

Análisis de riesgo en infraestructura prioritaria



MARN
Ministerio de Medio Ambiente
y Recursos Naturales

Fortalecimiento de capacidades para la integración de cambio climático en procesos de EIA y para la evaluación de vulnerabilidad de infraestructura en El Salvador – Fase 2

Métodos de análisis socioeconómico y estudios de caso

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
El Salvador, Centroamérica
Alianza Clima y Desarrollo (CDKN)

Autores

Tim Webb, especialista Principal en la GRD, ESSA Technologies Ltd.
Mario Sorto, Ingeniero de Proyecto, WESA-BluMetric Environmental Inc.
Lorena Grande, Arquitecta, WESA - BluMetric Environmental Inc.

Revisión técnica MARN

Celina Kattan, directora general del Observatorio Ambiental
Luis Menjivar, coordinador del Área de Análisis y Desarrollo Geoespacial
Griselda Barrera, técnica en Gestión de Riesgos

Diseño

Unidad de Comunicaciones MARN

San Salvador, abril 2016

Derechos reservados. Prohibida su venta.

Este documento puede ser reproducido todo o en parte, siempre y cuando se reconozcan los derechos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Este documento es el resultado de un proyecto encargado a través de la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN). CDKN es un programa financiado por el Departamento para el Desarrollo Internacional del Reino Unido (DFID) y la Dirección General de Cooperación Internacional (DGIS) de los Países Bajos en beneficio de los países en desarrollo. Las opiniones expresadas y la información incluida en el mismo no reflejan necesariamente los puntos de vista o no son las aprobadas por el DFID, la DGIS o las entidades encargadas de la gestión de la Alianza, Clima y Desarrollo, las cuales no podrán hacerse responsables de esas opiniones, información o por la confianza depositada en ellas.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Kilómetro 5 ½ carretera a Santa Tecla, calle y colonia Las Mercedes,
Edificio MARN, contiguo a parquet de pelotas “Saturnino Bengoa”
San Salvador, El Salvador, Centroamérica.

Teléfono: (503) 2132 6276
Sitio web: www.marn.gob.sv
Correo electrónico: medioambiente@marn.gob.sv
Facebook: [/marn.gob.sv](https://www.facebook.com/marn.gob.sv)
Twitter: [@marn_sv](https://twitter.com/marn_sv)
You Tube: [/MARNsv](https://www.youtube.com/MARNsv)

Contenido

1	Introducción	1
2	Metodología	3
2.1	Visión general.....	3
2.2	Datos sobre las amenazas	4
2.2.1	Movimientos sísmicos	5
2.2.2	Inundación.....	9
2.2.3	Tsunami.....	10
2.2.4	Lahares	11
2.2.5	Deslizamientos	12
2.2.6	Amenazas volcánicas.....	15
2.3	Infraestructura	16
2.3.1	Vías y puentes.....	17
2.3.2	Centros y edificios educativos	19
2.3.3	Hospitales e instalaciones médicas.....	19
2.3.4	Infraestructura de agua y saneamiento	22
2.3.5	Infraestructura de transmisión eléctrica.....	23
2.3.6	Comunicaciones	24
2.3.7	Otra Infraestructura: represas, aeropuertos, y puertos marítimos	24
2.4	Funciones de daños	24
2.4.1	Daños por movimientos sísmicos.....	24
2.4.2	Daños por inundación	28
2.4.3	Daños por tsunamis	30
2.4.4	Daños por cenizas.....	32
2.4.5	Otras funciones de daños.....	33
3	Resultados.....	34
3.1	Resúmenes de la pérdida anual promedio.....	35
3.2	Mapeo de la pérdida anual promedio	40
3.3	Tablas resumidas de la AAL y la exposición total de la infraestructura.....	49
3.4	Listas de infraestructura priorizada	50
3.5	Medidas alternativas del riesgo y las consecuencias de las pérdidas.....	51
3.6	Validación de los resultados.....	52
3.7	Sensibilidad de los parámetros	53

3.8	Cambio climático	56
4	Análisis	59
4.1	Visión general.....	59
4.2	Pertinencia de las políticas.....	60
4.3	Intercambio de datos y colaboración entre organismos	60
4.4	Recomendaciones / próximos pasos.....	62
4.4.1	Recomendaciones para ampliar el marco	62
4.4.2	Recomendaciones organizacionales.....	63
	Referencias	64
	Anexo 1: Información de amenazas	67
	Anexo 2: Información sobre la onfraestructura.....	71

Gráficos

Figura 1: Intervalo de retorno de 500 años para la excedencia de PGA con amplificación por el suelo.....	8
Figura 2: Intervalo de retorno de 500 años para la excedencia de PGA sin amplificación por el suelo.....	9
Figura 3: Ejemplo de un mapa que muestra los escenarios para lahares en el volcán de San Salvador con las vías y centros educativos (dimensionados por el valor de reposición).	12
Figura 4: Deslizamiento inducido por terremoto en Las Colinas, 13 enero 2001 (USGS)...	13
Figura 5: Tipología de tipos de construcción de CAPRA.....	25
Figura 6: Funciones de daños para los diferentes tipos de edificios, que van desde los menos resilientes (A) hasta los más resilientes (B) con base en una revisión de las relaciones de daños de CAPRA. El eje vertical muestra la relación de daños y el eje horizontal el grado de temblor	26
Figura 7: Daños a puentes en función de la aceleración espectral de 1,0 segundo para los diseños convencionales (panel de la izquierda) y sísmicos (panel de la derecha) de los puentes de carreteras.	27
Figura 8: Daños viales en función del movimiento sismos (PGA).	27
Figura 9: Daños a subestaciones eléctricas (panel de la izquierda) e infraestructura de agua y saneamiento (panel de la derecha) en función del movimiento sísmico (PGA).....	28
Figura 10: Curva de daños por inundaciones a los edificios de mampostería y madera (panel de la izquierda) y hormigón (panel de la derecha) en función de la profundidad de la inundación (metros).....	28
Figura 11: Daños a subestaciones eléctricas (panel de la izquierda) e infraestructura de agua y saneamiento (panel de la derecha) en función de la profundidad de la inundación (metros).	29
Figura 12: Curva de daños por inundaciones a las vías (panel de la izquierda) y los puentes (panel de la derecha) en función de la profundidad de la inundación (metros).	29
Figura 13: Daños a la infraestructura en función de la profundidad de inundación por tsunami. Panel superior izquierdo – edificios; panel superior derecho – infraestructura energética; panel del centro izquierdo – agua y saneamiento; panel del centro derecho – puentes; panel inferior - vías	31
Figura 14: Daños en función de la profundidad de las cenizas. Panel superior izquierdo – infraestructura energética; panel superior derecho – edificios; panel inferior izquierdo – agua y saneamiento; panel inferior derecho – puentes.....	33
Figura 15: Pérdida Anual Promedio (AAL) Total para todos los tipos de amenaza analizados. Terremoto 49 %; lava 2 %; flujo piroclástico 7 %; corriente piroclástica 9 %; tsunami 4 %; inundación 29 %.....	34

Figura 16: AAL Total para los tipos de infraestructura analizados. Educación 40 %; agua y saneamiento 8 %; carreteras 12 %; puentes viales 13 %; torres de transmisión 8 %; subestaciones eléctricas 7 %; centros de salud 12 %.....35

Figura 17: Estimados de AAL para cada tipo de amenaza, desagregados por los tipos de infraestructura. Panel superior de izquierda a derecha: lahar, ceniza, lava. Panel inferior de izquierda a derecha: proyectiles balísticos, flujo piroclástico, corriente piroclástica..... 36

Figura 18: Estimados de AAL para cada tipo de amenaza, desagregados por los tipos de infraestructura (continuación). Panel superior de izquierda a derecha: tsunami, inundación, deslizamiento. Panel inferior: terremoto 37

Figura 19: Estimados de AAL para cada tipo de infraestructura, desagregados por los tipos de amenaza. Panel superior de izquierda a derecha: carreteras, puentes viales, torres de transmisión eléctrica. Panel inferior de izquierda a derecha: subestaciones eléctricas, salud, educación..... 38

Figura 20: Estimados de AAL para cada tipo de infraestructura, desagregados por los tipos de amenaza (continuación). Agua y saneamiento. 39

Figura 21: Resumen de la AAL (USD) total para todas las amenazas y vulnerabilidades por municipio 41

Figura 22: Resumen de la AAL total para todas las amenazas y vulnerabilidades por municipio expresada como porcentaje del inventario total. 42

Figura 23: AAL para las Instalaciones Educativas por municipio expresada como porcentaje del inventario total. 43

Figura 24: AAL para las instalaciones de salud por municipio expresada como porcentaje del inventario total. 44

Figura 25: AAL para carreteras y vías principales por municipio expresada como porcentaje del inventario total. 45

Figura 26: AAL para carreteras y vías principales por municipio (USD) 46

Figura 27: AAL por los impactos de tsunami para las instalaciones educativas. 47

Figura 28: AAL Total para los puentes viales por todas las amenazas..... 48

Figura 29: Ejemplo del análisis de la red vial del estudio financiado por JICA [22]..... 52

Figura 30: Un ejemplo de las relaciones alternativas de daños utilizadas en el análisis de sensibilidad. Muestra las curvas de daños para edificios en función a intensidades de movimientos sísmicos (PGA) 54

Tablas

Tabla 1: Resumen de escenarios sísmicos.....	6
Tabla 2: Factores de amplificación utilizados para las diferentes clases de amplificación....	7
Tabla 3: Profundidades de inundación (metros) para diferentes tamaños de inundación en áreas con cada categoría de susceptibilidad a inundaciones.....	10
Tabla 4: Escenarios de tsunami e intervalos de retorno.....	10
Tabla 5: Cálculo de intervalos de retorno para lahares.	11
Tabla 6: Deslizamientos de todos los eventos investigados de 2001 a 2011.....	14
Tabla 7: Deslizamientos asociados con los terremotos del 2001	14
Tabla 8: Deslizamientos asociados con la Depresión Tropical 12-E o el Huracán Ida.....	14
Tabla 9: Intervalos de retorno para Deslizamientos en cada categoría de amenaza (sin incluir los Lahares)	15
Tabla 10: Intervalos de retorno para las erupciones volcánicas de diferentes tamaños incluidos en el análisis.....	16
Tabla 11: Carreteras, caminos y puentes incluidos en el análisis	17
Tabla 12: Clasificación de la condición de puentes en base a las opiniones de evaluadores sobre el mantenimiento requerido.	18
Tabla 13: Resultados seleccionados de la evaluación para el índice de seguridad hospitalaria para 29 hospitales nacionales en El Salvador.....	21
Tabla 14: Costos de reposición predeterminados para la infraestructura de agua potable y tratamiento de aguas servidas de Hazus (miles de dólares).	22
Tabla 15: Estimados de los valores de reposición para los componentes de la infraestructura de agua potable y alcantarillado usados en el análisis.	22
Tabla 16: Costos predeterminados de reposición de la infraestructura de transmisión eléctrica de Hazus (miles de dólares).....	23
Tabla 17: Daños causados por amenazas volcánicas y deslizamientos.	33
Tabla 18: AAL estimada por el tipo de amenaza y el tipo de infraestructura.....	49
Tabla 19: Valor total de la infraestructura expuesta a los amenazas por cada tipo de amenaza.....	49
Tabla 20: Lista priorizada de hospitales con la mayor AAL.....	50
Tabla 21: Estimados de la AAL total para las diferentes amenazas y las tres relaciones alternativas.	55
Tabla 22: Estimados de la AAL total para los diferentes tipos de infraestructura y las tres relaciones alternativas.....	55

Tabla 23:Resultado de variar las curvas de daños para el total de AAL relacionada a inundaciones.	55
Tabla 24:Resultado de variar las curvas de daños para el total de AAL relacionada a terremotos.	56
Tabla 25: Estimados de AAL para cada tipo de amenaza.....	57

1 Introducción

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 han sido recopilados en un marco que permite una comparación de los riesgos de diferentes amenazas 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, incluyendo estimados de sus valores de reposición, y combina esto con un conjunto de escenarios de las amenazas e información relacionada, incluyendo las probabilidades del acontecimiento de los escenarios en los lugares donde están ubicados los componentes infraestructurales. Buena parte de los datos de amenazas utilizados en este análisis se describen más detalladamente en un informe nacional de Riesgos y Vulnerabilidad por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN) [1].

Combinar esta información sobre la infraestructura y las amenazas, con las relaciones de intensidad de los daños por las amenazas permite estimar la Pérdida Promedio Anual prevista (“AAL” por sus siglas en inglés) para cada componente infraestructural y cada tipo de amenaza. AAL ha sido elegida como una sola medida del riesgo que permite comparaciones entre todos los tipos de amenazas y todos los tipos de infraestructura. AAL es una manera de captar la pérdida prevista a largo plazo por los acontecimientos con diferentes probabilidades y los diferentes niveles de daños.

Esta base de datos de los estimados de AAL generados por el análisis podrán combinarse de diferentes maneras para examinar el nivel de riesgo general o cómo se divide ese riesgo entre las amenazas o cuáles componentes de la infraestructura (hospitales, subestaciones eléctricas, entre otras.) tienen más exposición al riesgo, y cómo se distribuye el riesgo por diferentes partes del país.

Este enfoque hacia el análisis del riesgo de las amenazas por fenómenos naturales para la infraestructura se fundamenta en los componentes individuales de la infraestructura y en múltiples escenarios de amenazas (es decir, un enfoque de abajo hacia arriba). Están disponibles estimados históricos de las pérdidas, pero es difícil compararlos directamente con nuestra cartera de amenazas e infraestructura porque recogen un conjunto más amplio de vulnerabilidades, incluyendo los componentes residenciales, comerciales, e industriales dentro de las demás pérdidas económicas. Sin embargo, las comparaciones con estos estimados de arriba hacia abajo / de base histórica pueden ayudarnos a comprender nuestro análisis en un contexto más amplio.

La ventaja del enfoque de abajo hacia arriba descrita en el informe es que, a diferencia de un enfoque de arriba hacia abajo, permite examinar mucho más detalladamente la exposición y los riesgos enfrentados por los componentes específicos de la infraestructura ante escenarios de amenaza no representados en el registro histórico reciente. Esto proporciona un entendimiento mucho más detallado para la gestión del riesgo.

Los estudios anteriores que examinan la AAL y las métricas relacionadas a escala nacional, por ejemplo, el Perfil Nacional del GFDRR [2], se han basado en un análisis de los daños históricos, mientras que este estudio utiliza una gama más amplia de escenarios de amenazas, incluyendo los que no hayan sucedido en la historia reciente. El presente estudio determina el valor global de AAL examinando los componentes específicos de la infraestructura y las amenazas a las que están expuestos.

Este análisis ha sido realizado utilizando la información disponible a escala nacional. Aunque esta evaluación de riesgos parte de la información sobre instalaciones individuales, debe reconocerse que éste es un análisis a escala nacional en base a cartografía que abarca al país entero. Esto es importante al considerar las interacciones muy específicas para determinados sitios entre las amenazas y la infraestructura. Por ejemplo, la ubicación exacta de un centro educativo con relación a las zonas donde llegarán los deslizamientos será crucial para determinar su potencial de sufrir daños. Para este análisis, podría estar claro que una instalación esté situada en un área designada con alto potencial de deslizamientos, pero los detalles de la configuración del sitio específicamente podrían aumentar o reducir el riesgo de derrumbes y estos se desconocen. Las evaluaciones de sitios específicos serán un paso importante para ampliar y validar los resultados de este análisis en fases futuras.

Las limitaciones de los datos implican 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. En base a la información disponible, se han asignado valores típicos de estudios en El Salvador e internacionales para las variables clave en el análisis. Como se describe en la sección de metodología a continuación, se ha examinado la sensibilidad de los resultados a estas variables. Sobre la base de este análisis, se puede ver que, para una gama amplia de los diferentes supuestos, el patrón general de los resultados es similar.

La intención original para este proyecto fue de incluir un análisis de medidas potenciales para reducir el riesgo e incrementar la resiliencia de los componentes de la infraestructura. Esto se fundamentó en la suposición de que habría un número relativamente menor de instalaciones clave que se incluirían en el análisis y que sería posible considerar algunos de los factores de sitios específicos que serían significativos para examinar las opciones para la mitigación y resiliencia con los ministerios y agencias responsables. Después de iniciar el proceso de recopilar los datos, quedó claro que el enfoque más útil y provechoso sería examinar extensamente un número mayor de componentes infraestructurales pero con menos detalles para cada caso. Con esta envergadura, no sería posible examinar las opciones para la mitigación y resiliencia. Asimismo, no sería posible ninguna clase de análisis financiero de los sitios individuales y opciones de mitigación.

2 Metodología

2.1 Visión general

El enfoque analítico reúne los diversos datos disponibles sobre las amenazas por fenómenos naturales e infraestructura a escala nacional para El Salvador en un marco común. Este marco común puede usarse para la evaluación del nivel de exposición global así como las contribuciones relativas de los diferentes tipos de amenazas e infraestructuras. Los elementos centrales del marco son los siguientes:

1. Todos los datos de infraestructuras y amenazas se representan espacialmente en un SIG para su presentación y análisis, con las infraestructuras individuales representadas como puntos para el análisis espacial;
2. Se asignan valores de reposición a todos los elementos infraestructurales en Dólares de los EEUU;
3. Todas las amenazas se representan mediante una o más capas poligonales o rasterizadas (cuadrículadas), las que dan información sobre la intensidad de la amenaza (p.ej., la profundidad de los depósitos de cenizas o el nivel de sacudimiento de la tierra en un terremoto);
4. A todo elemento infraestructural se le asigna una probabilidad para cada tipo / escenario de amenazas que puedan ocurrir, en base a los escenarios de amenazas mapeados;
5. Se han desarrollado funciones para los daños en las combinaciones de tipos de infraestructura y tipos de amenazas;
6. Debido a la falta de información detallada sobre la vulnerabilidad de diferentes componentes de la infraestructura o información sobre amenazas específicas, las curvas de daños son necesariamente genéricas. Para abordar esta limitación, el análisis se hizo con múltiples versiones de estas relaciones para examinar las implicaciones de esta incertidumbre sobre los resultados.

Se realizó el análisis usando libretos Python y el programa ArcGIS Desktop. Se produjeron los resúmenes en formato de tablas y cuadros usando Excel.

El análisis para este informe representa los componentes de infraestructura como puntos. Optamos por este enfoque porque la mayoría de los datos sobre las infraestructuras que recibimos para el análisis los obtuvimos en dicho formato. Los únicos datos que tuvimos que convertir fueron los de las carreteras; la conversión se hizo con tal nivel de resolución que no creemos que tenga mayor incidencia en los resultados del análisis. La principal limitación del presente análisis en cuanto a la caracterización de infraestructura como puntos se relaciona con los puentes. Los puentes son estructuras lineales que pueden atravesar varias zonas de amenazas diferenciales. Recomendamos profundizar el análisis de los puentes en futuros estudios. También se recomienda representar los edificios y otras instalaciones como polígonos a fin de aumentar la precisión del análisis.

2.2 Datos sobre las amenazas

Para cada tipo de amenaza, se ha desarrollado un conjunto de escenarios que representa una gran gama de los eventos que pueden causar daños para 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. Donde haya brechas en nuestros conjuntos de escenarios, éstas se identifican y se discuten a continuación.

Estuvieron disponibles diferentes tipos de datos para diferentes tipos de amenaza:

1. Escenarios con características y probabilidades definidas como los resultados de los modelos de lahares y amenazas relacionados con las erupciones volcánicas como caídas de cenizas y flujos de lava;
2. Mapas de susceptibilidad para los deslizamientos e inundaciones; y
3. Mapas de excedencia a partir del modelaje probabilístico para los movimientos sísmicos.

Cada uno de estos tipos de datos requería un enfoque diferente para integrarlos en nuestro marco analítico común. En particular, los datos tuvieron que procesarse, para que dos elementos clave de la información pudieran asignarse a la infraestructura afectada por cada amenaza:

1. La probabilidad (o su inverso, el período de retorno) de que dicha infraestructura experimente el escenario de amenaza; y
2. La intensidad de la amenaza, medida en unidades específicas para cada amenaza; por ejemplo, la profundidad de la caída de cenizas, la aceleración máxima de la tierra por los movimientos sísmicos, o la profundidad de la inundación para un escenario de tsunami.

Es importante aclarar las probabilidades utilizadas en el análisis. A título ilustrativo tomamos a los lahares como ejemplo. Las diferentes clases de probabilidades para que se den lahares en el volcán San Miguel en un determinado año:

- A. Un lahar de cualquier tamaño en cualquier lugar del volcán;
- B. Un lahar de un determinado tamaño (por ejemplo, 500.000 metros cúbicos) en cualquier lugar del volcán; o
- C. Un lahar de un determinado tamaño en un trayecto específico de lahares en el volcán.

La probabilidad requerida para el presente análisis es el tercero de estos casos (c) y para los lahares ésta se obtiene del criterio experto. Para el ejemplo de lahares en el volcán San Miguel se estima [3] que los lahares pequeños podrían darse, en alguna parte del volcán, hasta una vez en tres años, mientras que los eventos más grandes de 500.000 m³ podrían darse en alguna parte del volcán cada 100 años. Sin embargo, es importante reconocer que hay varios diferentes trayectos de lahares en el volcán, de modo que el intervalo de retorno de un evento más grande en un trayecto potencial específico de

lahares es significativamente mayor a uno en 100 años y se estima dividiendo la probabilidad entre los diferentes trayectos identificados.

Hemos estimado los períodos de retorno para nuestros escenarios en base a la información disponible. Los valores usados se muestran para todos los escenarios en el Anexo 1 y se exponen en las siguientes secciones para cada tipo de amenaza.

Al basar este análisis sobre un conjunto de escenarios, se ha supuesto que estos escenarios son representativos de las categorías amplias de las amenazas que podrían acontecer y que ningún escenario importante de amenazas se haya excluido. Éste supuesto se tiene que hacer incluso en los análisis de tipo probabilístico como los de Monte Carlo. Por ejemplo, un examen de un gran número de posibles eventos de tsunami en un análisis probabilístico puede llevar a conclusiones erradas si nuestro entendimiento científico es errado sobre la magnitud o frecuencia de los eventos grandes. En la discusión de las amenazas a continuación, resaltamos donde hayan ciertas preocupaciones sobre la falta de amplitud en los escenarios.

Se obtuvieron las capas del SIG y la documentación asociada para las amenazas naturales en El Salvador del MARN en San Salvador. La lista completa de datos sobre los amenazas se muestra en el Anexo 1.

Los escenarios de amenaza incluidos en el análisis son:

1. Lahares – resultados de simulacros de 170 diferentes trayectos potenciales para lahares en seis diferentes volcanes para una gama de diferentes volúmenes simulados en base a estimados realistas de volúmenes de derrumbe;
2. Deslizamientos aparte de lahares – cuatro escenarios basados en categorías de susceptibilidad;
3. Amenazas relacionados con erupciones volcánicas, incluyendo: caídas de cenizas y proyectiles balísticos, lava, flujos y corrientes piroclásticas, y liberación de gases – 70 diferentes escenarios;
4. Sismos – tres escenarios basados sobre los mapas de excedencia sísmica para los intervalos de retorno de 500, 1000, y 2,500 años del estudio RESIS II;
5. Tsunami – cuatro escenarios con extensiones calculadas en base a los datos de elevaciones digitales; e
6. Inundaciones – tres escenarios con extensiones basadas en los estudios históricos de inundaciones por el MARN.

2.2.1 Movimientos sísmicos

Los resultados de modelaje sísmico del estudio RESIS II fueron proporcionados por el MARN en formatos SIG [4]. El estudio RESIS II fue un análisis probabilístico detallado de la amenaza de terremotos en El Salvador usando los mejores datos disponibles para las fallas geológicas en la región. Por ser un estudio probabilístico, la información entregada fue el movimiento de la tierra en cada punto donde se preveía que se excediera con ciertos períodos de retorno: 500 años, 1.000 años, y 2.500 años. Las

medidas de los movimientos fueron: Aceleración Máxima de la Tierra (PGA), y Aceleraciones Espectrales (SA) en períodos de 0,2 y 1,0 segundo.

Las capas del SIG y las probabilidades de excedencia asociadas del estudio RESIS II fueron usadas para parametrizar tres diferentes escenarios para cada localidad. El Escenario 1 representa eventos con intervalos de retorno entre 250 y 750 años, el Escenario 2 con intervalos de retorno entre 750 y 2500 años, y el Escenario 3 con intervalos de retorno mayores a los 2500 años. Para los intervalos de retorno de estos escenarios, usamos el valor promedio del rango; para el parámetro PGA o SA usamos el valor asociado con la excedencia del estudio RESIS.

Tabla 1: Resumen de escenarios sísmicos.

Escenario sísmico	Rango de Intervalos de Retorno	Intervalo de Retorno usado en el Análisis	Fuente de los valores
1	250-750	375	RESIS Excedencia de 500 años
2	750-2500	1.071	RESIS Excedencia de 1000 años
3	> 2.500	2.500	RESIS Excedencia de 2500 años

Estos valores subestimarán levemente los valores de movimiento sísmico en el tercer escenario y la falta de un escenario para los terremotos con intervalos de retorno menores a los 250 años producirá un subestimado del estimado de la AAL. Para el análisis futuro, se recomienda incluir un escenario de terremotos más pequeños y de mayor probabilidad para mejor representar los sismos más frecuentes pero menos dañinos. Esto podría derivarse de los datos del RESIS II usando un enfoque de regresión. Además, al crear un mayor número de escenarios se produciría un mejor estimado de los daños. La metodología Hazus recomienda 8 escenarios como óptimos [5].

Una preocupación planteada por el MARN sobre el uso de los resultados del estudio RESIS II es que no toman en cuenta la amplificación en sitios específicos resultantes de la geología superficial, suelo y topografía. Para abordar esto, se revisaron dos capas de mapas proporcionados por el MARN:

1. Un mapa de amplificación que define las áreas como de: Bajo, Medio y Alto potencial para amplificación; y
2. Un mapa de geología superficial que define las áreas como: Roca Dura, Roca Blanda, Suelos consolidados, y Suelos poco consolidados (el área clasificada como Roca Blanda en El Salvador es muy reducido).

Un análisis de la superposición de estas capas mostró un alto grado de correlación con la capa de amplificación que divide los Suelos poco consolidados entre las categorías de amplificación media y alta, presumiblemente en base a la topografía y otra información no disponible del MARN.

En base a este análisis y un examen de los valores empíricos [6] se acordó con el MARN usar los factores de amplificación mostrados en la Tabla 2. Este enfoque sencillo no toma

en cuenta la amplificación no lineal pero para un nivel analítico de tamizaje distinguirá las instalaciones en suelos con mayor probabilidad de amplificar el movimiento sísmico como instalaciones que pueden presentar mayor riesgo.

Tabla 2: Factores de amplificación utilizados para las diferentes clases de amplificación.

Clase de amplificación	Clase equivalente de Sitio NEHRP ¹	Factor
Bajo (roca)	B	1,0
Medio	C	1,2
Alta	D	1,5

La Figura 1 y la Figura 2 muestran el efecto de usar este enfoque de amplificación. Sin incluir los factores de sitios, el nivel de movimiento sísmico depende únicamente de la ubicación con relación a fallas activas. El efecto es particularmente notable para las áreas costeras de poca elevación donde los suelos no consolidados tienen gran influencia sobre el nivel de movimiento sísmico experimentado.

¹Programa Nacional para Reducir los Amenazas de Terremotos [15]

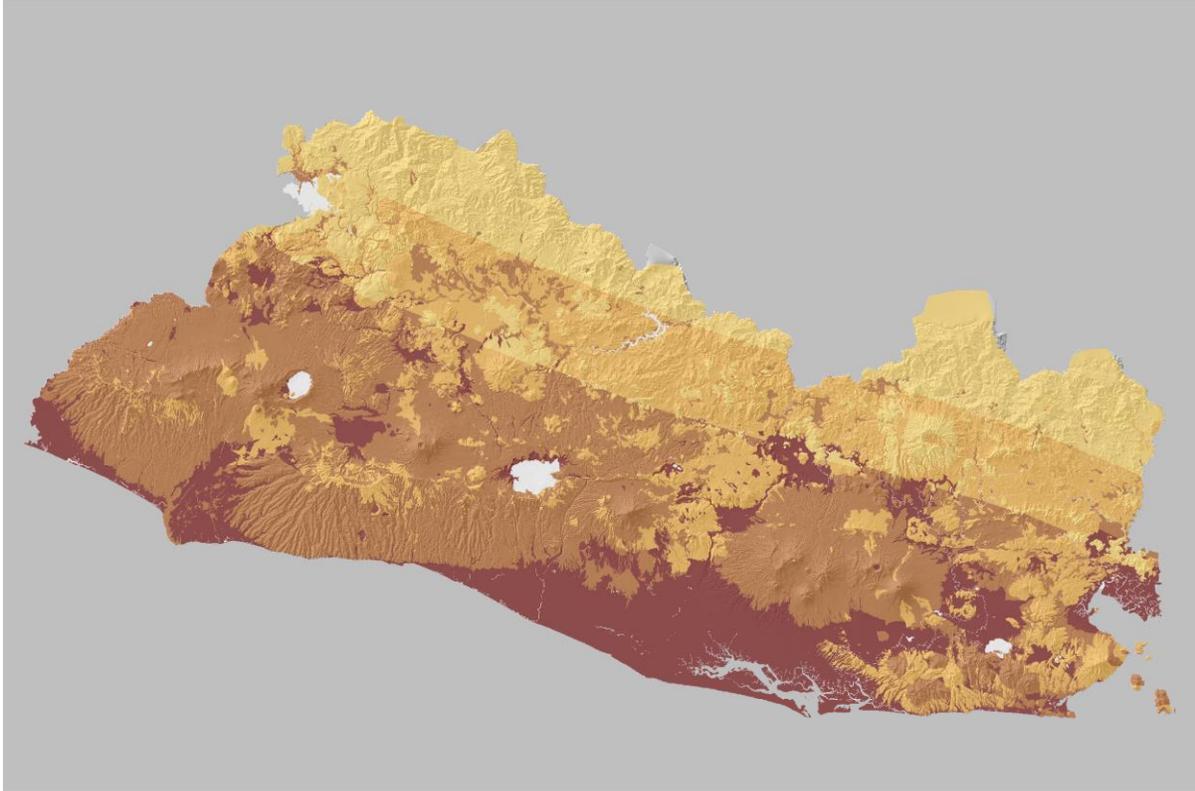


Figura 1: Intervalo de retorno de 500 años para la excedencia de PGA con amplificación por el suelo.

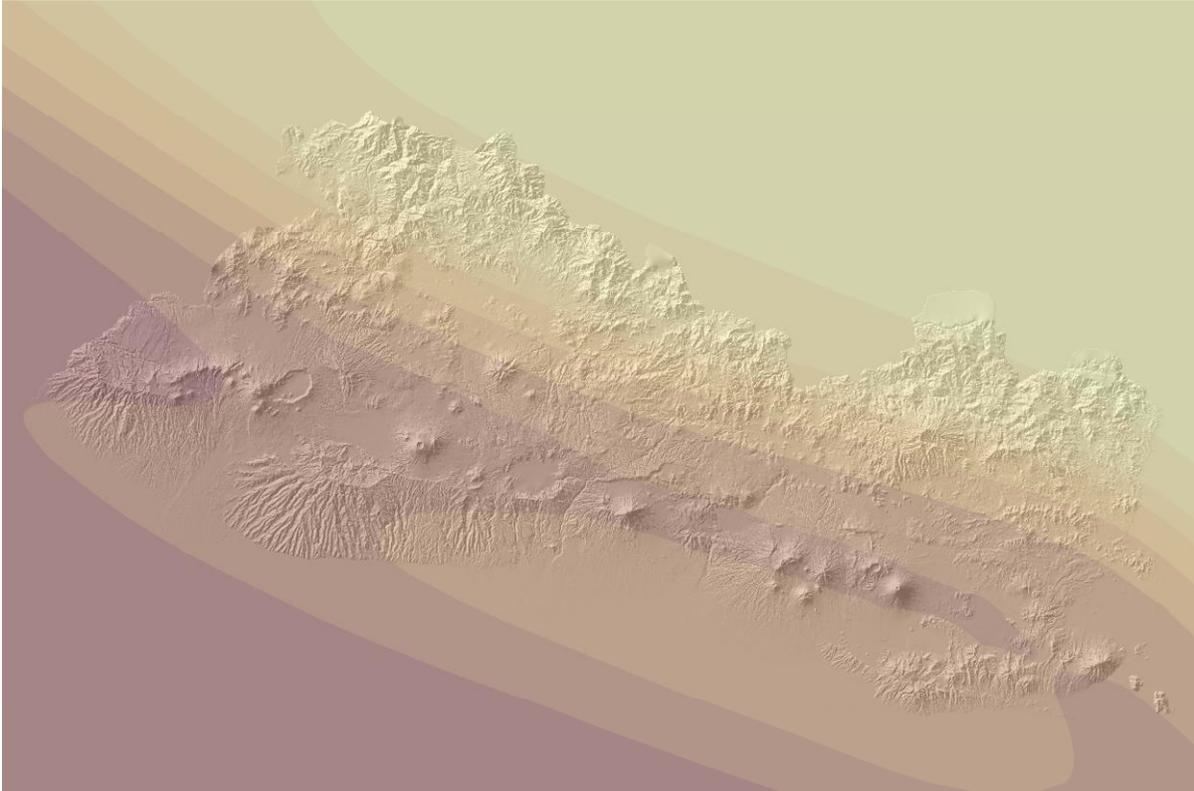


Figura 2: Intervalo de retorno de 500 años para la excedencia de PGA sin amplificación por el suelo.

2.2.2 Inundación

Aunque existen resultados detallados del modelaje físico de algunas de las áreas de El Salvador como parte del proyecto CAPRA [7][8] y por CEL para las regiones aguas debajo de represas en el Río Lempa, éstos no presentan una imagen consistente de las amenazas para todo el país. El MARN proporcionó las extensiones para el riesgo de inundación en base al análisis histórico de los anteriores eventos de inundación categorizadas como moderada, alta, y muy alta [9].

Se usaron las extensiones espaciales para estas tres categorías para generar tres escenarios de inundación que abarcan la gama de posibles extensiones de inundación. Con limitada información sobre las categorías, asignamos las profundidades de inundación a las tres áreas de susceptibilidad mostradas en la Tabla 3.

Los períodos de retorno para cada uno de estos escenarios se estimaron en base al criterio experto del MARN para los tres escenarios (5-10 años una inundación pequeña; 25-50 para una inundación mediana y 50-75 años para una grande). Como ejercicio de verificación, usamos un análisis de superposición con estudios detallados del modelaje probabilístico realizados por CEL para la región baja del Río Lempa. Los resultados del modelaje de la CEL proporcionan extensiones de inundación en el Bajo Lempa para cinco tasas de caudal con los siguientes periodos de retorno: 2, 10, 50, 100 y 500 años. Superpusimos las extensiones de inundación de la CEL sobre las extensiones

correspondientes a nuestros tres escenarios para obtener las tasas de caudal y, a partir de ellas, los periodos de retorno asociados con cada escenario. Esto resultó en los siguientes periodos de retorno estimados para los tres escenarios: 4.8, 32.8 y 48.8 años. El alineamiento no fue preciso pero sí fue suficiente para que pudiéramos verificarlos con el criterio experto aportado por el MARN. Combinamos los resultados de este análisis con los intervalos de retorno proporcionados por el MARN para producir los intervalos de la Tabla 3.

Tabla 3: Profundidades de inundación (metros) para diferentes tamaños de inundación en áreas con cada categoría de susceptibilidad a inundaciones

Categoría de Susceptibilidad	Inundación pequeña	Inundación mediana	Inundación Grande
Período de retorno (Años)	5	33	60
Muy alta	1	3	5
Alta	0	1	3
Moderada	0	0	1

2.2.3 Tsunami

Dos tipos de datos fueron examinados para generar los escenarios de amenaza por tsunami: los resultados de un análisis de amenazas por tsunami que examinó un conjunto limitado de escenarios de tsunami [10] y el Modelo Digital de Elevaciones (DEM) para El Salvador. Porque hay una amplia variedad de diferentes escenarios de tsunami y considerable incertidumbre sobre el potencial de avance en éstos, se decidió usar el modelo DEM para asignar elevaciones para cada elemento de infraestructura y basar la exposición a tsunami sobre estas elevaciones.

En 1902 un terremoto de magnitud 7 fuera de la costa de Guatemala generó un tsunami de 5 metros que causó daños sustanciales en la Llanura Costera Occidental y hay alguna información sobre otros tsunamis. En base a las conversaciones con las/los expertos del MARN, se eligieron cuatro alturas de tsunami y sus asociados intervalos de retorno para representar el rango de posibles eventos: 2, 4, 6, y 10 metros. La curva de nivel de 10 metros del modelo DEM se correlacionó estrechamente con la extensión de avance para el mayor tsunami modelado (7,2 metros) y se considera que es el evento creíble máximo según la definición experta del MARN.

Tabla 4: Escenarios de tsunami e intervalos de retorno

Escenario de tsunami	Altura (metros)	Período de retorno (Años)
Pequeño	2	10
Mediano	4	100
Grande	6	250
Muy grande	10	500

Este enfoque no toma en cuenta la distancia desde el océano ni topografía detallada, pero en ausencia de un análisis integral para múltiples escenarios, nuestro análisis da una indicación inicial de la exposición a los amenazas de tsunami. Un análisis adicional, incluyendo el uso de datos LIDAR que están produciéndose actualmente para todo El Salvador mejorará significativamente el trabajo que iniciamos.

2.2.4 Lahares

Los resultados del modelaje de lahares fueron facilitados por el MARN [11]. Este análisis cubrió el modelaje detallado del avance para un total de 38 combinaciones de magnitud (volumen) y ubicación en los volcanes de: Santa Ana, San Vicente (Ciudad de San Vicente), San Vicente (Norte), San Vicente (Sur Zacatecoluca), San Vicente, Conchagua, Berlín, Apaneca y el volcán de San Salvador. El tamaño de los eventos modelados varió desde un nivel mínimo como 2.500 m³ para Berlín hasta un millón de m³ en San Vicente (Sur Zacatecoluca). En total, 170 diferentes trayectos potenciales de aluvión fueron modelados con entre 4 y 6 diferentes volúmenes para cada uno. Se modeló usando el modelo LAHARZ desarrollado por Steven Schilling del USGS y ejecutado en ArcGIS usando AML [12].

Los intervalos de retorno para lahares de diferentes tamaños fueron estimados usando una combinación de información de informes del USGS [3] [13] [14] y el criterio experto de especialistas del MARN. Estas fuentes proporcionaron información sobre el probable intervalo de retorno para los lahares grandes y pequeños para cada uno de los volcanes modelados. La probabilidad de cada uno de los trayectos de lahares modelados fue estimada multiplicando el intervalo de retorno para todo el volcán por el número de trayectos de aluvión. Entonces, por ejemplo, el intervalo de retorno para un pequeño lahar en el volcán de San Salvador se estimó como 1 en 10 años; dado que hay 37 trayectos de aluvión potenciales en el volcán lo que equivale a un intervalo de retorno de 1 en 370 años para cada trayecto.

Tabla 5: Cálculo de intervalos de retorno para lahares.

Volcán/Área Modelado	# de Trayectos	Tamaño Máx. Modelado (m ³)	Intervalo de retorno (años) para Lahares pequeños	Intervalo de retorno (años) para Lahares más grandes	Intervalo por Trayecto Pequeño	Intervalo por Trayecto Grande
San Salvador	37	100,000	10	100	370	3700
San Miguel	26	300,000	3	100	78	2600
San Vicente	17	1,000,000	10	60	170	1020
Santa Ana	49	300,000	10	100	490	4900
Apaneca	19	75,000	100	500	1900	9500
Berlín	5	35,000	100	500	500	2500

Notamos que el lahar más grande que pudimos integrar al análisis para San Salvador fue de 100.000 m³ que es menor al evento estimado de 300.000 m³ que sucedió en el

1982 [14]. Las brechas en el rango de escenarios incluidos en el análisis como éste típicamente producirán subestimaciones de la AAL total pero las implicaciones precisas dependerán de las probabilidades asociadas con ellas. Escenarios de lahar han sido modelados para El Picacho (La Quebradona, El Muerto y Las Lajas) para magnitudes hasta 500.000 m^3 ; estos escenarios deberían considerarse en futuros análisis.

Los detalles de estos escenarios y sus períodos de retorno se indican en el Anexo 1.

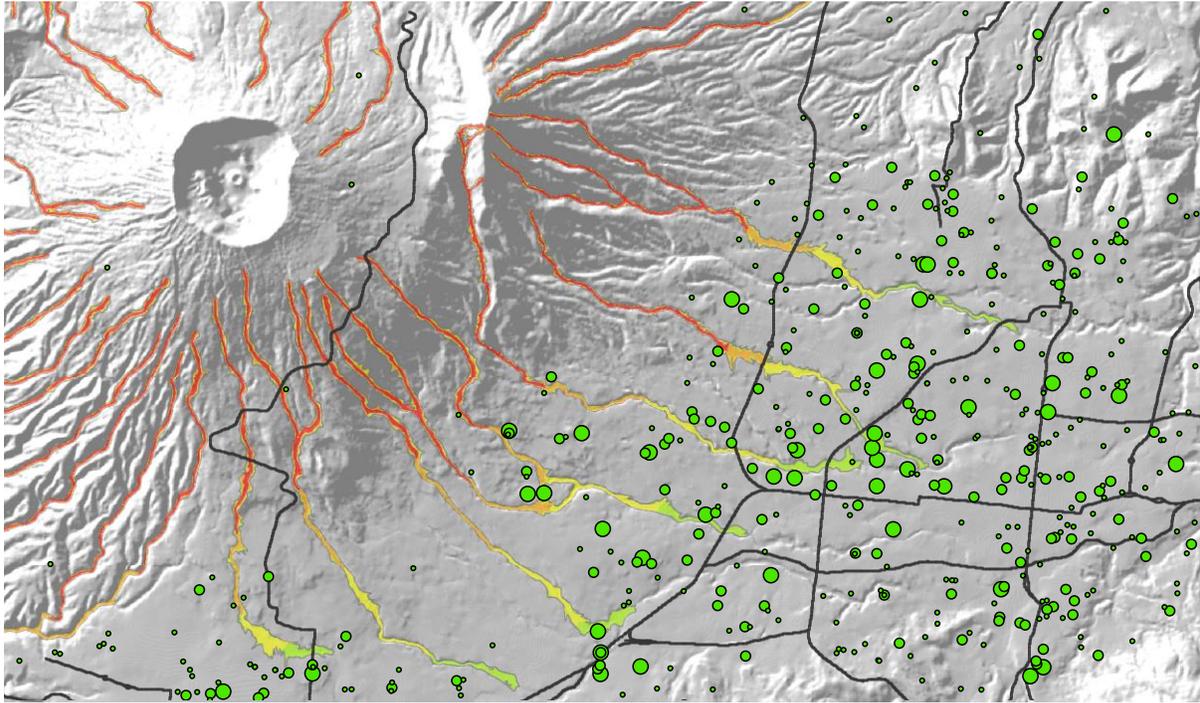


Figura 3: Ejemplo de un mapa que muestra los escenarios para lahares en el volcán de San Salvador con las vías y centros educativos (dimensionados por el valor de reposición).

2.2.5 Deslizamientos

Para este análisis, se consideraron los lahares por separado de los otros tipos de deslizamiento. Para los lahares hay análisis específicos de modelaje incluyendo los trayectos de avance para diferentes tamaños de eventos como se describió en lo precedente. Los deslizamientos, aparte de lahares, pueden tener consecuencias catastróficas. El deslizamiento inducido por un terremoto en la zona de Las Colinas de Nueva San Salvador (Santa Tecla) es un buen ejemplo [15]

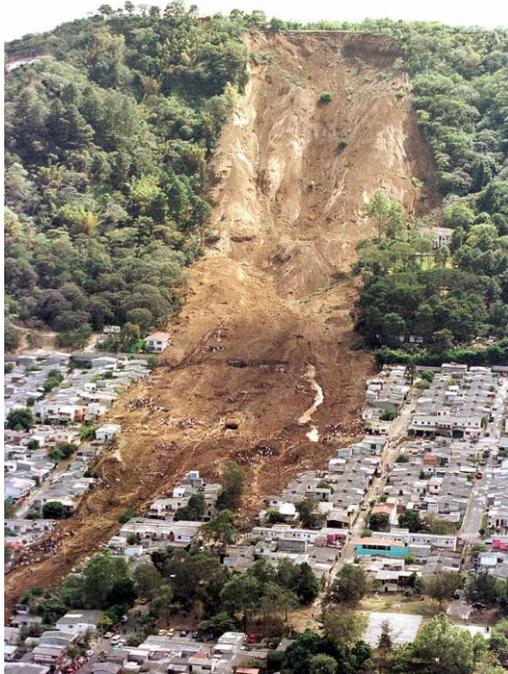


Figura 4: Deslizamiento inducido por terremoto en Las Colinas, 13 enero 2001 (USGS)

Para los deslizamientos aparte de los lahares, la información disponible con cobertura nacional consta de una capa de mapa rasterizado que distingue entre cuatro diferentes categorías de amenazas por deslizamiento: Bajo, Moderado, Alto, y Muy Alto. Estas categorías fueron producidas por el MARN usando el enfoque de Mora-Vahrson considerando los factores tales como la topografía, geología superficial, intensidad pluviométrica, y potencial para movimiento sísmico [16].

Para utilizar estos datos de amenaza por deslizamiento, se supuso que había sólo dos escenarios para cada lugar determinado: el deslizamiento ocurre o no ocurre. No se consideraron diferentes profundidades de aluvión y se supuso que cualquier deslizamiento produciría grandes daños (100 %) para las instalaciones en ese lugar. Esta suposición tenderá a causar un leve sobrestimado de la AAL asociada con deslizamiento pero no hay datos disponibles para usar una función de daños de resolución más fina.

Para producir estimados de la probabilidad de una infraestructura situada en cada una de estas categorías (baja, moderada, alta, muy alta) sea sometida a un deslizamiento, se analizaron una serie de datos espaciales proporcionados por el MARN:

1. Una lista de deslizamientos significativos del 2001 a 2011 que fueron investigados por una serie de agencias incluyendo el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) y compilada por el MARN;
2. Una capa de datos que muestra todos los deslizamientos asociados con los terremotos del 2001, derivado de la sensoría remota;
3. Polígonos de deslizamientos significativos asociados con el Huracán Mitch, derivados de la sensoría remota; y

- Polígonos de deslizamientos significativos asociados con los huracanes Ida y Stan derivados de la sensoría remota;

Se sobrepusieron las ubicaciones de los deslizamientos significativos en el conjunto de datos del 2001 al 2011 sobre la categoría de amenazas en ese lugar para el conjunto entero de datos y para subconjuntos específicos deslizamientos asociados con eventos particulares o conjuntos de eventos. Los resultados de este análisis se muestran la Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8.

Tabla 6: Deslizamientos de todos los eventos investigados de 2001 a 2011

Categoría de Amenazas	Deslizamientos 2001-2011	Deslizamientos por 10.000 km²/AÑO
Baja	29	3,7
Moderada	49	8,1
Alta	156	17,8
Muy alta	25	73,5

Tabla 7: Deslizamientos asociados con los terremotos del 2001

Categoría de Amenazas	Deslizamientos en el terremoto del 2001	Deslizamientos por 10.000 km²
Baja	16	22,5
Moderada	27	49,1
Alta	94	118,0
Muy alta	13	420,2

Tabla 8: Deslizamientos asociados con la Depresión Tropical 12-E o el Huracán Ida

Categoría de Amenazas	Total de Deslizamientos	Deslizamientos por 10.000 km²
Baja	4	5,6
Moderada	8	14,5
Alta	15	18,8
Muy alta	2	64,6

La comparación con los otros conjuntos de datos para los deslizamientos revela que:

- El número total de deslizamientos derivados de la sensoría remota para los terremotos del 2001 es 359 a comparación con los 150 que fueron investigados y se muestran en la tabla supra. Este nivel de subreportaje podría esperarse porque típicamente tenderían a investigarse los deslizamientos que tuvieron mayor impacto socioeconómico o que estuvieran más cerca de puntos de acceso.

2. El tamaño promedio de todos los 1.135 deslizamientos en los datos de sensoría remota es 4.431 m².
3. El tamaño del cuadrículado (ráster) de la capa de amenaza es 625 m² (25x25 m).

A partir de las probabilidades de ocurrencia en base al número total de deslizamientos presentados en la Tabla 9, se asignaron probabilidades de área a cada uno de los espacios cuadrículados (ráster) de 25 x 25 metros. Estas probabilidades fueron corregidas para el estimado de sub-reportaje de los deslizamientos (150 deslizamientos investigados de los 359 de la sensoría remota) y después se corrigió también para tomar en cuenta el tamaño promedio de los deslizamientos; un terremoto de 4.431 m² abarcaría un poco más de 7 de nuestros ráster de amenaza de deslizamientos (4431/625). Después de aplicar estas correcciones, se presentan los intervalos de retorno de deslizamientos para la infraestructura en cada una de las categorías de amenaza en la Tabla 9.

Tabla 9: Intervalos de retorno para Deslizamientos en cada categoría de amenaza (sin incluir los Lahares)

Categoría de Amenazas	Intervalo de retorno (años) para 25x25 m células
Baja	253.907
Moderada	116.301
Alta	52.879
Muy alta	12.812

Este enfoque presenta un resumen de relativamente cuántos deslizamientos ocurrirán en las diferentes categorías de amenaza en el conjunto de datos y también refleja el número de deslizamientos que ocurrirán en cualquier año determinado en todo el país. Sin embargo, por la naturaleza muy específica para cada sitio, se recomienda más refinamiento de los estimados de la exposición a amenazas de deslizamientos y esto requerirá datos específicos para cada sitio, que se recolectarán para cada componente de la infraestructura.

2.2.6 Amenazas volcánicas

El MARN proporcionó las extensiones para los escenarios modelados para las erupciones volcánicas de los volcanes San Salvador, San Miguel, y Santa Ana que produjeron cenizas y grandes proyectiles balísticos, flujos de lava, y flujos y corrientes piroclásticas. Estos escenarios incluyeron múltiples magnitudes así como diferentes tiempos para las erupciones del volcán Santa Ana, siendo que la época del año tiene un gran impacto en la deposición de la ceniza. Se asignaron probabilidades a cada uno de estos escenarios en base a una revisión de las erupciones históricas y aportes de expertos/as del MARN.

Tabla 10: Intervalos de retorno para las erupciones volcánicas de diferentes tamaños incluidos en el análisis.

Volcán	Pequeño	Mediano	Grande
San Miguel	5	100	300
Santa Ana	30	100	3.000
San Salvador	100	300	10.000

Tuvimos información disponible sobre los gases liberados del volcán Santa Ana pero se excluyó del análisis por su baja pertinencia al impacto de la infraestructura.

Faltaron algunos escenarios que deberán considerarse para su inclusión en el análisis futuro:

1. Ocurren grandes erupciones del Ilopango cada 10.000 a 15.000 años y se extienden sobre una zona al suroriente del volcán San Vicente y al noroeste del volcán San Salvador, produciendo los flujos de tefra y piroclásticos de varios metros de profundidad en la región de San Salvador. Aunque estos eventos sean poco probables, tendrían impactos significativos si ocurrieran.
2. Los flujos de lava en San Salvador a los lados norte y noroeste del volcán tienen un intervalo de retorno estimado en aproximadamente 1 en 200 años pero no se disponía de datos para incluirlos en este análisis.

2.3 Infraestructura

Los estudios de la vulnerabilidad de infraestructura crítica típicamente incluyen los tipos de infraestructura que son de gran importancia para la economía y sociedad de un país después de un desastre y que son prioritarias para las actividades de recuperación. Estas incluyen infraestructura de transporte, comunicación, transmisión eléctrica, agua y saneamiento, salud, educación, e instalaciones clave del Estado. Este análisis estuvo limitado por la poca disponibilidad de los datos, pero pudo incluir grandes porciones de estos tipos de infraestructura con la excepción de comunicaciones y edificios clave del Estado. Las secciones a continuación describen lo que se incluye y excluye para cada una de estas categorías.

La infraestructura incluida en este análisis es:

1. Vías – Todas las vías Primarias (CA), Secundarias (RN), y terciarias pavimentadas (~3.000 Km) – DPOP
2. Puentes viales (1.536) –DPOP/DACGER
3. Torres de transmisión de alto voltaje (3.020) – ETESAL
4. Principales subestaciones eléctricas (30) – ETESAL
5. Centros de salud (942) – MINSAL
6. Centros educativos (6.090) – MINED
7. Principal infraestructura de agua y saneamiento (707) – ANDA

Además, se recopiló la información sobre los siguientes tipos de infraestructura pero no fueron incluidos en los resultados presentados aquí:

8. Represas hidroeléctricas (4) – CEL
9. Aeropuertos (5)
10. Puertos marítimos (5)

Una evaluación adecuada de las 4 represas de CEL requeriría información más detallada de la ingeniería y sin ésta sería distorsionante incluirlas en el análisis.

Los aeropuertos y puertos marítimos son instalaciones complejas con muchos diferentes edificios y diferentes tipos de infraestructura que varían ampliamente en su vulnerabilidad ante diferentes tipos e intensidades de amenazas. Por esta complejidad se decidió que no sería apropiado incluirlas en este análisis nacional. Este tipo de conjuntos complejos de instalaciones deben examinarse más detalladamente en el futuro con cooperación más estrecha con los organismos respectivos.

Al revisar los resultados es importante comprender las brechas en infraestructura crítica pero también considerar otras instalaciones y vulnerabilidades que no son clasificadas como infraestructura crítica y no fueron consideradas. Éstos incluyen:

- Edificios residenciales,
- Edificios comerciales e industriales,
- Infraestructura local de saneamiento y para la distribución de agua potable, y
- Vías locales y sin pavimentar.

2.3.1 Vías y puentes

Este análisis incluye todas las vías primarias y secundarias y las vías terciarias pavimentadas. La información espacial para las vías se obtuvo del MARN. Se desarrollaron los costos de reposición en consulta con la unidad respectiva del Ministerio de Obras Públicas (DPOP y DACGER) usando información sobre los proyectos recientes. No se disponía de información sobre el número de carriles para todas las vías, de modo que esto se infirió por su tipo. El análisis podría mejorarse con datos más detallados sobre las vías de la DPOP. Se desarrollaron los estimados del valor de reposición de los puentes en consulta con la DPOP.

Tabla 11: Carreteras, caminos y puentes incluidos en el análisis

Description	Road Type	Number of Lanes	Unit	Category	Cost per Unit (US\$)
PRIMARIA (CAs)	Internacional	> 4	Kilómetro	A1	\$ 5'00.000
		4	Kilómetro	A2	\$ 2'500.000
		2	Kilómetro	A3	\$ 790.000
SECUNDARIA (RNs)	Ruta nacional	4	Kilómetro	B1	\$ 2'500.000
		2	Kilómetro	B2	\$ 610.000

VÍAS Terciarias	Ruta departamental	2	Kilómetro	C	\$	450.000
Puentes			Metro		\$	53.000

Ya que el marco analítico requiere que todas las vulnerabilidades sean representadas como puntos, convertimos los rasgos lineales de las vías en puntos. Esto se hizo convirtiendo la capa vial en un cuadrículado con resolución de 10 metros y luego usando el centro de cada ráster como punto que representaba ese corto segmento vial. Ya que las vías cruzan las celdas ráster a varios ángulos, fue necesario calcular la longitud promedio de la vía en cada celda para asegurar que se represente correctamente la longitud total de las vías nacionales.

La capa vial proporcionada por el MARN incluyó un total de 11.052 Km de vías. Después de la conversión en puntos, en promedio, cada punto representa 7,28 metros de vía.

Los puentes se representaron como puntos en los datos obtenidos de DPOP. Esto implica que pueden existir inexactitudes en el análisis para los puentes más largos, que crucen múltiples zonas de intensidad de los amenazas. Así como para todas las instalaciones más grandes, se recomienda que el análisis para los puentes más grandes se suplemente con información específica para cada sitio.

Información específica sobre la calidad estructural de los puentes y vías permitiría un análisis más refinado de la vulnerabilidad diferenciada ante las amenazas por fenómenos naturales. No se dispone de información detallada, pero se están recopilando los datos de planes de mantenimiento y en el futuro se podrían usar estos datos como sustituto para indicar la situación actual de los puentes tal como se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12: Clasificación de la condición de puentes en base a las opiniones de evaluadores sobre el mantenimiento requerido.

Acción requerida (en base a la opinión del evaluador)	Clasificación/Condición
Está en situación de EMERGENCIA	Muy mala
REQUIERE REPARACION	Mala
Pasa a MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Regular
Pasa a MANTENIMIENTO RUTINARIO	Buena
Se realizará INSPECCION RUTINARIA	Muy buena

Al momento de redactar este informe, estos datos no estaban disponibles en un formato que pudiera incluirse en el análisis.

Se recoge información más detallada como parte de la evaluación normal del sistema de transporte por FOVIAL y compilado por DPOP. Se recomienda revisar esta información y, de ser apropiado, ampliarla, para brindar información sobre la vulnerabilidad diferenciada de la infraestructura a las amenazas por fenómenos naturales. El trabajo futuro por DACGER podría aumentar sustancialmente el conjunto de datos información disponible sobre los puentes.

2.3.2 Centros y edificios educativos

La información sobre centros e instalaciones educativas se consiguió del Ministerio de Educación (MINED) en base al censo de todos los centros educativos de El Salvador incluyendo los particulares. El MINED también proporcionó información sobre los costos de reposición para todas las instalaciones.

MINED ha llevado a cabo un análisis de las amenazas a los que cada centro educativo está expuesto (amenazas por inundaciones, deslizamientos, e inundaciones costeras) en base a las capas del SIG facilitadas por el MARN. La información disponible de nuestro análisis es más detallada que la información de exposición que el MINED actualmente tiene, y podremos entregar estos datos refinados al MINED.

MINED está desarrollando y aplicando un índice de seguridad para los centros educativos. Hasta aquí, han aplicado esto a cuatro, por ejemplo Centro Escolar El Presidio, Sonsonate; Código 10728 [10], y planean ampliar esto a una selección mayor en el futuro. Estos estudios incluyen información sobre la construcción de todos los edificios, así como una revisión de las amenazas a los que estén expuestos, y recomendaciones para acciones que deberán tomarse para mitigar los impactos. Los temas considerados incluyen las amenazas naturales, riesgos sociales, y amenazas para la seguridad. Una vez que este conjunto de datos se haya ampliado, será posible usarlo para determinar los niveles relativos de vulnerabilidad a amenazas por fenómenos naturales de diferentes edificios educativos en base a cómo se prevé que responderán ante diferentes intensidades de amenazas.

2.3.3 Hospitales e instalaciones médicas

La información para hospitales y otras instalaciones médicas fue proporcionada por el Ministerio de Salud (MINSAL) en base a un censo de todas sus instalaciones. MINSAL también proporcionó información que se utilizó para asignar los costos de reposición para todas las instalaciones en base a su tipo y tamaño. Esta información incluyó los estimados de costos para instalaciones típicas, así como información sobre el nuevo hospital departamental en San Miguel y el nuevo hospital de maternidad que se abrió en mayo del 2014.

Las instalaciones de salud que no son administradas por MINSAL, como las que son parte del sistema de salud disponible a servidores públicos (IIS) no están incluidas en nuestro análisis. Esto deberá abordarse en los análisis futuros.

MINSAL ha realizado un estudio detallado de los riesgos y la seguridad en 29 de los 30 hospitales nacionales con algunos resultados resumidos en la Tabla 13. El 30^{mo} hospital, La Unión, está construyéndose actualmente y se prevé que cumplirá con normas

exigentes cuando esté terminado. Dicho estudio se hizo aplicando el protocolo de la Organización Panamericana de la Salud [17]. Con más conversaciones y aclaraciones del MARN, debe de ser posible en el futuro refinar nuestro análisis con información sobre la condición de los hospitales. Hubo insuficiente información disponible para que el presente análisis pudiera determinar las implicaciones del índice de resiliencia de los edificios para las funciones de los daños.

Análisis de riesgo en infraestructura prioritaria

Tabla 13: Resultados seleccionados de la evaluación para el índice de seguridad hospitalaria para 29 hospitales nacionales en El Salvador.

#	GIDRef	Hospital	1- Amenazas (1=Bajo, 2=Medio, 3=Alto)											2. Aspectos relacionados con la seguridad estructural	
			1.1.1 Fenómenos geológicos				1.1.2 Fenómenos hidrometeorológicos				1.2 Propiedades geotécnicas del suelo			2.2 Seguridad relacionada con el sistema estructural y el tipo de material usado en la edificación.	
			Sismos	Erupciones volcánicas	Deslizamientos	Tsunamis	Huracanes	Lluvias torrenciales	Penetraciones del mar o río	Deslizamientos	Liquefacción	Suelo arcilloso	Talud inestable	4. Estado de la edificación (1=Poor Condition, 3=Good Condition)	13. Adecuación estructural a fenómenos. (meteorológicos, geológicos entre otros) (1=Low Resilience, 3=High Resilience)
1	70	CHALCHUAPA	3	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	3
2	104	SANTA ANA	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1
3	531	ILOBASCO	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	2	3
4	377	BLOOM	2	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1
5	426	COJUTEPEQUE	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	3	3
6	640	JIQUILISCO	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	3
7	700	USULUTAN	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
8	378	ROSALES	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
9	269	SAN RAFAEL	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
10	517	ZACATECOLUCA	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	3	3
11	3	AHUACHAPAN	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
12	191	CHALATENANGO	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	0	2	3
13	327	SAN BARTOLO	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
14	171	SONSONATE	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1
15	604	SAN VICENTE	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
16	898	SANTA ROSA DE LIMA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	2
17	827	SFCO GOTERA	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	3
18	757	SAN MIGUEL	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	3	3
19	710	CIUDAD BARRIOS	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	3
20	734	NVA GUADALUPE	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	3	3
21	555	SENSUNTEPEQUE	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
22	468	SUCHITOTO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	3
23	406	GENERAL PSIQUIATRICO	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3
24	331	ZACAMIL	2	3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	3	3
25	379	SALDAÑA	2	2	2	1	1	3	1	2	1	2	2	2	3
26	219	NVA CONCEPCION	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3
27	90	METAPAN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
28	694	SANTIAGO DE MARIA	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	3
29	380	DE LA MUJER	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3

2.3.4 Infraestructura de agua y saneamiento

Se recibió la información sobre la infraestructura de agua y saneamiento de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). Incluye sólo las principales infraestructuras propias de ANDA o administradas por ésta, incluyendo estaciones de tratamiento de agua potable y aguas servidas, tanques, y estaciones de bombeo. Estos conjuntos de datos excluyen la información sobre los tubos de agua potable o servida, la distribución local de agua y las estaciones de tratamiento locales de aguas servidas.

Se derivaron los estimados iniciales de los costos de reposición de los valores predeterminados descritos en el manual técnico Hazus reproducidos en la Tabla 14 y luego fueron refinados en conversaciones con ANDA.

Tabla 14: Costos de reposición predeterminados para la infraestructura de agua potable y tratamiento de aguas servidas de Hazus (miles de dólares).

Sistema	Valor de reposición (miles de \$)	Etiqueta	Clasificación del componente (capacidad en millones de galones por día)
Agua potable	1	PWP1	Tubo quebradizo (por cada ruptura)
	1	PWP2	Tubo dúctil (por cada ruptura)
	30.000	PWT1	Pequeña Estación de Tratamiento de Agua con Componentes Anclados <50
	30.000	PWT2	Pequeña Estación de Tratamiento de Agua sin Componentes Anclados <50
	100.000	PWT3	Estación Mediana de Tratamiento de Agua con Componentes Anclados 50-200
	100.000	PWT4	Estación Mediana de Tratamiento de Agua sin Componentes Anclados 50-200
	360.000	PWT5	Estación Grande de Tratamiento de Agua con Componentes Anclados >200
	360.000	PWT6	Estación Mediana de Tratamiento de Agua sin Componentes Anclados >200
	400	PWE1	Pozos
	1.500	PST1	Tanque de Hormigón Anclado en la Tierra
	1.500	PST2	Tanque de Hormigón No Anclado en la Tierra
	800	PST3	Tanque de Acero Anclado en la Tierra
	800	PST4	Tanque de Acero No Anclado en la Tierra
	800	PST5	Tanque de Acero Anclado en altura sobre la Tierra
	800	PST6	Tanque de Acero No Anclado en altura sobre la Tierra
	30	PST7	Tanque de Madera en la Tierra
	150	PPP1	Pequeña planta de bombeo con los equipos anclados <10
150	PPP2	Pequeña planta de bombeo con los equipos no anclados <10	
525	PPP3	Planta mediana/grande de bombeo con los equipos anclados >10	
525	PPP4	Planta mediana/grande de bombeo con los equipos no anclados >10	

Los valores usados en nuestro análisis se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15: Estimados de los valores de reposición para los componentes de la infraestructura de agua potable y alcantarillado usados en el análisis.

Tipo	Valor estimado de reposición
Planta de Tratamiento de Agua Potable – Las Pavas	\$120'000.000
Planta de Tratamiento de Agua Potable and Plantel Central – Típica	\$40'000.000
Planta de Tratamiento de Aguas Negras	\$2'000.000
Planta De Bombeo / Tanque de almacenamiento de agua	\$950.000
Tanque de almacenamiento de agua	\$800.000

Planta de Bombeo	\$150.000
Paso Tubería	\$1.000

ANDA está trabajando para proporcionar información más exacta sobre los costos de reposición para su infraestructura clave, más información sobre los ductos cruciales como el suministro de agua potable desde Las Pavas. Esta información no estuvo disponible a tiempo para incluirla en nuestro informe de análisis.

2.3.5 Infraestructura de transmisión eléctrica

La información sobre la infraestructura de transmisión eléctrica utilizada en nuestro análisis fue facilitada por la autoridad que la administra, ETESAL, e incluye únicamente las torres y subestaciones de transmisión manejadas por ETESAL. Los datos no incluyen la infraestructura de transmisión administrada por otras entidades ni la infraestructura de distribución, pero ya que ETESAL maneja el sistema principal de transmisión y otros organismos manejan la distribución, se prevé que los resultados sean representativos del sistema nacional.

Se generaron los estimados de los costos de reposición con referencia a los estimados predeterminados de la infraestructura transmisión utilizados en los manuales técnicos de Hazus combinados con los estimados de proyectos recientes de construcción en Canadá.

Tabla 16: Costos predeterminados de reposición de la infraestructura de transmisión eléctrica de Hazus (miles de dólares)

Sistemas de energía eléctrica	10.000	ESS1	Subestación de voltaje bajo (115 KV), componentes anclados
	10.000	ESS2	Subestación de voltaje bajo (115 KV), componentes no anclados
	20.000	ESS3	Subestación de voltaje mediano (230 KV), componentes anclados
	20.000	ESS4	Subestación de voltaje mediano (230 KV), componentes no anclados
	50.000	ESS5	Subestación de voltaje alto (500 KV), componentes anclados
	50.000	ESS6	Subestación de voltaje alto (500 KV), componentes no anclados
	3	EDC1	Circuitos de distribución con componentes diseñados considerando factores sísmicos
	3	EDC2	Circuitos de distribución con componentes estándar
	100.000	EPP1	Generadora pequeña con componentes anclados <100MW
	100.000	EPP2	Generadora pequeña con componentes sin anclar <100MW
	500.000	EPP3	Generadora mediana / grande con componentes anclados >100MW
	500.000	EPP4	Generadora mediana / grande con componentes sin anclar >100MW

En base a los costos de construcción en Canadá, se estimaron los costos de reposición de las torres de transmisión de alto voltaje y las líneas respectivas en \$75.000 por torre para El Salvador. Estamos esperando ahora la información actualizada de ETESAL sobre los costos de reposición para toda su infraestructura.

El valor de las subestaciones varía grandemente según su tamaño y propósito. Ya que la información sobre las subestaciones de ETESAL está actualmente limitada a sus ubicaciones y que son las principales subestaciones del país, se ha estimado su valor promedio de reposición en \$16'000.000. Esto se basa en el costo de la nueva subestación en San Matías (100 MVA) que CEL y ETESAL acaban de inaugurar y que costó \$16 millones y beneficia a 18.000 personas.

2.3.6 Comunicaciones

Los datos sobre la infraestructura de comunicaciones no estuvieron disponibles para incluirlos en este análisis. Esta brecha debe abordarse en los análisis futuros de la vulnerabilidad de infraestructura; sin embargo, no se prevé que contribuya grandemente a la AAL en base a la información de otros análisis como el Informe de Evaluación Mundial [2].

2.3.7 Otra Infraestructura: represas, aeropuertos, y puertos marítimos

MARN facilitó información sobre la ubicación de las principales represas hidroeléctricas (de CEL), aeropuertos y puertos marítimos. Hemos asignados valores a estas instalaciones, pero consideramos que la información sobre los componentes infraestructurales es insuficiente para producir estimados creíbles de los daños. Por esta razón, aunque se incluyan en el marco de análisis, no recomendamos que se utilicen los resultados por lo pronto. Se requerirán análisis más detallados y más específicos para cada sitio para producir estimados e información que sean útiles.

2.4 Funciones de daños

Para estimar los niveles promedio de daños para cada tipo de instalaciones para los diferentes niveles de intensidad de las amenazas, se ha creado 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 en el lugar de la infraestructura y podrán ser la profundidad de la caída de cenizas, el nivel de movimiento sísmico en un terremoto – PGA, 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. Nótese que 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.

Para el análisis solamente contamos con información sobre el tipo y la ubicación de la infraestructura. Esto significa que una sola relación podrá usarse para una amplia gama de diferentes tipos de construcción, por ejemplo. Por las incertidumbres en estas relaciones de daños y para mejor comprender la sensibilidad de los resultados a estas funciones, se hizo este análisis con dos variantes – incrementando y disminuyendo los valores de la intensidad para cada nivel de daños en un 25 % para hacer que la curva sea más vertical (más daños en niveles menores) más horizontal (mayores niveles de intensidad de amenazas para causar un determinado nivel de daños).

2.4.1 Daños por movimientos sísmicos

Muchos enfoques para estimar los daños por los movimientos sísmicos utilizan el Desplazamiento Máximo de la Tierra o la Velocidad Máxima de la Tierra. Sin embargo, los datos del estudio RESIS II incluyen únicamente la Aceleración Máxima de la Tierra (PGA) y las Aceleraciones Espectrales (SA) con varios períodos de retorno. Con esta limitación, se usó PGA como sustituto de las demás medidas para todos los tipos de infraestructura excepto los puentes, para los que se usaron las SA de un segundo, ya que generalmente se considera que es mejor indicador de los daños previsible para los puentes [5].

Para los Edificios, se definieron cuatro tipos de funciones, en base a una revisión de las curvas de daños utilizadas en los estudios de CAPRA en El Salvador [8] [18] que se enfocaron en los edificios residenciales y algunos institucionales en la zona metropolitana de San Salvador. Estas curvas cubren la gama de diferentes niveles de vulnerabilidad para los movimientos y se muestran en la Figura 6.

Idealmente, se asignarían las funciones de daños a los edificios en base a su tipo de construcción, su número de pisos, y el código de construcción que rigió durante su construcción, como se muestra en la Figura 5 de CAPRA [18].



Figura 5: Tipología de tipos de construcción de CAPRA.

Sin embargo, la información sobre los edificios específicos está limitada para nuestro análisis y por eso se utilizó la Relación B de daños a edificios para los centros educativos y la Relación C para los hospitales para reconocer que, en general se prevé que los centros educativos sean menos resilientes a los movimientos que los hospitales (Véase la Figura 6). El análisis futuro debe incorporar los índices de calidad de la construcción para los hospitales y centros de salud, pero por lo pronto hubo insuficiente información para hacerlo.

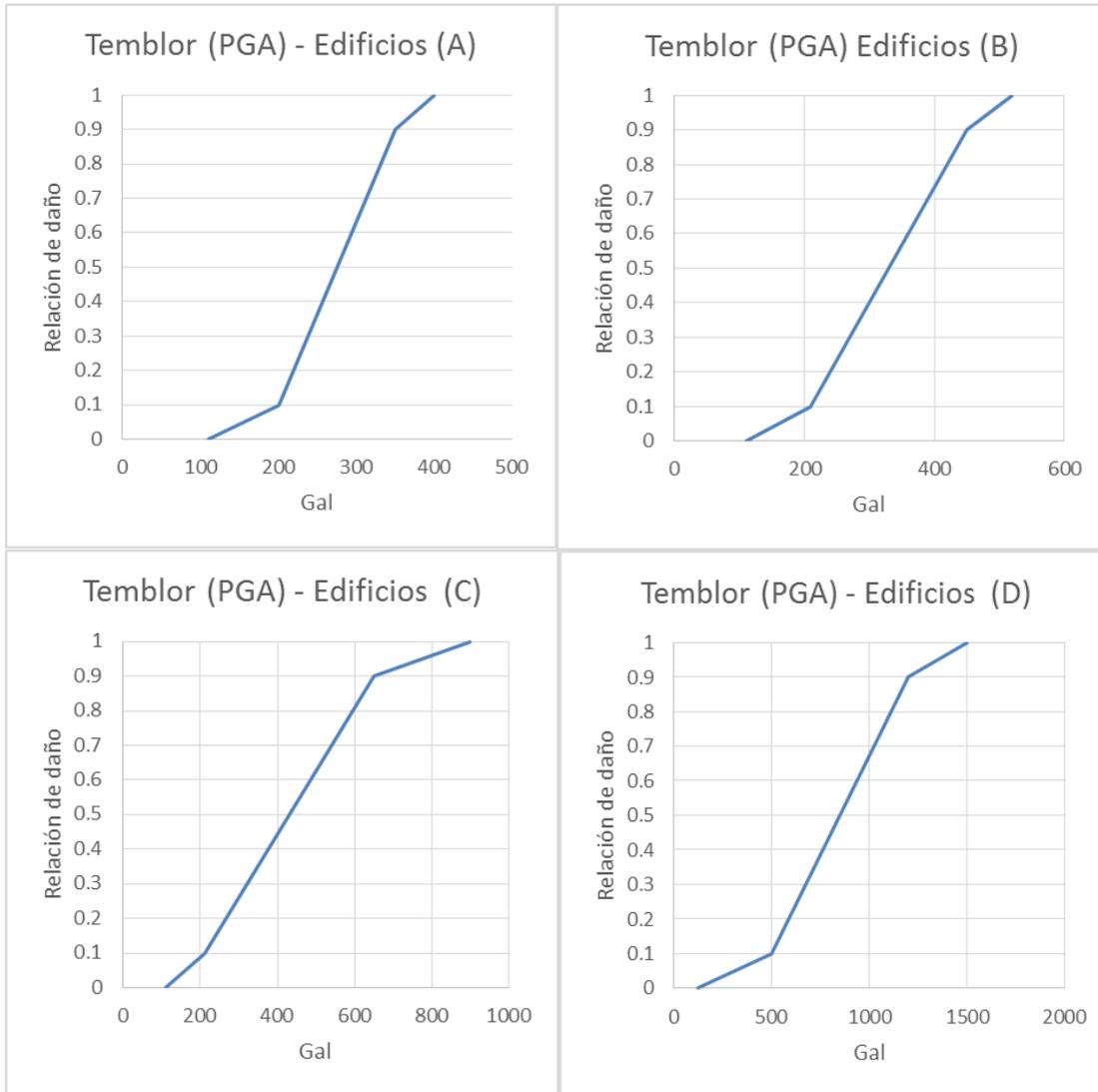


Figura 6: Funciones de daños para los diferentes tipos de edificios, que van desde los menos resilientes (A) hasta los más resilientes (B) en base a una revisión de las relaciones de daños de CAPRA. El eje vertical muestra la relación de daños y el eje horizontal el grado de temblor

Para la infraestructura aparte de los edificios, se usó la información de Hazus para definir las curvas de daños [5].

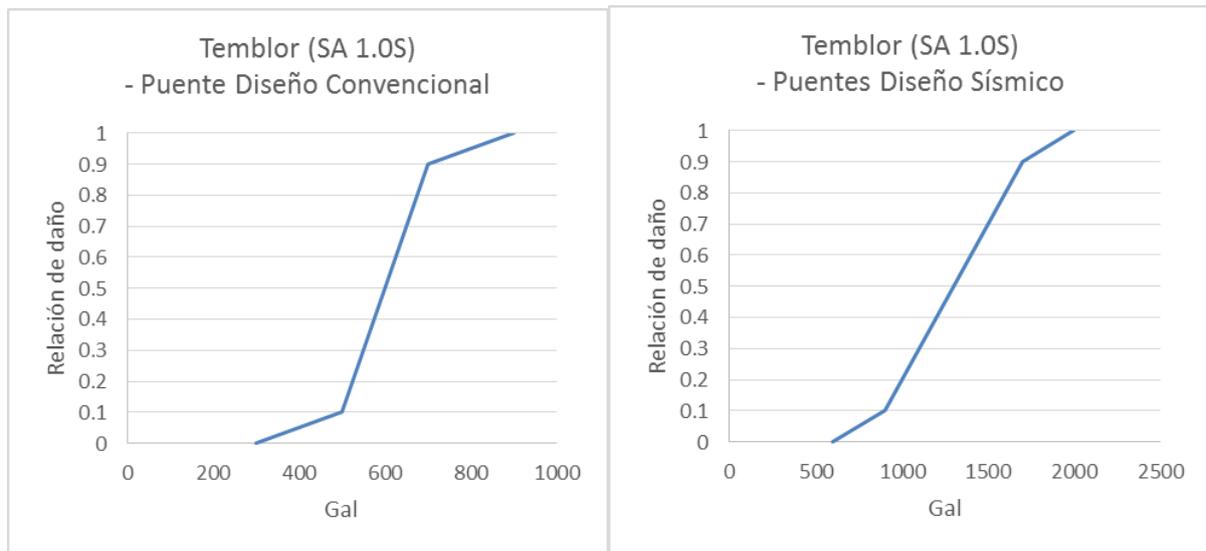


Figura 7: Daños a puentes en función de la aceleración espectral de 1,0 segundo para los diseños convencionales (panel de la izquierda) y sísmicos (panel de la derecha) de los puentes de carreteras.

Para los puentes en El Salvador se usó la relación para el diseño de puentes convencionales (Figura 7). Para las carreteras, se optó por una función intermedia que se presenta en la Figura 8.

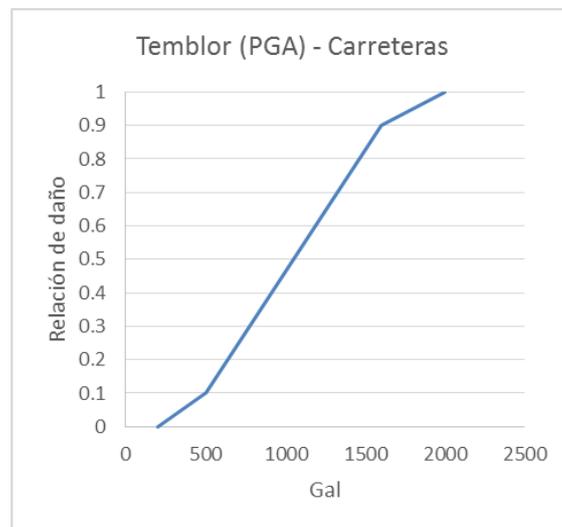


Figura 8: Daños viales en función del movimiento sísmico (PGA).

Para la infraestructura eléctrica e hidráulica, se usaron los valores de los manuales técnicos Hazus como base para generar las relaciones en base a las conversaciones con el MARN, asumiendo que la infraestructura en El Salvador era más similar a las clases menos resilientes en Hazus.

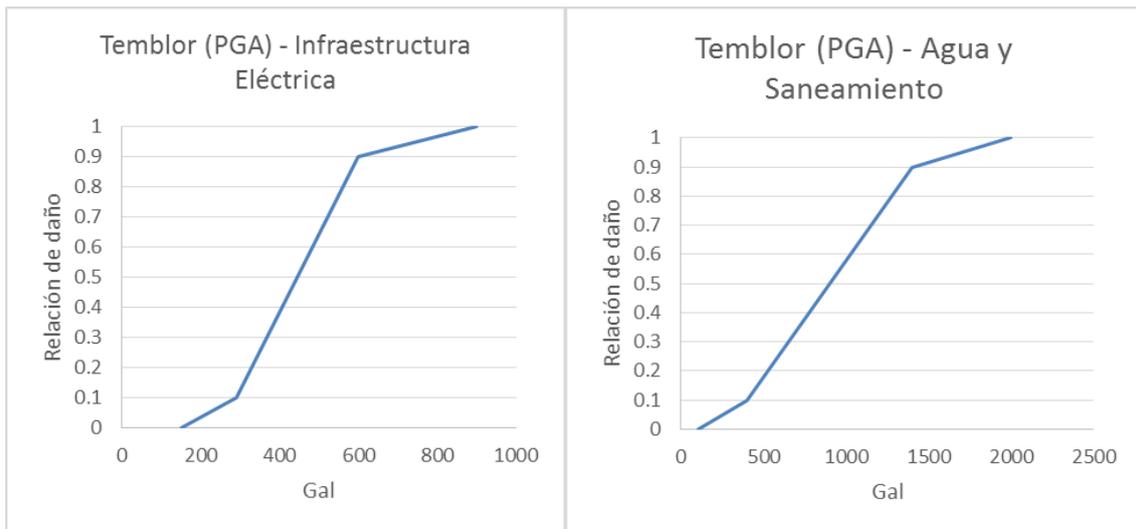


Figura 9: Daños a subestaciones eléctricas (panel de la izquierda) e infraestructura de agua y saneamiento (panel de la derecha) en función del movimiento sísmico (PGA).

2.4.2 Daños por inundación

Se produjeron las curvas de daños con base en una revisión de las curvas en el Manual Técnico Hazus para las Inundaciones [19] y un estudio reciente de Nueva Zelanda que examina el incremento en los riesgos de inundaciones con el cambio climático [20]; ya que existe un mínimo de información sobre los parámetros específicos de los edificios e instalaciones, fue necesario elegir una sola curva para cada tipo de infraestructura.

Para los edificios, se generaron dos relaciones en gran medida con base en la información del estudio de Nueva Zelanda que mostró las agrupaciones de curvas de daños para los edificios de hormigón, mampostería y madera. La curva de mampostería se asignó a los edificios educativos y la curva de hormigón para los hospitales según los aportes del MARN.

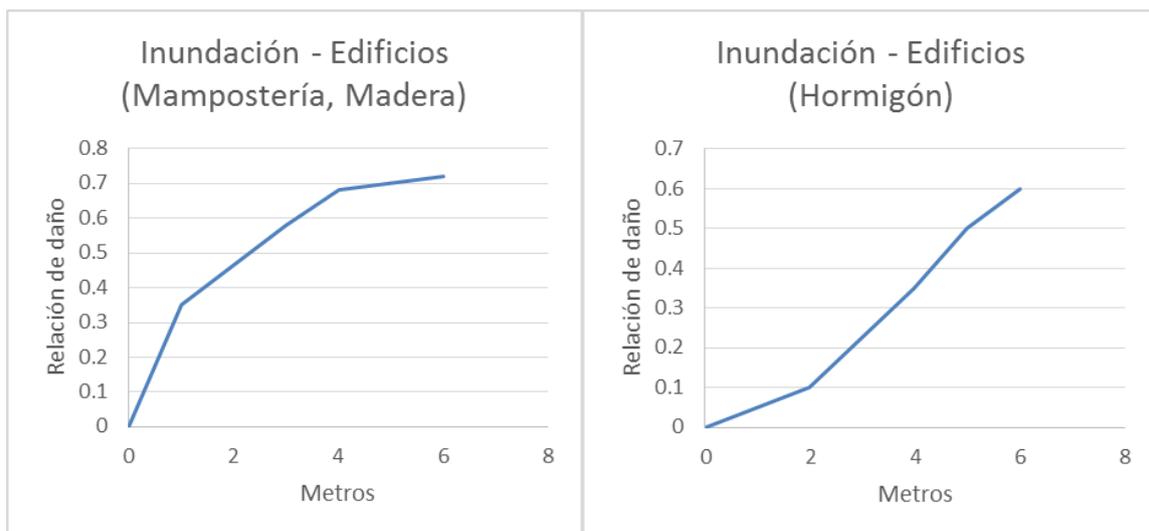


Figura 10: Curva de daños por inundaciones a los edificios de mampostería y madera (panel de la izquierda) y hormigón (panel de la derecha) en función de la profundidad de la inundación (metros).

Las funciones de daños para las subestaciones eléctricas y la infraestructura de agua y saneamiento fueron extrapoladas asimismo de los manuales técnicos de Hazus.

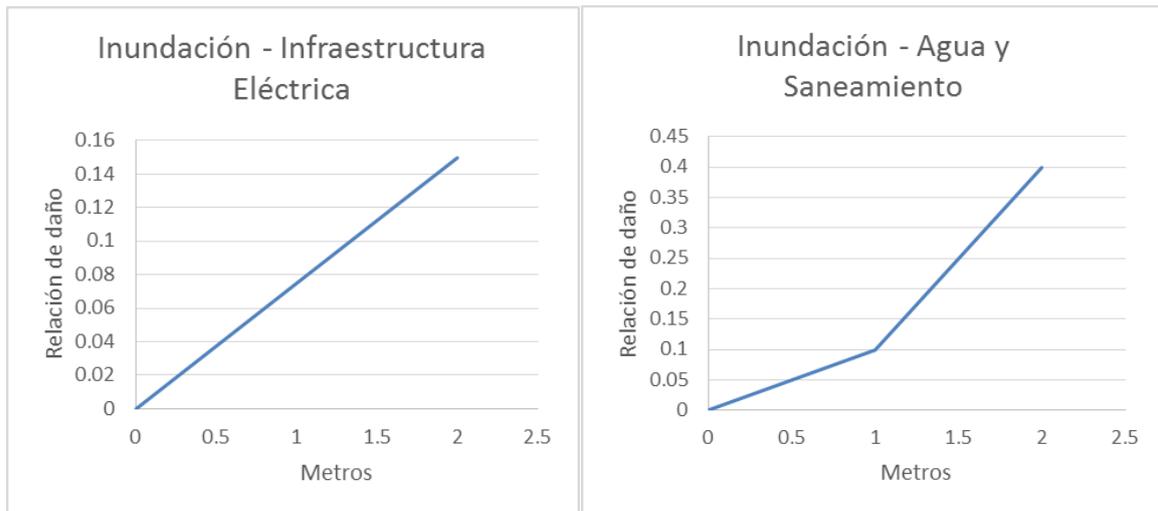


Figura 11: Daños a subestaciones eléctricas (panel de la izquierda) e infraestructura de agua y saneamiento (panel de la derecha) en función de la profundidad de la inundación (metros).

Estimar los daños para las vías y los puentes en base a la profundidad de inundación no es el enfoque ideal, ya que la velocidad y el arrastre son más importantes que simplemente la profundidad. Sin embargo, la única información disponible para este estudio a escala nacional es la profundidad y por eso se generaron funciones de daños por la profundidad para estos dos tipos de infraestructura con la profundidad como sustituto de la velocidad y duración. Estas indican que, a mayor profundidad de inundación en los drenajes de los ríos, se prevé mayores niveles de daños.

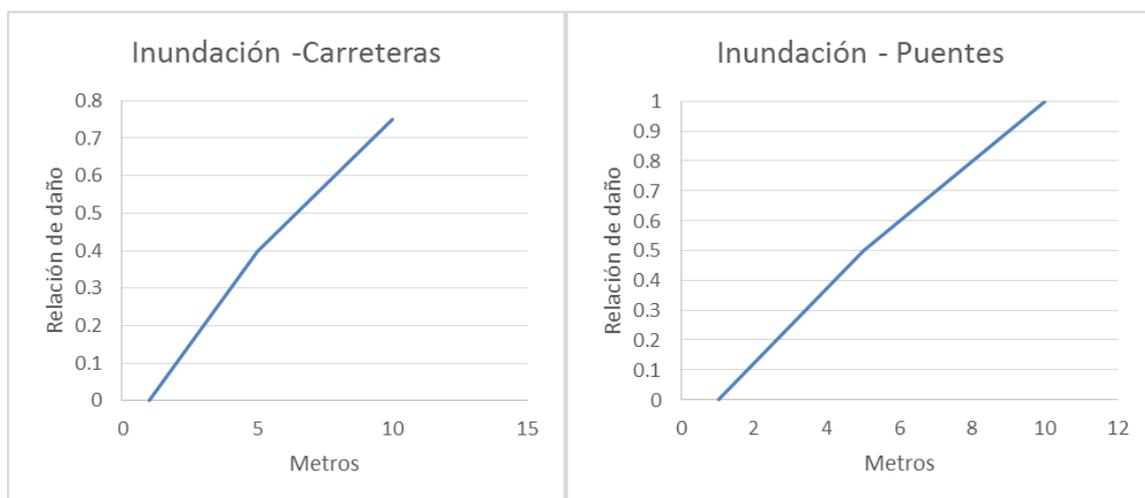


Figura 12: Curva de daños por inundaciones a las vías (panel de la izquierda) y los puentes (panel de la derecha) en función de la profundidad de la inundación (metros).

Sin contar con información específica sobre los puentes, tanto el tipo de construcción como la elevación del puente por encima del río, es difícil desarrollar relaciones más sofisticadas que estas. Recomendamos levantar información adicional sobre estos aspectos para así desarrollar curvas de daños que correspondan a cada puente importante.

2.4.3 Daños por tsunamis

No se dispone fácilmente de relaciones genéricas de los daños para los tsunamis, de modo que se revisaron los informes de los estudios de caso, en particular para el Océano Índico en 2004 [21]. Estos estudios de caso indican el nivel de daños experimentado; también se utilizaron los criterios profesionales y comparaciones con los daños por las inundaciones para producir un conjunto de curvas de daños.

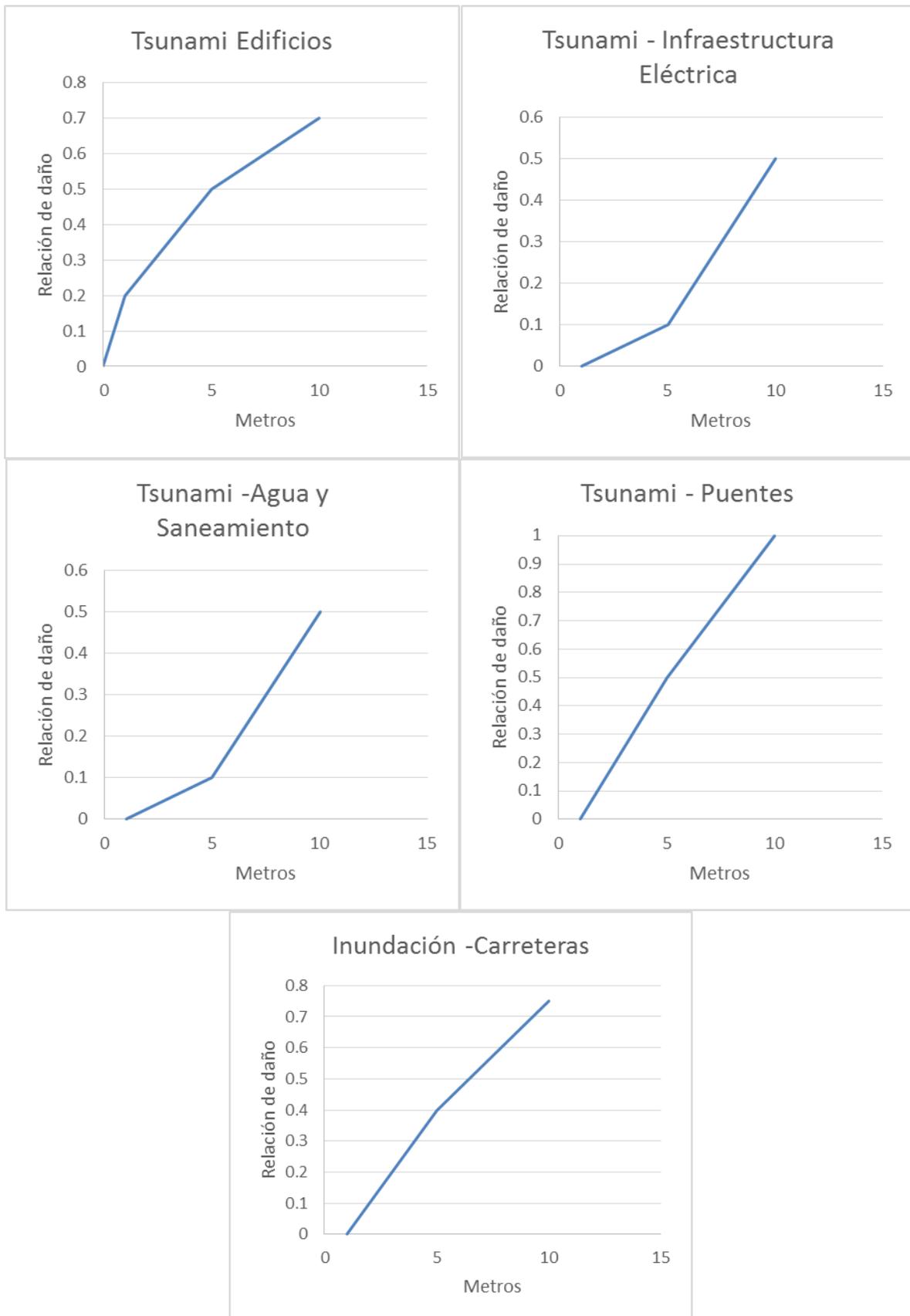


Figura 13: Daños a la infraestructura en función de la profundidad de inundación por tsunami. Panel superior izquierdo – edificios; panel superior derecho – infraestructura energética; panel del centro izquierdo – agua y saneamiento; panel del centro derecho – puentes; panel inferior - vías

2.4.4 Daños por cenizas

Así como con el enfoque para los daños por tsunamis, se revisaron los estudios de caso para los daños por ceniza, conjuntamente con la información del USGS. En particular, el sitio Web del USGS sobre los Impactos y Mitigación de Ceniza Volcánica (https://volcanoes.usgs.gov/volcanic_ash/) contiene información útil sobre los daños para los diferentes tipos de instalaciones. Por ejemplo, dice que “La acumulación de tefra puede producir el colapso de los techos de los edificios, romper las líneas de energía eléctrica y comunicaciones y dañar o matar la vegetación. Aun las caídas ligeras (<2 cm) de ceniza pueden dañar las estaciones cruciales como hospitales, estaciones de generación eléctrica y de bombeo, el alcantarillado de aguas lluvias y drenaje de aguas superficiales, y las estaciones de tratamiento de aguas servidas, y producir cortos circuitos en las instalaciones de trasmisión eléctrica, las líneas telefónicas y los trasmisores de radio y televisión”.

En base a esta información, se generaron las curvas de daños como se presentan en la Figura 14. Nótese que, en los escenarios de caída de tefra que se utilizaron en este análisis, son escasas las caídas extensas de profundidad significativa.

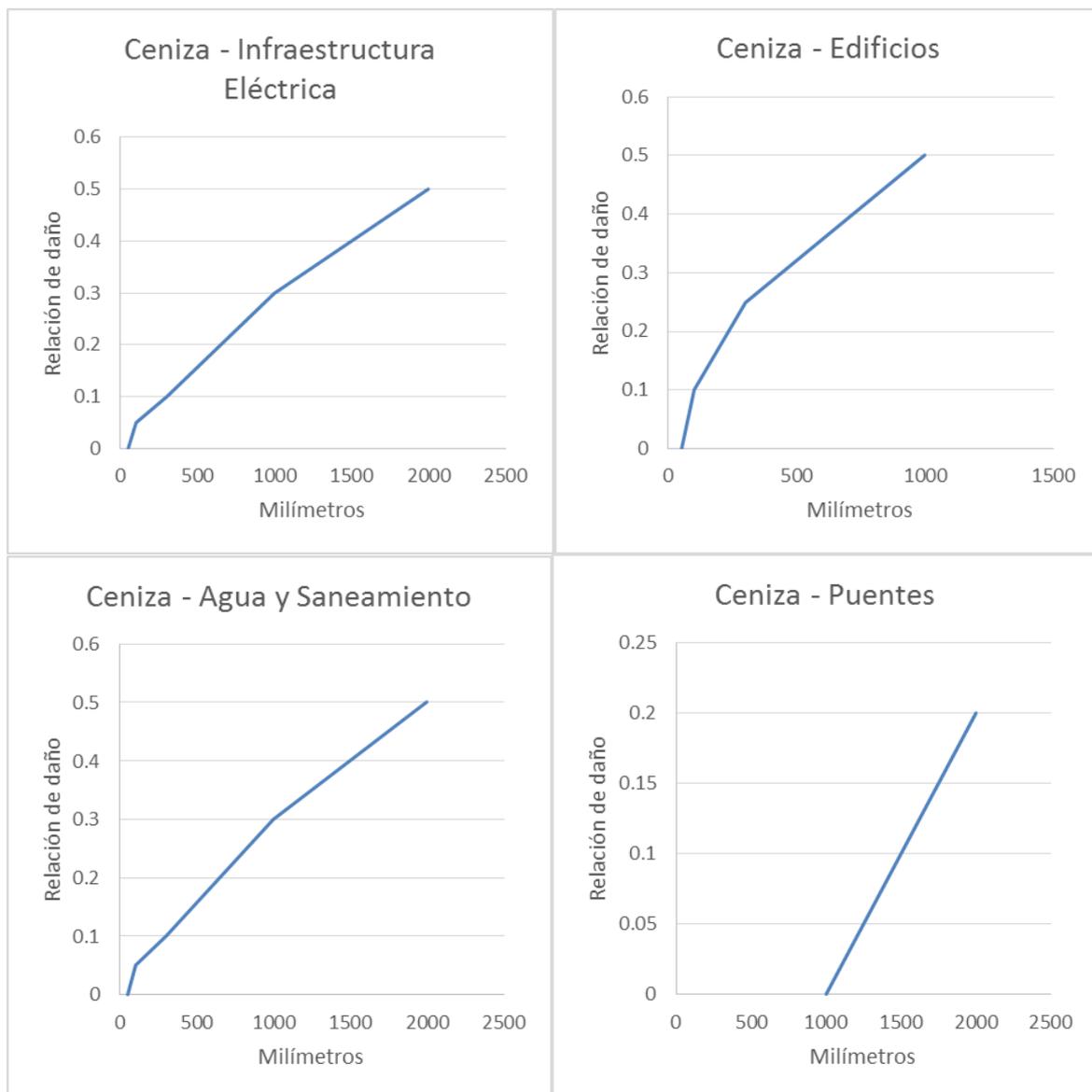


Figura 14: Daños en función de la profundidad de las cenizas. Panel superior izquierdo – infraestructura energética; panel superior derecho – edificios; panel inferior izquierdo – agua y saneamiento; panel inferior derecho – puentes

2.4.5 Otras funciones de daños

Se supuso que hay ciertas amenazas que, de acontecer, causarían el 100 % de daños para la infraestructura: lava, lahares, flujos y corrientes piroclásticas, y deslizamientos.

Aunque la lava típicamente avanza lentamente, probablemente produciría daños catastróficos de haber infraestructura en el trayecto de un flujo de lava. Asimismo, se puede prever que los lahares produzcan daños muy extensos. La fuerza del impacto de los fragmentos que caigan de los grandes proyectiles balísticos cerca de una erupción puede causar grandes daños a la infraestructura, pero es improbable que sea lo suficientemente densos para causar su destrucción.

La suposición de daños del 100 % puede ser algo conservadora en algunos casos, pero no se considera que haya suficiente información sobre las amenazas para diferenciar entre los niveles menores de intensidad que podrían causar menos daños.

Tabla 17: Daños causados por amenazas volcánicas y deslizamientos.

Amenaza	Tipo de Infraestructura	Nivel de daños (%)
Lahar	Toda	100
Lava	Toda	100
Proyectiles Balísticos	Toda	50
Flujo Piroclástico	Toda	100
Corriente Piroclástica	Toda	100
Deslizamiento	Toda	100

3 Resultados

La Pérdida Anual Promedio (AAL) Total para las 7 categorías de infraestructura usando las funciones de daños descritas supra es \$35'528.072. La distribución de la AAL entre los diferentes tipos de amenaza se presenta en la Figura 15.

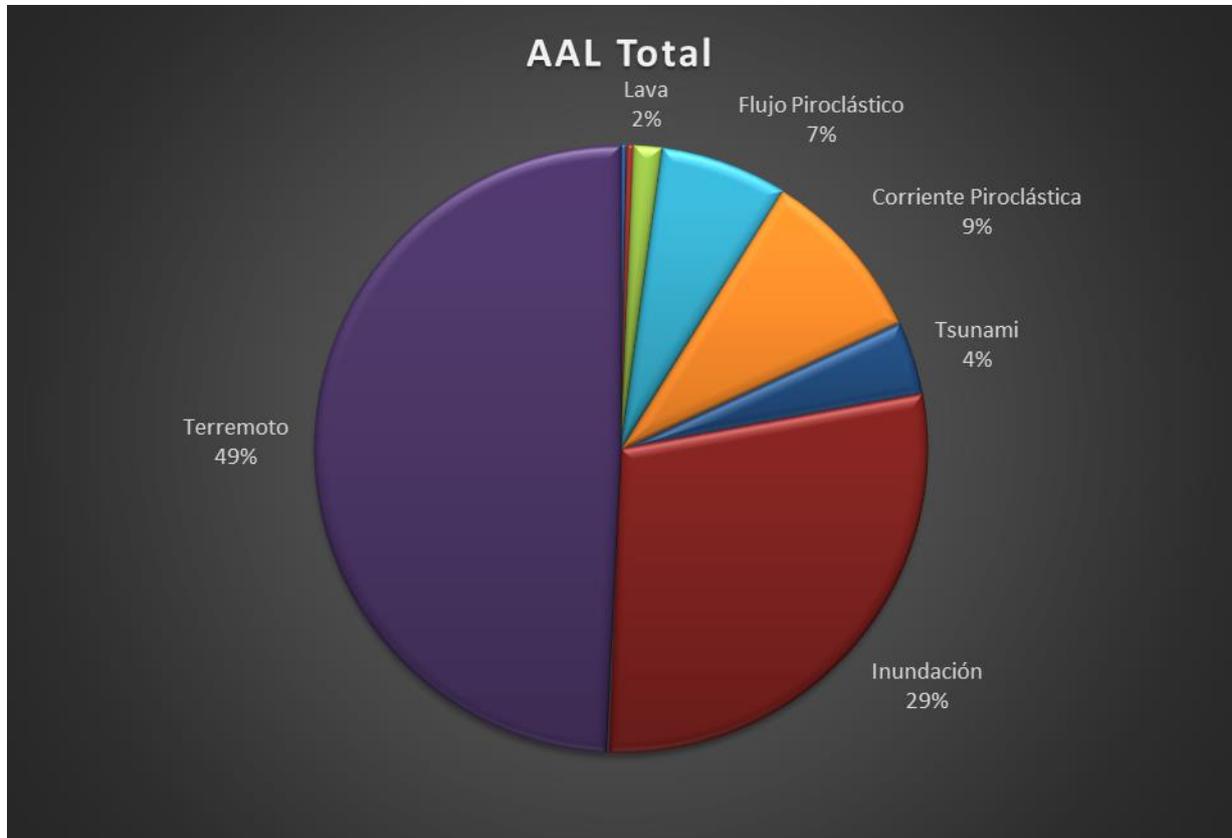


Figura 15: Pérdida Anual Promedio (AAL) Total para todos los tipos de amenaza analizados. Terremoto 49 %; lava 2 %; flujo piroclástico 7 %; corriente piroclástica 9 %; tsunami 4 %; inundación 29 %.

El patrón general entre los tipos de amenaza coincide con los demás estudios en los cuales las inundaciones y terremotos representan el mayor componente. Las pérdidas por los terremotos son relativamente altas ya que toda la infraestructura queda expuesta a algún nivel de movimiento sísmico y todo El Salvador está en una categoría de relativamente alto riesgo. Las pérdidas por las inundaciones son significativas ya que los eventos de inundación ocurren en muchas áreas del país y los eventos son relativamente comunes con los huracanes y tormentas tropicales asociados.

Las amenazas volcánicas tienen un alto potencial destructivo cuando ocurren, pero sus probabilidades suelen ser menores y en muchos casos la construcción de infraestructura crítica ha tendido a evitar las áreas de mayor exposición. Los estimados de AAL para los flujos y corrientes piroclásticas son relativamente altos en este análisis por los intervalos de retorno elegidos y su potencial de daños catastróficos. Sin embargo, existe incertidumbre significativa en los intervalos de retorno para estos eventos.

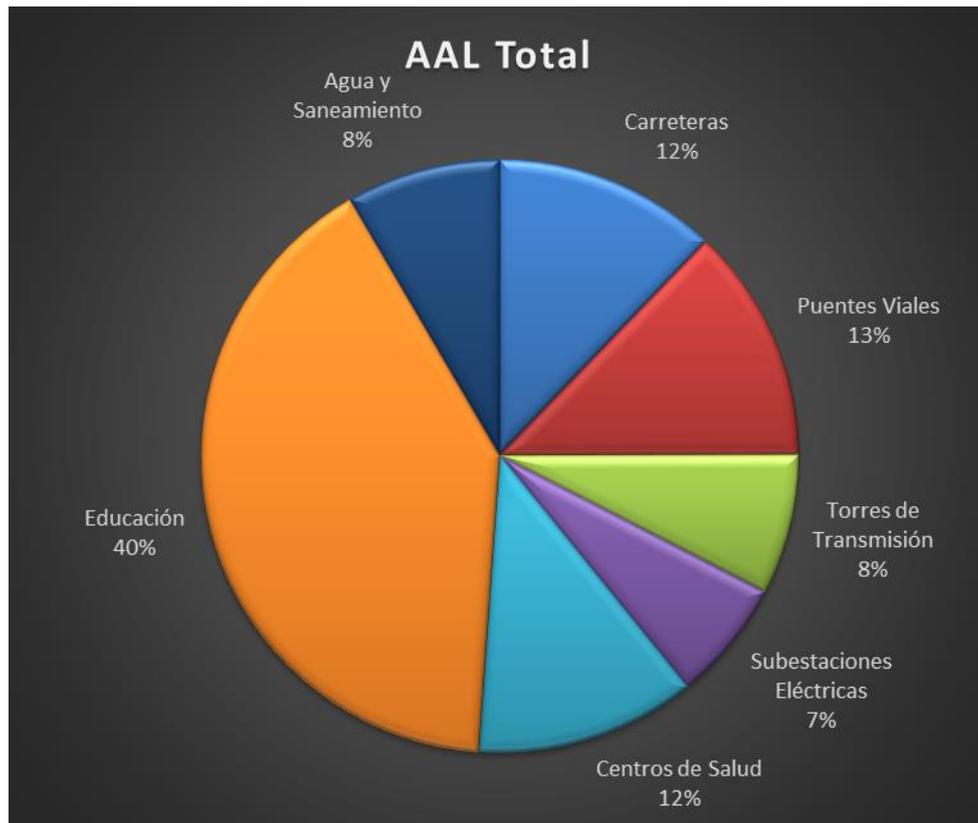


Figura 16: AAL Total para los tipos de infraestructura analizados. Educación 40 %; agua y saneamiento 8 %; carreteras 12 %; puentes viales 13 %; torres de transmisión 8 %; subestaciones eléctricas 7 %; centros de salud 12 %

La Figura 16 muestra la distribución de la AAL total entre los tipos de infraestructura incluidos en el análisis. La mayor contribución es de las instalaciones educativas, lo que refleja el gran número de edificios distribuidos por todo el país y su nivel relativamente menor de resiliencia ante el movimiento sísmico.

Hay muchas maneras de resumir los resultados de este análisis dependiendo de los intereses específicos; se muestran algunos ejemplos y opciones en las siguientes secciones.

3.1 Resúmenes de la Pérdida Anual Promedio

Los siguientes gráficos muestran cómo se distribuye la AAL entre las diferentes combinaciones de los tipos de amenazas y tipos de infraestructura.

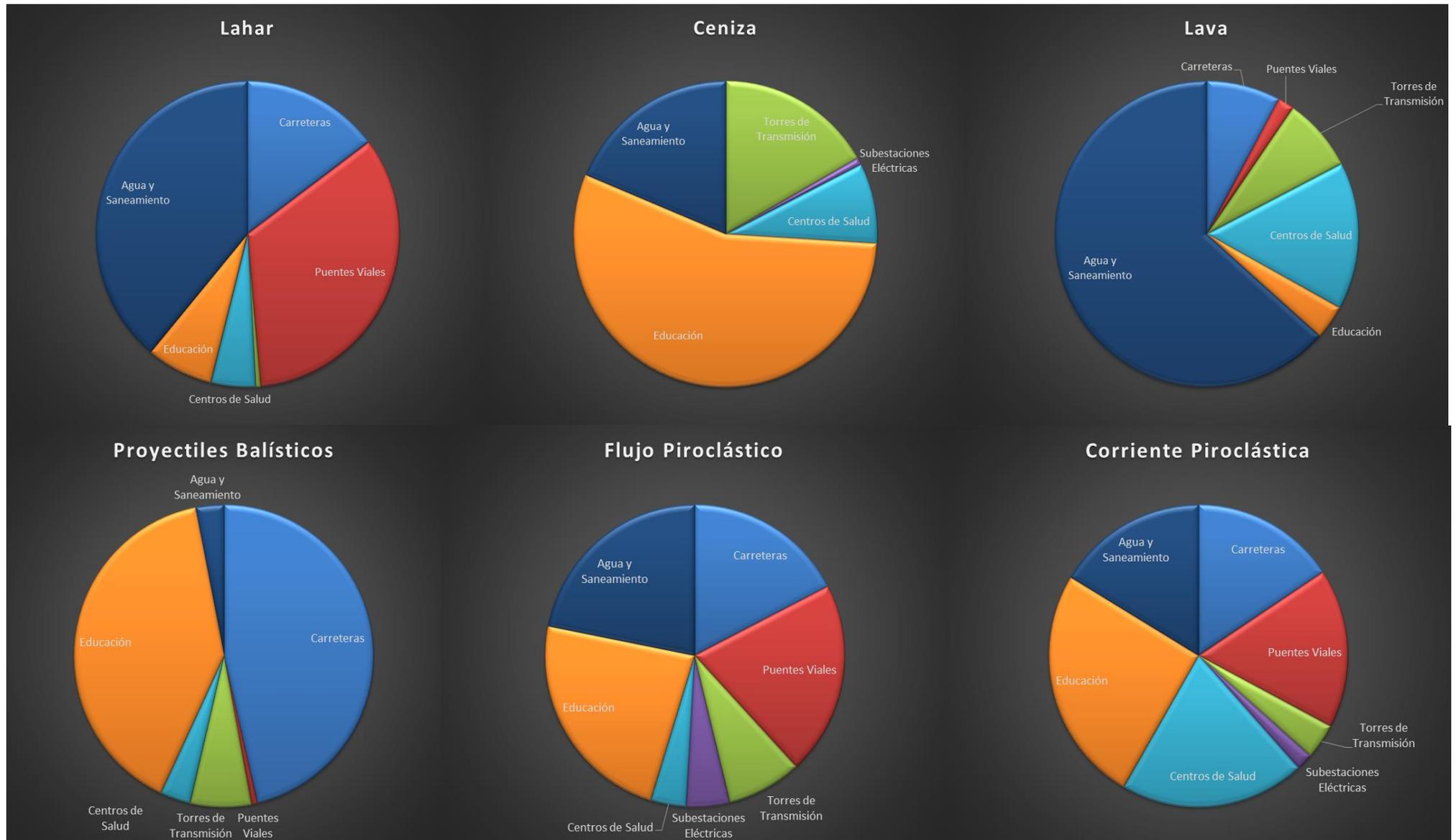


Figura 17: Estimados de AAL para cada tipo de amenaza, desagregados por los tipos de infraestructura. Panel superior de izquierda a derecha: lahar, ceniza, lava. Panel inferior de izquierda a derecha: proyectiles balísticos, flujo piroclástico, corriente piroclástica.

Análisis de riesgo en infraestructura prioritaria

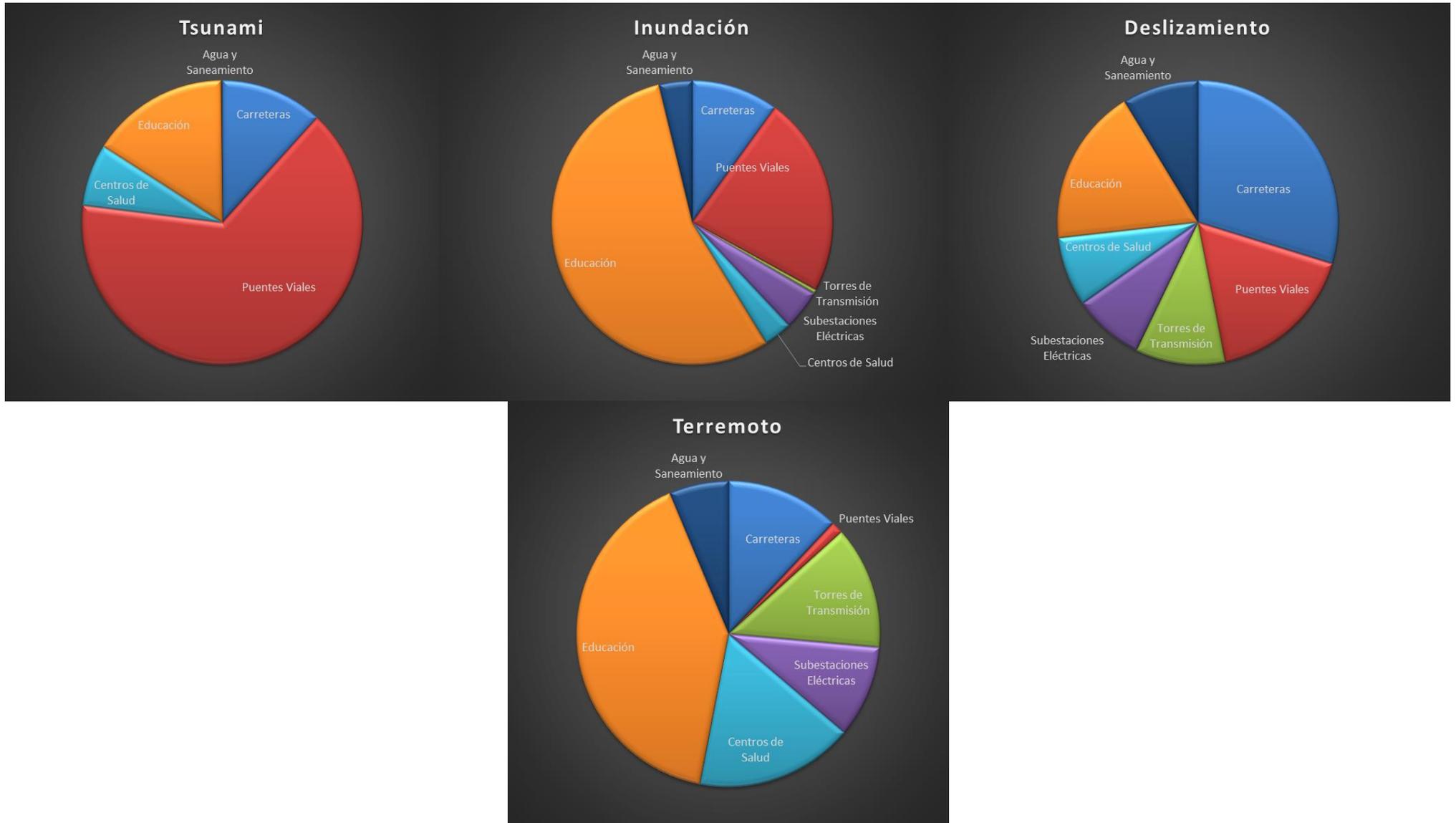


Figura 18: Estimados de AAL para cada tipo de amenaza, desagregados por los tipos de infraestructura (continuación). Panel superior de izquierda a derecha: tsunami, inundación, deslizamiento. Panel inferior: terremoto

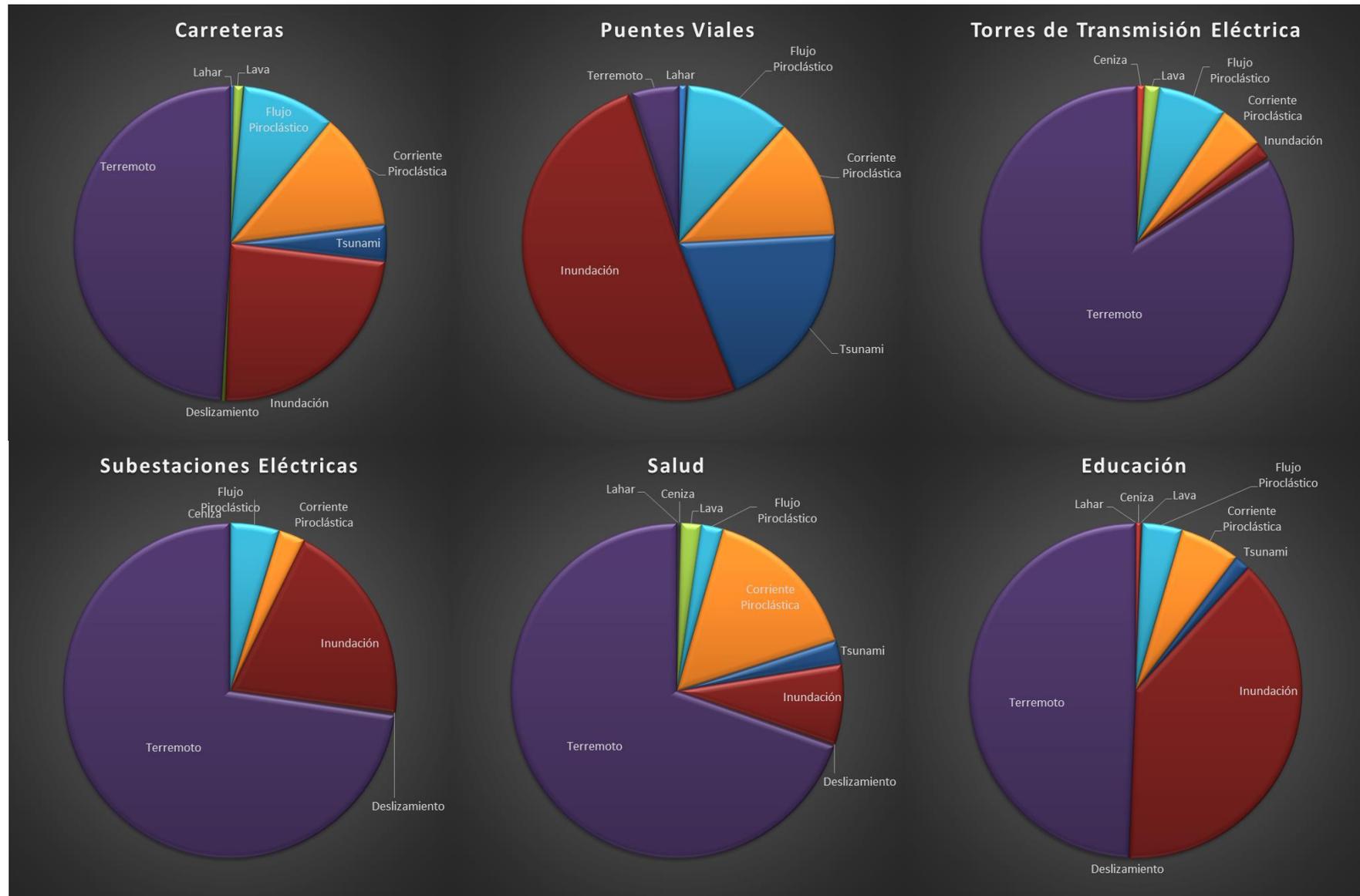


Figura 19: Estimados de AAL para cada tipo de infraestructura, desagregados por los tipos de amenaza. Panel superior de izquierda a derecha: carreteras, puentes viales, torres de transmisión eléctrica. Panel inferior de izquierda a derecha: subestaciones eléctricas, salud, educación.

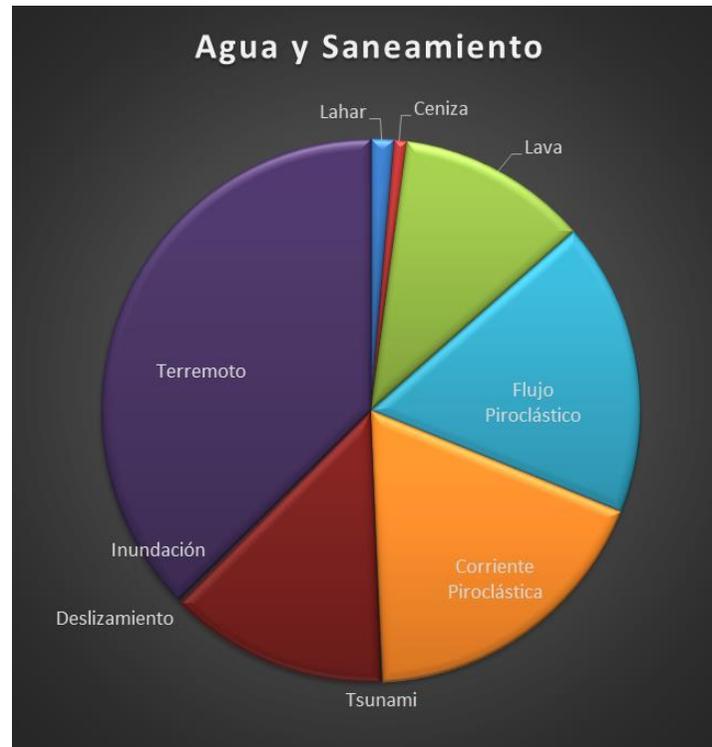


Figura 20: Estimados de AAL para cada tipo de infraestructura, desagregados por los tipos de amenaza (continuación). Agua y saneamiento.

3.2 Mapeo de la Pérdida Anual Promedio

Los siguientes gráficos muestran cómo se distribuye la AAL por el país en forma de mapas. Los datos resumidos por municipios muestran amplios patrones por todo el país. Se han elegido puntos de quiebre en las leyendas de estos mapas para poner énfasis en los patrones en vez de enfocarse en los niveles específicos del riesgo. Los ejemplos de mapas mostrados incluyen:

1. La Pérdida Anual Promedio medido en dólares por municipio;
2. La Pérdida Anual Promedio como porcentaje del inventario total (la suma de los valores de reposición) por municipio; y
3. Los componentes infraestructurales mostrados como íconos, dimensionados según el nivel de la AAL para ese componente específico.

Las leyendas correspondientes a los mapas mostrando valores de Pérdida Anual Promedio por municipio se derivaron según la metodología cuantil, para así visibilizar diferencias entre municipios.

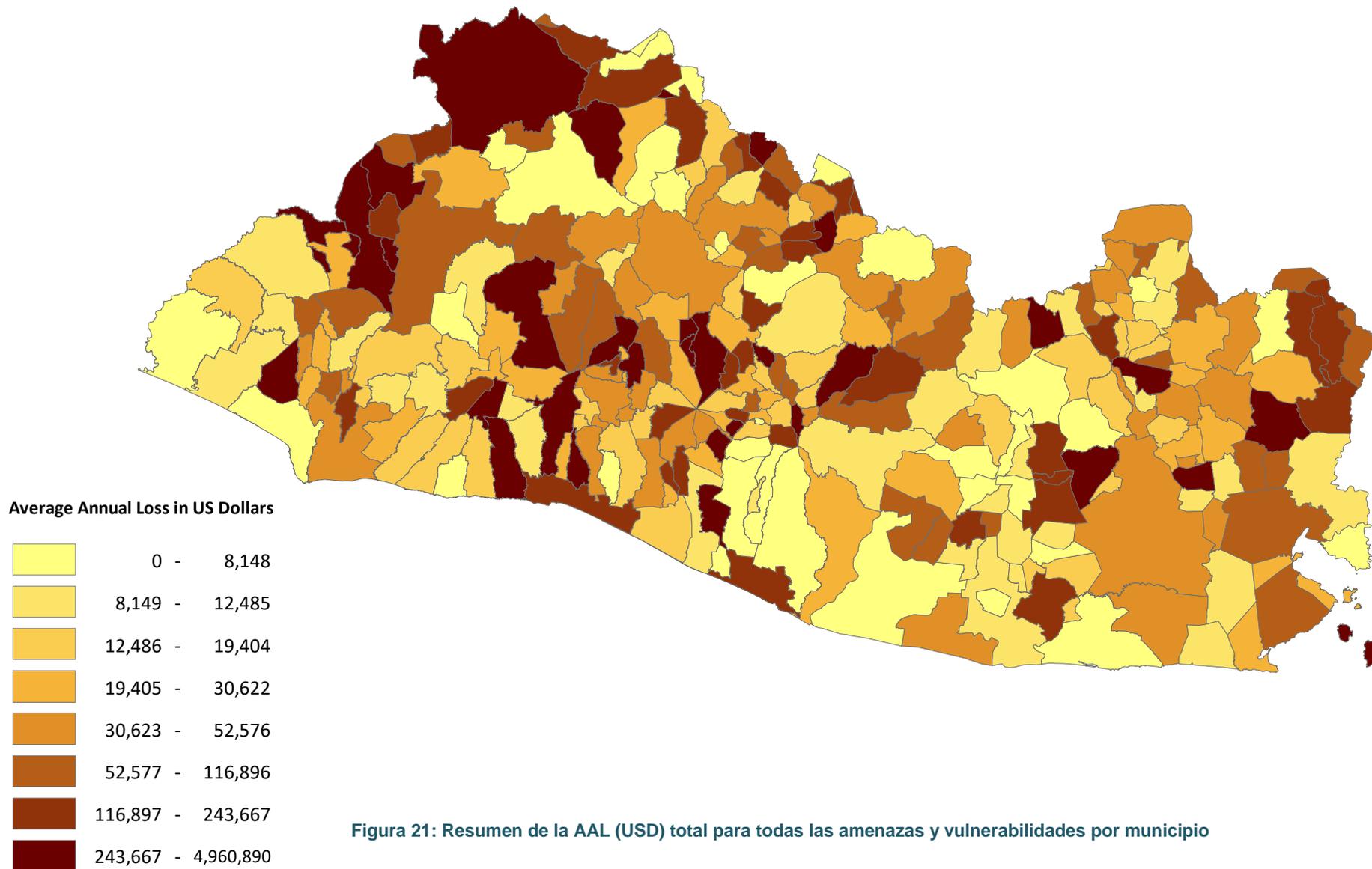


Figura 21: Resumen de la AAL (USD) total para todas las amenazas y vulnerabilidades por municipio

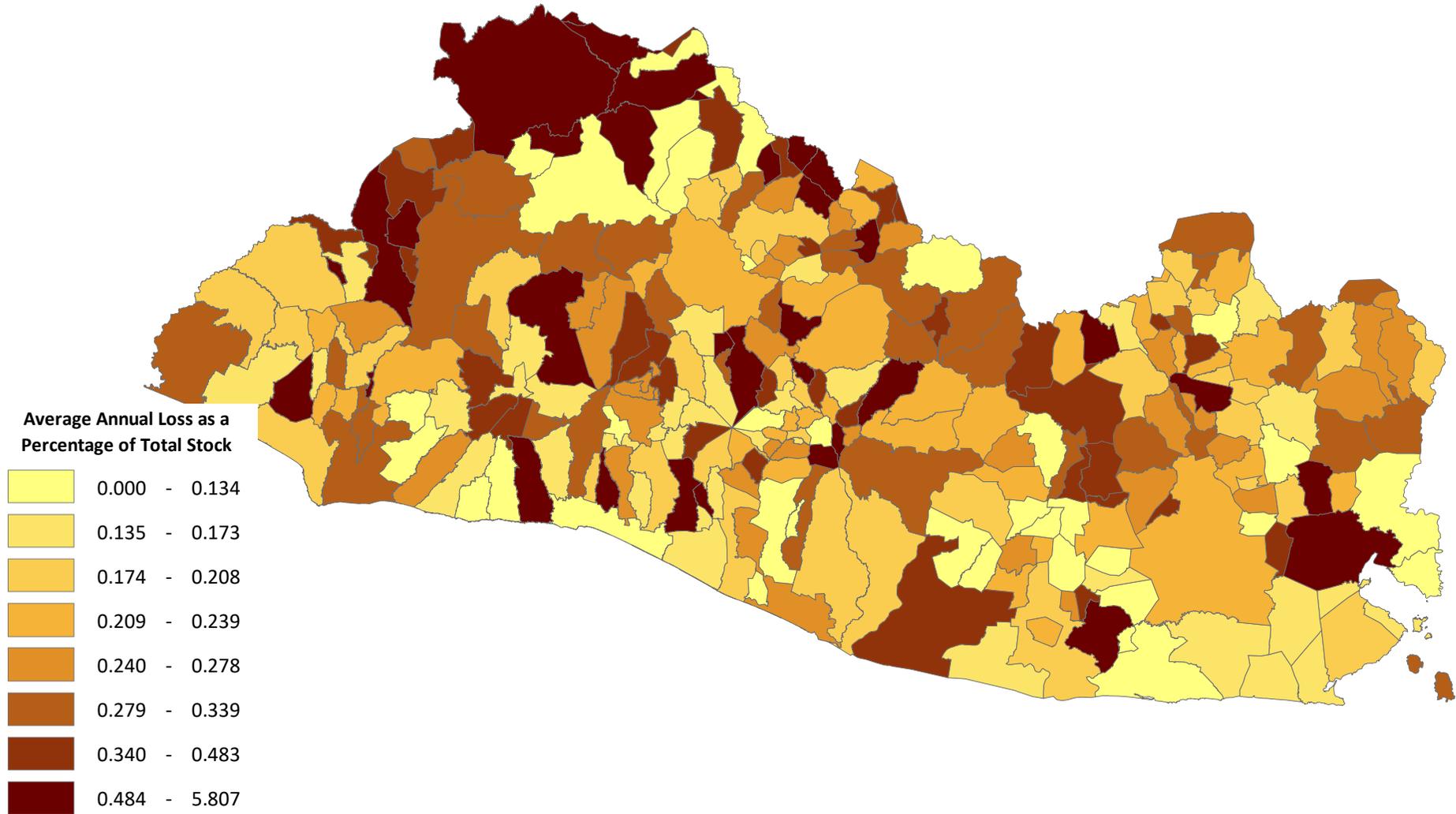
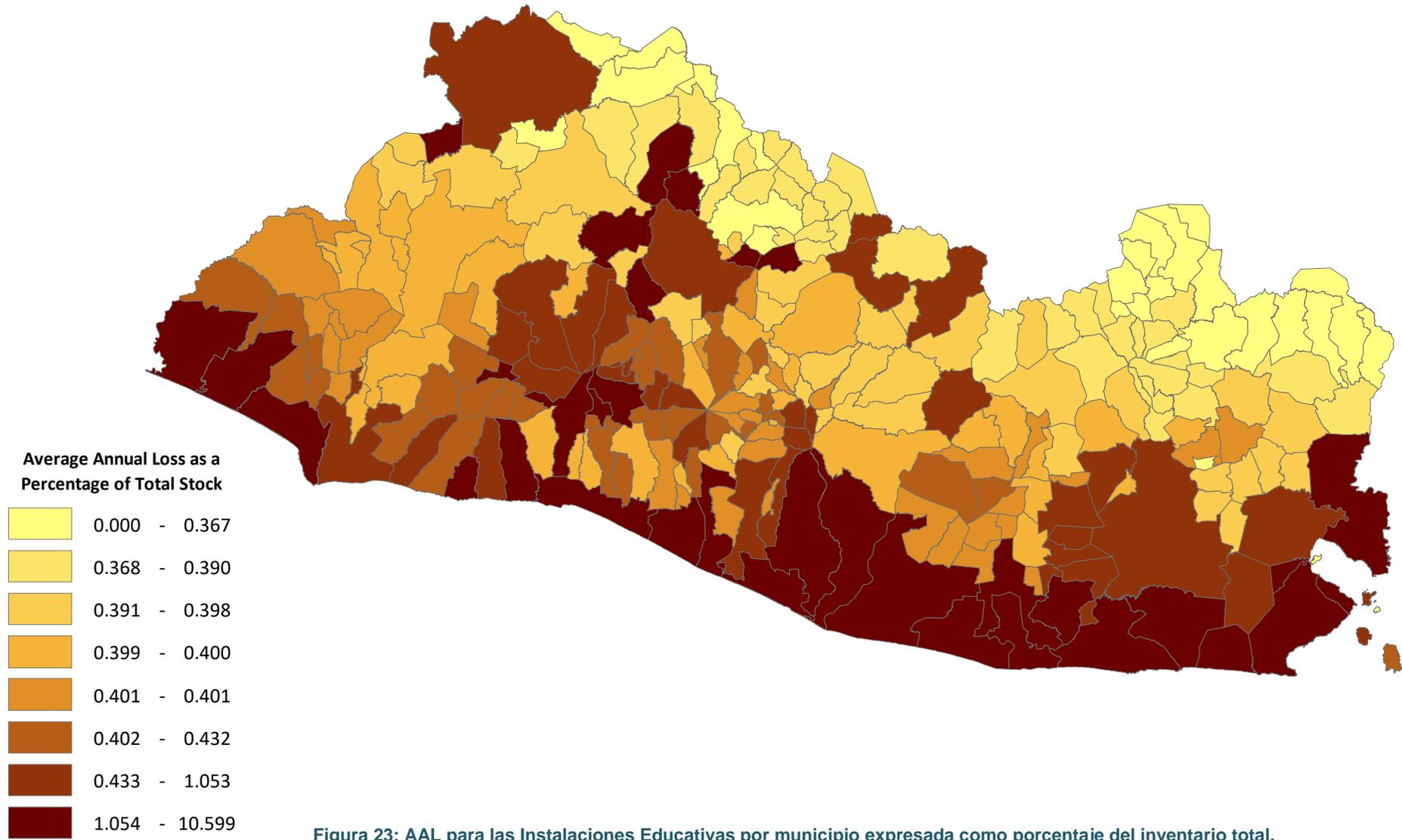


Figura 22: Resumen de la AAL total para todas las amenazas y vulnerabilidades por municipio expresada como porcentaje del inventario total.



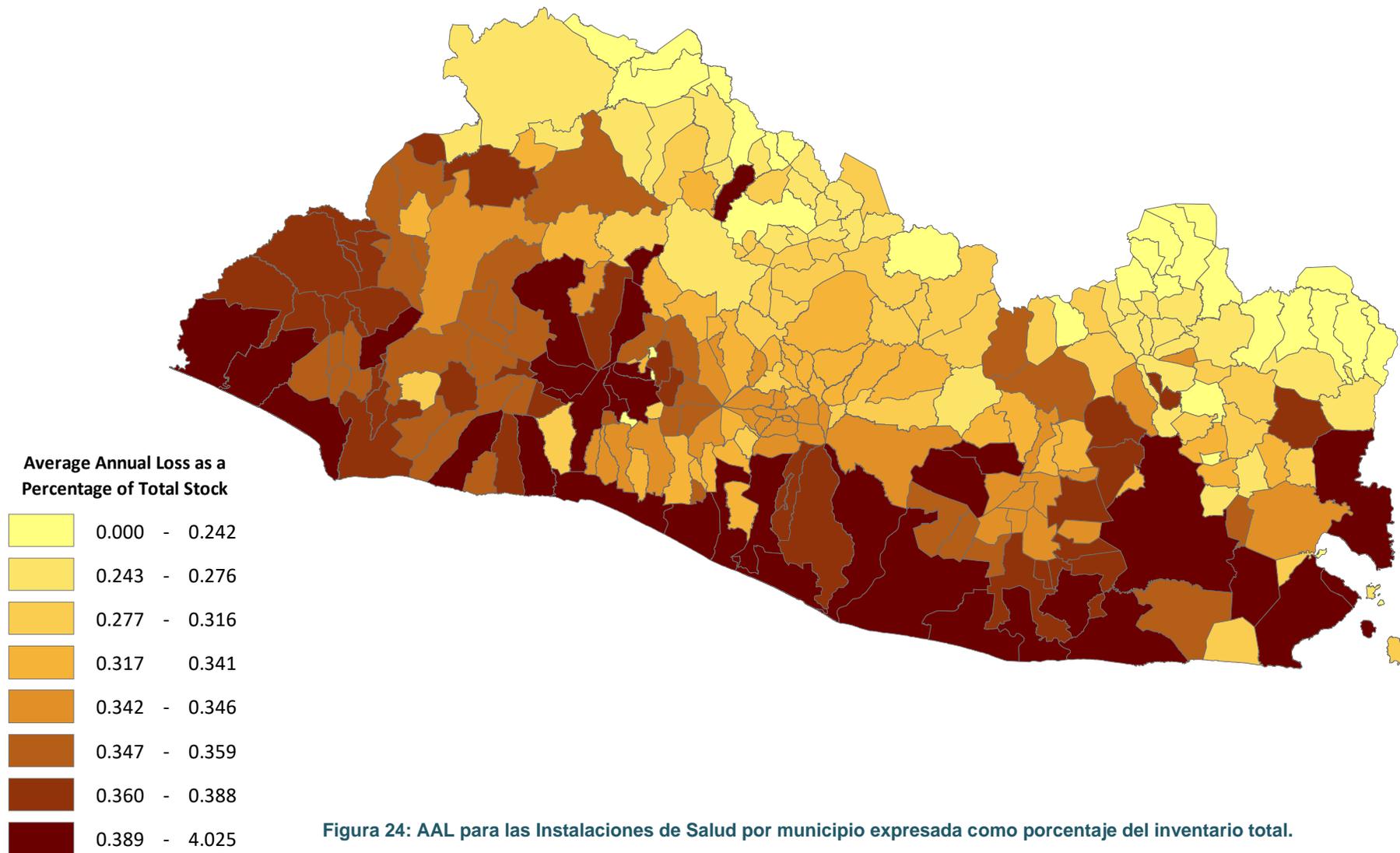


Figura 24: AAL para las Instalaciones de Salud por municipio expresada como porcentaje del inventario total.

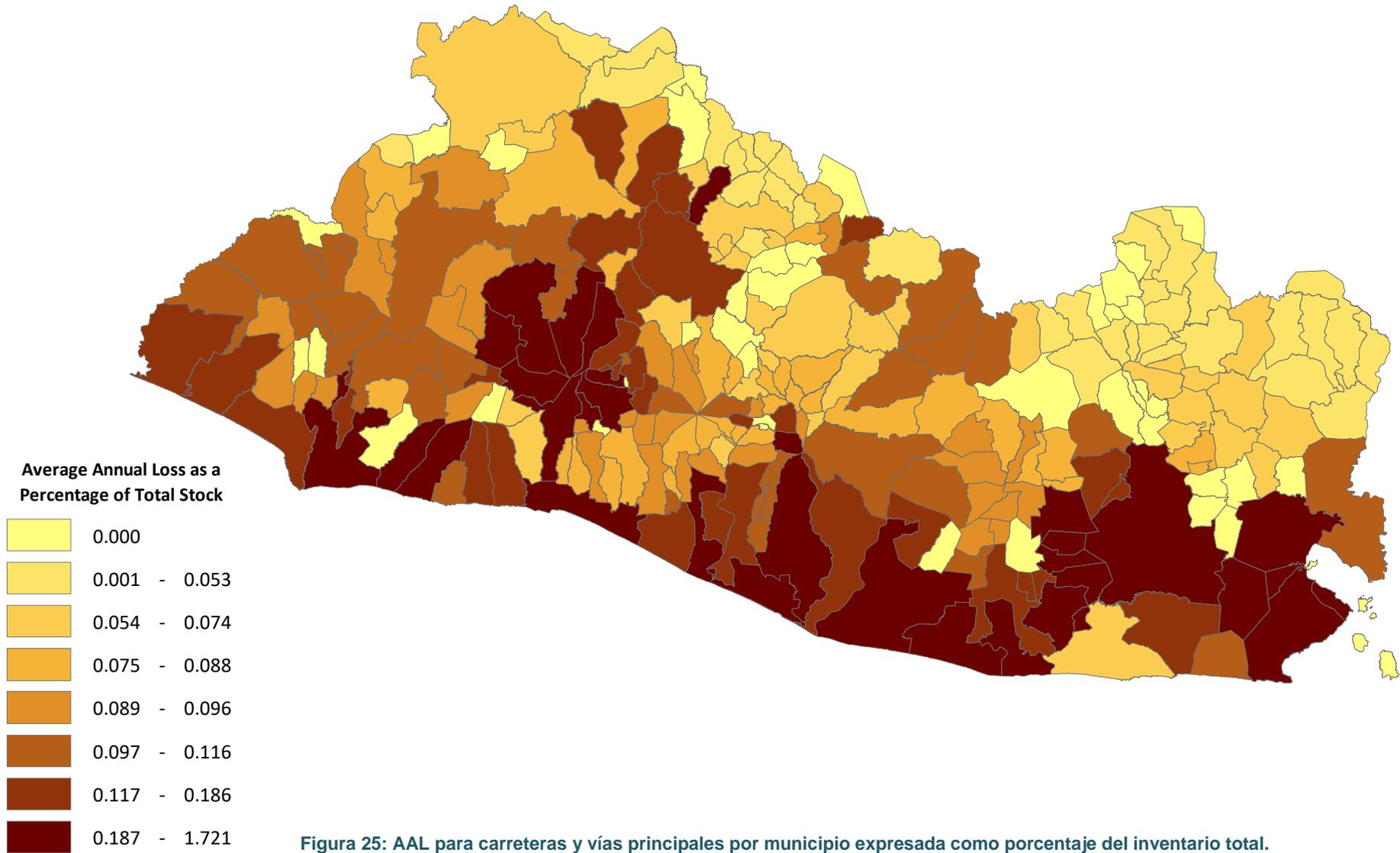
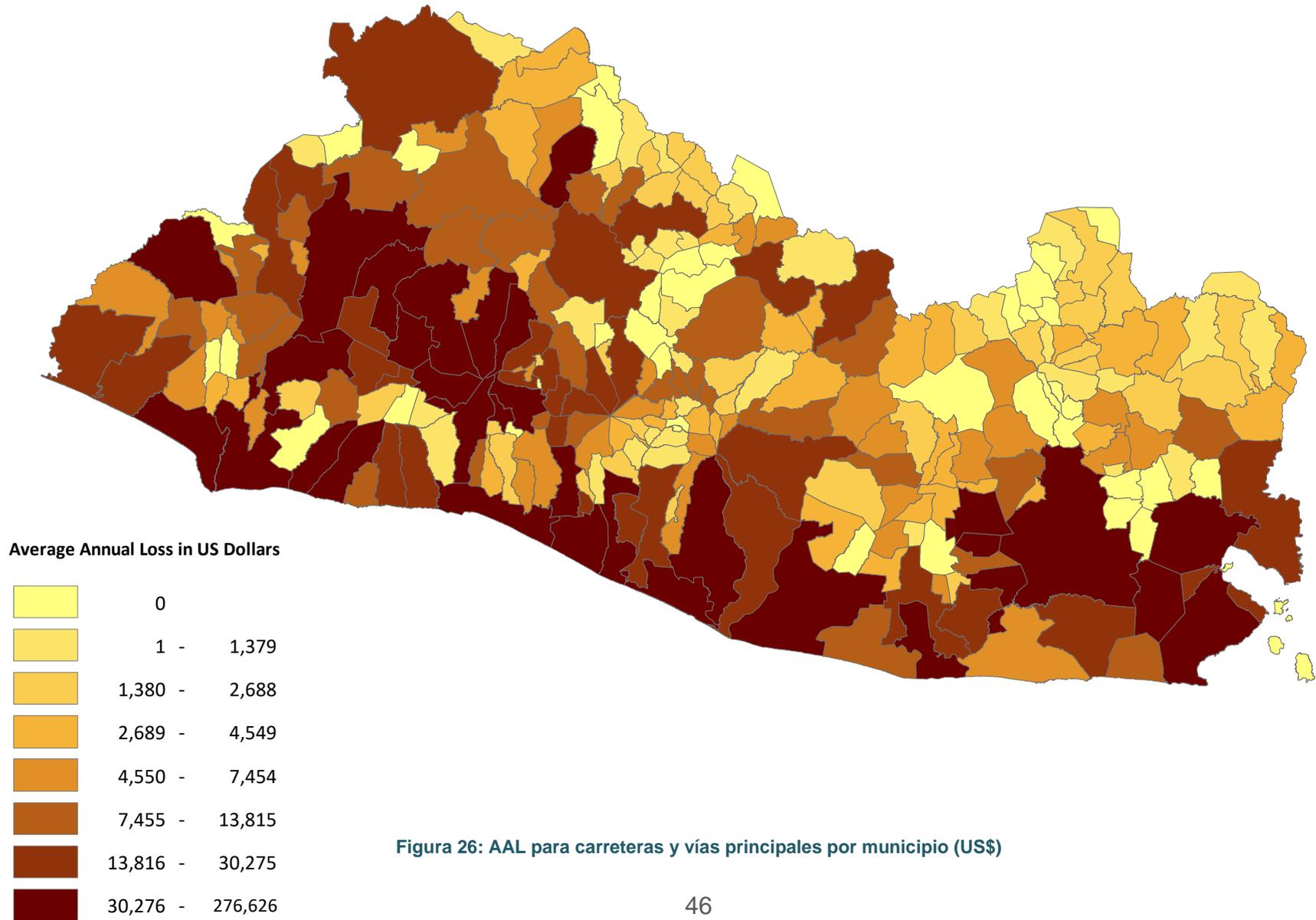


Figura 25: AAL para carreteras y vías principales por municipio expresada como porcentaje del inventario total.



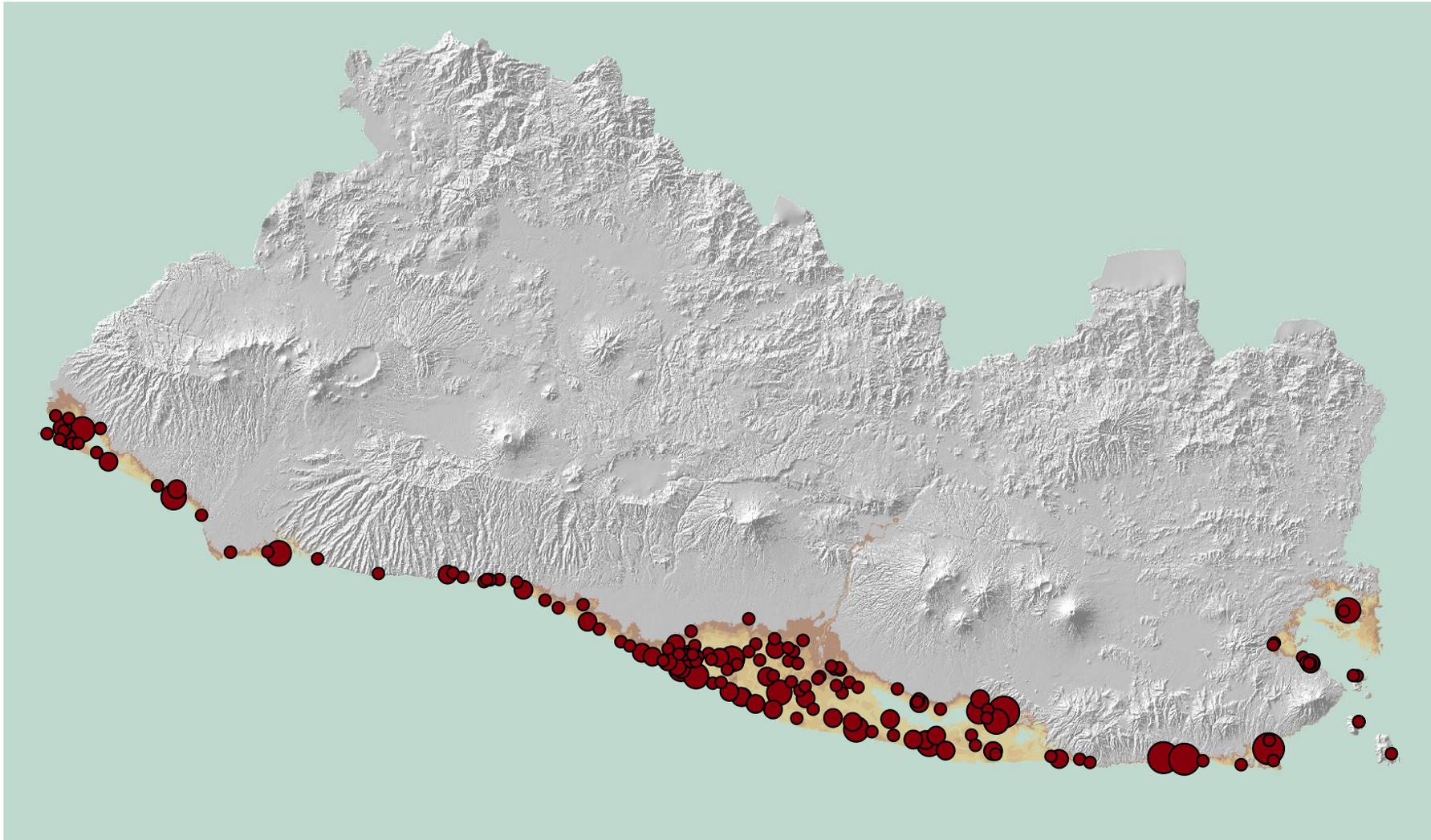


Figura 27: AAL por los impactos de Tsunami para las instalaciones educativas.

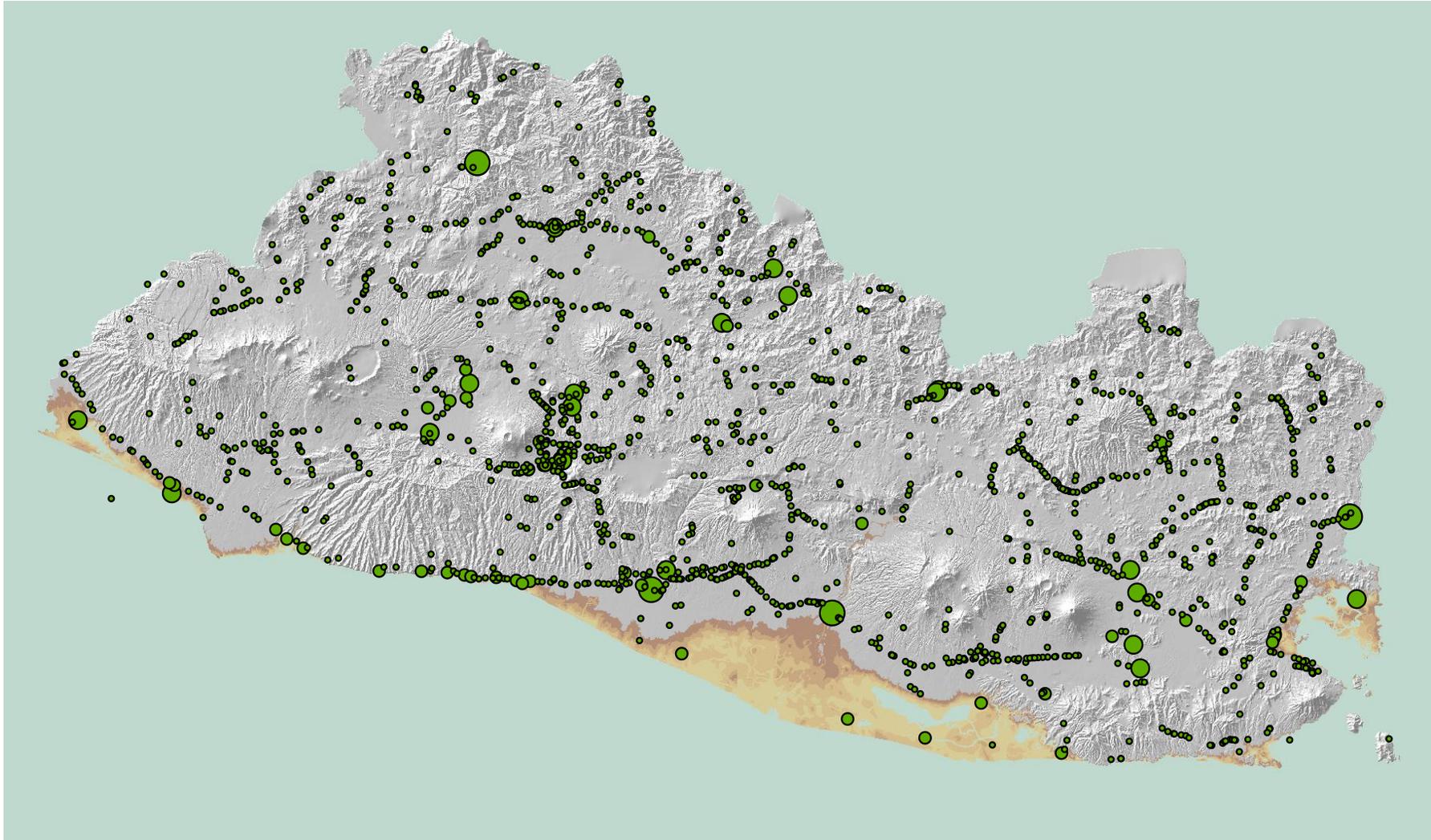


Figura 28: AAL Total para los puentes viales por todos los amenazas

3.3 Tablas resumidas de la AAL y la exposición total de la infraestructura

La siguiente tabla muestra los valores de la AAL para cada tipo de infraestructura y cada categoría de amenaza. Debido a la necesidad de utilizar una gama tan amplia de diferentes métodos para estimar las probabilidades de cada amenaza, tenemos un mayor nivel de confianza en la distribución del AAL dentro de cada tipo de amenaza que entre los tipos de amenaza. En particular, consideramos que los valores para la amenaza por deslizamientos pueden estar bajos y los valores para corrientes y flujos piroclásticos pueden estar altos.

Tabla 18
AAL estimada por el tipo de amenaza y el tipo de infraestructura

Amenaza	Carreteras	Puentes Viales	Torres de Transmisión	Subestaciones Eléctricas	Salud	Educación	Agua y Saneamiento	TOTAL
Lahar	\$ 15,192	\$ 35,015	\$ 602	\$ -	\$ 4,854	\$ 7,358	\$ 40,279	\$ 103,300
Ceniza	\$ -	\$ 9	\$ 20,948	\$ 947	\$ 10,591	\$ 69,217	\$ 23,355	\$ 125,067
Lava	\$ 41,962	\$ 9,363	\$ 41,567	\$ -	\$ 83,333	\$ 19,262	\$ 338,500	\$ 533,987
Proyectiles balísticos	\$ 4,032	\$ 56	\$ 570	\$ -	\$ 286	\$ 3,479	\$ 263	\$ 8,685
Flujo piroclástico	\$ 415,040	\$ 494,223	\$ 192,504	\$ 111,467	\$ 91,791	\$ 557,042	\$ 521,022	\$ 2,383,089
Corriente piroclástica	\$ 518,601	\$ 565,380	\$ 125,316	\$ 59,733	\$ 662,966	\$ 839,273	\$ 540,235	\$ 3,311,504
Tsunami	\$ 164,548	\$ 910,032	\$ -	\$ -	\$ 98,575	\$ 220,711	\$ 2,760	\$ 1,396,626
Inundación	\$ 1,016,598	\$ 2,318,979	\$ 48,864	\$ 465,455	\$ 328,106	\$ 5,573,879	\$ 388,977	\$ 10,140,859
Deslizamiento	\$ 19,528	\$ 11,279	\$ 6,771	\$ 5,350	\$ 5,191	\$ 11,825	\$ 5,760	\$ 65,703
Terremoto	\$ 2,115,865	\$ 224,943	\$ 2,282,768	\$ 1,711,967	\$ 2,954,849	\$ 7,115,161	\$ 1,108,701	\$ 17,514,253
TOTAL	\$ 4,311,365	\$ 4,569,280	\$ 2,719,910	\$ 2,354,919	\$ 4,240,542	\$ 14,417,207	\$ 2,969,850	\$ 35,583,072

La Tabla 19 muestra el valor total de cada tipo de infraestructura expuesto a cada tipo de amenaza, independiente a la probabilidad de que suceda esa amenaza o la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

Tabla
Valor total de la infraestructura expuesta a los amenazas por cada tipo de amenaza

19

Hazard	Lahar	Ceniza	Lava	Proyectiles balísticos	Flujo piroclástico	Corriente piroclástica	Tsunami	Inundación	Deslizamiento
Carreteras	\$ 8,225,162	\$ 1,787,657,726	\$ 7,397,208	\$ 4,307,940	\$ 180,348,241	\$ 309,517,208	\$ 66,911,790	\$ 169,770,328	\$ 447,222,849
Puentes Viales	\$ 16,030,910	\$ 998,406,050	\$ 1,378,000	\$ 1,113,000	\$ 190,560,440	\$ 286,967,440	\$ 52,781,110	\$ 260,981,540	\$ 254,952,790
Torres de Transmisión	\$ 2,150,000	\$ 545,670,000	\$ 9,675,000	\$ 11,395,000	\$ 58,910,000	\$ 77,830,000	\$ -	\$ 9,675,000	\$ 182,750,000
Subestaciones Eléctricas	\$ -	\$ 416,000,000	\$ -	\$ -	\$ 48,000,000	\$ 64,000,000	\$ -	\$ 16,000,000	\$ 128,000,000
Salud	\$ 3,325,000	\$ 641,553,000	\$ 25,000,000	\$ 324,000	\$ 194,175,000	\$ 222,649,000	\$ 29,327,000	\$ 22,923,000	\$ 58,666,000
Educación	\$ 6,835,550	\$ 1,436,206,432	\$ 5,238,300	\$ 10,266,550	\$ 253,916,230	\$ 468,087,180	\$ 44,908,850	\$ 91,542,350	\$ 172,603,100
Agua y Saneamiento	\$ 32,700,000	\$ 639,042,000	\$ 33,800,000	\$ 5,250,000	\$ 212,121,000	\$ 241,883,000	\$ 4,300,000	\$ 12,700,000	\$ 94,202,000
TOTAL:	\$ 69,266,622	\$ 6,464,535,208	\$ 82,488,508	\$ 32,656,490	\$ 1,138,030,911	\$ 1,670,933,828	\$ 198,228,750	\$ 583,592,218	\$ 1,338,396,739

3.4 Listas de infraestructura priorizada

Otra manera de examinar los resultados de este análisis es examinar los resultados (total de la AAL) para las diferentes instalaciones individuales y priorizarlas para un análisis más detallado. Dentro de cada una de estas instalaciones, se puede identificar la fuente de la AAL para priorizar los elementos en base a los diferentes tipos de amenaza. La Tabla 20 muestra un ejemplo para los 29 hospitales nacionales incluidos en nuestro análisis.

Tabla 20
Lista priorizada de hospitales con la mayor AAL

Municipio	Hospital	Valor de reposición (USD)	AAL Total por todas las amenazas (USD)
San Salvador	Bloom	50'000.000	353.080
San Salvador	Rosales	50'000.000	352.777
San Salvador	De La Mujer	50'000.000	352.257
San Miguel	San Miguel	25'000.000	168.877
Nueva San Salvador	San Rafael	16'000.000	168.170
Mejicanos	Zacamil	16'000.000	113.129
Santa Ana	Santa Ana	25'000.000	86.483
Sonsonate	Sonsonate	16'000.000	62.021
Jiquilisco	Jiquilisco	16'000.000	61.017
Santa Rosa De Lima	Santa Rosa De Lima	16'000.000	59.246
Ahuachapán	Ahuachapán	16'000.000	58.493
Soyapango	General Psiquiátrico	16'000.000	57.538
Nueva Concepción	Nueva Concepción	16'000.000	56.880
Chalchuapa	Chalchuapa	16'000.000	56.875
Ilopango	San Bartolo	16'000.000	55.858
San Salvador	Saldaña	16'000.000	55.536
Santiago De María	Santiago De María	16'000.000	55.223
San Vicente	San Vicente	16'000.000	55.049
Nueva Guadalupe	Nueva Guadalupe	16'000.000	54.748
Zacatecoluca	Zacatecoluca	16'000.000	54.486
Usulután	Usulután	16'000.000	53.888
Ilobasco	Ilobasco	16'000.000	51.015
Ciudad Barrios	Ciudad Barrios	16'000.000	46.079
Sensuntepeque	Sensuntepeque	16'000.000	45.573
Cojutepeque	Cojutepeque	16'000.000	45.565
Metapán	Metapán	16'000.000	40.857
Suchitoto	Suchitoto	16'000.000	39.720
San Francisco Gotera	San Francisco Gotera	16'000.000	37.359
Chalatenango	Chalatenango	16'000.000	33.654

3.5 Medidas Alternativas del Riesgo y las Consecuencias de las Pérdidas

En este análisis, hemos elegido representar el riesgo en la forma de la Pérdida Anual Promedio (AAL) estimada de los impactos directos sobre la infraestructura. Este enfoque permite comparaciones entre los tipos de infraestructura y tipos de amenazas con una sola métrica. También aprovecha al máximo los datos disponibles para este estudio de la infraestructura a escala nacional.

Está claro que existen muchos otros aspectos de los riesgos que serían útiles en la evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura y que sería apropiado considerarlos en los futuros análisis a medida que se dispongan de más datos. Algunas consideraciones que deben tomarse en cuenta en los trabajos futuros, enfocándose en los elementos específicos de la infraestructura, son:

- A. Daños y pérdida de los contenidos de los edificios. Esto puede plantear un problema grande, particularmente para las instalaciones como hospitales que tengan grandes cantidades de equipos costosos que se dañaran gravemente con las amenazas como inundaciones aunque tengan un impacto mínimo sobre la estructura del edificio. En algunas metodologías, como la utilizada por Hazus, los valores de los contenidos podrán estimarse aplicando multiplicadores sobre el valor del edificio, cuando no se disponga de la información detallada. Este enfoque podría considerarse para El Salvador.
- B. Impactos en Redes. En muchos casos, la pérdida de la función infraestructural causa impactos en otra infraestructura. Por ejemplo, la pérdida de energía para una estación de tratamiento de agua potable puede cortar el suministro de agua para un hospital, lo que limitará severamente el funcionamiento de ese hospital. Este tipo de análisis de redes requiere la estrecha cooperación entre los ministerios y agencias que administran la infraestructura, con el fin de determinar, para cada componente: las dependencias de la infraestructura de otra infraestructura, y las consecuencias de la pérdida para otra infraestructura y sectores de la economía.
- C. Otros costos indirectos pueden incluirse, como la pérdida de empleos y de actividad económica tanto por la pérdida del componente de infraestructura como por los impactos que tenga su pérdida sobre otra infraestructura.
- D. Tiempo de recuperación. El tiempo que se requiera para que las funciones prestadas por una determinada infraestructura sean recuperadas o sustituidas es importante para comprender el impacto de los daños de ese componente. Si es fácil hacer otra ruta alrededor del puente o se puede colocar un nuevo puente temporal con rapidez, entonces los daños de ese puente serán menos significativos que si tardará años reemplazarlo.

Estos tipos de análisis requieren colaboración estrecha con los ministerios que tengan jurisdicción sobre la infraestructura considerada.

En este análisis, no hemos incorporado las medidas of riesgo y pérdida aparte del costo directo de reparación / reposición de la infraestructura ya que esto requeriría

significativamente más información. Los ejemplos que podrían examinarse en los análisis futuros incluyen:

1. La pérdida de energía de las principales centrales de generación y subestaciones, y sus impactos en los centros hospitalarios y educativos, y las estaciones de tratamiento del agua potable;
2. La pérdida del abastecimiento del agua potable y sus impactos sobre los hospitales;
3. Los daños para las vías, y especialmente a los puentes, en las rutas clave en El Salvador que constituirán las rutas críticas de respuesta a los desastres después de un evento importante, como una erupción volcánica o un terremoto significativo.

Un análisis de los impactos secundarios de los impactos a vías y puentes, incluyendo tanto los impactos sociales como los económicos requiere un examen más detallado de las implicaciones de interrupciones viales en diferentes lugares. Un estudio preliminar se ha realizado en colaboración con JICA [22] que podría dar insumos para este análisis en el futuro. Un enfoque inicial sería centrarse en los puentes y los segmentos viales que sean críticos para mantener los corredores clave de respuesta ante desastres, como la CA01 la y CA02.



Figura 29: Ejemplo del análisis de la red vial del estudio financiado por JICA [22]

3.6 Validación de los resultados

La principal fuente de datos que puede usarse como punto de referencia es el registro histórico de los desastres. La diferencia clave entre el análisis que hemos presentado en este informe y el análisis realizado en los estudios anteriores es que éstos se basan sobre los daños históricos: se limitan a los eventos que ya ocurrieron y así no incluyen los eventos potencialmente mayores con menores probabilidades o diferentes configuraciones de los eventos que tengan impactos mayores o menores. Además,

estos estudios típicamente combinan una amplia gama de diferentes impactos económicos mientras que nuestro estudio se limita a los impactos directos sobre la infraestructura crítica.

La Pérdida Anual Promedio (AAL) total estimada en nuestro análisis incluyendo sólo las 7 categorías de infraestructura es \$35'528.072. Esto puede compararse con los estimados de otros estudios en base al análisis histórico para todos los sectores de la economía:

- El Informe de Evaluación Mundial para 2015 [23] tiene datos incompletos para El Salvador y sólo resultados provisionales para las inundaciones, pero estima un valor general nacional de AAL de \$263 millones y una relación de AAL al Inventario de Capital del 0,4%. Para nuestro análisis, tenemos un Inventario de Capital para todos los tipos de infraestructura de \$8.471 millones y una relación de AAL al Inventario de Capital del 0,41%.
- El Banco Mundial estima que la AAL para todo El Salvador incluyendo todos los sectores es aproximadamente 1,5% del PIB. En 2013, el PIB de El Salvador se estimó en US\$24,26 mil millones, de modo que un estimado de AAL sería de \$364 millones.
- Las Notas del País de GFDRR para El Salvador [24] usando datos en parte de la Red de Prevención para El Salvador (<http://www.preventionweb.net/countries/slv/data/>) presenta datos de daños para los desastres entre 1982 y 2007 y estima una AAL de \$176 millones incluyendo todas las pérdidas económicas. Este informe muestra las pérdidas económicas por inundaciones como sustancialmente menores a las pérdidas por terremotos; sin embargo, incluye las pérdidas de edificios residenciales, componente sustancial de pérdidas que no se incluyó en nuestro análisis.
- La Organización Panamericana de la Salud estima [25] que entre 1980 y 2010, 49 desastres naturales en El Salvador produjeron pérdidas económicas de USD 5,53 mil millones, para un promedio de USD 114,4 millones por año.

La relación de AAL a Inventario de Capital del 0,41 % sugiere que nuestro análisis es consistente en términos generales con los estimados anteriores. El estimado de la AAL en USD 35 millones surge, entonces, de la cartera significativamente menor de vulnerabilidad que no incluye algunos sectores de la economía como las áreas industriales, aeropuertos y puertos marítimos, represas, edificios residenciales, y otras instalaciones institucionales y comerciales que no fueron consideradas como infraestructura crítica.

Ya que este estudio conforma el valor global de la AAL examinando los componentes específicos de infraestructura y las amenazas a los que están expuestos, esto significa que es posible pasar del contexto mayor de la AAL nacional hasta un enfoque en los componentes particulares de la infraestructura. Y de ahí avanzar a las evaluaciones más detalladas de las áreas clave de interés y entonces finalmente comenzar a examinar las actividades específicas de mitigación y reducción de riesgos.

3.7 Sensibilidad de los parámetros

Nuestro examen de los efectos de la incertidumbre de los parámetros ha incluido:

1. Calcular la AAL con funciones alternativas de daños, incrementando y disminuyendo la vulnerabilidad de la infraestructura;
2. Un examen de los efectos de cambiar las probabilidades de los escenarios de amenaza; y
3. Un examen de los efectos de cambiar los estimados del valor de reposición.

Para evaluar la sensibilidad del análisis a las funciones de daños, incrementamos y disminuimos la intensidad de las amenazas requeridas para producir particulares niveles de daños. La Figura 30 muestra un ejemplo para una de las categorías de edificios utilizadas con fines educativos.

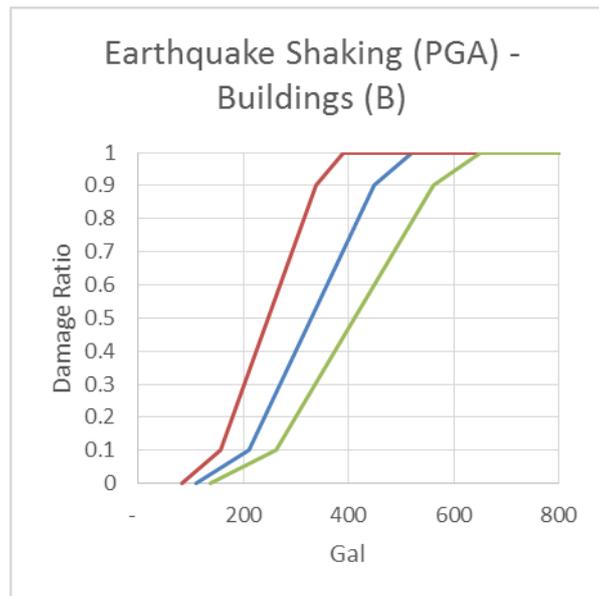


Figura 30: Un ejemplo de las relaciones alternativas de daños utilizadas en el análisis de sensibilidad. Muestra las curvas de daños para edificios en función a intensidades de movimientos sísmicos (PGA)

Los resultados de la variación de las curvas de daños (estándar o escenario base, mayor vulnerabilidad, mayor vulnerabilidad, menor vulnerabilidad) se muestran en la

Tabla 21 y Tabla 22. Estos resultados reflejan el rango de incertidumbre en la respuesta de la infraestructura hacia las diferentes intensidades de las amenazas. Mejores datos sobre la construcción de cada componente de infraestructura y su respuesta ante amenazas esperada ayudaría a aumentar la precisión de estas cifras.

Tabla 21
Estimados de la AAL total para las diferentes amenazas y las tres relaciones alternativas

Amenaza	Total AAL		
	Menor	Estándar	Mayor
Terremoto	\$ 14,184,911	\$ 17,514,253	\$ 21,376,525
Inundación	\$ 8,067,673	\$ 10,140,859	\$ 14,251,061
Corriente piroclástica	\$ 3,311,504	\$ 3,311,504	\$ 3,311,504
Flujo piroclástico	\$ 2,383,089	\$ 2,383,089	\$ 2,383,089
Tsunami	\$ 1,284,306	\$ 1,396,626	\$ 1,586,735
Lava	\$ 533,987	\$ 533,987	\$ 533,987
Ceniza	\$ 100,348	\$ 125,067	\$ 653,484
Lahar	\$ 103,300	\$ 103,300	\$ 103,300
Deslizamiento	\$ 65,703	\$ 65,703	\$ 65,703
Proyectiles balísticos	\$ 8,685	\$ 8,685	\$ 8,685
TOTAL	\$ 30,043,506	\$ 35,583,072	\$ 44,274,074

Tabla 22
Estimados de la AAL total para los diferentes tipos de infraestructura y las tres relaciones alternativas

Infraestructura	Total AAL		
	Menor	Estándar	Mayor
Carreteras	\$ 3,147,166	\$ 4,311,365	\$ 6,842,386
Puentes Viales	\$ 3,727,882	\$ 4,569,280	\$ 7,538,659
Torres de Transmisión	\$ 2,200,444	\$ 2,719,910	\$ 3,044,700
Subestaciones Eléctricas	\$ 1,912,994	\$ 2,354,919	\$ 2,608,154
Salud	\$ 3,508,929	\$ 4,240,542	\$ 4,889,023
Educación	\$ 12,996,700	\$ 14,417,207	\$ 15,387,425
Agua y Saneamiento	\$ 2,549,392	\$ 2,969,850	\$ 3,963,727
TOTAL	\$ 30,043,506	\$ 35,583,072	\$ 44,274,074

Las Tablas 23 y 24 muestran los resultados de aumentar y disminuir la vulnerabilidad de la infraestructura de los sectores salud, educación y agua y saneamiento.

Tabla 23*Resultado de variar las curvas de daños para el total de AAL relacionada a inundaciones*

	Salud	Educación	Agua y Saneamiento
Escenario base	\$ 328,106	\$ 5,573,879	\$ 388,977
Vulnerabilidad mayor	\$ 446,635	\$ 6,206,755	\$ 585,683
Vulnerabilidad menor	\$ 239,377	\$ 4,649,836	\$ 349,637
Escenario base	100%	100%	100%
Vulnerabilidad mayor	136%	111%	151%
Vulnerabilidad menor	73%	83%	90%

Tabla 24*Resultado de variar las curvas de daños para el total de AAL relacionada a terremotos*

	Salud	Educación	Agua y Saneamiento
Escenario base	\$ 2,954,849	\$ 7,115,161	\$ 1,108,701
Vulnerabilidad mayor	\$ 3,414,537	\$ 7,204,333	\$ 1,733,037
Vulnerabilidad menor	\$ 2,329,726	\$ 6,661,561	\$ 733,180
Escenario base	100%	100%	100%
Vulnerabilidad mayor	116%	101%	156%
Vulnerabilidad menor	79%	94%	66%

Nótese que los cambios en las funciones o curvas de daños tienen diferentes efectos para los diferentes tipos de infraestructura. Por ejemplo, los edificios educativos muestran una respuesta mínima al aumentar su vulnerabilidad ante eventos sísmicos. Esto es porque se supone que los edificios educativos son, en promedio, bastante susceptibles a daños sísmicos, de modo que incrementar esta vulnerabilidad tiene poco efecto para los escenarios incluidos en nuestro análisis. Para la infraestructura de agua y saneamiento, no es así, y el escenario de mayor vulnerabilidad genera un incremento del 56% de la AAL.

Por la manera de calcular la AAL, la alteración de los períodos de retorno de los escenarios tiene un efecto relativamente directo sobre los estimados de la AAL. La duplicación de la probabilidad de un escenario duplicará su contribución a la AAL. Asimismo, incrementar o reducir los estimados del valor de reposición para un componente de infraestructura incrementa o reduce su aporte a los estimados de la AAL de manera proporcional.

3.8 Cambio climático

Se puede suponer que algunos de los tipos de amenaza incluidos en este análisis son independientes del cambio climático. En particular, se puede prever que el efecto climático sobre las amenazas volcánicas sea mínimo. Por otro lado, aunque la frecuencia e intensidad de los sismos y tsunamis sean independientes del cambio climático, es posible que sus impactos sobre la infraestructura no lo sean. El aumento del nivel del mar y la reducción del área cubierta por manglares en la región de Bajo Lempa, por ejemplo, podría generar una exposición mayor de la infraestructura al avance de un tsunami, así como la mayor intensidad de las lluvias podría producir

períodos con mayor saturación del suelo y mayor probabilidad de deslizamientos y lahares en respuesta a terremotos. Los cambios en los patrones de la pluviosidad, incluyendo eventos más intensos de lluvia, podrán impactar más directamente la probabilidad de deslizamientos relacionados a las tormentas tropicales y huracanes.

Al examinar los resultados de este análisis, está claro que, para el inventario de infraestructura que hemos examinado (Tabla 25) la AAL por deslizamientos es significativamente menor a la de las inundaciones. Los deslizamientos pueden causar impactos catastróficos en las áreas residenciales. Sin embargo, los datos con los que contamos muestran que los deslizamientos son menos significativos para la infraestructura a escala nacional.

Tabla 25
Estimados de AAL para cada tipo de amenaza

Amenaza	AAL Total	Porcentaje
Terremoto	\$ 17,514,253	49.2%
Inundación	\$ 10,140,859	28.5%
Corriente piroclástica	\$ 3,311,504	9.3%
Flujo piroclástico	\$ 2,383,089	6.7%
Tsunami	\$ 1,396,626	3.9%
Lava	\$ 533,987	1.5%
Ceniza	\$ 125,067	0.4%
Lahar	\$ 103,300	0.3%
Deslizamiento	\$ 65,703	0.2%
Proyectiles balísticos	\$ 8,685	0.0%
TOTAL	\$ 35,583,072	100.0%

En este momento, no es posible usar los resultados de modelos climáticos para predecir con alto grado de confianza cómo cambiarán las inundaciones como respuesta al cambio climático en El Salvador. Sin embargo, los resultados de esfuerzos de modelaje climático sugieren el potencial de una tendencia creciente en los eventos de lluvias extremas [26]. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) sugiere que en la región de América Central/México, los eventos de precipitación máxima en 24 horas que suceden una vez en 20 años llegarán a suceder una vez en 15 años para fines del siglo XXI. Esto sugeriría que los eventos de inundación máxima podrían ser dos veces más frecuentes en El Salvador en el futuro.

Aumentar la frecuencia de inundación al doble en nuestro análisis duplicaría la AAL de inundación, lo que haría el riesgo por inundación tan alto o mayor al riesgo por terremoto.

Si los caudales máximos de los eventos extremos crecen, también es posible que las áreas inundadas se amplíen y exponga a infraestructura adicional al peligro. Examinar el efecto de aumentar la magnitud de inundación requerirá modelaje adicional, sin embargo un análisis rápido como ejemplo muestra que hay 96 hospitales y centros médicos dentro de 250 metros de las extensiones de las inundaciones según el MARN

de modo que un incremento relativamente menor en la extensión de la inundación podría hacer un gran impacto en los edificios expuestos.

Para investigar los efectos del cambio climático recomendamos centrarse en amenazas por inundación, considerando los siguientes pasos:

1. Para evaluar los potenciales impactos de inundaciones de magnitudes mayores a las que se han experimentado recientemente, realizar un análisis espacial usando el Modelo Digital de Elevaciones (o mejor aún los datos LiDAR que el MARN está levantando) a fin de examinar la infraestructura expuesta a inundaciones.
2. Repetir el análisis de AAL con iteraciones adicionales usando varias opciones para el aumento de probabilidades para cada uno de los escenarios de inundación.
3. El ampliar la información disponible sobre cada componente de infraestructura bajo riesgo de inundación aumenta la información de base para la evaluación de riesgo y permite una examinación más exacta de los efectos de cambios en las extensiones de inundación y en las probabilidades asociados al cambio climático.

4 Análisis

4.1 Visión general

Como ya se anotó en la introducción, este estudio es un primer paso en un proceso de analizar y finalmente gestionar la exposición a las amenazas por fenómenos naturales de la infraestructura importante en El Salvador. Hemos recopilado los mejores datos disponibles en un marco que nos permite comparar los riesgos de diferentes amenazas y los niveles relativos de riesgo para los diferentes tipos de infraestructura. Aunque haya problemas con la cantidad y calidad de los datos disponibles, los resultados generales son robustos y podrán utilizarse como base para poder avanzar.

Los terremotos e inundaciones son las mayores amenazas identificadas; los otros representan un menor nivel de AAL. Todos los tipos de infraestructura son impactados significativamente por las amenazas examinadas, estando en los primeros lugares de la lista la educación, vías y puentes viales, agua y saneamiento, y salud.

Aunque las amenazas por eventos volcánicos (especialmente la caída de cenizas) pueden ser extensos y algunas son extremadamente perjudiciales, como los lahares y la lava, sin embargo son relativamente infrecuentes y esto reduce el promedio de las pérdidas atribuibles a éstos. El nivel de riesgo de los flujos y corrientes piroclásticas depende críticamente de los estimados de los intervalos de retorno para los escenarios identificados.

La amenaza más significativa varía entre los diferentes tipos de infraestructura, siendo los terremotos el mayor factor para las vías, a diferencia de los centros educativos, por ejemplo, para los cuales las inundaciones son un riesgo más significativo.

Todas las regiones del país tienen pérdidas significativas, pero tienden a ser mayores en las zonas costeras que están sujetas a más inundaciones, impactos por tsunamis, y terremotos, los que tienden a amplificarse en los suelos poco consolidados.

En base a este análisis, podemos priorizar la infraestructura para análisis futuros y estudio adicionales y podemos identificar las regiones de preocupación para ciertos tipos de amenazas. Al aplicar una sola medida, la AAL, podemos comparar los riesgos relativos entre los tipos de amenazas y tipos de infraestructura de una manera significativa y útil.

Hay algunas advertencias que necesitan considerarse para interpretar estos resultados:

1. Al examinar los estimados de riesgos / promedio de pérdidas, es importante recordar que éstos incluyen únicamente la infraestructura en el análisis y no incluyen, por ejemplo, ninguna otra vulnerabilidad comercial o industrial ni ningún edificio residencial. Está claro que la pérdida global por una acción de un fenómeno natural significativo sería mucho mayor a la causada para la infraestructura considerada en el presente estudio.
2. Este análisis incluye únicamente los daños directos a la infraestructura y no los impactos secundarios de la pérdida de la infraestructura sobre la economía y sociedad en su conjunto.

4.2 Pertinencia de las políticas

1. **Planificación del desarrollo.** Es imprescindible contar con un mapeo completo y validado de las amenazas naturales en todo el país para la planificación del uso del suelo y el examen de los potenciales desarrollos nuevos en cualquier país, pero particularmente en El Salvador donde el riesgo por las amenazas naturales es alto. Aunque el inventario del mapeo de las amenazas naturales desarrollado en este proyecto no esté completo aún, sí representa la mejor información disponible por el momento y ya podrá utilizarse como insumo para la planificación.
2. **Planificación para la mitigación de riesgos.** Este estudio presenta un primer nivel de información que podrá usarse para comenzar a asignar recursos entre los tipos de infraestructura para mitigar la exposición a nivel de los componentes específicos de la infraestructura. Con tantas diferentes amenazas e infraestructuras es importante incorporar una cartera de medidas para reducir el riesgo, incluyendo:
 - A. Reducir la vulnerabilidad de las instalaciones
 - Mejoramiento estructural para reducir los impactos sísmicos y por las inundaciones;
 - Alzar los componentes clave para que ya no estén en las áreas propensas a las inundaciones.
 - B. Reducir la exposición de las instalaciones
 - Trasladar las instalaciones a otro sitio, cambiar el uso del suelo o la zonificación para impedir que sean emplazadas en las áreas que están en riesgo;
 - Construcción de diques para protección contra las inundaciones, bermas para interceptar los trayectos de deslizamientos, etc.
 - C. Incrementar la resiliencia del servicio prestado por las instalaciones
 - Infraestructura redundante y planes para superar las fallas
 - Procedimientos operativos de manejo para reducir la vulnerabilidad
 - D. Disminuir los tiempos y costos de recuperación
 - Tácticas de respuesta rápida y lugares de almacenamiento seguro para equipos
3. **Toma de decisiones con base científica.** Este estudio proporciona un marco para un programa continuo de recopilación y análisis de datos para dar los insumos requeridos para la planificación del desarrollo y la mitigación de riesgo. Es esencial asegurar que este trabajo cuente con el financiamiento adecuado y la administración apropiada de aquí en adelante para asegurar la idoneidad de las decisiones sobre políticas futuras. La información correcta y defendible es una parte clave del ciclo de planificación para lograr una infraestructura resiliente, que incluya la selección del sitio, su diseño, la mitigación de las amenazas, y la respuesta a éstos.

4.3 Intercambio de datos y colaboración entre organismos

En el curso de este proyecto, hemos comenzado a identificar una red de contactos dentro de los ministerios y organismos colaboradores que comparten un interés común en la evaluación de los riesgos para la infraestructura. El trabajo continúa en

el ámbito ministerial para desarrollar mejores insumos para el análisis y existe interés significativo en los resultados que son pertinentes para las áreas de su respectiva competencia. Consideramos que es importante aprovechar este ímpetu; sin embargo, también comprendemos que los recursos humanos y financieros son limitados. Algunos de los pasos que consideramos que podrían mantener este interés, y continuar avanzando, incluyen:

1. Asegurar que todos los acuerdos necesarios estén vigentes entre los ministerios / organismos y el MARN para facilitar el intercambio de datos para evaluar y analizar los riesgos, y que este trabajo goce de respaldo a los niveles altos del gobierno.
2. Designar a individuos en cada organismo como personas de contacto y asegurar que tengan la autoridad para recabar información internamente y entregarla al MARN.
3. El MARN debe organizar reuniones de todos los individuos en esta red dos veces al año para revisar los resultados, analizar y resolver los problemas, intercambiar experiencias, y planificar los trabajos futuros. En estos eventos, el MARN también podría organizar y proporcionar capacitación y otro apoyo para los organismos que no tengan capacidad interna.
4. Designar a una persona de contacto dentro del MARN para coordinar el intercambio de los datos y la organización de las reuniones. Esta persona idealmente debe tener un buen conocimiento de la colaboración general pero no necesita ser un especialista técnico.
5. Designar personal dentro del MARN que funja como líder técnico para el análisis de los riesgos. El MARN necesita recursos adicionales para el análisis técnico de los riesgos, lo cual aumentaría significativamente las capacidades del MARN en esta área.
6. Investigar la posibilidad de aprovechar a las personas asociadas con la Universidad de El Salvador y otras instituciones educativas, incluyendo estudiantes de posgrado, para que realicen algunos de los trabajos detallados de investigar sobre la disponibilidad de datos, revisar y verificar los datos, y realizar algunas porciones del análisis. Muchos de los trabajos que todavía necesitan hacerse implican un acercamiento estrecho con los representantes de los diferentes ministerios para asegurar que se hayan recolectado los datos más actualizados y exactos. Esto requerirá un tiempo considerable y aprovechar a estudiantes de posgrado y otras personas de la universidad puede ser una manera costo-eficaz de hacer esto.

Los flujos de información entre MARN y los organismos colaboradores deben incluir:

1. Aportes del MARN para los organismos sobre las solicitudes de información que podrían anexarse a las encuestas normales y otros proyectos para mejorar el análisis de los riesgos.

2. Actualizaciones regulares de los datos de los organismos para el MARN a medida que se recoja información nueva de las encuestas anuales y otros proyectos.
3. Entrega y presentación por el MARN de los resultados del análisis a los organismos. Incluir discusiones sobre cómo podrán mejorarse.
4. Las actualizaciones de los organismos sobre los estudios específicos de la relación costo-beneficios realizados para su infraestructura. Los estudios detallados de costo-beneficio serán realizados necesariamente por los organismos que tengan la jurisdicción respectiva, ya que cuentan con la ingeniería detallada e información económica requeridas. Sin embargo, es importante que esta información se consolide hasta la escala nacional.

4.4 Recomendaciones/ próximos pasos

Este estudio es un primer paso en un proceso y se recomienda que el MARN use este marco como base y lo amplíe para aumentar su alcance y la fiabilidad de los datos para que pueda llegar a ser una herramienta sostenible para brindar información a los formuladores de políticas y tomadores de decisiones para ayudar con la gestión de los riesgos de las amenazas naturales en El Salvador.

Para ampliar en base a este marco inicial, tenemos las siguientes recomendaciones.

4.4.1 Recomendaciones para ampliar el marco

1. Utilizar los resultados del análisis para priorizar los componentes de infraestructura para estudios adicionales donde haya un alto potencial de pérdida. Habiendo identificado estos componentes prioritarios para análisis adicional, deberá definirse cómo proceder con el examen de las medidas potenciales de riesgo y el análisis de la relación costo / beneficio. Los ministerios con responsabilidad de la infraestructura están en la posición óptima para hacer esto, y puede resultar difícil recolectar la información necesaria sin su participación plena.
2. Mejorar la exactitud de los estimados de la AAL al mejorar la resolución de los insumos de datos. Aunque se pueden recolectar datos mejores, y se debe hacerlo, a escala nacional para este tipo de análisis, con el tiempo será necesario considerar cada una de las instalaciones (por ejemplo, los edificios de centros educativos y de salud) en forma individual para que se pueda incorporar la información específica sobre cada sitio.
3. Los resultados del estudio podrían validarse seleccionando un subconjunto de los componentes de infraestructura en base a las listas priorizadas del análisis y realizando revisiones más detalladas de cada sitio específico. Prevemos que habrá diferencias cuando se incluya la información sobre sitios específicos, pero esto ayudará a cuantificar esas diferencias.
4. Debe considerarse la ampliación de la lista de infraestructura incluida en el marco. Las opciones obvias son las instalaciones de comunicaciones que no fueron incluidas, así como las instalaciones adicionales de salud que no estuvieron incluidas en la información disponible del MINSAL.

4.4.2 Recomendaciones organizacionales

5. El ímpetu que ha comenzado a conformarse alrededor de este proyecto debe ser revisado por el MARN para determinar si puede utilizarse como base de un programa nacional para la evaluación de los riesgos que consolide a todos los ministerios y demás organismos en todo El Salvador. Empezando en pequeña escala y focalizando en la facilitación e intercambio de conocimientos y datos desde el escala nacional hasta los Ministerios y poderes locales, consideramos que este proyecto tiene la capacidad de ampliarse hasta conformar un programa de mayor envergadura que los proyectos e iniciativas esporádicos que se han realizado hasta la fecha.
6. Las opciones para sostener este trabajo de recopilación y análisis de datos dentro del MARN deben considerarse y debe desarrollarse un plan para asegurar que el trabajo continúe con la prioridad necesaria y el debido acceso a los tomadores y las tomadoras de decisión.
7. El MARN debe trabajar con los ministerios y organismos que estén a cargo de la infraestructura para refinar y mejorar los datos que servirán como insumos para el marco de análisis para la lista existente de infraestructura y amenazas naturales. Esto debe hacerse de tal manera que sea continuo y sostenible antes que un esfuerzo único de recolección de datos.

Es importante comenzar a recolectar la información específica sobre los riesgos por amenazas naturales para cada elemento infraestructural, por ejemplo para centros educativos, propondríamos incluir también:

- a. Diagnósticos rápidos anexados a los censos tomados para todos los centros educativos del país – resúmenes de los amenazas a los que cada uno esté expuesto;
- b. Información sencilla que podrá utilizarse para evaluar la vulnerabilidad ante diferentes tipos de amenazas – por ejemplo, el tipo de construcción;
- c. Daños históricos experimentados durante los eventos de amenazas naturales en cada año para ayudar a calibrar las curvas de daños.

Referencias

- [1] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades (Borrador)," MARN, San Salvador, 2015.
- [2] UNISDR, "Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Country Risk Profile El Salvador," UNISDR, 2015.
- [3] J. Major, S. Schilling, C. Pullinger, C. Escobar, C. Chesner y M. Howell, "Lahar-Hazard Zonation for San Miguel Volcano, El Salvador," USGS Open-File Report 01-395 (<http://pubs.usgs.gov/of/2001/0395/pdf/of2001-0395.pdf>), 2001.
- [4] G. Marroquín and B. M. Benito, "RESIS II; Evaluación de la Amenaza Sísmica en El Salvador," Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2009.
- [5] FEMA, "Hazus 2.1 - Multi-hazard Loss Estimation Methodology; Earthquake Model; Technical Manual," FEMA (<https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609>).
- [6] M. Power, R. Borchardt y J. Stewart, "Site Amplification Factors From Empirical Studies," NGA WORKING GROUP #5 (http://peer.berkeley.edu/products/nga_project/NGA_Emp.%20Site_0920041.doc), 2004.
- [7] I. C. f. N. M. i. Engineering, "Perfil De Riesgo De Desastre Por Inundaciones Para El Salvador," Inter-American Development Bank. CONTRATO # INE/RND-RG-T2165-SN2/13, Washington, 2014.
- [8] CAPRA, "MODELACIÓN PROBABILISTA DEL RIESGO POR INUNDACIÓN EN EL SALVADOR (presentación en PowerPoint)," El Salvador, 2014.
- [9] Servicio Hidrológico Nacional, "Consideraciones sobre el mapa preliminar de áreas susceptibles a inundaciones," Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2004.
- [10] C. Guevara, W. Ramírez, J. Funes, N. Hueso, R. Segura y L. Robles, "Informe Resultados Índice De Seguridad Escolar: Centro Escolar El Presidio, Sonsonate; Código 10728," Ministerio de Educación, 2015.
- [11] L. Mixco, "Simulaciones De Lahares Y/O Flujos De Escombros," MARN, 2015.
- [12] S. P. Schilling, "LAHARZ: GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones," USGS Open-File Report 98-638 (<http://pubs.usgs.gov/of/1998/0638/report.pdf>), 1998.

- [13] J. Major, S. Schilling, C. Pullinger, C. Escobar y M. Howell, "Volcano-Hazard Zonation for San Vicente Volcano, El Salvador," USGS Open-File report 01-367 (<http://pubs.usgs.gov/of/2001/0367/pdf/of2001-0367.pdf>), 2001.
- [14] J. Major, S. Schilling, D. Sofield, C. Escobar y C. Pullinger, "Volcano Hazards in the San Salvador Region, El Salvador," USGS Open-File report 01-366 (<http://pubs.usgs.gov/of/2001/0366/pdf/of2001-0366.pdf>), 2001.
- [15] K. Konagai, J. Johansson, P. Mayorca, T. Yamamoto, M. Miyajima, R. Uzuoka, P. Nelson, F. Duran, K. Sassa y H. Fukuoka, "Las Colinas Landslide Caused By The January 13, 2001 Off The Coast Of El Salvador Earthquake," *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, vol. 2, no. 1, p. 15, 2002.
- [16] M. R. Diaz y G. Molina, "Memoria Técnica Para El Mapa De Susceptibilidad De Deslizamientos De Tierra En El Salvador," Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2004.
- [17] Pan American Health Organization / Organización Panamericana de Salud, "Hospital Safety Index Guide for Evaluators," World Health Organization, Washington DC, 2008.
- [18] C. Kattan, L. Menjivar, R. Castellanos, J. Ramos, N. Ayala y P. Méndez, "Modelación Probabilista de Escenarios de Riesgo Sísmico en el Área Metropolitana de San Salvador, incluye análisis de los portafolios de educación, salud y gobierno," Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), 2012.
- [19] FEMA, "Hazard 2.1 - Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Flood Model; Technical Manual," FEMA (<https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609>).
- [20] S. Reese y D. Ramsay, "RiskScape: Flood fragility methodology," National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd; Technical Report: WLG2010-45; NIWA Project: RSKA113 (<http://www.victoria.ac.nz/sgees/research-centres/documents/riskscape-flood-fragility-methodology.pdf>), Wellington, Nueva Zelanda, 2010.
- [21] L. S. Cluff, "Effects of the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake and Indian Ocean Tsunami in Aceh Province (<https://www.nae.edu/Publications/Bridge/EngineeringfortheThreatofNaturalDisasters/Effectsofthe2004Sumatra-AndamanEarthquakeandIndianOceanTsunamiinAcehProvince.aspx>)," *The Bridge; Linking engineering and society*, vol. 37, no. 1, pp. 12-16, 2007.
- [22] M. Shimosaka, "Haciendo una red vial "resilient" ante desastres naturales: El proyecto para el desarrollo de capacidades de la dirección de adaptación al cambio climático y gestión estratégica del riesgo para el

- reforzamiento de la infraestructura pública en El Salvador," Equipo de Cooperación Técnica de JICA, 2013.
- [23] UNISDR, "Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction," PNUD, 2015.
- [24] Global Fund For Disaster Risk Reduction, "Disaster Risk Management in Central America: FGDRR Country Notes. El Salvador," Banco Mundial, Washington, DC, 2010.
- [25] Pan American Health Organization / Organización Panamericana de Salud, "Health in the Americas - El Salvador Country Volume," World Health Organization, 2012.
- [26] E. Aguilar, T. Peterson, P. Obando, R. Frutos, J. Retana, M. Solera, J. Soley, I. Garcia, R. Araujo, A. Santos, V. Valle, M. Brunet, L. Aguilar, L. Alvarez, M. Bautista, C. Castanon, L. Herrera, E. Ruano, J. Sinay, E. Sánchez y G. Oviedo, "Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003," *Journal of Geophysical Research*, vol. 110, p. 15, 2005.
- [27] M. G. Rodríguez, "Catálogo de Mapas de Amenazabilidad e Inundación por Tsunamis en la costa de El Salvador. Fase I: Amenazabilidad," Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, 2011.

Anexo 1: Información de amenazas

Nombre del campo	Grupo de amenazas			Nombre del escenario	Período de retorno
		Tipo de amenaza	Grupo de eventos / escenarios		
X1	Volcánico	Lahar	Volcán Santa Ana	50.000 m3	490
X2	Volcánico	Lahar	Volcán Santa Ana	100.000 m3	1.372
X3	Volcánico	Lahar	Volcán Santa Ana	150.000 m3	2.254
X4	Volcánico	Lahar	Volcán Santa Ana	200.000 m3	3.136
X5	Volcánico	Lahar	Volcán Santa Ana	250.000 m3	4.018
X6	Volcánico	Lahar	Volcán Santa Ana	300.000 m3	4.900
X7	Volcánico	Lahar	San Vicente (Ciudad de San Vicente)	50.000 m3	170
X8	Volcánico	Lahar	San Vicente (Ciudad de San Vicente)	75.000 m3	453
X9	Volcánico	Lahar	San Vicente (Ciudad de San Vicente)	100.000 m3	737
X10	Volcánico	Lahar	San Vicente (Ciudad de San Vicente)	250.000 m3	1.020
X11	Volcánico	Lahar	San Vicente (Norte)	100.000 m3	170
X12	Volcánico	Lahar	San Vicente (Norte)	300.000 m3	595
X13	Volcánico	Lahar	San Vicente (Norte)	500.000 m3	1.020
X14	Volcánico	Lahar	San Vicente (Sur Zacatecoluca)	100.000 m3	170
X15	Volcánico	Lahar	San Vicente (Sur Zacatecoluca)	150.000 m3	453
X16	Volcánico	Lahar	San Vicente (Sur Zacatecoluca)	250.000 m3	737
X17	Volcánico	Lahar	San Vicente (Sur Zacatecoluca)	500.000 m3	1.020
X18	Volcánico	Lahar	San Miguel	25.000 m3	78
X19	Volcánico	Lahar	San Miguel	50.000 m3	919
X20	Volcánico	Lahar	San Miguel	100.000 m3	1.759
X21	Volcánico	Lahar	San Miguel	300.000 m3	2.600
X22	Volcánico	Lahar	Conchagua	25.000 m3	500

Análisis de riesgo en infraestructura prioritaria

X23	Volcánico	Lahar	Conchagua	50.000 m3	1.167
X24	Volcánico	Lahar	Conchagua	75.000 m3	1.833
X25	Volcánico	Lahar	Conchagua	100.000 m3	2.500
X26	Volcánico	Lahar	Berlín	2500 m3	500
X27	Volcánico	Lahar	Berlín	7500 m3	1.167
X28	Volcánico	Lahar	Berlín	15000 m3	1.833
X29	Volcánico	Lahar	Berlín	35000 m3	2.500
X30	Volcánico	Lahar	Apaneca	5.000 m3	1.900
X31	Volcánico	Lahar	Apaneca	10.000 m3	3.800
X32	Volcánico	Lahar	Apaneca	25.000 m3	5.700
X33	Volcánico	Lahar	Apaneca	50.000 m3	7.600
X34	Volcánico	Lahar	Apaneca	75.000 m3	9.500
X35	Volcánico	Lahar	San Salvador	10.000 m3	370
X36	Volcánico	Lahar	San Salvador	25.000 m3	1.480
X37	Volcánico	Lahar	San Salvador	50.000 m3	2.590
X38	Volcánico	Lahar	San Salvador	100.000 m3	3.700
X39	Volcánico	Ceniza	Santa Ana	Escenario 1	30
X40	Volcánico	Ceniza	Santa Ana	Escenario 2	100
X41	Volcánico	Ceniza	Santa Ana	Escenario 3 (agosto)	6.000
X42	Volcánico	Ceniza	Santa Ana	Escenario 3 (enero)	6.000
X43	Volcánico	Ceniza	San Salvador	Escenario 1	100
X44	Volcánico	Ceniza	San Salvador	Escenario 2	300
X45	Volcánico	Ceniza	San Salvador	Escenario 3	10.000
X46	Volcánico	Ceniza	San Miguel	Escenario 1	5
X47	Volcánico	Ceniza	San Miguel	Escenario 2	100

Análisis de riesgo en infraestructura prioritaria

X48	Volcánico	Ceniza	San Miguel	Escenario 3	300
X49	Volcánico	Lava	Santa Ana	Escenario 1	100
X50	Volcánico	Proyectiles balísticos	Santa Ana	Escenario 1	100
X51	Volcánico	Lava	San Miguel	Escenario 1	5
X52	Volcánico	Lava	San Miguel	Escenario 2	100
X53	Volcánico	Lava	San Miguel	Escenario 3	300
X54	Volcánico	Proyectiles balísticos	San Miguel	Escenario 1	5
X55	Volcánico	Proyectiles balísticos	San Miguel	Escenario 2	100
X56	Volcánico	Proyectiles balísticos	San Miguel	Escenario 3	300
X57	Volcánico	Proyectiles balísticos	San Salvador	Escenario 1	100
X58	Volcánico	Proyectiles balísticos	San Salvador	Escenario 2	300
X59	Volcánico	Proyectiles balísticos	San Salvador	Escenario 3	10.000
X63	Volcánico	Flujo piroclástico	San Salvador	Escenario 1	100
X64	Volcánico	Flujo piroclástico	San Salvador	Escenario 2	300
X65	Volcánico	Flujo piroclástico	San Salvador	Escenario 3	10,000
X66	Volcánico	Corriente piroclástica	San Salvador	Escenario 1	100
X67	Volcánico	Corriente piroclástica	San Salvador	Escenario 2	300
X68	Volcánico	Corriente piroclástica	San Salvador	Escenario 3	10,000
X71	Tsunami	Tsunami	Tsunami	2 Metros	10
X72	Tsunami	Tsunami	Tsunami	4 Metros	100
X73	Tsunami	Tsunami	Tsunami	6 Metros	250
X74	Tsunami	Tsunami	Tsunami	10 Metros	500
X77	Inundaciones	Inundación	Inundaciones sobre la tierra	Bajo	5
X78	Inundaciones	Inundación	Inundaciones sobre la tierra	Medio	33
X79	Inundaciones	Inundación	Inundaciones sobre la tierra	Grande	60
X81	Aluviones	Aluviones	Amenazas por aluviones	Bajo	253.907

Análisis de riesgo en infraestructura prioritaria

X82	Aluviones	Aluviones	Amenazas por aluviones	Medio	116.301
X83	Aluviones	Aluviones	Amenazas por aluviones	Alto	52.879
X84	Aluviones	Aluviones	Amenazas por aluviones	Muy alto	12.812
X85	Terremoto	PGA	Período de retorno de excedencia de 500 años	PGA	375
X86	Terremoto	SA_10	Período de retorno de excedencia de 500 años	SA - 1.0S	375
X87	Terremoto	SA_02	Período de retorno de excedencia de 500 años	SA 0.2S	375
X88	Terremoto	PGA	Período de retorno de excedencia de 1000 años	PGA	1.071
X89	Terremoto	SA_10	Período de retorno de excedencia de 1000 años	SA - 1.0S	1.071
X90	Terremoto	SA_02	Período de retorno de excedencia de 1000 años	SA 0.2S	1.071
X91	Terremoto	PGA	Período de retorno de excedencia de 2500 años	PGA	2.500
X92	Terremoto	SA_10	Período de retorno de excedencia de 2500 años	SA - 1.0S	2.500
X93	Terremoto	SA_02	Período de retorno de excedencia de 2500 años	SA 0.2S	2.500

Anexo 2: Información sobre la infraestructura

Tipo de infraestructura	Número de elementos	Enfoque de valoración	Notas
Carreteras	~3000 Km (417.272 puntos)	Valor por Km en base al tipo de vía	
Puentes viales	1.536	Valor por metro	
Torres de Trasmisión Eléctrica (ETESAL)	3.020	Fijo: USD 215,000 por torre	
Subestaciones eléctricas (ETESAL)	30	Fijo: USD16'000.000 por subestación	
Represas hidroeléctricas	4	Estimados en base a su producción	
Centros de salud	942	Estimados facilitados por el MINSAL	
Educación	6.090	Valores facilitados por el MINED	
Agua y Saneamiento	707	Estimados de Hazus y otras fuentes	
Aeropuertos	5		
Puertos marítimos	5		