordaz, M.G.; Reinoso, E.; Yamín, L.E.; Barbat, A.H. (2012): CAPRA - *Comprehensive Approach to Probabilistic Risk Assessment: International Initiative for Risk Management Effectiveness*. Conference Paper - 15th World Conference on Earthquake Engineering, At Lisbon.
- Censo Nacional de Población y Vivienda (2007)
- Censo Nacional de Población y Vivienda (2007) y Kattan Jokisch, C. (2010). *Re-Interpretation of Seismic Damage Scenarios: Risk Mapping for the case Study of San Salvador (El Salvador, 1986)*, Master Thesis, Bauhaus Universität Weimar & Earthquake Damage Analysis Center, Weimar, Alemania.
- Coburn, A. y Spence, R. (1992) *Earthquake Protection*, John Wiley & Sons, 355p.
- D. Ferrés, Estratigrafía, Geología y Evaluación de Peligros Volcánicos del Complejo Volcánico de San Salvador, El Salvador. (UNAM-MARN, 2014)
- Dirección General de Estadísticas y Censos, El Salvador (DIGESTYC), Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples, 2015
- DesInventar 2013
- Earthquake Engineering Research Institute, 2001 M 7.7 & M 6.6 El Salvador Series
- Erazo, A.M. Impactos del cambio de uso del suelo en la escorrentía superficial en la cuenca Arenal Montserrat en la ciudad de San Salvador en el periodo 1992 – 2009: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador.
- Escobar, D., Ferrés, D., Pullinger, C., Delgado, H.G., Farraz, I. A., A la Torre, M.A.I. (2004). Escenarios de Amenaza Volcánica, Volcán de San Miguel o Chaparrastique, Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México (SNET, UNAM, 2004).
- Estadísticas Económicas CEPAL. Perfil económico: El Salvador
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. Terminología 2004. Términos básicos de la reducción del riesgo de desastres. <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng%20home.htm> Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres.
- Estrategia Nacional de Cambio Climático. 2013.
- Federal Emergency Management Agency FEMA (1997) *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA 273, Washington, DC
- FEMA, "Hazus 2.1 - Multi-hazard Loss Estimation Methodology; Earthquake Model; Technical Manual," FEMA (<https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609>).
- FEMA, Hazus- Multi-hazard Loss Estimation Methodology, FEMA (<https://www.fema.gov/hazus>).
- Ferrés, D., Escobar, D., Pullinger, C., Vallance, J.W., Griswol, J.P. (2005). Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica, Complejo Volcánico Santa Ana. Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Servicio Geológico de los Estados Unidos (SNET, USGS, 2005).
- Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL) Encuesta de hogares y mapas de pobreza. Mapa Nacional de Extrema Pobreza, http://www.fisd.gov.sv/documentos/libromapapobreza/CONTENIDOS/capitulo_II.pdf
- Galindo, L. M., & Samaniego, J. (2010). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: algunos hechos estilizados. *Revista Cepal*.
- Germanwatch y Munich Re NatCatSERVICE, 2017
- Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (ISDR, 2009).
- Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015, United Nations Office for Disaster Risk Reduction
- Grünthal, G. (Ed.) *European Macroseismic Scale 1998*. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologi.
- Hernández-Moreno, C. (2011) *Análisis Morfotectónico de las Deformaciones Cuaternarias de la Cordillera de Jucuarán – Intipuca* (El Salvador, Tesis para optar al grado de Máster en Geología Ambiental y Recursos Geológicos, Especialidad en Procesos y Dinámica de la Litosfera, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.
- Informe CEPAL, 2011
- Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), 2012, *Evaluación del riesgo por tsunami en la costa de El Salvador, fase II: vulnerabilidad y riesgo*
- Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN, 2011). *Evaluación del riesgo de tsunamis en la costa de El Salvador fase I. Peligrosidad*.

- Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN, 2012). Evaluación del Riesgo por Tsunami en la costa de El Salvador, fase II: vulnerabilidad y riesgo.
- IPGARAMSS 2011
- Kattan, C., (2012) Estudio Preliminar de Microzonificación Sísmica del AMSS, MARN.
- Kattan C y Torres R, 2012, Enjambre Sísmico en los Municipios de El Carmen y La Unión - 2011: Contexto, Caracterización y Consecuencias, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Kattan Jokisch, C. (2010). *Re-Interpretation of Seismic Damage Scenarios: Risk Mapping for the case Study of San Salvador* (El Salvador, 1986), Master Thesis, Bauhaus Universität Weimar & Earthquake Damage Analysis Center, Weimar, Alemania.
- Kattan Jokisch, C.; Menjivar Recinos, L. E.; Castellanos Araujo, R. A.; Ramos Huezo, J. A.; Ayala Leiva, N. E.; Méndez de Hasbun, P. (2012). Modelación probabilista de escenarios de riesgo sísmico para el Área Metropolitana de San Salvador, incluye análisis de portafolios de educación, salud y gobierno, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SS.
- Kattan, C. López M., Menjivar L. (2017), Seismic Risk Scenarios for the City of Santa Tecla, El Salvador, Conference Paper - 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, Santiago Chile.
- La Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) Programa El Salvador, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Ministerio de Economía de El Salvador. Mapa de Pobreza Urbana y Exclusión 2010.
- Lang, K. (2002), Seismic Vulnerability of Existing Buildings, Institute of Structural Engineering (IBK), ETH Zurich, Report No. 273, Hochschulverlag AG, Zürich
- Lara, M. [1987] *The San Salvador Earthquake of October 10, 1986 – History of Construction Practices in San Salvador*, Earthquake Spectra, v. 3, no. 3, p. 491-496
- López M, Bommer, J.J., y Pinho, R. (2004) *Seismic Hazard Assessments, Seismic Design Codes and Earthquake Engineering in El Salvador*, in Rose, W.I, et al., eds., Natural Hazards in El Salvador, Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper 375, p.p. 301
- MARN, 2013, Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de El Salvador
- MARN 2017, Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador
- MARN/BID, enero, 2015, *Análisis de Riesgo por Inundación en Cuencas Prioritarias y Perfil de Riesgo de Inundaciones*. Resumen Ejecutivo
- MARN, GIZ, UICN, 2016. Mapa de cobertura y uso del suelo (1:2500) con base en imágenes Rapid Eye de 2011.
- MARN, GIZ, UICN, Mapa de cobertura y uso del suelo (1:2500) con base en imágenes Rapid Eye de 2011. Junio, 2016.
- MARN, proyecto Obtención de imágenes LiDAR y fotogrametría para la producción de modelos de elevación digital y de superficies ortofotográficas, 2016
- Marroquín G. y Benito, B (2009), *Evaluación de la Amenaza Sísmica en El Salvador*. Informe nacional derivado del estudio RESIS II
- Marulanda, M.C. and O.D. Cardona (2006). Análisis del impacto de desastres menores y moderados a nivel local en Colombia. ProVention Consortium, La RED. Available at: <http://www.desinventar.org/sp/proyectos/articulos/>
- Mayunga, J.S. (2007). Understanding and applying the concept of community disaster resilience: A capital-based approach. Munich, Germany: Summer Academy for Social Vulnerability and Resilience Building.
- MCEER'S. (2006). Resilience Framework. Retrieved from http://mceer.buffalo.edu/research/resilience/resilience_10-24-06.pdf
- Molina, E. (1997). Tsunami Catalogue for Central America 1539-1996. *Reduction of Natural Disasters in Central America, Earthquake Preparedness and Hazard Mitigation, Phase II 1996-2000*.
- Molina, E., Marroquín, G., Escobar J., Talavera, E., Rojas, W., Climent, A., Camacho, E., Benito, B., Lindholm, C. (2008), Evaluación de la Amenaza Sísmica en Centroamérica, NORSAR Informe de Proyecto RESIS II
- National Center for Environmental Information. NGDC/WDS *Global Historical Tsunami Database, 2100 BC to present*. Recuperado el 22/05/2017 en https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml
- Olson Robert A. Collection. *Earthquake Engineering Online Archive, National Information Service for Earthquake Engineering*, EERC, University of California, Berkeley
- Pacific Disaster Center (2015), *National Disaster Preparedness Baseline Assessment: El Salvador*
- Patino, L. C., Carr, M. J., and Feigenson, M. D. (2000). "Local and regional variations in Central American arc lavas controlled by variations in subducted sediment input." *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 138(3), 265–283.
- Política Nacional del Medio Ambiente, 2012
- Proyecciones de población 2016 del Censo Nacional de Población y Vivienda 2007.
- Román Hernández Rey, Análisis de deformaciones tectónicas geodésicas asociadas a la zona de falla de El Salvador: contribución a los estudios de riesgo sísmico. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Curso 2011 – 2012 y Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. El Salvador, Centroamérica. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Ibérica de Estudios e Ingeniería, S.A. Marzo, 2004.
- Staller Vázquez Alejandra, Modelización de las deformaciones corticales en El Salvador (Centroamérica) mediante la integración de datos geodésicos (GPS), geológicos y sismológicos. Universidad Politécnica de Madrid, 2014.

STPP y MINEC-DIGESTYC (2015). *Medición multidimensional de la pobreza*. El Salvador. San Salvador: Secretaría Técnica y de Planificación de la Presidencia y Ministerio de Economía, a través de la Dirección General de Estadística y Censos.

Tatsumi, Y. (2005). "The subduction factory: How it operates in the evolving Earth." *GSA today*, 15(7), 4–10.

Webb, T., Sorto, M. y Grande, L. (2016). Proyecto fortalecimiento institucional, Integración de factores climáticos en EIA y la vulnerabilidad climática en El Salvador (CDKN Project Reference: AALA-0010). Informe de investigación sobre la evaluación del riesgo en infraestructura crítica de El Salvador. *Preparado por ESSA Technologies Ltd. y WESA BluMetric Environmental para la Alianza Clima y Desarrollo y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.*

Informe

Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades



MARN

Ministerio de Medio Ambiente
y Recursos Naturales



medioambiente@marn.gob.sv



www.marn.gob.sv



[/marn_sv](https://twitter.com/marn_sv)



[/marn.gob.sv](https://facebook.com/marn.gob.sv)



[/marnsv](https://youtube.com/marnsv)