

Perfil de Riesgo de Desastres por Evento Sísmico de Ecuador

Banco Interamericano de Desarrollo

División de Medio
Ambiente, Desarrollo Rural
y Gestión de Riesgo de
Desastres

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-01964

Perfil de Riesgo de Desastres por Evento Sísmico de Ecuador

Banco Interamericano de Desarrollo

División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión de Riesgo de Desastres

Agosto 2020

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo
Perfil de riesgo de desastres por evento sísmico de Ecuador / Banco Interamericano de
Desarrollo.

p. cm. — (Nota técnica del BID; 1964)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Earthquakes-Risk assessment-Ecuador. 2. Earthquake hazard analysis-Ecuador. I.
Banco Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y
Administración de Riesgos por Desastres. II. Serie.

IDB-TN-1964

Código JEL: Q54

Palabras claves: Cambio Climático, Evento sísmico, Gestión del Riesgo de Desastres;
Estrategia de Gestión del Riesgo de Desastres; Política Gestión del Riesgo de
Desastres;

Metodología de Gestión del Riesgo de Desastres; Evaluación probabilística del riesgo,
Vulnerabilidad.

<http://www.iadb.org>

Copyright © [2020] Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Este documento fue preparado por:

Especialistas del Banco Interamericano de Desarrollo: Hori Tsuneki, Especialistas en Gestión del Riesgo de Desastres; Pablo Daza, Especialista; Cristina Villalba, Especialista.

Consultores Externos:

Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico: INGENIERIA TÉCNICA Y CIENTÍFICA SAS Bogotá-Colombia: Luis Eduardo Yamin, Dirección General del Proyecto;

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo: INGENIERIA TÉCNICA Y CIENTÍFICA SAS Bogotá-Colombia: Juan Carlos Reyes, Ingeniero Especialista – Asesor; Rafael Fernández, Ingeniero Especialista; Carolina Herrera, Ingeniero Especialista; José Raúl Rincón, Ingeniero Especialista; Fabio Alejandro Lagos, Ingeniero; Juan Sebastián Rincón, Ingeniero; Juan Carlos Pantoja, Ingeniero Especialista (ECUADOR); Julián Tristancho, Ingeniero Especialista – Asesor; Esteban Prada, Ingeniero Especialista; Julián Daza, Ingeniero Especialista; Jean Nicolás Martínez, Ingeniero; María Camila Sánchez, Ingeniero; Carlos Pazmiño, Ingeniero (ECUADOR).

El desarrollo y publicación de este documento fue financiado a través de la Cooperación Técnica Regional EC-T1354, financiado por el Gobierno de Japón a través del Fondo Especial Japones.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS GENERALES	1
1.2	ALCANCE Y LIMITACIONES.....	2
1.3	METODOLOGÍA	3
1.3.1	ANÁLISIS DE LA AMENAZA SÍSMICA	4
1.3.2	EXPOSICIÓN DE EDIFICACIONES	5
1.3.3	EXPOSICIÓN DE ELEMENTOS DE INFRAESTRUCTURA	6
1.3.4	VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	7
1.3.5	ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO	8
1.3.6	MÉTRICAS DEL RIESGO SÍSMICO.....	9
1.3.7	CURVA HÍBRIDA DE RIESGO SÍSMICO	12
2	EVENTOS HISTÓRICOS Y PÉRDIDAS ECONÓMICAS.....	14
2.1	INTRODUCCIÓN.....	14
2.2	BASE DE DATOS DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS	14
2.2.1	DESINVENTAR.....	14
2.2.2	EMERGENCY EVENTS DATASET (EM-DAT).....	15
2.2.3	NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) EARTHQUAKE DATABASE	16
2.3	EVENTOS SÍSMICOS HISTÓRICOS	20
2.3.1	EVENTOS HISTÓRICOS PRINCIPALES	20
2.3.2	FEBRERO 4 DE 1797, MS 8.3.....	22
2.3.3	AGOSTO 15 Y 16 DE 1868, MS 8.0 Y 7.7	22
2.3.4	ENERO 31 DE 1906, MW 8.8	23
2.3.5	MAYO 14 DE 1942, MW 7.8	23
2.3.6	AGOSTO 5 DE 1949, ML 6.8	23
2.3.7	MARZO 6 DE 1987, MW 6.1 Y MW 7.1	23
2.3.8	AGOSTO 4 DE 1998, MW 7.1.....	23
2.4	TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016	23
3	AMENAZA SÍSMICA PROBABILISTA	26
3.1	GENERALIDADES	26
3.2	MODELO DE AMENAZA SÍSMICA EN ROCA	26
3.2.1	CATÁLOGO SÍSMICO	26
3.2.2	FUENTES SISMOGÉNICAS.....	28
3.2.3	PARÁMETROS DE SISMICIDAD DE LAS FUENTES SÍSMICAS	30
3.2.4	LEYES DE ATENUACIÓN	32
3.2.5	CÁLCULO DE AMENAZA SÍSMICA	33
3.2.6	RESULTADOS DE AMENAZA SÍSMICA EN ROCA FIRME	34
3.2.7	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VELOCIDAD ESPECTRAL EN EL PAÍS	42
3.3	EFFECTOS DE SITIO A NIVEL NACIONAL.....	42
3.3.1	DEFINICIÓN DE ZONAS DE AMPLIFICACIÓN	42
3.3.2	ESPECTROS DE AMPLIFICACIÓN ESPECTRAL.....	44
3.3.3	COMPARACIÓN FRENTE A LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO.....	46

3.3.4	COMPARACIÓN FRENTE A OTROS ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN	50
3.4	MODELO DE AMENAZA SÍSMICA EN SUPERFICIE	53
3.4.1	METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA AMENAZA SÍSMICA EN SUPERFICIE	53
3.4.2	MAPAS DE ACERACIÓN EN SUPERFICIE	56
3.5	VALIDACIÓN DEL MODELO ESTOCÁSTICO DE AMENAZA PROPUESTO	62
3.5.1	CARACTERÍSTICAS DEL MODELO ESTOCÁSTICO DE AMENAZA	62
3.5.2	REGISTROS DEL SISMO DEL 16 DE ABRIL DE 2016	64
3.5.3	MODELACIÓN DEL EVENTO ESTOCÁSTICO REPRESENTATIVO	67
3.5.4	COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON OTROS MODELOS PUBLICADOS	70
3.6	CONCLUSIONES.....	73
4	MODELO DE ELEMENTOS EXPUESTOS Y VULNERABILIDAD SÍSMICA	75
4.1	GENERALIDADES	75
4.2	MODELO DE EXPOSICIÓN: EDIFICACIONES.....	76
4.2.1	INTRODUCCIÓN.....	76
4.2.2	METODOLOGÍA DE ASIGNACIÓN	77
4.2.3	INFORMACIÓN BÁSICA NACIONAL	78
4.2.4	INDICADORES DE DESARROLLO	79
4.2.5	NIVEL DE COMPLEJIDAD	80
4.2.6	OCUPACIÓN HUMANA	82
4.2.7	CARGA DE OCUPACIÓN	86
4.2.8	VALORACIÓN ECONÓMICA.....	87
4.2.9	DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES	87
4.2.10	RESOLUCIÓN DEL MODELO DE EXPOSICIÓN	92
4.3	MODELO DE EXPOSICIÓN: INFRAESTRUCTURA	93
5.3.1	INTRODUCCIÓN.....	93
4.3.2	SECTOR DE AGUA Y SANEAMIENTO.....	93
5.3.3	SECTOR COMUNICACIONES	98
5.3.4	SECTOR ELÉCTRICO	100
5.3.5	SECTOR HIDROCARBUROS	113
5.3.6	SECTOR TRANSPORTE	118
5.4	MODELO DE EXPOSICIÓN CONSOLIDADO A NIVEL NACIONAL.....	126
5.4.1	MODELO DE EXPOSICIÓN DE EDIFICACIONES	126
5.4.2	VALIDACIÓN DEL MODELO DE EXPOSICIÓN EDIFICACIONES	129
5.4.3	MODELO DE EXPOSICIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA	129
5.4.4	RESUMEN GENERAL	131
5.5	VULNERABILIDAD SÍSMICA	133
5.5.1	INTRODUCCIÓN.....	133
5.5.2	DEFINICIÓN DE LAS TAXONOMÍAS PREDOMINANTES PARA EDIFICACIONES	133
5.5.3	INFORMACIÓN HISTÓRICA RELEVANTE PARA VALIDAR EL COMPORTAMIENTO DE EDIFICACIONES.....	136
5.5.4	FUNCIONES DE VULNERABILIDAD TÍPICAS PARA EDIFICACIONES	137
5.5.5	INFORMACIÓN HISTÓRICA RELEVANTE PARA VALIDACIÓN DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE COMPONENTES DE INFRAESTRUCTURA	138
5.5.6	CURVAS DE VULNERABILIDAD PARA COMPONENTES DE INFRAESTRUCTURA	139
5	EVALUACIÓN PROBABILISTA DEL RIESGO SÍSMICO	141
5.1	GENERALIDADES	141

5.2	PERFIL DE RIESGO SÍSMICO CATASTRÓFICO.....	141
5.2.1	RIESGO SÍSMICO NIVEL NACIONAL Y POR SECTORES	141
5.2.2	RIESGO SÍSMICO EDIFICACIONES	144
5.2.3	RIESGO SÍSMICO INFRAESTRUCTURA.....	146
5.2.4	COMPARACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO PARA TODOS LOS SUBSECTORES ANALIZADOS.....	149
5.2.5	PÉRDIDAS ESPERADAS A NIVEL DE CANTONES	150
5.2.6	ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS INDIRECTAS.....	152
5.3	CURVA HÍBRIDA DEL RIESGO	154
5.3.1	INTRODUCCIÓN.....	154
5.3.2	ALCANCE Y LIMITACIONES.....	154
5.3.3	INFORMACIÓN DISPONIBLE EN BASES DE DATOS LIBRES.....	155
5.3.4	MODELO DE COSTOS.....	155
5.3.5	REVISIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA	156
5.3.6	CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS DE EVENTOS RECURRENTES.....	157
5.4	ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS FÍSICAS Y HUMANAS POR ESCENARIOS CRÍTICOS DE RIESGO.....	158
5.4.1	ESCENARIOS CATASTRÓFICOS DE RIESGO	159
5.4.2	ESCENARIOS CRÍTICOS DE RIESGO.....	160
5.5	CASO DE VALIDACIÓN: SISMO 16 DE ABRIL DE 2016.....	161
5.6	CONCLUSIONES.....	165
6	REFERENCIAS.....	167
7	ANEXO 1.....	170
7.1	ENTIDADES PARTICIPANTES Y CONSULTADAS	170
7.2	ESTUDIOS PREVIOS DE REFERENCIA	171
7.3	INFORMACIÓN RECOPIADA.....	171

Lista de acrónimos

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAPRA-GIS	Plataforma de Evaluación Probabilística del Riesgo en combinación con el sistema de información geográfica
CELEC	Corporación Eléctrica del Ecuador
CEP	Excedencia de Pérdidas
CRISIS 2007	Software para llevar a cabo el cálculo de la amenaza sísmica.
DesInventar	Disaster Inventory System
DGAC	Dirección General de Aviación Civil
EMC	Eventos máximos considerados
EM-DAT	Emergency Events Dataset
EPA	Empresa Pública para el Agua
EPN	Instituto Geofísico
ESPE	Universidad de las Fuerzas Armadas
FEMA	Agencia Federal para el Manejo de Emergencias
FUNVISIS	Fundación Venezolana de investigaciones sismológicas
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GAR	Informe de Evaluación Global
GEER	Geotechnical Extreme Events Reconnaissance, por sus siglas en inglés
GEM	Modelo Global de Terremotos, por sus siglas en inglés
IGEPN	Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INMOBILIAR	Servicio de Gestión Inmobiliaria
ISC	International Seismological Center, por sus siglas en inglés
ITEC	Ingeniería Técnica y Científica S.A.S.
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía renovable
MH	Ministerio de Hidrocarburos
MINEDUC	Ministerio de Educación
MSP	Ministerio de Salud
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
NEHRP	National Earthquake Hazard Reduction Program, por sus siglas en inglés
NEIC-PDE	Information Center Preliminary Determination of Epicenters, por sus siglas en inglés
NGDC	National Geophysical Data Center, por sus siglas en inglés
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration Earthquake Database, por sus siglas en inglés
OCP	Entidad privada de Oleoducto de crudo pesado
PAE	Pérdida anual esperada
PETROAMAZONAS	Entidad Gubernamental de extracción y transporte de crudo
PETROECUADOR	Entidad Gubernamental de refinerías, transporte y distribución
PGA	Peak Ground Acceleration, por sus siglas en inglés
PLCMMED	Pórticos o losa columna con muros de mampostería y eje débil
PMP	Pérdida máxima probable
PSHA	Estudios de amenaza sísmica probabilista, por sus siglas en inglés
RENSIG	Red Sismológica de Ecuador

SGR	Secretaría de Gestión de Riesgos del Ecuador
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
SENPLADES	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo de Ecuador
UCL	Université Catholique de Louvain, (de Bélgica) por sus siglas en francés
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VAB	Valor Agregado Bruto

1 INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo de desastres es una de las actividades fundamentales de los gobiernos de países que se encuentran en zonas de alta amenazas a fenómenos de la naturaleza como sismos o eventos hidro-meteorológicos. La experiencia reciente ha demostrado que es posible reducir considerablemente los impactos generados por eventos catastróficos en términos de daños a la infraestructura, pérdidas económicas y afectaciones humanas, implementando medidas de mitigación del riesgo, protección financiera y planes y acciones para las emergencias y reconstrucciones (Yamin, 2013). Para esto es necesario contar con información confiable para estimar las amenazas, el inventario de activos expuestos y la vulnerabilidad de las tipologías constructivas dominantes; componentes con los cuales se llevan a cabo las evaluaciones probabilistas del riesgo. La evaluación del riesgo proporciona información sobre los eventuales impactos de desastres y la efectividad de las diferentes opciones de reducción o mitigación, como se mostrará más adelante.

Ecuador cuenta con documentos históricos desde 1542 hasta 2021 con registros históricos de sismos de gran magnitud debido a su localización, donde los procesos de subducción son predominantes y tienen el potencial de generar terremotos de altas magnitudes a cortas distancias de centros poblados, afectando drásticamente la infraestructura, la población y la economía del país¹(Beauval et al., 2014; Parra, 2016, SENPLADES, 2016, GEER & ATC, 2016, Beauval et al., 2018). Así como, cuenta con datos instrumentales desde 1988, de los cuales se ha compilado información de registros sísmicos para los terremotos de Pujilí de 1996 (M5.7), Bahía de Caráquez de 1998 (M 7.1) y Pedernales de 2016 (M 7.8)

Los registros históricos indican que en los últimos 500 años se han presentado varios eventos con alto número de víctimas fatales y considerables pérdidas económicas. Sismos como el de 1797 o los de 1868 que generaron aproximadamente 40 mil y 70 mil víctimas y los sismos de 1987 y el de 2016 con pérdidas económicas estimadas en US\$1.000 millones de dólares² (SENPLADES, 2016). Estos eventos han generado importantes impactos en la economía del país y en los niveles de desarrollo, con situaciones de emergencia de difícil superación y largos procesos de recuperación y reconstrucción. El Banco Interamericano de Desarrollo mediante el fondo especial japonés aprobó la cooperación técnica “Apoyo para garantizar la resistencia de los sistemas de infraestructura y de servicios públicos después del terremoto en Ecuador” en el 2016, para generar un plan de acción que implementen medidas de resiliencia sísmica en la infraestructura y servicios públicos ante posibles eventos futuros.

1.1 OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general del proyecto es elaborar el perfil de riesgo de desastre por eventos sísmicos para el Ecuador utilizando para el efecto modelos simplificados de exposición y vulnerabilidad y llevando a cabo un análisis probabilista del riesgo a nivel país, discretizado por sectores críticos de la infraestructura. Con esto se pretende evaluar los impactos esperados en el acervo físico, las pérdidas económicas y las posibles afectaciones en la población ante la ocurrencia de eventos

1 Terremoto de Muisne en el 2016 magnitud 7.8 y el sismo de 1906 de magnitud 8.8

2 GEER & ATC, 2016; National Geophysical Data Center (NGDC), n.d.; SENPLADES, 2016

sísmicos de alta magnitud, para efectos de diagnóstico y cuantificación general del riesgo al que está sometido el país.

A partir de perfil de riesgo se pretende además identificar los sectores y componentes que resulten críticos desde el punto de vista de concentración del riesgo y para estos, desarrollar diseños típicos a nivel de prefactibilidad de obras para el reforzamiento de la infraestructura. Las propuestas de mitigación del riesgo se realizan para las tipologías características encontradas en componentes y elementos críticos, de manera que con su eventual intervención se logre una reducción significativa del riesgo por eventos sísmicos. Esta información específica permite plantear las bases técnicas y económicas para la elaboración de planes de mitigación en estos y otros sectores claves para la economía y desarrollo del país, en el marco de un plan general de mitigación del riesgo sísmico a nivel país.

1.2 ALCANCE Y LIMITACIONES

La primera fase del proyecto es la evaluación probabilista del riesgo sísmico. Para esto se desarrolla un modelo de amenaza sísmica a nivel nacional a partir de la información disponible. El planteamiento del modelo incluye el tratamiento y organización de la información, la conformación de una base de datos de eventos históricos, la evaluación de la amenaza a nivel del basamento rocoso, la estimación de efectos de sitio y su zonificación a nivel país, y la evaluación de la amenaza sísmica probabilista a nivel de la superficie del terreno y su validación. Adicionalmente se conforma un modelo de exposición a nivel nacional (tipo Proxy) el cual se lleva a cabo con una resolución a nivel Cantón. El modelo incluye edificaciones residenciales y demás usos dominantes y los componentes de la infraestructura de los sectores agua y saneamiento, comunicaciones, eléctrico, hidrocarburos y transporte. También se consideran de manera independiente los sectores salud, educación e institucional (edificaciones del Gobierno). El modelo se desarrolla a partir de información catastral oficial, estudios previos y visitas virtuales y directas a algunas de las poblaciones representativas. Finalmente se lleva a cabo una estimación de la vulnerabilidad de las edificaciones y componentes de infraestructura principales a partir de la evaluación de sus características principales y de acuerdo con las técnicas constructivas y de diseño nacionales. A partir de estos componentes se realiza la evaluación del riesgo sísmico probabilista, el análisis global de riesgo catastrófico y la generación de la curva de excedencia de pérdidas y curva híbrida del riesgo a nivel país. Si bien la metodología probabilista es importante, esto no limita la importancia de la metodología determinista que puede ser aplicado a estructuras específicas sismogénicas (fallas geológicas activas) identificadas en el territorio en estudios sísmicos específicos.

El modelo de amenaza sísmica se ajusta a la información disponible suministrada. Los resultados se validan con la información publicada de estudios de amenaza sísmica a nivel nacional. En los casos en que no se encuentra información confiable oficial se realizan aproximaciones basadas en indicadores económicos y demográficos del país o de países similares del continente. Para la recolección de información se contó con el apoyo de la Servicio Nacional de Gestión del Riesgos y Emergencias (SNGRE), la cual estableció contacto directo con las entidades nacionales relacionadas con el tema del estudio.

El estudio de la Evaluación del Riesgo Sísmico de esta Nota Técnica y el estudio complementario sobre el Diseño de Prefactibilidad de Proyectos de Construcción y Reforzamiento de Infraestructura están basados en métodos probabilistas con aproximaciones puntuales deterministas. Con base en los resultados del perfil de riesgo, se establece el diagnóstico general del riesgo sísmico del país y en particular de los principales sectores de la infraestructura nacional. De estos se seleccionan aquellos que generan condiciones de riesgo críticas para el país y que cuenten con la mínima información que permita llevar a cabo evaluaciones para elaborar planes de mitigación del riesgo. Para los sectores seleccionados se realizan evaluaciones de riesgo con mayor nivel de detalle y se elaboran diseños ilustrativos a

nivel de prefactibilidad de proyectos de construcción y reforzamiento de componentes. Se realizan evaluaciones en las condiciones actuales, se identifican diferentes opciones de medidas de reducción de riesgo, se estiman los costos de la eventual implementación de dichas medidas de reducción de riesgo, se analizan los escenarios de riesgo una vez implementadas las medidas de mitigación, se evalúan relaciones beneficio-costos y se lleva a cabo la selección y priorización de medidas de reforzamiento estructural. Estos resultados son la base para los planes de mitigación de riesgos de los sectores estudiados, información que se presenta como ilustrativa para la realización de estudios similares para los demás sectores. El plan plantea entre otros resultados posibles intervenciones a corto y mediano plazo, una estimación de la inversión requerida en cada una de las fases y las recomendaciones generales para su implementación.

La recopilación de información se realizó con la coordinación y apoyo de la Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE). Para el efecto se realizaron solicitudes formales de información a los diferentes ministerios nacionales, quienes enviaron posteriormente la información al SNGRE para su uso en el proyecto. Las entidades y ministerios consultados y que remitieron información fueron los siguientes:

- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
- Empresa Pública para el Agua (EPA)
- Servicio de Gestión Inmobiliaria (INMOBILIAR)
- Ministerio de Salud (MSP)
- Ministerio de Educación (MINEDUC)
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO)
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)
- Ministerio de Hidrocarburos (MH)
- Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR)
- Instituto Geofísico EPN
- Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
- Instituto Espacial Ecuatoriano
- Instituto Geográfico Militar
- Ministerio de Turismo

Adicionalmente, se realizaron dos talleres en septiembre de 2017 y en marzo de 2018 con el fin de socializar los objetivos del proyecto y verificar la existencia y disponibilidad de información relevante para el proyecto. Con base en las respuestas iniciales remitidas por las diferentes entidades a las solicitudes de la SGR y a las conclusiones de los talleres realizados, se llevaron a cabo reuniones específicas con diferentes entidades y ministerios los días 26, 27 y 28 de marzo del 2018, en las cuales participaron además la Secretaría de Gestión del Riesgo, el Banco Interamericano de Desarrollo y el Consultor. Toda la información detallada de la información solicitada y recopilada se presenta en el Anexo 1.

1.3 METODOLOGÍA

Este estudio utiliza la siguiente ecuación como marco general del estudio: Riesgo (R) = amenaza (o Peligro) x Vulnerabilidad x Elementos de Exposición. Un terremoto puede generar en un área específica, además de las aceleraciones y movimientos en el terreno, varios peligros geológicos cosísmicos, como: (i) licuefacción de suelos saturados, (ii) subsidencia natural o antrópica, (iii) deslizamientos entre otros, los cuales se encuentran por fuera del alcance del presente estudio.

1.3.1 Análisis de la amenaza sísmica

Los estudios de amenaza sísmica probabilista, *PSHA* por sus siglas en inglés, son primordiales para realizar un análisis de riesgo sísmico, ya que permite estimar los niveles de aceleración a las que las edificaciones y elementos de infraestructura podrían verse sometidas durante un sismo. Estos análisis requieren de información de sismicidad histórica y conocimiento acerca de las fuentes sismogénicas que influyen en el área de estudio, con el fin de caracterizar la actividad sísmica de la región. La definición de los parámetros de sismicidad trae consigo una gran incertidumbre dada la variabilidad en la ocurrencia de un evento, en cuanto a su magnitud, ubicación, y tipo de fuente sísmica donde se generó (cortical, interfase, intraplaca). Baker (2013) resume el procedimiento para el cálculo de la amenaza sísmica, considerando todas las fuentes de incertidumbre asociada, de forma que al final del análisis se obtienen las tasas anuales de excedencia para diferentes valores de intensidad (PGA y aceleración espectral).

Adicionalmente, se debe considerar el efecto de los suelos blandos, los cuales generan usualmente una amplificación de la intensidad sísmica en superficie. Para esto se utilizando modelos unidimensionales de respuesta dinámica de depósitos de suelo blando, siendo el método lineal equivalente (Idriss & Seed, 1968) el más usado para este fin. La evaluación de respuesta dinámica requiere de información geotécnica detallada que no siempre está disponible, por lo cual en muchas ocasiones es necesario utilizar modelos aproximados para estimar estos parámetros, como el propuesto por Allen y Wald (2009) para obtener la velocidad de onda cortante en los primeros 30 metros a partir de un modelo de pendiente del terreno y del entorno geológico de la zona de estudio. A su vez es necesario un tratamiento adecuado de la incertidumbre en los análisis dada la variabilidad espacial de los parámetros del suelo y la intensidad sísmica de entrada. Dentro del marco del proyecto se utilizará la metodología propuesta por Yamín et al. (2018) para la evaluación de la respuesta dinámica de suelos e integración de la amenaza sísmica en superficie. La metodología general para el cálculo de la amenaza sísmica se resume en la Figura 1.

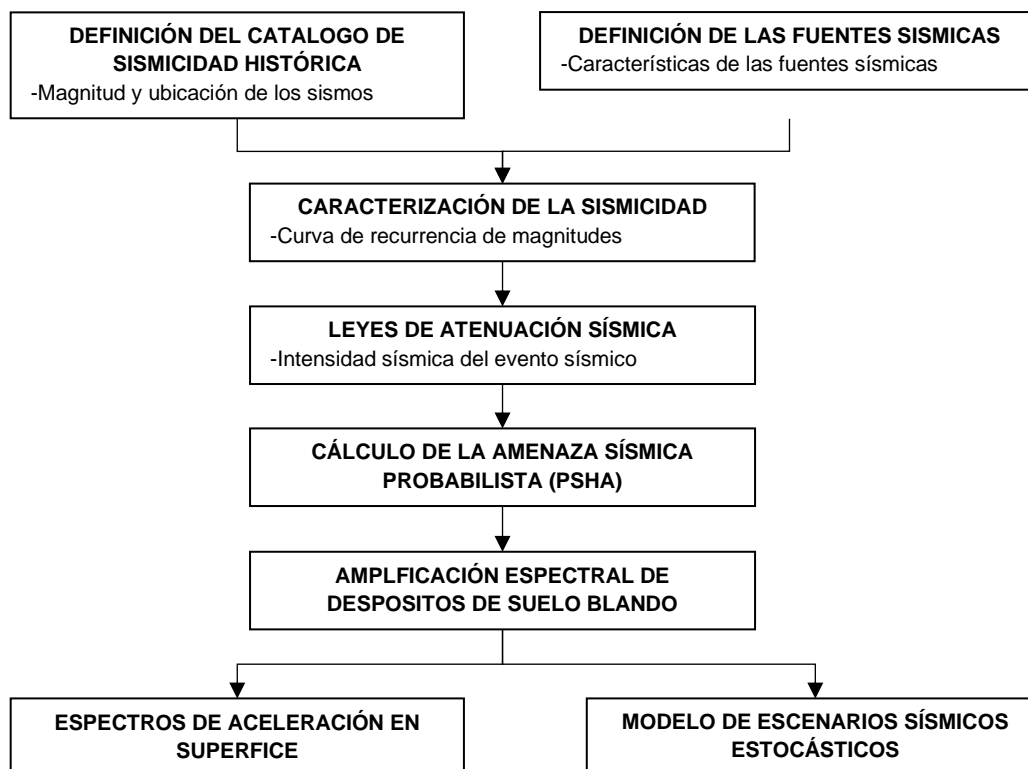


Figura 1. Metodología modelo de amenaza sísmica probabilista (PSHA).

En este estudio se utilizó el software CRISIS 2007 (Ordaz, Aguilar, & Arboleda, 2007) para llevar a cabo el cálculo de la amenaza sísmica. CRISIS permite integrar de manera probabilista la incertidumbre de diferentes parámetros (fuentes sísmicas, distribución de magnitudes de eventos, leyes de atenuación, etc.) con el fin de evaluar la intensidad sísmica esperada en los diferentes puntos de análisis. De esta forma se puede estimar las tasas anuales de excedencia de diferentes valores de aceleración sobre un área de análisis, a partir de lo cual se pueden obtener curvas de amenaza, espectros de amenaza uniforme y mapas de aceleración para diferentes periodos estructurales y una variedad de periodos de retorno.

Para el análisis del riesgo, la amenaza sísmica debe representarse mediante un conjunto de eventos estocásticos que contemple todos los posibles eventos sísmicos que puedan generar un impacto en el área de análisis. Para ello, CRISIS2007 genera un archivo. AME que contiene dicha información, y que se convierte en el módulo de amenaza para la plataforma CAPRA-GIS en la cual se realiza la evaluación probabilista del riesgo sísmico en el presente estudio.

1.3.2 Exposición de edificaciones

La metodología implementada para el desarrollo del modelo de exposición se resume en la Figura 2. El modelo se basa en la información básica política y social, además de indicadores económicos y de desarrollo que existe a nivel nacional con resolución cantonal. A partir de estos parámetros, cada cantón se clasifica de acuerdo con su grado de complejidad. La complejidad de cada centro de población depende del número de habitantes por Cantón, del porcentaje de población en el área urbana y del Valor Agregado Bruto (VAB).

El nivel de complejidad de cada Cantón define en parte el tipo y características de la infraestructura que contiene. Con base en esta clasificación se establecen relaciones entre parámetros como la densidad poblacional, la población total en cada sector y el valor agregado bruto con el tamaño y valoración de activos expuestos. Complementariamente se realizan

algunos levantamientos de información básica en cantones de diferentes complejidades, con el fin de contar con información de mayor grado de detalle que permita una validación parcial del modelo. A partir de esto y en función del nivel de complejidad de cada centro poblado, se generan distribuciones de sistemas estructurales para cada uno de los sectores de infraestructura considerados. A cada sistema estructural representativo se asigna a su vez un tamaño de referencia, una valoración económica aproximada y una vulnerabilidad sísmica. Finalmente, para evaluar el eventual impacto en la población por afectación que puedan producirse en los diferentes componentes expuestos, se desarrolla un modelo de exposición de población que permite establecer la densidad de ocupantes esperado en las diferentes tipologías de edificaciones. Se generan dos escenarios de análisis paralelos, uno para el día y otro para la noche en donde se distribuye la población en los diferentes sectores, y se analiza la eventual afectación que puede generarse en diferentes escenarios de análisis sísmico.



Figura 2. Metodología modelo de exposición edificaciones.

1.3.3 Exposición de elementos de infraestructura

Para efectos del presente estudio, los componentes de infraestructura de redes se dividen en cinco sectores representativos: agua y saneamiento, comunicaciones, eléctrico, hidrocarburos y transporte. Por otro lado, se consideran otros sectores compuestos principalmente de edificaciones aisladas como son el educativo, el de salud y el de edificaciones institucionales. Estos sectores tienen usualmente componentes urbanos y rurales y pueden estar a cargo del Gobierno directamente, de privados o de asociaciones público-privadas.

En términos generales para cada uno de los tipos de componentes se construye una base de datos de exposición que incluye como mínimo el tipo o grupo de componentes, la ubicación

geográfica específica, la valoración económica o valor de reposición y los parámetros o información técnica que permite asignar una determinada vulnerabilidad sísmica para efectos de la evaluación del riesgo. En la Figura 3 se resume el procedimiento empleado para construir dicha base de datos.

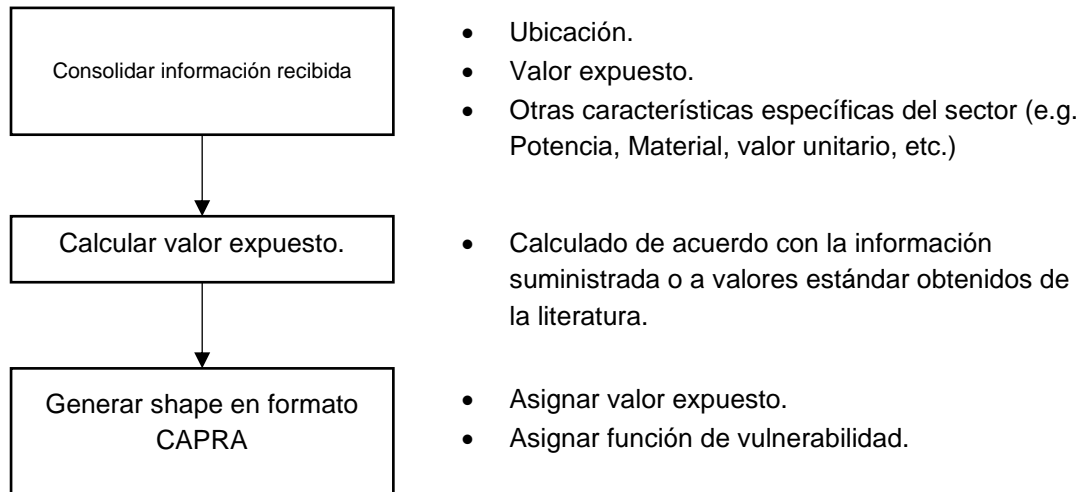


Figura 3. Metodología desarrollo modelo de exposición sectores infraestructura.

1.3.4 Vulnerabilidad sísmica

Para efectos de la evaluación del riesgo sísmico probabilista, en el marco del presente estudio la vulnerabilidad sísmica de las construcciones se representa mediante una función que relaciona el valor medio del daño y su varianza (expresado en porcentaje con respecto al valor de reposición del bien) con una medida de intensidad sísmica (ver Figura 4). La medida de intensidad se puede expresar como la aceleración máxima del terreno o la aceleración espectral para un periodo estructural específico según el comportamiento de la edificación que se está evaluando. Utilizando estas curvas es posible cuantificar los daños en edificaciones específicas o en cualquier componente de infraestructura para escenarios sísmicos específicos.

Se plantea el siguiente procedimiento para la calificación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones que componen la base de datos de exposición:

1. Tipificación de los tipos constructivos más representativos o predominantes en la base de datos de exposición.
2. Definición de un conjunto de edificaciones arquetipo que representen cada una de estas tipologías constructivas predominantes.
3. Selección de funciones de vulnerabilidad de la literatura que se ajusten a los sistemas constructivos de las edificaciones arquetipo.
4. Asignación de funciones de vulnerabilidad a edificaciones arquetipo según sistema estructural, el número de pisos, el nivel de código sísmico y otros parámetros relevantes que definan su comportamiento sísmico esperado.

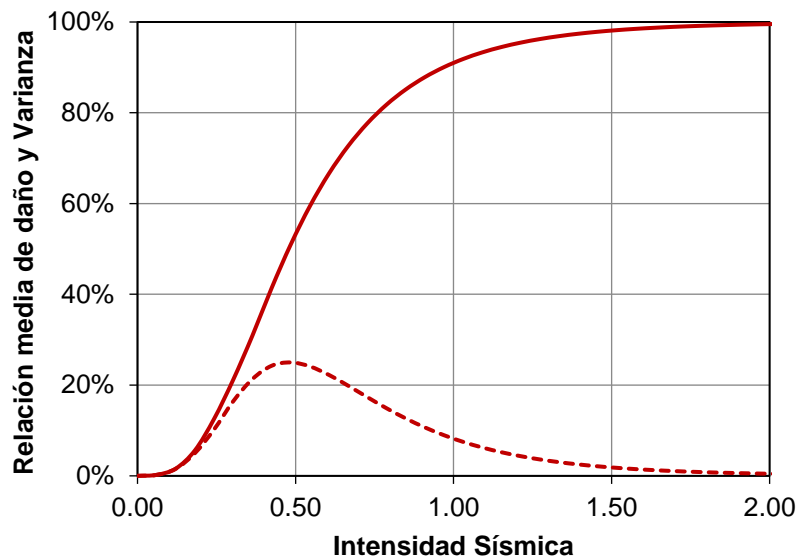


Figura 4. Función de vulnerabilidad típica.

En la literatura se pueden encontrar diferentes catálogos de funciones de vulnerabilidad de edificaciones. Entre las principales fuentes de información se encuentra el programa HAZUS el cual propone una metodología para desarrollar funciones de fragilidad para diferentes tipos de amenazas producida por el FEMA (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias) desde el año 1997 (FEMA, 2017). Estas funciones de fragilidad fueron adaptadas y transformadas mediante asignación de pesos relativos para obtener una única función de vulnerabilidad para el contexto latinoamericano en el marco del proyecto GAR13 (Informe de Evaluación Global) (Yamin et al, 2013a). De forma paralela a esta iniciativa, se han desarrollado diferentes bases de datos y metodologías entre las cuales se destacan la iniciativa para la evaluación de vulnerabilidad propuesta por el GEM (Modelo Global de Terremotos) (D'Ayala et al, 2015) y el Global Library for School Infrastructure, GLoSI, del Banco Mundial (Banco Mundial, 2019). Las funciones de vulnerabilidad seleccionadas para el presente estudio provienen de estas fuentes de información principales. Estas se adaptan o modifican para tener en cuenta las características constructivas locales y las propiedades de materiales dominantes en las diferentes regiones del Ecuador.

1.3.5 Análisis de riesgo sísmico

La aproximación utilizada para la evaluación del riesgo sísmico en este estudio se basa en evaluaciones probabilistas rigurosas mediante modelos que, con base en la información histórica, permiten estimar posibles escenarios estocásticos futuros con sus respectivas frecuencias anuales de ocurrencia. La evaluación del riesgo catastrófico sigue por lo tanto un enfoque prospectivo, anticipando eventos de ocurrencia y consecuencias científicamente factibles que puedan presentarse en el futuro. El análisis contempla las grandes incertidumbres asociadas a la estimación de la severidad y la frecuencia en las amenazas, así como también las asociadas a la vulnerabilidad de los componentes expuestos. Para esto es necesario evaluar los siguientes componentes principales: la amenaza en términos probabilistas, la exposición que corresponde a los diferentes componentes expuestos susceptibles de sufrir daño y la vulnerabilidad de los

diferentes tipos de componentes expuestos ante las amenazas a evaluar, los cuales fueron explicados anteriormente.

La Figura 5 presenta el esquema general del modelo probabilista de evaluación del riesgo. Más información sobre la metodología general de evaluación del riesgo sísmico se puede encontrar en Yamin et al. (2013b).

La evaluación del riesgo sísmico se desarrolla utilizando el software CAPRA-GIS V2.3 (www.ecapra.org) que permite evaluar riesgos relacionados a múltiples amenazas, y a su vez integra la información relacionada a bases de datos de elementos expuestos y su vulnerabilidad asociada. CAPRA-GIS evalúa el riesgo en términos de daños físicos y realiza una aproximación de las pérdidas económicas y humanas asociadas a los daños que se puedan presentar. El riesgo se representa mediante métricas como la pérdida anual esperada (PAE) o la pérdida máxima probable (PMP) (Yamin et al., 2013b).

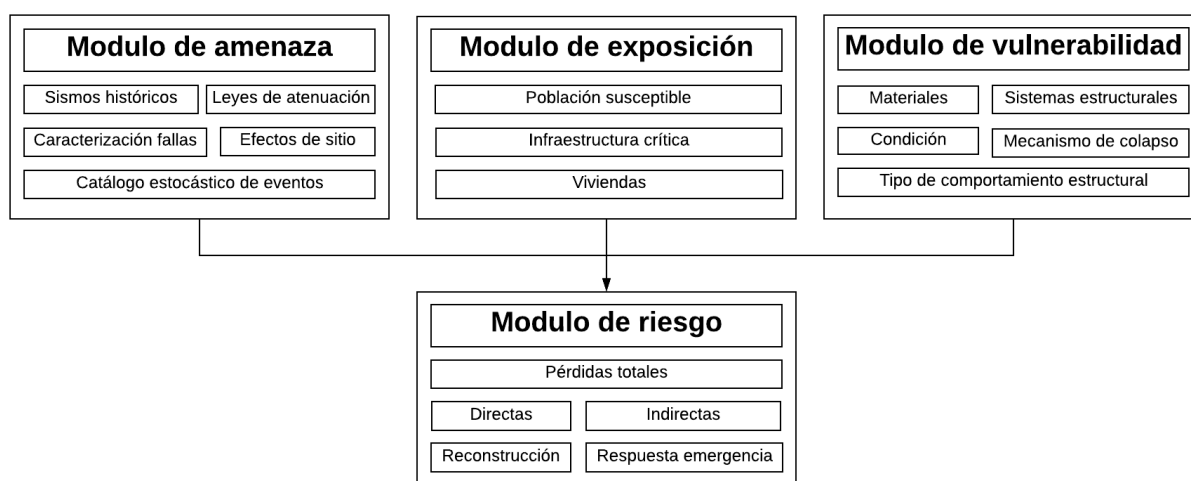


Figura 5. Modelo probabilista del riesgo.

1.3.6 Métricas del riesgo sísmico

El riesgo sísmico se valora mediante diferentes indicadores o métricas de riesgo, que permiten resumir en una cifra los niveles de pérdidas calculados sobre un determinado portafolio de elementos expuestos. A continuación, se explican los principales indicadores de riesgo que se utilizan en el presente estudio. Estos son de tipo probabilistas dado el carácter de la metodología propuesta (CAPRA, 2018).

Pérdida anual esperada (PAE):

La pérdida anual esperada, también conocida como la prima técnica de riesgo, se calcula como la suma del producto de la pérdida económica esperada para cada uno de los eventos estocásticos por la frecuencia anual de ocurrencia de cada evento, para todos los eventos considerados. Se puede calcular para cada uno de los componentes de la base de datos de exposición, para subconjuntos de esta o para la totalidad del portafolio. Es un indicador que permite evaluar y comparar el nivel de riesgo del portafolio en general o valorar el nivel de riesgo de componentes individuales mediante lo cual se puede identificar las edificaciones que concentran el riesgo del portafolio y eventualmente, sirve como un criterio para priorizar las edificaciones cuando se quieran desarrollar programas de reforzamiento estructural.

La PAE puede obtenerse por integración de la curva de excedencia de pérdidas (ver más adelante) o mediante la ecuación 1-1.

$$PAE = \sum E(P|Evento_i) \cdot F_A(Evento_i) \quad (1-1)$$

La sumatoria abarca todos los eventos estocásticos considerados, $E(P|Evento_i)$ corresponde a la pérdida económica esperada dada la ocurrencia del evento i , mientras que el término $FA(Evento_i)$ representa la frecuencia anual de ocurrencia del evento i .

Pérdida anual esperada relativa (PAE (%))

La pérdida anual esperada relativa representa la pérdida anual esperada expresada en milésimas (valores al millar) del valor físico expuesto de una edificación o del portafolio total. Se calcula con la ecuación 1-2.

$$PAE(\%) = \frac{PAE(\$)}{\text{Valor físico expuesto} (\$)} \cdot 1000 \quad (1-2)$$

Esta representación es muy común en el ramo de seguros para indicar el valor relativo de la prima pura técnica de un bien con respecto a su valor de reposición.

Curva de excedencia de pérdidas (CEP)

La curva de Excedencia de Pérdidas (CEP) representa la frecuencia anual con que determinada pérdida económica será excedida y se conoce también como la curva de pérdidas ("loss curve"). Es la medida más importante y robusta del riesgo, dado que brinda la información básica para la planeación y destinación de recursos necesarios con el fin de cumplir con objetivos de gestión particulares. La CEP se calcula mediante la estimación de la tasa anual de excedencia de determinados niveles de pérdidas económicas sobre los elementos expuestos.

La tasa anual de excedencia de la pérdida p se puede calcular mediante la ecuación 1-3.

$$v(p) = \sum Pr(P > p|Evento_i) \cdot F_A(Evento_i) \quad (1-3)$$

En la ecuación anterior $v(p)$ es la tasa de excedencia de la pérdida p y $FA(Evento_i)$ es la frecuencia anual de ocurrencia del evento i , mientras que $Pr(P > p|Evento_i)$ es la probabilidad de que la pérdida sea superior a p , dado que ocurrió el i -ésimo evento. La suma en la ecuación anterior se hace para todos los eventos potencialmente dañinos. El inverso de $v(p)$ es el periodo de retorno de la pérdida p , identificado como TR.

La pérdida p a que se refiere la Ecuación 1-3 es la suma de las pérdidas que acontecen en todos los bienes expuestos. Conviene hacer notar lo siguiente:

- La pérdida p es una cantidad incierta, cuyo valor, dada la ocurrencia de un evento, no puede conocerse con precisión y debe por lo tanto tratarse como una variable aleatoria. Para determinar su distribución de probabilidad se recurre el teorema de la probabilidad total "encadenando" distribuciones de probabilidad condicionales tal como lo indica la ecuación 1-4.

$$f(p|Evento_i) = \int f(p|Sa) \cdot f(Sa|Evento_i) dSa \quad (1-4)$$

En donde: $f(p|Sa)$ corresponde a las funciones de vulnerabilidad y $f(Sa|Evento_i)$ corresponde a la distribución de probabilidad de la intensidad sísmica para cada evento y que por lo general está controlada por las leyes de atenuación de intensidades sísmicas seleccionadas en el análisis de amenaza.

- La pérdida p se calcula como la suma de las pérdidas que se presentan en cada uno de los bienes expuestos. Cada uno de los sumandos es una variable aleatoria y entre ellos existe cierto nivel de correlación, que debe ser incluido en el análisis.

Considerando la Ecuación 1-3, la secuencia de cálculo probabilista de riesgo es la siguiente:

1. Para un escenario dado, determinar la distribución de probabilidades de la pérdida en cada uno de los bienes expuestos.
2. A partir de las distribuciones de probabilidad de las pérdidas en cada bien, determinar la distribución de probabilidad de la suma de estas pérdidas, tomando en cuenta la correlación que existe entre ellas.
3. Una vez determinada la distribución de probabilidad de la suma de las pérdidas en este evento, calcular la probabilidad de que esta exceda un valor determinado, p .
4. La probabilidad determinada en el inciso anterior, multiplicada por la frecuencia anual de ocurrencia del evento, es la contribución de este evento a la tasa de excedencia de la pérdida p .

El cálculo se repite para todos los eventos, con lo que se obtiene el resultado indicado por la Ecuación 1-3.

Es interesante señalar también que en la Ecuación 1-3 no se hace distinción entre eventos que pertenezcan a diferentes amenazas. En efecto, la suma en esa ecuación podría incluir, por ejemplo, sismos y huracanes o sismos y erupciones volcánicas. Esto puede hacerse porque se ha supuesto que tanto los eventos asociados a una misma amenaza como los eventos asociados a distintas amenazas no ocurren simultáneamente. Sin embargo, algunos fenómenos potencialmente dañinos sí ocurren simultáneamente, por lo que en estos casos hay que tomar previsiones especiales para la determinación de la distribución de probabilidad de p .

Curva de Pérdida Máxima Probable (PMP)

Se presenta como una curva que relaciona la pérdida máxima esperada sobre todo el portafolio de edificaciones asociada a diferentes periodos de retorno, medido en años. Es uno de los resultados más representativos de los análisis probabilistas de riesgo, junto con la curva de excedencia de pérdidas, que relaciona las tasas anuales de excedencia asociadas a diferentes niveles de pérdidas económicas. En esencia, la curva de PMP se obtiene directamente a partir de la CEP, ya que el periodo de retorno corresponde al inverso de la tasa anual de excedencia calculado en el numeral anterior.

No existen estándares universalmente aceptados para la elección de un periodo de retorno para tomar cierta decisión, esto depende de la aversión al riesgo de quien la está tomando. Los periodos de retorno utilizados para definir la PMP dependen del objetivo final del estudio, del país y del tipo de amenaza que se esté estudiando.

Probabilidad de excedencia de valores de pérdida

La curva de pérdidas, $v(p)$, calculada con la Ecuación 1-4 indica con qué frecuencia ocurrirán eventos que producirán pérdidas iguales o superiores a una dada, p . Si suponemos que el proceso de ocurrencia de eventos en el tiempo obedece a un proceso de Poisson, entonces es posible calcular la probabilidad de que la pérdida p sea excedida en un lapso T , es decir, en los próximos T años, con la ecuación 1-5.

$$Pe(p, T) = 1 - e^{-v(p)T} \quad (1-5)$$

Donde $Pe(p, T)$ es la probabilidad de que la pérdida p sea excedida en los próximos T años.

Escenarios deterministas de riesgo

Para diferentes aplicaciones en gestión del riesgo resulta relevante considerar escenarios deterministas, los cuales pueden representar eventos históricos o eventos específicos dentro del conjunto de escenarios estocásticos que componen la amenaza sísmica del lugar. En particular resulta de interés identificar los escenarios catastróficos de mayor posible impacto y los escenarios que mayor participación tienen en la pérdida anual esperada, para lo cual se tiene en cuenta tanto la pérdida económica misma como la frecuencia anual de ocurrencia para cada uno de los eventos. El análisis determinista consiste entonces en llevar a cabo las evaluaciones indicadas para un solo escenario, lo que equivale a uno solo de los sumandos en la Ecuación 1-3. Si se hace que la frecuencia anual de ocurrencia de este escenario sea 1, la aplicación de la Ecuación 1-4 nos conduciría a las probabilidades de excedencia (ya no frecuencias anuales de excedencia) de valores de pérdida p , dado que el escenario en cuestión ocurrió.

Este caso tiene aplicaciones importantes en el campo de la planeación territorial, ya que sus resultados, mapeados por ejemplo en términos del valor esperado de la pérdida, son fácilmente incorporables en los planes de ordenamiento territorial. Por otro lado, resulta útil en la calibración o validación de los modelos de evaluación del riesgo cuando se selecciona un evento histórico determinado para el cual se cuenta con información real de los impactos que dicho evento generó.

Los análisis descritos se llevan a cabo utilizando las nuevas versiones disponibles de la plataforma CAPRA (www.ecapra.org).

1.3.7 Curva híbrida de riesgo sísmico

Los desastres se pueden catalogar como catastróficos (baja recurrencia y altas pérdidas económicas) y las de eventos recurrentes (alta frecuencia y bajas pérdidas económicas relativas). Los modelos para la evaluación del riesgo explicados anteriormente se han desarrollado para estimar las pérdidas para eventos catastróficos, sin embargo, no estiman de manera confiable las pérdidas de eventos recurrentes. Por esta razón es necesario proponer una curva híbrida del riesgo (Velásquez et al., 2014) que combine los resultados por eventos catastróficos y recurrentes que represente de manera adecuada la curva de pérdidas máximas probables en todo el rango de posibles frecuencias de ocurrencia de eventos.

Como se explicó anteriormente las pérdidas por eventos catastróficos suelen ser más difíciles de evaluar ya que en general no se cuentan con registros históricos suficientes que permitan una cuantificación aproximada de los impactos y las pérdidas económicas asociadas. Por otro lado, para la evaluación del impacto económico de los desastres frecuentes se utiliza la información contenida en diferentes bases de datos que contengan información de los eventos registrados en las diferentes poblaciones dentro de la zona de estudio. Generalmente, estas bases de datos contienen información relacionada con el número de víctimas fatales y heridos, número de viviendas colapsadas y afectadas, las pérdidas económicas en moneda local y en dólares americanos (US\$), entre otros. A continuación, se presenta la metodología de análisis utilizada para la generación de la curva híbrida de riesgo.

El análisis de pérdidas frecuentes requiere la consecución de información de eventos reales ocurridos en la ubicación de análisis. Las pérdidas económicas reportadas son generalmente debidas a eventos menores, los cuales son el objetivo principal de este tipo de análisis. En este caso no se requiere correlacionar las pérdidas con la magnitud del evento, el tipo de falla que lo produjo, la distancia u otro tipo de información de la intensidad sísmica. Así mismo, no se requiere que la información considere la variación de los sistemas estructurales que existen en una población. Para la construcción de la curva de excedencia bajo el marco de la presente metodología es de especial importancia la siguiente información:

- Fecha de ocurrencia
- Tipo de evento
- Ubicación
- Afectación a las personas
- Afectación a las viviendas
- Impactos en términos económicos

El procedimiento general de evaluación propuesto incluye las siguientes actividades específicas:

1. Generación del modelo de costos por responsabilidad fiscal.
2. Revisión general de la información disponible de eventos frecuentes y ajuste del formato general.
3. Agrupación temporal y espacial de los registros.
4. Eliminación de registros inconsistentes que no permiten la estimación de las pérdidas económicas.
5. Cálculo de edificaciones destruidas y afectadas para los eventos con información incompleta a partir de correlación con otros parámetros.
6. Evaluación de pérdidas económicas de acuerdo con el número de edificaciones afectadas y edificaciones destruidas.
7. Estimación de la curva de excedencia con las pérdidas estimadas.
8. Estimación de la curva de excedencia con las pérdidas registradas en la base de datos.
9. Comparación de las curvas obtenidas con los dos métodos.
10. Selección del valor que presente mejor consistencia y confianza.

En el Capítulo 6 se presenta la evaluación de la curva híbrida de riesgo sísmico para el Ecuador utilizando la metodología indicada.

2 EVENTOS HISTORICÓS Y PÉRDIDAS ECONÓMICAS

2.1 INTRODUCCIÓN

En la historia reciente de Ecuador se han presentado eventos sísmicos de alta magnitud, que por su naturaleza han causado grandes pérdidas económicas y humanas y han evidenciado el riesgo latente al que está expuesto su infraestructura y población. El análisis de estos eventos permite inferir de manera confiable la alta exposición de la población y la infraestructura a este tipo de eventos y la alta frecuencia relativa de eventos con poder destructivo que se presentan en el país.

Con el fin de contar con un diagnóstico sobre el nivel de riesgo sísmico del país se han revisado las diferentes bases de datos internacionales que recopilan información de eventos desastrosos a nivel mundial. A partir de esta información, se obtienen estadísticas generales que permiten cuantificar el impacto que han tenido los sismos en la infraestructura y en la población del Ecuador.

2.2 BASE DE DATOS DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS

2.2.1 DesInventar

La base de datos DesInventar (Disaster Inventory System) es un sistema de información sistemática sobre la ocurrencia de desastres de pequeño, mediano, y gran impacto. Inicialmente para los países de América Latina y recientemente para algunos otros países del mundo. En esta se recopila información de distintas fuentes en relación a desastres ocurridos y sus consecuencias y efectos (Desinventar, 2018).

Para el caso del Ecuador, la base de datos reporta 449 registros de eventos sísmicos entre 1970 y 2017 en donde el mayor número de registros está entre 2010 y 2017, en el cual se agrupan aproximadamente el 84% de la totalidad de la base de datos. Esto se explica a que en los años recientes se ha hecho un mayor registro de las pérdidas económicas presentadas tras cada evento sísmico. En la Figura 6 se presenta el número de registros por año.

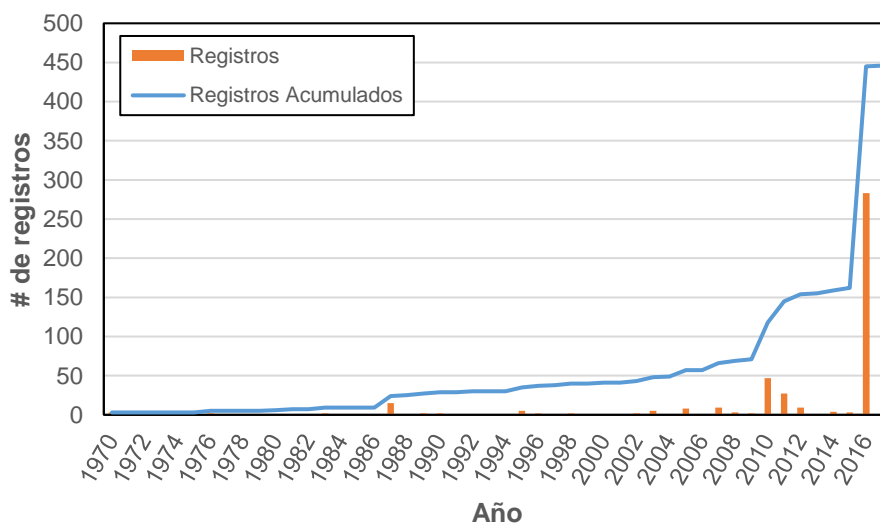


Figura 6. Registros de eventos sísmicos en la base de datos de DESINVENTAR (<https://www.desinventar.org>)

En esta base de datos se tiene múltiples registros asociados a un mismo evento, dada la variabilidad de fuentes de información y reportes que se hacen sobre el mismo desastre en las diferentes zonas afectadas. Sin embargo, el número de registros por año, y el número de personas afectadas y daños, hace posible asociar esos efectos a eventos individuales importantes y determinar las cifras de pérdidas para cada uno de estos. La información disponible en la base de datos permite identificar los siguientes sismos importantes:

- El sismo del 6 de marzo de 1987, el cual está asociado a más de 300 víctimas, 40,000 afectados y 100 casas afectadas.
- El sismo del 28 de marzo de 1996, que dejó aproximadamente 1500 casas destruidas, 60 heridos y 30 víctimas.
- El sismo del 16 de abril del 2016, que produjo más de 1500 heridos, aproximadamente 300 víctimas fatales y más de 40,000 personas afectadas. Adicionalmente se estima que hubo más de 8 mil casas destruidas y 14 mil casas afectadas.

Cabe recalcar que estas cifras de pérdidas se obtuvieron mediante el análisis de los registros reportados en DESINVENTAR, por lo tanto, estas podrían diferir de las oficiales emitidas por el Gobierno para estos sismos.

A partir de cómo está conformada esta base de datos se puede tener una contextualización de cuales han sido los sismos que mayores registros de pérdidas han tenido, independientemente de la calidad y veracidad de las cifras reportadas. Adicionalmente es posible determinar los registros de pérdidas pequeñas y recurrentes, asociados a eventos sísmicos de baja intensidad, que no siempre están bien reportadas por parte de las entidades gubernamentales oficiales.

2.2.2 Emergency Events Dataset (EM-DAT)

La *Emergency Events Dataset* (EM-DAT) es una base de datos que recopila desastres de todo tipo como biológicos, climáticos, geofísicos, hidrológicos a nivel mundial, desde el año 1900 hasta la actualidad (Université Catholique de Louvain (UCL), 2018). Para cada evento se tienen datos sobre las características de éste, el número de víctimas, afectados, y las pérdidas económicas, dependiendo de la información disponible. La base de datos tiene 19 eventos sísmicos para Ecuador, los cuales se pueden ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Eventos sísmicos registrados en EM-DAT

Evento	Magnitud	Víctimas fatales	Afectados	Pérdidas económicas
	-	#	#	(US\$ x 1000)
31/01/1901	7			
04/05/1904	7			
03/03/1924		40		
14/05/1942		200		
05/08/1949	6.8	6000	100000	20000
09/12/1970		29	88112	4000
09/04/1976		10		4000
04/10/1976		10	20000	
18/08/1980	5.6	8	40	
05/03/1987	6.9	5000	150000	1500000
22/09/1987	6	2	6	
11/08/1990	5	4	6510	
26/03/1995	5.2	1	85	
02/10/1995	6.9	2	805	
28/03/1996	5.7	27	30705	7000
04/08/1998	7.1	3	2040	
13/08/2014	5.1	3	18	
16/04/2016	7.8	672	389364	2000000
18/05/2016	6.8	1	147	

De los registros encontrados destacan los siguientes eventos:

- El sismo del 14 de mayo de 1942, en el cual se reportan 200 muertes.
- El sismo del 5 de agosto de 1949, en donde se reportan 6,000 muertes, 100,000 afectados y US\$ 20 millones de dólares en pérdidas económicas.
- El sismo del 9 de diciembre de 1970, con 29 víctimas, 88,000 afectados aproximadamente, y pérdidas por US\$ 4,000 millones de dólares.
- El evento del 5 de marzo de 1987, con aproximadamente 5,000 fallecidos, 150,000 afectados, y US\$ 1,500 millones de dólares en pérdidas.
- El sismo del 4 de agosto de 1998 que produjo 3 víctimas fatales y 2,040 afectados, sin embargo, tuvo una magnitud importante de 7.1.
- El sismo del 16 de abril del 2016, en donde se reportan 672 muertes, 390,000 afectados aproximadamente, y pérdidas económicas alrededor de los US\$ 2,000 millones de dólares.

2.2.3 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Earthquake Database

La agencia estadounidense NOAA ha recopilado información de desastres y eventos históricos que hayan causado daños y pérdidas considerables a nivel global desde el año 1500 aproximadamente hasta la actualidad (National Geophysical Data Center (NGDC)). Todos los eventos registrados están fundamentados en la recopilación bibliográfica realizada frente a las autoridades locales, o a diferentes registros, estudios, y publicaciones hechas por diferentes autores.

La base de datos tiene el registro de la ubicación, magnitud, y profundidad de los eventos, así como una estimación del número de víctimas fatales y heridos, las pérdidas económicas, y las casas destruidas o afectadas por el sismo. Considerando la gran variedad de fuentes de esta información, en la base de datos se presentan tanto valores estimados

para describir los efectos del sismo como una categoría dependiendo de la descripción encontrada en la fuente de información. Esta categorización se realiza para cada variable de acuerdo con las siguientes tablas.

Tabla 2. Categorías de clasificación de la afectación en términos de víctimas fatales y heridos, casas destruidas o afectados según la base de datos de NOAA (2018)

Valor	Descripción
0	Ninguno
1	Pocos. De 1 a 50 víctimas, heridos, o casas
2	Algunos. De 51 a 100 víctimas, heridos, o casas
3	Bastantes. De 101 a 1000 víctimas, heridos, o casas
4	Muchos. 1001 o más víctimas, heridos, o casas

Tabla 3. Categorías de clasificación de las pérdidas económicas según la base de datos de NOAA (2018)

Valor	Descripción
0	No hubo pérdidas
1	Limitadas. Menos de un millón de dólares US\$ (Valor de 1990)
2	Moderadas. Entre 1 y 5 millones de dólares US\$ (Valor de 1990)
3	Severas. Entre 5 y 24 millones de dólares US\$ (Valor de 1990)
4	Extremas. 25 millones de dólares US\$ (Valor de 1990) o superior

Para el caso de Ecuador se reportan 62 eventos sísmicos representativos en términos de intensidad y daños ocasionados desde 1556 hasta 2016. En la Tabla 4 se presentan los eventos registrados en la base de datos.

Tabla 4. Eventos sísmicos registrados en la base de datos del NOAA (<https://www.ngdc.noaa.gov/>)

EVENTO SÍSMICO	Lat.	Long	Prof.	Mag.	Int	Víctimas fatales		Heridos		Pérdidas Económicas		Casas Destruídas		Casas Afectadas	
	(-)	(-)	(km)	(-)	(-)	#	Cat	#	Cat	\$Mill	Cat	#	Cat	#	Cat
1556\10\17	-0.20	-78.60		7.6											
1575\9\8	-0.20	-78.60		7.8			3								
1587\8\30	-0.22	-78.50			9		3								
1590\8\7	-0.50	-78.20									2				
1627\6\26	-0.20	-78.50			8						2				
1640\2\	-1.70	-78.60				5000	4				3				
1641\1\10	-1.50	-78.50		7.6											
1645\2\19	-1.70	-78.60		7.5			3								
1660\10\27	-0.20	-78.50		7.7											
1662\1\1	-0.20	-78.40									2				

Tabla 4. Eventos sísmicos registrados en la base de datos del NOAA (<https://www.ngdc.noaa.gov/>)

EVENTO SÍSMICO	Lat.	Long	Prof.	Mag.	Int	Víctimas fatales		Heridos		Pérdidas Económicas		Casas Destruídas		Casas Afectadas	
	(-)	(-)	(km)	(-)	(-)	#	Cat	#	Cat	\$Mill	Cat	#	Cat	#	Cat
1674\8\29	- 1.70	- 79.00		7.7	10										
1687\11\22	- 1.30	- 78.60		7.3							2				
1689\3\	- 2.20	- 78.90	5	6.8	10										
1698\6\20	- 1.20	- 78.70		7.7	10		3								
1698\7\19	- 1.30	- 78.70				1000	3				3				
1736\12\5	- 0.90	- 78.60									2				
1755\4\26	- 0.20	- 78.50		7.0	9		3				3				
1757\2\22	- 0.90	- 78.60		7.0	9	1000	3				3				
1797\2\4	- 1.64	- 78.67		8.3	11	40000	4				4		4		
1808	- 0.22	- 78.50									1				
1859\3\22	- 0.30	- 78.50					1				3				
1868\8\15	0.81	- 77.72		8.0	8		1				3		3		
1868\8\16	0.31	- 78.18	20	7.7	10	70000	4				4		4		
1901\1\7	- 2.00	- 82.00	25	7.8											
1904\11\1	- 1.00	- 80.50		7.7											
1906\1\31	1.00	- 81.50	25	8.6	9	1000	3				2		3		
1906\2\7	1.00	- 81.00													
1906\9\28	- 2.00	- 79.00	150	7.9	7						1				
1913\2\24	- 3.40	- 79.60	50	7.7	7		3				3		3		
1914\5\31	- 0.20	- 78.20	10	5.8	10										
1923\2\24	- 0.40	- 78.30		6.8	9		2								
1924\3\3	- 1.60	- 78.60		6.9		40	1				1				
1933\10\2	- 2.00	- 81.00	33	6.9											
1938\8\10	- 0.30	- 78.40	10	6.3	10										

Tabla 4. Eventos sísmicos registrados en la base de datos del NOAA (<https://www.ngdc.noaa.gov/>)

EVENTO SÍSMICO	Lat.	Long	Prof.	Mag.	Int	Víctimas fatales		Heridos		Pérdidas Económicas		Casas Destruídas		Casas Afectadas	
	(-)	(-)	(km)	(-)	(-)	#	Cat	#	Cat	\$Mill	Cat	#	Cat	#	Cat
1942\5\14	- 0.75	- 81.50	30	7.9	9	200	3			2.5	2		3		
1943\1\30	- 2.10	- 80.50	100	6.9	6						2				3
1949\8\4	- 1.40	- 78.50	10	6.7	10										
1949\8\5	- 1.50	- 78.20	60	6.8		6000	4			7.5	3				
1950\8\5	- 1.50	- 78.20	60	6.8	11										
1956\1\16	- 0.50	- 80.50		7.3	9						2				
1960\7\30	- 1.50	- 79.00	21			11	1				1				
1969\12\17	- 0.80	- 78.30	27	4.2							3				
1976\4\9	0.78	- 79.80	9	6.7		10	1			4	2				
1980\8\18	- 1.95	- 80.02	55	5.6		8	1	100	2	5	2				
1987\3\6	0.08	- 77.79	10	7.2		5000	4			1500	4				
1987\9\22	- 0.98	- 78.05	10	6.2		2	1	12	1		2		3		
1989\6\25	1.13	- 79.62	15	6.1	7						2				
1990\8\11	- 0.06	- 78.45	5	4.4		4	1	10	1		3			1300	4
1995\10\3	- 2.75	- 77.88	24	7.0		2	1	5	1		1	83	2		
1996\3\28	- 1.04	- 78.74	33	5.9	6	27	1			7	3				
1998\8\4	- 0.59	- 80.39	33	7.2		3	1	40	1		2				3
2005\1\24	- 1.36	- 80.79	17	6.1							2		2		
2005\10\24	- 0.51	- 77.75	35	4.8	6						1				
2007\7\13	- 3.99	- 79.84	50	4.5							1				
2007\11\16	- 2.31	- 77.84	123	6.8							1				
2009\10\9	- 0.96	- 77.82	35	5.4							1				
2010\8\12	- 1.27	- 77.31	207	7.1							1				
2011\10\29	- 0.13	- 78.37	3	4.0							1				2

Tabla 4. Eventos sísmicos registrados en la base de datos del NOAA (<https://www.ngdc.noaa.gov/>)

EVENTO SÍSMICO	Lat.	Long	Prof.	Mag.	Int	Víctimas fatales		Heridos		Pérdidas Económicas		Casas Destruídas		Casas Afectadas	
	(-)	(-)	(km)	(-)	(-)	#	Cat	#	Cat	\$Mill	Cat	#	Cat	#	Cat
2014\8\12	- 0.08	- 78.30	5	5.1		2	1	8	1						
2016\4\16	0.38	- 79.92	21	7.8		663	3	6274	4	3300	4	6998	4	29672	4
2016\5\18	0.47	- 79.64	31	6.8		1	1	162	3		1		1	32	1
2016\12\19	0.82	- 79.74	10	5.4		3	1				1	10	1	65	1

A partir de la base de datos del NOAA, se evidencia que a lo largo de la historia han ocurrido eventos que han causado un gran número de muertes y pérdidas económicas en el territorio ecuatoriano. Entre estos se destacan los siguientes eventos:

- El sismo del 4 de febrero de 1797, con magnitud 8.3 y que reporta 40,000 muertes y pérdidas mayores a los US\$ 25 millones de dólares.
- Los sismos del 15 y 16 de agosto de 1868 en los cuales se reportan 70,000 víctimas fatales y se estima que las pérdidas económicas fueron mayores a los US\$ 25 millones de dólares.
- El sismo de 1906 que causó probablemente 100 víctimas fatales y se caracterizó principalmente porque tuvo una magnitud superior a 8.6.
- El sismo del 5 de agosto de 1949, con 6 mil víctimas fatales aproximadamente, y pérdidas cercanas a los US\$ 7.5 millones de dólares.
- El sismo del 6 de marzo de 1987, con pérdidas económicas cercanas a los US\$ 1,500 millones de dólares, y aproximadamente 5,000 víctimas.
- El sismo del 16 de abril de 2016 que se estima produjo 663 víctimas, más de 6,000 heridos, y más de US\$ 3,000 millones de dólares en pérdidas económicas.

Es importante resaltar que las fuentes utilizadas y la categorización aproximada de los efectos de cada sismo son claves para identificar los eventos más catastróficos sobre el territorio ecuatoriano.

2.3 EVENTOS SÍSMICOS HISTÓRICOS

2.3.1 Eventos históricos principales

Con base en la información disponible y en los registros históricos presentados en las bases de datos consultadas, se puede identificar el conjunto de sismos que a través de la historia han generado las mayores pérdidas físicas y humanas. En el reporte realizado por el GEER y el ATC (GEER & ATC, 2016), se hace una relación de los sismos más catastróficos reportados y la descripción de sus principales impactos en el país. Utilizando esta información y la de las bases de datos consultadas, en la Tabla 5 se resumen los eventos sísmicos históricos identificados que más han afectado el país junto a la información compilada de pérdidas económicas y humanas reportada.

Esta información permite establecer el siguiente análisis de frecuencia preliminar:

- En el Ecuador se tiene registro de la ocurrencia de al menos 14 eventos históricos con magnitud mayor que 6.0, 9 con magnitud mayor que 7.0 y 2 con magnitud mayor que 8.0, en un periodo de tiempo del orden de 219 años lo que resulta en un promedio de ocurrencia de 15, 24 y 110 años (para magnitudes 6.0, 7.0 y 8.0).

- Las mayores pérdidas económicas reportadas están en el orden de los US\$3,300 millones.
- El mayor número de muertes reportadas en eventos sísmicos es de 70,000 y el mayor número de afectados de 390,000.

Estas cifras se complementan y corrigen posteriormente al considerar en el análisis de frecuencias la información instrumental disponible en el país.

Tabla 5. Eventos sísmicos históricos y sus características generales (GEER & ATC, 2016).

Año Evento	Ubicación	Magnitud	Profundidad (km)	Perdidas (Millones US\$)	Número de Víctimas	Número de Afectados	Periodo de retorno aproximado del evento (años)
04/02/1797	Riobamba	8.3*	10	40	40,000	-	15
15/02/1868	El Ángel	6.6	10	15	-	-	2
16/02/1868	Ibarra	7.3	10	40	70,000	-	12
31/01/1906	Costas del Norte Ecuador	8.8	20	3	1,000	-	> 100
14/05/1942	Manabí	7.8	19	3	200	-	25
5/08/1949	Pelileo	6.1	10	15	6,000	100,000	< 1
19/01/1958	Esmeraldas	7.6	30	3	110	-	15
9/04/1976	Esmeraldas	6.6	17	4	10	20,000	2
12/12/1979	Tumaco, Colombia	8.2	38	3	800	-	70
18/08/1980	Guayaquil	5.9	56	5	10	100	< 1
6/03/1987	Napo	7.1	12	1,500	5,000	-	8
28/03/1996	Cotopaxi	5.9	14	7	27	30,000	< 1
4/08/1998	Bahía de Caráquez	7.1	34	15	50	2,000	8
16/04/2016	Pedernales	7.8	17	3,300	663	390,000	25

*Nota: la magnitud indicada se obtiene desde el reporte del GEER & ATC (2016) aunque estudios recientes han indicado que puede ser menor.

En la Figura 7 se presenta la ubicación de los anteriores sismos. A manera indicativa. en los numerales que siguen se hace un breve resumen de los principales impactos de cada uno de estos eventos representativos.

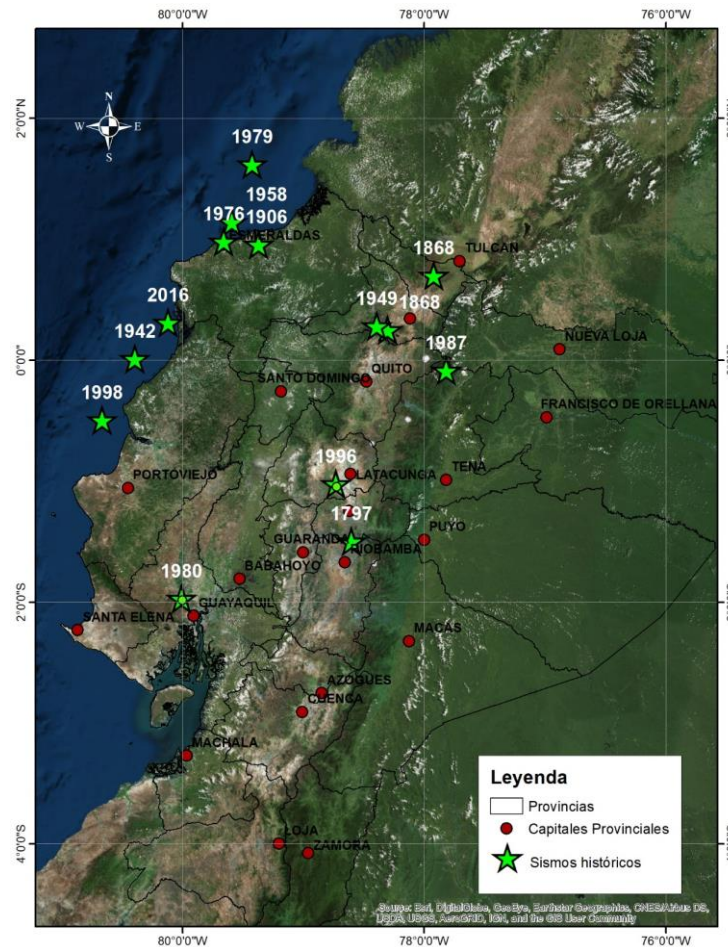


Figura 7. Sismos históricos importantes a nivel nacional (GEER & ATC, 2016).

2.3.2 Febrero 4 de 1797, Ms 8.3

En 1797 se produjo el sismo de mayor poder del cual se haya tenido registro en el país, que dejó aproximadamente 40 mil fallecidos según agencias oficiales. Según el reporte del GEER, se estima que este sismo tuvo una magnitud de superficie de 8.3 (estudios recientes han reevaluado la magnitud de este evento indicando valores menores) y su epicentro fue cerca de la ciudad de Riobamba y tuvo una profundidad de 10km. Esta ciudad fue completamente destruida y tuvo que ser relocada en los años posteriores (GEER & ATC, 2016).

2.3.3 Agosto 15 y 16 de 1868, Ms 8.0 y 7.7

En el año de 1868 se presentaron dos sismos de gran magnitud de forma consecutiva. El primero ocurrió el 15 de agosto cerca a El Ángel en la provincia de Carchi, y el otro al día siguiente en los alrededores de Ibarra en la provincia de Imbabura, con magnitudes estimadas de 8.0 y 7.7 respectivamente, y con profundidades de 10km. Las ciudades de El Ángel, Concepción, Ibarra, entre otras quedaron en ruinas y se estima que alrededor de 90 mil personas murieron debido a estos eventos. Tras ese segundo evento todas las edificaciones en Ibarra y Otavaro colapsaron (GEER & ATC, 2016).

2.3.4 Enero 31 de 1906, Mw 8.8

Se estima que un terremoto de magnitud 8.8, con profundidad de 20km, azotó la costa de Ecuador y Colombia, y es uno de los 10 eventos sísmicos más fuertes que hayan sido registrados. El evento causó grandes afectaciones en el territorio, y produjo un tsunami que alcanzó hasta 5 metros de altura en la orilla. Adicionalmente se estima que el evento causó 1,000 muertes (GEER & ATC, 2016).

2.3.5 Mayo 14 de 1942, Mw 7.8

En el año de 1942 un sismo de magnitud 7.8 ocurrió en la costa de Ecuador, y cuyo epicentro fue en Chone, provincia de Manabí, y con profundidad de 19 km. Este evento tuvo una magnitud bastante alta y se generó en la zona de subducción. Hubo aproximadamente 200 víctimas fatales (GEER & ATC, 2016).

2.3.6 Agosto 5 de 1949, Mw 6.8

El 5 de agosto de 1949, se presentó un sismo de magnitud 6.8, con una profundidad de 10km, que causó aproximadamente 6 mil víctimas. El epicentro fue cercano a la población de Ambato, en donde un tercio de la población fue destruida y el 75% de los edificios quedaron inservibles. El sismo causó daños en las provincias de Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi y se sintió en las ciudades más importantes como Quito, Guayaquil y Cuenca. Los pueblos de Guano, Patate, Pillare y Pelileo quedaron completamente destruidos (GEER & ATC, 2016).

2.3.7 Marzo 6 de 1987, Mw 6.1 y Mw 7.1

En 1987, ocurrieron dos sismos de magnitud 6.1 y 7.1, con profundidades de 12 km, cuyo epicentro fue en la provincia de Napo. El terremoto causó múltiples deslizamientos e inundaciones que produjeron la muerte de 1,000 personas y 4,000 desaparecidos. Aproximadamente 800 edificaciones y 3,000 viviendas colapsaron, y aproximadamente 12 mil viviendas fueron afectadas (GEER & ATC, 2016).

2.3.8 Agosto 4 de 1998, Mw 7.1

El sismo de 1998 ocurrió en la costa occidental de Ecuador, en las cercanías de la Bahía de Caráquez, y tuvo una magnitud de 7.1 y una profundidad de 34km. Este sismo se sintió en toda la costa del Ecuador y el suroccidente colombiano. Bahía fue la ciudad más afectada, en ella hubo un gran número de edificios colapsados o con daños severos, y los servicios de agua, electricidad, y comunicaciones se interrumpieron luego del evento (GEER & ATC, 2016).

2.4 TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016

El sismo del 16 de abril de 2016, con una magnitud Mw de 7.8, fue localizado en la costa noreste de Ecuador en la ciudad de Pedernales. La aceleración máxima registrada fue de 1.40 g, 0.83 g y 0.75 g en sentido E-W, N-S y vertical respectivamente. Las evaluaciones de los impactos del terremoto, según información suministrada por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, indican 663 personas muertas, 6,274 heridos y 28,775 afectados. Adicionalmente, reportes indican que aproximadamente 7,000 edificios fueron destruidos y más de 2,500 edificios quedaron con afectación importante. También se presentaron cortes e interrupciones en los servicios de acueducto, energía y comunicación, daños en vías y puentes. El 17 de abril de 2016 se declaró estado de emergencia para las provincias de Esmeraldas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena, Guayas y Santo Domingo.

En la Figura 8 se presenta el mapa de evaluación de daños medido con la escala de Mercalli, por parte del Instituto Geofísico y el USGS.

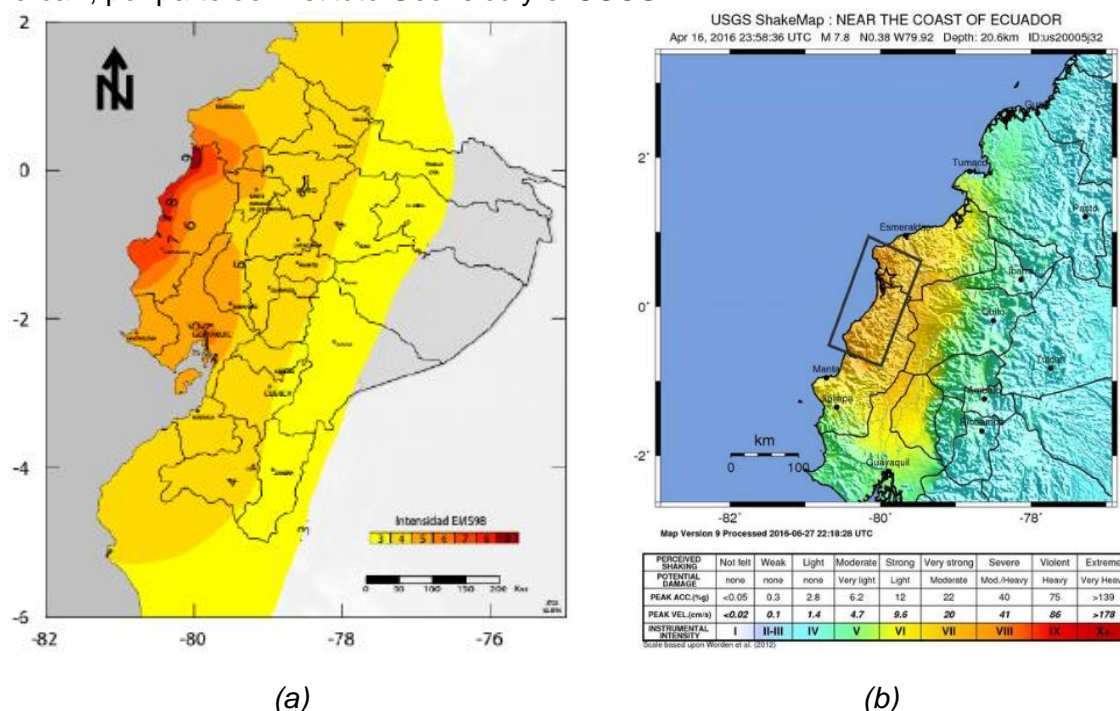


Figura 8. Mapas de intensidades del sismo del 16 de abril, fuente: (a) Instituto Geofísico, (b) USGS (Fuente: Instituto Geofísico y USGS)

Este evento sísmico generó grandes pérdidas económicas para el país. Los reportes oficiales indican que “Según los cálculos realizados, el sector productivo sufrió daños en sus activos por US\$304 millones, pérdidas de ingresos por US\$354 millones, y gastos adicionales por US\$18 millones” (INEC, 2017). En la siguiente tabla se puede apreciar los porcentajes de afectación en los diferentes tipos de activos.

Tabla 6. Porcentajes de afectación de los activos (INEC, 2017)

Tipos de Activos	% de afectación en activos
Edificación e instalaciones	24.0
Maquinaria y equipo	22.7
Vehículos	4.3
Mobiliario	28.2
Materias primas, repuestos y accesorios	35.6
Bienes terminados	30.5
Mercancía	26.0

La información anterior permite concluir que los activos más afectados fueron las Materias primas, los Repuestos y accesorios seguidos por Bienes terminados y activos Mobiliarios con 35,62%, 30,50% y 28,18% respectivamente. Por otro lado, los activos menos afectados fueron los Edificios e instalaciones, la Maquinaria y equipo, y con menor porcentaje los Vehículos, cada uno con 24,00%, 22,65% y 4,33% respectivamente. Según esta información, los bienes mobiliarios en general fueron uno de los tipos de activos con mayor porcentaje de impacto.

La SENPLADES identifica 14 cantones que fueron afectados gravemente por el terremoto. En la provincia de Esmeraldas, el cantón con mayor afectación es Muisne. Mientras que, en Manabí, los cantones más afectados fueron: Pedernales, Sucre, Manta, San Vicente, Rocafuerte, Chone, Jaramijó, Montecristi, Jama y Portoviejo. Y en Santo Domingo de los Tsáchilas, los más afectados fueron: Santo Domingo y La Concordia. Como se puede ver las provincias de Esmeraldas y Manabí fueron las más afectadas por este acontecimiento, lo cual significó un aumento en la pobreza de 43.2% y de 31.3% respectivamente.

Adicionalmente, SENPLADES estima los costos de reconstrucción considerando tres componentes: reconstrucción, flujos perdidos y respuesta inmediata al evento. En la Tabla 7 se presentan los costos de la reconstrucción en los sectores sociales, infraestructura, productivo, entre otros.

Como se puede observar en los siguientes reportes, el sector social presentó los mayores costos de reconstrucción con el 23%, la infraestructura con el 15%, las viviendas con el 12%, el sector productivo con el 10% y el resto de los sectores tiene el 40%. Además, de acuerdo con este informe los costos totales de reconstrucción fueron del orden de los US\$ 3,344 millones, de los cuales al sector público le correspondió el 67%, mientras que al sector privado el 33%. El terremoto afectó aproximadamente 13,962 viviendas urbanas y 15,710 rurales, las cuales presentaban ciertas patologías estructurales y arquitectónicas que provocaron su colapso. Por otro lado, alrededor de 10 hospitales y 15 centros de salud quedaron incapacitados acumulando pérdidas por US\$ 150 millones en el sector de la salud (GEER & ATC, 2016). Entre las infraestructuras afectadas se encuentran edificaciones públicas tales como escuelas, mercados, establecimientos de salud, sedes del gobierno, cuerpo de bomberos, entre otras.

Tabla 7. Costos de reconstrucción por sector (SENPLADES, 2016)

Sectores	Costo de reconstrucción (US\$ Millones)	Flujos perdidos (US\$ Millones)	Respuesta inmediata (US\$ Millones)	Costo total (US\$ Millones)
Social	1,167	70	130	1,368
Vivienda	590	4	58	652
Salud	177	30	33	241
Educación	368	27	38	434
Patrimonio	31	9	0	39
Infraestructura	772	26	63	862
Electricidad	138	10	146	196
Telecomunicaciones	138	2.8	12	153
Agua y saneamiento	264	1.3	3.5	268
Transporte	231	12	1	244
Productivo	498	515	18	1,032
Manufactura	72	92	6	169
Comercio	156	258	8	449
Servicios turísticos	76	19	1	97
Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura	19	118	4	316
Otros sectores	71	0.1	9	81
Medio ambiente	56	0.1	0	56
Gestión de riesgos y atención a la emergencia	15	0	9	24

3 AMENAZA SÍSMICA PROBABILISTA

3.1 GENERALIDADES

Tal como se explicó y documentó anteriormente, el Ecuador está ubicado en una de las zonas con mayor actividad sísmica del mundo, y a través de su historia se ha visto afectado por grandes terremotos provenientes de mecanismos de subducción, en la zona costera del país, o sismos superficiales generados en fallas corticales en la zona interior del país. La mayoría de los sismos de alto impacto se concentran en la zona de subducción con afectación directa sobre toda la zona costera del país con altas magnitudes y recurrencias (Beauval et al., 2014; Parra, 2016, IGPN, 2017, Beauval et al., 2018).

Con estos antecedentes surge la necesidad de evaluar la amenaza sísmica de manera apropiada para poder cuantificar y conocer la intensidad sísmica esperada en cualquier región del país que es el insumo fundamental para la evaluación del riesgo. La amenaza sísmica se define inicialmente a nivel del basamento rocoso o roca superficial. Posteriormente se hace necesario ajustar los parámetros sísmicos definidos para tener en cuenta las condiciones geotécnicas locales las cuales modifican las características de las señales sísmicas (efectos de sitio) y por lo tanto afectan la estimación del riesgo (Yamin, 2018).

La evaluación de la amenaza sísmica en un sitio determinado requiere inicialmente la definición de un área de influencia que permita limitar el problema a la zona dentro de la cual la ocurrencia de sismos es relevante. En segundo lugar, se requiere identificar las fuentes, que, dentro del área de influencia previamente establecida, tienen la potencialidad de generar eventos sísmicos de importancia. Dichas fuentes deben caracterizarse en términos de la recurrencia de sus magnitudes y de la magnitud máxima que cada una de ellas puede llegar a generar. Un modelo de integración de probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos en la zona de estudio permite estimar las tasas de excedencia de parámetros de intensidad sísmica en cada punto de análisis. La repetición de dicho análisis en diferentes puntos de la zona de estudio es la base para la generación de mapas de distribución geográfica de los diferentes parámetros de amenaza seleccionados. Dichos parámetros deben posteriormente modificarse para tener en cuenta las condiciones geotécnicas locales en cada punto de ubicación, lo cual es la esencia misma de los estudios de efectos de sitio.

En este capítulo se presenta la metodología detallada utilizada para la evaluación de la amenaza sísmica a nivel de roca y superficie en Ecuador y los resultados principales obtenidos. La roca se define como aquellos depósitos con velocidades de onda mayores o iguales a unos 760 m/seg para efectos de la respuesta dinámica del suelo (Federal Emergency Management Agency, 1995). Estas aceleraciones se amplifican con los factores que resultan de la evaluación de los efectos de sitio. Los parámetros resultantes corresponden a la representación de la amenaza sísmica en la superficie del terreno y es la que se utiliza como entrada al análisis de riesgo.

3.2 MODELO DE AMENAZA SÍSMICA EN ROCA

3.2.1 Catálogo sísmico

La evaluación de la amenaza sísmica se basa en buena parte en la información existente. En Ecuador se han hecho esfuerzos recientes para establecer un catálogo sísmico nacional que permita realizar estudios de amenaza sísmica. En 2013 el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Quito (IGEPN) publicó el catálogo sísmico (Beauval et al., 2010, 2013). Dicho catálogo recopila los eventos registrados por la red sismológica de Ecuador (RENSIG), así como los eventos registrados por el International Seismological Center (ISC) y el National Earthquake Information Center Preliminary Determination of Epicenters (NEIC-PDE) del USGS.

Adicionalmente, el IGEPN ha realizado una recopilación de los eventos sísmicos registrados en la RENSIG y ha elaborado un catálogo desde el año 2010 hasta 2017 (IGEPN, 2017). Dicha información fue suministrada por la Secretaria de Gestión del Riesgo y utilizada para complementar el catálogo sísmico hasta el año 2017.

El catálogo completo contiene un total de 14,617 eventos sísmicos registrados entre el año 1587 y 2017. En la Tabla 8 se presenta el número total de eventos del catálogo según rangos de magnitud M_w . La Figura 9 muestra la ubicación de los eventos registrados en el catálogo que tienen una magnitud M_w mayor a 4 y a 6.

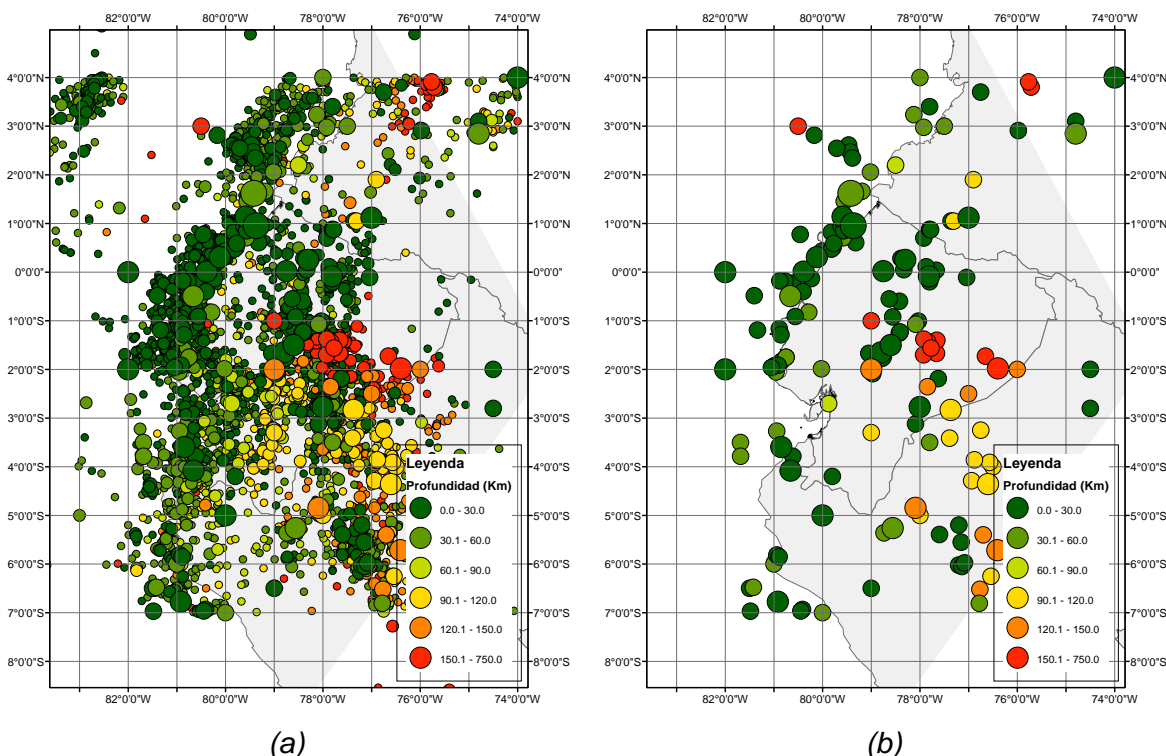


Figura 9 . Catálogo sísmico de Ecuador definido en este estudio (a) eventos con $M_w \geq 4.0$, (b) eventos con $M_w > 6.0$ sísmico (Beauval et al., 2010, 2013) (IGEPN, 2017)

Tabla 8. Número de eventos en el catálogo sísmico completo incluyendo réplicas

Magnitud	# Eventos	Magnitud	# Eventos
< 4.0	10375	6.0 - 6.5	86
4.0 - 4.5	2198	6.5 - 7.0	49
4.5 - 5.0	1332	7.0 - 7.5	19
5.0 - 5.5	409	7.5 - 8.0	8
5.5 - 6.0	139	> 8.0	2

Para el cálculo de los parámetros de sismicidad de las fuentes es necesario depurar el catálogo sísmico con el objetivo de remover las réplicas, para lo cual se utilizó el método de Uhrhammer (1986). El proceso de depuración consiste en separar los eventos principales de las réplicas y los eventos premonitorios, con el objetivo de tener los eventos sísmicos que ocurren de forma independiente. Adicionalmente se removieron los eventos con magnitud menor a 4.0, indiferente de su profundidad, ya que se considera que estos sismos no generan un impacto importante.

Tras el proceso de remoción de réplicas y eliminación de eventos con magnitud inferior a 4.0 se obtuvo un catálogo sísmico con un total de 2,561 eventos. La Figura 10 presenta el número de eventos acumulados por año para el catálogo procesado. De esta figura se puede identificar que aproximadamente desde el año 1963 se tiene una pendiente constante, lo que indica que a partir de este año se tiene un reporte confiable de sismos anuales, definiendo así una ventana de tiempo en la cual el catálogo sísmico se considera completo.

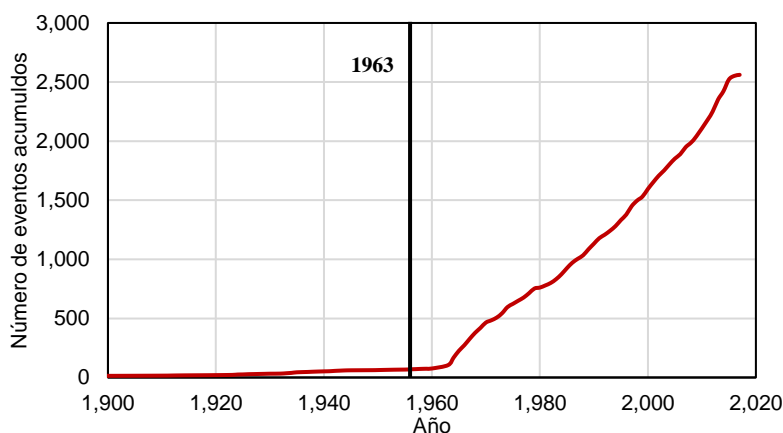


Figura 10. Catálogo de eventos sísmicos depurado mediante remoción de réplicas y magnitud umbral de 4.0

Con base en esta información también se puede determinar la recurrencia de los eventos sísmicos que se producen en el país durante el periodo de tiempo en el que el catálogo se considera completo, lo cual da una idea de la actividad y sismicidad presente.

En la Figura 11 se observa la curva de recurrencia de magnitudes del catálogo sísmico, así como su periodo de retorno basado en un periodo de observación de 54 años (1963 – 2017).

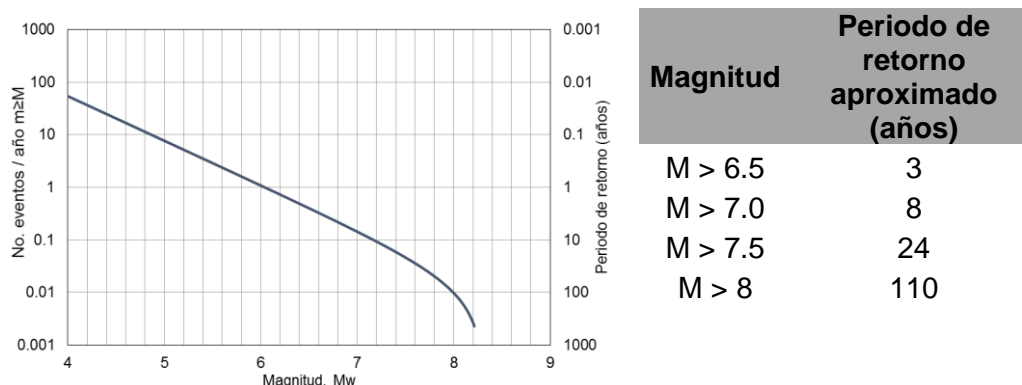


Figura 11. Curva de recurrencia de magnitudes para el catálogo sísmico completo.

3.2.2 Fuentes sismogénicas

En diferentes estudios se han definido las fuentes sismogénicas que pretenden zonificar la actividad sísmica del país a partir de los procesos geológicos y sísmicos que se han evidenciado tras la ocurrencia de sismos importantes (Alvarado, 2012 & 2014; Parra, 2016; Yepes et al., 2016). Ecuador se encuentra limitado por dos placas tectónicas (Nazca y Sur América) que generan procesos de subducción y evidencian una alta tasa de sismicidad debido a su ubicación sobre el cinturón de fuego del Pacífico. Las fuentes sismogénicas predominantes en Ecuador se pueden representar mediante fallas de interfaz, intra-placa, y corticales. La geometría de las

fuentes sismogénicas utilizada para la construcción del modelo probabilista de amenaza sísmica está basada en el estudio realizado por Parra (2016) en el cual se definen 21 fuentes sismogénicas clasificadas de la siguiente forma:

- 3 fuentes de Interfaz
- 4 fuentes Intra-placa
- 14 fuentes corticales

El cálculo de los parámetros que describen la sismicidad de las fuentes sismogénicas se hace mediante la asignación de eventos del catálogo sísmico depurado a las fuentes teniendo en cuenta su geometría tridimensional. La Tabla 9 presenta el nombre y el código asociado a cada una de las fuentes consideradas en el modelo.

La Figura 12 y la Figura 13 presentan la geometría de las fuentes de subducción y las fuentes corticales respectivamente.

Tabla 9. Códigos y nombres de las fuentes consideradas en el modelo. Códigos basados en Parra (2016)

Fuente	Código
Región Amazónica	A1
Costa 1	C1
Costa 2	C2
Costa 3	C3
Costa 4	C4
Western Cordillera	COI1
Cordillera Real 1	CR1
Cordillera Real 2	CR2
Región Interandina 1	RI1
Región Interandina 2	RI2
Región Interandina 3	RI3
Región Interandina 4	RI4
Región Oriental 1	RO1
Región Oriental 2	RO2
Interface Centro	IFC
Interface Norte	IFN
Interface Sur	IFS
Inslab Norte	ISN
Inslab Norte Centro	ISNC
Inslab Sur	ISS
Inslab Sur Centro	ISSC

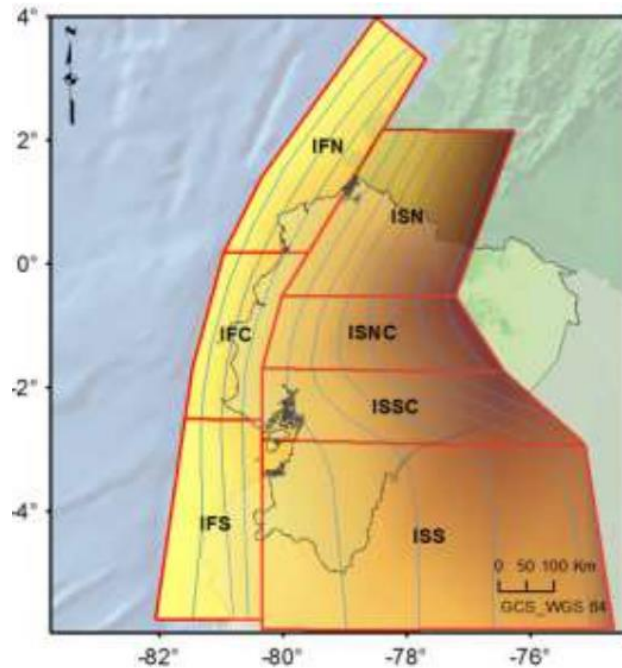


Figura 12. Zonas sismogénicas de subducción, Interface e Intra-Placa (Parra, 2016).

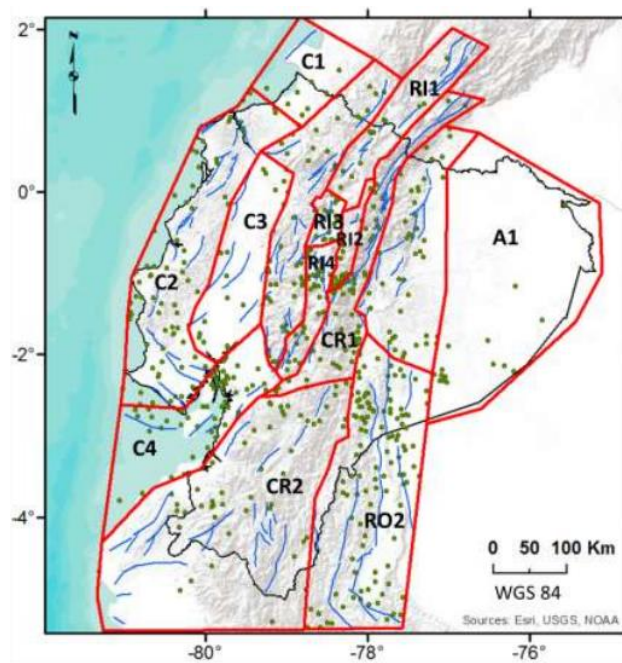


Figura 13. Zonas sismogénicas corticales definidas (Parra, 2016).

3.2.3 Parámetros de sismicidad de las fuentes sísmicas

Para efectos de estudios de amenaza sísmica probabilista es necesario caracterizar la actividad de las fuentes, el cual puede ser representado como un proceso de Poisson en el cual la actividad de cada una de las fuentes se especifica como función de la tasa de excedencia de las magnitudes, $\lambda(M)$, de los eventos que allí se generan. Esta tasa mide qué tan frecuentemente se

generan eventos con magnitud superior a un valor determinado. En el presente estudio, se ajusta la sismicidad de cada fuente con un modelo de Gutenberg y Richter (1944) truncado:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \left(\frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_u}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}} \right) \quad (1)$$

Donde, λ_0 corresponde a la tasa anual de excedencia de la magnitud umbral ($M_0 = 4$) de cada una de las fuentes sísmicas expresada en número de eventos por año y β corresponde a la pendiente de la curva. En la Figura 14 se muestran curvas de recurrencia de magnitudes ilustrativas para dos zonas sísmicas distintas, una para una zona de alta sismicidad capaz de generar sismos con $M > 8$ y otra de sismicidad intermedia.

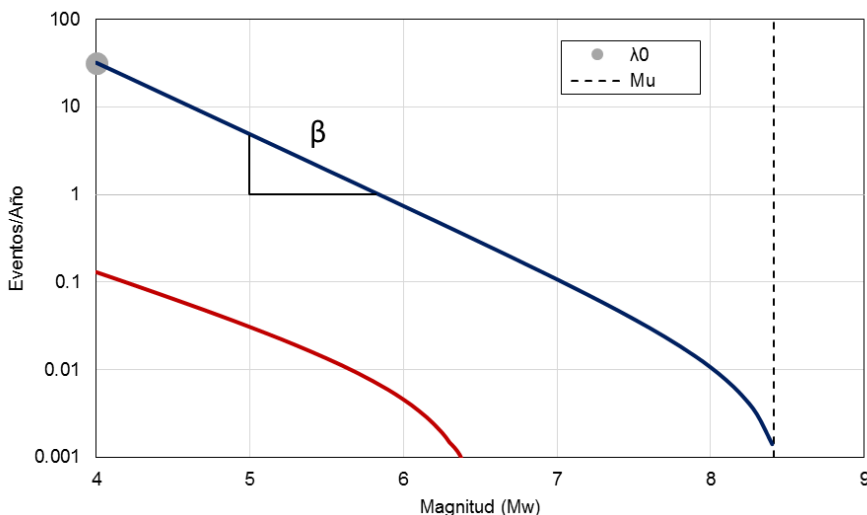


Figura 14. Tasas de excedencia de fuentes para el modelo de sismicidad de Poisson.

A partir de la geometría del estudio realizado por Parra (2016) se realizó la asignación de los eventos contenidos en el catálogo sísmico depurado a las diferentes fallas con el objetivo de obtener los parámetros de sismicidad requeridos. En la Tabla 10 se muestran los valores de los parámetros de sismicidad calculados para las fuentes corticales y de subducción identificadas en el territorio ecuatoriano.

Tabla 10 Parámetros de sismicidad de las fuentes de Ecuador

Fuente	Código	M_0	λ_0	β	CV β	M_u
Región Amazónica	A1	4	0.48	3.66	0.20	6.8
Costa 1	C1	4	0.26	2.29	0.27	6.0
Costa 2	C2	4	2.15	2.07	0.09	8.5
Costa 3	C3	4	0.50	3.75	0.19	6.0
Costa 4	C4	4	1.43	2.48	0.11	6.0
Western Cordillera	COI1	4	0.72	2.70	0.16	7.5
Cordillera Real 1	CR1	4	0.96	2.15	0.14	7.7
Cordillera Real 2	CR2	4	1.54	2.69	0.11	7.1
Región Interandina 1	RI1	4	0.33	1.33	0.24	7.6
Región Interandina 2	RI2	4	0.28	3.26	0.26	6.0
Región Interandina 3	RI3	4	0.28	2.11	0.26	6.7
Región Interandina 4	RI4	4	0.43	2.10	0.21	7.9
Región Oriental 1	RO1	4	0.96	3.49	0.14	7.1
Región Oriental 2	RO2	4	2.80	2.13	0.08	7.3
Interface Centro	IFC	4	3.74	2.16	0.07	8.3

Tabla 10 Parámetros de sismicidad de las fuentes de Ecuador

Fuente	Código	M_0	λ_0	β	CV β	M_u
Interface Norte	IFN	4	4.28	1.85	0.07	8.7
Interface Sur	IFS	4	4.20	1.48	0.08	8.3
Inslab Norte	ISN	4	0.89	1.88	0.14	7.3
Inslab Norte Centro	ISNC	4	2.93	1.94	0.08	7.0
Inslab Sur	ISS	4	7.20	1.66	0.05	7.7
Inslab Sur Centro	ISSC	4	3.96	1.82	0.07	7.6

3.2.4 Leyes de atenuación

Una vez se tienen los parámetros sísmicos para cada una de las fuentes, es necesario establecer las relaciones de atenuación de las intensidades sísmicas de interés (PGA y aceleración espectral). Estas expresiones, conocidas como leyes de atenuación, relacionan la intensidad sísmica generada por la ocurrencia de un evento con la distancia del hipocentro a un punto en particular. En el presente estudio se utilizan diferentes leyes de atenuación dependiendo del tipo de mecanismo focal de cada una de las fuentes, es decir, sismos corticales y sismos de subducción interfaz e intraplaca. Los modelos de atenuación utilizados fueron escogidos de acuerdo con estudios previos (Beauval et al., 2014; Parra, 2016) en donde se recomiendan leyes de atenuación que se ajustan a los mecanismos de falla de las fuentes sismogénicas de Ecuador. Los modelos seleccionados son:

- Fuentes corticales: Zhao (2006), régimen fuentes corticales
- Fuentes Interfaz: Zhao (2006), régimen fuentes interface
- Fuentes Intraplaca: Youngs (1997)

Adicionalmente, estas leyes también relacionan la intensidad esperada para diferentes periodos estructurales. La Figura 15 a la Figura 17 presentan las leyes de atenuación utilizadas para periodos estructurales (T_e) de 0 segundos y 0.5 segundos respectivamente.

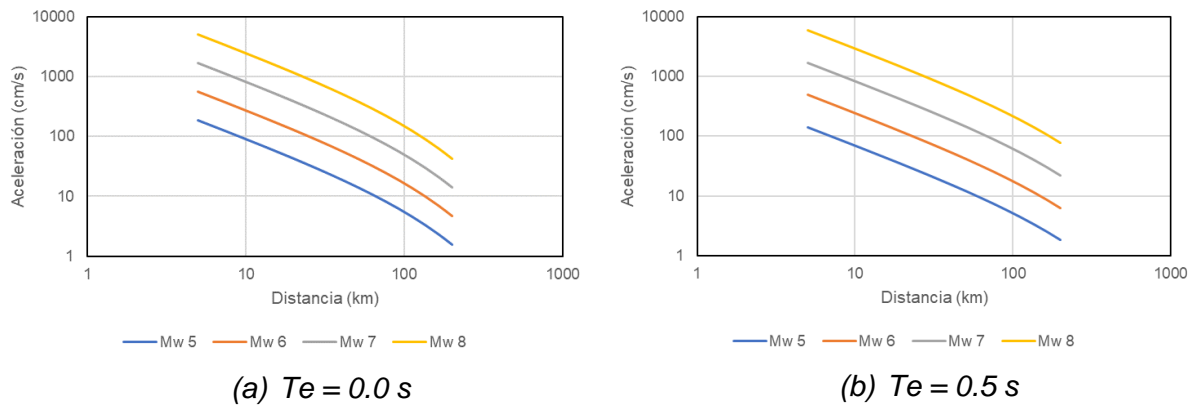


Figura 15. Ley de atenuación de Zhao (2006) – Corticales para diferentes periodos estructurales.

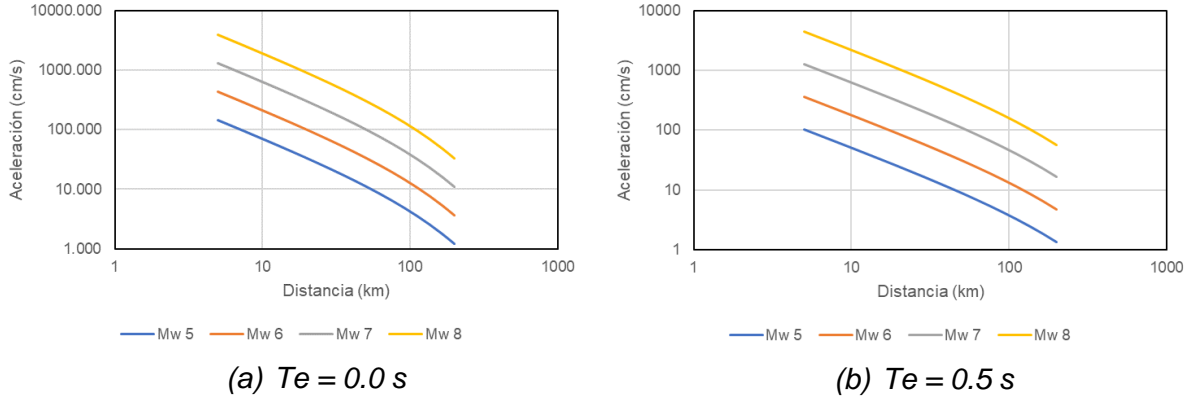


Figura 16. Ley de atenuación de Zhao (2006) – Interface para diferentes periodos estructurales.

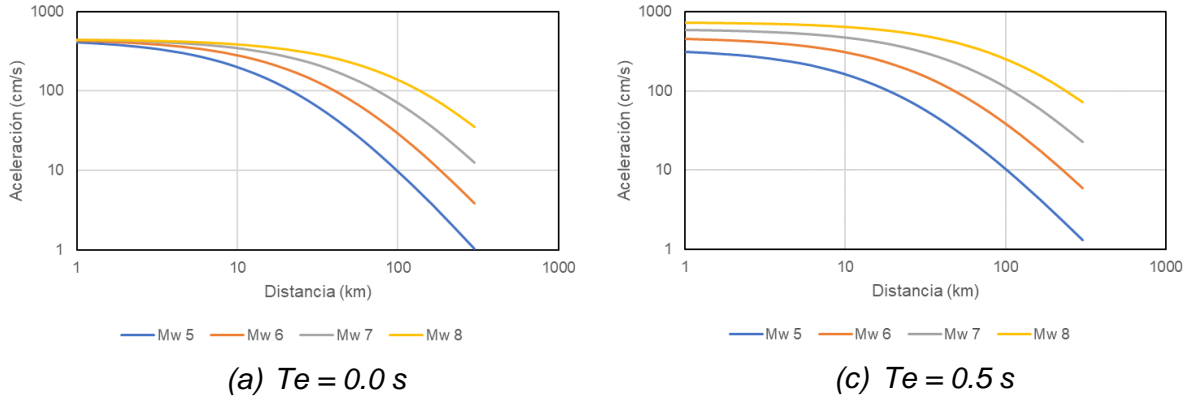


Figura 17. Ley de atenuación de Youngs (1997) - Intraplaca para diferentes periodos estructurales.

3.2.5 Cálculo de amenaza sísmica

Al conocer la sismicidad de cada una de las fuentes identificadas y las leyes de atenuación de la intensidad para cada una de ellas, la amenaza sísmica se puede calcular considerando el aporte de cada una de las fuentes sísmicas en un punto de estudio a partir de las tasas de ocurrencia de un evento y la distancia al punto de estudio. La amenaza, expresada en términos de las tasas anuales de excedencia de intensidades a , se calcula mediante la siguiente expresión (Ordaz, 2000):

$$v(a) = \sum_{n=1}^N \int_{M_0}^{M_u} \frac{-\partial \lambda}{\partial M} \Pr(A > a | M, R_i) dM \quad (2)$$

Donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas N y $\Pr(A > a | M, R)$ es la probabilidad de que la intensidad exceda un cierto valor, dadas la magnitud del sismo, M , y la distancia entre la i -ésima fuente y el sitio, R . Las funciones $\lambda(M)$ son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas, que se describieron anteriormente para cada fuente. La función presenta una integral que va desde M_0 hasta M_u , en donde se considera la contribución de todas las magnitudes que se pueden generar en cada fuente.

La amenaza sísmica se expresa entonces en términos de la tasa de excedencia de valores dados de intensidad sísmica (PGA y aceleración espectral para diferentes periodos

estructurales). Para el cálculo de la amenaza sísmica se utilizó el programa CRISIS2007 desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Ordaz, Aguilar, & Arboleda, 2007).

La evaluación probabilista de la amenaza sísmica se hizo para las ordenadas espectrales que se presentan en la Tabla 11. Adicionalmente la amenaza sísmica probabilista se estima para el parámetro de velocidad máxima de las partículas del terreno ya que es un parámetro relevante para estimar el daño en cierto tipo de componentes tales como sistemas lineales de tuberías.

Tabla 11 Ordenadas espectrales consideradas en el modelo de amenaza sísmica

ORDENADA	T (s)	ORDENADA	T (s)
1	0.00	11	1.25
2	0.05	12	1.50
3	0.10	13	1.75
4	0.15	14	2.00
5	0.20	15	2.5
6	0.30	16	3.00
7	0.40	17	3.50
8	0.50	18	3.75
9	0.75	19	3.90
10	1.00	20	4.00

3.2.6 Resultados de amenaza sísmica en roca firme

En este numeral se presentan los resultados de la evaluación probabilista de amenaza sísmica en roca para Ecuador. Se presentan curvas de amenaza, espectros de amenaza uniforme y mapas de aceleración máxima y aceleración espectral para diferentes periodos de retorno de análisis y para diferentes periodos estructurales. Los resultados que se incluyen corresponden a la respuesta esperada en las formaciones geológicas competentes, con velocidades de onda de cortante en el orden de 760 m/s, suelo tipo B (Roca) según las normas internacionales (Federal Emergency Management Agency, 1995) y nacionales como la NEC-11. Al llegar a estos estratos, la onda sísmica se propagará dentro del subsuelo superficial generalmente menos rígido y competente, hasta alcanzar la cimentación de las estructuras o simplemente el nivel del terreno. Estos mapas corresponden a los valores directos obtenidos del análisis sin aplicar ningún tipo de corrección o ajuste por efectos de sitio.

En la Figura 18 se presentan las curvas de amenaza sísmica, las cuales muestran la tasa de excedencia de aceleraciones para un punto, así como las fuentes sísmicas que más aportan en la amenaza. Los códigos de las fuentes sismogénicas corresponden a los presentados en la Tabla 10 y total corresponde a la suma de las curvas para las diferentes fuentes. La Figura 19 presenta los espectros de amenaza uniforme para diferentes periodos de retorno, que indican los niveles de aceleración espectral que se esperan para algunas ciudades representativas. Adicionalmente, se presentan los espectros de diseño para suelos tipo A, B y C de acuerdo con la clasificación del numeral 3.2.1 de la NEC-15. Estos resultados se presentan para las ciudades principales y representativas del Ecuador en cuanto a población, importancia económica, y alta actividad sísmica.

Adicionalmente, la Figura 20 a la Figura 24 presentan los mapas de distribución de aceleración en roca para diferentes periodos estructurales ($T_e=0.0$ s, $T_e=0.1$ s, $T_e=0.5$ s y $T_e=1.0$ s) asociados a los siguientes periodos de retorno de análisis:

- TR = 31 años: Periodo de retorno del sismo de umbral de daño
- TR = 225 años: Periodo de retorno del sismo de seguridad limitada
- TR = 475 años: Periodo de retorno del sismo de diseño (ASCE 7-10)
- TR = 1000 años: Periodo de retorno del sismo de diseño de puentes (AASHTO, 2010)

- TR = 2500 años: Periodo de retorno del máximo sismo considerado (ASCE 7-10)

Los resultados obtenidos claramente evidencian el aporte de las fallas de subducción en la amenaza sísmica nacional, en especial la zona Nor Occidental del país, ya que es allí donde se presentan las mayores aceleraciones esperadas. Esto concuerda con el hecho de que es en esa zona donde se presentan terremotos de gran magnitud de manera recurrente. Los códigos de las curvas de amenaza corresponden a los presentados en la Tabla 9.

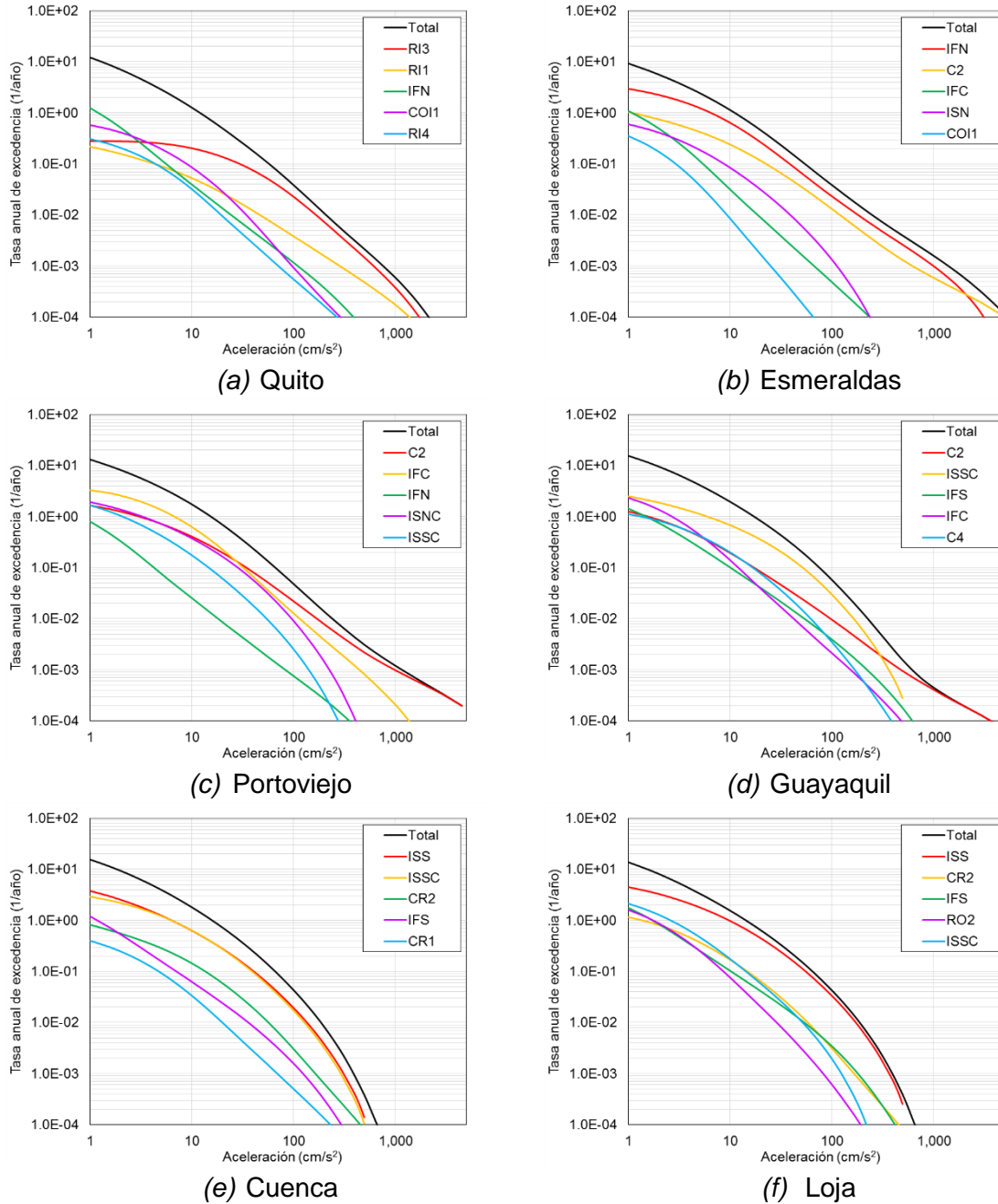


Figura 18. Curvas de amenaza sísmica en ciudades representativas de Ecuador.

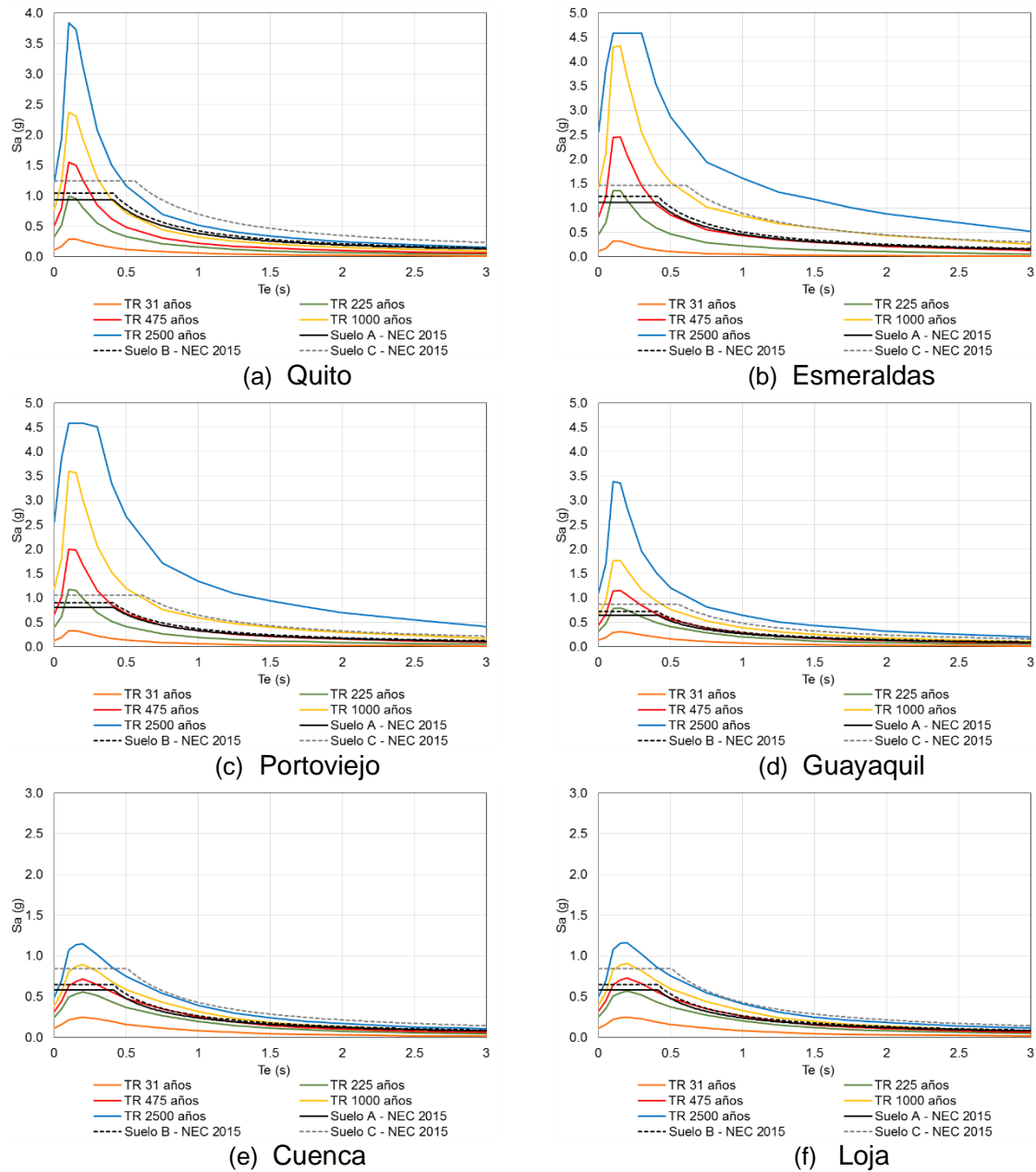


Figura 19. Espectros de amenaza uniforme sísmica para diferentes periodos de retorno en ciudades representativas de Ecuador.

En la NEC-15 se afirma que, los espectros de diseño protegen las edificaciones para un periodo de retorno de 200 años aproximadamente. Los resultados obtenidos muestran que en algunas ciudades este criterio no se cumple, ya que los espectros de amenaza uniforme exceden los de diseño para suelo en roca.

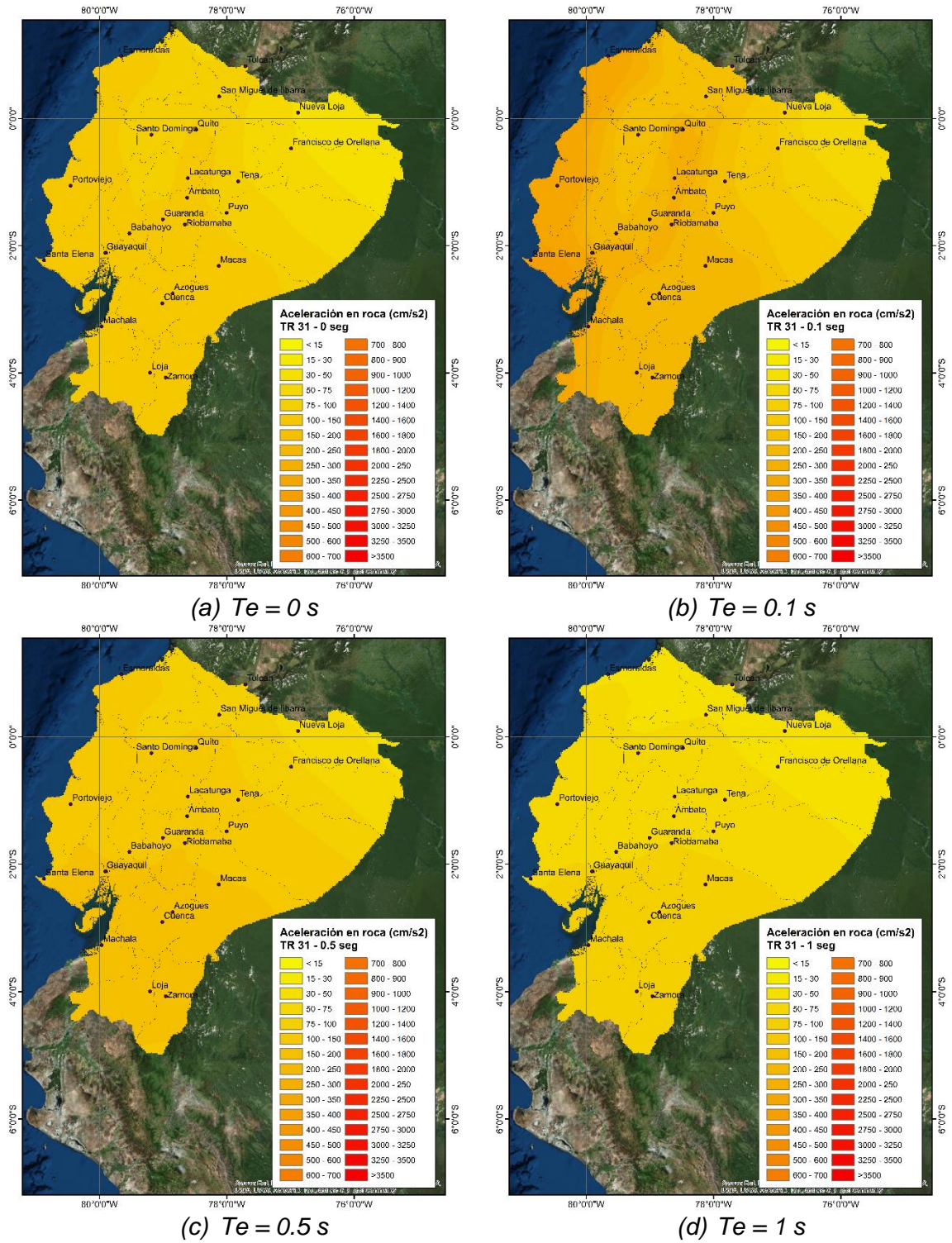


Figura 20. Distribución de la aceleración espectral en roca (cm/s²) para un periodo de retorno alrededor de los 30 años calculado a partir de los resultados del modelo CRISIS.

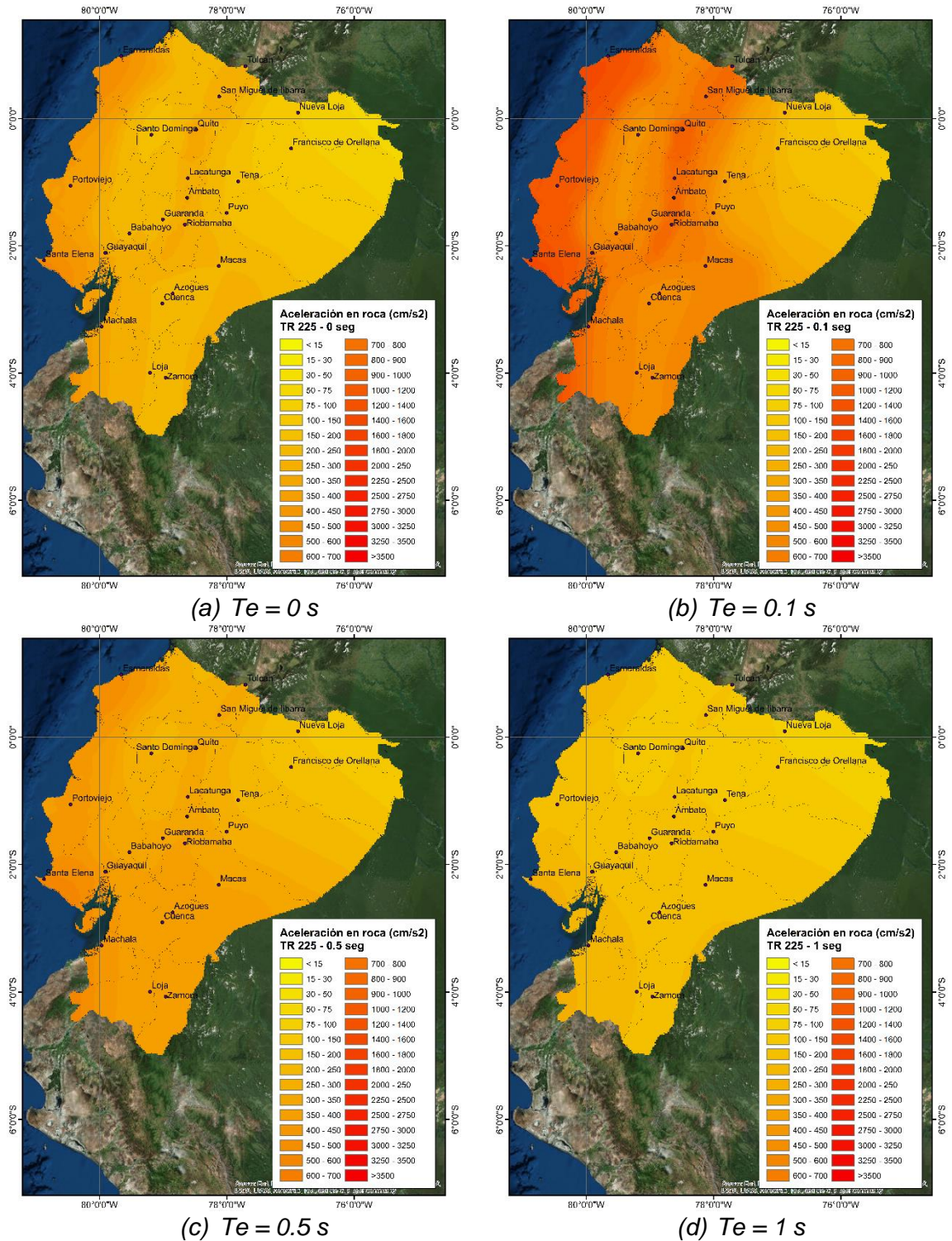


Figura 21. Distribución de la aceleración espectral en roca (cm/s²) para un periodo de retorno alrededor de los 200 años calculado a partir de los resultados del modelo CRISIS.

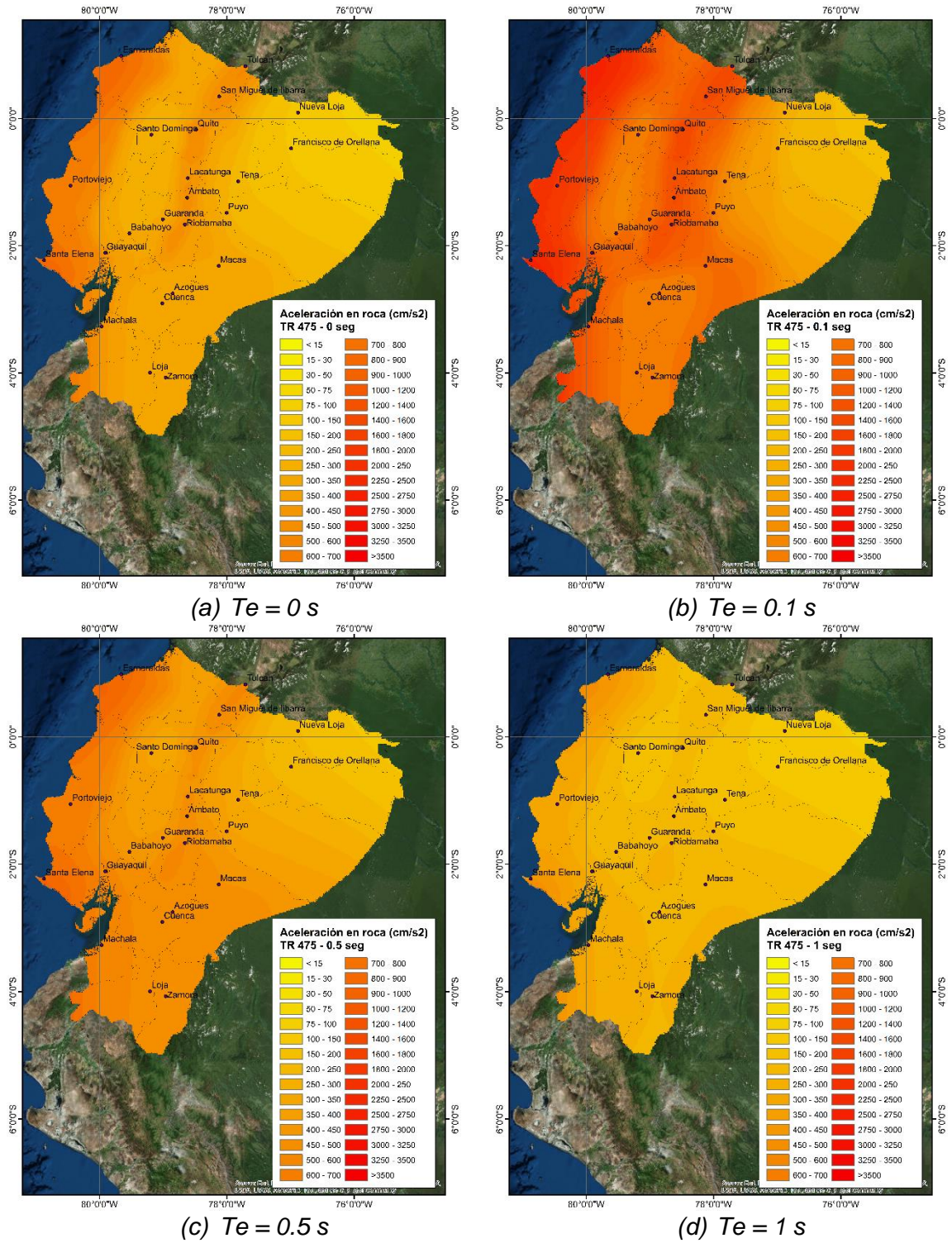


Figura 22. Distribución de la aceleración espectral en roca (cm/s²) para un periodo de retorno alrededor de los 500 años calculado a partir de los resultados del modelo CRISIS.

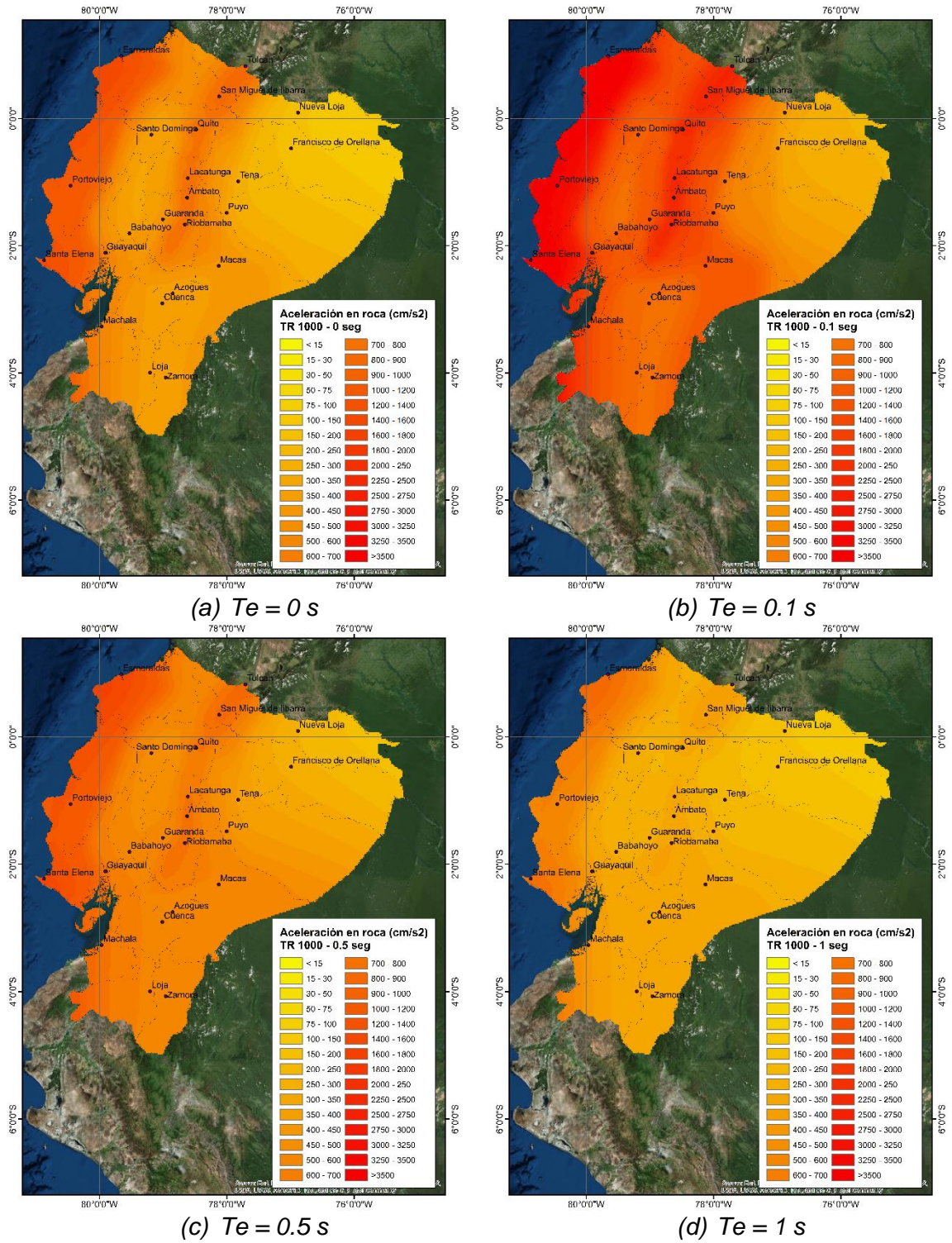


Figura 23. Distribución de la aceleración espectral en roca (cm/s²) para un periodo de retorno alrededor de los 1000 años calculado a partir de los resultados del modelo CRISIS.

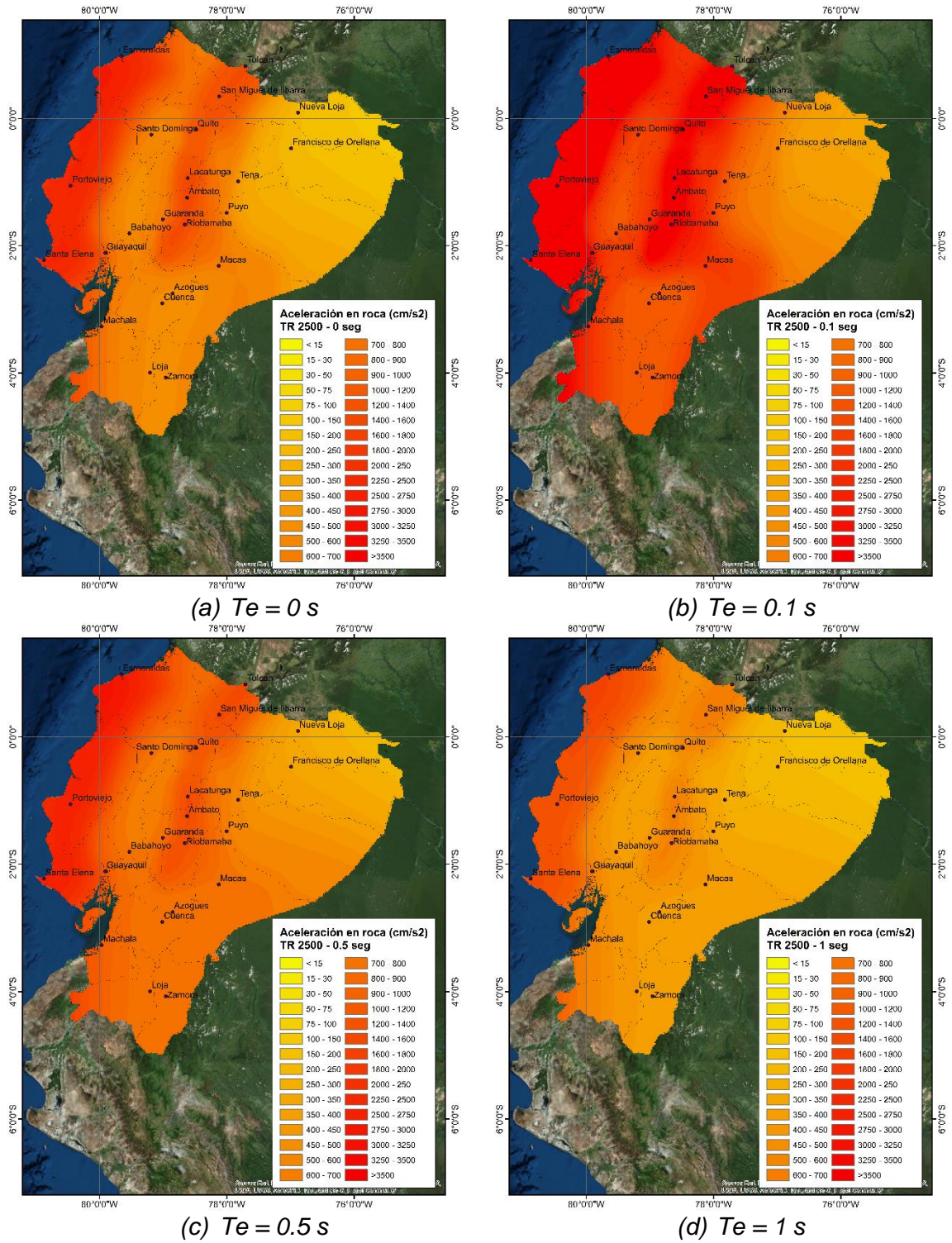


Figura 24. Distribución de la aceleración espectral roca (cm/s²) para un periodo de retorno alrededor de los 2500 años calculado a partir de los resultados del modelo CRISIS.

3.2.7 Distribución espacial de la velocidad espectral en el país

Para efectos del análisis de riesgo sísmico de algunos componentes de infraestructura susceptibles a daño debido a la velocidad registrada en el terreno tras un evento sísmico, se calculó la distribución de la velocidad espectral a lo largo del país. Este proceso requirió que las leyes de atenuación utilizadas estuvieran expresadas en términos de la velocidad espectral dependiendo la distancia al evento sísmico. En la Figura 25 se presenta la distribución de la velocidad en el país para periodo estructural de 1.0 segundos y diferentes periodos de retorno (30, 200, 500, 1000, 2500 años).

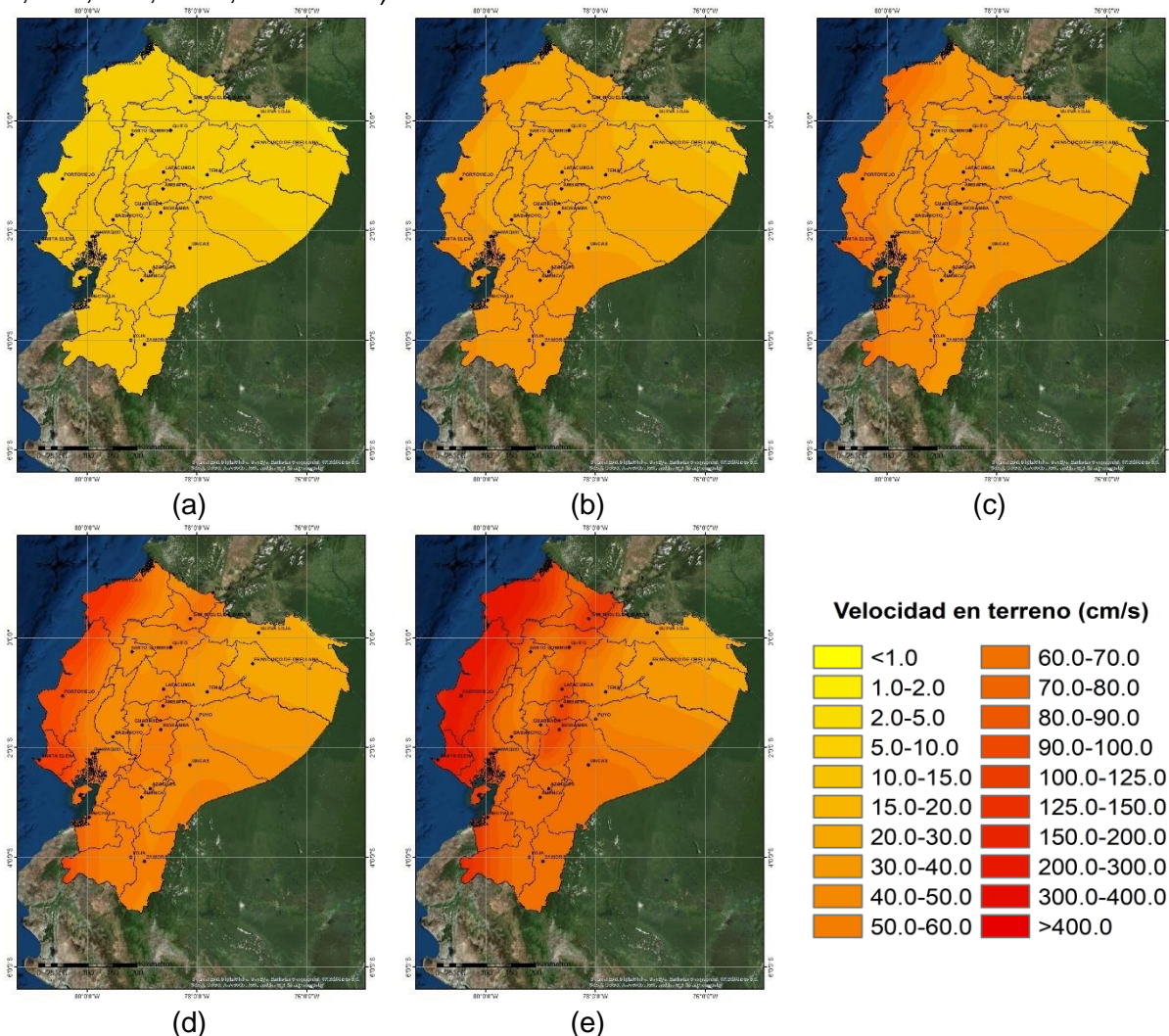


Figura 25. Distribución de la máxima velocidad del terreno (cm/s) para: (a) TR = 30 años, (b) TR = 200 años, (c) TR = 500 años, (d) TR = 1000 años, (e) TR = 2500 años.

3.3 EFECTOS DE SITIO A NIVEL NACIONAL

3.3.1 Definición de zonas de amplificación

Para representar los efectos de amplificación del subsuelo se ha utilizado la metodología aproximada propuesta por Allen y Wald (Allen & Wald, 2009; Wald & Allen, 2007). Para la clasificación de los suelos se han utilizado los rangos de velocidades de onda del “*National*

Earthquake Hazard Reduction Program” (NEHRP) y las relaciones de estas velocidades con el tipo de suelo según el FEM A 222A (Federal Emergency Management Agency, 1995). Esta metodología propone obtener el valor de la velocidad de onda de corte promedio en los primeros 30 m de profundidad, V_{s30} , a través de una relación directa con la ubicación, la topografía y la pendiente del terreno. La premisa de esta metodología es que la pendiente del terreno puede ser usada como una fuente de información base para la definición del tipo de suelo. Esto se basa en el hecho de que una pendiente alta (zona montañosa o colina) se puede relacionar con la presencia de suelos rocosos más rígidos y duros, mientras que en zonas de pendiente baja (valles o llanuras) se espera que el suelos arcillosos y arenosos blandos y menos rígidos. De esta manera, según la pendiente del terreno, la metodología define una velocidad de onda de corte promedio para los primeros 30m, V_{s30} cuando no se cuenta con estudios detallados de las condiciones de sitio basados en información geológica y geotécnica, permitiendo así clasificar el tipo de suelo de manera aproximada.

La clasificación del tipo de suelo se realiza a partir de los rangos definidos en la Tabla 12. Adicionalmente en la Figura 26 se puede ver la distribución de tipos de suelo en Ecuador utilizando la metodología propuesta.

Tabla 12 Rangos de pendientes para clasificación de suelos (Allen & Wald, 2009)

Clase	Clasificación NEHRP	Rango de V_{s30} (m/s)	Rango de Pendientes (m/m)	
			Active Tectonic	Stable Tectonic
1	B	>760	> 0.14	> 0.025
2	C	620-760	0.10 - 0.14	0.018 - 0.025
3		490-620	0.05 - 0.10	0.013 - 0.018
4		360-490	0.018 - 0.05	7.2E-3 - 0.013
5	D	300-360	0.010 - 0.018	4E-3 - 7.2E-3
6		240-300	3.5E-3 - 0.010	2E-3 - 4E-3
7		180-240	3E-4 - 3.5E-3	6E-6 - 2E-3
8	E	<180	< 3E-4	< 6E-6

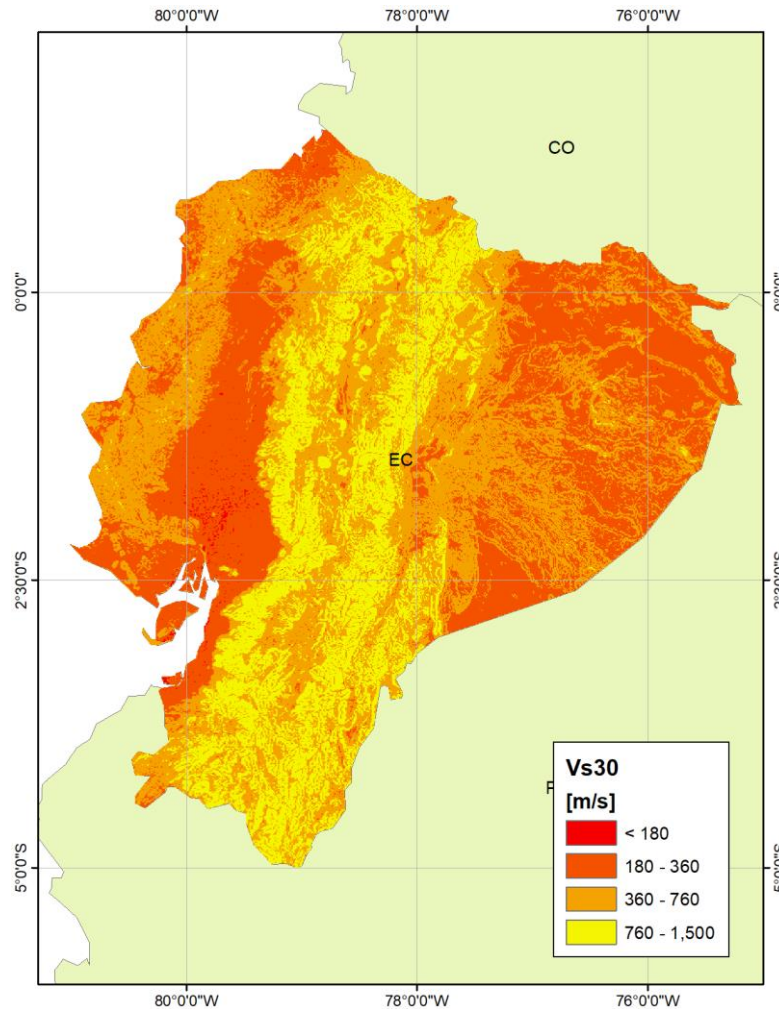


Figura 26. Clasificación de los suelos en Ecuador según metodología Vs30.

3.3.2 Espectros de amplificación espectral

Por otra parte para la definición de los factores de amplificación para cada uno de los tipos de suelos se han realizado una serie de análisis de respuesta dinámica no lineal de estratigrafías características, a partir de simulaciones de Monte Carlo (Yamin, et al., 2018) (Prada, Yamin, Rueda, & Rincon, 2017). Esta metodología plantea la generación de perfiles estratigráficos característicos de cada una de las zonas de amplificación definidas, incluyendo la incertidumbre en cada uno de los parámetros geotécnicos que lo componen. Para esto se consideraron las variaciones en las siguientes variables aleatorias:

- Señales sísmicas representativas de la región de análisis
- Velocidad de onda del basamento
- Perfil de velocidad de onda de corte en los rangos indicados para los tipos de suelos.
- Perfil de peso húmedo unitario en profundidad para los tipos de suelo definidos
- Variaciones en las propiedades de degradación de resistencia y de amortiguamiento con la deformación de corte.

A partir de esta información se generaron perfiles estocásticos los cuales se analizaron mediante un análisis lineal equivalente (Idriss & Seed, 1968) utilizando el software SHAKE91

(Idriss & Seed, 1991), para un grupo de señales sísmicas de diferente nivel de PGA (100, 200, 300, y 400 cm/s^2). Posteriormente se calculan los espectros de amplificación para cada simulación, se agrupan los resultados según el PGA de la señal de entrada, y se hace un análisis estadístico para obtener el valor medio de amplificación espectral junto a su incertidumbre asociada. El proceso básico de análisis se resume en la Figura 27.

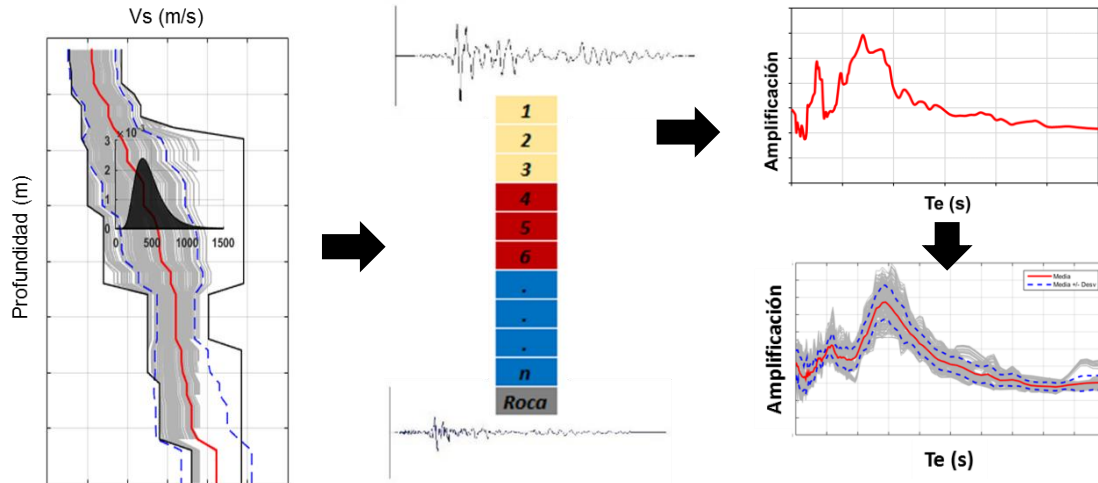


Figura 27. Metodología de análisis de respuesta dinámica para las zonas de amplificación definidas.

Los resultados obtenidos con esta serie de análisis se suavizan y promedian para obtener funciones de amplificación representativas de cada una de las estratigrafías características. De forma que se caracteriza la respuesta del suelo ante efectos sísmicos para cada una de las zonas de amplificación definidas, lo cual permite hacer una evaluación de la amenaza sísmica de manera integral. En la Figura 28 presenta los espectros de amplificación que se obtienen para cada uno de los tipos de suelos según el nivel de intensidad sísmica de entrada al depósito.

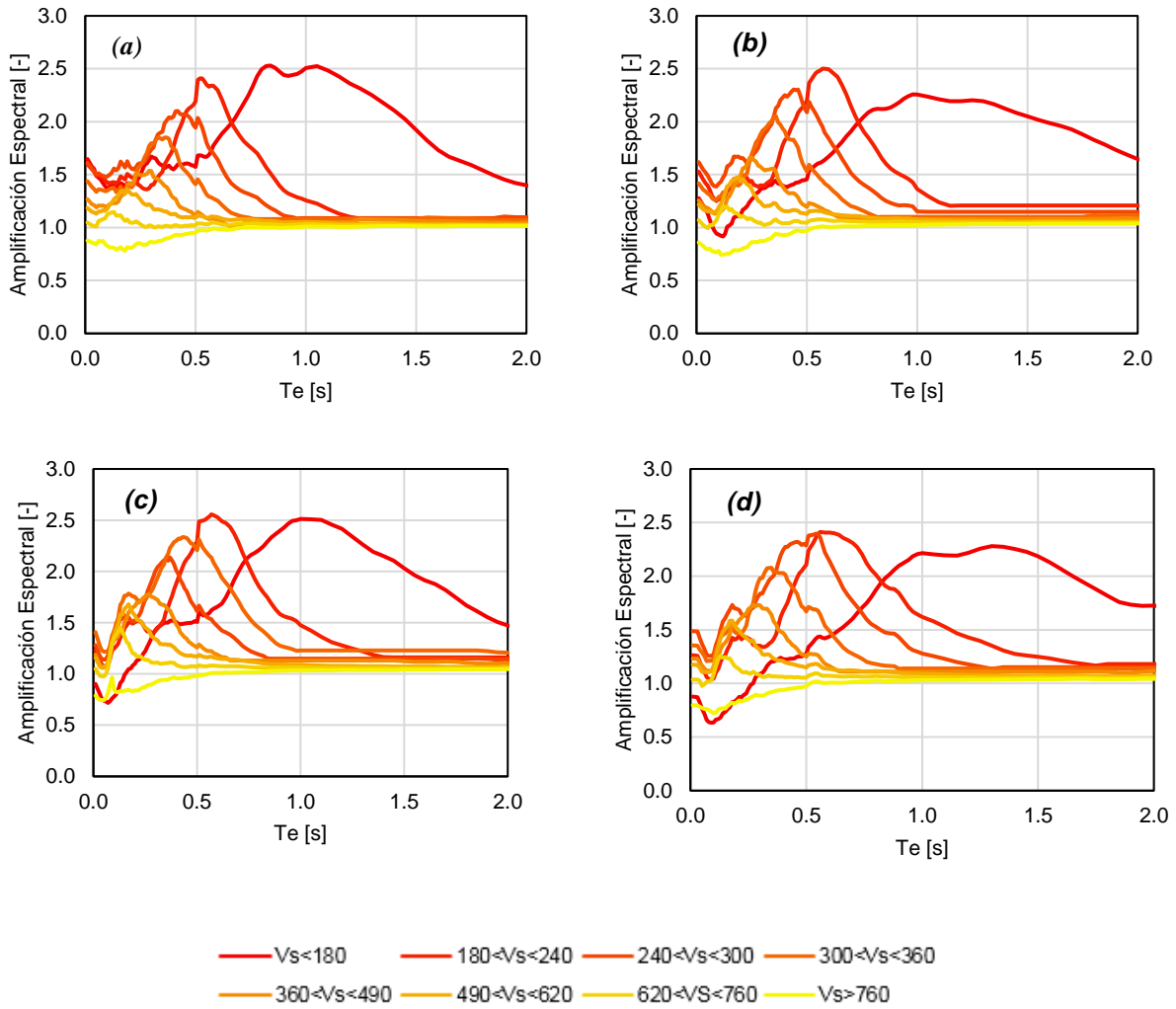


Figura 28. Espectros de amplificación finales para los tipos de suelo definidos según la intensidad de la señal sísmica de entrada (PGA): (a) 100 cm/s², (b) 200 cm/s², (c) 300 cm/s², (d) 400 cm/s².

3.3.3 Comparación frente a la microzonificación sísmica de Quito

En el año 2012, se realizó un estudio de microzonificación sísmica para Quito (Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina, 2012), en el cual se establecieron los parámetros de amplificación del suelo para diferentes zonas del país. En este estudio se recopiló perforaciones para las zonas definidas, y se calculó la respuesta dinámica en cada una de ellas. En la Figura 29 se presentan las zonas definidas en este estudio.

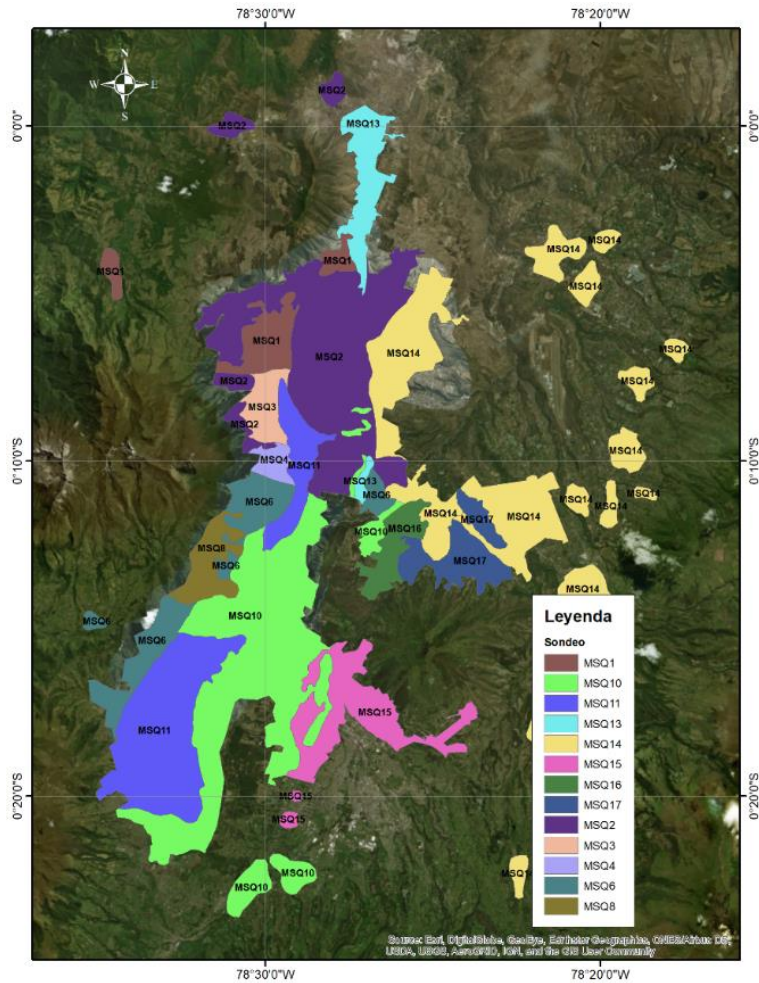


Figura 29. Zonas de amplificación para la ciudad de Quito (ERN-AL, 2012) .

Esta información se utilizó de base para realizar las validaciones frente al modelo de V_{s30} propuesto. Para este fin, se realizó una comparación entre las zonas de amplificación, teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- Los factores de amplificación resultantes para cada una de las zonas definidas en el estudio de microzonificación indican y clasifican los depósitos de suelo a partir de su amplificación de la respuesta sísmica
- Las zonas de tipos de suelo utilizando la metodología V_{s30} clasifican los tipos de suelo según rangos de velocidad de onda cortante para identificar los depósitos de roca firme y los de suelo blando.
- La amplificación espectral de los depósitos del suelo está asociada a bajas velocidades onda cortante.

Teniendo en cuenta la relación entre la amplificación espectral y la velocidad de onda cortante, en la Figura 30 se hace una comparación entre los factores de amplificación para cada una de las zonas definidas en el estudio de microzonificación (ERN, 2012), y las zonas definidas siguiendo la metodología V_{s30} .

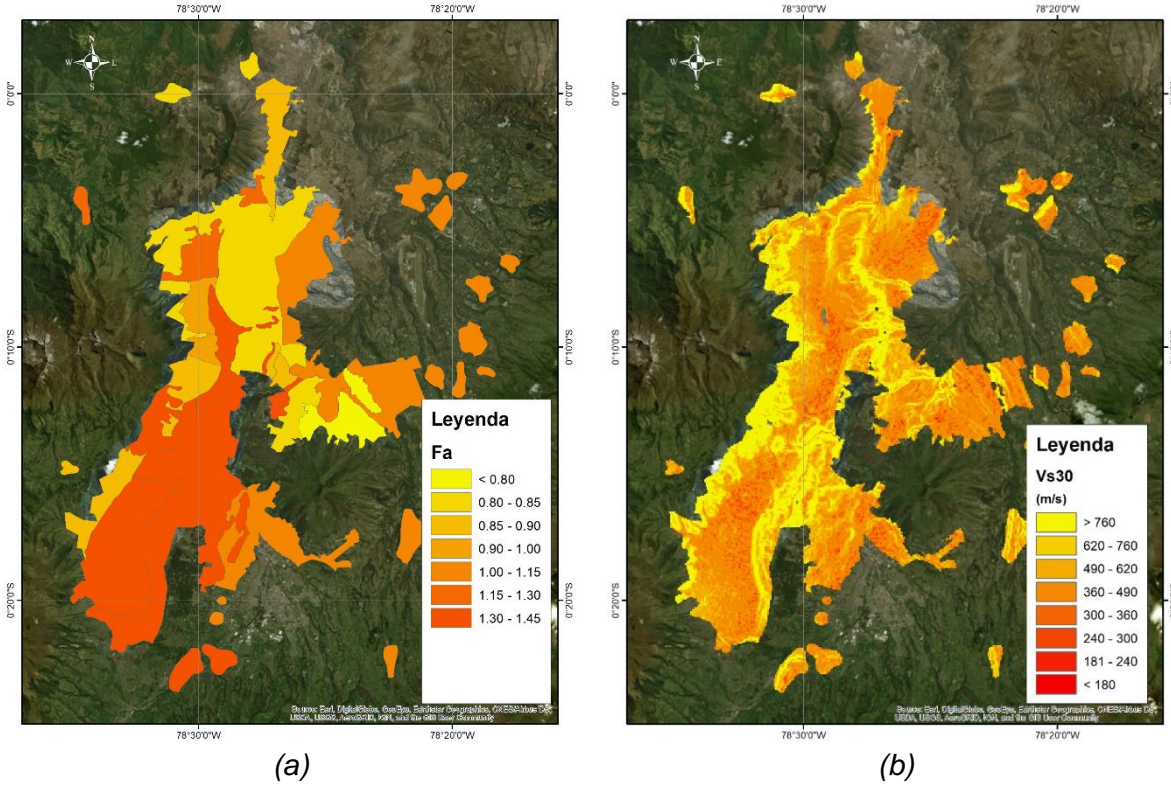


Figura 30. (a) Factores de amplificación para la ciudad de Quito (ERN-AL, 2012) y, (b) Clasificación de tipo de suelo según Vs30.

Se observa que en la mayoría de las zonas los factores de amplificación resultantes del estudio son consistentes con la clasificación de suelos resultante de utilizar la metodología Vs30. Lo cual se evidencia, con que las zonas donde el Vs30 tiende a ser menor por lo general se presentan los mayores factores de amplificación del suelo según el estudio de microzonificación sísmica.

Adicionalmente en la Figura 31 se compararon los espectros de amplificación resultantes del análisis de respuesta dinámica en perforaciones de algunas zonas de la microzonificación, frente a los que se obtuvieron para el tipo de suelo predominante de cada zona utilizando la metodología simplificada Vs30.

En la Figura 31 se evidencia que los espectros obtenidos mediante la metodología Vs30 son similares tanto para suelos duros como blandos a los obtenidos para cada zona según el estudio de microzonificación. En algunos casos como en MSQ14 o MSQ11 existen algunas diferencias, las cuales son de esperarse al utilizar un modelo simplificado. Sin embargo, los espectros de amplificación obtenidos mediante Vs30 siguen la misma forma espectral que estos, por lo tanto los resultados son comparables.

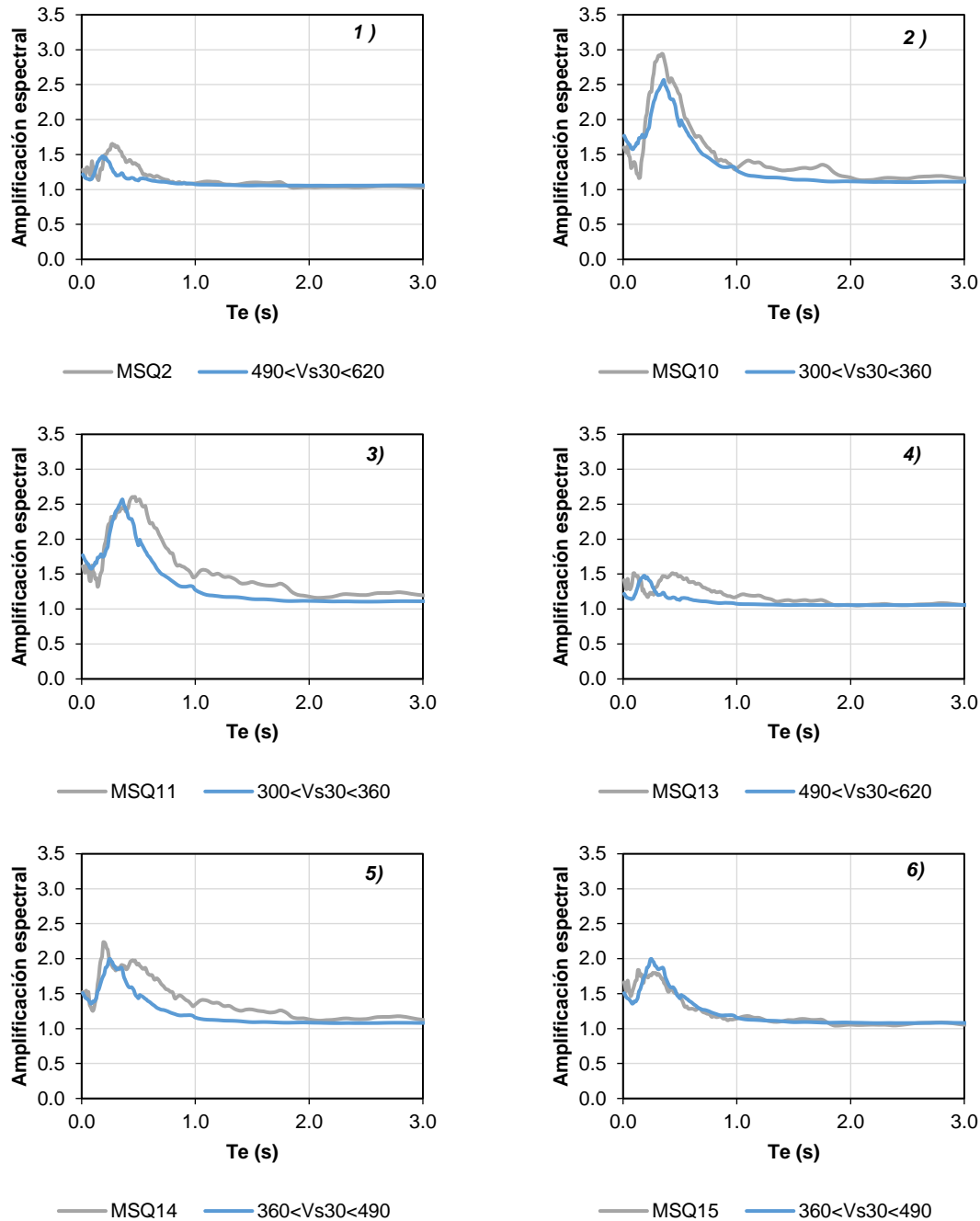


Figura 31. Comparación entre los espectros de amplificación obtenidos mediante el modelo Vs30 y los de la microzonificación sísmica de Quito (ERN-AL, 2012).

La metodología V_{s30} permite caracterizar la respuesta de los depósitos de suelo de forma confiable y adecuada a las condiciones del terreno observadas. Adicionalmente esta metodología permite clasificar los suelos, garantizando que haya una transición más suave entre los depósitos de suelo duro y blando (Figura 30b) y así garantizar que la respuesta dinámica de los suelos este acorde a las condiciones del terreno.

3.3.4 Comparación frente a otros estudios de microzonificación

En el país se han realizado estudios de microzonificación para las siguientes ciudades:

- Respuesta dinámica de los suelos blandos en la ciudad de Guayaquil (Vera-Grunauer, 2014)
- Estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Esmeraldas (Geoestudios, 2017)
- Estudio de microzonificación sísmica del cantón Portoviejo (Instituto Geofísico-EPN & FUNVISIS, 2017)

Los resultados principales de estos estudios se presentan en términos de mapas de isoperíodos de vibración fundamental de los depósitos de suelo. Estos se comparan con los mapas equivalentes resultantes del modelo de velocidad de onda simplificado a nivel país, ampliando para el efecto los resultados del modelo para la zona de interés en cada caso. Para esto se utiliza la siguiente relación entre el periodo del suelo y el V_{s30} :

$$Ts(s) = \frac{4 * H}{Vs_{30}}$$

De la Figura 31 a la Figura 37 se presentan las comparaciones correspondientes las cuales validan la utilización del modelo simplificado para evaluar los efectos de sitio a la luz de los estudios existentes.

Para la ciudad de Guayaquil se evidencia que el modelo simplificado presenta diferencias entre los periodos calculados, sin embargo este representa de forma adecuada las zonas de depósitos blandos y duros en comparación con el estudio realizado (Vera-Grunauer, 2014). Esto mismo ocurre en el caso de comparación del estudio de la ciudad de Esmeraldas.

Adicionalmente, en el estudio de microzonificación de Portoviejo (IGEPE & FUNVISIS, 2017), se hizo una comparación entre la modelación de la velocidad de onda cortante usando información geotécnica recopilada y a partir de información topográfica (ver Figura 36). Aunque se presentaron diferencias entre los modelos, se consideró que el modelo simplificado es adecuado cuando no se cuenta con dicha información, ya que se evidencia a grandes rasgos los diferentes tipos de suelo de la ciudad. El modelo propuesto presenta diferencias frente a los estudios particulares de cada cantón, sin embargo, estos se esperan dado el alcance del modelo simplificado, por lo que se considera que es adecuado para caracterizar las zonas de depósitos de suelo a nivel nacional.

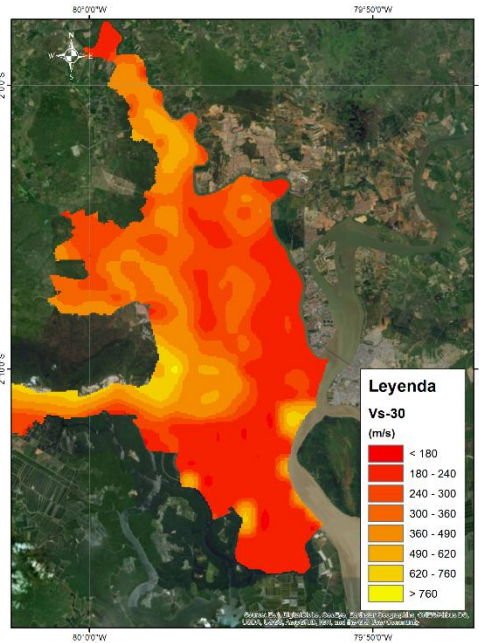


Figura 32. modelo simplificado Vs30 para la ciudad de Guayaquil..

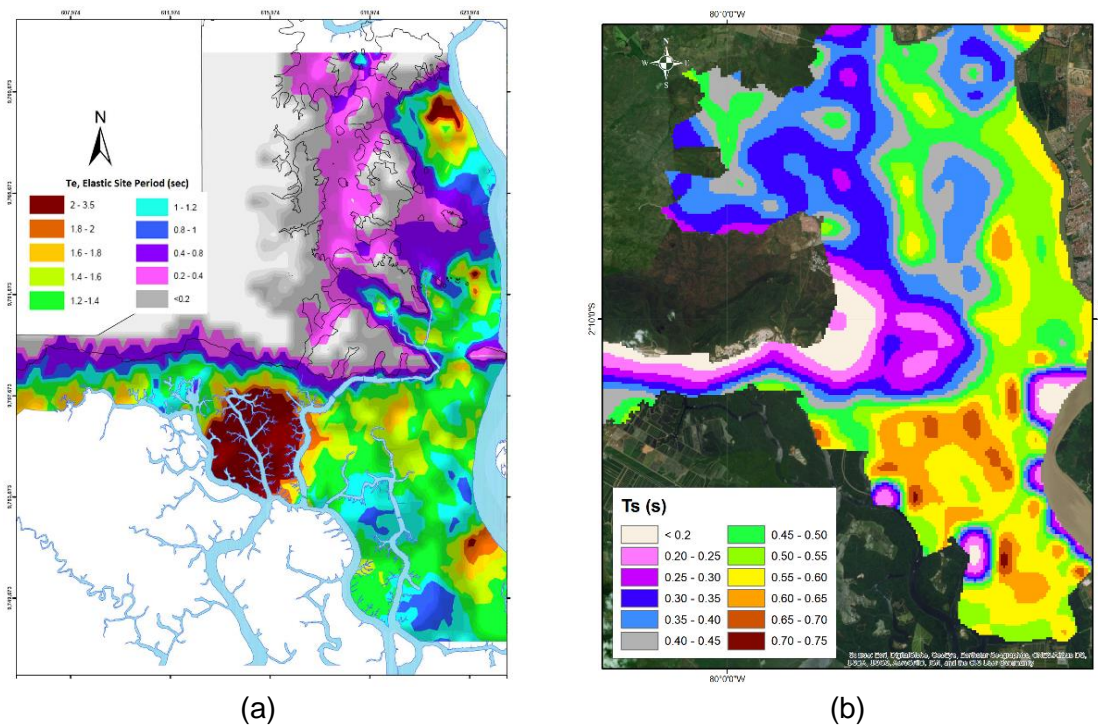
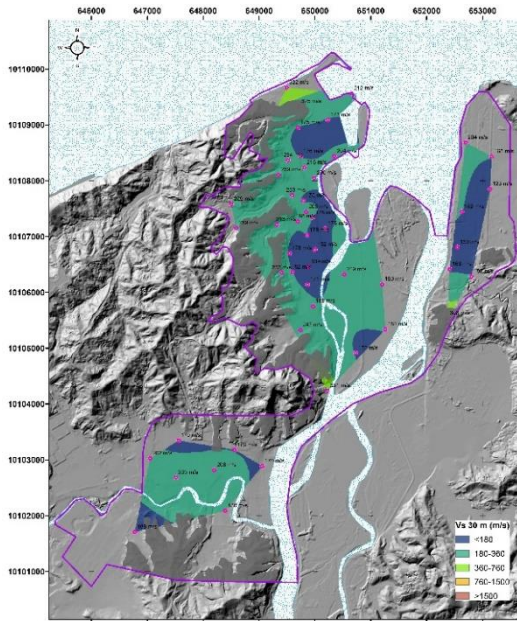
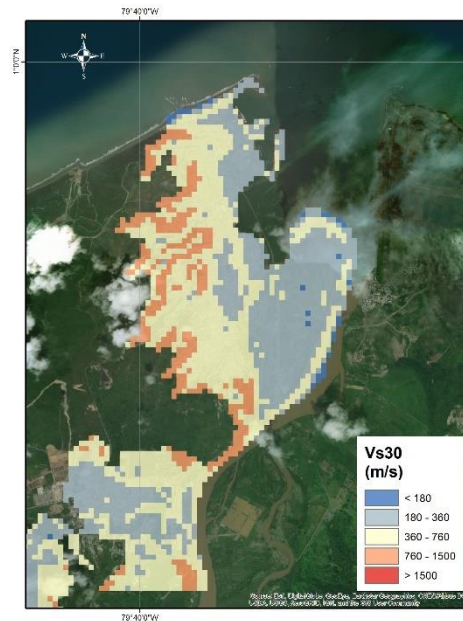


Figura 33. Comparación de la distribución del periodo fundamental del suelo según(a) microzonificación de Guayaquil (Vera-Grunauer, 2014) ,(b) modelo simplificado Vs30.

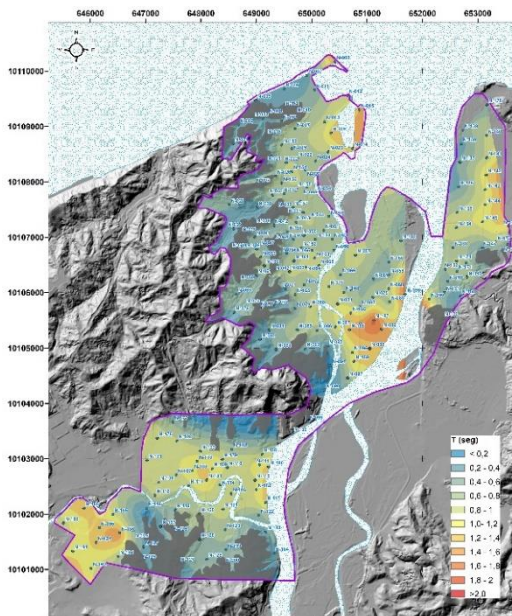


(a)

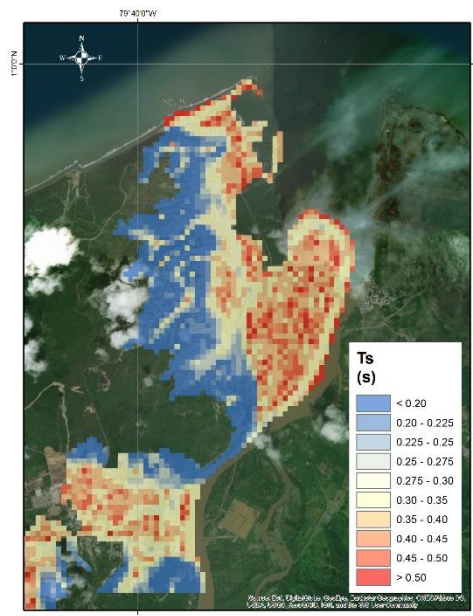


(b)

Figura 34. Comparación del modelo de Vs30 según: (a) Estudio de microzonificación de Esmeraldas (Geoestudios, 2017) (b) modelo simplificado Vs30



(a)



(b)

Figura 35. Periodo fundamental del suelo según: (a) Estudio de microzonificación (Geoestudios, 2017), (b) modelo simplificado Vs30.

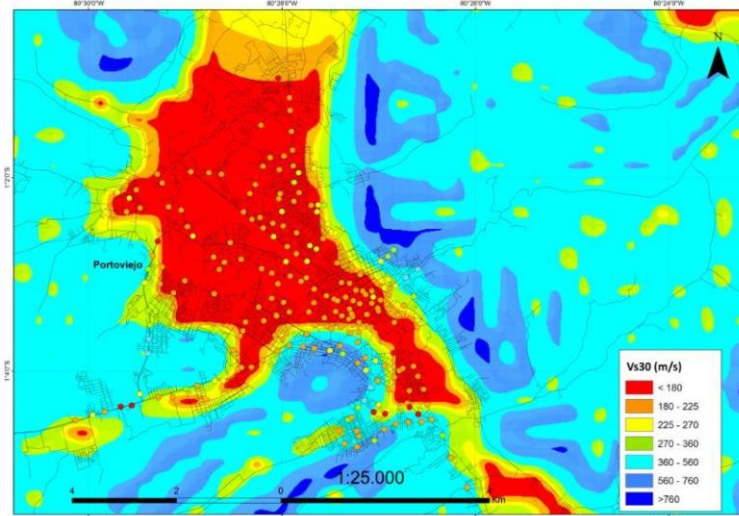


Figura 36. Modelo simplificado Vs30 del estudio de microzonificación de Portoviejo (IGEPN & FUNVISIS, 2017).

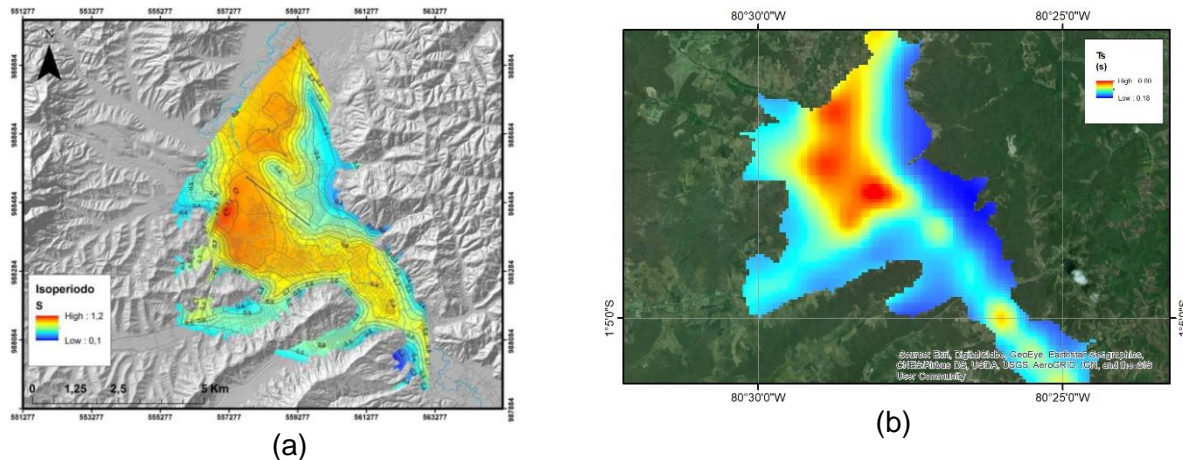


Figura 37. Comparación de la distribución del periodo fundamental del suelo: (a) Estudio de microzonificación de Portoviejo (IGEPN & FUNVISIS, 2017), (b) modelo simplificado Vs30.

3.4 MODELO DE AMENAZA SÍSMICA EN SUPERFICIE

3.4.1 Metodología para evaluar la amenaza sísmica en superficie

Para obtener la distribución de aceleración en superficie para diferentes ordenadas espectrales se emplea la metodología desarrollada por Yamin et al. (2018). En esta se propone la conformación de una malla de cálculo para integrar los resultados de la amenaza sísmica en roca con los efectos de sitio a nivel nacional, lo que permite obtener espectros de aceleración en superficie para cada punto de análisis. Los espectros de respuesta a nivel de la superficie del terreno se obtienen mediante el siguiente procedimiento aplicado a cada punto en el área de estudio:

1. Seleccionar el punto de análisis mediante coordenadas geográficas y/o planas dentro del área de estudio.

2. Obtener el espectro de respuesta de aceleraciones en roca correspondiente y definir el PGA (en inglés de “Peak Ground Acceleration”) o aceleración para $T_e = 0.0$ s del punto de análisis a partir de los resultados obtenidos en el modelo de amenaza sísmica en roca.
3. De acuerdo con lo anterior, seleccionar el nivel de intensidad de análisis con base en el PGA del espectro de respuesta en roca, utilizando el siguiente criterio:
4. Obtener los factores de amplificación espectral en el punto de análisis, de acuerdo con la zona de amplificación, y el nivel de intensidad (PGA) para el punto de análisis.
5. Calcular el espectro de respuesta en aceleración en superficie, multiplicando el espectro obtenido a nivel de basamento rocoso por el factor de amplificación espectral seleccionado. Este proceso se realiza para todas las ordenadas espectrales. En dicho proceso se hace un tratamiento de incertidumbres asociadas a cada parámetro.

En la Figura 38 se presenta un resumen de la metodología empleada para el cálculo de la amenaza es superficie.

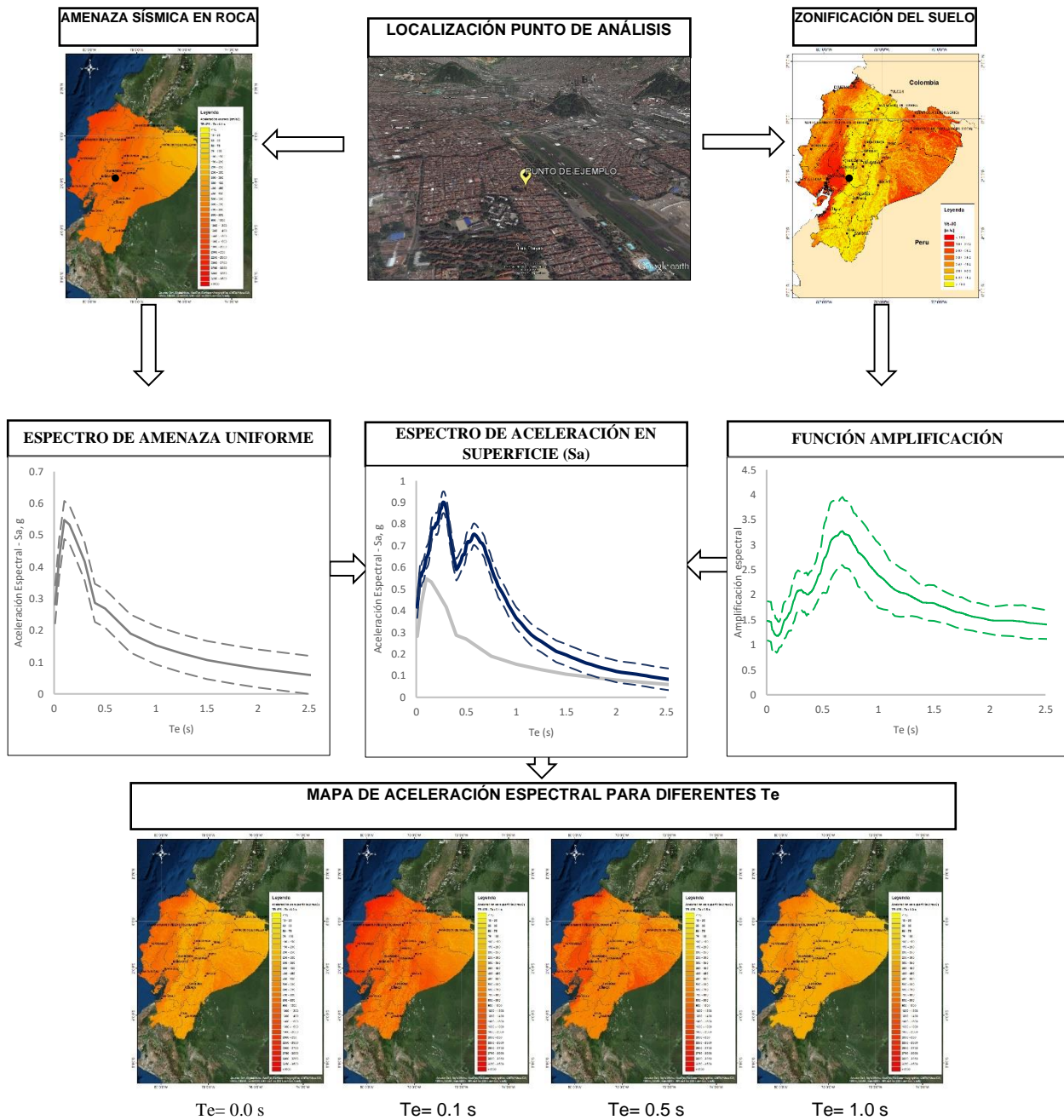
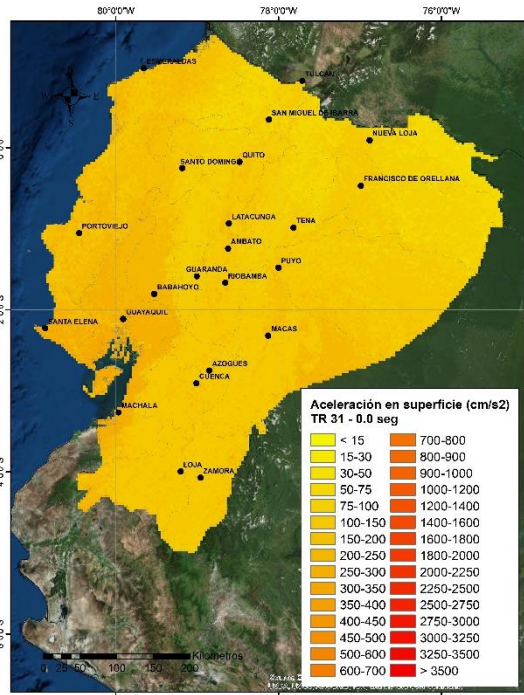


Figura 38. Procedimiento para la obtención de los espectros de aceleración en superficie (Yamín et al., 2018).

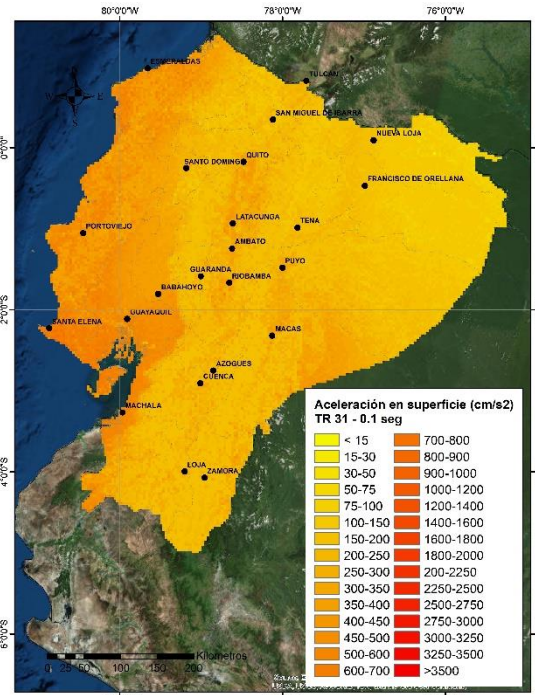
3.4.2 Mapas de aceleración en superficie

Se evaluó la amenaza sísmica en superficie para todo Ecuador siguiendo la metodología establecida. Esto permitió la generación de mapas en superficie para diferentes periodos de retorno (alrededor de 30, 200, 500, 1000, y 2500 años) las cuales representan la amenaza sísmica probable en la zona, dadas las características de las fuentes sismo génicas y la amplificación espectral generada por los depósitos de suelo blando. De la Figura 39 a 43 se presenta la distribución espacial de aceleración en superficie para diferentes periodos estructurales y periodos de retorno (alrededor 30, 200, 500, 1000, y 2500 años).

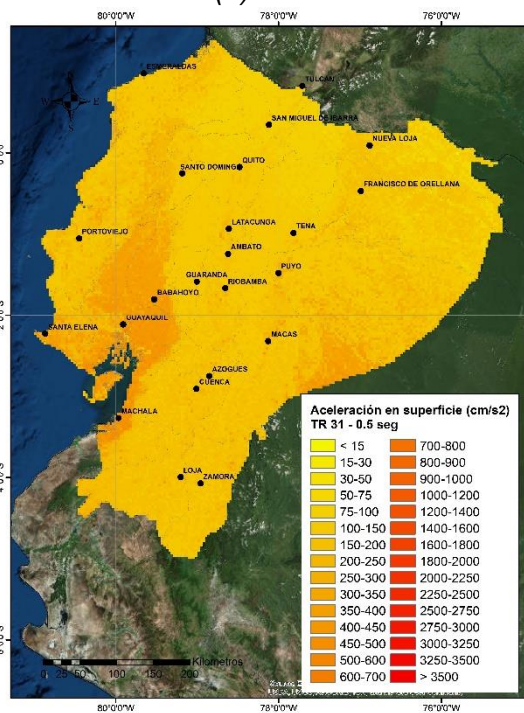
Estos mapas muestran claramente el efecto de los suelos blandos sobre las aceleraciones esperadas en el territorio ecuatoriano. En primer lugar, se evidencia que hay una mayor amplificación en las aceleraciones en las zonas en donde el terreno es más plano (valles y llanuras), lo cual concuerda a grandes rasgos con la ubicación de depósitos de suelos blandos. Esto se observa claramente en las zonas costeras del país. Por otro lado, debido a la presencia de depósitos de suelo blando, las aceleraciones, para el rango de periodos estructurales intermedios y largos (0.5 s y 1.0 s), se amplifican considerablemente.



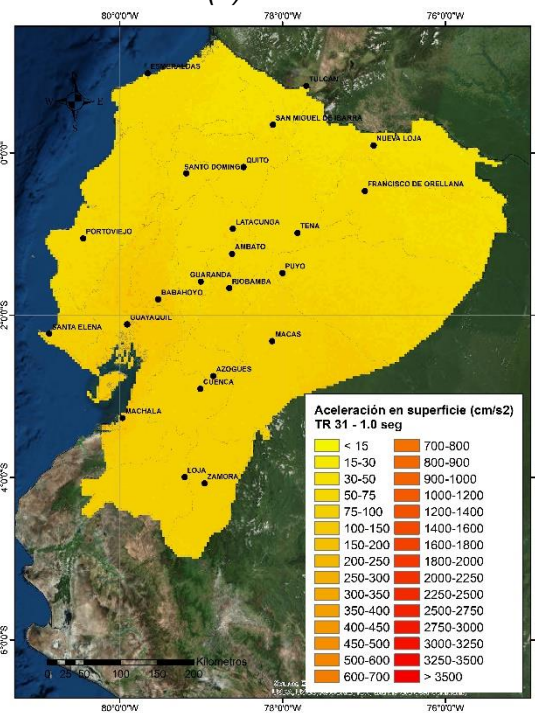
(a) $T_e = 0 \text{ s}$



(b) $T_e = 0.1 \text{ s}$

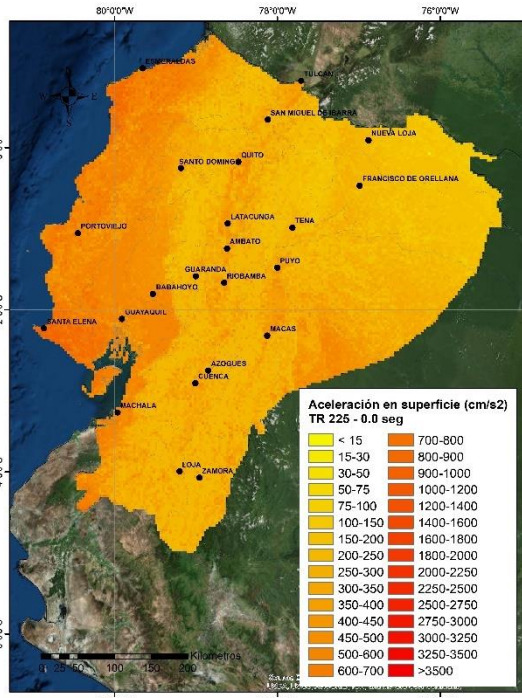


(c) $T_e = 0.5 \text{ s}$

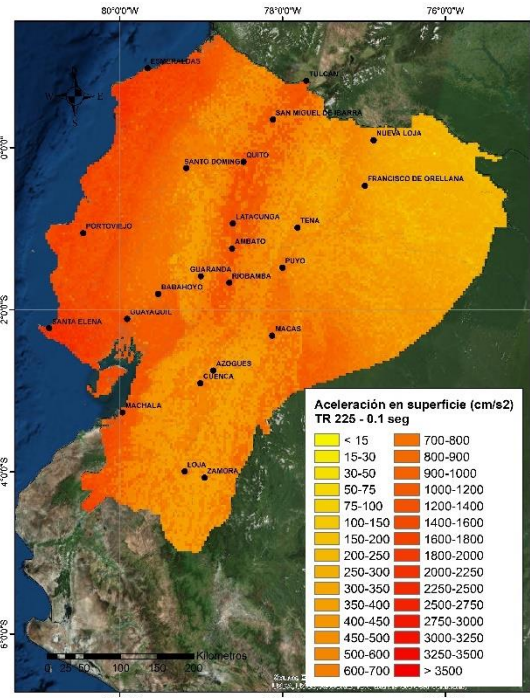


(d) $T_e = 1 \text{ s}$

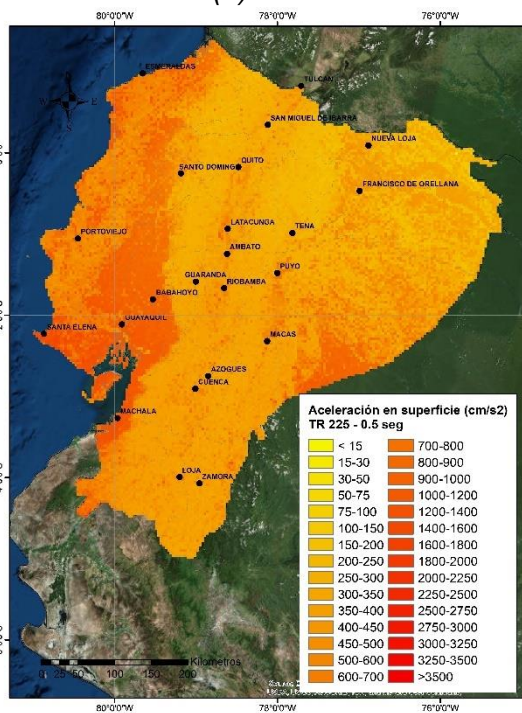
Figura 39. Distribución de la aceleración espectral en superficie (cm/s²) para un periodo de retorno alrededor de los 30 años.



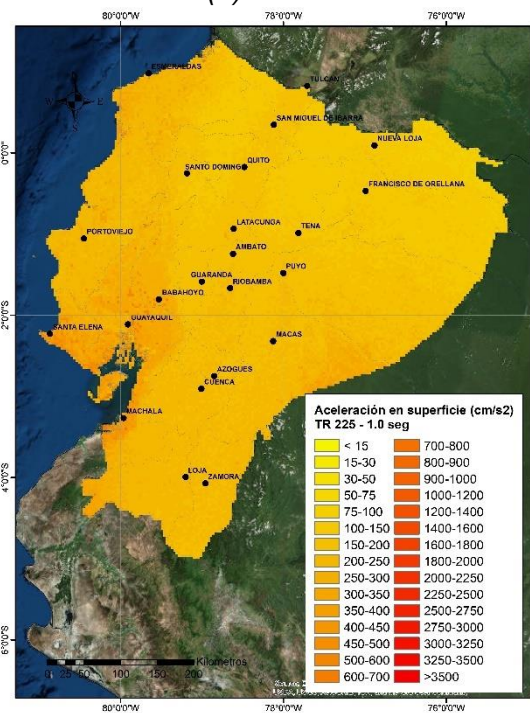
(a) $T_e = 0 \text{ s}$



(b) $T_e = 0.1 \text{ s}$

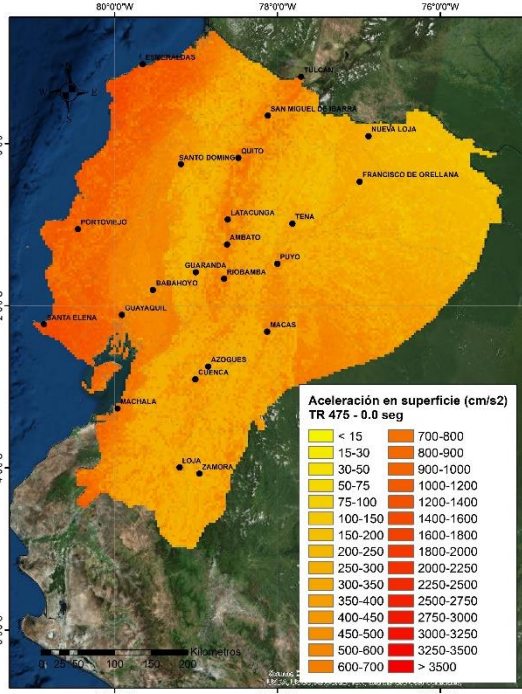


(c) $T_e = 0.5 \text{ s}$

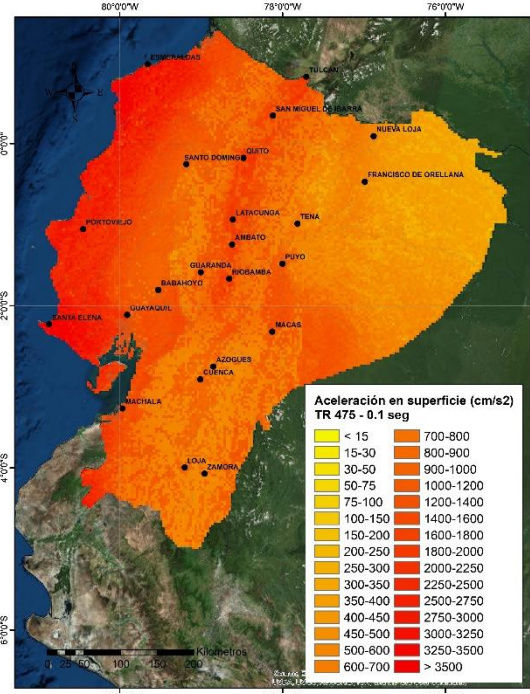


(d) $T_e = 1 \text{ s}$

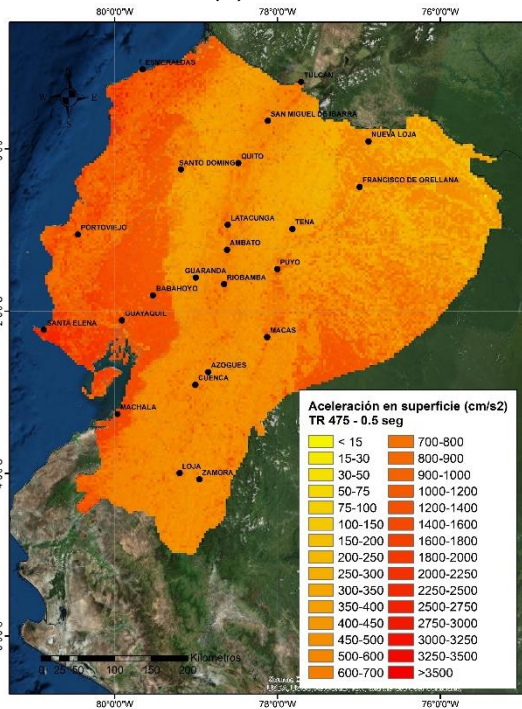
Figura 40. Distribución de la aceleración espectral en superficie (cm/s²) para un periodo de retorno alrededor de los 200 años.



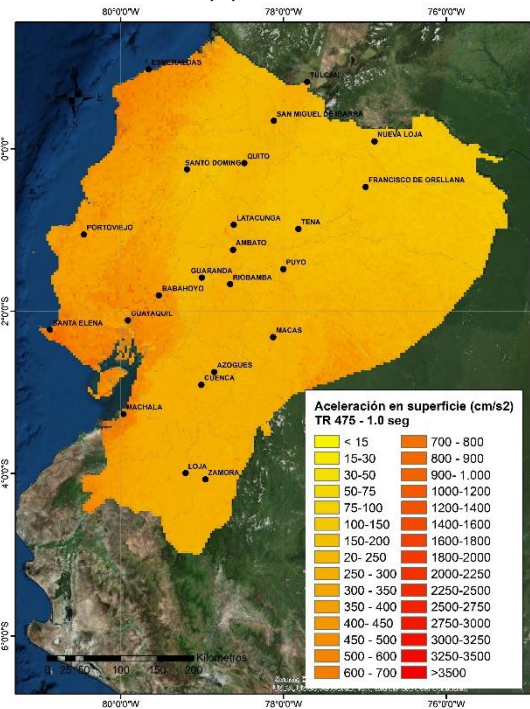
(a) $T_e = 0 \text{ s}$



(b) $T_e = 0.1 \text{ s}$

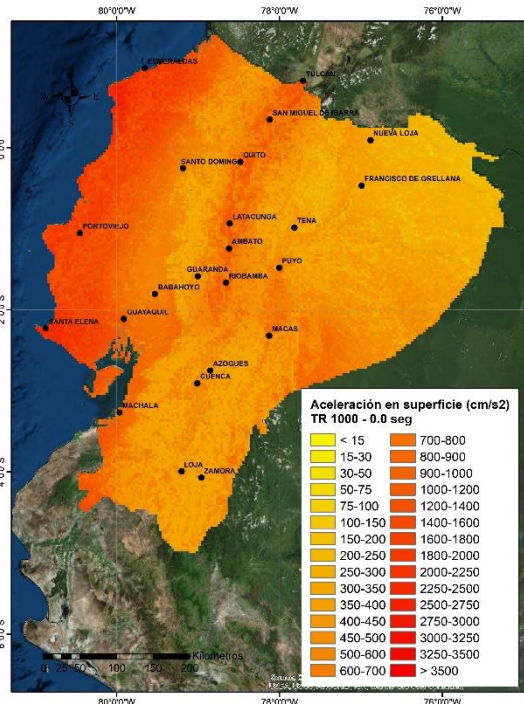


(c) $T_e = 0.5 \text{ s}$

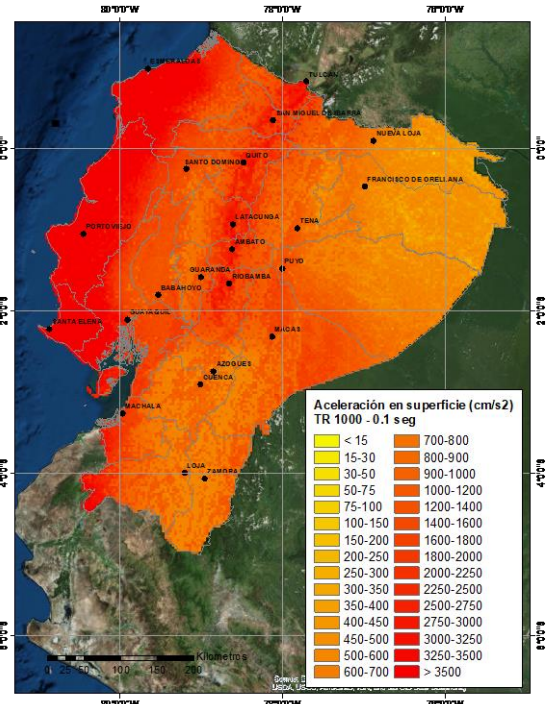


(d) $T_e = 1 \text{ s}$

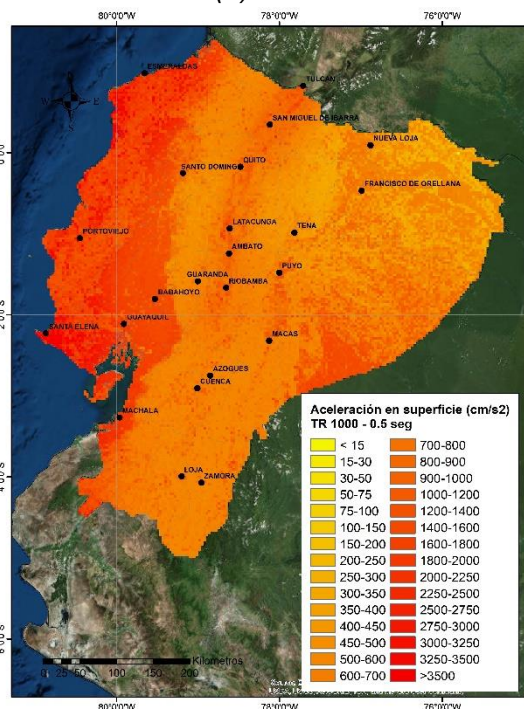
Figura 41. Distribución de la aceleración espectral en superficie (cm/s²) para un periodo de retorno alrededor de los 500 años.



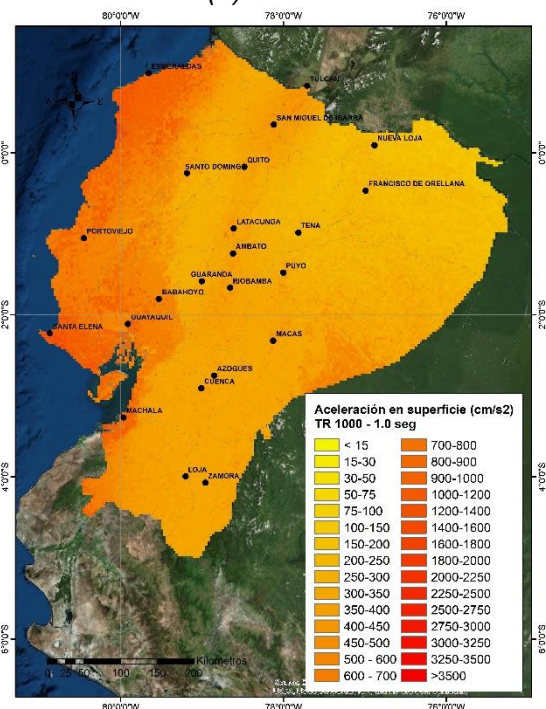
(a) $T_e = 0 \text{ s}$



(b) $T_e = 0.1 \text{ s}$

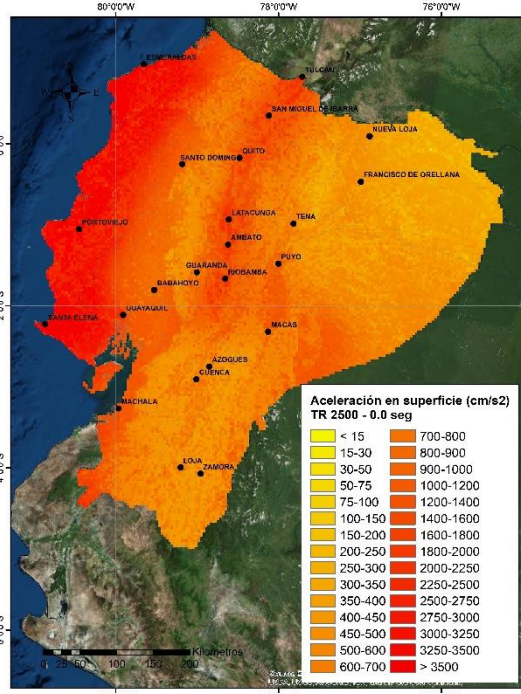


(c) $T_e = 0.5 \text{ s}$

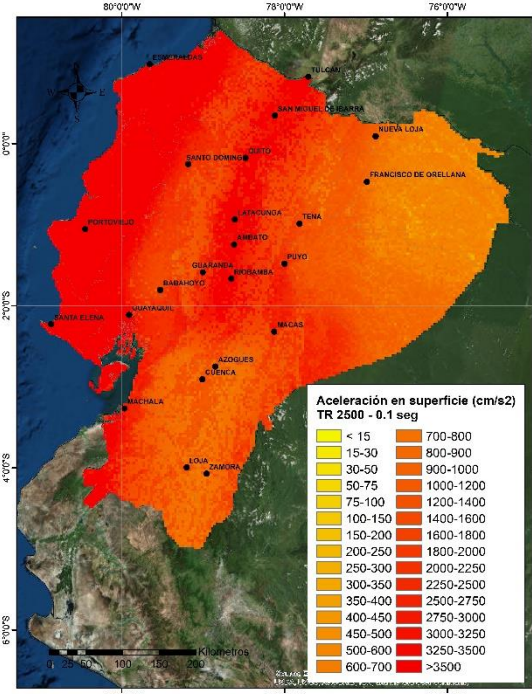


(d) $T_e = 1 \text{ s}$

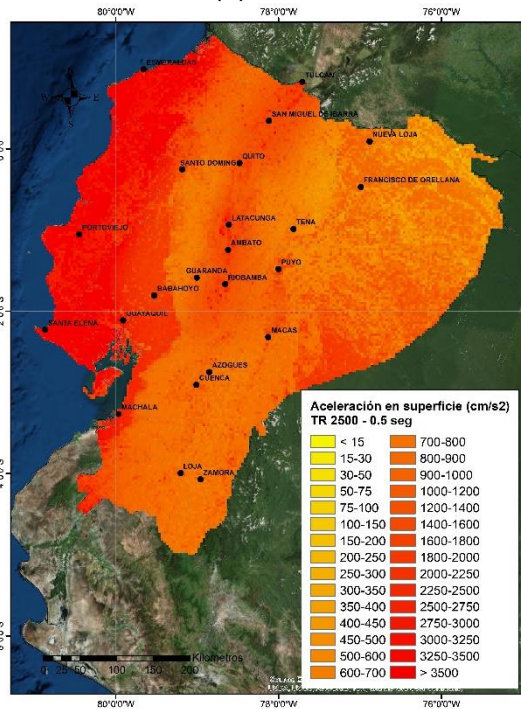
Figura 42. Distribución de la aceleración espectral en superficie (cm/s²) para periodo de retorno alrededor de los 1000 años.



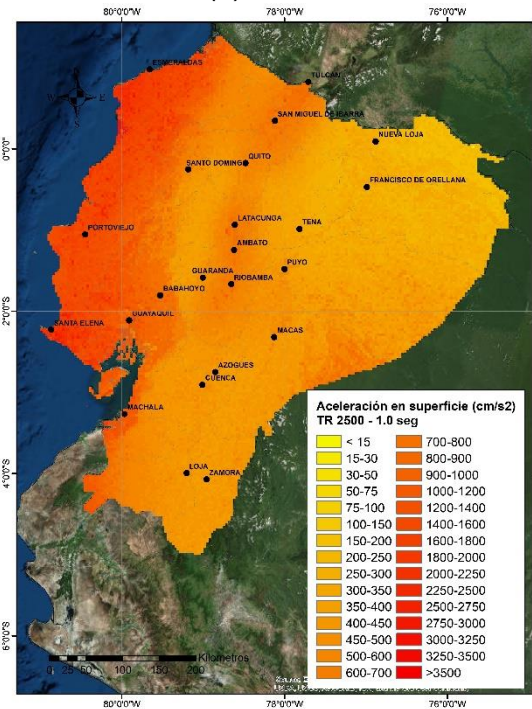
(a) $T_e = 0 \text{ s}$



(b) $T_e = 0.1 \text{ s}$



(c) $T_e = 0.5 \text{ s}$



(d) $T_e = 1 \text{ s}$

Figura 43. Distribución de la aceleración espectral en superficie (cm/s²) para un periodo de retorno alrededor de los 2500 años.

3.5 VALIDACIÓN DEL MODELO ESTOCÁSTICO DE AMENAZA PROPUESTO

3.5.1 Características del modelo estocástico de amenaza

La amenaza sísmica probabilista se puede representar mediante un conjunto de eventos estocásticos independientes, consistente con la tasa de recurrencia de eventos sísmicos del país. El modelo estocástico de amenaza sísmica generado para efectos de las evaluaciones del riesgo sísmico se caracteriza por los siguientes eventos:

- Número total de eventos: 32274
- Magnitud mínima: 5.1
- Magnitud máxima 8.4

Dependiendo del mecanismo de falla, se generan eventos para distintos rangos de profundidad asociada a la profundidad de las fuentes sismogénicas. En general se tienen los siguientes rangos de profundidad:

- Eventos de subducción-interfase: Profundidad entre 10 y 50 km
- Eventos de subducción-intraplaca: Profundidad entre 50 y 300 km
- Eventos corticales: Profundidad entre 5 y 30 km

En la Figura 44 se presenta la ubicación de los eventos estocásticos que representan la amenaza sísmica.

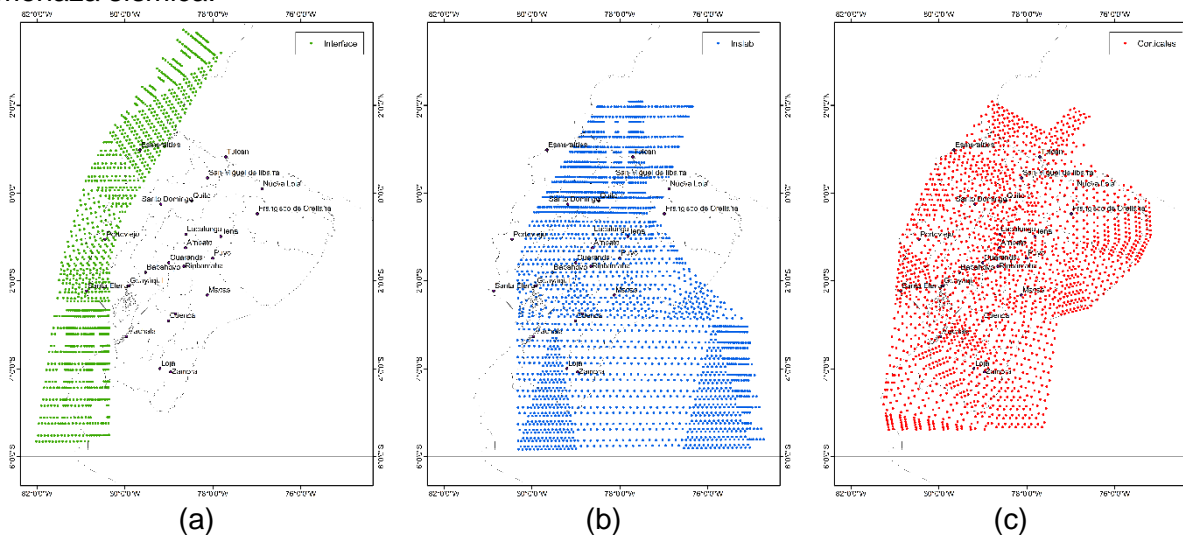


Figura 44. Eventos estocásticos generados para cada régimen tectónico: (a) Subducción-Interface, (b) Subducción-Intraplaca, (c) Corticales.

En la Figura 45 se presentan la curva de recurrencia de eventos obtenida a partir de los eventos estocásticos y la correspondiente al catálogo sísmico histórico depurado (ver numeral 4.2.1). La correspondencia entre la recurrencia de eventos estocásticos generados y la curva de recurrencia del catálogo sísmico histórico confirma la validez del modelo estocástico para simular los escenarios de riesgo.

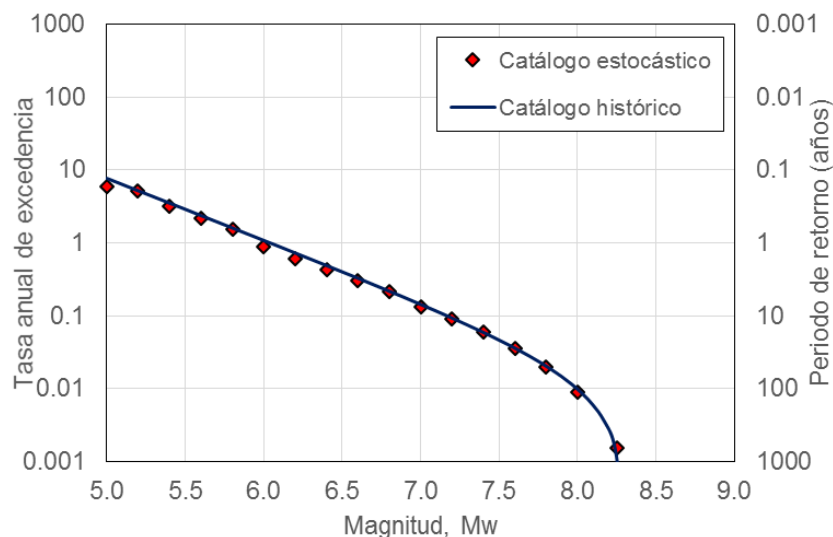


Figura 45. Recurrencia de eventos el catálogo sísmico histórico y el catálogo estocástico.

De esta información se confirma que para el país se esperan las siguientes recurrencias de magnitudes de sismos importantes:

- $M > 8.0$ con un periodo de retorno aproximado de 110 años
- $M > 7.5$ con un periodo de retorno aproximado de 24 años
- $M > 7.0$ con un periodo de retorno aproximado de 8 años

En la Figura 46 se presenta como ejemplo, algunos eventos estocásticos de diferentes magnitudes generados en el modelo de amenaza, en donde se evidencia la distribución de aceleraciones para cada evento.

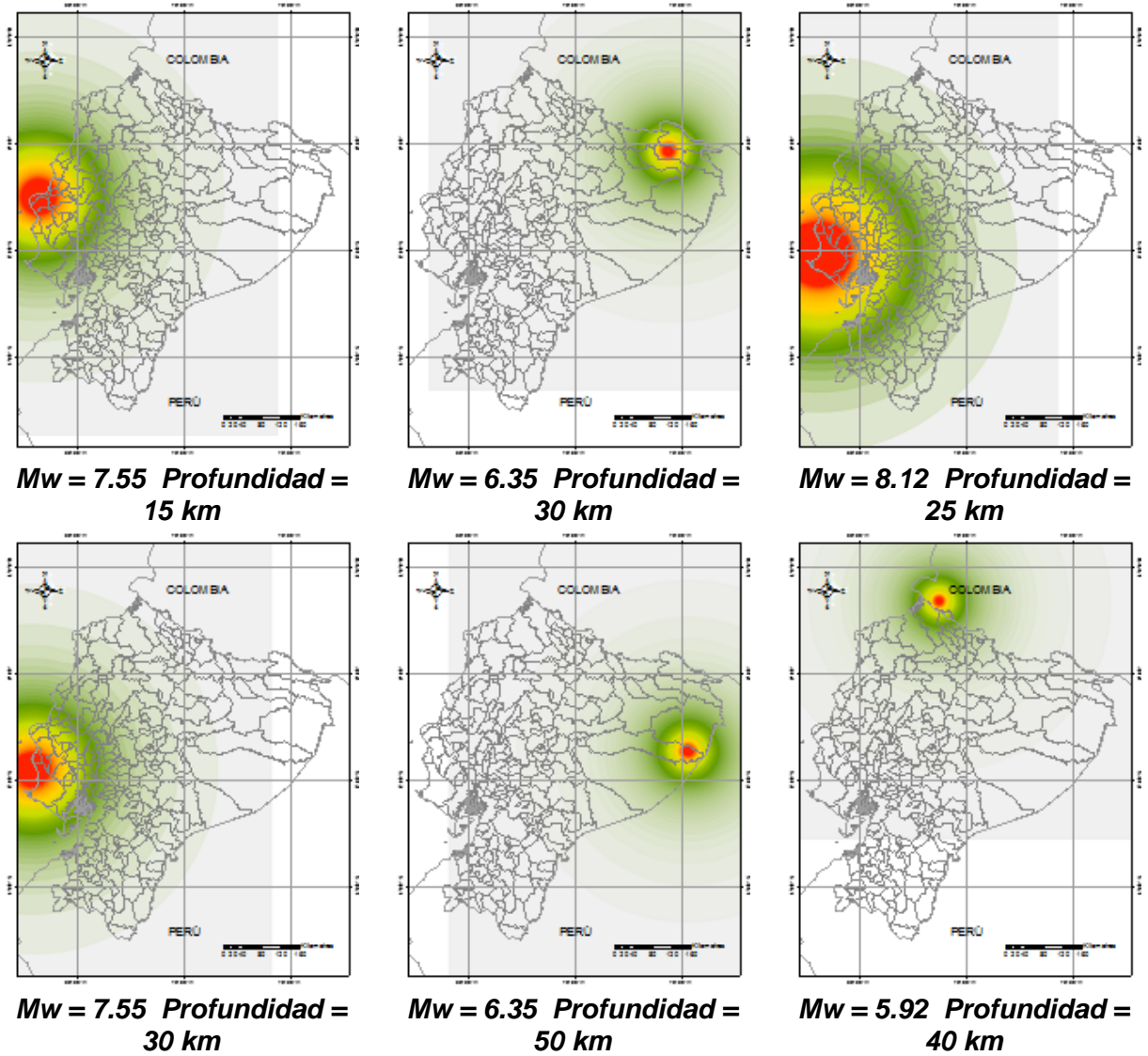


Figura 46. Distribución de aceleraciones para eventos estocásticos indicativos.

3.5.2 Registros del sismo del 16 de abril de 2016

Considerando la incertidumbre asociada a la modelación y generación de los parámetros de amenaza sísmica, es necesario validar el modelo propuesto frente a registros reales con el fin de garantizar que este represente las características sismogénicas del Ecuador y tener así un sentido real de la incertidumbre del modelo. El sismo del 16 de abril de 2016 fue registrado por varias estaciones acelerográficas a lo largo del país en roca firme y suelo blando (Figura 47), por lo tanto se utilizó como información base para realizar los procesos de validación.

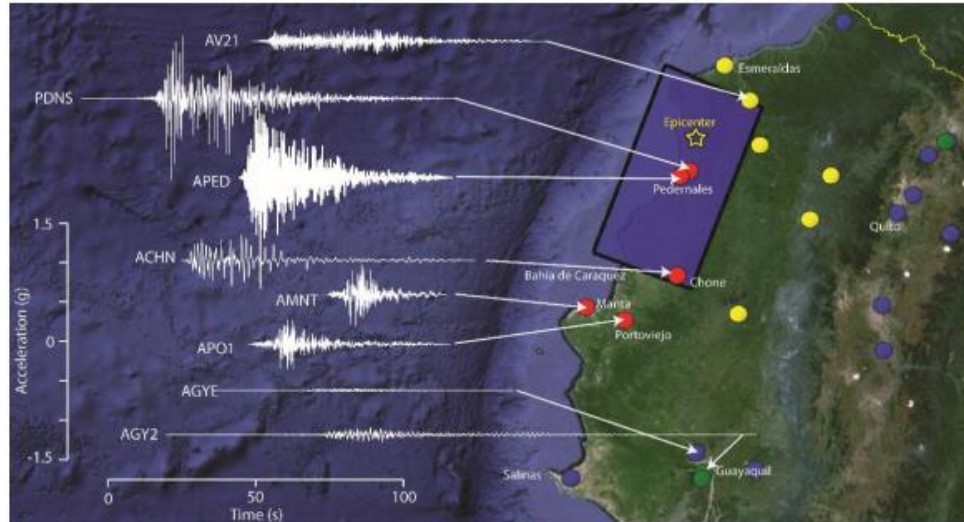


Figura 47. Estaciones acelerográficas. (GEER & ATC, 2016). Registros base del IGEPN – Roberto Luque, 2016

En la Tabla 13 se presenta un resumen de las estaciones que registraron el evento, así como el PGA obtenido en las dos componentes horizontales, y la media geométrica de estas. La estación ubicada en Pedernales es la que presenta el mayor registro de aceleraciones, mayor a 1.0 g lo cual es consecuente con los registros oficiales que se tienen de daños. Los registros también dejan ver que el sismo se sintió a lo largo del país, ya que, en ciudades ubicadas al sur como Guayaquil y Cuenca, las aceleraciones llegan hasta 0.02 g. Adicionalmente, en Portoviejo la aceleración en suelos blandos fue del orden de 0.4 g lo cual indica que la sollicitación sísmica fue cercana al valor establecido por la NEC-15, que establece un valor de 0.5 g. Esto explica que los daños ocurridos en este cantón hayan sido importantes, en especial en edificaciones catalogadas como vulnerables.

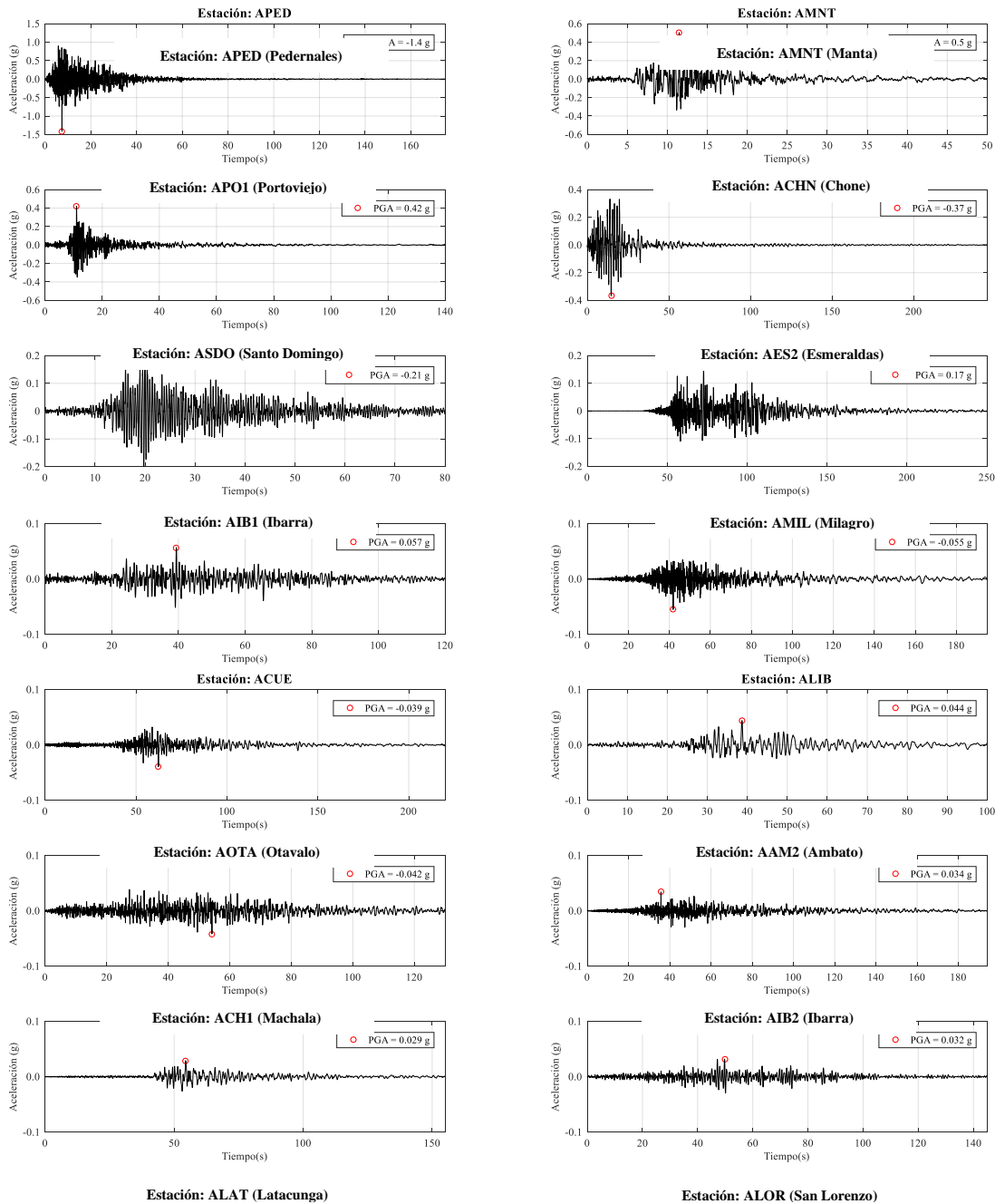
Tabla 13. Estaciones con registros del sismo del 16 de abril

Código Estación	Cantón	Tipo Suelo (ASCE 7-10)	PGA H1(g)	PGA H2(g)	PGA H _{GEOM} (g)
APED	Pedernales	D	1.41	0.83	1.08
AMNT	Manta	C	0.43	0.5	0.46
APO1	Portoviejo	D	0.35	0.42	0.38
ACHN	Chone	D	0.3	0.37	0.33
ASDO	Santo Domingo	-	0.21	0.11	0.15
AES2	Esmeraldas	-	0.17	0.11	0.14
AIB1	Ibarra	-	0.05	0.06	0.05
AMIL	Milagro	-	0.06	0.05	0.05
ACUE	Cuenca	-	0.04	0.03	0.04
ALIB	La Libertad	C	0.04	0.04	0.04
AOTA	Otavalo	-	0.04	0.03	0.04
AAM2	Ambato	-	0.03	0.03	0.03
ACH1	Machala	-	0.03	0.03	0.03
AIB2	Ibarra	-	0.02	0.03	0.03
ALAT	Latacunga	-	0.03	0.03	0.03
ALOR	San Lorenzo	-	0.03	0.03	0.03
AGYE	Guayaquil	A	0.02	0.02	0.02

Tabla 13. Estaciones con registros del sismo del 16 de abril

Código Estación	Cantón	Tipo Suelo (ASCE 7-10)	PGA H1(g)	PGA H2(g)	PGA H _{GEOM} (g)
ALJ1	Loja	-	0.01	0.02	0.02
ATUL	Tulcán	-	0.02	0.02	0.02
EPNL	Quito	-	0.03	0.02	0.02
PRAM	Quito	-	0.03	0.02	0.02

La Figura 48 presenta los registros observados en cada una de estas estaciones.



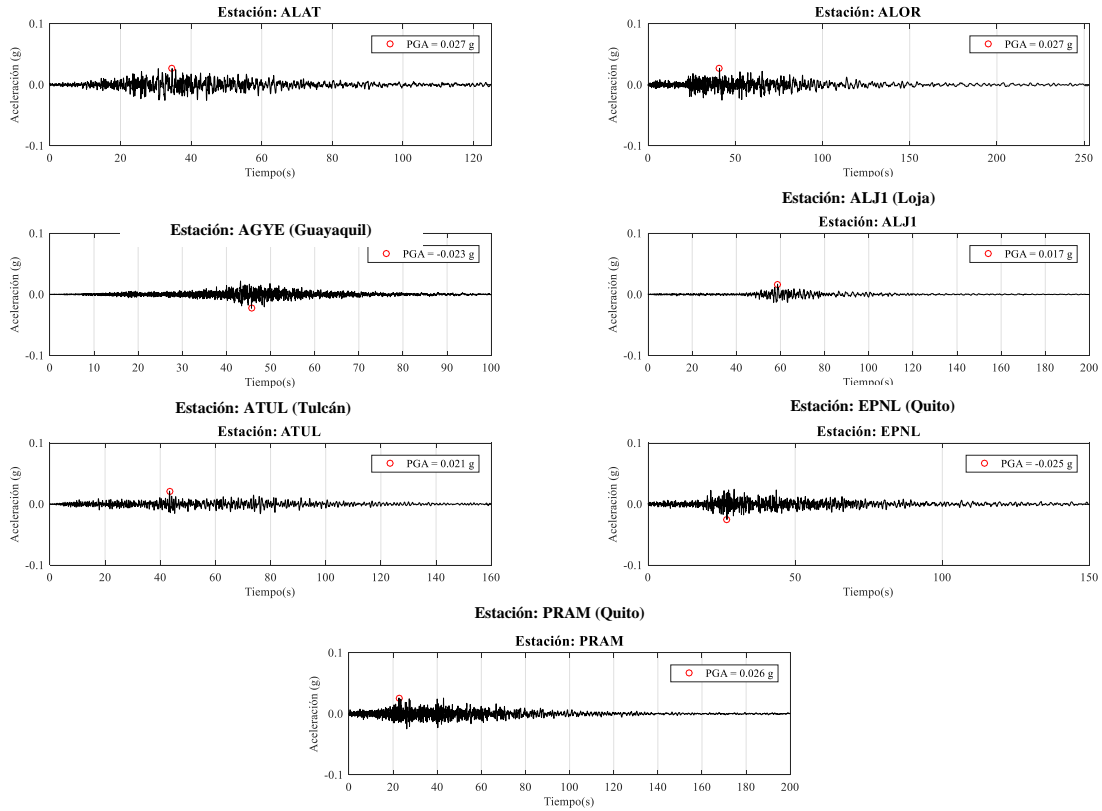


Figura 48. Registros acelerográficos del sismo de Pedernales.

3.5.3 Modelación del evento estocástico representativo

La representación de los efectos del sismo de pedernales se realizó a partir de un evento estocástico de similares características en cuanto a la ubicación y magnitud de este. La aceleración espectral en roca y superficie fueron calculadas para los diferentes puntos de análisis en el país, usando los parámetros de atenuación y de amplificación espectral del suelo. En la Figura 49 se puede ver la distribución de la aceleración máxima en terreno (PGA) a lo largo del país, a partir del evento estocástico modelado.

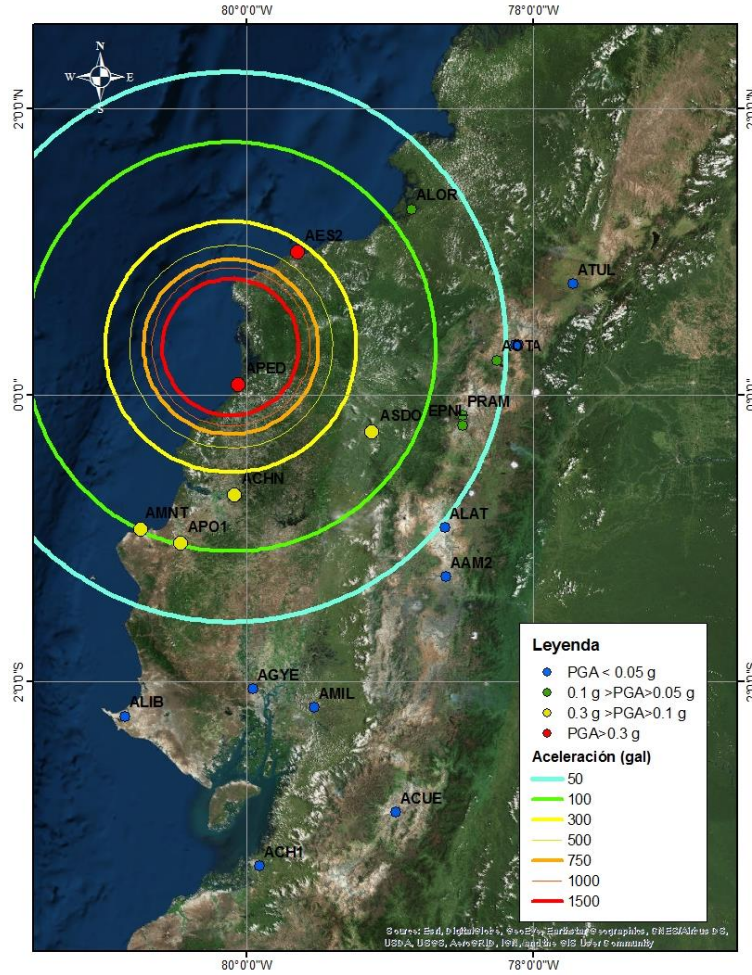
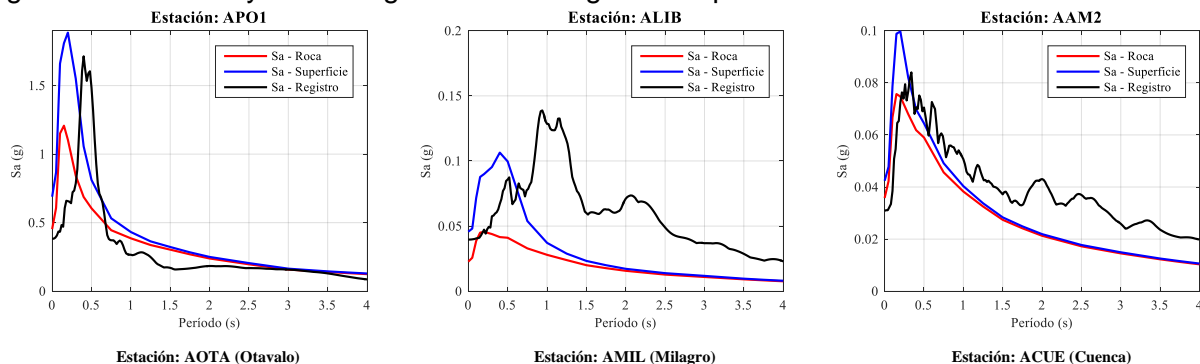


Figura 49. Evento estocástico representativo al sismo del 16 de abril de 2016.

Con base en la distribución de aceleraciones espectrales del evento estocástico y al modelo Vs-30 de efectos de sitio, se calcularon los espectros de aceleración tanto en roca como en superficie en los puntos ubicados en las estaciones acelerográficas. Estos se compararon con los espectros de aceleración calculados a partir de los registros acelerográficos, permitiendo determinar qué tan acertado es la representación del sismo real a partir del modelo propuesto. En la Figura 50 se presenta la comparación de los resultados del modelo frente a los espectros resultantes de los registros acelerográficos.

En la Figura 50 se observa que el modelo arroja resultados de aceleración espectral que siguen la tendencia y la forma general a los registrados por las estaciones.



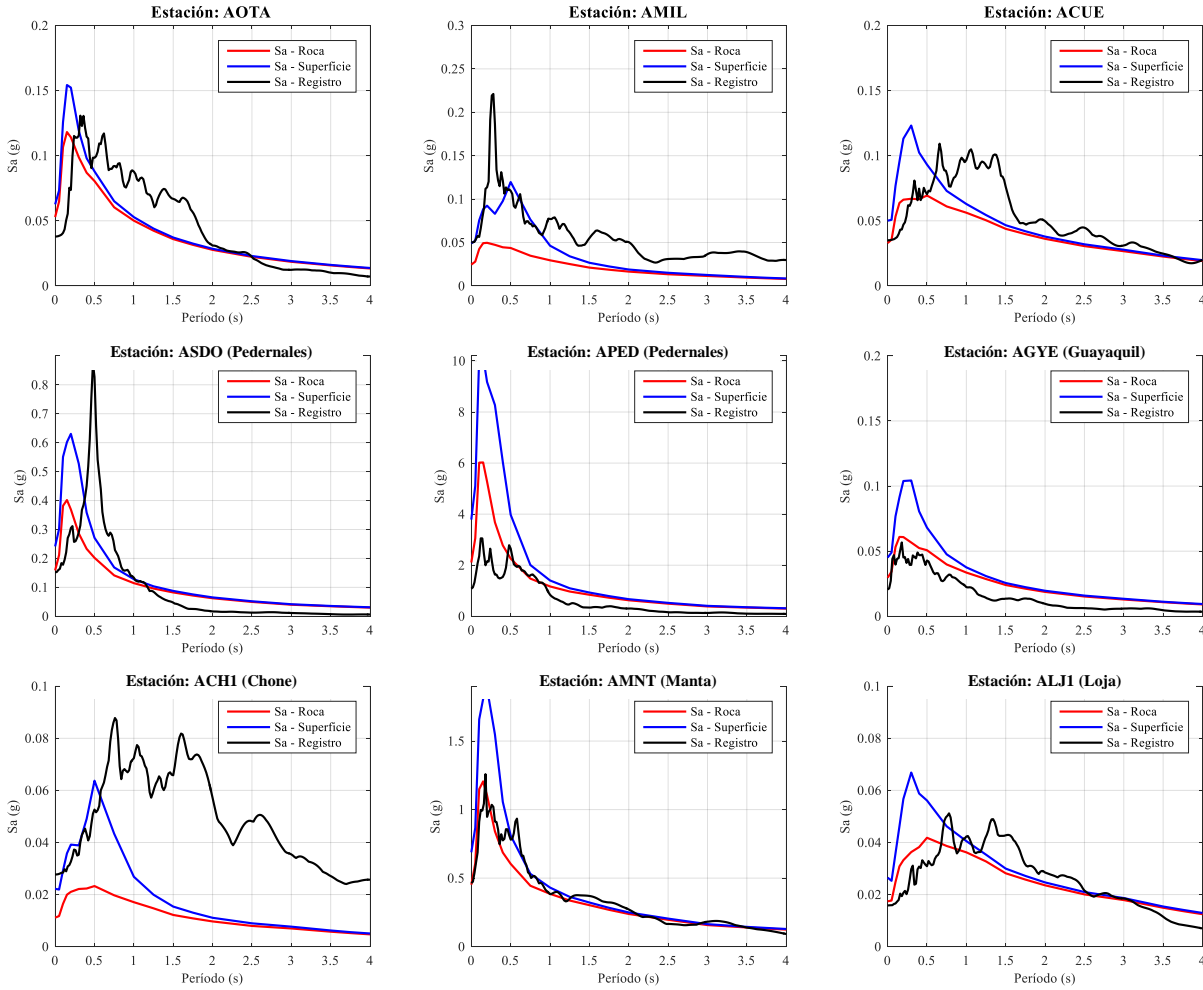


Figura 50. Comparación de los espectros de aceleración resultantes frente a los registrados.

Como se observa, existe una gran concordancia entre lo arrojado por el modelo y lo registrado en las estaciones de APO1, AAM2, AOTA, AMIL, salvo algunos picos de aceleración particulares en algunos casos. En estaciones como ACUE, ASDO, AGYE, AMNT, y ALJ1 aunque se observan algunas diferencias en aceleraciones y las formas espectrales resultantes, las tendencias siguen siendo similares. Finalmente, en ALIB, APED, ACH1 se observa una diferencia importante en los espectros de aceleración obtenidos por el modelo frente a los registrados. Estas diferencias se atribuyen a efectos sísmicos locales tales como amplificaciones por efectos de sitio o efectos topográficos locales o porque en algunos casos el nivel de resolución de los análisis no permite ubicar la estación en el mismo perfil de suelo en el que se encuentra en la realidad. Sin embargo, es de esperarse que dadas las particularidades de un evento sísmico en algunos puntos no se tengan resultados completamente satisfactorios.

En general el modelo representa adecuadamente los espectros registrados tras el sismo del 16 de abril de 2016, sin embargo, existen algunas diferencias importantes en los valores de aceleración espectral obtenidos frente a las mediciones de algunas estaciones. Diferencias que se explican a partir de lo siguiente:

- La incertidumbre asociada a la evaluación de la amenaza sísmica no permite captar adecuadamente las particularidades de un evento sísmico

- El modelo de efectos de sitio V_{s30} es una aproximación a las características particulares de cada zona, por lo tanto, puede haber diferencias en la respuesta en amplificación generada en las estaciones frente al modelo.
- Pueden existir errores en los registros tomados en las estaciones cercanas al evento ya que presentan picos únicos con valores de amplitud que exceden de manera importante la tendencia general del movimiento sísmico.

Basado en lo anterior, se determina que los resultados obtenidos con el modelo son satisfactorios para efectos de estimar los niveles de amenaza por eventos sísmico-fuertes como el sismo de Pedernales de 2016 y por lo tanto representará de manera adecuada la amenaza para efectos de la evaluación del riesgo de edificaciones y de componentes de infraestructura.

3.5.4 Comparación de resultados con otros modelos publicados

Los resultados del modelo desarrollado se comparan con otros modelos publicados para efectos de verificar la consistencia entre los mismos. Al respecto se hace referencia a las siguientes publicaciones:

- Ref. 1:** A New Seismic Hazard Model for Ecuador (Beauval et al., 2018).
- Ref. 2:** Desarrollos metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador continental y estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Quito (Parra, 2016)
- Ref. 3:** Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15)

De estas publicaciones se han extractado los mapas finales resultantes de PGA a 475 años los cuales se incluyen en la Figura 51.

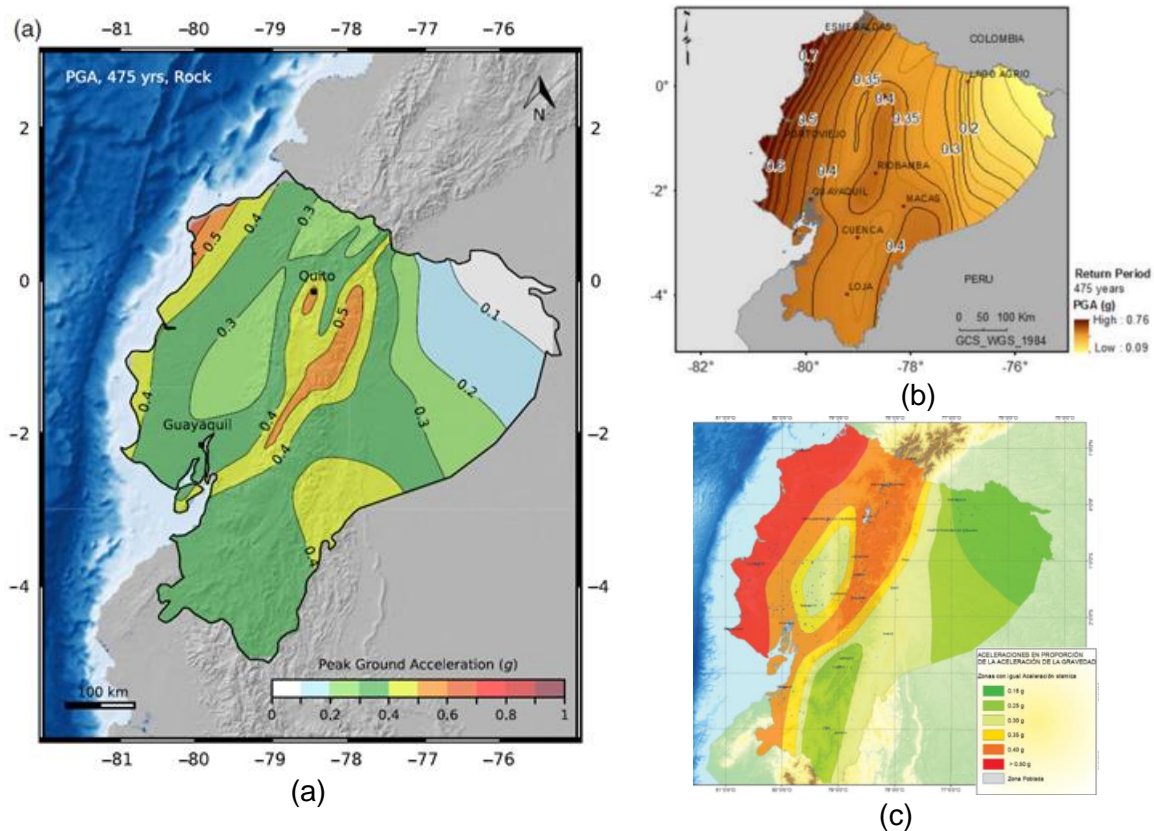


Figura 51. Mapas de amenaza sísmica en PGA para 475 años de periodo de retorno a) Ref.1, b) Ref.2, c) Ref.3.

Con respecto a la Ref 1, esta tiene un carácter puramente investigativo con lo cual en este se estudian no solo los valores medios que resultan del modelo de amenaza sísmica probabilista, sino que se evalúan las incertidumbres asociadas. De esta manera los valores reportados no son únicos, sino que se presentan diferentes opciones de resultados de PGA a 475 años. En la Ref. 2 que corresponde también a un estudio de carácter investigativo se reportan valores superiores a los de la Ref. 1 especialmente en la zona costera. Finalmente, el mapa de amenaza sísmica adoptado por la norma NEC presenta resultados relativamente más altos que los anteriores dos modelos, indicando la naturaleza conservadora de las especificaciones de diseño.

En la Figura 52 se incluyen algunos de los mapas propuestos por la Ref. 1 ilustrando el grado de variabilidad en los resultados de estos modelos.

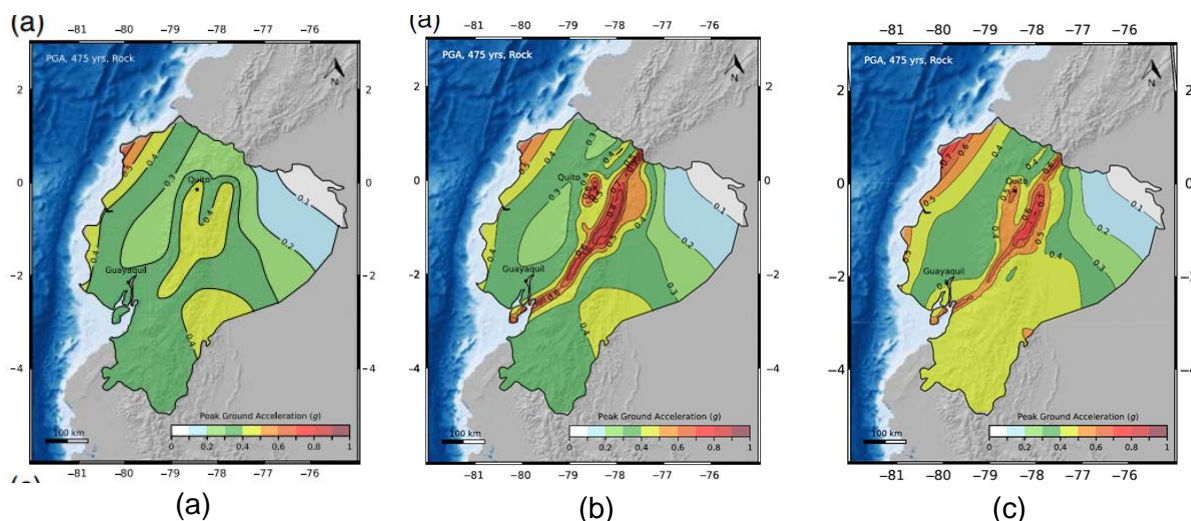


Figura 52. Mapas de amenaza sísmica en PGA reportados para diferentes condiciones: a) Media de aceleración del modelo de Áreas y el árbol completo de modelos de atenuación, b) Media de aceleración para el modelo de tasas de deslizamiento geodético, c) Media de aceleración

Por otro lado se ha graficado el mapa de PGA a 475 años obtenido del modelo desarrollado en el presente proyecto con las mismas escalas de colores de los mapas anteriormente presentados y se comparan con el mapa de aceleración media del modelo lógico completo propuesto en la Ref. 1 (ver Figura 53).

Adicionalmente a lo anterior se comparan los resultados dados por la Ref 1 con respecto a los rangos de valores dados en las tres ciudades más representativas en cuanto a concentración del riesgo. En esta figura tomada de la referencia 1 se incluyen los resultados equivalentes obtenidos en el modelo planteado en el presente estudio en línea continua y se adicionan además los resultados en línea punteada dados por las normas NEC y en línea rayada los resultados equivalentes de la Ref.2.

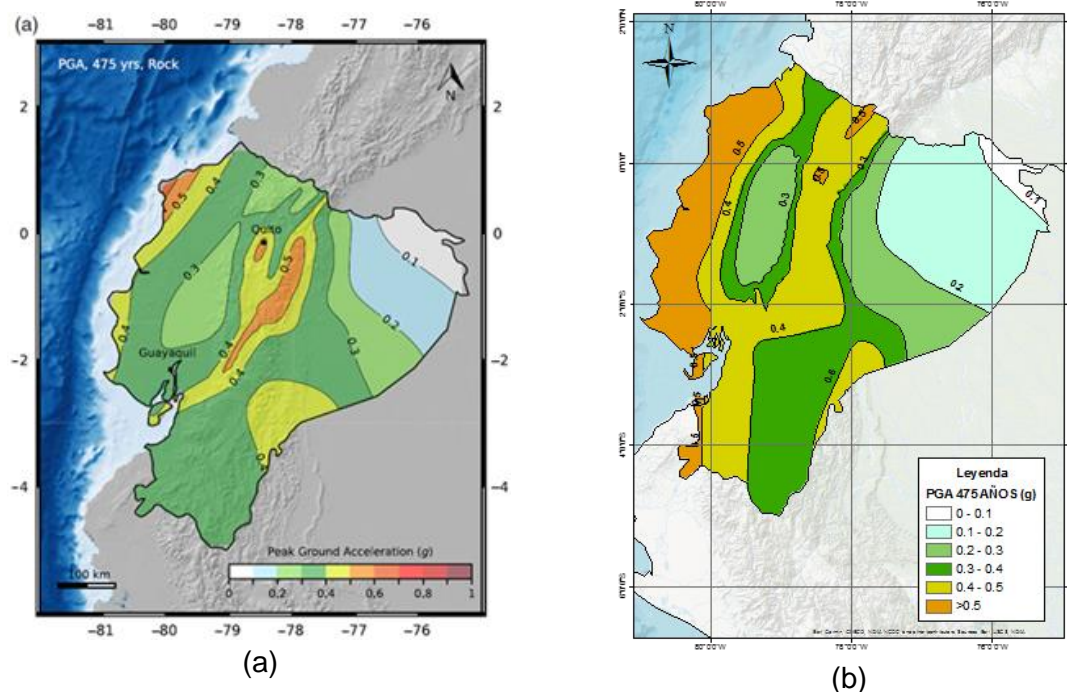


Figura 53. Mapas de amenaza sísmica en PGA para 475 años de periodo de retorno a) modelo Ref.1, b) modelo propuesto en el presente estudio.

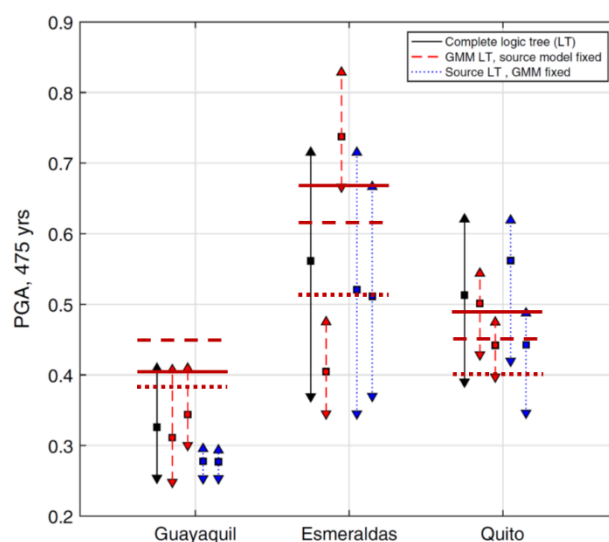


Figura 54. Comparación de los resultados Ref 1 frente a los demás modelos, para tres ciudades más representativas en cuanto al riesgo sísmico

Con base en las anteriores comparaciones y análisis se plantean las siguientes conclusiones:

- a) Existen en el Ecuador diferentes modelos de amenaza probabilistas publicados que arrojan resultados con cierta variabilidad con lo cual no puede establecerse que uno u otro modelo tiene mayor validez. En particular el mapa de aceleraciones propuesto para la normativa NEC propone valores superiores a los valores medios propuestos por los diferentes modelos indicando con esto el carácter conservador de la normativa de diseño.

- b) El modelo del presente proyecto arroja resultados que coinciden con los rangos superiores de variabilidad en los diferentes modelos revisados. Por lo tanto, se pueden considerar que estos están en el lado conservador considerando las altas variaciones indicadas por todos los modelos disponibles. En particular el modelo propuesto considera aceleraciones más altas en la zona costera (por la influencia de la zona de subducción) en concordancia con el mapa de la norma y de la Ref.2, más no de la Ref. 1 la cual propone en esta zona un valor significativamente más bajo.

Finalmente, de acuerdo con la metodología adoptada en el presente estudio, es posible replicar el estudio de estimación del riesgo sísmico incorporando otro modelo de amenaza probabilista tal como el de Beavual et al (2018) o cualquier otro que se decida adoptar como oficial, utilizando para el efecto la plataforma libre CAPRA (www.ecapra.org)

3.6 CONCLUSIONES

Del proceso de recopilación de información, se concluye lo siguiente:

- a) Se hizo una revisión del estado de la literatura y estudios anteriores, como referencia para el estudio de amenaza y riesgo sísmico para Ecuador. Dentro de esta revisión se recopiló información concerniente a catálogos sísmicos y fuentes sísmicas, así como estudios particulares de efectos de sitio lo cual permitió desarrollar un modelo de amenaza sísmica acorde a la información disponible más reciente.
- b) Se realizaron las consultas con las entidades públicas en Ecuador por medio de la Secretaría de Gestión del Riesgo (SGR), con el fin de recopilar información y datos sobre los componentes de infraestructura (Energía, acueductos, transporte, etc.) y sectores (Residencial, educación, salud, etc.) del país.
- c) La recopilación de información en el marco del presente proyecto es sin duda el mayor esfuerzo realizado en coordinación de la SGR para contar con un inventario de información existente en el momento en el país. La base de datos conformada y disponible en la SGR servirá de base para procesos de actualización de la información en el futuro inmediato para cada uno de los sectores y para el país en general.

De la revisión de las pérdidas económicas históricas tras la ocurrencia de eventos sísmicos, se concluye lo siguiente:

- a) En el país se han presentado varios eventos sísmicos que han producido múltiples pérdidas económicas en diferentes provincias del país, siendo la zona norte aquella donde más eventos con grandes pérdidas económicas asociadas se han presentado.

El 16 de abril de 2016 se produjo el terremoto de Pedernales, el cual tuvo un impacto importante para diferentes sectores de la economía. El costo de reconstrucción para los diferentes sectores económicos fue del orden de los US\$ 3,344 millones. Además, se estima que hubo 7,000 edificaciones destruidas y 2,500 afectadas (SENPLADES, 2016). Esto evidencia el gran impacto que tiene este tipo de evento en términos económicos y sociales para el país.

El análisis de la amenaza sísmica para el país de Ecuador arrojó los siguientes resultados:

- a) El modelo de amenaza sísmica desarrollado presente resultados consistentes con los resultados de modelos equivalentes publicados recientemente, estando los resultados del presente modelo del lado de la seguridad. Igual resultado se obtiene al comparar los resultados del modelo propuesto con los mapas de amenaza sísmica establecidos en las normas nacionales para el diseño sismorresistente de edificaciones (NEC-2015).

El país presenta un alto nivel de amenaza sísmica en la zona costera norte ya que es allí donde los procesos de subducción son más activos y donde históricamente se han generado un mayor número relativo de sismos de gran magnitud.

El modelo desarrollado permite incluir los efectos de sitio a nivel nacional utilizando una metodología aproximada basada en modelos de elevación digital del terreno (Vs-30). Este

modelo cuantifica la amplificación espectral de los depósitos de suelo, permitiendo calcular la aceleración resultante en superficie. Esto permite obtener la amenaza sísmica real en superficie y las solicitaciones de aceleración esperadas para las edificaciones e infraestructura del país.

- b) Todos resultados obtenidos y los parámetros de modelación de la amenaza utilizados fueron objeto de revisiones y validaciones frente a estudios anteriores, la norma sísmica vigente (NEC-15), y eventos reales con el fin de producir un modelo que represente adecuadamente la sismicidad del Ecuador. Las validaciones realizadas fueron satisfactorias y se evidencian en la representación del sismo de Pedernales por parte del modelo propuesto, en donde los espectros de aceleración resultantes son aceptablemente similares a los registros reales medidos en estaciones acelerográficas a lo largo del país.
- c) El análisis de recurrencia de magnitudes en el país indica que en promedio se espera que se presente un sismo con magnitud mayor o igual que 8.0 cada 100 años y un sismo con magnitud mayor o igual a 7.0 cada 10 años en promedio. La información disponible también indica que es probable la ocurrencia de sismos con magnitud 8.5 o superiores en la zona costera.
- d) Se recomienda que se realice una revisión y actualización del modelo de amenaza presentado en la norma de construcción nacional (NEC-15), teniendo como referencia los resultados presentados en el presente estudio. Los resultados de dichos estudios podrían usarse en la actualización del presente estudio de riesgo.

4 MODELO DE ELEMENTOS EXPUESTOS Y VULNERABILIDAD SÍSMICA

4.1 GENERALIDADES

El modelo de exposición nacional consiste en un inventario de bienes inmuebles y de infraestructura susceptibles a sufrir daños por eventos sísmicos. El eventual impacto de eventos sísmicos se traduciría en afectación física de las obras de infraestructura, pérdidas económicas directas e indirectas y afectación a la población. El inventario debe incluir los componentes de infraestructura que mayor susceptibilidad al daño puedan llegar a presentar, generando un impacto considerable en el funcionamiento normal de un país, de una región o de una población en particular. Para efectos del presente proyecto y siguiendo la categorización de estudios anteriores del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2015) se consideran los siguientes sectores que incluyen componentes críticos de infraestructura para el país:

- Edificaciones urbanas
- Edificaciones rurales
- Infraestructura urbana
- Infraestructura nacional

Para definir el modelo se requiere la definición del nivel de resolución a utilizar. A mayor resolución mejor será la precisión y confiabilidad del modelo, sin embargo, el tiempo, costo y esfuerzo de aumentar la resolución en general limita los alcances de este tipo de estudios. Para el presente estudio se define la resolución del modelo en función de la información disponible en las entidades del orden nacional, regional y local, teniendo en cuenta el propósito principal establecido y que fue explicado en detalle en el capítulo de información recopilada. Para el caso de las edificaciones tanto urbanas como rurales se definió una resolución a nivel Cantonal con un modelo simplificado (tipo “Proxy”). Este nivel de resolución se utiliza frecuentemente en proyectos a escala nacional cuyo objetivo final es plantear medidas de mitigación del riesgo, planes de atención de emergencias, estrategias para la recuperación post-desastre, opciones de protección financiera, planes de atención de emergencias y estrategias para la recuperación post-desastre a nivel de prefactibilidad. El modelo se basa en estadísticas existentes y correlaciones que pueden plantearse entre las características poblacionales y económicas de cada Cantón con la densidad asociada de construcciones de cada sector, o de obras de infraestructuras requeridas para atender las necesidades de dicha población. La metodología simplificada que se adopta en el presente estudio se explica en detalle en el numeral 4.2.

Por otro lado, para el caso de componentes de infraestructura, el nivel mínimo de resolución de los análisis depende de la cantidad y calidad de información disponible. En los casos en que no exista información de detalle de cada uno de los componentes individuales, se recurre de nuevo a un análisis simplificado en el cual se utilizan estadísticas y correlaciones para estimar el tipo y cantidad de infraestructura requerida para atender las necesidades de la población. Para estos casos el nivel de resolución que se adopta es usualmente el que corresponde al nivel cantonal. En el presente estudio, se define la utilización de diferentes niveles de resolución dependiendo del tipo componente a evaluar, en algunos casos será mediante la definición de componentes individuales uno a uno, y en otros estimando la exposición de determinados grupos de componentes en las unidades geográficas definidas. La metodología para la conformación del modelo de exposición de componentes de infraestructura se presenta en el numeral 4.3.

El modelo de exposición fue obtenido a partir de la información suministrada para este estudio por parte de la Secretaría de Gestión del Riesgo y las diferentes agencias e instituciones nacionales y regionales que participaron en el estudio. Todas las fuentes de

información están debidamente referenciadas. De acuerdo con esto, el presente estudio se basa en la información oficial entregada por las entidades de manera formal a la SGR y por lo tanto consiste en la versión oficial más actualizada disponible en la fecha de elaboración del estudio.

Este estudio no busca reemplazar estudios específicos de vulnerabilidad o riesgo en cada región del país ni en cada sector de infraestructura. El objetivo principal es brindar un panorama general del perfil de riesgo para el país, con posible desagregación a nivel cantonal. Los resultados obtenidos en el análisis de riesgo deben ser interpretados como un insumo para evaluaciones a nivel de prefectibilidad relacionadas con la gestión del riesgo. Con base en los resultados del presente estudio se pueden programar hacia el futuro una serie de subproyectos complementarios a nivel cantonal o nacional y a nivel de factibilidad o diseño.

4.2 MODELO DE EXPOSICIÓN: EDIFICACIONES

4.2.1 Introducción

El modelo se desarrolla teniendo en cuenta los diferentes sectores críticos de actividad política, social y comercial, los cuales se clasifican en las siguientes subcategorías:

- Edificaciones urbanas
 - Residencial alto
 - Residencial medio
 - Residencial bajo
 - Educativo público
 - Educativo privado
 - Salud pública
 - Salud privada
 - Industrial
 - Comercial
 - Oficinas
 - Administrativo (o institucional)
- Edificaciones rurales
 - Residencial rural
 - Educativo público

El modelo supone que el número de habitantes reportados ocupa una determinada área de construcción en unidades residenciales. A partir del censo realizado por INEC (2010) se puede establecer la relación de población urbana y rural, lo cual permite discriminar para cada unidad geográfica, las construcciones urbanas de las rurales. Dado que no es posible realizar levantamientos digitales en zonas rurales, se asignan tipologías constructivas de nivel socioeconómico bajo en áreas urbanas. Igualmente se supone que determinados porcentajes de la población ocuparán espacios en los diferentes sectores indicados anteriormente. Por otro lado, las estadísticas de población y ocupación en los sectores salud y educación permiten estimar la magnitud de las construcciones de estos sectores.

De esta manera se conforma un modelo georreferenciado de activos expuestos a nivel país, clasificados según los sectores seleccionados para cada una de los cantones y centros poblados del país. En los siguientes numerales se explica en mayor detalle el proceso seguido para conformar el modelo de exposición y la información utilizada en cada caso.

4.2.2 Metodología de asignación

Teniendo en cuenta lo indicado anteriormente, a continuación, se presenta en resumen la metodología de asignación, en los siguientes capítulos se explicará cada uno de los pasos en detalle. En primer lugar se determina la resolución del modelo (numeral 4.2.3) se debe establecer el nivel de complejidad para cada una de las unidades administrativas (numeral 4.2.5). Seguido a esto se debe obtener la población para cada uno de los sectores, proyectado a 2017 a partir de la proyección de población total realizada por INEC (numeral 4.2.6), una vez definida es necesario obtener al área construida multiplicando la población por la carga de ocupación (numeral 4.2.7). Con esta área es posible obtener el costo total con el costo unitario por sector (numeral 4.2.8). Con el costo se puede inmediatamente asignar el área construida a los sistemas estructurales a partir de la distribución de sistemas estructurales obtenida a partir de los levantamientos (numeral 4.2.9). Una vez se tiene el modelo completo se debe asignar a los centroides de las áreas urbanas y rurales para la elaboración del modelo completo (numeral 4.2.10). Este procedimiento se resume en la Figura 55.

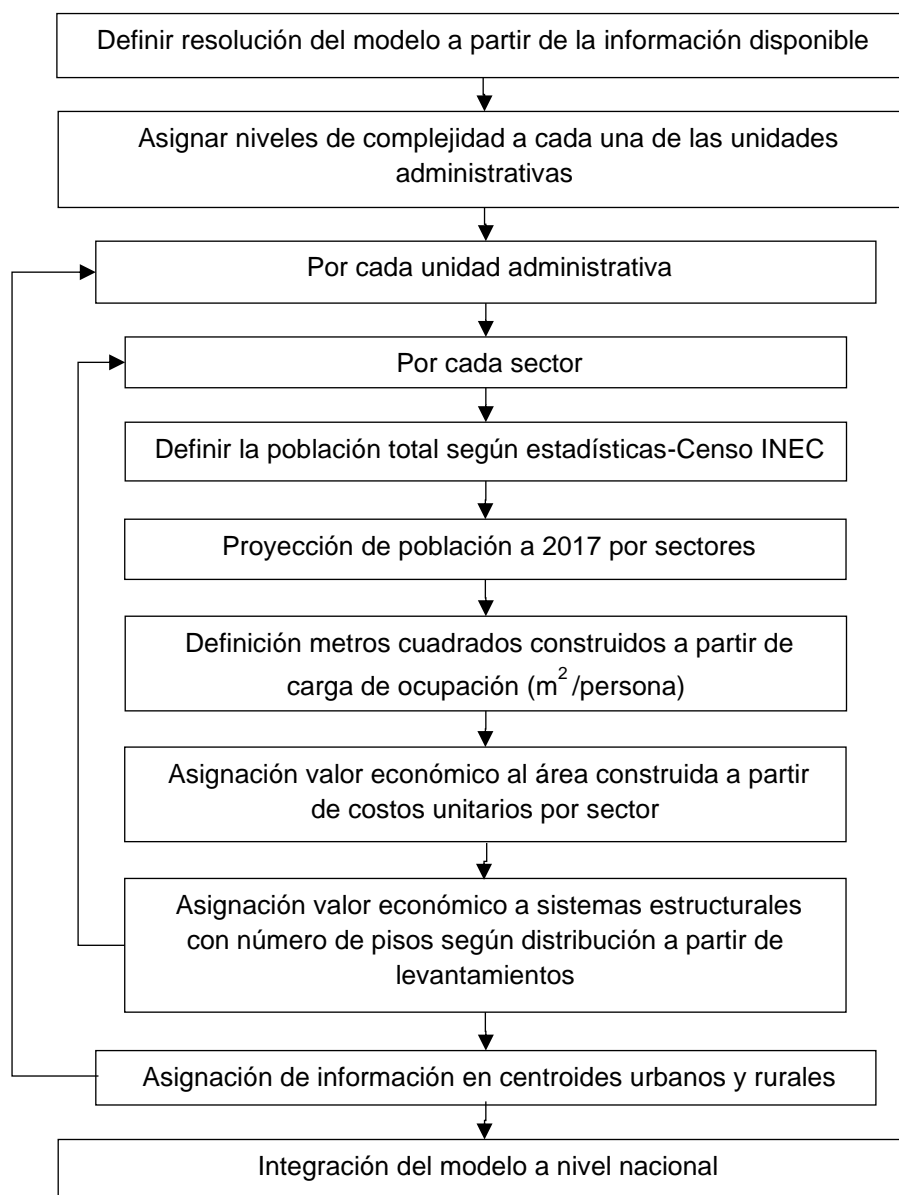


Figura 55. Metodología de asignación Proxy.

4.2.3 Información básica nacional

El modelo de exposición se construye a partir de información política, económica y de población del país. En la Tabla 14 se presentan unos indicadores básicos en los cuales se basa el modelo propuesto.

Tabla 14. Indicadores y parámetros generales (INEC & Banco Mundial)

Indicador	Unidad	Valor
Población proyectada 2017 (INEC)	Hab.	16,776,977
Extensión (INEC)	km2	283,560
Densidad Poblacional media (INEC)	Hab./km ²	59

Indicador	Unidad	Valor
PIB o VAB 2017 (BM)	US\$ Millones	\$ 98,613
PIB per cápita (BM)	US\$/Hab.	\$ 5,878
Salario Mínimo Mensual (2017) (BM)	US\$	\$ 375

Por otro lado, la información básica a nivel nacional está compuesta por la división político-administrativa de la República del Ecuador y por el Censo realizado en 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). A partir de los resultados del censo se pueden obtener la densidad poblacional, las distribuciones de población en área urbana y rural (según la población establecida en parroquias rurales y urbanas de cada cantón según INEC), la distribución de edades y ocupaciones a nivel Cantón. En la Figura 56 se puede ver las distribuciones de población urbana y rural y la distribución por edades a nivel nacional.

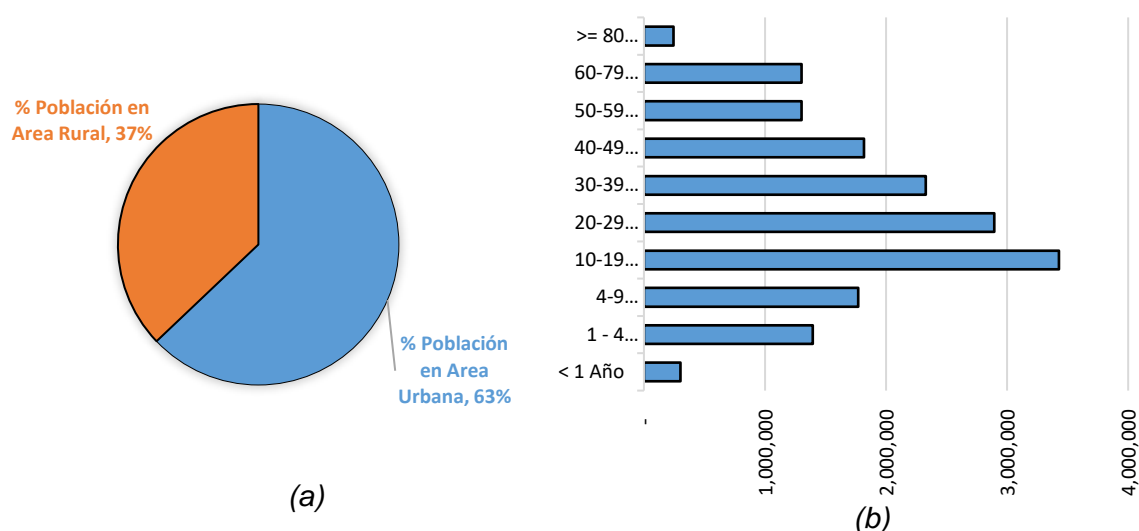


Figura 56. Información básica nacional, (a) Distribución de población área urbana y rural, (b) Distribución de población por edades Fuente: (INEC, 2010).

De esta figura se puede concluir que a nivel general el 63% de la población se encuentra en zonas urbanas y el 37% en la zona rural. Por otro lado, se puede establecer que aproximadamente el 30% de la población, que corresponde a unos 5.2 millones de habitantes, tienen entre 4 y 19 años, y que el 49%, que corresponden a unos 8.3 millones de habitantes, están en edad productiva entre los 20 a 60 años.

4.2.4 Indicadores de desarrollo

Los indicadores de desarrollo por Cantón son fundamentales para definir la complejidad de cada uno. Entre las variables analizadas se encuentra el porcentaje de población activa y desempleada la cual se presenta en la Figura 57. Este parámetro es fundamental para el modelo de ocupación humana en cada uno de los escenarios (día y noche) así como también para definir las edificaciones de los diferentes sectores de ocupación de la población.

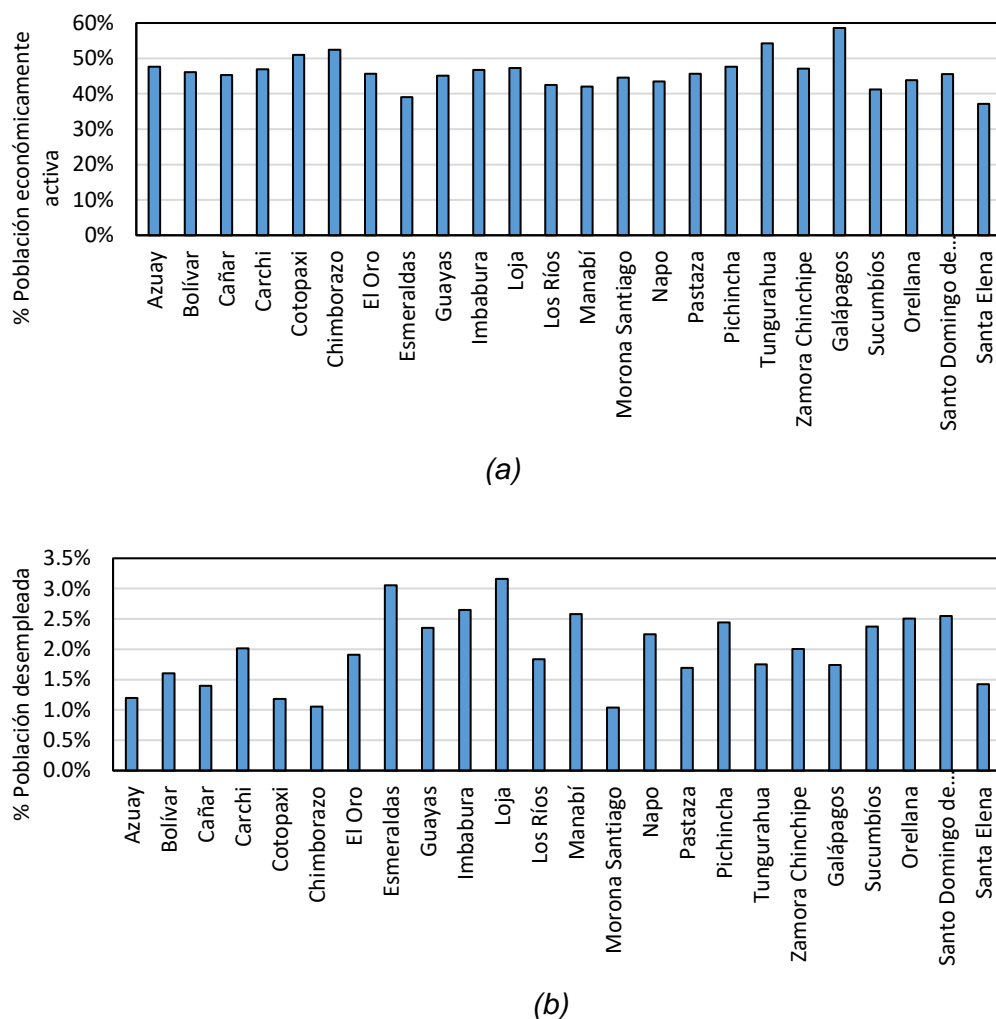


Figura 57. Indicadores de desarrollo, (a) Población económicamente activa, (b) Población desempleada. Fuente: INEC.

4.2.5 Nivel de complejidad

El nivel de complejidad de cada Cantón se obtiene a partir de los siguientes tres parámetros:

- Población total
- Porcentaje de población en área urbana
- Valor agregado bruto

Estos tres parámetros tienen una correlación directa con el nivel de complejidad de cada cantón. El proceso de calificación se da a partir de un análisis estadístico en el cual se dividen los cantones en quintiles según cada parámetro, y se les asigna un valor de 1 a 5 según el quintil al que pertenezcan. Al final se promedian las calificaciones obtenidas en cada cantón a partir de cada parámetro. Los cantones con puntuación ponderada mayor a 4.5 se les asigna complejidad alta, los cantones con puntaje mayor a 2.5 y menor a 4.5 se asigna complejidad media y el resto se asigna complejidad baja. Los mapas de valoración de cada parámetro se pueden ver en la Figura 58.

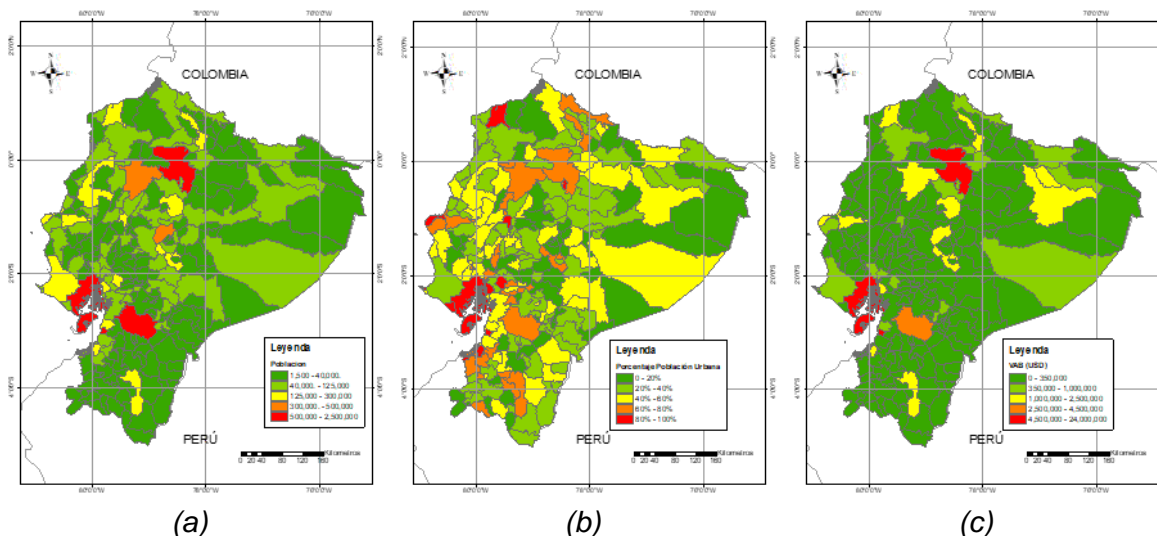


Figura 58. Calificación de complejidades por parámetro. (a) Población total, (b) Porcentaje de población en área urbana, (c) Valor agregado bruto.

A partir de esta clasificación, se ponderan los resultados, para obtener las calificaciones de complejidad a nivel nacional. Como resultado del análisis se obtiene que en complejidad alta se encuentran los Cantones de Quito, Guayaquil y Cuenca. Estos son los tres cantones con mayor cantidad total de población y cuentan con un porcentaje de población en área urbana promedio del 78%. En la complejidad media se tienen 99 cantones, todos ellos con un porcentaje de población en área urbana en el orden del 53%. Y por último se obtiene que en complejidad baja se clasifican un total de 122 cantones con un porcentaje promedio de población en área urbana del 17%. Las calificaciones promedio de los demás parámetros considerados se pueden ver en la Tabla 15. La Figura 59 presenta el mapa nacional de clasificación de complejidad en los cantones.

Tabla 15. Parámetros promedio de cada complejidad

	Alta	Media	Baja
Número de cantones	3	99	122
Población promedio	1,698,564	76,029	28,846
VAB promedio (US\$)	\$ 15,978,923	\$ 407,329	\$ 29,429
% de población en área urbana	78%	53%	17%

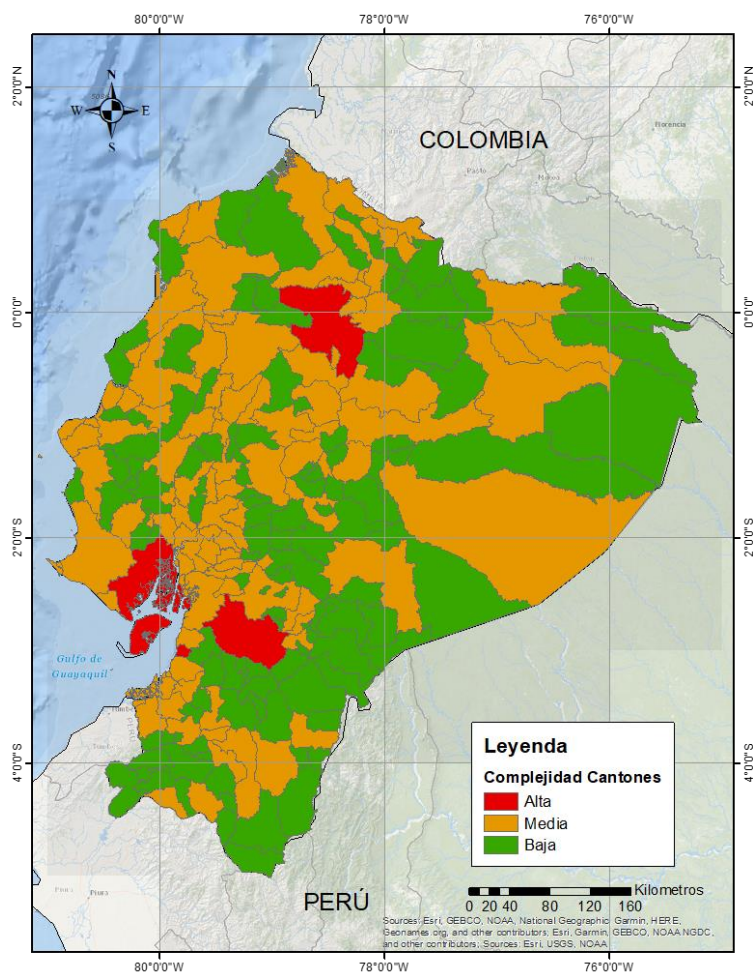


Figura 59. Complejidad de cantones.

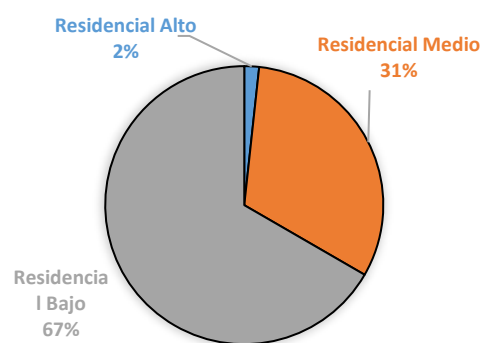
4.2.6 Ocupación humana

Las distribuciones de ocupación humana se obtienen a partir de la información disponible del Censo del 2010 del INEC, a partir del cual se obtiene la distribución de personas por sector para 2010. Estos valores se llevan a 2017 tomando las proyecciones totales por cantón realizada por INEC, estas proyecciones indican la tasa de crecimiento que se aplica a cada sector. En la Figura 60 se pueden ver las distribuciones de ocupación a nivel residencial y a nivel de sectores para unos cantones representativos de cada complejidad. Existen dos casos particulares, el de Educación y el de Salud. Para el modelo se asignaron el número de estudiantes reportados en el Censo del INEC. Para el sector salud se asignaron el número de camas disponibles obtenida del Anuario de camas hospitalarias del INEC. Estos datos se seleccionaron de esta forma y no se asignaron los trabajadores pues a diferencia de estos, se correlacionan de forma adecuada con el área construida.

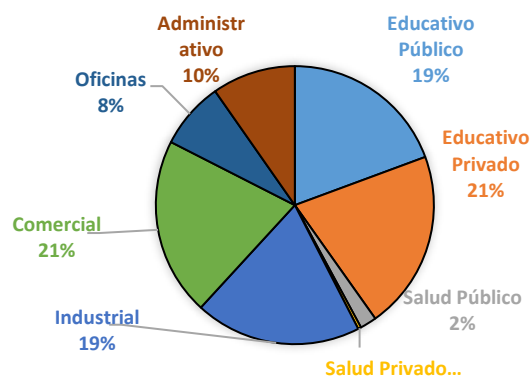
Una vez se tienen los porcentajes de distribución de la población económicamente activa en los diferentes sectores productivos se realizan dos modelos de ocupación humana, uno para el escenario día y otro para el escenario noche. En la Tabla 16 se puede identificar la distribución de población generada para el cantón Cuenca, en esta se puede ver que el porcentaje de ocupación residencial es mayor en el escenario noche, mientras que la población se divide en los diferentes sectores productivos en el escenario día.

Tabla 16. Ocupación humana para el cantón Cuenca

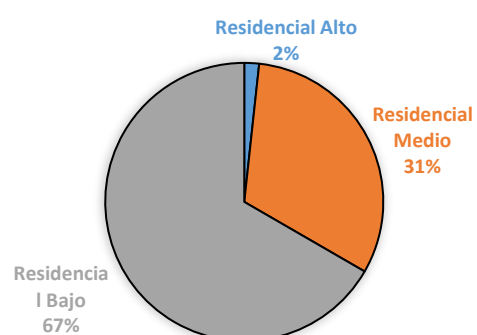
Cantón	Cuenca		
ID. Cantón	101		
Nivel	A		
SECTOR	Ocupación (Esc. Día)	Ocupación (Esc. Noche)	Población
Residencial Alto	1,688	5,536	6,751
Residencial Medio	28,638	102,102	124,514
Residencial Bajo	52,482	223,047	262,408
Residencial Rural	209,596	209,596	209,596
Educativo Público	117,825	0	
Educativo Privado	57,154	0	
Salud Público	8,124	8,124	
Salud Privado	1,259	1,259	
Industrial	100,744	45,992	
Comercial	76,067	29,582	
Oficinas	19,668	0	
Administrativo	28,540	0	
Total	536,275	591,700	603,269



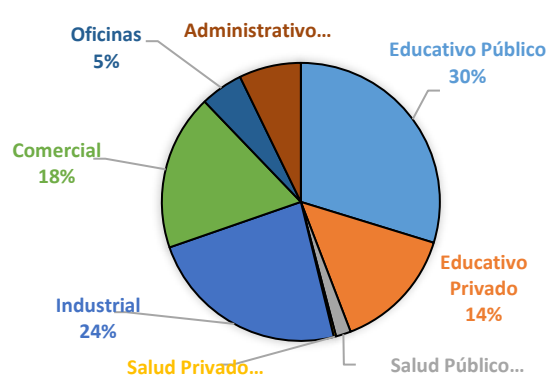
(a)



(b)



(c)



(d)

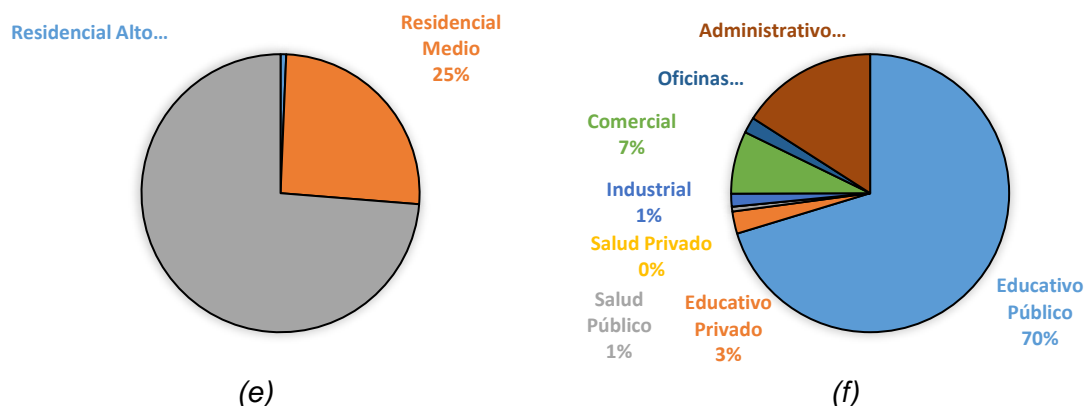


Figura 60. Ocupación humana. (a) Distribución residencial Quito, (b) Distribución sectores Quito, (c) Distribución residencial Cuenca, (d) Distribución sectores Cuenca, (e) Distribución residencial 24 de mayo, (f) Distribución sectores 24 de mayo. Fuente: (INEC,

El procedimiento indicado anteriormente se realiza para la totalidad de los cantones. En la Tabla 17 y Tabla 18 se resumen los resultados totales para los dos escenarios indicados. En estas los resultados se agruparon por provincias sin embargo la resolución del modelo es a nivel cantonal. Así mismo por los resultados de distribución residencial se agruparon en urbano y rural y los educativo y de salud privados y públicos se presentan agrupados. Para más información ver el Anexo digital.

Tabla 17. Ocupación humana escenario día por provincia

Escenario Día (Miles de personas)										
Provincia	Residencial Urbano	Residencial Rural	Educativo Público	Educativo Privado	Salud Público	Salud Privado	Industrial	Comercial	Oficinas	Administrativo
Azuay	92.3	387.5	201.6	55.5	8.9	1.3	56.7	86.3	22.0	34.6
Bolívar	9.6	146.8	68.9	1.1	1.4	0.0	2.2	7.0	1.9	8.9
Cañar	19.3	152.9	77.7	4.1	2.0	-	8.8	14.4	3.6	9.7
Carchi	15.6	90.1	46.7	3.2	1.1	-	3.6	12.6	2.8	9.3
Chimborazo	35.5	299.5	138.4	11.9	4.4	0.1	13.5	32.2	7.5	19.4
Cotopaxi	23.8	328.9	130.8	15.5	2.8	-	14.8	25.5	6.3	17.7
El Oro	90.4	155.9	1682	28.6	4.9	0.5	15.5	65.0	14.1	32.8
Esmeraldas	51.8	311.5	210.9	12.6	3.9	-	9.5	37.8	11.8	40.6
Galápagos	4.3	5.4	7.1	0.9	0.4	-	0.7	3.3	1.5	3.2
Guayas	703.9	670.0	734.8	434.9	39.6	5.6	151.8	496.6	131.6	224.8

Escenario Día (Miles de personas)										
Provincia	Residencial Urbano	Residencial Rural	Educativo Público	Educativo Privado	Salud Público	Salud Privado	Industrial	Comercial	Oficinas	Administrativo
Imbabura	41.1	214.9	124.8	22.4	4.2	-	29.0	37.7	9.5	21.7
Loja	48.9	216.0	134.8	12.9	4.3	0.5	10.7	32.6	8.9	24.0
Los Ríos	80.8	410.0	243.4	16.7	4.0	0.2	12.8	56.8	12.5	33.8
Manabí	147.4	650.2	360.1	73.0	10.3	0.3	37.8	102.1	26.8	71.2
Morona Santiago	10.0	122.8	73.9	0.8	1.2	-	2.2	6.7	1.8	9.5
Napo	7.2	82.6	57.4	1.0	1.1	-	1.7	5.9	2.1	6.8
Orellana	11.0	90.1	61.4	1.7	0.7	-	2.3	7.6	2.9	9.0
Pastaza	7.8	59.3	45.9	1.7	1.1	-	2.1	6.4	2.0	6.0
Pichincha	431.4	971.2	504.2	369.8	43.1	7.4	172.8	415.8	147.0	189.6
Santa Elena	34.7	170.8	93.0	24.6	1.6	0.3	11.5	28.3	8.3	16.1
Santo Domingo	54.2	114.8	118.5	22.6	2.7	0.2	13.3	45.1	9.8	18.0
Sucumbíos	15.0	126.3	76.5	1.9	1.1	-	3.5	12.3	4.1	12.8
Tungurahua	39.4	337.5	118.7	33.8	5.0	-	44.8	50.9	12.5	20.5
Zamora Chinchipe	7.4	68.1	43.0	0.3	0.7	-	1.5	4.5	1.2	6.2
Zonas No Delimitadas	-	39.4	10.5	0.2	0.1	-	0.3	1.2	0.2	1.7
TOTAL	1,983	6,223	3,852	1,152	150	16	623	1,595	452	848

Tabla 18. Ocupación humana escenario noche por provincias

Escenario Noche (Miles de personas)										
Provincia	Residencial Urbano	Residencial Rural	Educativo Público	Educativo Privado	Salud Público	Salud Privado	Industrial	Comercial	Oficinas	Administrativo
Azuay	378.3	387.5	-	-	8.9	1.3	25.3	32.8	-	-
Bolívar	48.2	146.8	-	-	1.4	0.0	0.9	2.3	-	-
Cañar	96.0	152.9	-	-	2.0	-	3.8	5.2	-	-
Carchi	77.5	90.1	-	-	1.1	-	1.6	4.6	-	-
Chimborazo	176.8	299.5	-	-	4.4	0.1	5.7	11.3	-	-
Cotopaxi	118.4	328.9	-	-	2.8	-	6.5	9.3	-	-
El Oro	448.1	155.9	-	-	4.9	0.5	6.9	24.2	-	-
Esmeraldas	257.0	311.5	-	-	3.9	-	4.1	13.8	-	-

Escenario Noche (Miles de personas)										
Provincia	Residencial Urbano	Residencial Rural	Educativo Público	Educativo Privado	Salud Público	Salud Privado	Industrial	Comercial	Oficinas	Administrativo
Galápagos	21.4	5.4	-	-	0.4	-	0.3	1.2	-	-
Guayas	2,970.6	670.0	-	-	39.6	5.6	68.8	190.9	-	-
Imbabura	203.8	214.9	-	-	4.2	-	12.9	14.0	-	-
Loja	242.9	216.0	-	-	4.3	0.5	4.7	11.8	-	-
Los Ríos	401.2	410.0	-	-	4.0	0.2	5.6	20.9	-	-
Manabí	732.0	650.2	-	-	10.3	0.3	16.6	37.1	-	-
Morona Santiago	50.3	122.8	-	-	1.2	-	0.9	2.1	-	-
Napo	35.9	82.6	-	-	1.1	-	0.7	2.1	-	-
Orellana	54.8	90.1	-	-	0.7	-	1.0	2.8	-	-
Pastaza	38.7	59.3	-	-	1.1	-	0.9	2.3	-	-
Pichincha	1,754.1	971.2	-	-	43.1	7.4	78.6	160.9	-	-
Santa Elena	172.1	170.8	-	-	1.6	0.3	5.1	10.6	-	-
Santo Domingo	268.9	114.8	-	-	2.7	0.2	5.9	16.9	-	-
Sucumbíos	74.7	126.3	-	-	1.1	-	1.5	4.5	-	-
Tungurahua	195.6	337.5	-	-	5.0	-	19.5	18.6	-	-
Zamora Chinchipe	37.2	68.1	-	-	0.7	-	0.6	1.5	-	-
Zonas No Delimitadas	-	39.4	-	-	0.1	-	0.1	0.3	-	-
TOTAL	8,854	6,223	-	-	150	16	279	602	-	-

4.2.7 Carga de ocupación

La carga de ocupación se define como los metros cuadrados construidos por persona en un sector indicado. Estas se obtienen mediante la consulta y ponderación de diferentes fuentes de información como la Ordenanza metropolitana de Quito No. 303 (2009). Este tipo de ordenanzas de urbanismo y construcción se indica el área promedio por sector. Por otro lado, se verifican los permisos de construcción disponibles con el fin de ajustar los valores anteriores. Por último, estos valores se ajustan con información proveniente de notas técnicas de proyectos anteriores del BID y con estudios en ciudades con características poblacionales similares a las ciudades representativas de los diferentes niveles de complejidad en el Ecuador (BID, 2004; BID; 2015). Por ejemplo, una edificación en un cantón de complejidad alta, sector residencial alto tiene una carga de ocupación de 95 m²/persona mientras que un residencial bajo en un cantón de complejidad media tiene 15 m²/persona. En la Tabla 19 se puede ver los valores finalmente adoptados para los diferentes sectores en los diferentes niveles de complejidad.

Tabla 19. Carga de ocupación por sectores

Sector	Complejidad		
	Alto (m ² /persona)	Medio (m ² /persona)	Bajo (m ² /persona)
Residencial Alto	95	57	43
Residencial Medio	55	33	25
Residencial Bajo	40	24	15
Residencial Rural	40	24	15
Educativo Público	10	8	6
Educativo Privado	12	10	8
Salud Público	120	100	80
Salud Privado	140	84	63

Sector	Complejidad		
	Alto (m ² /persona)	Medio (m ² /persona)	Bajo (m ² /persona)
Industrial	50	50	50
Comercial	13	10	9
Oficinas	5	4	3
Administrativo	5	4	3

4.2.8 Valoración económica

La valoración económica unitaria del metro cuadrado por sector y complejidad se obtiene a partir de diferentes estadísticas. Una de las más importantes es el “International Market Survey 2017”. En este documento se incluyen los valores por metro cuadrado para diferentes sectores en varias ciudades de Latinoamérica (Bogotá, Santiago de Chile, Buenos Aires y Sao Paulo) y el mundo que sirven como referencia. En segundo lugar, se consultaron los valores de mercado de bienes inmobiliarios en diferentes páginas Web principalmente para Quito, Guayaquil y Cuenca debido a que cuentan con la mayor cantidad de información inmobiliaria. En tercer lugar, se analizó la Encuesta Nacional de Edificaciones, realizada por el INEC a partir de los permisos de construcción. Por último, se validaron los valores obtenidos a partir de información contenida en estudios técnicos del BID (BID, 2004; BID, 2015). En la Tabla 20 se pueden ver los valores unitarios finalmente seleccionados para el presente estudio. En todos los casos se trata de valores proyectados al año 2017, en dólares de los Estados Unidos de América y no incluyen el valor del terreno. Dicha valoración corresponde al valor económico probable, sin considerar efectos macroeconómicos puntuales (tales como burbujas o crisis inmobiliarias) y se consideran en el presente proyecto como valores de reposición de bienes inmuebles.

Tabla 20. Valoración económica por sectores

Sector	Complejidad		
	Alto (US\$/m ²)	Medio (US\$/m ²)	Bajo (US\$/m ²)
Residencial Alto	\$ 1,038	\$ 623	\$ 467
Residencial Medio	\$ 623	\$ 374	\$ 280
Residencial Bajo	\$ 467	\$ 280	\$ 210
Educativo Público	\$ 762	\$ 462	\$ 303
Educativo Privado	\$ 897	\$ 543	\$ 356
Salud Público	\$ 1,120	\$ 672	\$ 504
Salud Privado	\$ 1,400	\$ 840	\$ 630
Industrial	\$ 1,038	\$ 623	\$ 467
Comercial	\$ 869	\$ 608	\$ 426
Oficinas	\$ 1,493	\$ 1,045	\$ 806
Administrativo	\$ 1,493	\$ 1,045	\$ 806

Nota: los sectores industriales y de salud no incluyen equipos, dotaciones, instalaciones especiales ni contenidos. Los valores fueron calculados a partir de información oficial, estados de mercado y estudios previos válidos para el 2017.

4.2.9 Distribución de sistemas estructurales

Para la generación de las matrices de distribución de sistemas estructurales se realizaron levantamientos utilizando la plataforma Google Street View. Se eligieron diferentes cantones representativos de los diferentes niveles de complejidad (Quito, Portoviejo, Milagros y San Pedro de Pelileo) y se hicieron recorridos por manzanas identificando el número de edificaciones por sistema estructural y número de pisos. Para cada una de las

manzanas se realiza un recorrido por Google Street View en donde se asigna el uso predominante de la manzana, se cuenta la cantidad de edificaciones de cada uno de los sistemas y se asigna un índice de homogeneidad que indica en qué medida las edificaciones están asiladas entre sí o si no hay separación entre ellas. Adicionalmente, a partir de una vista satelital superior se establece el porcentaje de área construida con respecto al área total de la manzana. El procedimiento implementado se resume en la Figura 61.

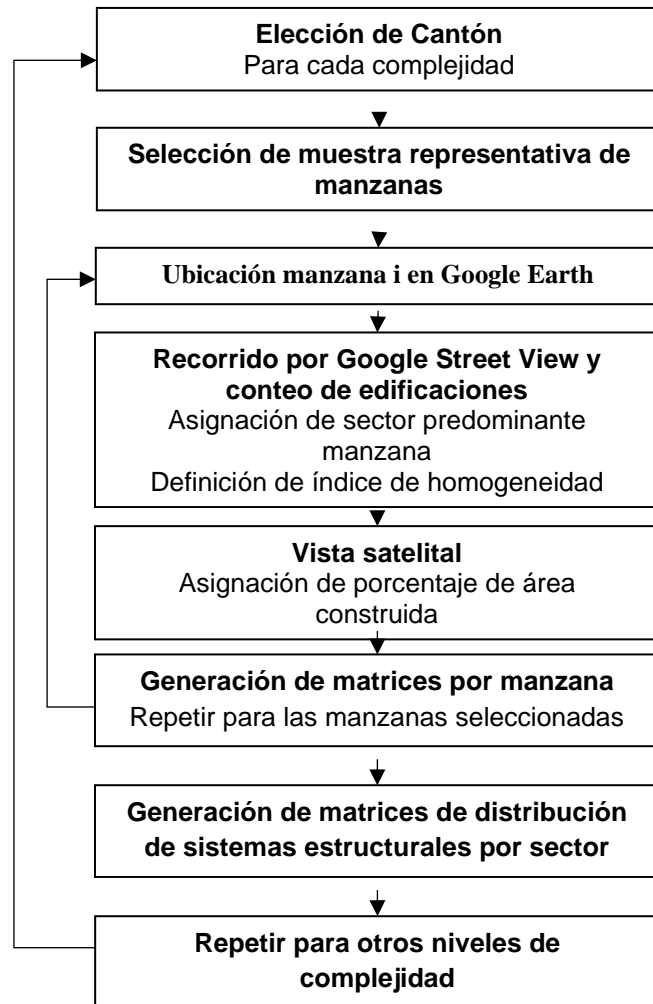


Figura 61. Metodología de generación de matrices de distribución de sistemas estructurales.

El formato de distribución de sistemas por manzana se presenta en la Figura 62. En este se definen los sistemas estructurales predominantes y el número de pisos. Estos dos parámetros son los que definen de manera predominante el comportamiento sísmico esperado de cada componente y por lo tanto es con base en estos factores que se asigna una determinada vulnerabilidad para efectos del análisis de riesgo. En la figura se presenta un ejemplo de formato procesado para Portoviejo.

Ciudad:	Portoviejo					
Zona:	6					
ID:	2343					
	Número de pisos					
SISTEMA CONSTRUCTIVO	1	2	3	4 a 7	8 a 15	15 o más
Muros de adobe, tapia o bareque – PREC						
Muros de mampostería confinada – MC	3	2				
Muros de mampostería reforzada – MR						
Muros de mampostería simple con placa – MSP	1					
Muros de mampostería simple sin placa – MS	2					
Pórticos de CR – PCR		1				
Pórticos de CR con mampostería – PCRMM						
Losa-columna de CR con mampostería – LCCRMM						
Pórticos o losa-col de CR con mampostería eje débil fachada - PLCCRMM						
Sistema combinado de CR – CCR						
Muros de CR – MCR						
Pórticos no arriostrados de acero - PNAC						
Pórticos arriostrados de acero – PAAC						
Bodegas de mampostería – BM						
Bodegas de concreto reforzado – BCR						
Bodegas de acero – BA						
TOTAL					9	
Calidad de la manzana:	Baja					
Uso principal:	Residencial					
Índice de homogeneidad:	Baja					
Porcentaje de área construida:	50%					

Figura 62. Matriz de distribución de sistemas estructurales por manzana.

El procedimiento descrito anteriormente se repite para cada manzana en cantones con diferente nivel de complejidad con el objetivo de generar matrices de distribución relativa de sistemas estructurales para los diferentes sectores. Los resultados de este proceso se resumen en las matrices que se presentan en la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23. Los códigos de los sistemas estructurales son los mismos que se pueden observar en la Figura 62 adicionando el número de pisos (Sistema-Estructural_Pisos). Estas matrices permiten distribuir los sistemas estructurales en cada uno de los usos acorde con el nivel de complejidad de cada Cantón para completar el modelo de exposición de edificaciones.

Tabla 21. Matriz de distribución de sistemas estructurales para complejidad Alta.

	Residencial Alto	Residencial Medio	Residencial Bajo	Educativo Público	Educativo Privado	Salud Público	Salud Privado	Industrial	Comercial	Oficinas	Administrativo
PREC_1	0.0%	1.2%	0.3%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	2.2%	1.1%	0.0%	0.0%
PREC_2	0.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0%	3.3%	3.3%	0.4%	1.0%	50.0%	50.0%
PREC_3	0.0%	1.1%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%
MC_1	4.2%	10.5%	10.2%	14.6%	10%	30.0%	30.0%	6.8%	8.0%	0.0%	0.0%
MC_2	3.5%	14.5%	14.4%	2.1%	5%	0.0%	0.0%	5.5%	23.7%	0.0%	0.0%
MC_3	1.9%	6.1%	2.3%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	2.3%	9.6%	0.0%	0.0%
MC_4	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	1.0%	1.8%	0.0%	0.0%
MR_1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MR_2	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MR_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MR_4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MSP_1	0.7%	1.9%	0.1%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	1.3%	0.2%	0.0%	0.0%
MSP_2	0.9%	1.2%	2.3%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	2.9%	0.1%	0.0%	0.0%
MSP_3	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MSP_4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MS_1	0.2%	4.9%	10.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	11.7%	2.4%	0.0%	0.0%
MS_2	0.0%	0.9%	1.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	3.4%	1.6%	0.0%	0.0%
MS_3	0.0%	0.2%	0.1%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%
MS_4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PCR_1_3	4.8%	0.2%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.2%	0.0%	0.0%
PCR_4_7	4.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%
PCR_8_15	6.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0%	3.3%	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PCRMM_1_3	35.0%	12.5%	2.7%	72.9%	80%	26.7%	26.7%	8.3%	25.7%	0.0%	0.0%
PCRMM_4_7	6.5%	4.5%	0.7%	0.0%	0%	6.7%	6.7%	0.0%	6.1%	0.0%	0.0%
PCRMM_8_15	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0%	3.3%	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
LCCRMM_1_3	11.8%	32.9%	54.4%	8.0%	5%	0.0%	0.0%	10.0%	10.3%	25.0%	25.0%
LCCRMM_4_7	0.6%	2.0%	1.3%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.2%	2.1%	0.0%	0.0%
LCCRMM_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PLCMMED_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	6.7%	6.7%	0.9%	0.4%	0.0%	0.0%
PLCMMED_4_7	2.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	3.3%	3.3%	0.9%	0.2%	0.0%	0.0%
PLCMMED_8_15	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	3.3%	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
CCR_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	3.3%	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
CCR_4_7	3.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	6.7%	6.7%	0.0%	2.9%	25.0%	25.0%
CCR_8_15	9.9%	0.3%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%
CCR_16	2.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MCR_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	3.3%	3.3%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
MCR_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MCR_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PNAC_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
PNAC_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PNAC_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PAAC_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PAAC_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PAAC_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
BM_1_2	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	24.2%	0.4%	0.0%	0.0%
BCR_1_2	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	6.3%	0.0%	0.0%	0.0%
BA_1_2	0.5%	0.1%	0.1%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	10.7%	0.2%	0.0%	0.0%

Tabla 22. Matriz de distribución de sistemas estructurales para complejidad Media.

	Residencial Alto	Residencial Medio	Residencial Bajo	Educativo Público	Educativo Privado	Salud Público	Salud Privado	Industrial	Comercial	Oficinas	Administrativo
PREC_1	0.6%	3.9%	10.5%	0.0%	0.0%	3.2%	3.2%	4.3%	3.3%	4.3%	4.3%
PREC_2	0.1%	1.3%	7.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	1.5%	0.2%	0.2%
PREC_3	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MC_1	10.1%	20.5%	20.8%	37.4%	21.2%	25.8%	25.8%	10.3%	9.4%	24.1%	24.1%
MC_2	14.9%	21.1%	17.4%	1.2%	1.9%	0.0%	0.0%	7.2%	9.1%	17.1%	17.1%
MC_3	2.4%	4.4%	2.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	3.0%	1.1%	1.1%
MC_4	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%
MR_1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MR_2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
MR_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MR_4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MSP_1	2.0%	2.6%	1.1%	0.6%	5.8%	0.0%	0.0%	3.4%	2.2%	1.5%	1.5%
MSP_2	0.6%	1.0%	0.8%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	1.7%	0.0%	0.0%
MSP_3	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
MSP_4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MS_1	4.0%	14.3%	22.1%	14.7%	0.0%	0.0%	0.0%	10.0%	9.1%	10.6%	10.6%
MS_2	1.5%	4.0%	6.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.5%	8.0%	0.9%	0.9%
MS_3	0.2%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%
MS_4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PCR_1_3	0.6%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.9%	8.4%	8.4%
PCR_4_7	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.5%	0.0%	0.0%
PCR_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PCRMM_1_3	22.0%	9.6%	0.6%	43.6%	69.2%	38.7%	38.7%	24.7%	14.8%	5.3%	5.3%
PCRMM_4_7	1.7%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	6.5%	6.5%	1.6%	1.4%	1.9%	1.9%
PCRMM_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.2%	3.2%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%
LCCRMM_1_3	36.4%	10.8%	6.5%	2.0%	2.0%	0.0%	0.0%	4.6%	3.7%	0.0%	0.0%
LCCRMM_4_7	0.2%	0.4%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	1.5%	1.5%
LCCRMM_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PLCMMED_1_3	1.0%	2.6%	2.5%	0.0%	0.0%	12.9%	12.9%	0.0%	16.9%	13.0%	13.0%
PLCMMED_4_7	0.1%	0.5%	0.3%	0.0%	0.0%	3.2%	3.2%	0.0%	7.0%	3.7%	3.7%
PLCMMED_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
CCR_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%
CCR_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	2.0%	1.9%	1.9%
CCR_8_15	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%	3.5%	3.5%
CCR_16	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MCR_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MCR_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MCR_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PNAC_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.2%	3.2%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PNAC_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.2%	3.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PNAC_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PAAC_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
PAAC_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PAAC_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
BM_1_2	0.2%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	9.0%	1.4%	0.0%	0.0%
BCR_1_2	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	15.5%	0.4%	0.9%	0.9%
BA_1_2	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.4%	0.4%	0.0%	0.0%

Tabla 23. Matriz de distribución de sistemas estructurales para complejidad Baja.

	Residencial Alto	Residencial Medio	Residencial Bajo	Educativo Público	Educativo Privado	Salud Público	Salud Privado	Industrial	Comercial	Oficinas	Administrativo
PREC_1	0.0%	0.0%	6.3%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.2%	0.0%	0.0%
PREC_2	0.0%	0.0%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PREC_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MC_1	0.0%	28.5%	13.2%	29.4%	30.0%	33.3%	33.3%	12.5%	7.8%	0.0%	0.0%
MC_2	0.0%	28.8%	16.9%	1.7%	0.0%	6.7%	6.7%	75.0%	23.0%	0.0%	0.0%
MC_3	0.0%	13.6%	7.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	18.9%	0.0%	0.0%
MC_4	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.6%	0.0%	0.0%
MR_1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MR_2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MR_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MR_4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MSP_1	0.0%	1.9%	3.8%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.3%	0.0%	0.0%
MSP_2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MSP_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MSP_4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MS_1	0.0%	5.8%	27.8%	23.5%	0.0%	13.3%	13.3%	0.0%	10.8%	0.0%	0.0%
MS_2	0.0%	0.0%	2.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.9%	0.0%	0.0%
MS_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MS_4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PCR_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PCR_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.3%	0.0%	0.0%
PCR_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PCRMM_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	38.7%	70.0%	33.3%	33.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PCRMM_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PCRMM_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
LCCRMM_1_3	0.0%	16.3%	21.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%	15.6%	0.0%	0.0%
LCCRMM_4_7	0.0%	3.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%
LCCRMM_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PLCMMED_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PLCMMED_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PLCMMED_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
CCR_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
CCR_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
CCR_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
CCR_16	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MCR_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MCR_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MCR_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PNAC_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	13.3%	13.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PNAC_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PNAC_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PAAC_1_3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PAAC_4_7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PAAC_8_15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
BM_1_2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
BCR_1_2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
BA_1_2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.1%	0.0%	0.0%

4.2.10 Resolución del modelo de exposición

A partir de los resultados y la información indicada anteriormente se genera el modelo de exposición a nivel nacional con resolución de Cantón. Este modelo incluye el área construida por sector y por sistema estructural en cada uno de los cantones. Con el fin de mejorar la resolución en el cálculo de la amenaza sísmica, la asignación de la ubicación geográfica de las construcciones expuestas en cada cantón se realiza en el centroide geométrico de las parroquias urbanas del Cantón, asignando cantidades ponderadas por el número de habitantes en cada zona poblada, tal como se aprecia en la Figura 63. Los resultados finales del modelo se pueden ver en el numeral 5.4.1.

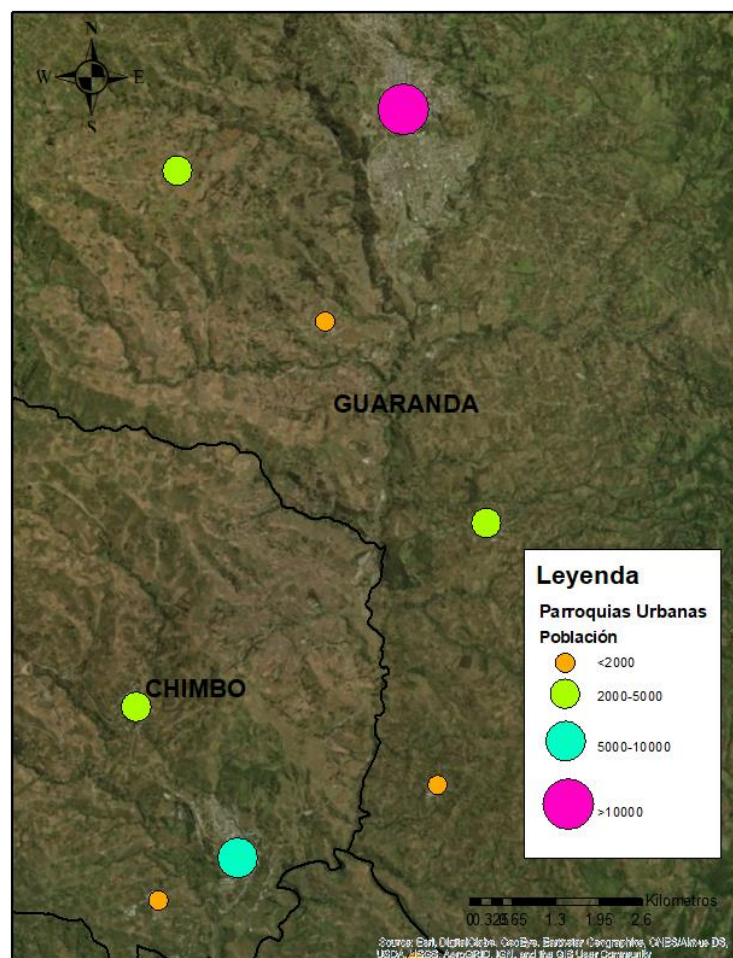


Figura 63. Ejemplo de asignación de valores expuestos por Cantón.

4.3 MODELO DE EXPOSICIÓN: INFRAESTRUCTURA

5.3.1 Introducción

Como se indicó en el capítulo 1, el modelo de exposición de infraestructura cuenta con los siguientes sectores representativos: agua y saneamiento, comunicaciones, eléctrico, hidrocarburos y transporte. A continuación, se presenta un resumen de cada uno de estos en donde se indica la información recopilada, la metodología empleada para la generación del modelo de exposición, la evaluación de la vulnerabilidad y los resultados de la evaluación del riesgo. Posteriormente se presenta la evaluación de posibles opciones de mitigación del riesgo y demás información requerida para elaborar los planes de contingencia preliminares.

4.3.2 Sector de agua y saneamiento

El sector de agua y saneamiento está compuesto por los siguientes componentes:

- Sistemas de distribución de agua potable y saneamiento
- Sistemas de almacenamiento.

Esta infraestructura está a cargo de la Empresa Pública para el Agua (EPA) y la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA). En la Tabla 24 se puede identificar la información enviada.

Tabla 24. Información recopilada para el sector de agua y saneamiento

ID	NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
ASP-1	Porcentaje de Cobertura.xls	Porcentaje de cobertura por cantón de sistemas de distribución de agua potable y saneamiento	.XLS	3/05/2018	INEC
ASP-2	Poblacion_area.rar	Archivos SIG con la población desagregada a nivel de parroquias y el área de las cabeceras urbanas de Ecuador	.RAR	3/05/2018	INEC
ASP-3	EVALUACIÓN RIESGO SÍSMICO - INFORMACIÓN SOLICITADA.pdf	Listado de sistemas que pertenecen a la Empresa pública del agua EPAEP, con valor de reposición, detalles de los componentes y coordenadas de ubicación	.PDF	3/05/2018	EPA EP

Como anexo al presente documento se entregan en formato digital los anexos mencionados.

A partir de esta información se identificaron tres tipos de infraestructura: sistemas de distribución de agua potable, sistemas de saneamiento y sistemas de almacenamiento (presas y embalses). Para obtener el modelo de exposición, se utilizó un procedimiento diferente para cada uno de estos tipos, tratados en detalle a continuación.

4.3.2.1 Sistemas de distribución de agua potable y saneamiento

El sector de sistemas de distribución de agua potable y saneamiento incluye toda la infraestructura que hace parte de los sistemas de acueducto y alcantarillado de las áreas urbanas del país. Para realizar el modelo de exposición en este sector se emplea un modelo tipo Proxy a partir de indicadores. En la Figura 64 se presenta un resumen del enfoque metodológico empleado en este caso.

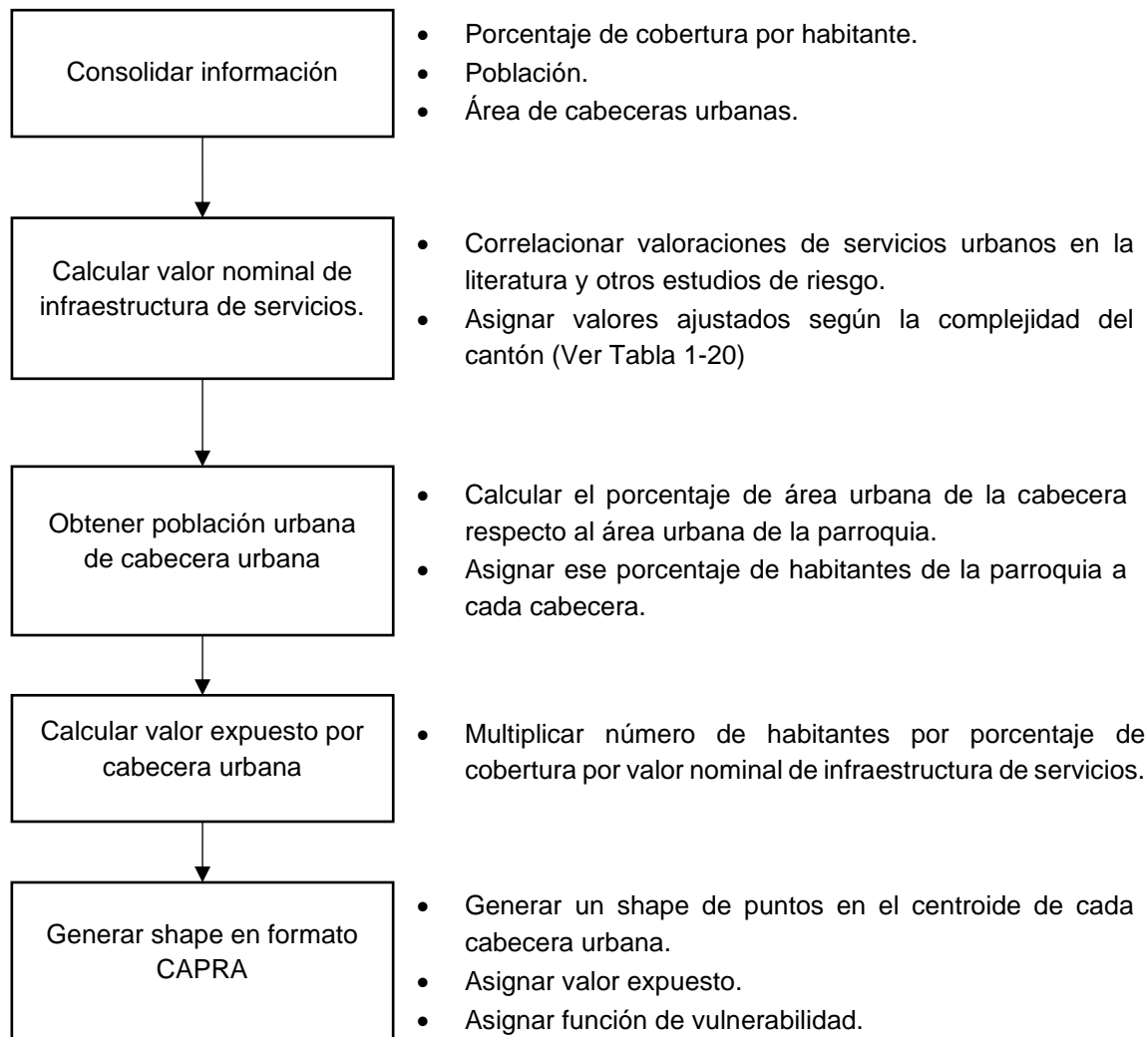


Figura 64. Metodología para el desarrollo del modelo de servicios públicos.

En la Tabla 25 se puede identificar el valor promedio de cobertura de sistemas de agua potable y saneamiento por nivel de complejidad. Esta información fue obtenida a partir de los resultados del censo realizado por INEC en el 2010.

Tabla 25. Valores promedios de cobertura

Complejidad	Sistemas de distribución de agua potable (% cobertura promedio)	Sistemas de saneamiento (% cobertura promedio)
Alta	90.0%	75.0%
Media	62.0%	38.5%
Baja	51.26%	29.5%

Por otra parte, la Tabla 26 muestra valores nominales de exposición para este tipo de infraestructura, los cuales fueron obtenidos de proyectos anteriores desarrollados para el BID en países con condiciones económicas y sociales similares de América Latina (BID, 2015). Este procedimiento se realizó tanto para sistemas de distribución de agua potable

como para sistemas de saneamiento y con esto se obtuvieron los modelos de exposición definitivos.

Tabla 26. Valores nominales de exposición

Complejidad	Sistemas de distribución de agua potable (US\$/Hab.)	Sistemas de saneamiento (US\$/Hab.)
Alta	\$ 50	\$ 50
Media	\$ 30	\$ 30
Baja	\$ 10	\$ 10

La Tabla 27 presenta los valores totales expuestos para cada uno de los sectores. En la Figura 65 se puede observar los resultados de exposición distribuidos geográficamente por cantones.

Tabla 27. Valores expuestos sistemas de distribución agua potable y saneamiento

Sector	Valor expuesto (US\$ Millones)
Sistemas de distribución de agua potable	\$ 377
Sistemas de saneamiento	\$ 294

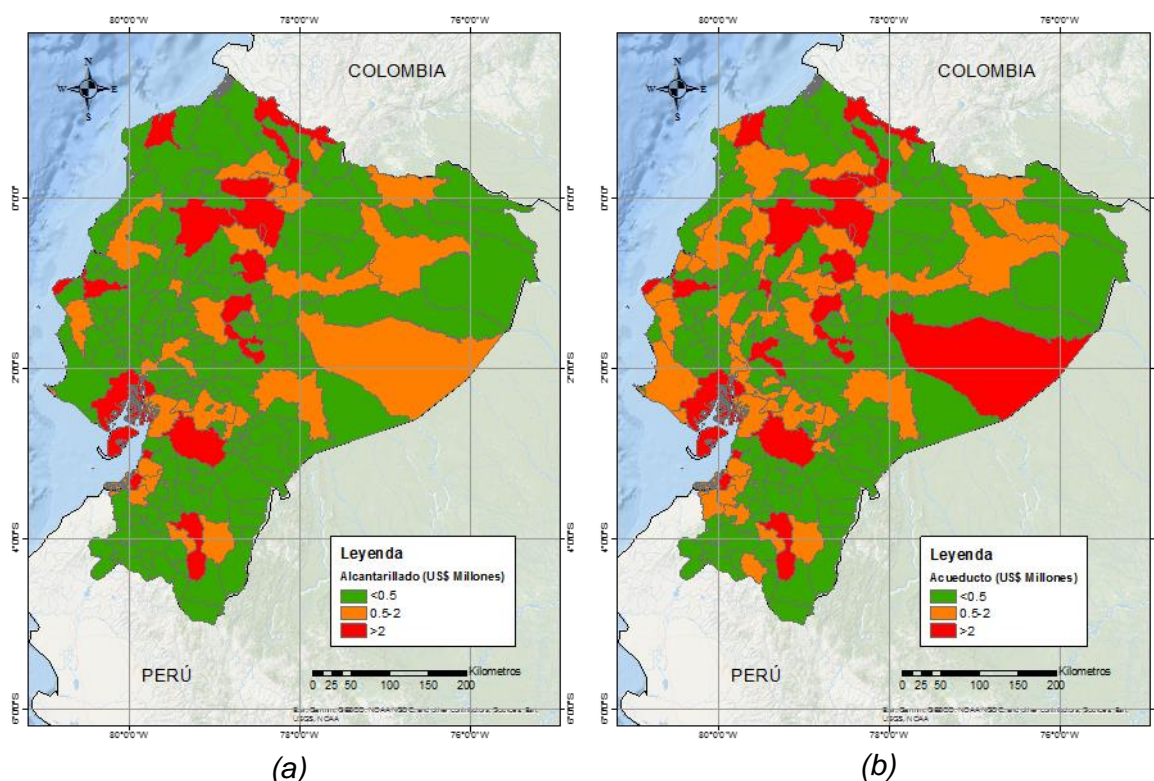


Figura 65. a) Valor expuesto sistemas de distribución de agua potable, b) Valor expuesto sistemas de saneamiento.

Para acueducto, el cantón Guayaquil es el que tiene un mayor valor expuesto de US\$ 105 millones. Mientras que, para alcantarillado, el cantón Quito es el de mayor valor expuesto con US\$100 millones. En promedio para los demás cantones se tiene un valor expuesto de US\$1.3 millones para alcantarillado y de US\$1.7 millones para acueducto, aproximadamente

5.3.2.2 Sistemas de almacenamiento

En este sector se incluyen las principales presas y embalses del país, como por ejemplo la presa Paute, mostrada en la Figura 66.

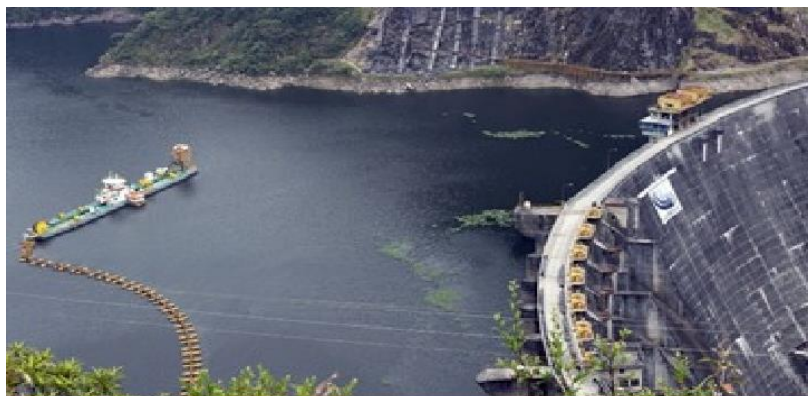


Figura 66. Presa Paute. Tomado de: <https://es.slideshare.net/fastzaruma/presas-y-embalses>

La información de ubicación y valor expuesto se obtuvo del archivo “EVALUACIÓN RIESGO SÍSMICO - INFORMACIÓN SOLICITADA.pdf” suministrado por el ministerio de agua. El más grande de estos es el embalse Chongón, con un valor de US\$165 millones aproximadamente, y cuenta con un volumen de almacenamiento de 275 Hm^3 aproximadamente. Las demás presas tienen en promedio un valor expuesto de US\$ 137 millones. En total se tienen 6 presas con un valor expuesto de US\$ 1,150 Millones.

En la Figura 67 se pueden identificar los elementos considerados geográficamente.

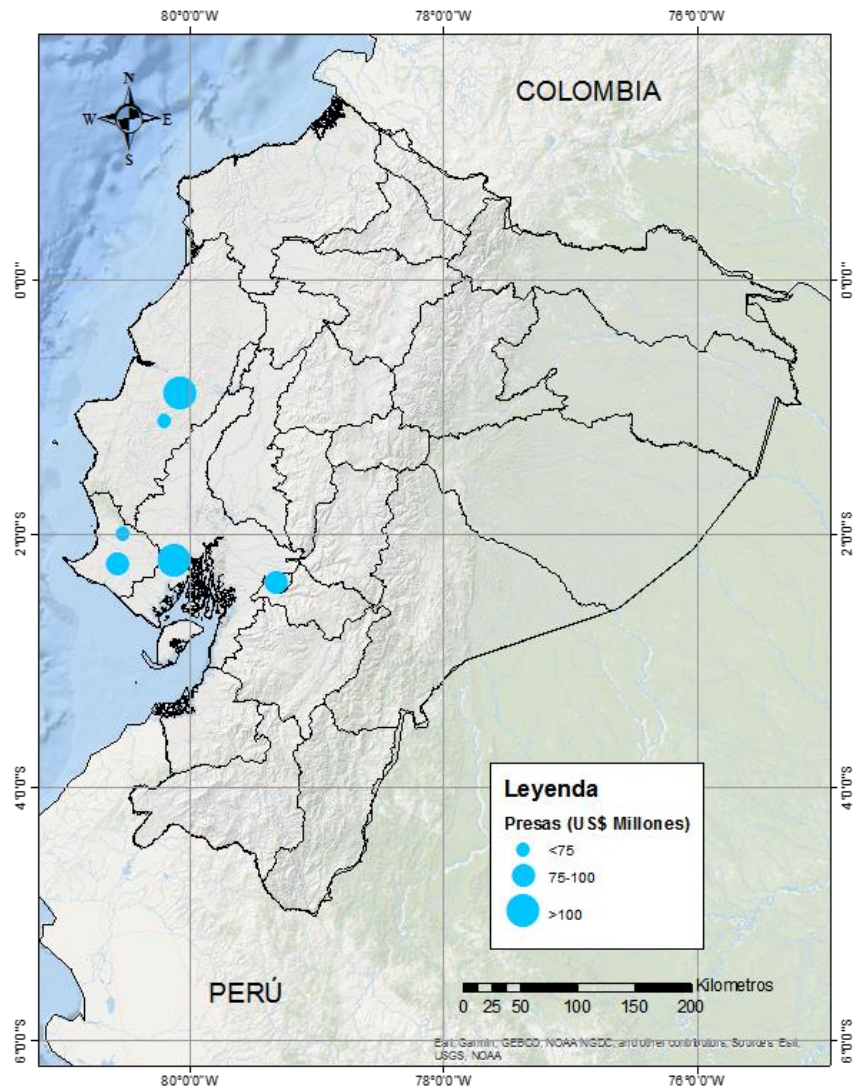


Figura 67. Valor expuesto sistemas de almacenamiento.

5.3.3 Sector Comunicaciones

El sector de comunicaciones incluye principalmente las subestaciones de comunicación. Para este sector se utiliza un modelo de exposición tipo Proxy a partir de indicadores. En la Figura 68 se presenta un resumen del enfoque metodológico empleado en este caso.

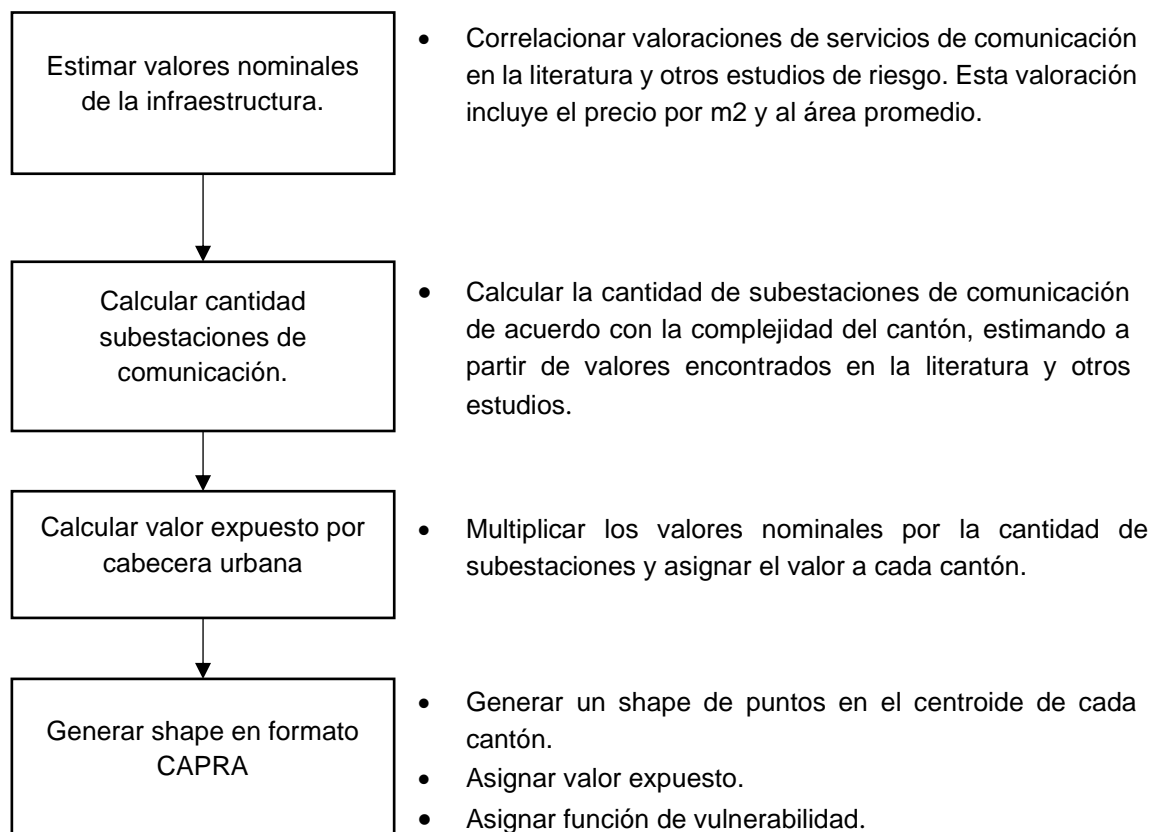


Figura 68. Procedimiento sector comunicaciones.

A partir de la revisión bibliográfica realizada, y utilizando otros estudios como base, se encontró un valor promedio de $USD\$ 3,500/m^2$ y un área de $25 m^2$ para las subestaciones de comunicación.

Así mismo, la Tabla 28 muestra la cantidad de subestaciones promedio según la complejidad del cantón.

Tabla 28. Cantidad subestaciones de comunicación según complejidad del cantón.

Complejidad	Cantidad subestaciones de comunicación
Alta	150
Media	20
Baja	15

A partir de esto se genera el modelo de exposición a nivel de cantón, los valores totales expuestos se presentan en la Tabla 29 y se puede observar gráficamente en la Figura 69.

Tabla 29. Valores expuestos sistemas de distribución de comunicaciones

Sector	Valor expuesto (US\$ Millones)
Sistemas de comunicación	\$ 373

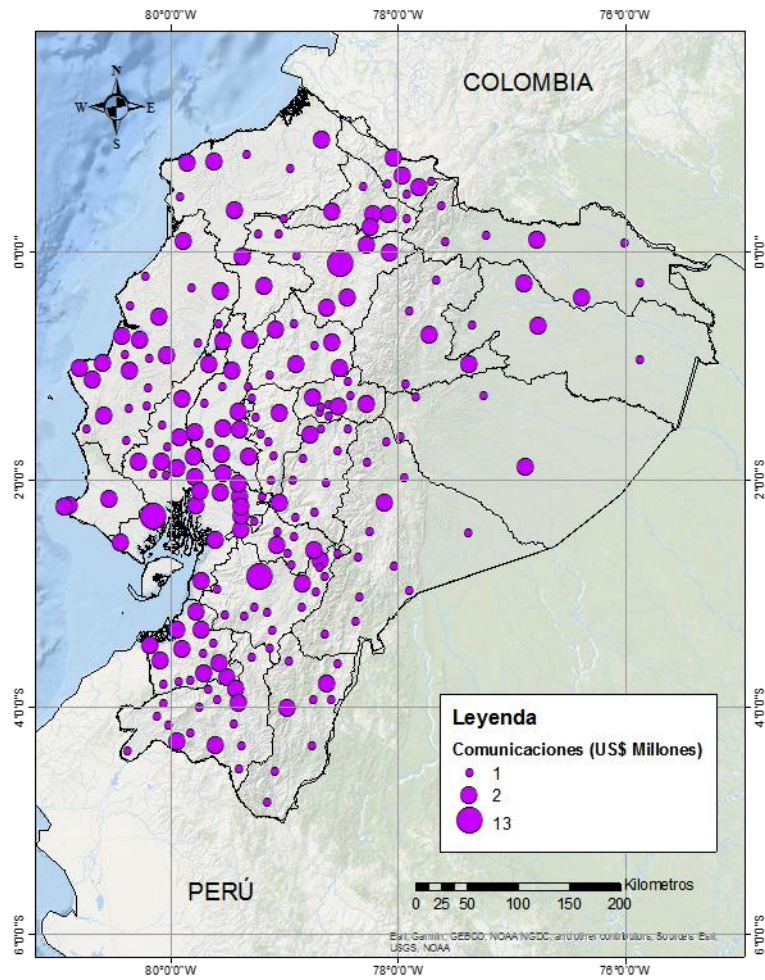


Figura 69. Modelo exposición sector comunicaciones.

5.3.4 Sector eléctrico

Para efectos de la evaluación del riesgo sísmico, la infraestructura del sector eléctrico se puede dividir en los componentes que se muestran en la Figura 70.



Tomado de: <http://www.ecuatran.com/blog/conoce-cuales-son-las-9-centrales-hidroelectricas-que-existen-en-ecuador/>

(a)



Tomado de: <http://www.sectorelectricidad.com/17362/ecuador-montaje-y-tendido-en-linea-500kv/>

(b)



Tomado de: <https://www.flickr.com/photos/energiaecuador/7734601758>

(c)

Figura 70. Ejemplo componentes sector eléctrico, (a) Centrales de generación (Hidroeléctricas, Termoeléctricas, de Biomasa, Solares y Eólicas), (b) Líneas de transmisión y subtransmisión, (c) Subestaciones de transmisión y de subtransmisión.

Es importante aclarar que las líneas de transmisión se dividen en las de alta tensión (69, 138, 230, 500 kV) las cuales provienen de las centrales eléctricas y las de baja tensión (líneas de subtransmisión) las cuales transmiten a voltajes inferiores a 69 kV. Por su parte, las subestaciones se dividen en subestaciones de transmisión, que son las que manejan altas tensiones ya que se conectan con las líneas de transmisión, y en subestaciones de distribución, que corresponden a aquellas que manejan voltaje inferior ya que su función es distribuir energía en las zonas urbanas y están conectadas a las líneas de subtransmisión.

Estos componentes están bajo la responsabilidad del Ministerio de Electricidad y Energía renovable (MEER), quienes cuentan con la información que se lista en la Tabla 30.

Tabla 30. Información suministrada MEER. Sector eléctrico

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
Centrales eléctricas	Centrales Eléctricas Shapefile	Shapefile	Marzo 2018	MEER
Matriz de información	Información general Subestaciones	Excel	Abril 2018	MEER
Activo Fijo en Operación (AFO)	AFO de CELEC Dic 2017	Excel	Abril 2018	MEER
Línea de transmisión y subtransmisión	Líneas de Transmisión y Sub-transmisión	Excel	Marzo 2018	MEER

Como anexo al presente documento se entregan en formato digital los anexos mencionados.

A partir de esta información se identificaron 8 tipos de componentes de infraestructura principales: Centrales Hidroeléctricas, Centrales Termoeléctricas, Centrales a Biomasa, Centrales Solares, Centrales Eólicas, Líneas de Transmisión, Líneas de Sub-transmisión, Subestaciones de Transmisión y Subestaciones de Distribución.

Para generar el modelo de exposición del sector, se utilizaron procedimientos diferentes para cada uno de los tipos de infraestructura tal como se explica enseguida.

5.3.4.1 Centrales Hidroeléctricas

El país cuenta con un total de 31 centrales hidroeléctricas distribuidas principalmente en la zona central del país. De estas, la más grande es la central Paute Molino, que tiene aproximadamente 1075 MW de potencia y es capaz de generar 4900 GWh. Esta central está compuesta por una presa tipo arco gravedad llamada Daniel Palacios, y tiene un valor aproximado de US\$ 2,000 Millones. El resto de las centrales hidroeléctricas tienen en promedio 35MW de potencia, y su rango se encuentra entre 0.2 y 230MW.

Con el fin de estimar el valor de exposición de estos componentes se recurre a evaluar el costo de proyectos anteriores y normalizarlo de acuerdo con la capacidad instalada de cada proyecto. Entre los proyectos consultados se encuentra la Central Coca Codo Sinclair, la Central Manduriacu y el Proyecto Paute Cardenillo. Las referencias principales son las siguientes:

- CELEC EP (2015) Central Coca Codo Sinclair. Ecuador. Recuperado de: <https://www.celec.gob.ec/cocacodosinclair/index.php/2015-09-07-17-45-09/footers/coca-codo-sinclair2/beneficios>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2015) Manduriacu. Ecuador. Recuperado de: <http://www.energia.gob.ec/manduriacu/#>
- CELEC EP (2015) Presupuesto Referencial de Licitación de la Construcción Proyecto Hidroeléctrico Paute- Cardenillo. Ecuador. Recuperado de: <https://www.celec.gob.ec/hidropaute/proyectos/costos-cardenillo.html>

Utilizando esta información, se obtiene un valor unitario promedio de US\$ 1.8 Millones por cada MW de potencia instalada. En la Tabla 31 se presenta la capacidad de generación instalada y los valores de reposición utilizados para cada una de las centrales.

A continuación, en la Figura 71 se muestra la distribución geográfica de las centrales hidroeléctricas reportadas.

Tabla 31. Centrales hidroeléctricas

Nombre	Potencia (MW)	Valor expuesto (US\$ Millones)
Saymirín	14	\$ 26
Saucay	24	\$ 43
Mazar	184	\$ 331
Paute	1075	\$ 1,935
Ocaña	26	\$ 47
Hidroabanico	38	\$ 69
Sibimbe	15	\$ 28
San Francisco	230	\$ 414
Agoyín	160	\$ 288
Tiliví	0.1	\$ 0.2
Pucarí	73	\$ 131
Calope	17	\$ 30
Marcel Laniado	213	\$ 383
Sillunchi II	0.3	\$ 1
La Calera	3	\$ 5
Corazón	1	\$ 2
Sillunchi I	0.1	\$ 0
El Carmen	8	\$ 15
Papallacta	7	\$ 12
Loreto	2	\$ 4
Recuperadora	15	\$ 26
Noroccidente	0.3	\$ 0.5
Urvia	1	\$ 2
Vindobona	6	\$ 11
Perlabí	3	\$ 5
Espejo	0.2	\$ 0.4
Otavalo	0.4	\$ 1
Atuntaqui	0.4	\$ 1
Industrial Algodonera Atuntaqui	1	\$ 1
Electrocórdova	0.2	\$ 0.4
Hidrocarolina	1	\$ 1
Total	2,118	\$ 3,812

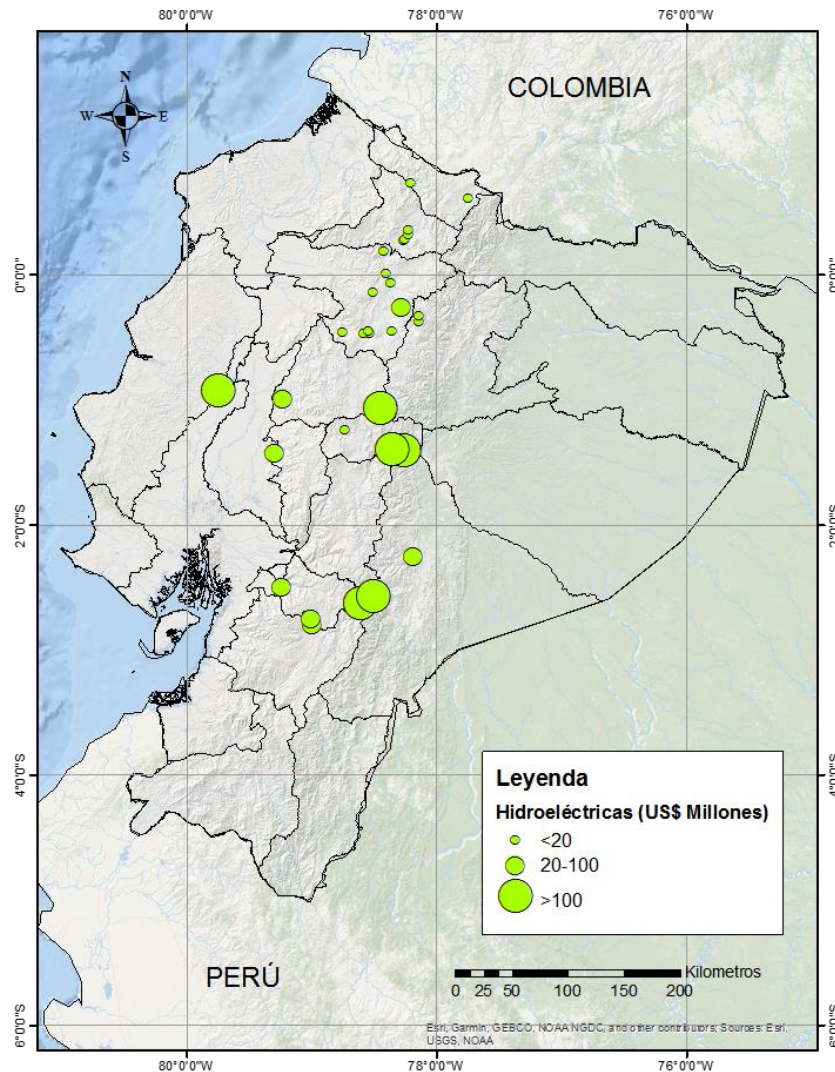


Figura 71. Distribución geográfica de centrales hidroeléctricas.

5.3.4.2 Centrales Termoeléctricas

El país cuenta con un total de 33 centrales termoeléctricas distribuidas principalmente en la zona central del país. De estas, la más grande es la central Electroquil, que tiene aproximadamente 181 MW de potencia y tiene un valor aproximado de US\$ 220 Millones. El resto de las centrales termoeléctricas tienen en promedio 60MW de potencia, y su rango se encuentra entre 0.1 y 150MW.

Con el fin de estimar el valor de exposición de estos componentes se recurre a evaluar el costo de proyectos anteriores y normalizarlo de acuerdo con la capacidad instalada de cada proyecto. Entre los proyectos consultados se encuentra la Central Esmeraldas, Central Esmeraldas I y La Central Sacha. Las referencias principales son las siguientes:

- Gallegos, D (2014) Central Termina permite garantizar el 6% de la demanda de energía del país. El Ciudadano. Ecuador. Recuperado de: <http://www.elciudadano.gob.ec/central-termica-esmeraldas-permite-garantizar-el-6-de-la-demanda-de-energia-del-pais/>
- CELEC EP (2018). Central Térmica Esmeraldas I. Ecuador. Recuperado de: <https://www.celec.gob.ec/termoesmeraldas/index.php/central-termica-esmeraldas-ii>

- CELEC EP (2017). Sacha. Ecuador. Recuperado de:

<https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/generacion/sacha>

Utilizando esta información, se obtiene un valor unitario promedio de US\$1.2 Millones por cada MW de potencia instalada. En la Tabla 32 se presenta la capacidad de generación instalada y los valores de reposición utilizados para cada una de las centrales, y en la Figura 73 se muestra la distribución geográfica de los valores expuestos.

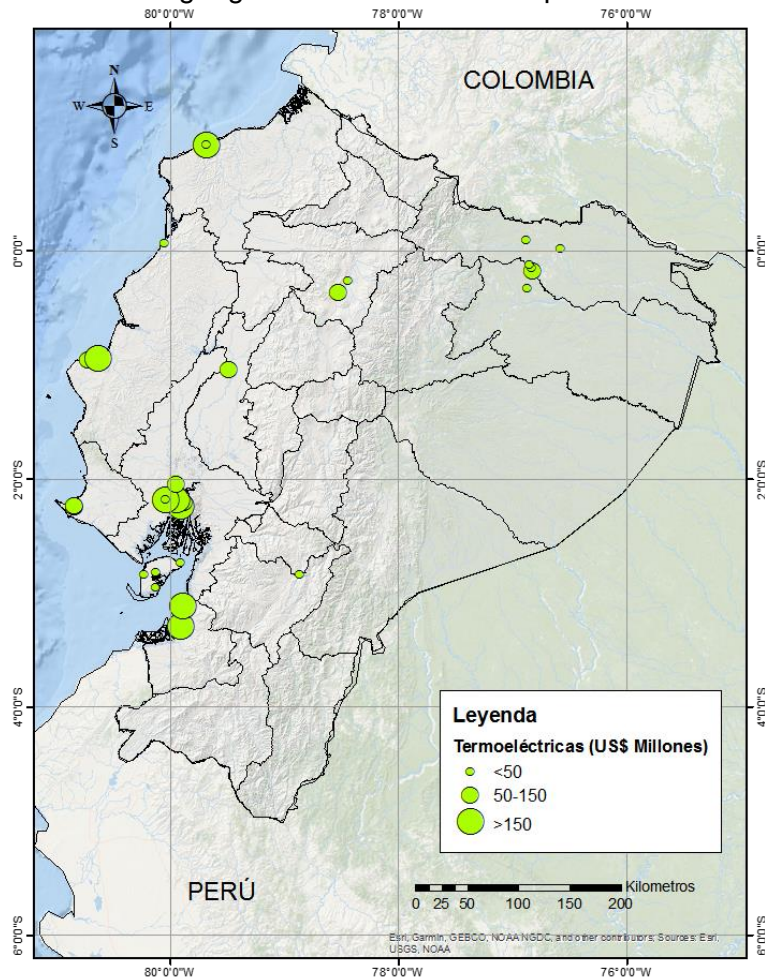


Figura 72. Distribución geográfica de centrales termoeléctricas.

Tabla 32. Centrales termoeléctricas

Nombre	Potencia (MW)	Valor Expuesto (US\$ Millones)
Termogas Machala II	137	\$ 164
Termogas Machala I	140	\$ 168
Puní Viejo	0.1	\$ 0.1
Cauchiche	0.1	\$ 0.1
El Descanso	19	\$ 23
Campo Alegre	0.4	\$ 0.5
Puní Nueva	2.8	\$ 3
Trinitaria	133	\$ 160
Santa Elena	40	\$ 48
Santa Elena II	90	\$ 108
Santa Elena II	90	\$ 108
Santa Elena III	42	\$ 50
Victoria II	115	\$ 138

Nombre	Potencia (MW)	Valor Expuesto (US\$ Millones)
Gonzalo Zevallos (Gas)	26	\$ 32
Gonzalo Zevallos (Vapor)	146	\$ 175
Electroquil	181	\$ 217
Generoca	38	\$ 46
Enrique García	102	\$ 122
Quevedo II	102	\$ 122
Manta II	20	\$ 24
Miraflores	50	\$ 60
Jaramijo	140	\$ 168
Santa Rosa	51	\$ 61
Sacha	20	\$ 24
Guangopolo	23	\$ 27
Jivino III	44	\$ 53
Jivino II	11	\$ 13
Jivino I	5	\$ 6
Secoya	10	\$ 12
Pedernales	5	\$ 6
Celso Castellanos	10	\$ 12
Termoesmeraldas	133	\$ 159
La Propicia	11	\$ 13
Total	1,937	\$ 2,324

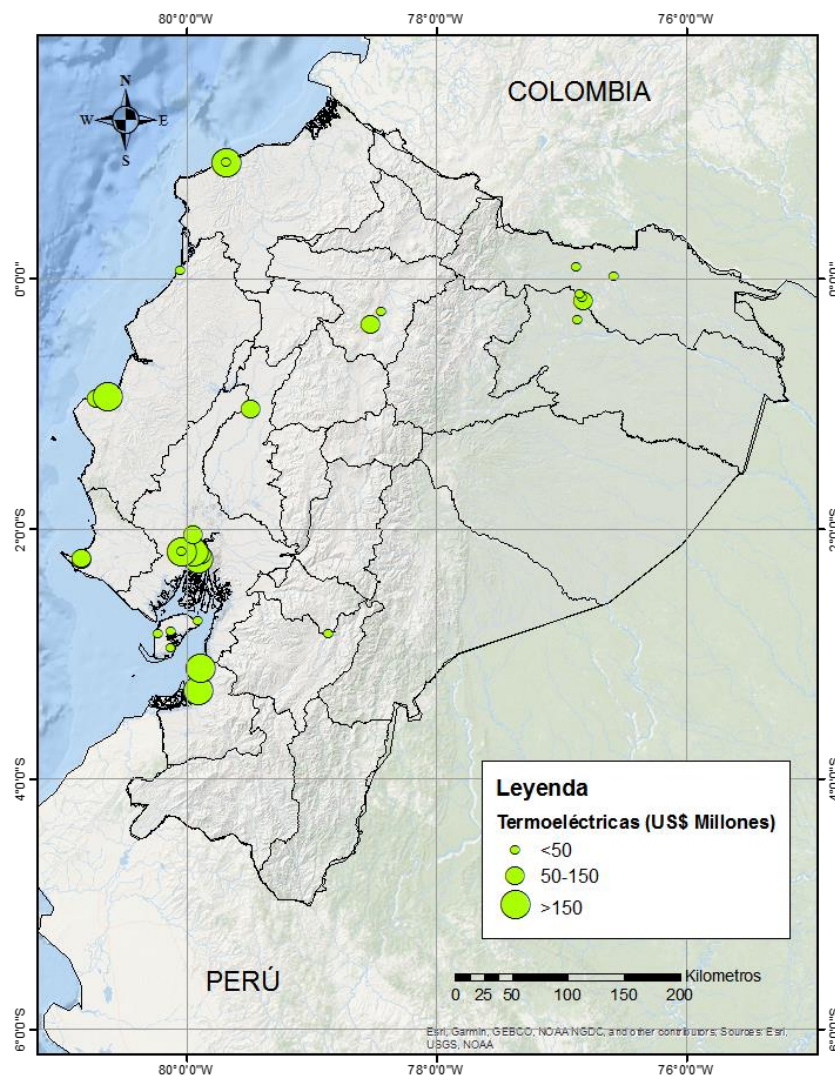


Figura 73. Distribución geográfica de centrales termoeléctricas.

5.3.4.3 Centrales Eólicas, de biomasa y solares

El país cuenta con un total de 3 centrales de biomasa, 2 centrales eólicas y 5 centrales solares, de estas, la más importante es la central de biomasa a nombre de Ecoeléctrica, ubicada en la provincia de Guayas, con una potencia de 36.5MW. El resto de las centrales tienen en promedio 12MW de potencia, y su rango se encuentra entre 0.01 y 35MW.

Con el fin de estimar el valor de exposición de estos componentes se recurre a evaluar el costo de proyectos anteriores y normalizarlo de acuerdo con la capacidad instalada de cada proyecto. Las referencias principales son las siguientes:

- News Soliclima (2009). Situación de la energía Eólica en Ecuador. Ecuador. Recuperado de:
- Corporación Interamericana de Inversiones (2013). Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A. Ecuador. Recuperado de:
<http://www.iic.org/es/proyectos/ecuador/ec3868a-02/sociedad-agricola-e-industrial-san-carlos-sa>
- Asociación Ecuatoriana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (2013). *17 nuevos proyectos fotovoltaicos se instalarán en Ecuador hasta el 2015*. Ecuador.

Recuperado de: <http://aeisa.com.ec/17-nuevos-proyectos-fotovoltaicos-se-instalaran-en-ecuador-hasta-el-2015/>

Utilizando esta información, se obtienen los valores unitarios mostrados en la Tabla 33.

Tabla 33. Valores unitarios de reposición

Tipo Central	Valor (US\$ Millones / MW)
Eólica	2.48
Biomasa	2.67
Solar	2.57

En la Tabla 34 se presenta la capacidad de generación instalada y los valores de reposición utilizados para cada una de las centrales.

Tabla 34. Valor Expuesto centrales solares, de biomasa y eólicas

Nombre	Tipo	Potencia (MW)	Valor Expuesto (US\$ Millones)
Ecudos A-G	Biomasa	30	\$ 79
San Carlos	Biomasa	35	\$ 93
ECOELECTRIC	Biomasa	37	\$ 97
Villonaco	Eólica	17	\$ 41
TROPEZÓN	Eólica	2	\$ 6
Panel Fotovoltaico	Solar	0.4	\$ 1
Floreana Solar aislados	Solar	0.01	\$ 0.03
Isabela Solar aislados	Solar	0.01	\$ 0.03
San Cristóbal Solar Eólica	Solar	0.01	\$ 0.03
Santa Cruz Solar aislados	Solar	0.01	\$ 0.03
Total		121	\$ 317

En la Figura 74 se muestra la distribución geográfica de los valores expuestos, sin incluir aquellas centrales ubicadas en galápagos.

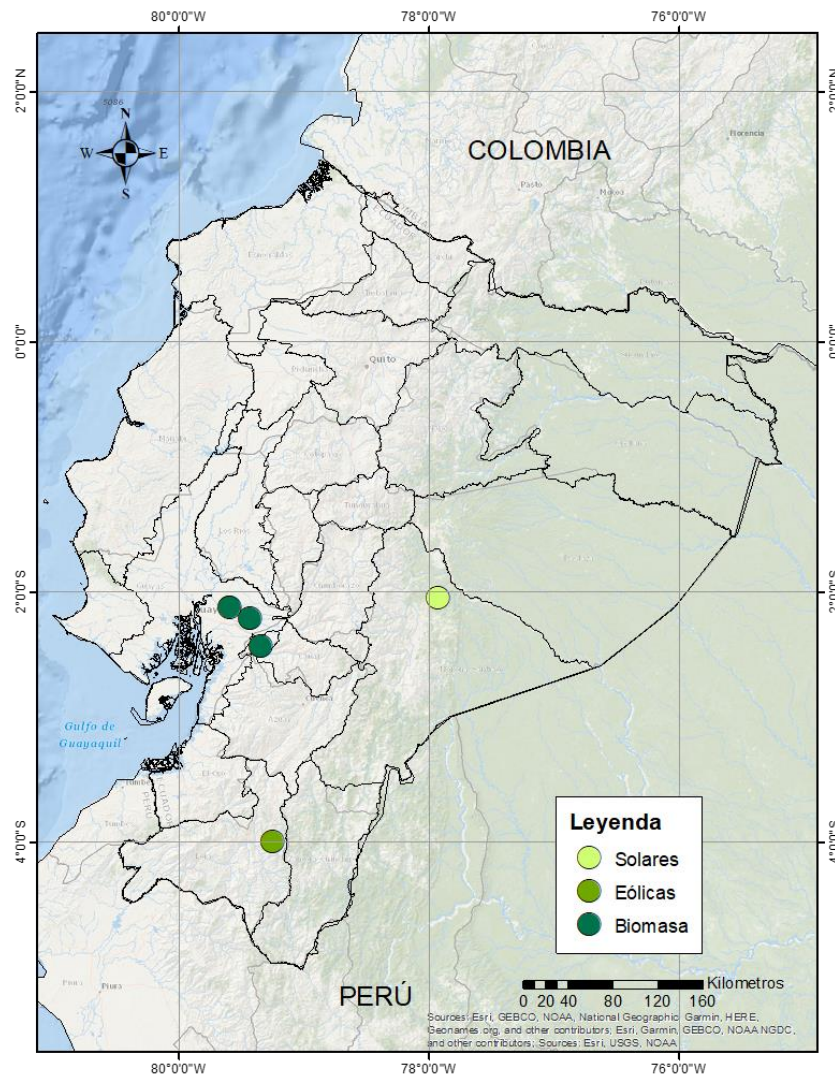


Figura 74. Distribución geográfica de centrales solares, eólicas y de biomasa.

5.3.4.4 Líneas eléctricas

Este sector incluye las líneas de transmisión y de subtransmisión ubicadas a lo largo de todo el territorio. En total se tienen 5000 kilómetros de líneas de transmisión y casi 3300 kilómetros de líneas de subtransmisión. La principal diferencia entre estos dos tipos es la capacidad voltaica, siendo las líneas de transmisión las de mayor capacidad, entre 138 y 230kV en su gran mayoría. Mientras que las líneas de subtransmisión tienen una capacidad de 69kV como máximo.

Con el fin de estimar el valor de exposición de estos componentes se recurre a evaluar el costo de proyectos anteriores y normalizarlo de acuerdo con la capacidad instalada de cada proyecto. Entre estos se encuentran las líneas de transmisión de: Milagro-Machala, Zhoray- Cuenca, Santa Rosa- Pomasqui, Milagro- Las Esclusas, Trinitaria- Las Esclusas, Esmeraldas- Santo Domingo, Lago de Chongón- Santa Elena, Las Esclusas-Caraguay. Las referencias principales son las siguientes:

- CONELEC (2012) *Plan Maestro de Electrificación 2012-2021*. Ecuador. Recuperado de:

<http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol3-Perspectiva-y-expansi%C3%B3n-del-sistema-el%C3%A9ctrico-ecuatoriano.pdf>

Utilizando esta información, se obtienen los valores unitarios mostrados en la Tabla 35.

Tabla 35. Valor de reposición Unitario Líneas de Transmisión y subtransmisión.

Voltaje (kV)	Valor (US\$/m)
69	\$234
138	\$317
230	\$ 235
500	\$308

En la Tabla 36 se indican los valores totales de exposición obtenidos por voltaje y tipo de línea.

Tabla 36. Valor Expuesto de Líneas de Transmisión y subtransmisión.

Voltaje	Valor Expuesto (US\$ Millones)	Longitud (km)	Tipo de línea
69	\$764	3,260	Sub-transmisión
69	\$153	384	Transmisión
138	\$812	2,154	Transmisión
230	\$300	2,489	Transmisión
Total	\$2,031	8,686	Transmisión

En la Figura 75 se presenta la distribución geográfica de los componentes expuestos.

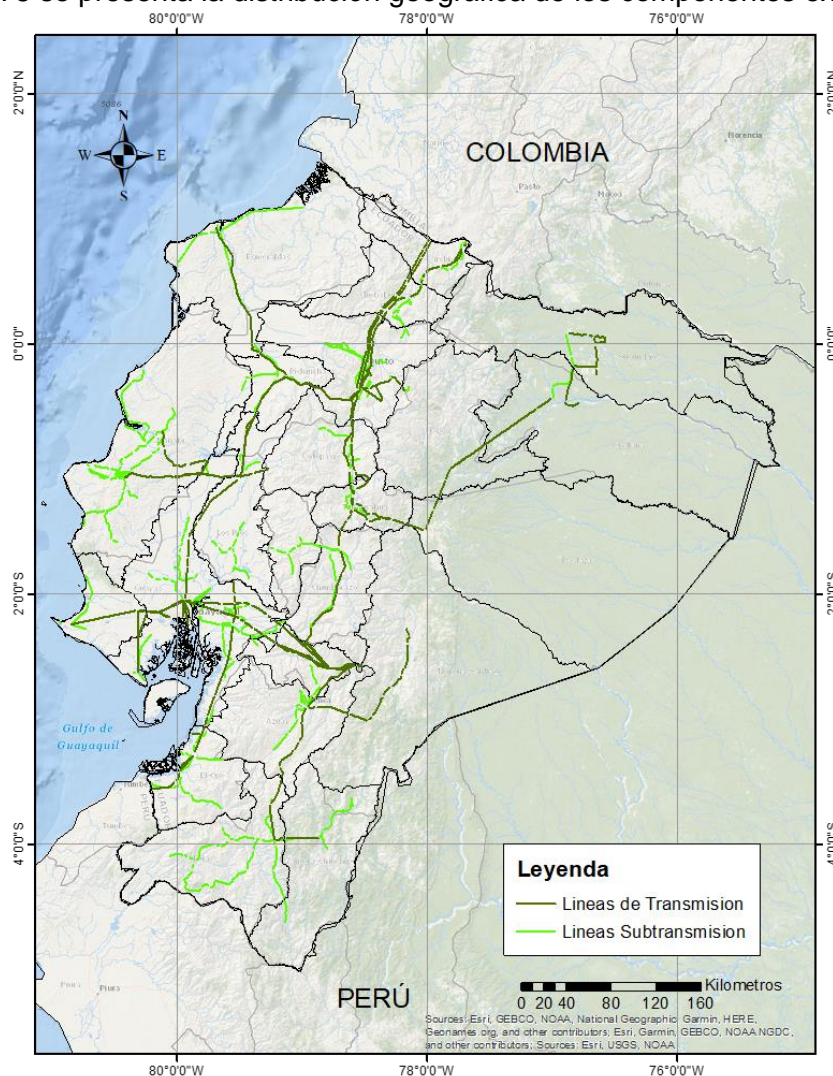


Figura 75. Distribución geográfica líneas de transmisión y subtransmisión eléctrica.

5.3.4.5 Subestaciones eléctricas

El país cuenta con un total de 74 subestaciones de distribución. De estas, la más grande es la subestación San Gregorio, que tiene aproximadamente 88 mil metros cuadrados de área y maneja una corriente de 230kV. El resto de las subestaciones de distribución tienen en promedio 30 mil metros cuadrados de área y manejan una corriente entre 230 y 138kV.

Por otra parte, se tienen 59 subestaciones de transmisión. De estas, la más grande es la subestación San Rafael, que tiene un valor aproximado de US\$22 millones. El resto de las subestaciones de transmisión tienen un valor promedio de US\$5 millones.

Con el fin de estimar el valor de exposición de estos componentes se recurre a la información proporcionada por el MEER, en el archivo “AFO de CELEC Dic 2017” entregado como anexo a este informe.

Para las subestaciones de transmisión de las cuales no se encontraba información, se utilizó un promedio del valor de reposición por m^2 calculado para cada voltaje tipo entre los valores reportados. En la Tabla 37 se detallan los valores de reposición unitarios implementados.

Tabla 37. Valor de reposición Unitario Subestaciones de Transmisión.

Voltaje (kV)	Valor (US\$/m²)
138	\$759
230	\$819
500	\$518

En la Tabla 38 se presenta el área y los valores de reposición totales para las provincias en las que se encuentran las subestaciones de transmisión.

Tabla 38. Valor de reposición total por provincia subestaciones eléctricas de transmisión.

Provincia	Valor Expuesto (US\$ Millones)
Azuay	\$ 35
Cañar	\$ 6
Carchi	\$ 16
Cotopaxi	\$ 10
Chimborazo	\$ 33
El Oro	\$ 35
Esmeraldas	\$ 30
Guayas	\$ 406
Imbabura	\$ 39
Loja	\$ 33
Los Ríos	\$ 96
Manabí	\$ 138
Morona Santiago	\$ 23
Napo	\$ 11
Pastaza	\$ 8
Pichincha	\$ 154
Tungurahua	\$ 112
Zamora Chinchipe	\$ 4
Sucumbíos	\$ 71
Orellana	\$ 16
Santo Domingo	\$ 16
Santa Elena	\$ 12
Total	\$ 1,305

Por otra parte, para las subestaciones de distribución sin información de valor de reposición, se utilizó el promedio directo de los valores encontrados, el cual equivale a US\$ 4.8 millones.

En la Tabla 39 se presentan los valores de reposición totales para las provincias en las que se encuentran las subestaciones de distribución.

Tabla 39. Valor de reposición total por provincia subestaciones eléctricas de distribución

Provincia	Valor Expuesto (US\$ Millones)
El Oro	\$ 20
Guayas	\$ 76
Imbabura	\$ 22
Loja	\$ 36
Los Ríos	\$ 14
Manabí	\$ 73
Pichincha	\$ 196
Sucumbíos	\$ 39
Total	\$ 476

En la Tabla 40 se presenta un resumen de los valores expuestos de las subestaciones eléctricas clasificadas por voltaje.

Tabla 40. Valor Expuesto de Subestaciones eléctricas.

Voltaje (kV)	Valor Expuesto (US\$ Millones)
69	\$ 356
128	\$ 451
230	\$ 728
500	\$ 126
Total	\$ 1,781

En la Figura 76 se presenta la distribución geográfica de los componentes expuestos.

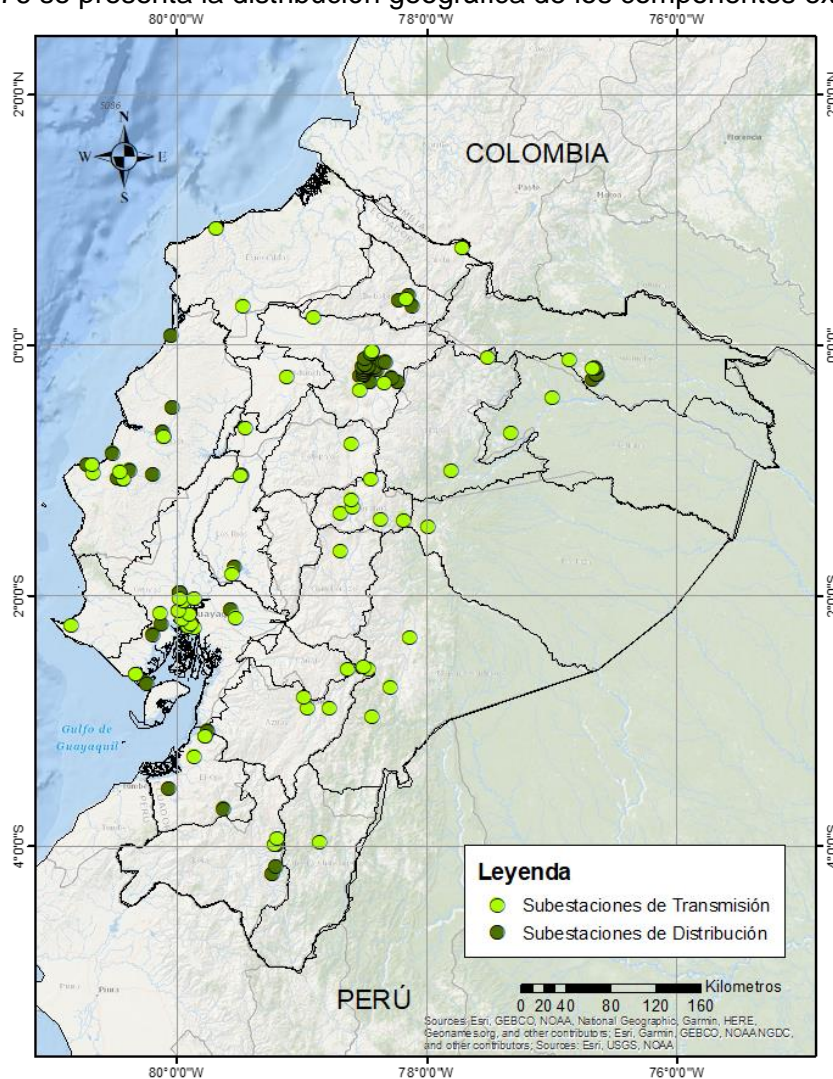


Figura 76. Distribución geográfica de subestaciones eléctricas.

5.3.5 Sector hidrocarburos

El sector de hidrocarburos está compuesto por las centrales de extracción, oleoductos, refinerías, poliductos, gasoductos y estaciones de servicio.

Esta infraestructura está a cargo del Ministerio de Hidrocarburos (MH) mediante las entidades gubernamentales PETROAMAZONAS (extracción y transporte de crudo), PETROECUADOR (refinerías, transporte y distribución) y la entidad privada OCP (oleoducto de crudo pesado): La información suministrada por estas entidades se resume en la Tabla 41.

Tabla 41. Información recopilada para el sector de hidrocarburos

ID	NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
H-1	Tablas_Min_Hidrocarburos_R01.xls	Listado de Estaciones de servicio y oleoductos con ubicación, área, valor de construcción valor asegurado, año de construcción y capacidad	.XLS	23/04/2018	MINISTERIO DE HIDRO CARBUROS
H-2	Instalaciones EPPEC CNA.xls	Listado de Estaciones de servicio y oleoductos con ubicación, área, valor de construcción a cargo de Petro Ecuador	.XLS	23/04/2018	MINISTERIO DE HIDRO CARBUROS
H-3	GDB_Riesgos MH.gdb	Archivos SIG con el trazado de los oleoductos a cargo de Petro Amazonas	GDB	24/04/2018	MINISTERIO DE HIDRO CARBUROS
H-4	SHAPES.rar	Archivos SIG con la ubicación de las estaciones y los trazados de los ductos georreferenciados a cargo de Petro Ecuador	.RAR	25/04/2018	MINISTERIO DE HIDRO CARBUROS
H-5	Planos_Eskemas_obras.rar	Planos esquemáticos de algunas obras de reforzamiento y/o construcción en ductos y estaciones de Petro Ecuador.	.RAR	26/04/2018	MINISTERIO DE HIDRO CARBUROS
H-6	Refinerias.xls	Listado de refinerías con ubicación, área, valor estimado, capacidad.	.XLS	26/04/2018	MINISTERIO DE HIDRO CARBUROS

Como anexo al presente documento se entregan en formato digital los anexos mencionados.

A partir de esta información se identificaron tres tipos de infraestructura, mostrados en la Figura 77.



Tomado de: <https://www.hidrocarburos.gob.ec/refineria-esmeraldas-ya-esta-operativa/>
(a)



Tomado de: <http://ocpecuador.com/es/sala-de-prensa/documentacion/fotos/oleoducto-de-crudos-pesados-0>
(b)



Tomado de: <http://ocpecuador.com/es/funcionamiento/como-funciona-una-estacion-de-bombeo>
(c)

Figura 77. Ejemplo componentes sector hidrocarburos, (a) Refinerías, (b) Oleoductos, (c) Estaciones de bombeo, reductoras y de servicios.

Para obtener el modelo de exposición, se utilizó un procedimiento diferente para cada uno de estos tipos, tratados en detalle a continuación.

5.3.5.1 Refinerías

En este se incluyeron las tres refinerías principales de Ecuador: Esmeraldas, La Libertad y Shushufindi.

La Tabla 42 muestra el valor expuesto total por cada refinería, obtenido de la referencia H-6 suministrada por el ministerio de Hidrocarburos. Para la refinería Esmeraldas, se calcula el valor expuesto multiplicando el área por un valor expuesto nominal de 200 US\$ / m², que se obtuvo como el promedio del valor calculado para las refinerías La Libertad y Shushufindi.

Tabla 42. Valor expuesto refinerías

Refinería	Valor expuesto (US\$ Millones)	Capacidad (Barriles/día)
Esmeraldas	\$ 220	90,000
La Libertad	\$ 375	46,000
Shushufindi	\$ 18	20,000
Total	\$ 613	156,000

5.3.5.2 Ductos

Estos incluyen todos los oleoductos, poliductos, gasoductos y otros ductos (ductos de crudos pesados). Estos ductos están fabricados de acero API5L, con diámetros entre 6" y 24", y cuentan con conexiones soldadas.

Utilizando la referencia H-1 suministrada por el ministerio de Hidrocarburos, se obtuvieron los valores de reposición para los ductos. Para aquellos ductos sin información, se calculó un valor promedio a partir de la información suministrada, que equivale a US\$ 250,000 por kilómetro. Este valor promedio se multiplica por la longitud del ducto para obtener el valor de reposición.

En total, se incluyeron 4,573 km de ductos, los cuales tienen un valor expuesto total de US\$ 2,514 millones.

5.3.5.3 Estaciones de bombeo y servicio

Aquí se incluyen las estaciones de bombeo y reductoras, así como las estaciones de servicio EPPEC.

Utilizando las referencias H-1 y H-2 suministradas por el ministerio de Hidrocarburos, se obtuvieron los valores de reposición para las estaciones. Para aquellas estaciones sin información, se les asignó el valor promedio calculado a partir de la información suministrada, el cual equivale a US\$5.4 millones.

En total se tienen 103 estaciones con un valor expuesto de US\$721 millones.

El modelo de exposición para los tres componentes del sector hidrocarburos se presenta en la Figura 78.

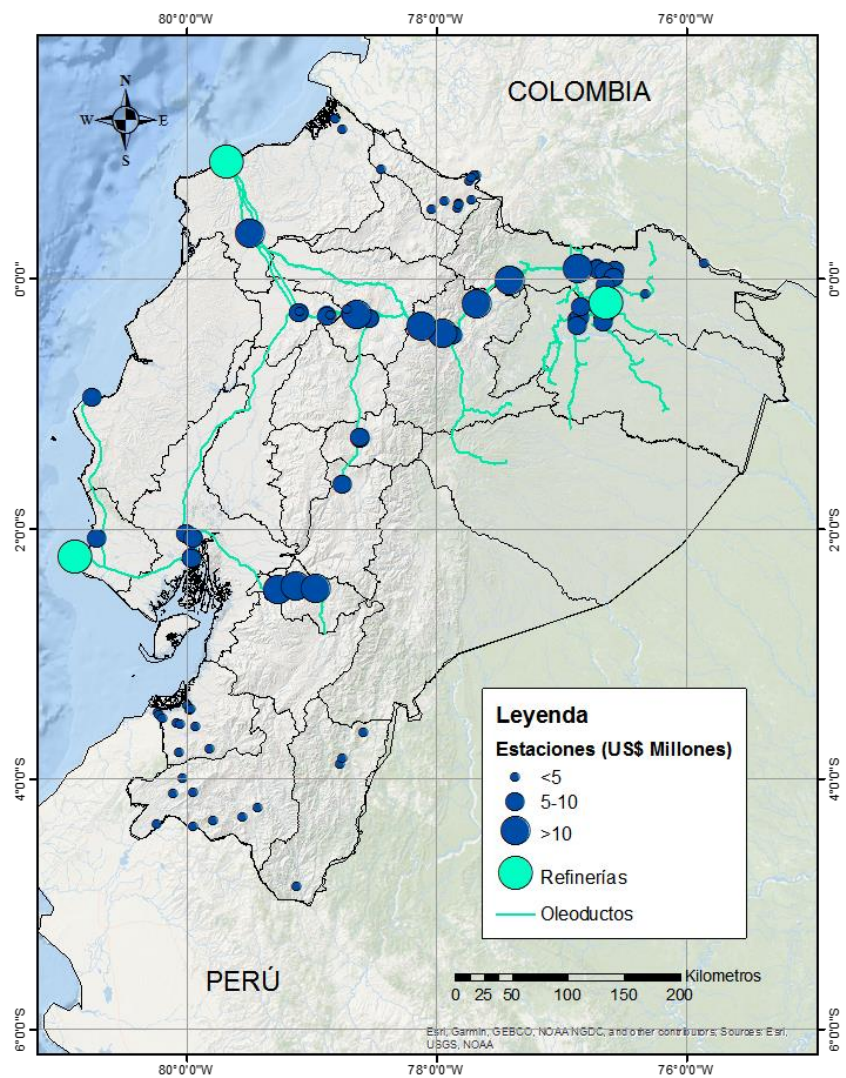


Figura 78. Modelo exposición sector hidrocarburos.

5.3.6 Sector transporte

El sector de transporte está compuesto por los componentes mostrados en la Figura 79.



Tomado de: <http://motorbit.com/radar-ecuador-transporte-leyes/?pais=>

(a)



Tomado de: <http://www.ecuavisa.com/tags/puente-unidad-nacional>

(b)



Tomado de: <http://www.maritimoportuario.cl/mp/ecuador-busca-inversion-para-sus-puertos/>
(c)



Tomado de: <http://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/nacional/194846-dos-horas-se-dejo-operar-aeropuerto-quito-debido-al-clima>
(d)

Figura 79. Ejemplos componentes sector transporte (a) Red vial (Vías primarias y vías secundarias), (b) Puentes, (c) Muelles, (d) Aeropuertos.

Esta infraestructura está a cargo del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). La Tabla 43 resume la información disponible suministrada por el MTOP.

Tabla 43. Información recopilada para el sector transporte

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
Red Vial	RED VIAL ESTATAL 2017	Shapefile	Abril 2018	MTOP
Catálogo de puentes	RVE Puentes 2018	Excel	Abril 2018	MTOP
Catálogo de Puente Azuay	Matriz de Puentes y Vías Azuay	Excel	Abril 2018	MTOP
Aeropuertos	Matriz Aeropuertos 2018	Excel	Abril 2018	Dirección General de Aviación Civil (DGAC)

A partir de esta información se identificaron 5 tipos de infraestructura: vías Primarias, vías secundarias, puentes, puertos y aeropuertos.

Para obtener el modelo de exposición, se utilizó un procedimiento diferente para cada uno de estos tipos, tratados en detalle a continuación.

5.3.6.1 Vías Primarias

Las vías primarias agrupan las carreteras que conectan puertos, cruces fronterizos y capitales de provincia. En total el país cuenta con 9 mil kilómetros de vías primarias.

Para conformar la base de datos de las vías primarias se utiliza el mismo procedimiento explicado anteriormente, sin embargo, por tratarse de elementos lineales, estos se dividen en segmentos para conformar tramos con longitudes máximas de 2 km, a cada uno de estos tramos se les asigna un punto en el centroide y un valor de exposición relativo a su longitud respecto a la longitud total de la vía.

Con el fin de estimar el valor de exposición de estos componentes se recurre a evaluar el costo de proyectos anteriores y normalizarlo de acuerdo con la longitud de cada proyecto. Entre estos se encuentran la Vía Rápida Cuenca Azogues- Biblián y la Vía Rápida E25. Las referencias principales son las siguientes:

MTOP (2018). Pero Tenemos Carreteras. Ecuador.

Utilizando esta información, se obtiene un valor unitario promedio de US\$2,538/km. No se tuvo en cuenta el nivel de complejidad del cantón ya que al ser una vía principal se toma por hecho que esta infraestructura es independiente de este factor. De esta forma, se obtuvo un valor expuesto total de US\$ 22,903 Millones. En la Figura 80 se presenta la distribución geográfica de los componentes expuestos.

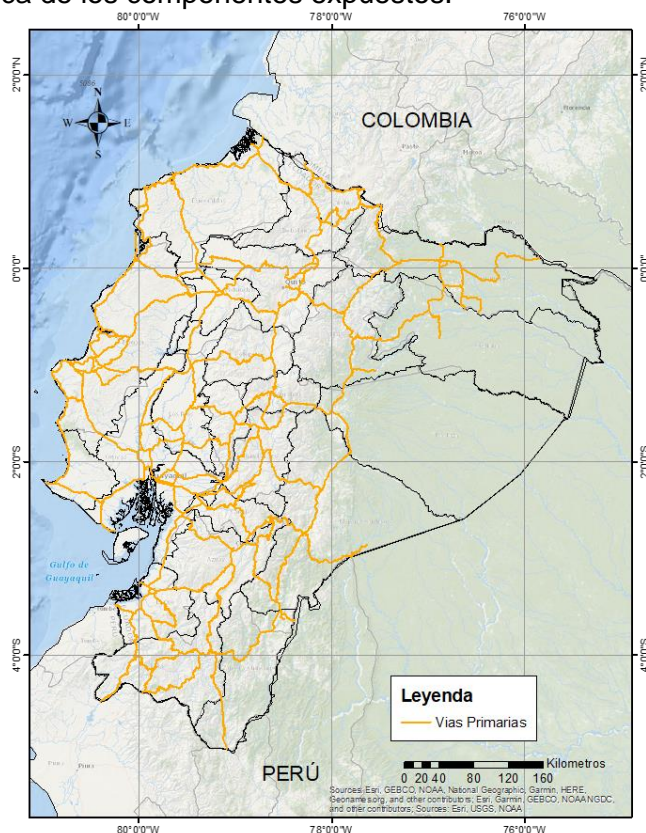


Figura 80. Resultados modelo vías primarias.

5.3.6.2 Vías Secundarias

Las vías secundarias agrupan las rutas cuya función principal es conducir el tráfico de las zonas rurales o urbanas hasta las vías primarias. En total el país cuenta con 26 mil kilómetros de vías secundarias aproximadamente.

Para conformar la base de datos de las vías secundarias se utiliza el mismo procedimiento explicado anteriormente para vías principales, con la única diferencia de que la longitud escogida para los tramos fue de 1km.

Con el fin de estimar el valor de exposición de estos componentes se recurre a evaluar el costo de proyectos anteriores y normalizarlo de acuerdo con la longitud de cada proyecto. Entre estos se encuentran la Vía Pifo-Papallacta, Vía Cahuaji-Pillate-Cataló-Empate (Ambato-Baños), Vía Arenillas-La Avanzada, Vía El Rodio-Rocafuerte, Ruta Spondylus, Vía Empalme-Celica-Alamor, Vía Arenillas-Alamor, Troncal Amazónica Tramo 4. El valor de estos proyectos se obtuvo de la misma referencia citada para las vías principales. Utilizando esta información y diferenciando según la complejidad del cantón en el que se ubicaba el proyecto, se obtienen los valores unitarios mostrados en la Tabla 44.

Tabla 44. Valor Expuesto unitario de Vías Secundarias.

Complejidad Cantón	Vías Secundarias (US\$/m)
Alta	\$ 1,511
Media	\$ 1,511
Baja	\$ 896

Con estos valores, y la longitud de las vías, se obtuvo el valor expuesto total de las vías secundarias, mostrado en la Tabla 45.

Tabla 45. Valor Expuesto de Vías Secundarias.

Complejidad	Valor total (US\$ Millones)	Cantidad Total (km)
Alta	\$ 3,712	2,457
Media	\$ 21,651	14,329
Baja	\$ 8,194	9,145
Total	\$ 33,558	25,931

Como se observa, se obtuvo un valor expuesto total de US\$ 33,557 millones. En la Figura 81 se presenta la distribución geográfica de los componentes expuestos.

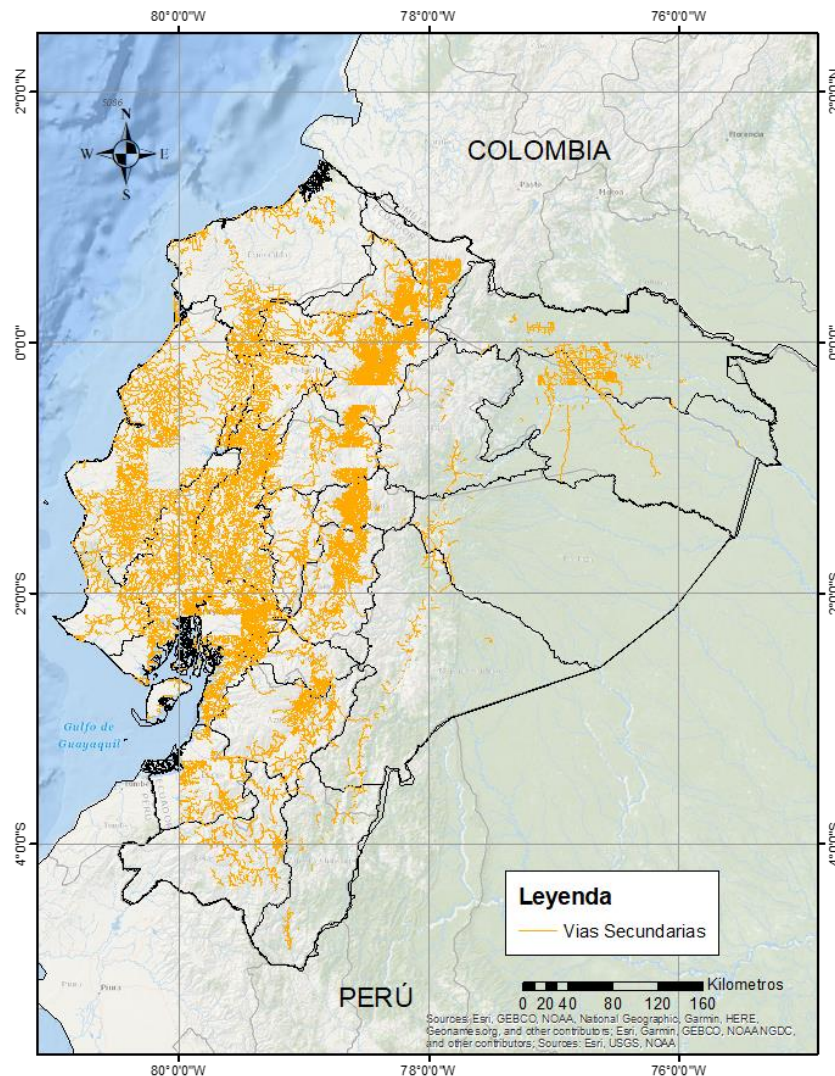


Figura 81. Resultados modelo vías secundarias.

5.3.6.3 Puentes

Utilizando la información recibida y recopilada se consolidó una base de datos con los puentes del país situados sobre la red de vías primarias, en dicha información se encontraba la ubicación y la longitud de cada puente (Distancia entre rampas de entrada y salida). En total el país cuenta con 38 kilómetros de puentes aproximadamente en 1,107 puentes. Para conformar la base de datos de los puentes se utiliza el mismo procedimiento explicado anteriormente para los demás sectores, asignando un punto al centroide de cada puente.

Con el fin de estimar el valor de exposición de estos componentes se recurre a evaluar el costo de proyectos anteriores y normalizarlo de acuerdo con la longitud de cada proyecto. Entre estos se encuentran el puente Isla de Muisne, puente sobre el Río Babahoyo, puente sobre el Río Bombaiza, puente sobre el río Namangoza, puente Sobre Río León, puente San Felipe de Oña, Puente del Descanso. El valor de estos proyectos se obtuvo de las siguientes referencias:

- El Universo (2017) *Puente de 350 metros une isla de Muisne a Continente*. Ecuador. Recuperado de:

<https://www.eluniverso.com/noticias/2017/05/20/nota/6190516/puente-350-metros-une-isla-continente>

- Ecuador inmediato (2011) *Inauguración en Guayaquil El puente más largo del Ecuador*. Ecuador. Recuperado de: http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=158534
- Telégrafo (2016) *El puente sobre el río Bomboiza costó \$2.9 millones más de lo presupuestado*. Ecuador. Recuperado de: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/politica/2/el- puente-sobre-el-rio-bomboiza-costo-US-2-9-millones-mas-de-lo-presupuestado>
- Información proporcionada por el MTOP sobre los puentes de Azuay.

Utilizando esta información y diferenciando según la complejidad del cantón en el que se ubicaba el proyecto, se obtienen los valores unitarios mostrados en la Tabla 46.

Tabla 46. Valor Expuesto Unitario de los Puentes.

Complejidad Cantón	Puentes (US\$/m)
Alta	\$46,818
Media	\$41,497
Baja	\$11,300

Con estos valores, y la longitud de las vías, se obtuvo el valor expuesto total de las vías secundarias, mostrado en la Tabla 47.

Tabla 47. Valor Expuesto de los Puentes

Complejidad	Valor (US\$ Millones)	Cantidad (km)
Alta	\$120	3
Media	\$860	21
Baja	\$172	15
Total	\$1,154	38

Como se observa, se tiene un valor expuesto de US\$1,154 millones. En la Figura 82 se presenta la distribución geográfica de los componentes expuestos.

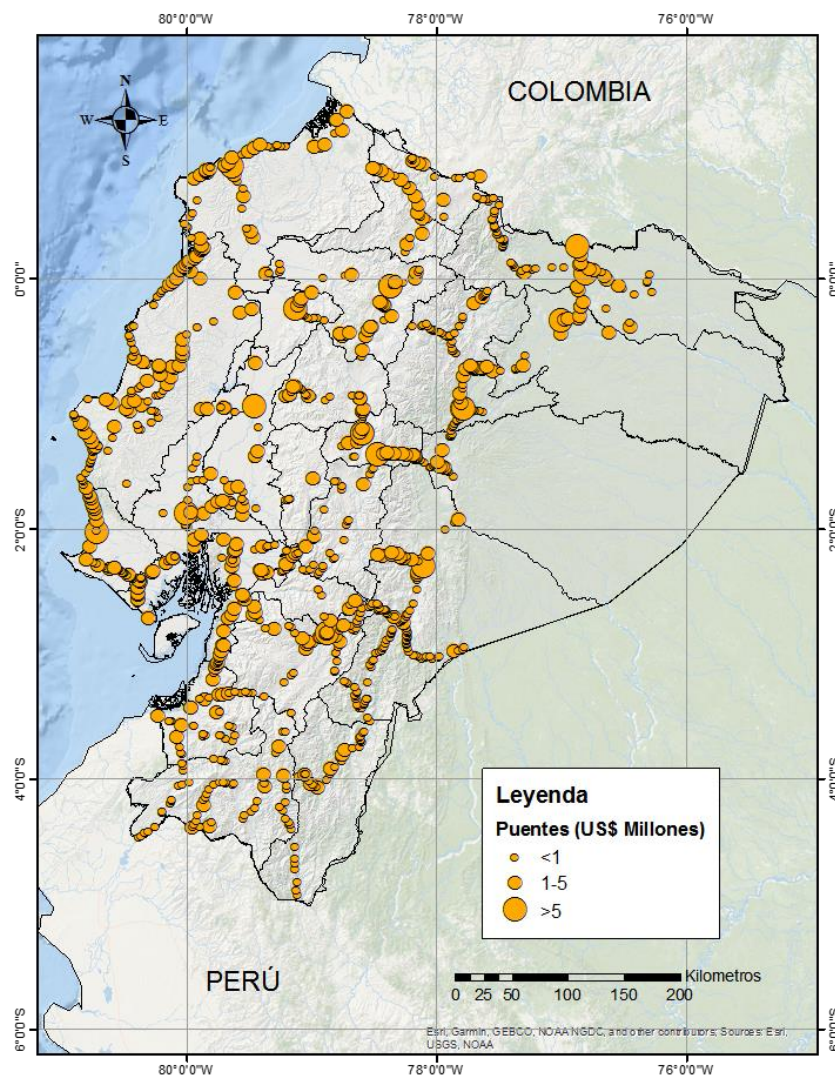


Figura 82. Resultados modelo puentes.

5.3.6.4 Puertos marítimos

Este sector incluye 7 puertos marítimos, entre estos, el más grande es el puerto de Posorja, ubicado en la provincia de Guayas, el cual tiene un valor estimado de US\$ 360.0 millones aproximadamente. La Tabla 48 muestra el valor expuesto de los puertos incluidos en el modelo.

Tabla 48. Modelo de puertos

Nombre	Valor (US\$ Millones)
Puerto de Playas	\$ 0.4
Puerto de Posorja	\$ 356
Puerto de Posorja 2	\$ 107
Puerto de San Lorenzo	\$ 5
Puerto Bolívar	\$ 11
Puerto Esmeraldas	\$ 6
Puerto de Manta	\$ 3

En la Figura 83 se presenta la distribución geográfica de los componentes expuestos.

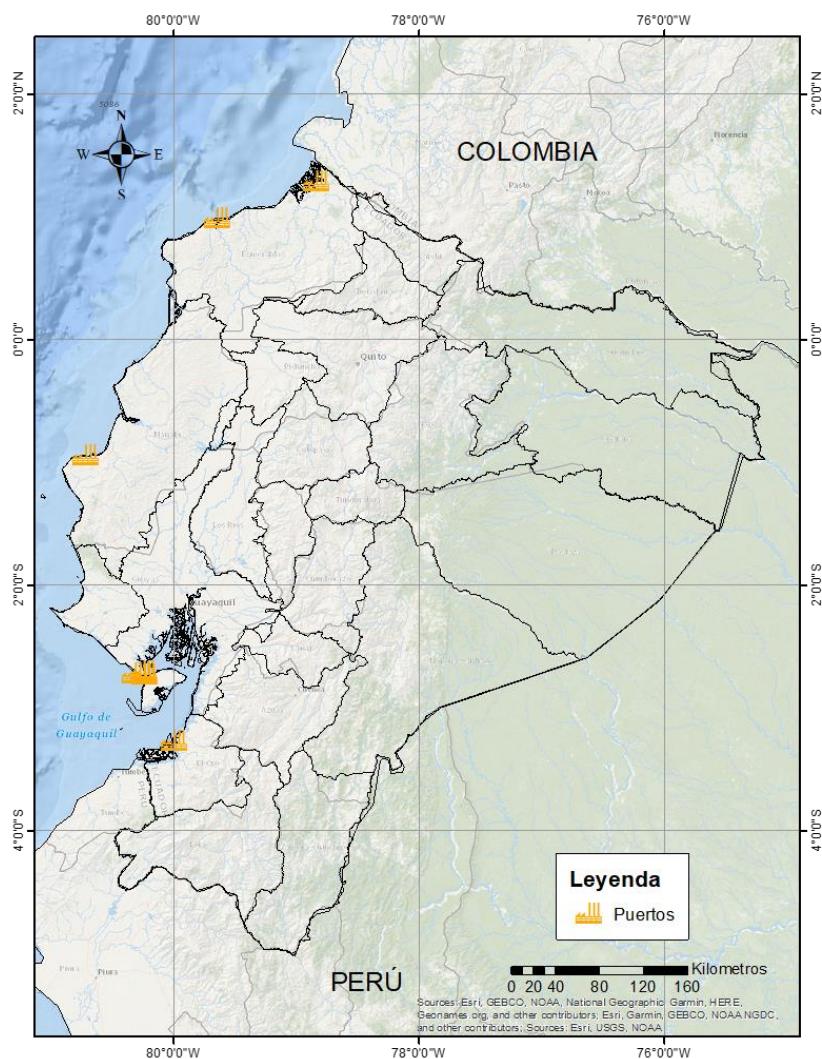


Figura 83. Resultados modelo puertos.

5.3.6.5 Aeropuertos

Este sector se dividió en dos componentes, las pistas y las edificaciones, teniendo en cuenta la diferencia en el comportamiento sísmico de los mismos. Dentro de la información proporcionada del DGAC sobre los aeropuertos del 2018, se mencionaba el valor de exposición total de cada aeropuerto. No obstante, para determinar el valor por separado de la pista y del área construida, se determinó un valor de exposición de 25% (del valor de reposición reportado) para la pista de aterrizaje y de un 75% (del valor de reposición reportado) de la infraestructura construida. La Tabla 49 muestra los valores expuesto de los aeropuertos discriminados según los niveles de complejidad.

Tabla 49. Valor Expuesto de los Aeropuertos

Complejidad Cantón	Valor Construcciones (US\$ Millones)	Área Construcciones (m ²)	Valor Pistas (US\$ Millones)	Longitud pistas (km)	Total Aeropuertos (US\$ Millones)
Alta	\$ 525	96,731	\$ 175	6	\$ 700
Media	\$ 253	97,672	\$ 84	34	\$ 338
Baja	\$ 2	2,243	\$ 0.6	4	\$ 2
Total	\$ 780	196,646	\$ 260	45	\$ 1,040

En la Figura 84 se presenta la distribución geográfica de los componentes expuestos.

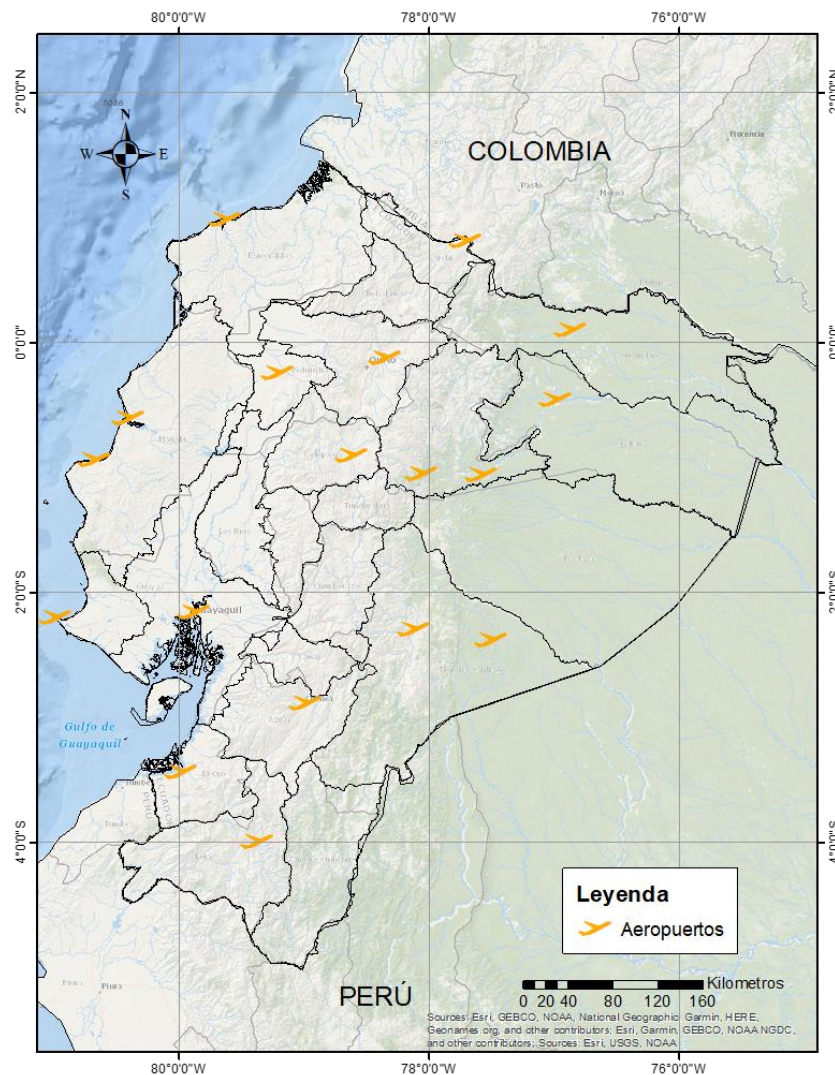


Figura 84. Resultados modelo aeropuertos.

5.4 MODELO DE EXPOSICIÓN CONSOLIDADO A NIVEL NACIONAL

5.4.1 Modelo de exposición de edificaciones

El modelo de exposición de edificaciones se fundamenta en indicadores de tipo político, económico, social y de desarrollo. La resolución para el análisis es a nivel cantón, aunque la localización de las edificaciones para efectos de la evaluación de la amenaza se concentra en los centros poblados de cada cantón en función del porcentaje de habitantes reportados en cada localización geográfica. Los cantones se clasifican de acuerdo con su nivel de complejidad (alta, media o baja), lo cual permite ajustar los parámetros principales del modelo tales como densidades de infraestructura con respecto a la población, valoración económica unitaria o distribución de sistemas estructurales por sector. Los sectores en que se subdivide el inventario de edificaciones son el residencial urbano (el cual a su vez se subdivide en tres estratos socioeconómicos: Alto, Medio y Bajo), el

residencial rural (el cual se considera de estratificación Baja), educación (pública y privada), salud (público y privada), industrial, comercial, oficinas y administrativo.

La información final arrojada por el modelo de exposición de edificaciones se muestra en la Tabla 50.

Tabla 50. Indicadores generales modelo exposición edificaciones

Indicador	Unidad	Valor
Valor Total Expuesto	US\$ Millones	\$ 281,810
Valor Expuesto per cápita	US\$/Hab.	\$ 16,798
Valor Total Expuesto	% PIB	286%
Área construida urbana	Ha	63,730
Área construida urbana per cápita	m2/Hab.	38
Valor económico promedio	US\$/m2	\$ 442

A modo de comparación, la Tabla 51 se resumen los valores expuestos discriminados entre el sector público (residencial bajo, residencial rural, educativo público, salud público y administrativo) y sector privado (residencial alto, residencial medio, educativo privado, salud privado, industrial, comercial y oficinas), con algunos indicadores para permitir la comparación entre otros estudios.

Tabla 51. Indicadores modelo exposición Sector público y privado.

SECTOR	Valor Expuesto (US\$ Millones)	Valor per cápita (US\$)	%PIB
Edificaciones Sector Privado	\$ 134,974	\$ 8,082	137%
Edificaciones Sector Público	\$ 146,836	\$ 8,793	149%
Total	\$ 281,810	\$ 16,875	286%

En la Tabla 52 se resumen los valores expuestos en cada sector y los porcentajes de participación relativa. La columna Valor Expuesto corresponde al valor de reposición asignado a cada componente y es el parámetro clave para la valoración económica de pérdidas en el modelo de riesgo sísmico.

Tabla 52. Valor expuesto por sectores de edificaciones

SECTOR	Valor Expuesto (US\$ Millones)	% de participación	Área Construida (m²)	Valor Unitario (US\$/m²)
Residencial Alto	\$ 9,238	3%	10,063,698	\$ 918
Residencial Medio	\$ 64,680	23%	126,536,872	\$ 511
Residencial Bajo	\$ 82,095	29%	230,643,566	\$ 356
Residencial Rural	\$ 43,913	16%	150,542,204	\$ 292
Educativo Público	\$ 14,291	5%	31,828,507	\$ 449
Educativo Privado	\$ 12,613	4%	17,325,549	\$ 728
Salud Público	\$ 1,072	0.4%	1,418,888	\$ 756
Salud Privado	\$ 1,430	1%	1,292,428	\$ 1,106
Industrial	\$ 26,203	9%	34,471,309	\$ 760
Comercial	\$ 16,005	6%	23,978,089	\$ 667
Oficinas	\$ 5,391	2%	4,404,682	\$ 1,224
Administrativo	\$ 4,879	2%	4,280,586	\$ 1,140
Total	\$ 281,810	100%	637,298,791	\$ 442

El mapa final de distribución geográfica de la exposición de edificaciones se presenta en la Figura 85. De esta figura se concluye que los cantones que concentran el mayor valor expuesto de edificaciones son Quito y Guayaquil. También se puede apreciar una alta concentración de exposición en la zona costera.

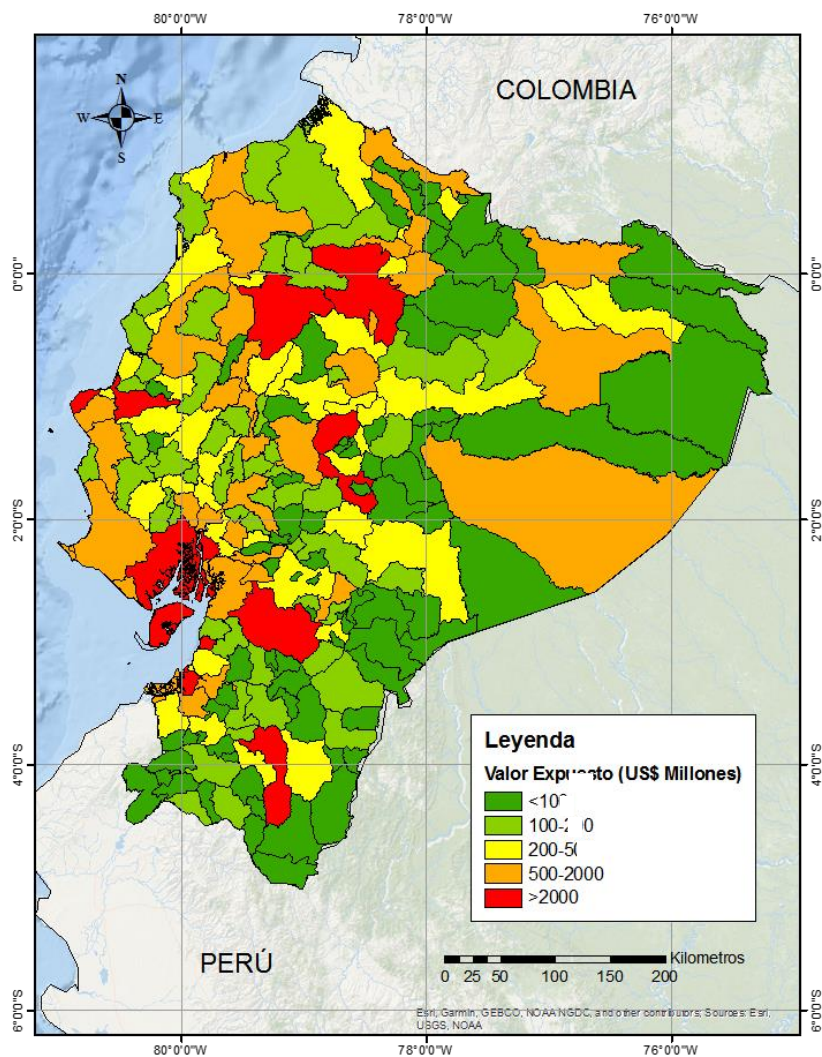


Figura 85. Modelo de exposición a nivel nacional.

El valor expuesto a nivel nacional se concentra en el sector residencial, comercial e industrial. Esto se debe a que el sector residencial es el que más metros cuadrados construidos tiene y los otros dos son los de mayor valor unitario. La distribución de valores expuestos y valores unitarios promedios se pueden ver en la Figura 86.

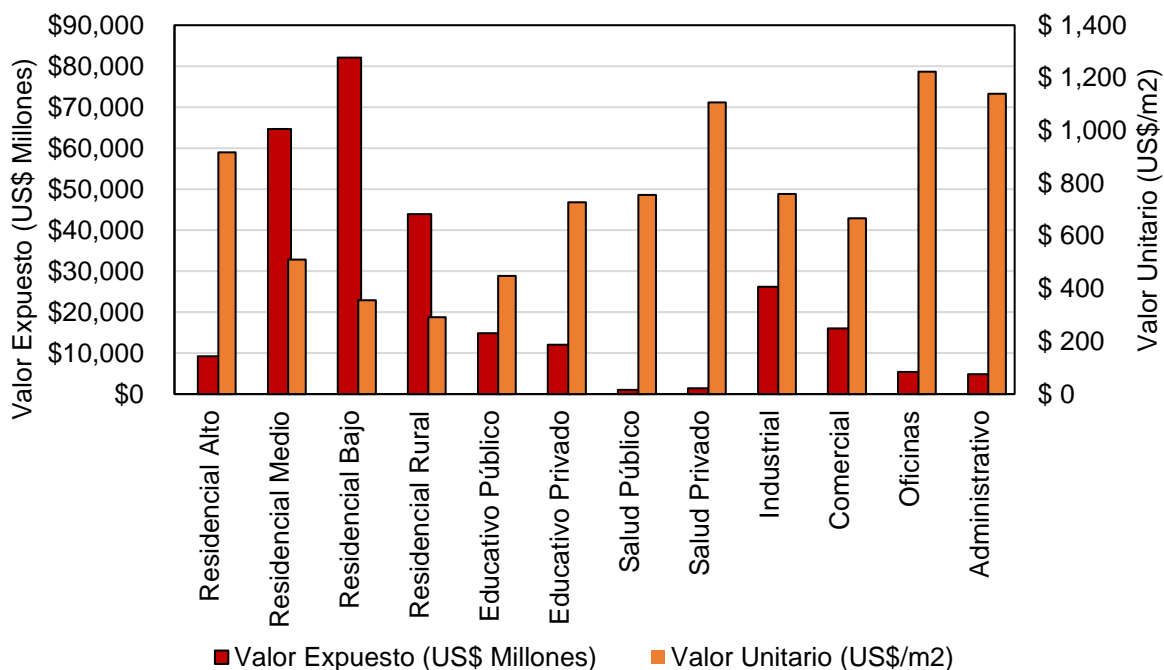


Figura 86. Distribución por sectores a nivel nacional.

5.4.2 Validación del modelo de exposición edificaciones

El modelo desarrollado fue validado comparándolo con el Catastro de Ambato, proporcionado por el GAD Municipal de Ambato. Los valores discriminados en el Proxy y los oficiales se presentan en la Tabla 53. En esta se puede ver que el error relativo en los predios urbanos es de 7% y en los predios rurales de 32%. Estos errores se consideran bajos teniendo en cuenta la resolución del modelo y la información recopilada y por lo tanto aceptables. Adicionalmente vale la pena aclarar que el valor expuesto se concentra en los predios urbanos con un 73% por lo que el error relativo total es del 15%. Para efectos de este estudio y teniendo en cuenta que el modelo empleado es tipo Proxy se considera un error aceptable. Esta comparación catastral únicamente se pudo realizar con el Cantón de Ambato puesto que fue el único suministrado al proyecto.

Tabla 53. Comparación con valores catastrales Cantón Ambato

Predios	Valor Proxy (US\$)	Valor Catastral (US\$)	Error Relativo (%)
Urbanos	\$ 2,551,791,260	\$ 2,745,657,428	7%
Rurales	\$ 942,087,424	\$ 1,382,373,174	32%
Total	\$ 3,493,878,685	\$ 4,128,030,602	15%

5.4.3 Modelo de exposición de la infraestructura

Los componentes de infraestructura se dividen en cinco sectores representativos que corresponden al de agua y saneamiento, comunicaciones, eléctrico, hidrocarburos y transporte. Para generar los modelos de exposición de cada uno de estos se consultó con cada una de las entidades encargadas de su administración, las cuales suministraron la información disponible. Adicionalmente con el fin de garantizar una completitud mínima en los análisis, en los casos en los cuales la información presentaba limitaciones considerables, se recurrió a modelos aproximados que permiten estimar la localización, valoración y descripción aproximada de la infraestructura expuesta.

La información final arrojada por el modelo de exposición de infraestructura se muestra en la Tabla 54.

Tabla 54. Indicadores generales modelo exposición infraestructura.

Indicador	Unidad	Valor
Valor Total Expuesto	US\$ Millones	\$ 75,455
Valor Expuesto per cápita	US\$/Hab.	\$ 4,518
Valor Total Expuesto	% PIB	77%

En la Tabla 55 se resumen los valores expuestos en cada sector y los porcentajes de participación relativa.

Tabla 55. Exposición sectores agregados infraestructura

SECTOR	VALFIS (US\$ Millones)	Porcentaje de participación
Agua y saneamiento	\$ 1,822	2%
Comunicaciones	\$ 372	0.5%
Eléctrico	\$ 10,266	14%
Hidrocarburos	\$ 3,849	5%
Transporte	\$ 59,146	78%
Total	\$ 75,455	100%

Por otro lado, la Tabla 56 presenta la valoración más discriminada por tipos de componentes en cada uno de los sectores.

Tabla 56. Valor expuesto por sectores de infraestructura

SECTOR	Valor Expuesto (US\$ Millones)	% de participación
Acueducto	\$ 377	0.5%
Alcantarillado	\$ 294	0.4%
Presas	\$ 1,150	1.5%
Comunicaciones	\$ 372	0.5%
Centrales Hidroeléctricas	\$ 3,812	5.1%
Centrales Térmicas	\$ 2,324	3.1%
Centrales Eólicas, Solares, Biomasa	\$ 317	0.4%
Líneas de transmisión	\$ 2,031	2.7%
Subestaciones de Transmisión	\$ 1,781	2.4%
Refinerías	\$ 613	0.8%
Ductos	\$ 2,515	3.3%
Estaciones servicio	\$ 721	1.0%
Vías Primarias	\$ 22,903	30.4%
Vías Secundarias	\$ 33,558	44.5%
Puentes	\$ 1,154	1.5%
Puertos	\$ 490	0.6%
Aeropuertos (Pistas)	\$ 260	0.3%
Aeropuertos (Edificaciones)	\$ 781	1.0%
Infraestructura Total	\$ 75,455	100.0%

El mapa final de distribución geográfica de la exposición de infraestructura se presenta en la Figura 87. De esta figura se concluye que los cantones que concentran el mayor valor expuesto de infraestructura son Quito y Guayaquil. También se puede apreciar una alta concentración de exposición en la zona costera. La figura permite identificar los principales componentes de infraestructura en las diferentes regiones del país en los que se concentra el valor expuesto de infraestructura.

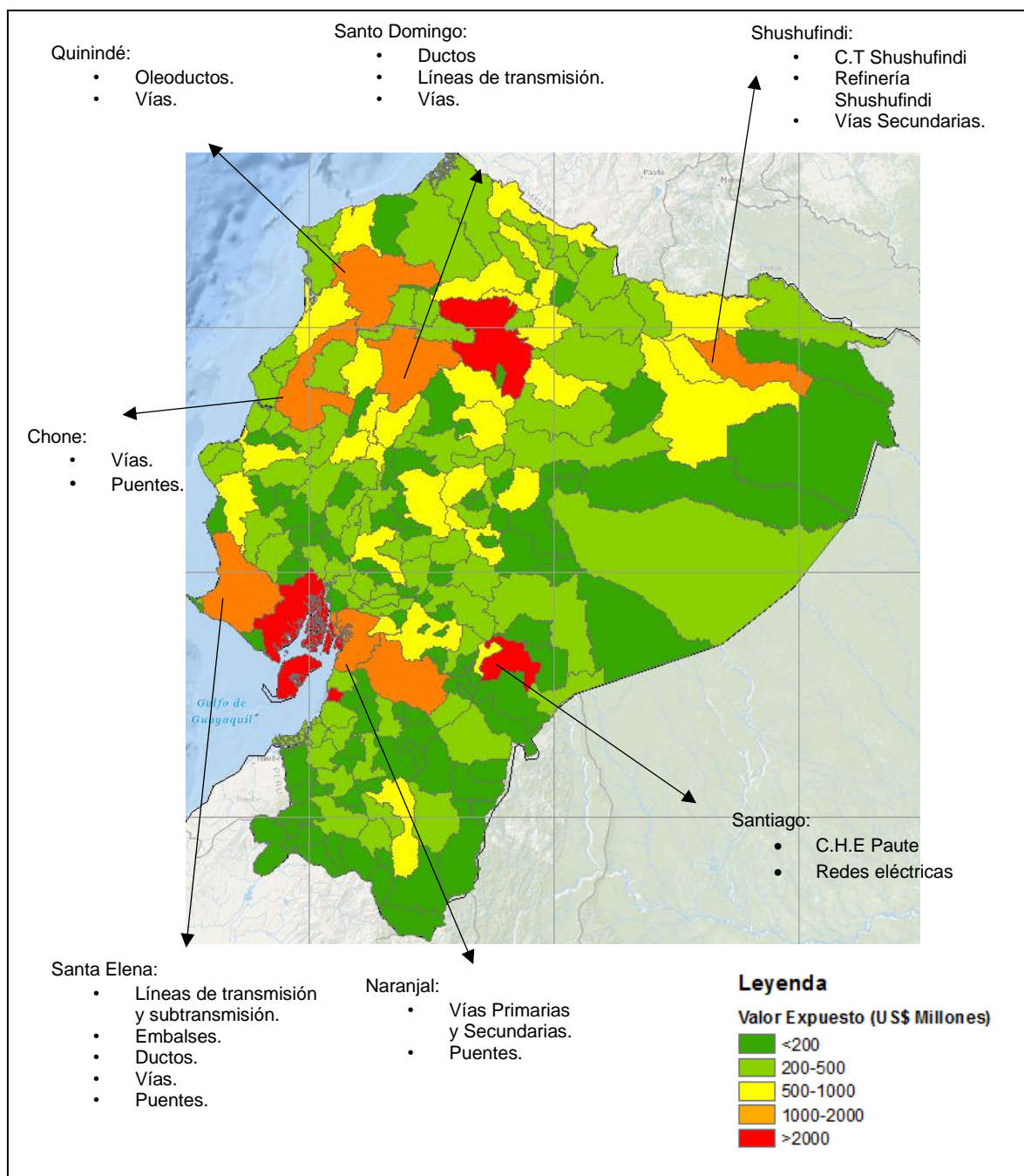


Figura 87. Valor expuesto infraestructura nacional y componentes que concentran el valor en diferentes regiones.

5.4.4 Resumen general

En la Tabla 57 se resumen los indicadores finales en relación con la exposición en los grandes sectores en que se ha dividido la exposición del país: las edificaciones y las obras de infraestructura. Por otro lado, la Tabla 58 presenta una mayor discriminación en sectores y subsectores.

Tabla 57. Resumen modelo exposición

SECTOR	VALFIS (US\$ Millones)	Valor per cápita (US\$)	%PIB
Edificaciones	\$ 281,810	\$ 17,613	286%
Infraestructura	\$ 75,455	\$ 4,716	77%
Total	\$ 357,265	\$ 22,329	362%

Tabla 58. Resumen general por sectores modelo exposición

SECTOR	Valor Expuesto (US\$ Millones)	Valor per cápita (US\$)	%PIB
Residencial Alto	\$ 9,238	\$ 553	9%
Residencial Medio	\$ 64,680	\$ 3,873	66%
Residencial Bajo	\$ 82,095	\$ 4,916	83%
Residencial Rural	\$ 43,913	\$ 2,630	45%
Educativo	\$ 26,904	\$ 1,611	27%
Salud	\$ 2,502	\$ 150	3%
Industrial	\$ 26,203	\$ 1,569	27%
Comercial	\$ 16,005	\$ 958	16%
Oficinas	\$ 5,391	\$ 323	5%
Administrativo	\$ 4,879	\$ 292	5%
Agua y saneamiento	\$ 1,822	\$ 109	2%
Comunicaciones	\$ 372	\$ 22	0.4%
Eléctrico	\$ 10,266	\$ 615	10%
Hidrocarburos	\$ 3,849	\$ 231	4%
Transporte	\$ 59,146	\$ 3,542	60%
Total	\$ 357,265	\$ 22,329	362%

En la Figura 88 se resumen los valores expuestos en cada uno de los sectores incluidos en el modelo de exposición.

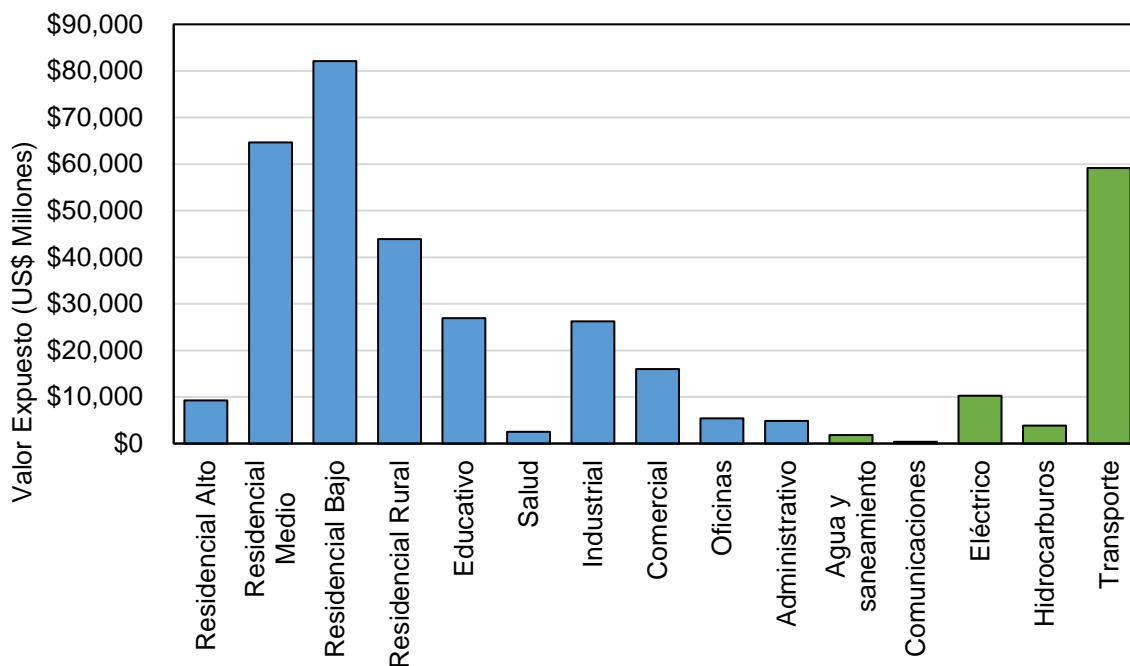


Figura 88. Valores expuestos por sectores modelo exposición.

5.5 VULNERABILIDAD SÍSMICA

5.5.1 Introducción

La metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica se presentó en el capítulo 1. A continuación, se presentan las bases técnicas para la asignación de las funciones de vulnerabilidad para el análisis de riesgo sísmico. Seguido a esto la validación de funciones para edificaciones de diferentes sectores. Por último, se presentan las funciones seleccionadas para los elementos de infraestructura y su respectiva validación.

5.5.2 Definición de las taxonomías predominantes para edificaciones

A partir de los levantamientos realizados se identificaron las tipologías predominantes en el portafolio de edificaciones. El glosario de sistemas estructurales dominantes junto con la altura representativa y el nivel de código observado se pueden observar en la Tabla 59 y en la Figura 89. La distribución porcentual de sistemas estructurales para el portafolio nacional de edificaciones se presenta en la Figura 90. Esta distribución se obtuvo a partir de los levantamientos realizados en diferentes complejidades como se explicó en el numeral 4.2.9.

Tabla 59. Glosario sistemas estructurales

Sistema Estructural dominante	Referencia	Altura representativa	Niveles de Código que pueden encontrarse
Precario	PREC	Medio y bajo	Bajo
Muros de mampostería confinada	MC	Medio y bajo	Alto, medio y bajo
Muros de mampostería reforzada	MR	Medio y bajo	Alto, medio y bajo
Muros de mampostería simple con placa de concreto reforzado	MSP	Medio y bajo	Bajo

Sistema Estructural dominante	Referencia	Altura representativa	Niveles de Código que pueden encontrarse
Edificaciones de muros de mampostería simple	MS	Medio y bajo	Bajo
Pórticos de concreto reforzado	PCR	Alto, medio y bajo	Alto, medio y bajo
Pórticos de concreto reforzado con muros de mampostería	PCRMM	Alto, medio y bajo	Medio y bajo
Losa columna de concreto reforzado con muros de mampostería	LCCRMM	Alto, medio y bajo	Medio y bajo
Pórticos o losa columna de concreto reforzado con muros de mampostería y eje débil en fachada	PLCMMED	Alto y medio	Medio y bajo
Combinados de concreto reforzado	CCR	Alto y medio	Alto y medio
Muros de concreto reforzado	MCR	Alto y medio	Alto y medio
Pórticos no arriostrados de acero estructural	PNAC	Alto, medio y bajo	Alto, medio y bajo
Pórticos arriostrados de acero estructural	PAAC	Alto, medio y bajo	Alto y medio
Bodegas de mampostería	BM	Medio y bajo	Alto, medio y bajo
Bodegas de concreto reforzado	BCR	Medio y bajo	Alto, medio y bajo
Bodegas de acero	BA	Medio y bajo	Alto, medio y bajo

A continuación se presenta la distribución porcentual de sistemas estructurales para el portafolio nacional de edificaciones en la Figura 90.



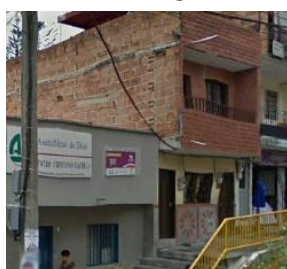
PREC



MC



MR



MSP



MS



PCR



PCRMM



LCCRMM



PLCMMED



CCR



MCR



PNAC



PAAC



BM



BCR



BA

Figura 89. Imágenes de sistemas estructurales.

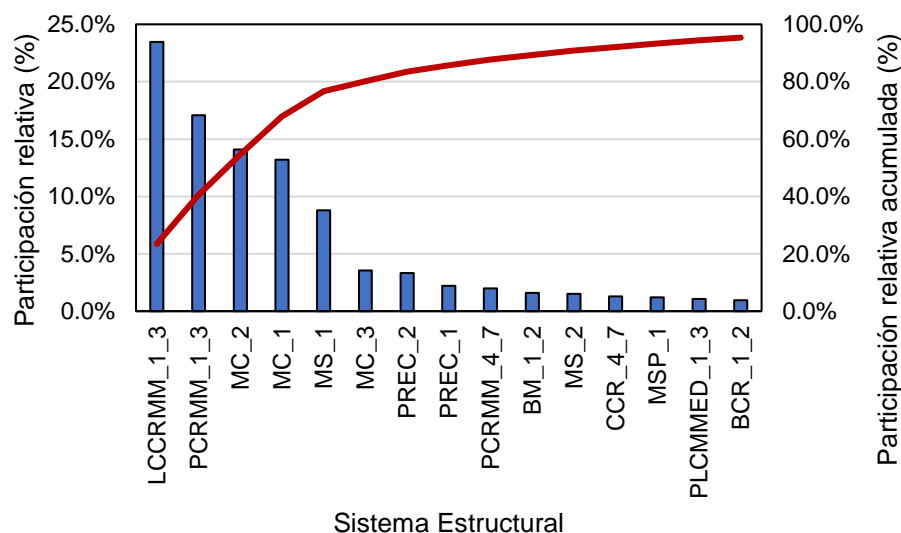


Figura 90. Distribución de sistemas estructurales a partir de levantamientos realizados.

A partir de los resultados indicados en la Figura 90 se puede identificar que los sistemas predominantes son LCCRMM_1_3, PCRMM_1_3, MC_2, MC_1 y MS_1. Estos sistemas acumular una participación del 80% del total de los sistemas estructurales existentes en Ecuador.

5.5.3 Información histórica relevante para validar el comportamiento de edificaciones

Resulta relevante analizar la información disponible sobre el eventual impacto en ciertos tipos de edificaciones en los sismos recientes. Esta información resulta fundamental para evaluar la consistencia de las funciones de vulnerabilidad a asignar a cada componente, considerando en particular las condiciones locales de las tipologías constructivas y el estado de las construcciones. En la Tabla 60 se resumen los aspectos principales tenidos en cuenta para la asignación de funciones de vulnerabilidad de edificaciones. La precisión de esta información es limitada dado que no se cuenta con una alta densidad de equipos acelerográficos en la zona epicentral o en las zonas en que se reportaron las mayores afectaciones.

Tabla 60. Información de referencia para asignación de funciones de vulnerabilidad de edificaciones

Tipo de edificación o componente de infraestructura	Grado de afectación	Intensidad estimada en la zona de ubicación PGA (g)	Referencia
Edificaciones residenciales de concreto reforzado con eje débil en fachada. (1 a 4 pisos)	Destrucción parcial y/o colapso	>0.3 g	GEER (Geotechnical Extreme Events Reconnaissance), 2016
Edificaciones residenciales de nivel bajo, en madera, tapia o adobe (1 o 2 pisos)	Afectación total y/o colapso	~ 0.3 g	GEER, 2016
Edificaciones comerciales de concreto reforzado y muros de	Afectación parcial (Colapso	~ 0.3 g	GEER, 2016

mampostería de nivel medio (4 a 7 pisos)	elementos no estructurales)		
Edificaciones residenciales o comerciales en mampostería simple de baja altura (1 o 2 pisos)	Afectación total y/o colapso	0.1 – 0.3 g	ATC-20, Levantamiento rápido
Edificaciones rurales de 1 o 2 pisos con muros de mampostería.	Afectación total y/o colapso	0.1-0.3 g	Evaluación costos reconstrucción, 2016
Terminales aeropuertos Manta, San Vicente	Colapso parcial/total	0.2 - 0.3 g	GEER, 2016
Hospitales de concreto reforzado en la zona del epicentro o ciudades con efectos de sitio importantes (3 a 5 pisos)	Afectación parcial y/o colapso	>0.3g	GEER, 2016

5.5.4 Funciones de vulnerabilidad típicas para edificaciones

Para la asignación de las funciones de vulnerabilidad a las tipologías dominantes de edificaciones, se tienen en cuenta tres parámetros principales: la tipología constructiva o sistema estructural, la altura de la edificación y el nivel de código. A partir de los resultados de los levantamientos y los sistemas estructurales definidos, se seleccionan curvas de vulnerabilidad de la literatura que representan el comportamiento de estos sistemas. Las curvas fueron seleccionadas del estudio del GAR13 (Yamin et al, 2013a) y adaptadas para el contexto nacional a partir del comportamiento observado en eventos recientes, principalmente el sismo de Pedernales del 2016, de acuerdo con lo explicado en el numeral anterior. Por ejemplo, las edificaciones residenciales de nivel bajo en madera, tapia o adobe se les asignó la función MSP_B1P la cual presenta una relación media de daño mayor al 50% para intensidades de 0.3g y mayores indicando destrucción parcial o total de la edificación. Esto concuerda con las estadísticas dadas en la Tabla 60 . En la Figura 91 se pueden ver algunas de las curvas utilizadas para las edificaciones siguiendo la nomenclatura explicada anteriormente.

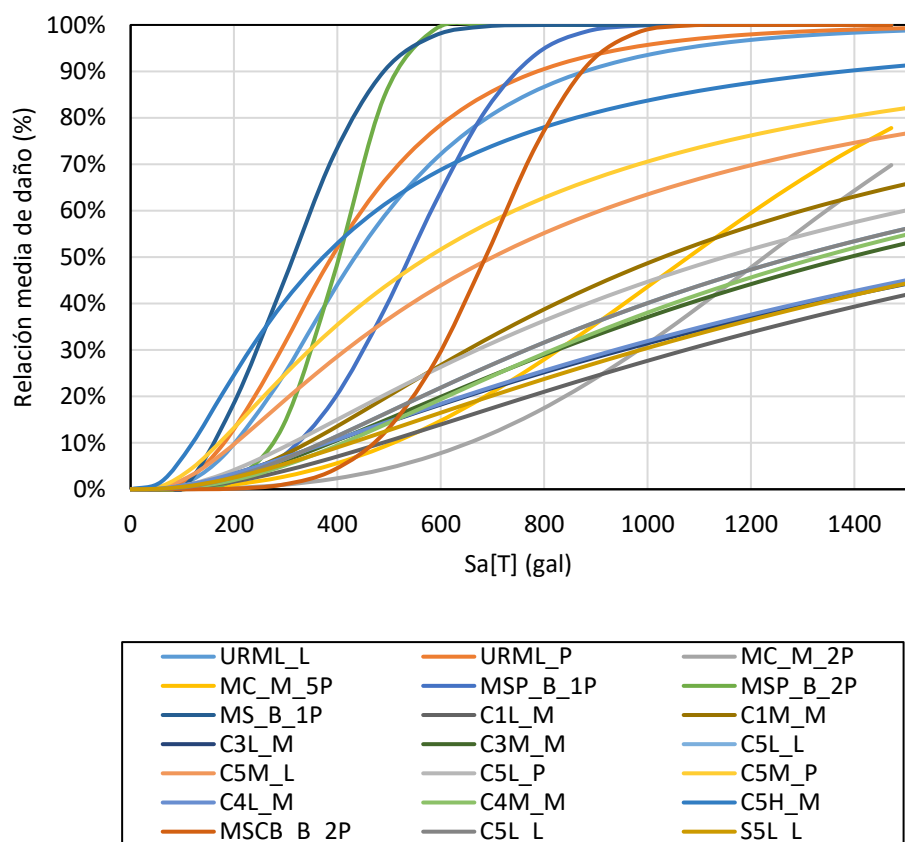


Figura 91. Curvas de vulnerabilidad típicas para edificaciones.

5.5.5 Información histórica relevante para validación de funciones de vulnerabilidad de componentes de infraestructura

De manera similar a lo presentado para las edificaciones, se presenta la Tabla 61, la cual resume las afectaciones observadas en diferentes componentes de infraestructura en zonas cercanas a las zonas epicentrales en sismos recientes.

Tabla 61. Información de referencia para asignación de funciones de vulnerabilidad de infraestructura

Tipo de edificación o componente de infraestructura	Grado de afectación	Intensidad estimada en la zona de ubicación PGA (g)	Referencia
Terminales aeropuertos Manta, San Vicente	Colapso parcial	~ 0.2 - 0.3 g	GEER, 2016
Puentes de concreto reforzado cerca de la zona del epicentro.	Daños leves (Juntas de dilación)	0.3 g	GEER, 2016 SENPLADES, 2016
Aeropuertos de la zona – Pistas de aterrizaje	Afectación Baja	0.2 a 0.3 g	GEER, 2016
Puerto de Manta	Afectación estructural pilotes, disminución de la capacidad	0.3 g	SENPLADES, 2016
Subestaciones eléctricas	Daños leves	~ 0.3 g	SENPLADES, 2016
Líneas de distribución o conducción	No daño reportado	0,1 g para la más cercana a la zona epicentral	SENPLADES, 2016

Torres de telecomunicaciones en la zona epicentral	Afectación media	~ 0.3 g	SENPLADES, 2016
Tuberías de acueducto o alcantarillado en la zona epicentral.	Daños leves y afectaciones locales	~ 0.3 g	SENPLADES, 2016
Sector vial	Daños leves y/o afectaciones indirectas (Deslizamientos)	~ 0.1 - 0.3 g	SENPLADES, 2016
Sector Hidrocarburos	No daños significativos reportados	0.1 - 0.3 g	SENPLADES, 2016

5.5.6 Curvas de vulnerabilidad para componentes de infraestructura

Para definir las curvas de vulnerabilidad para la infraestructura se recurre a curvas típicas previamente publicadas y a estudios específicos que proponen algunas curvas representativas para tipos de componentes específicos de infraestructura (BID, 2004; BID, 2015). Los componentes identificados para el proyecto son los siguientes:

1. Centrales eléctricas
2. Líneas de distribución eléctrica
3. Subestaciones eléctricas
4. Tuberías
5. Vías
6. Puentes
7. Puertos
8. Terminales de pasajeros – Aeropuertos
9. Refinerías
10. Ductos
11. Estaciones de bombeo y servicio

Para cada uno de los sistemas constructivos que representan componentes de infraestructura, se ha realizado una revisión de la información disponible que consiste básicamente en las siguientes fuentes:

- Información previa publicada en la literatura.
- Reportes de daño en sismos recientes en Ecuador.
- Reportes de afectaciones entregadas por las diferentes entidades públicas consultadas en el marco del proyecto.

Con base en esta información se proponen curvas de vulnerabilidad representativas que tienen en cuenta las observaciones de daños recientes en sismos. En la Figura 92 se pueden identificar las funciones utilizadas en el análisis del perfil de riesgo sísmico.

Por otro lado, ciertos componentes de infraestructura no presentan en general una susceptibilidad significativa a sufrir daño directo por efecto de las ondas sísmicas que se propagan por el terreno y tampoco se han reportado daños significativos en los mismos en sismos recientes. En dicho caso se ha decidido asignar una función de no daño. Al respecto debe aclararse que a pesar de que estos componentes no les sean asignado un daño esperado en el presente análisis, no significa que dichos componentes puedan llegar a sufrir daño por otros fenómenos de amenaza (viento, inundación, avalancha, etc.) o como efectos indirectos de fenómenos causados por el sismo y que no están incluidos en el alcance del presente proyecto (tsunamis, hundimientos del terreno, falla de taludes o inestabilidad del terreno por acción sísmica, etc.).

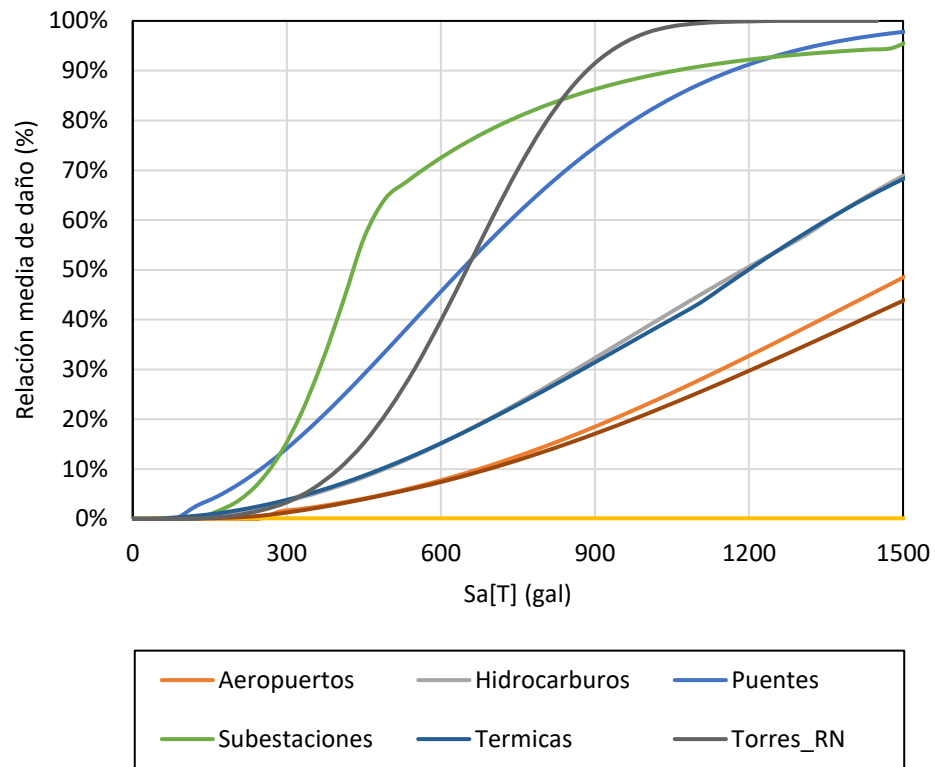


Figura 92. Curvas de vulnerabilidad infraestructura. Adaptadas a las condiciones locales a partir de (GEER, 2016).

5 EVALUACIÓN PROBABILISTA DEL RIESGO SÍSMICO

5.1 GENERALIDADES

La evaluación probabilista del riesgo consiste en estimar la distribución de probabilidad de las pérdidas económicas y humanas para un portafolio determinado de elementos de infraestructura al verse sometido a un conjunto de escenarios sísmicos que representan integralmente la amenaza de la zona de estudio. Para llevar a cabo esta estimación es necesario contar con un modelo probabilista de amenaza sísmica, una base de datos de exposición de elementos de infraestructura y un conjunto de funciones de vulnerabilidad que permitan valorar el nivel de daños y el impacto de diferentes eventos sísmicos sobre cada uno de estos.

Para el análisis probabilista, la amenaza se representa mediante un conjunto de eventos sísmicos, mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos, factibles de presentarse dentro del área de influencia de análisis (diferentes ubicaciones y magnitudes). Cada uno de estos eventos, también llamados escenarios estocásticos, tiene asociada una frecuencia anual de ocurrencia específica, de acuerdo con la curva de recurrencia de magnitudes que resulta del análisis de frecuencia de eventos históricos, parámetro que se define para la realización del modelo de amenaza sísmica de la zona de estudio (ver Capítulo 4).

La evaluación del riesgo se realiza para cada uno de los componentes que hacen parte de la base de datos de exposición, determinando para cada uno de ellos la distribución de probabilidad de las pérdidas o impactos. Integrando las pérdidas para el conjunto de componentes, se puede obtener la distribución de probabilidad de las pérdidas para cada uno de los escenarios estocásticos planteados. Finalmente, con base en estos resultados, es posible calcular un conjunto de parámetros que permiten medir el riesgo de manera cuantitativa para todo el portafolio de componentes. Algunos de estos parámetros son la pérdida anual esperada (PAE), la curva de excedencia de pérdidas (CEP) y la curva de pérdidas máximas probables para diferentes períodos de retorno (PMP).

La cuantificación del riesgo de la manera descrita permite plantear estrategias de gestión de riesgo para minimizar el impacto de eventos sísmicos futuros sobre los bienes materiales y la población expuesta en la zona de análisis. Los principales componentes de la gestión del riesgo son la identificación y evaluación del mismo, la reducción del riesgo, la protección financiera, los preparativos para la respuesta a los desastres y la recuperación post-desastre (Yamin et al, 2013b).

Este capítulo se centra en la identificación y evaluación del riesgo. Se pretende llevar a cabo la evaluación del riesgo probabilista a nivel país para la República del Ecuador para obtener lo que se conoce como el perfil de riesgo del país. Este consiste en evaluar los parámetros de riesgo descritos anteriormente (PAEs, CEPs y PMPs) para los diferentes sectores de infraestructura expuestos (edificaciones, energía, agua potable y saneamiento, comunicación, electricidad, hidrocarburos, y transporte) discriminando la información a nivel cantonal. Esta información permite sentar las bases para el desarrollo de las demás componentes de la gestión del riesgo mencionadas anteriormente.

5.2 PERFIL DE RIESGO SÍSMICO CATASTRÓFICO

5.2.1 Riesgo sísmico nivel nacional y por sectores

Utilizando el modelo de amenaza sísmica probabilista que se presentó en el Capítulo 4 y el modelo de exposición y vulnerabilidad presentado en el Capítulo 5 se lleva a cabo la evaluación del riesgo utilizando para el efecto la plataforma CAPRA (www.ecapra.org).

Se realizan corridas de riesgo probabilistas para todo el conjunto de escenarios estocásticos considerando el portafolio total de exposición. En la Tabla 62 se resumen los resultados numéricos referentes a PAE y PMP para diferentes periodos de retorno. En la Figura 93 se presentan los resultados para las pérdidas máximas probables para todo el portafolio.

Tabla 62. Resultados riesgo sísmico nivel país.

Valor total expuesto	US\$ (Millones)	\$ 356,619
Pérdida Anual Esperada	US\$ (Millones)	\$ 2,655
	‰	7.4
	(% PIB)	3.2%
	US\$/Habitante	\$ 151
PMP		
TR	US\$ (Millones)	%
100	\$ 29,799	8.4
250	\$ 44,146	12.4
500	\$ 56,080	15.8
1000	\$ 68,172	19.2
PMP 1000 (%PIB)	69%	
PMP1000 (US\$/Hab.)	\$ 4,065	

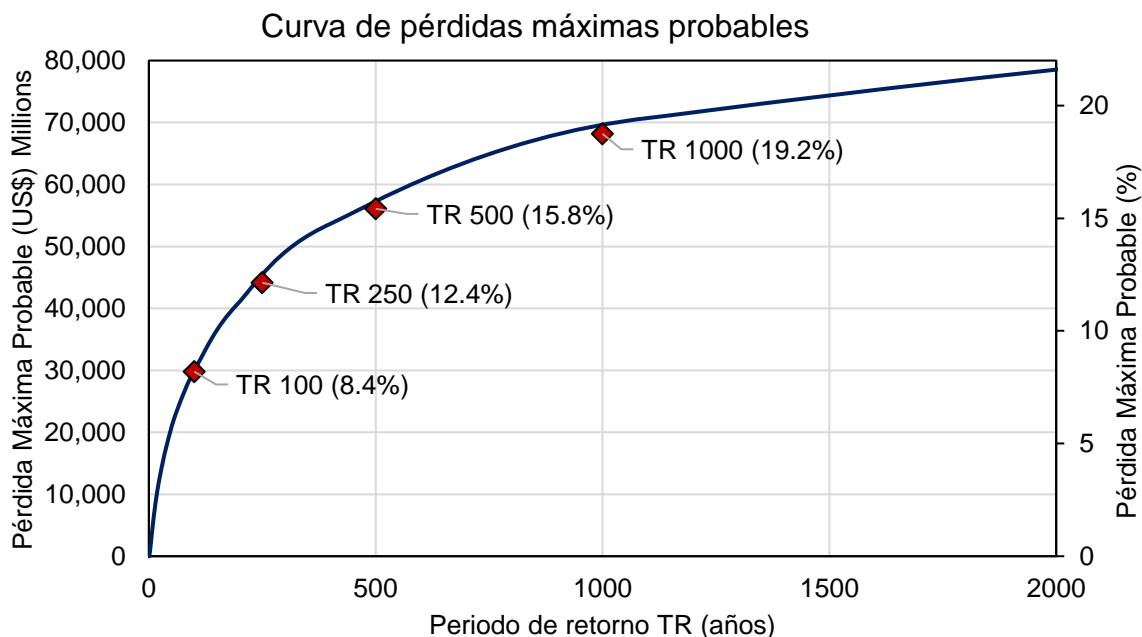


Figura 93. Resultados pérdidas máximas probables portafolio total.

Los mismos resultados se presentan discriminando el portafolio de edificaciones y el de componentes de infraestructura. Los resultados se presentan en la Tabla 63 y en la Figura 94. En esta se puede observar que las pérdidas esperadas para el portafolio de edificaciones son significativamente mayores a las de infraestructura. Esto ocurre debido a que el conjunto de edificaciones representa un mayor valor expuesto y una mayor vulnerabilidad con respecto al portafolio de componentes de infraestructura analizados.

Tabla 63. Resultados riesgo probabilista catastrófico nacional

Valor total expuesto	Edificaciones		Infraestructura	
	US\$ (Millones)	\$ 281,164	US\$ (Millones)	\$ 75,455
Pérdida Anual Esperada	US\$ (Millones)	\$ 2,615	US\$ (Millones)	\$ 40
	‰	9.3	‰	0.5
	(% PIB)	2.1%	(% PIB)	0.0%
	US\$/Habitante	\$ 145	US\$/Habitante	\$ 5
PMP				
TR	US\$ (Millones)	%	US\$ (Millones)	%
100	\$ 29,139	10.4	\$ 524	0.7
250	\$ 43,827	15.7	\$ 823	1.1
500	\$ 56,301	20.1	\$ 1,115	1.5
1000	\$ 65,153	23.3	\$ 1,461	1.9
PMP1000 (%PIB)	66%		1%	
PMP1000 (US\$/Hab.)	\$ 3,885		\$ 87	

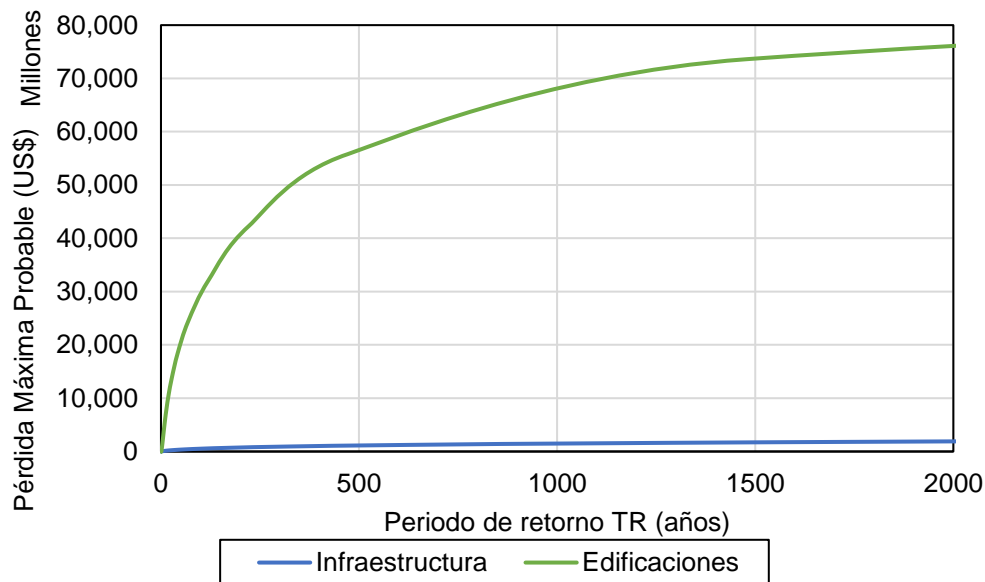


Figura 94. Curva de pérdida máxima probable nacional.

Finalmente se realizan comparaciones los siguientes tres grandes sectores:

- Edificaciones privadas: incluye las edificaciones residenciales privadas de niveles medio y alto, educación y salud privada, y las edificaciones pertenecientes al sector productivo: comerciales, industriales y oficinas.
- Edificaciones de responsabilidad del Estado: incluye edificaciones residenciales de niveles bajo y rurales, educación y salud pública y edificaciones administrativas.
- Componentes de infraestructura: Incluye la infraestructura urbana como puentes urbanos y sistemas de servicios públicos, e infraestructura a nivel nacional como los sectores de comunicaciones, electricidad, hidrocarburos y transporte.

Los valores resultantes para las PAE de cada uno de estos grandes sectores se presentan en la Tabla 64.

Tabla 64. Resultados riesgo sísmico desagregados por sectores

Sector	Valor total expuesto (US\$ Millones)	Pérdida Anual Esperada (US\$ Millones)	PAEr (‰)
Edificaciones Privadas	\$ 134,922	\$ 1,202	8.9
Edificaciones Públicas	\$ 146,242	\$ 1,262	8.6
Infraestructura	\$ 75,455	\$ 91	1.2
Total	\$ 356,619	\$ 2,589	7.2

Por otra parte, los valores desagregados por subcomponentes se presentan en la Tabla 65.

Tabla 65. Resultados riesgo sísmico desagregados por subcomponentes.

Sector	Valor total expuesto (US\$ Millones)	Pérdida Anual Esperada (US\$ Millones)	PAEr (‰)
Residencial	\$ 199,897	\$ 1,775	8.9
Educativo	\$ 26,904	\$ 228	8.5
Salud	\$ 2,502	\$ 160	63.9
Industrial	\$ 26,190	\$ 204	7.8
Comercial	\$ 15,999	\$ 134	8.4
Oficinas	\$ 5,390	\$ 56	10.3
Administrativo	\$ 4,880	\$ 49	10.1
Agua y saneamiento	\$ 1,822	\$ 6	3.5
Comunicaciones	\$ 373	\$ 1	2.1
Eléctrico	\$ 10,266	\$ 16.8	1.6
Hidrocarburos	\$ 3,849	\$ 13.3	3.4
Transporte	\$ 59,146	\$ 2.7	0.0
Total	\$ 357,233	\$ 2,655	7.4

5.2.2 Riesgo sísmico edificaciones

El portafolio de las edificaciones se divide en diferentes sectores: residencial, educativo, salud, comercial, industrial, oficinas y administrativo, los cuales además se subdividen a su vez en varios subsectores.

La Tabla 66 resume las pérdidas anuales esperadas de cada uno de los subsectores considerados. La tabla presenta igualmente la participación relativa del riesgo de cada uno de los subsectores y en la Figura 95 presenta en forma de barras estos resultados para los sectores.

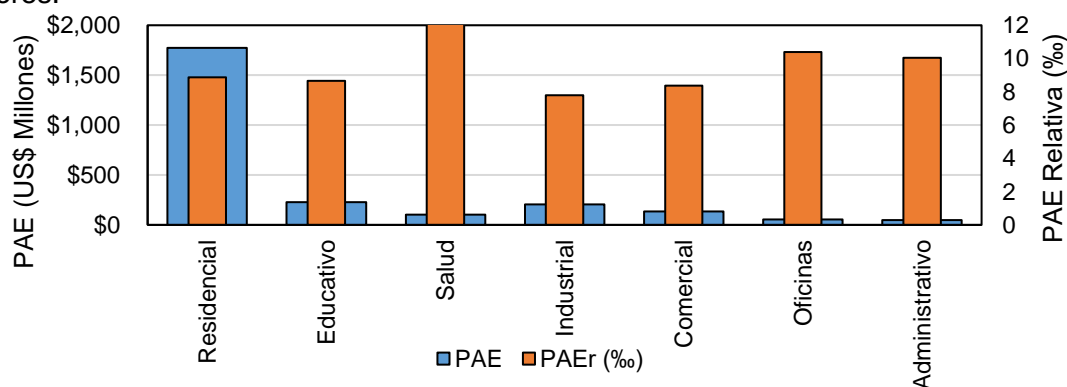


Figura 95. PAE y PAE relativa edificaciones

Tabla 66. Resultados riesgo sísmico edificaciones desagregado por subsectores

Sector	Valor total expuesto (US\$ Millones)	Pérdida Anual Esperada (US\$ Millones)	PAEr (‰)	% Participación
Residencial Alto	\$ 9,235	\$ 83	9.0	3%
Residencial Medio	\$ 64,663	\$ 610	9.4	25%
Residencial Bajo	\$ 82,086	\$ 805	9.8	33%
Residencial Rural	\$ 43,913	\$ 277	6.3	11%
Sector Residencial	\$ 199,897	\$ 1,775	8.9	73%
Educativo Público	\$ 14,291	\$ 124	8.7	5%
Educativo Privado	\$ 12,613	\$ 104	8.3	4%
Sector Educación	\$ 26,904	\$ 228	8.5	9%
Salud Público	\$ 1,072	\$ 101	94.21	0.3%
Salud Privado	\$ 1,430	\$ 59	41.2	0.5%
Sector Salud	\$ 2,502	\$ 160	63.9	0.8%
Industrial	\$ 26,190	\$ 204	7.8	8%
Comercial	\$ 15,999	\$ 134	8.4	5%
Oficinas	\$ 5,390	\$ 56	10.3	2%
Administrativo	\$ 4,880	\$ 49	10.1	2%
Sector Productivo	\$ 52,458	\$ 442	8.4	18%
Edificaciones Total	\$ 281,165	\$ 2,615	9.3	100%

Por otra parte, la Figura 96 presenta los resultados para los subsectores. En esta se puede apreciar que los sectores más críticos son el de oficinas, administrativo y residencial bajo, con una pérdida anual esperada relativa del orden del 10‰ (1%). Esto se debe a que en estos los sectores predominan los sistemas estructurales de mampostería y sistemas losa-columna de baja calidad. Estos sistemas se han identificado como altamente vulnerables según el comportamiento que han demostrado en sismos recientes (García & Degrande, 2017). Sin embargo, al considerar los valores expuestos relativos, los sectores que acumulan la mayor parte del riesgo son los residenciales medio, bajo y rural y el sector industrial cada con PAE mayores a los US\$200 millones.

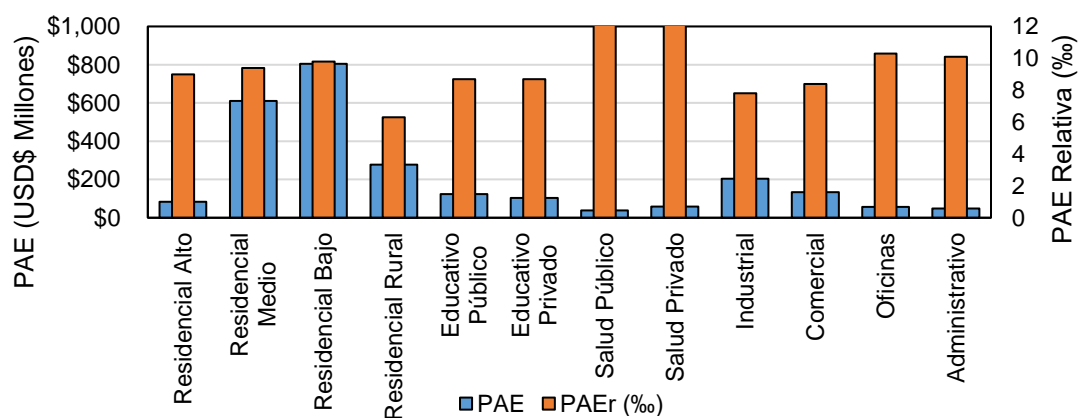


Figura 96. PAE y PAEr subsectores edificaciones.

Por otro lado, en la Figura 97 se presentan las curvas de PMP para cada uno de los sectores analizados de manera independiente. De estos resultados se concluye que el sector Residencial es el que mayor riesgo presenta al compararse con los demás sectores, esto se debe a que este sector contiene el 70% del valor expuesto total para el modelo de edificaciones.

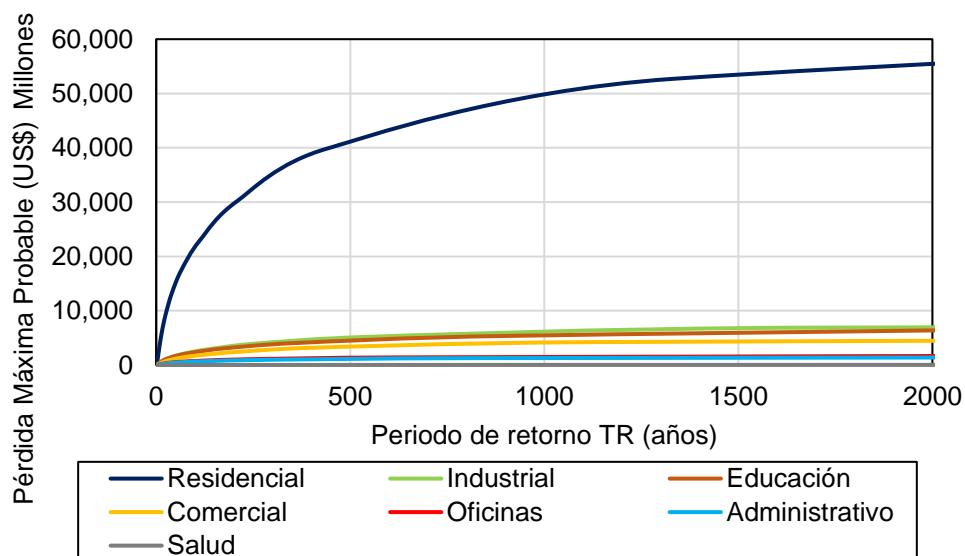


Figura 97. Curvas de PMP edificaciones.

Para un mayor detalle, la Figura 98 muestra las curvas de PMP para los sectores de edificaciones diferentes al residencial. Como se observa, los sectores industrial, educativo y comercial presentan un riesgo total más de 4 veces mayor que los sectores de oficinas, administrativo y de salud.

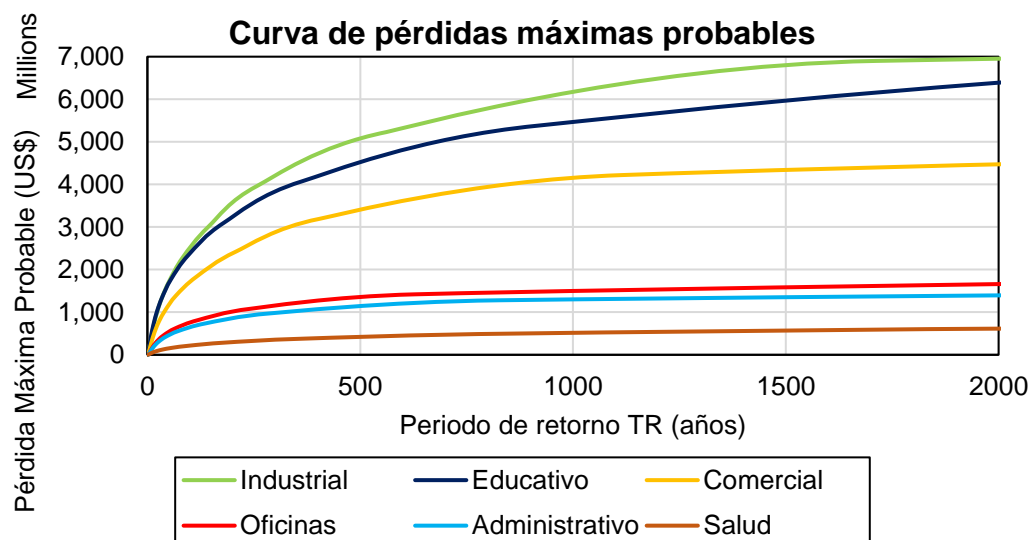


Figura 98. Curvas de PMP Edificaciones (Excluyendo sector residencial).

5.2.3 Riesgo sísmico infraestructura

El portafolio de infraestructura se divide en cinco sectores: agua y saneamiento, comunicaciones, eléctrico, hidrocarburos y transporte. Las pérdidas anuales absolutas y relativas para cada uno de los sectores de infraestructura se presentan en la Tabla 67. Se puede observar que las pérdidas relativas son bajas en comparación a las obtenidas en los sectores de edificaciones. Esto se debe a que los componentes de infraestructura presentan en general un menor grado de vulnerabilidad sísmica que las edificaciones.

Tabla 67. Pérdidas anuales esperadas componentes infraestructura.

Sector	Valor total expuesto (US\$ Millones)	Pérdida Anual Esperada (US\$ Millones)	PAEr (‰)	% Participación
Presas	\$ 1,150	\$ 1.3	1.1	3.3%
Acueducto	\$ 294	\$ 2.2	7.5	5.5%
Alcantarillado	\$ 377	\$ 2.9	7.7	7.3%
Sector Agua y saneamiento	\$ 1,822	\$ 6.4	3.5	16.1%
Sector Comunicaciones	\$ 373	\$ 0.8	2.1	2.0%
Centrales Hidroeléctricas	\$ 3,812	\$ 1.3	0.3	3.3%
Centrales Renovables	\$ 317	\$ 0.1	0.4	0.3%
Centrales Termoeléctricas	\$ 2,324	\$ 1.4	0.6	3.6%
Líneas de transmisión y subtransmisión	\$ 2,031	\$ 0.7	0.4	1.8%
Subestaciones Eléctricas	\$ 1,781	\$ 13.2	7.4	33.1%
Sector Eléctrico	\$ 10,266	\$ 16.8	1.6	42.1%
Estaciones Hidrocarburos	\$ 721	\$ 2.4	3.4	6.1%
Ductos	\$ 2,515	\$ 10.4	4.1	26.0%
Refinerías	\$ 613	\$ 0.4	0.7	1.1%
Sector Hidrocarburos	\$ 3,849	\$ 13.3	3.4	33.2%
Aeropuertos (Construcciones)	\$ 781	\$ 1.1	1.4	2.7%
Aeropuertos (Pistas)	\$ 260	\$ 0.2	0.9	0.6%
Puentes	\$ 1,154	\$ 0.9	0.8	2.2%
Muelles	\$ 490	\$ 0.5	0.9	1.1%
Vías primarias	\$ 22,903	\$ 0.0	0.0	0.0%
Vías Secundarias	\$ 33,558	\$ 0.0	0.0	0.0%
Sector Transporte	\$ 59,146	\$ 2.7	0.0	6.6%
Infraestructura total	\$ 75,455	\$ 40.0	0.5	100.0%

La Figura 99 muestra en forma de barras estos resultados para los cinco grandes sectores. Esta figura indica que el mayor riesgo lo concentran los sectores: eléctrico y de agua y saneamiento.

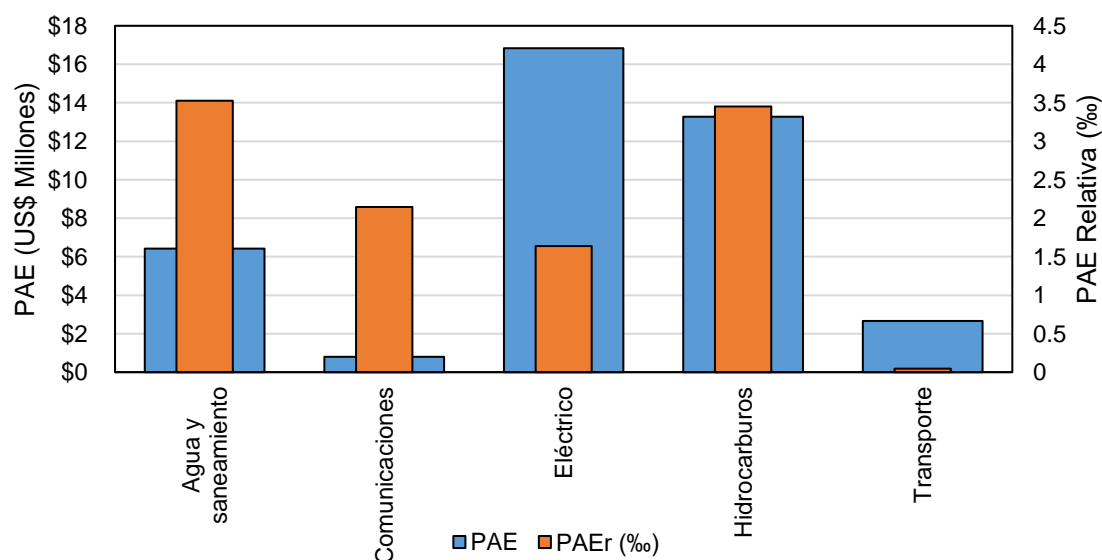


Figura 99. PAE y PAEr infraestructura.

Por otra parte, la Figura 100 presenta los resultados para los subsectores. Como se observa, los subsectores de acueducto, alcantarillado y subestaciones eléctricas son los más vulnerables, con pérdidas anuales relativas del orden de 8.0‰, seguidos de los subsectores de estaciones de hidrocarburos con pérdidas anuales relativas del orden de 4‰. Los demás subsectores presentan un riesgo relativo bajo debido a una menor vulnerabilidad sísmica asociada al tipo de infraestructura. En términos absolutos, los

sectores de mayor riesgo son subestaciones eléctricas, acueductos y alcantarillados y subestaciones de hidrocarburos y oleoductos.

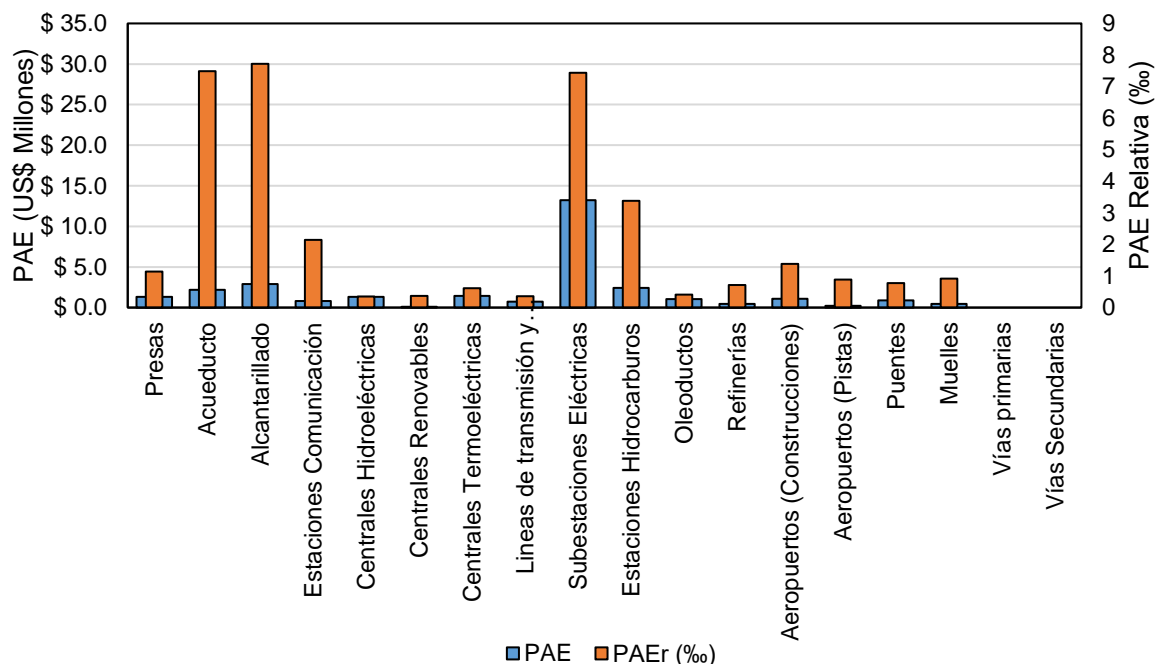


Figura 100. PAE y PAE relativa subsectores infraestructura

La pérdida máxima probable de cada uno de los sectores se presenta en la Figura 101. En esta se puede ver que las mayores pérdidas se presentan en el sector eléctrico, seguido del sector de hidrocarburos y finalmente los sectores agua, comunicación y transporte.

De nuevo los sectores que concentran las pérdidas catastróficas directas son el eléctrico, hidrocarburos y agua y saneamiento.

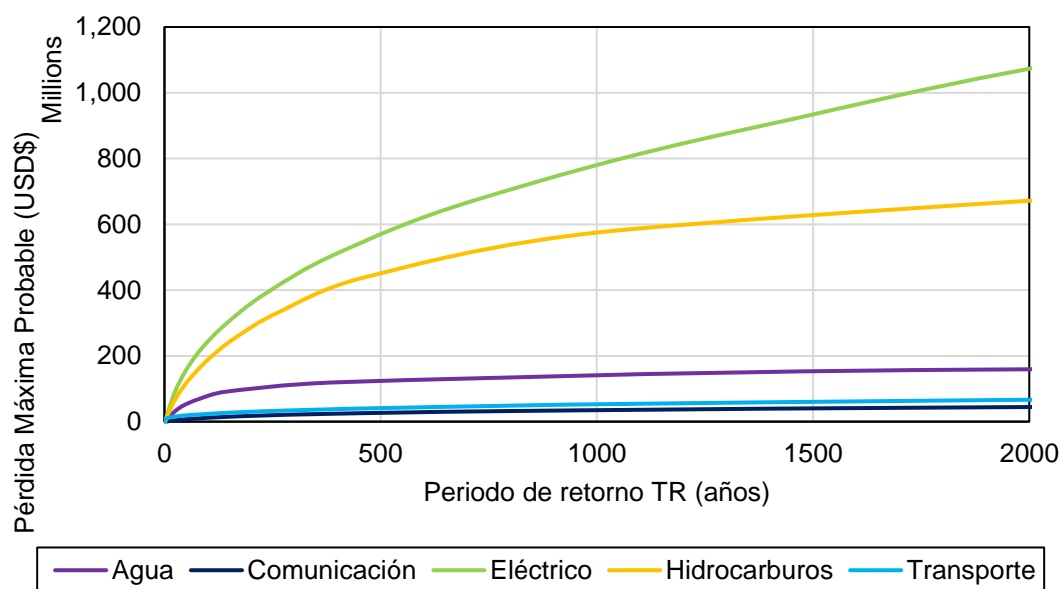


Figura 101. Curvas de PMP para componentes de infraestructura.

5.2.4 Comparación del riesgo sísmico para todos los subsectores analizados

Es posible comparar el riesgo relativo para todos los subsectores a través de la PAE absoluta y relativa. En la Figura 102 se presenta la comparación correspondiente, mostrando en el eje de la izquierda la PAE absoluta y en el eje de la derecha la PAE relativa. Con base en esta figura se puede establecer que los subsectores que mayor riesgo absoluto presentan son el de residencial medio, bajo y rural mientras que los sectores de mayor riesgo relativo son oficinas, administrativo y residencial bajo en su orden. Claramente las edificaciones como tal concentran la mayor parte del riesgo del país. Sin embargo, es claro que componentes como acueductos y alcantarillados, subestaciones eléctricas, aeropuertos y estaciones de hidrocarburos presentan altos riesgos relativos lo cual puede implicar alto impacto para la población, el sector productivo y la economía del país.

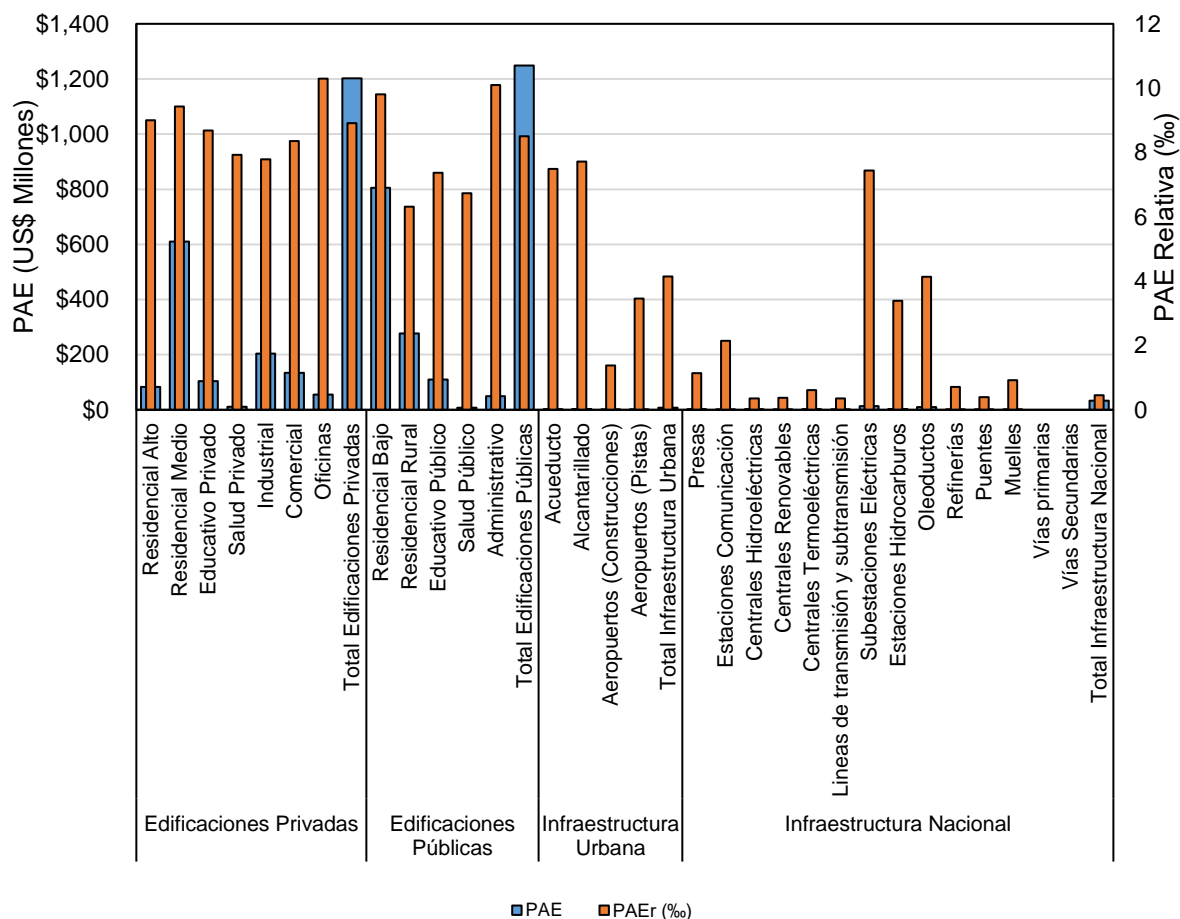


Figura 102. PAE y PAE relativa subsectores analizados.

5.2.5 Pérdidas esperadas a nivel de cantones

Para evaluar la concentración geográfica del riesgo se calculan las PAE y PAE relativas para cada uno de los cantones. El análisis incluye todos los componentes de infraestructura y edificaciones que queden localizados geográficamente en cada cantón. En la Figura 103 se presenta el valor de la PAE absoluta, en la Figura 104 la PAE relativa al millar. En los anexos se incluye una tabla con los valores de las PAE para cada uno de los cantones de manera individual, tanto en valor absoluto como en valor relativo. Las tablas se han organizado en orden alfabético con el fin de facilitar la búsqueda de información asociada a un cantón particular.

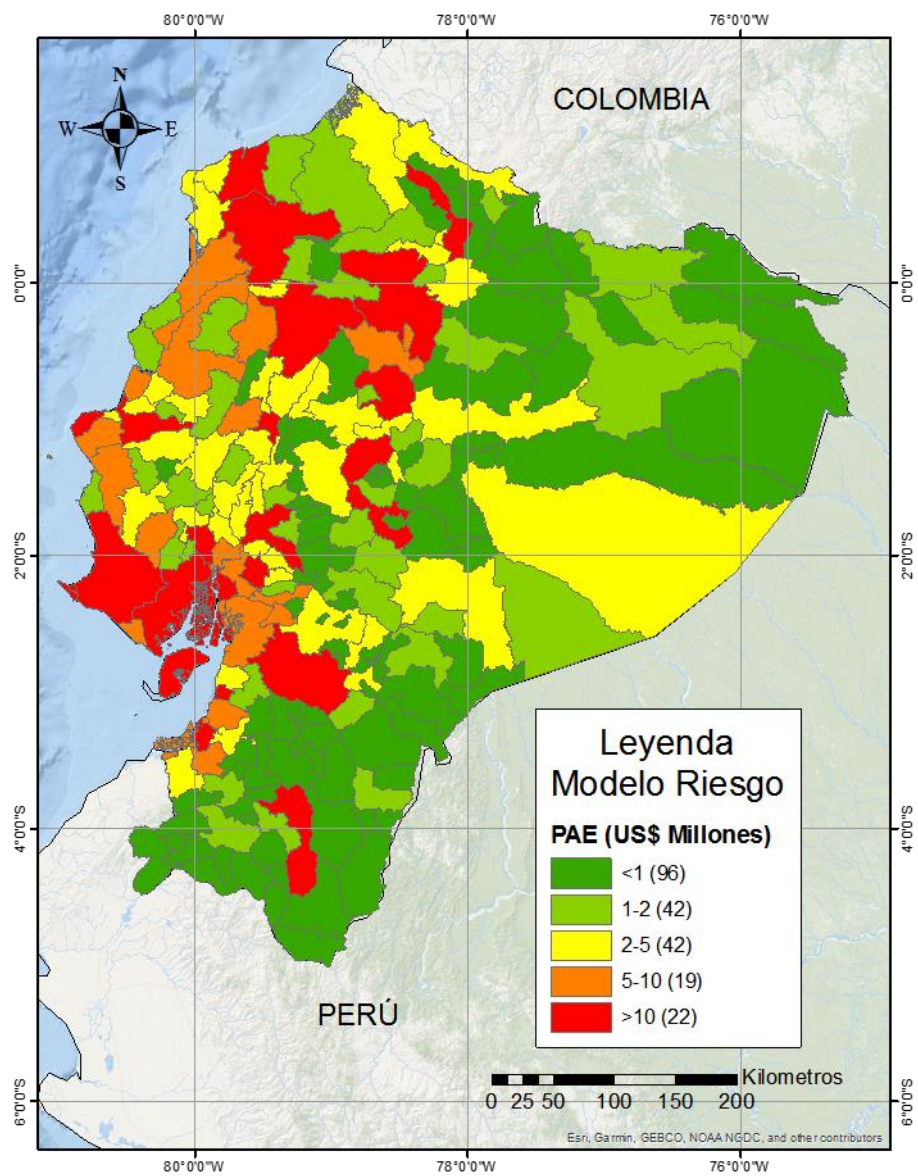


Figura 103. PAE Modelo riesgo Nivel Cantón.

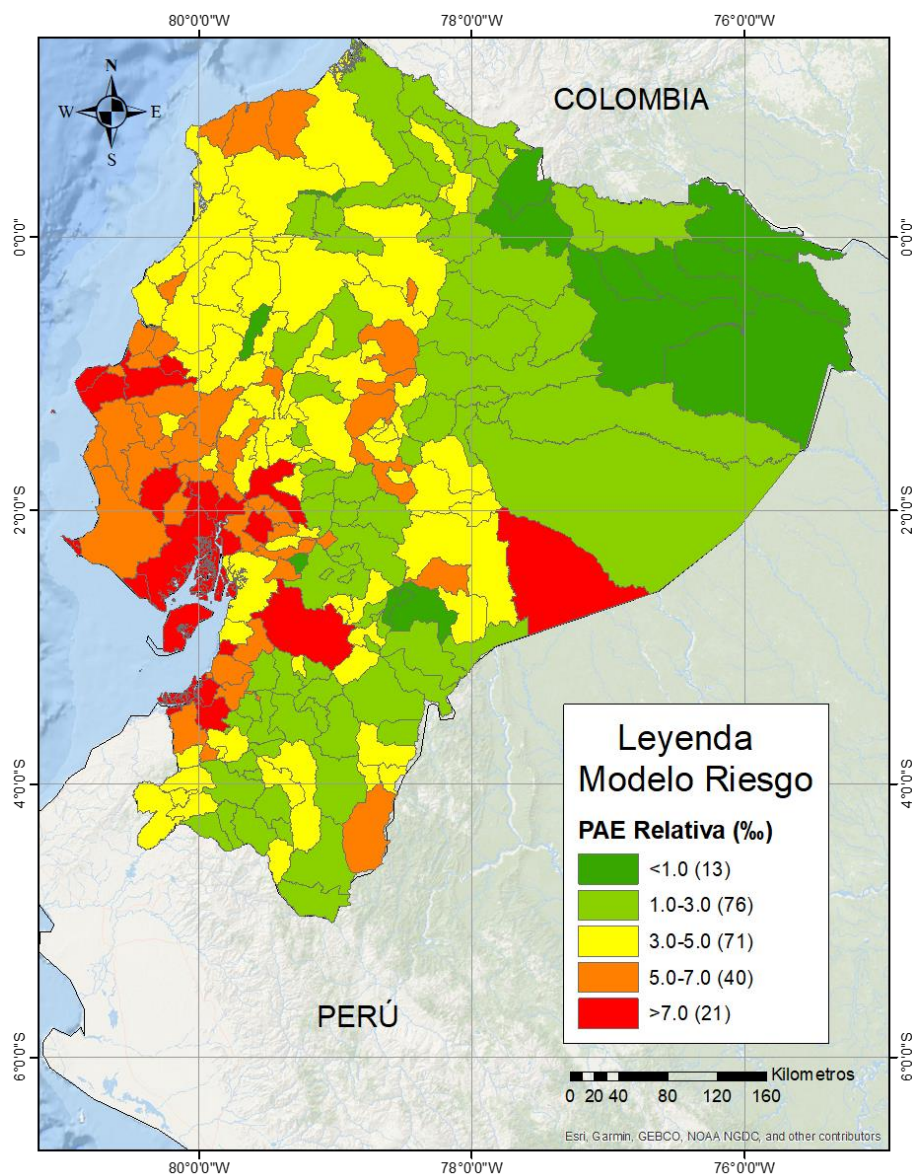


Figura 104. PAE relativa modelo riesgo nivel cantón.

5.2.6 Estimación de pérdidas indirectas

La estimación de las pérdidas económicas totales de los desastres es una tarea compleja ya que entran en consideración gran cantidad de variables y aspectos a analizar. En términos generales, las pérdidas económicas totales causadas por los desastres pueden categorizarse en tres grandes grupos: pérdidas directas, perdidas indirectas y pérdidas de tipo macroeconómico. Las pérdidas directas fueron explicadas anteriormente. Las pérdidas indirectas incluyen las pérdidas por interrupción de funcionamiento de servicios básicos, lucro cesante, comercio y servicios sociales, pérdida de oportunidades para el desarrollo, sobrecostos de producción, operación o funcionamiento y afectaciones sociales entre otros (Yamin et al, 2013b). Este tipo de pérdidas se calculan usualmente de manera simplificada como un porcentaje de las directas o mediante la estimación del tiempo requerido para el restablecimiento de la operatividad de los componentes afectados. Las pérdidas de tipo

macroeconómico reflejan el cambio en el comportamiento económico de un país o una región luego de la ocurrencia del desastre. Dos ejemplos claros de este tipo de pérdidas ocurrieron después del sismo de Irán en 1978 y el sismo de Nicaragua en 1972. En estos casos se identificaron disminuciones del 10% en el producto per cápita diez años después del evento con respecto al periodo anterior al evento cuando se esperaba un aumento del 18% (SELA, 2017). Este tipo de pérdidas dependen directamente del contexto político y económico de cada región, por lo cual no es posible realizar una estimación previa en el contexto de este proyecto.

En este estudio las pérdidas totales se encuentran a partir de las pérdidas directas mediante relaciones obtenidas a partir de eventos ocurridos anteriormente. Para este estudio se utilizó la recopilación de pérdidas en países en vía de desarrollo indicada por Benson (2012). En la Tabla 68 se identifican las pérdidas analizadas para eventos sísmicos en esta referencia.

Tabla 68. Relación pérdidas totales y directas. Adaptado de Benson (2012)

País	Año	Tipo de evento	Pérdida Directa (US\$ Millones)	Pérdida Indirecta (US\$ Millones)	Pérdida Total (US\$ Millones)	Relación Total/Directa
Filipinas	2009	Sismo	1,452	2,931	4,383	3.02
Haití	2010	Sismo	4,526	3,278	7,804	1.72
Lao PDR	2009	Sismo	57	7	64	1.12

En la Tabla 68 se puede identificar que la relación entre pérdidas directas y totales va desde 1.12 al 3.02, en promedio el valor para eventos sísmicos es de 1.95. Vale la pena aclarar que la información existente de pérdidas totales es incompleta, esto se debe a que usualmente las pérdidas indirectas no son tenidas en cuenta en los reportes de daños iniciales. Este tipo de pérdidas únicamente están reportadas en aproximadamente una tercera parte de los eventos registrados en la base de datos EM-DAT (Benson, 2012).

Teniendo en cuenta lo anterior, en este estudio se ha considerado utilizar un valor constante para la relación de pérdidas directas y totales de 2.0. Es decir, las pérdidas indirectas equivalen a las pérdidas directas. Este valor será aplicado igualmente para todos los periodos de retorno. En la Tabla 69 se presentan los resultados de pérdidas directas e indirectas obtenidas a partir de la metodología anterior. Estos resultados se pueden ver gráficamente en la curva de PMP presentada en la Figura 105.

Tabla 69. Resultados riesgo probabilista catastrófico nacional por pérdidas indirectas

	Edificaciones		Infraestructura	
	Directas/Indirectas	Totales	Directas/Indirectas	Totales
Valor total expuesto US\$ (Millones)	\$ 281,164	\$ 281,164	\$ 75,455	\$ 75,455
Pérdida Anual Esperada US\$ (Millones)	\$ 2,655	\$ 5,310	\$ 91	\$ 182
Pérdida Anual Esperada Relativa (‰)	9.4	18.8	1.2	4.2
TR	PMP - US\$ (Millones)			
100	\$ 29,139	\$ 58,278	\$ 524	\$ 1,048
250	\$ 43,827	\$ 87,827	\$ 823	\$ 1,646
500	\$ 56,301	\$ 112,602	\$ 1,115	\$ 2,230
1000	\$ 65,153	\$ 130,306	\$ 1,461	\$ 2,922

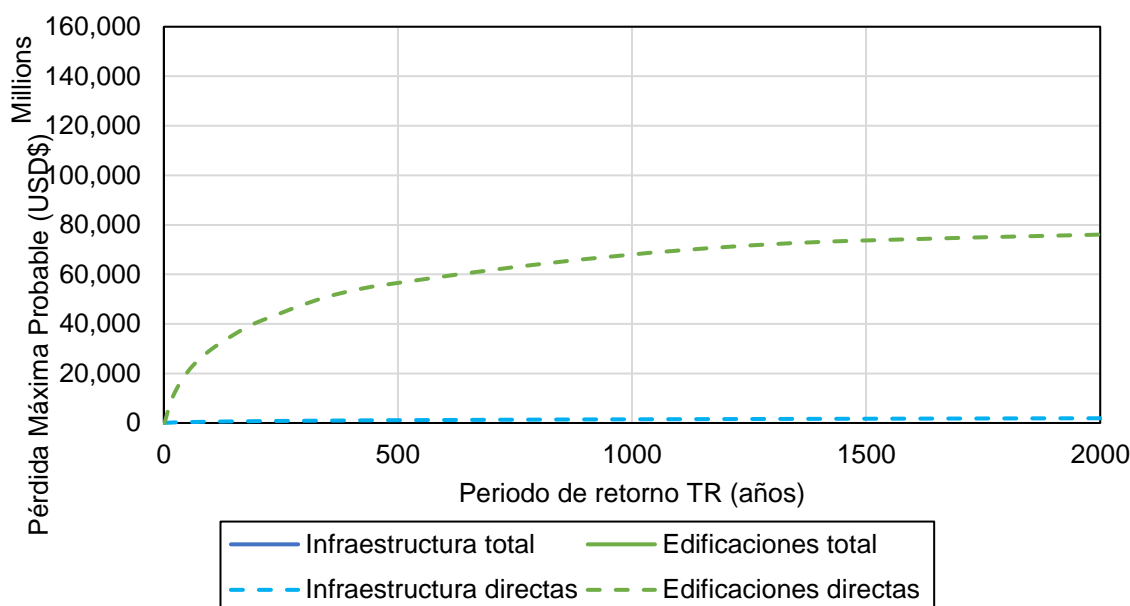


Figura 105. Curva de pérdidas máximas probables directas y totales.

5.3 CURVA HIBRIDA DEL RIESGO

5.3.1 Introducción

El procedimiento para la generación de la curva híbrida del riesgo se presentó en el capítulo 1. A continuación se presenta el alcance y limitaciones del estudio, y los resultados obtenidos. Igualmente se presentan las conclusiones principales y las recomendaciones para mejorar la información de base y la interpretación de resultados.

5.3.2 Alcance y limitaciones

El cálculo de pérdidas por eventos recurrentes presenta limitaciones con respecto a la información disponible. Por lo tanto, las limitaciones de la evaluación de la curva de excedencia de pérdidas de eventos de alta frecuencia son las siguientes:

- El análisis se basa en la información disponible y reportada en las diferentes bases de datos de eventos históricos.
- En el análisis que se presenta solo se tienen en cuenta las pérdidas directas, las cuales se evalúan mediante interpretación de la información disponible y algoritmos simplificados para la evaluación de las pérdidas económicas.

Teniendo en cuenta esto y a partir del alcance del proyecto, a continuación, se presentan las principales consideraciones tomadas para el cálculo de la curva híbrida:

- La base de datos Desinventar se ha completado con información de otras bases de datos tales como la EM-DAT y NOAA.
- El análisis de valores estimados de pérdida para cada evento histórico se basa en los reportes disponibles de impactos generados tales como número de personas afectadas, número de viviendas afectadas o destruidas, número de personas afectadas, heridos o víctimas. En algunos casos específicos se cuentan con estimaciones preliminares de pérdidas económicas.

- c) Los valores de pérdidas económicas directas estimadas están en referencia a dólares de los Estados Unidos de América del año 2018.
- d) Los resultados de los análisis se presentan a nivel país únicamente ya que la calidad y cantidad de información no permite un análisis a nivel regional.

5.3.3 Información disponible en bases de datos libres

El desarrollo de la curva de excedencia de pérdidas de eventos menores requiere la conformación de una base de datos de eventos para los cuales se hayan reportado daños o impactos tanto a nivel de infraestructura o acervos físicos en términos socioeconómicos. En el presente caso se recurre a tres fuentes principales que se resumen en la Tabla 70. En la columna “Ref.” se menciona el nombre con el cual se le denominará a cada una de las referencias consultadas. En la columna “Información” se indica el total de registros utilizados para el análisis. Sólo son considerados los eventos de los últimos 47 años, esto dado que BD-DVT sólo contiene la información de este periodo. Ver Capítulo 3 para información específica de cada base de datos.

Tabla 70 Bases de datos de referencia con información de eventos históricos

Referencia	Nombre	Autor	Fecha de actualización	Información
BD-DVT	Sistema de Inventario de Desastres	Corporación OSSO	Mayo 08, 2018	446 eventos
BD-EMDAT	Emergency Events Database	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED	Abril 16, 2018	10 eventos
BD-NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	National Oceanic and Atmospheric Administration	Recuperado mayo 2018	20 eventos

Para la generación de la curva de excedencia de pérdidas basada en la información de eventos históricos y frecuentes en Ecuador se utilizó la base de datos BD-DVT, la cual reporta los eventos y presenta características relevantes tales como el lugar geográfico donde se reportó la pérdida, la fecha, el número de víctimas fatales (víctimas, heridos, desaparecidos, etc.), el número de viviendas afectadas o destruidas e incluso el valor de pérdidas en moneda local y en dólares americanos. Las bases de datos BD-NOAA y BD-EMDAT fueron utilizadas de manera comparativa para validar los valores de la base de datos BD-DVT o para complementar la información en casos de información incompleta.

5.3.4 Modelo de costos

El principal indicador utilizado en la valoración económica de los desastres en las diferentes bases de datos es el número de viviendas afectadas y destruidas. En estas bases de datos no se hace referencia al tipo, uso, tamaño o característica estructural de las viviendas. Con el fin de cuantificar los daños producidos por el evento sísmico se asigna un valor medio a las viviendas teniendo en cuenta los resultados globales del modelo de exposición tipo Proxy. A partir de la ocupación humana esperada en cada vivienda, metros cuadrados construidos y valoración total del sector residencial se identifica que en promedio una vivienda (unidad unifamiliar o multifamiliar) tiene aproximadamente 148 m² construidos y un valor por metro cuadrado de 382 US\$/m², por lo que cada vivienda se asigna un costo total de 56,500 US\$. Este valor es un promedio obtenido para los tres tipos de complejidades en los 224 cantones del territorio nacional y está basado en los resultados obtenidos en el modelo de exposición (para más detalles ver Capítulo 5).

5.3.5 Revisión de valores obtenidos con la metodología propuesta

De la Figura 106 a la Figura 108 se presentan las figuras comparativas entre los valores obtenidos posterior al procesamiento de la BD-DVT y los valores reportados para los mismos eventos en las demás bases de datos. Se observa que las diferencias no generan una necesidad de replantear el tipo de información a utilizar, los métodos de cálculo o los supuestos establecidos para análisis. Se concluye que los resultados permiten obtener la curva de pérdidas de eventos recurrentes con un grado de confiabilidad aceptable.

En algunos casos es muy complejo determinar la causa de las diferencias encontradas, sin embargo, se asume y acepta esta incertidumbre como parte de las diferencias entre las metodologías de medición optada por cada organización y/o el error asociado a la espacialidad y temporalidad de los eventos en BD-DVT.

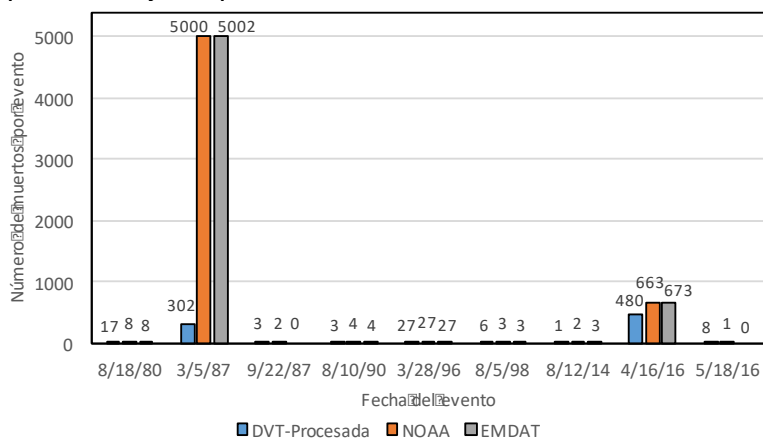


Figura 106. Comparación entre el número de víctimas fatales calculados a partir de BD-DVT y los reportados en BD-EMDAT y BD-NOAA para varios sismos.

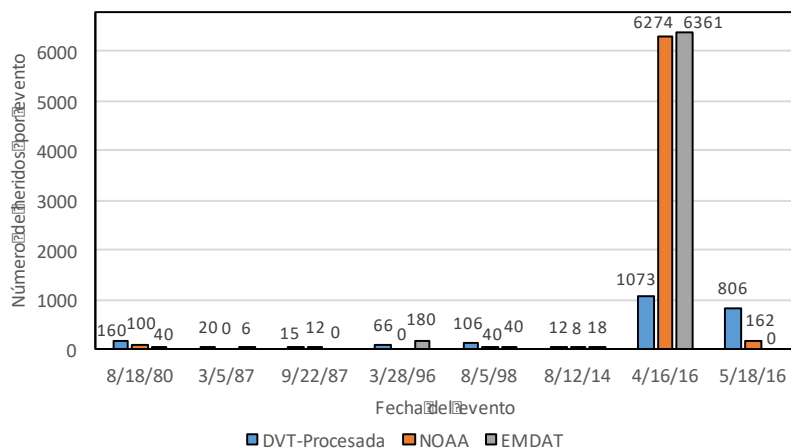


Figura 107. Comparación entre el número de heridos calculados a partir de BD-DVT y los reportados en BD-EMDAT y BD-NOAA para varios sismos.

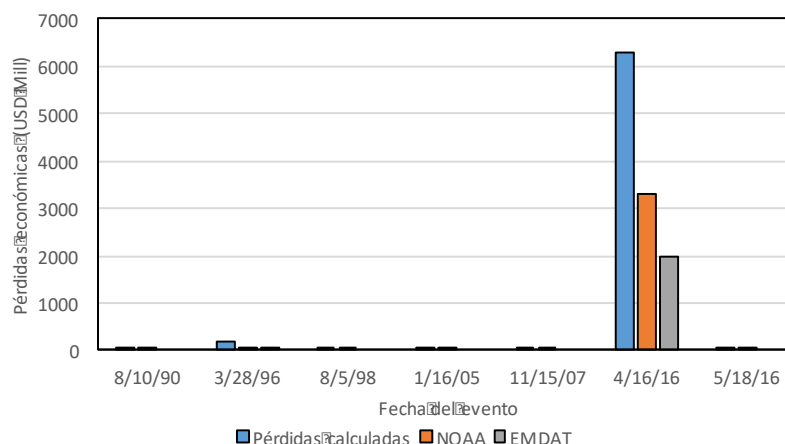


Figura 108. Comparación entre las pérdidas económicas calculadas a partir de BD-DVT y los reportados en BD-EMDAT y BD-NOAA para varios sismos.

5.3.6 Curva de excedencia de pérdidas de eventos recurrentes

La curva de excedencia de pérdidas de eventos frecuentes se calcula a partir de las pérdidas calculadas para los eventos procesados con la metodología anteriormente propuesta. La curva de excedencia de pérdidas relaciona una pérdida económica fija con la frecuencia anual de excedencia de esta. El formato general en que se presenta esta curva es en formato log-log para poder graficar la frecuencia anual de valores de pérdidas de diferentes magnitudes en una misma figura. Para definir la recurrencia anual de las pérdidas generalmente se calcula el total de eventos sísmicos que tienen una pérdida económica igual o superior a un valor específico y se anualiza este valor dividiéndolo por el número de años que tiene el catálogo bajo análisis. Los valores de pérdidas se grafican a partir de un valor igual o superior a US\$ 1 millón hasta una pérdida igual a US\$ 1,000 millones, los cuales son valores que se pueden considerar dentro de un rango de pérdidas aceptadas como recurrentes para un portafolio de edificaciones que tiene como valor de exposición US\$279,429 millones de dólares. En este portafolio no se incluye el sector de infraestructura pues en las bases de datos no se reportan pérdidas para eventos frecuentes.

En la Figura 109 se presentan la curva de pérdidas recurrentes (verde), la curva por pérdidas catastróficas obtenida a partir del modelo (naranja) y la curva híbrida del riesgo sísmico (negro).

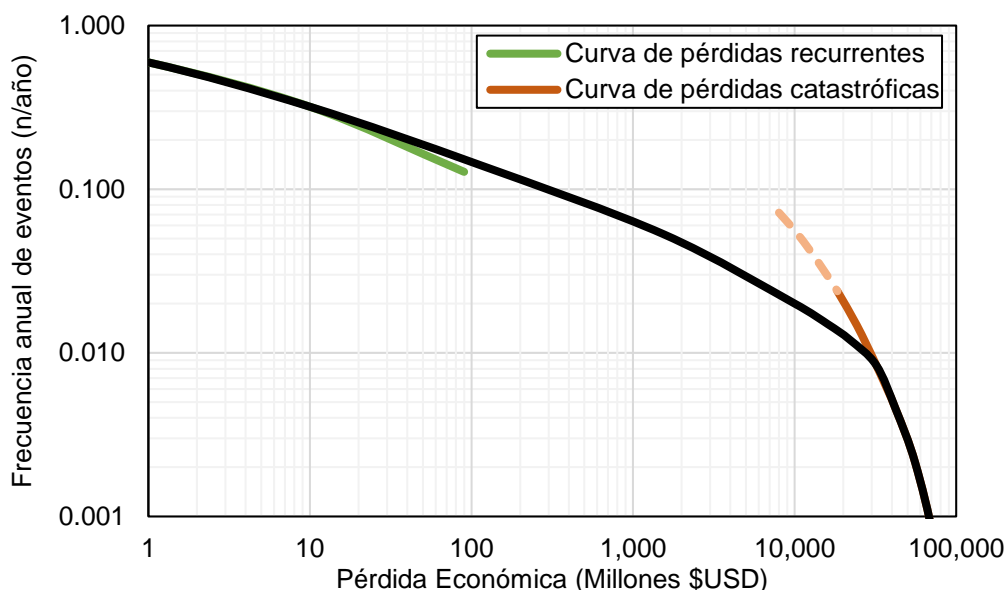


Figura 109. Curva híbrida del riesgo.

La curva híbrida del riesgo se obtiene entonces como la curva envolvente entre las dos curvas de excedencia de pérdidas que conforman el perfil completo por pérdidas directas del riesgo para Ecuador. En la anterior figura, la línea negra representa esta curva híbrida del riesgo. Esta curva es de gran utilidad dado que las curvas a partir de las cuales se crea, por sí solas, no representan de manera completa y acertada el riesgo sísmico de una región. En la Tabla 71 se pueden identificar los valores de pérdidas económicas para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.

Tabla 71. Resultados indicativos curva híbrida

Periodo de retorno	Pérdida Económica (US\$) Millones
10	\$ 200
50	\$ 10,000
100	\$ 30,000

5.4 ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS FÍSICAS Y HUMANAS POR ESCENARIOS CRÍTICOS DE RIESGO

Además de la evaluación probabilista del riesgo, resulta de interés evaluar el riesgo para escenarios críticos específicos. El objetivo de este análisis es evaluar los daños físicos y las pérdidas humanas esperadas para eventos sísmicos catastróficos importantes. Resulta de interés analizar los siguientes grupos de eventos críticos:

- Escenarios catastróficos que corresponden a aquellos que, teniendo una probabilidad de ocurrencia muy baja, generan las peores pérdidas posibles en diferentes zonas del país.
- Escenarios críticos de riesgo que corresponden a aquellos que tienen la mayor combinación entre la pérdida económica y su frecuencia de ocurrencia. Estos usualmente tienen periodos de retorno entre 300 y 1000 años.

A continuación, se presentan los impactos esperados en escenarios seleccionados para estos grupos de eventos.

5.4.1 Escenarios catastróficos de riesgo

Se seleccionan tres (3) escenarios que generan los peores posibles impactos en términos de pérdidas económicas directas esperadas, los cuales se muestran en la Figura 110. Un escenario en cercanías a la población de Esmeraldas, otro en Guayaquil y un tercero en cercanía a la ciudad de Quito. En la Tabla 72 y Tabla 63 se resumen los resultados para estos escenarios catastróficos seleccionados.

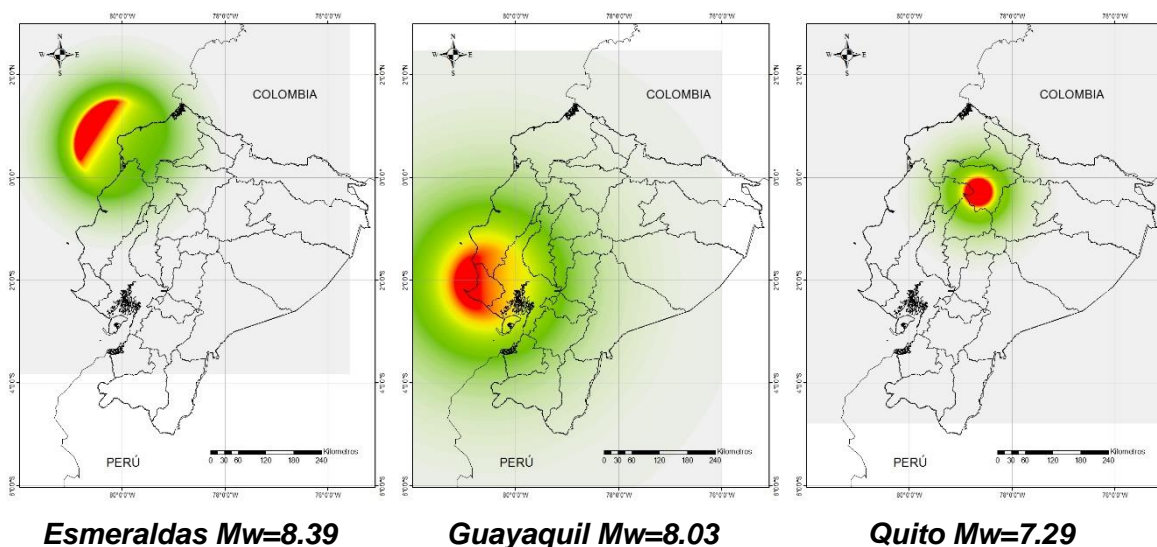


Figura 110. Escenarios catastróficos de riesgo.

Tabla 72. Resultados eventos catastróficos

Zona	Régimen	Magnitud (Mw)	Pérdida Física (US\$ Millones)	Pérdida Física Relativa	Escenario Día		Escenario Noche	
					Heridos	Víctimas	Heridos	Víctimas
Esmeraldas	Subducción	8.39	\$ 25,159	11.0%	23,218	5,980	20,546	4,492
Guayaquil	Subducción	8.03	\$ 70,214	30.8%	50,789	13,300	51,749	12,535
Quito	Cortical	7.29	\$ 42,464	18.6%	28,149	7,345	28,789	7,220

Nota: Las pérdidas reportadas solo incluyen pérdidas directas debido al evento sísmico. No se contemplan las pérdidas indirectas ocasionadas por deslizamientos, inundaciones, problemas de salud pública, y demás que puedan ocurrir posterior al sismo.

Estos resultados indican que los sismos catastróficos para el país corresponden a eventos que se presentarían en cercanías las ciudades de Esmeraldas, Guayaquil, y Quito; con magnitudes (Mw) en el orden de 8.4, 8.0 y 7.3 con pérdidas económicas esperadas en el orden de 25,000, 70,000 y 42,000 US\$ Millones respectivamente.

5.4.2 Escenarios críticos de riesgo

Se seleccionan un total de 5 escenarios que tienen una participación importante en el riesgo general del país. Estos corresponden de nuevo a sismos en cercanías de las poblaciones de Esmeraldas, Guayaquil y Quito. Los eventos seleccionados se presentan en la Figura 110. En la Tabla 72 se resumen las estimaciones realizadas de impactos para estos escenarios seleccionados.

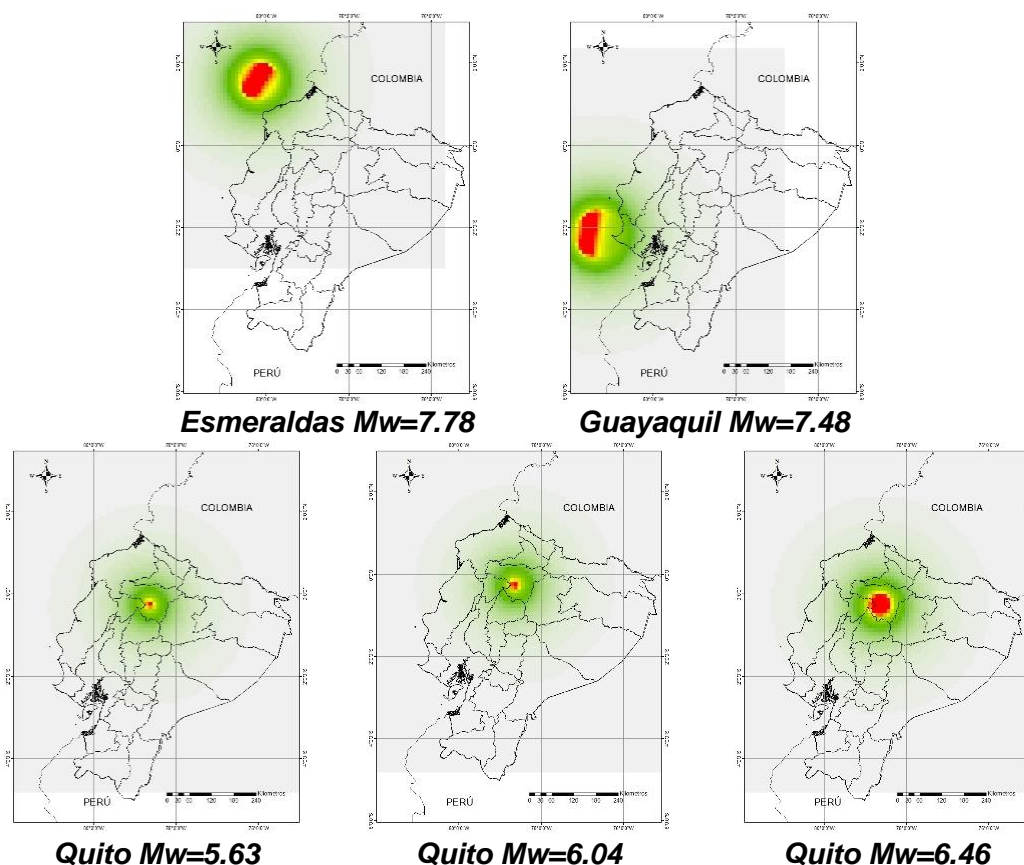


Figura 111. Escenarios críticos de riesgo.

Tabla 73. Resultados eventos críticos de riesgo

Zona	Régimen	Magnitud	Periodo de retorno (años)	Pérdida Física (US\$ Millones)	Pérdida Física Relativa	Escenario Día		Escenario Noche	
						Heridos	Víctimas	Heridos	Víctimas
Esmeraldas	Subducción	7.78	310	\$ 1,719	0.8%	1,241	235	1,315	313
Guayaquil	Subducción	7.48	590	\$ 7,878	3.5%	3,466	867	3,915	911
Quito	Cortical	5.63	115	\$ 2,833	1.2%	1,096	269	1,227	302
Quito	Cortical	6.04	350	\$ 7,938	3.5%	2,646	671	3,121	801
Quito	Cortical	6.46	1,200	\$12,840	5.6%	7,134	1,844	7,564	1,922

Nota: Las pérdidas reportadas solo incluyen pérdidas directas debido al evento sísmico. No se contemplan las pérdidas indirectas ocasionadas por deslizamientos, inundaciones, problemas de salud pública, y demás que puedan ocurrir posterior al sismo.

Los anteriores resultados permiten plantear las siguientes conclusiones:

- El sismo que más pérdidas económicas genera es el que afecta directamente a Quito con una magnitud de 6.5, con unas pérdidas económicas del orden de 12,000 US\$ Millones equivalentes al 5.6% del valor total expuesto nacional.
- Las mayores pérdidas humanas son de aproximadamente 7,000 heridos y 1900 víctimas, producidas por un sismo de magnitud 6.5, de régimen cortical, en las cercanías de Quito en horario nocturno
- Los sismos cercanos a las poblaciones de Quito y Guayaquil podrían llegar a tener impactos considerables dada la importancia económica y poblacional de estas dos ciudades a nivel nacional

5.5 CASO DE VALIDACIÓN: SISMO 16 DE ABRIL DE 2016

Para validar el modelo de riesgo se realizó una corrida determinista equivalente al sismo del 16 de abril de 2016 con epicentro en Pedernales. Este sismo tuvo las siguientes características (datos tomados de GEER & ATC (2016)):

- Epicentro: 29km al sur de la ciudad de Pedernales, provincia de Manabí.
- Magnitud Mw=7.8
- Más de 500 personas muertas y cerca de 30,000 mil afectados.
- Impacto estimado en el 3.5% del GDP de Ecuador.

Las edificaciones tuvieron grandes afectaciones, los resultados de la evaluación rápida post terremoto para todo Ecuador especifican los siguientes valores de colapsos y afectaciones:

- Aproximadamente 3000 edificaciones colapsadas o severamente afectadas.
- Aproximadamente 7500 edificaciones con daños leves.

Las edificaciones afectadas para los cantones más afectados se presentan en la Figura 112 la cual fue obtenida del reporte generado por GEER ASSOCIATION. En esta figura se puede evidenciar que Portoviejo, Muisne y Bahía de Caraquez fueron los cantones

más afectados. Se puede ver también que Guayaquil sufrió pocas afectaciones debido a la distancia a la que se encuentra del epicentro.

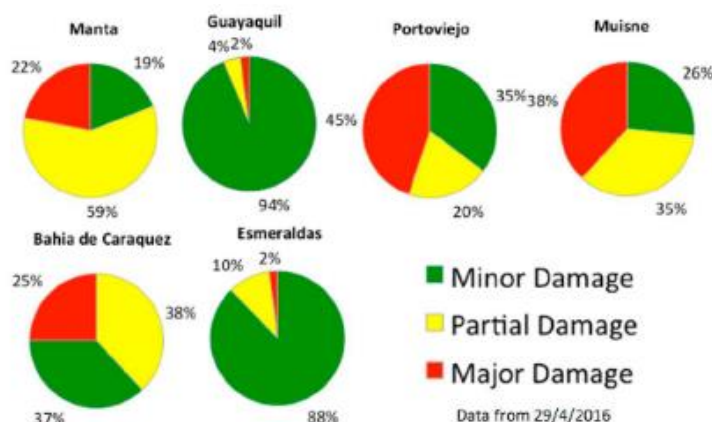


Figura 112. Reporte de daños Portoviejo Fuente: GEER ASSOCIATION. (2016). GEER-ATC EARTHQUAKE RECONNAISSANCE April 16th, 2016, Pedernales, Ecuador. New York: Parsons Brinckerhoff.

Para realizar la validación se realizó un modelo detallado de la exposición de Portoviejo. Esto se hizo realizando levantamientos mediante Google Earth de la totalidad de las manzanas que tienen acceso mediante esta aplicación. En total se realizaron más de 3,500 levantamientos virtuales que permitieron obtener la distribución espacial de las edificaciones existentes. En la Figura 113 se puede observar la distribución de sistemas estructurales. Se puede ver que la mampostería confinada es el sistema estructural predominante, seguido por el sistema de losa columna con muros de mampostería de 1 a 3 pisos. Para más información de la metodología utilizada en los levantamientos ver Capítulo de Exposición.

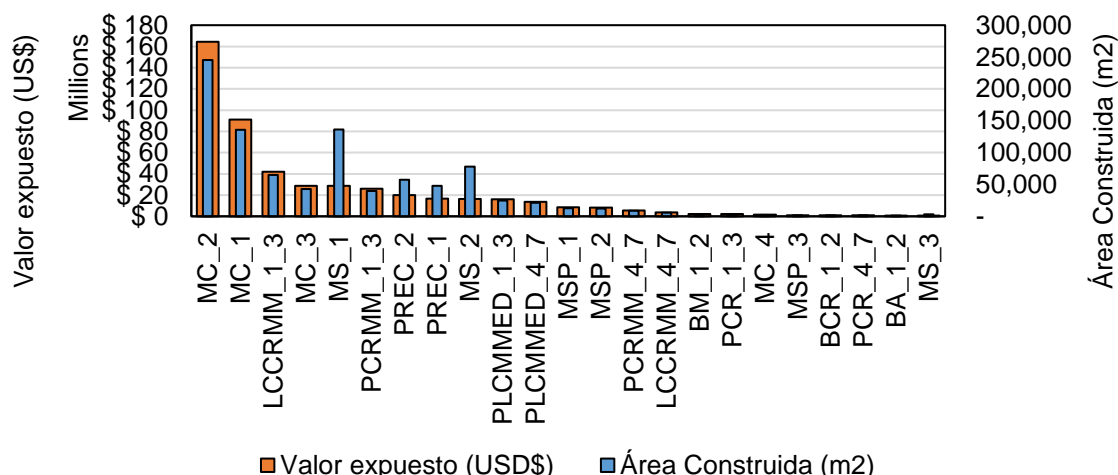


Figura 113. Modelo de exposición Portoviejo.

En cada una de las manzanas se identificó el uso, área total construida y la distribución de sistemas estructurales. El modelo geográficamente referenciado se presenta en la Figura 114. En esta se puede evidenciar la presencia de edificaciones PLCMMED (pórticos o losa columna con muros de mampostería y eje débil) en la zona central de

Portoviejo. En esta zona precisamente se evidenciaron múltiples colapsos en este tipo de edificaciones (GEER & ATC, 2016).

El escenario estocástico escogido se presenta en la Figura 115. Este fue escogido para que cumpliera con las mismas características del evento ocurrido (magnitud, distancia, profundidad, tipo de falla, etc.) El evento fue calibrado para que las aceleraciones registradas durante el sismo coincidan con las aceleraciones generadas en el modelo.

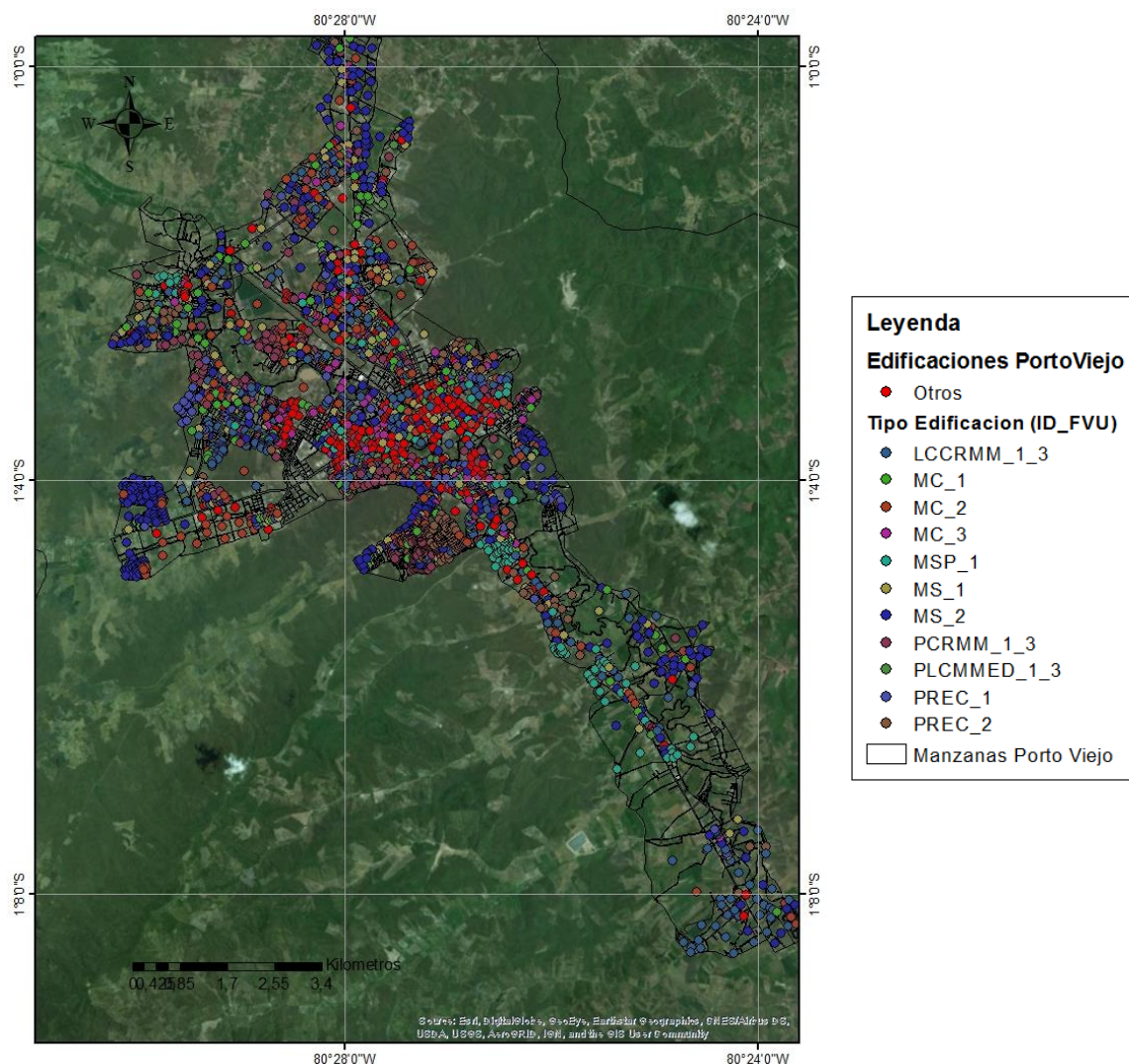


Figura 114. Distribución geográfica modelo de exposición

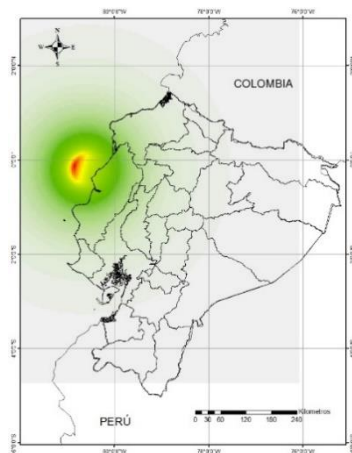
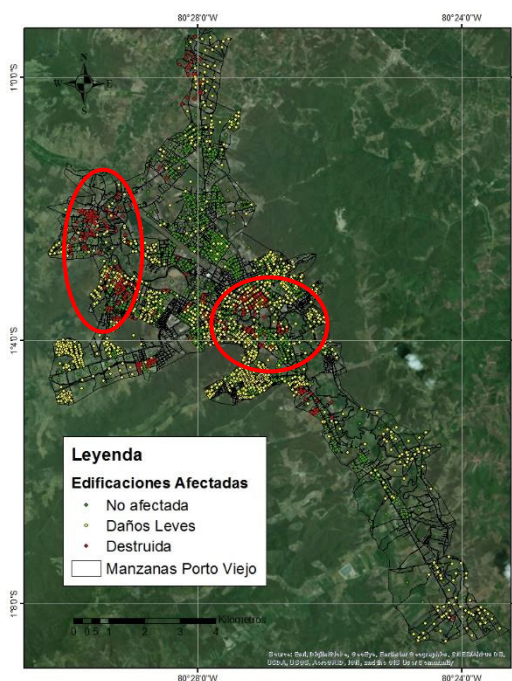


Figura 115. Escenario estocástico equivalente.

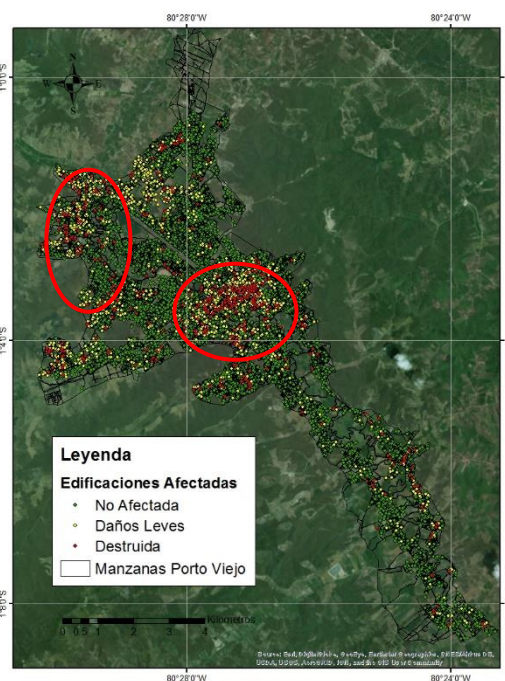
Los resultados obtenidos en el riesgo se presentan en la Tabla 74 y en la Figura 116. En esta se puede ver que las zonas donde ocurrieron los colapsos de las edificaciones coinciden en los reportes de daños y en el modelo realizado.

Tabla 74. Comparación edificaciones afectadas.

% Edificaciones afectadas		
ITEM	Escenario	Reporte de daños Min. Defensa
No afectada	92%	96%
Daños Leves (>35%)	7%	3%
Destruida (>75%)	1%	1%



a)



b)

Figura 116. Comparación de resultados. a) Modelo realizado en CAPRA. b) Reporte de daños Ministerio de Defensa

Así mismo las pérdidas registradas se presentan en la Tabla 75, las cuales coinciden con las registradas en las bases de datos.

Tabla 75. Pérdidas estimadas sismo del 16 de abril de 2016

Modelo Portoviejo	
Pérdidas reportadas (US\$ Millones)	\$ 3,344
Pérdidas escenario estocástico (US\$ Millones)	\$ 3,515

5.6 CONCLUSIONES

A partir de perfil de riesgo realizado en país de Ecuador se plantean las siguientes conclusiones:

- La pérdida anual esperada absoluta para el portafolio general de Ecuador es de US\$ 2,655 millones, correspondiente a un 7.4‰ del valor total expuesto de todo el portafolio.
- La pérdida máxima probable en Ecuador para un periodo de retorno de 1000 años es de US\$ 68,172 millones, lo que corresponde a un 19.2% del valor expuesto total.
- Las tipologías constructivas que mayor riesgo absoluto concentran son en su orden edificaciones de losa columna de concreto reforzado con muros de mampostería de 1 a 3 pisos, mampostería simple de 1 piso y pórticos de mampostería simple con muros de mampostería de 1 a 3 pisos.
- Las tipologías constructivas que mayor riesgo relativo presentan son en un su orden son edificaciones precarias de 3 pisos, pórticos de concreto con muros de mampostería de 1 a 3 pisos de calidad baja, pórticos o losa columna de concreto reforzado con muros de mampostería y eje débil y mampostería simple con placa.
- La pérdida anual esperada absoluta en el sector residencial es de US\$ 1,775 millones, lo que representa aproximadamente el 73% de la pérdida anual esperada de todo el portafolio de edificaciones del Ecuador.
- Los usos con mayores pérdidas anuales esperadas relativas son oficinas, administrativo y comercial con pérdidas anuales esperadas al millar de 10.3‰, 10.1‰ y 7.8‰ respectivamente.
- El riesgo sísmico absoluto se concentra en la provincia de Guayas, con una pérdida anual esperada de US\$ 1,393 millones, que corresponde al 13.8‰ del valor total expuesto del portafolio de este municipio y al 57% de la pérdida anual esperada absoluta para el todo el portafolio de edificaciones del Ecuador
- El riesgo sísmico relativo se concentra en las provincias de Guayas y Santa Elena, con pérdidas anuales al millar de 13.8‰ y 13.7‰ de los portafolios de cada provincia respectivamente. Las provincias con menor riesgo sísmico relativo son Orellana y Sucumbíos con pérdidas anuales esperadas al millar de 1.09‰ y 1.10‰ respectivamente.

En relación con el análisis de pérdidas de eventos recurrentes y curva híbrida se plantean las siguientes conclusiones:

- Se tiene que, para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años se tienen pérdidas asociada de US\$ 100, US\$ 10,000 y US\$ 30,000 millones de dólares.

En cuanto al análisis de escenarios catastróficos y de escenarios críticos de riesgo, se evaluaron las pérdidas económicas y humanas asociadas a sismos de diferentes magnitudes. De este análisis se plantean las siguientes conclusiones:

- El análisis de sismos catastróficos arrojó que un sismo producido en las cercanías de la ciudad de Guayaquil, con una magnitud Mw de 8 aproximadamente, puede producir pérdidas económicas en el orden de los 70,000 US\$ Millones equivalentes al 30% del valor expuesto nacional. Este sismo también puede generar que hayan más de 12,000 víctimas fatales y 50,000 heridos, derivados directamente del evento.
- En las cercanías de la ciudad de Quito, un sismo catastrófico podría producir pérdidas económicas cercanas a los 30,000 US\$ Millones equivalentes al 18% del valor expuesto nacional. Adicionalmente, se esperan que las pérdidas humanas sean de más de 28,000 heridos y más de 7,000 víctimas.
- La pérdida económica esperada sobre el portafolio total de edificaciones del Ecuador para un sismo catastrófico en la zona norte del país de magnitud 8.39 es de aproximadamente 25,000 US\$ Millones, correspondientes al 11.0% del valor total expuesto para el país. Adicionalmente las pérdidas humanas esperadas son de aproximadamente 20,000 heridos y 5,000 víctimas.
- Un evento en la misma zona con una magnitud de 7.78 genera pérdidas de 1,719 US\$ Millones, equivalentes al 0.8% del valor total del portafolio nacional. Las pérdidas humanas a asociadas a estos eventos son de 1,200 heridos, y de 200 víctimas fatales para el escenario día respectivamente. Para el escenario noche se estiman 1,300 heridos, y 300 víctimas fatales para el evento de referencia. En estos eventos se observa la incidencia del momento en que ocurra el evento, en el número de heridos y víctimas.
- Para un sismo de magnitud 7.48 (periodo de retorno de 590 años) en la zona sur de la falla de subducción se tiene que la pérdida económica esperada es de aproximadamente 7,800 US\$ Millones, correspondientes al 3.5% del valor total expuesto. Las pérdidas humanas son de aproximadamente 3,500 heridos y 850 víctimas fatales para el escenario día, y de 3,900 heridos y 900 víctimas fatales para el escenario noche. Estas pérdidas están asociadas a la cercanía de este evento con la ciudad de Guayaquil, la cual tiene una alta población y actividad económica.
- Para los escenarios en Quito las pérdidas económicas aumentan de manera progresiva al aumentar el periodo de retorno (115, 350, y 1,200 años) con valores de pérdidas relativas del 1.2%, 3.5% y 5.6%, equivalentes a 2,800, 7,900, y 12,800 US\$ Millones respectivamente. Las pérdidas humanas asociadas a estos eventos presentan el mismo comportamiento que las pérdidas físicas. Adicionalmente se observa que un evento con un periodo de retorno similar en Quito genera más de dos veces el número de víctimas fatales y heridos que un sismo en la zona norte del país. Lo cual evidencia la incidencia en la ubicación del sismo en las pérdidas económicas y humanas esperadas.

6 REFERENCIAS

- Allen, T. I., & Wald, D. J. (2009). On the use of high-resolution topographic data as a proxy for seismic site conditions (VS30). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99(2 A), 935–943.
- Alvarado, A. (2012). *Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur*. Sciences de la Terre, Université de Grenoble. Retrieved from
- AASHTO. (2010). *AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Banco Mundial. (2019). *Fragility and Vulnerability Assessment Guide*. Washington: The World Bank.
- Baker, J. W. (2013). Probabilistic Seismic Hazard Analysis. *White Paper Version 2.0.1*, pp 79.
- Beauval, C., Marinière, J., Yepes, H., Audin, L., Nocquet, J. M., Alvarado, A., ... Jomard, H. (2018). A new seismic hazard model for ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(3), 1443–1464.
- Beauval, C., Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Nocquet, J.-M., Monelli, D., & Danciu, L. (2014). Probabilistic Seismic-Hazard Assessment in Quito, Estimates and Uncertainties. *Seismological Research Letters*, 85(6), 1316–1327.
- Beauval, C., Yepes, H., Bakun, W. H., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J. C. (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587-1996). *Geophysical Journal International*, 181(3), 1613–1633.
- Beauval, C., Yepes, H., Palacios, P., Segovia, M., Alvarado, A., Font, Y., ... Vaca, S. (2013). An earthquake catalog for seismic hazard assessment in Ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(2 A), 773–786.
- Benson, C. (2012). *Indirect economic impacts from disasters*.
- Benson, C., (2012). *Indirect Economic Impacts from Disasters*. Government Office of Science, Foresight project 'Reducing Risks of Future Disasters: Priorities for Decision Makers. United Kingdom
- BID. (2004). *Eventos máximos considerados y estimación de pérdidas probables para el cálculo del índice de déficit por desastre en doce países de las Américas*. Manizales.
- BID. (2015). *Perfil de Riesgo de Desastres para Venezuela*. Washington: División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión del Riesgo de Desastres.
- BID. (2015). *Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos*. Ecuador: División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión del Riesgo de Desastres.
- CAPRA (2018). *Metodología De Modelación Probabilista De Riesgos Naturales*. www.ecapra.org
- D'Ayala, D., Meslem, D., Vamvatsikos, D., Porter, K., & Rossetto, T. (2015). *Guidelines for Analytical Vulnerability Assessment - Low/Mid-Rise* (GEM ed.). Vulnerability Global Component Project.
- Desinventar. (2018). *DesInventar Project*. Retrieved December 10, 2017, from <https://www.desinventar.org>
- ERN-AL. (2012). *Microzonificación sísmica del distrito metropolitano de Quito: Estudio de la amenaza sísmica a nivel local. Programa para la reducción de riesgos urbanos*. Quito, Ecuador.
- Federal Emergency Management Agency. (1995). *FEMA 222A -Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings*.
- FEMA. (2017). *Hazus - Multi-hazars Loss Estimation Methodology*. Washington D.C.
- GEER, & ATC. (2016). *GEER - ATC EARTHQUAKE RECONNAISSANCE April 16th 2016*,

Muisne Ecuador.

- GEM & EPN (2016). CAPACITY CURVES AND FRAGILITY CURVES, EXPOSURE MODEL AND VULNERABILITY FUNCTIONS OF RESIDENTIAL BUILDINGS FOR THE CITY OF QUITO. Ecuador
- GEM & EPN (2017). MODELO DE EXPOSICIÓN Y COSTO DE REPOSICIÓN DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (D.M.Q.). Ecuador
- Geoestudios, S. A. (2017). *Estudio de microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de esmeraldas según la norma ecuatoriana de la construcción 2015*. Ecuador.
- Idriss, I., & Seed, H. (1968). Seismic Response of Horizontal Soil Layers. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 94, 1003–1031.
- Idriss, I., & Seed, H. (1991). SHAKE91: a Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits. Davis, California: University of California.
- IGEPN. (2017). Catálogo sísmico del Ecuador 2010 - 2017. Quito, Ecuador.
- IGEPN, & FUNVISIS. (2017). *Estudio de la microzonificación sísmica del área urbana de Portoviejo y sus cabeceras parroquiales rurales*. Quito, Ecuador.
- INEC. (2017). *Estimando costos de un desastre. El costo en el sector productivo del terremoto de abril de 2016 en Ecuador: Una aproximación metodológica*. Quito, Ecuador.
- INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Quito, Ecuador.
- Instituto Geofísico-EPN, & FUNVISIS. (2017). *Estudio de la microzonificación sísmica del área urbana de Portoviejo y sus cabeceras parroquiales rurales*. Quito, Ecuador.
- National Geophysical Data Center (NGDC). (n.d.). Global Significant Earthquake Database, 2150 BC to present.
- Ordaz, M. (2000). *Metodologías para la evaluación del riesgo sísmico enfocada a la gerencia de seguros por terremoto*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ordaz, M., Aguilar, A., & Arboleda, J. (2007). CRISIS2007. Ciudad de México, Mexico.
- Parra, H. (2016). *DESARROLLOS METODOLÓGICOS Y APLICACIONES HACIA EL CÁLCULO DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA EN EL ECUADOR CONTINENTAL Y ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE QUITO*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Prada, E., Yamin, L. E., Rueda, R., & Rincon, R. (2017). Incertidumbre en la respuesta dinámica unidimensional de depósitos de suelos para efectos de microzonificación sísmica. *VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*.
- Quito, C. M. (2009). *Ordenanza Metropolitana No. 303*. Quito.
- SELA. (2017). *Impacto Macroeconómico de los Desastres por la Ocurrencia de Eventos Naturales en América Latina y el Caribe Cooperación Económica y Técnica*. San José, Costa Rica.
- SENPLADES. (2016). *Evaluación de los Costos de Reconstrucción Sismo en Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Townsend, T. &. (2017). *International construction market survey*.
- Uhrhammer, R. (1986). Characteristics of Northern and Central California Seismicity. *Earthquake Notes*.
- UN. (2015). *Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. International Strategy for Disaster Reduction (ISDR)*.
- Université catholique de Louvain (UCL). (2018). "EM-DAT: The Emergency Events Database."

- Velásquez, C. A., Cardona, O. D., Mora, M. G., Yamin, L. E., Carreño, M. L., & Barbat, A. H. (2014). Hybrid loss exceedance curve (HLEC) for disaster risk assessment. *Natural Hazards*, 72(2), 455–479. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-1017-z>
- Vera-Grunauer, X. (2014). *Seismic Response of a Soft, High Plasticity, Diatomaceous Nat. Cemented Clay*. University of California, Berkeley.
- Wald, D. J., & Allen, T. I. (2007). Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(5), 1379–1395.
- Yamin, L. E., Reyes, J. C., Rueda, R., Prada, E., Rincón, R., Herrera, C., . . . Riaño, A. C. (2018). Practical seismic microzonation in complex geological environment. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 114, 480-494.
- Yamin, L. E., Hurtado, A. I., Barbat, A. H., & Cardona, O. D. (2013a). Seismic and wind vulnerability assessment for the GAR-13 global risk assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10, 452-460.
- Yamin, L., Ghesquiere, F., Cardona, O., & Ordaz, M. (2013b). *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre, El caso de Bogotá, Colombia*.
- Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J., Font, Y., & Cotton, F. (2016). A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic source definition and seismic hazard assessment. *Tectonics*, 35(5), 1249–1279.
- Youngs R., Chiou S., Silva W., Humphrey J. (1997). Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes. *Seismological Research Letters*. 68 (1): 58-73
- Zhao J., Zhang J., Asano A., et al. (2006). Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Base don Predominant Period. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 96 (3): 898-913.

7 ANEXO 1

7.1 ENTIDADES PARTICIPANTES Y CONSULTADAS

La recopilación de información se realiza con la coordinación y apoyo de la Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE). Para el efecto se realizaron solicitudes formales de información a los diferentes ministerios nacionales. Los ministerios envían la información obtenida a la SNGRE quien posteriormente la organiza y distribuye a los Consultores del proyecto. Las entidades y ministerios consultados y que remitieron información son los siguientes:

- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
- Empresa Pública para el Agua (EPA)
- Servicio de Gestión Inmobiliaria (INMOBILIAR)
- Ministerio de Salud (MSP)
- Ministerio de Educación (MINEDUC)
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP)
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)
- Ministerio de Hidrocarburos (MH)
- Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR)
- Instituto Geofísico EPN
- Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
- Instituto Espacial Ecuatoriano
- Instituto Geográfico Militar
- Ministerio de Turismo

Se realizaron dos talleres en septiembre de 2017 y en marzo de 2018 con el fin de socializar los objetivos del proyecto y verificar la existencia y disponibilidad de información relevante para el proyecto. Adicionalmente con base en las respuestas iniciales remitidas por las diferentes entidades a las solicitudes de la SGR y a las conclusiones de los talleres realizados, se llevaron a cabo reuniones específicas con diferentes entidades y ministerios los días 26, 27 y 28 de marzo del 2018, en las cuales participaron además la Secretaría de Gestión del Riesgo, el Banco Interamericano de Desarrollo y el Consultor. Las reuniones realizadas, los contactos y las fechas de las reuniones se resumen en la Tabla 76.

Tabla 76. Reuniones con entidades en coordinación con la SGR.

INSTITUCIÓN	SUBDIRECCIÓN	FECHA
Servicio de Gestión Inmobiliaria del Sector Público	Subdirección Técnica Inmobiliaria	26 de marzo de 2018
Ministerio de Salud Pública	Analista de Reducción de Riesgos	26 de marzo de 2018
Ministerio de Educación	Directora de Gestión de Riesgos	27 de marzo de 2018
Ministerio de Transporte y Obras Públicas	Director de Gestión de Riesgos	27 de marzo de 2018
Ministerio de Electricidad y Energía Renovable	Analista Planificación Riesgos	27 de marzo de 2018
Ministerio de Hidrocarburos	Viceministro de Hidrocarburos	28 de marzo de 2018
Secretaría Nacional de Agua	Analista	28 de marzo de 2018

7.2 ESTUDIOS PREVIOS DE REFERENCIA

A continuación, se presentan de forma cronológica los estudios más importantes de los que se tiene registro en el Ecuador incluyendo estudios de amenaza sísmica, microzonificación sísmica y análisis de riesgo sísmico. La información contenida en los mismos ha servido de base para la realización del presente proyecto:

- **EVENTOS MÁXIMOS CONSIDERADOS (EMC) Y ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS PROBABLES PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE DÉFICIT POR DESASTRE (IDD) EN DOCE PAÍSES DE LAS AMÉRICAS (BID, 2004)**

Presenta un análisis de eventos máximos y pérdidas probables en Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Jamaica, México, Perú, República Dominicana, El Salvador y Trinidad y Tobago.

- **GEER-ATC EARTHQUAKE RECONNAISSANCE April 16th, 2016, Pedernales, Ecuador (GEER, 2016)**

Este trabajo presenta una recopilación de información relacionada con el sismo del 16 de abril de 2016 con epicentro en Pedernales, Ecuador. En este informe se identifica el tipo de evento, las aceleraciones registradas, observaciones geotécnicas y estructurales.

- **CAPACITY CURVES AND FRAGILITY CURVES, EXPOSURE MODEL AND VULNERABILITY FUNCTIONS OF RESIDENTIAL BUILDINGS FOR THE CITY OF QUITO. (D.M.Q.) (GEM & EPN, 2016)**

El estudio presenta una evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones en el área urbana de Quito a partir de modelación no lineal. Este informe hace parte del estudio de riesgo completo realizado por las mismas entidades.

- **MODELO DE EXPOSICIÓN Y COSTO DE REPOSICIÓN DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (D.M.Q.) (GEM & EPN, 2017)**

El estudio presenta una evaluación de la exposición en el área urbana de Quito a partir de indicadores. Este informe hace parte del estudio de riesgo completo realizado por las mismas entidades.

7.3 INFORMACIÓN RECOPIlada

En la Tabla 77 se presenta la información general a nivel país suministrada por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) que como se mencionó fue el punto focal para la solicitud, recepción y organización de la información.

Tabla 77. Información básica recopilada

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIlACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
Zonas urbanas y rurales	Delimitación de zonas urbanas y rurales	Shapes	27/10/2017	SGR
Mapa general de ríos	Ríos en el país	Shapes	27/10/2017	SGR

En la Tabla 78 a continuación, se presenta la información recopilada con respecto a la amenaza.

Tabla 78. Información recopilada amenaza

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
An Earthquake Catalog for Seismic Hazard Assessment in Ecuador	Catálogo de peligro sísmico en Ecuador	Informes	27/10/2017	SGR
Cathomog_to2009	Catálogo sísmico hasta 2009	Shapes	27/10/2017	SGR
IGEPN.en2010_dic2011	Catálogo sísmico 2010-2011	Shapes	27/10/2017	SGR
IGEPN.en2012_ag2016	Catálogo sísmico 2012-2016	Shapes	27/10/2017	SGR
Mapa_2017_tm	Mapa geológico del ecuador	Planos	27/10/2017	SGR
Zona sísmica Ecuador	Archivo de zonas sísmicas del ecuador	Shapes	27/10/2017	SGR
Intensidad sísmica	Archivo en shape con la intensidad sísmica de las zonas en el ecuador	Shapes	27/10/2017	SGR
Manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil	Procedimiento práctico para generar o crear espectros de diseño de aceleraciones y desplazamientos que servirán para el diseño de nuevas estructuras de edificación en la ciudad de Guayaquil	Informes	27/10/2017	SGR
Catálogos sísmicos	Catálogos sísmicos del instituto geofísico hasta el 2017	Shapes	30/10/2017	IGEPN
Reporte de las réplicas del 18 de mayo de 2016. Aceleraciones	Datos de acelerógrafos y reporte de réplicas del 18-05-2016	Informes	1/11/2017	IGEPN
Data20160416	Datos de acelerómetros sismo 16-04-2016	Txt	2/11/2017	IGEPN

En la Tabla 79 se presenta la información recopilada con respecto a los efectos de sitio.

Tabla 79. Información recopilada efectos de sitio

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
Microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil según la norma ecuatoriana de la construcción 2011	Estudio geotécnico para microzonificación en Guayaquil	Informes	27/10/2017	SGR
Manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil	Procedimiento práctico para generar o crear espectros de diseño de aceleraciones y desplazamientos que servirán para el diseño de nuevas estructuras de edificación en la ciudad de Guayaquil	Informes	27/10/2017	SGR
Estudios de microzonificación sísmica en Quito	Evaluación de la información de microzonificación disponible	Informes	6/11/2017	IGEPN
Microzonificación sísmica de Quito	Estudio de Microzonificación Sísmica de Quito	Informes	6/11/2017	ESPE
Microzonificación sísmica de Quito	Actualización del Estudio de Microzonificación Sísmica de Quito	Informes	7/11/2017	ESPE
Microzonificación sísmica de Esmeraldas	Estudio de Microzonificación Sísmica de Esmeraldas	Informes	17/04/2018	MIDUVI
Microzonificación de Portoviejo	Productos del 1 al 6 con sus respectivos anexos con el estudio de Microzonificación Sísmica de Portoviejo	Informes y anexos	02/05/2018	GAD Portoviejo

En la Tabla 80 se presenta la información recopilada con respecto a la exposición de edificaciones.

Tabla 80. Información recopilada exposición edificaciones

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
Geodatabase INEC	Información censal y cartografía estadística de los censos del INEC	Shapes	3/11/2017	INEC
Archivo comprimido Quito	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	13/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Quito	Memoria técnica de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Informes	13/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Pedernales	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	14/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Pedernales	Memoria técnica de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Informes	14/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Portoviejo	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	15/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Portoviejo	Memoria técnica de infraestructura, sistemas	Informes	15/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
	productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico			ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Guayaquil	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	16/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Guayaquil	Memoria técnica de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Informes	16/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Ibarra	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	20/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Ibarra	Memoria técnica de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Informes	20/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Tulcán	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	20/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Tulcán	Memoria técnica de infraestructura, sistemas	Informes	20/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
	productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico			ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Manta	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	21/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Manta	Memoria técnica de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Informes	21/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido centros de salud	Shape de los centros de salud hasta el año 2014	Shapes	22/11/2017	MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA
Archivo comprimido centros educativos	Shape de los centros educativos hasta el año 2014	Shapes	23/11/2017	MINISTERIO DE EDUCACIÓN
Catastro turístico	Shape con principales sitios turísticos	Shapes	30/11/2017	MINISTERIO DE TURISMO
Archivo comprimido Sucua	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Sucua	Memoria técnica de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Informes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
Archivo comprimido Sigsig	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Sigsig	Memoria técnica de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Informes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Arenillas	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Arenillas	Memoria técnica de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Informes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Chone	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Chone	Memoria técnica de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Informes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
Archivo comprimido Loja	Shapes de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Shapes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Archivo comprimido Loja	Memoria técnica de infraestructura, sistemas productivos, capacidad del uso de la tierra, geomorfología y nivel socioeconómico	Informes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Catastro Ambato	Shape con información catastral del Cantón de Ambato	Shape	16/04/2018	GAD Ambato
Infraestructura Escolar	Matrices de infraestructura escolar, infraestructura patrimonial, estándares Escuelas del Milenio, costos por tipología arquitectónica y costos kits post desastre.	Informes, matrices y planos	17/04/2018	MINEDUC
Infraestructura INMOBILIAR	Tablas de información de la infraestructura manejada por INMOBILIAR	Informe	18/04/2018	INMOBILIAR
Mapas de edificaciones afectadas	Edificaciones afectadas por manzana en Portoviejo después del sismo de 16 de abril de 2016	Shape	05/04/2018	Hugo Yépez
Información general enviada de Infraestructura de Salud	Metodología de evaluación del ISH, evaluación del ISH de edificaciones de salud, compilado nacional de camas, Fichas centros de salud, planes de intervención, Planos	Informes y planos	07/05/2018	MSP

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
	estructurales hospitales representativos.			

En la Tabla 81 se presenta la información obtenida para la infraestructura urbana. Se ha obtenido información georreferenciada de los cantones indicados en la Tabla 80.

Tabla 81. Información recopilada exposición infraestructura urbana

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
Cartografía	Archivos shape con aeropuertos, ferrocarril, islas, lagos, lagunas, límites costaneros y continentales, poblados, represas, ríos y vías del país	Shapes	27/10/2017	INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR
Infraestructura Quito	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	13/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Infraestructura Pedernales	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	14/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Infraestructura Portoviejo	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	15/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Infraestructura Guayaquil	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	16/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Infraestructura Ibarra	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	20/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Infraestructura Tulcán	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	20/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Infraestructura Manta	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	21/11/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Infraestructura Sucua	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Infraestructura Sigsig	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
Infraestructura Arenillas	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Infraestructura Chone	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO
Infraestructura Loja	Información georreferenciada y estadísticas de infraestructura	Informes y Shapes	4/12/2017	IDEPORTAL, INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO

En la Tabla 82 se muestra la información recopilada con respecto a infraestructura nacional. Toda esta información es de acceso público.

Tabla 82. Información recopilada exposición infraestructura nacional

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
CARTOGRAFÍA	Archivos shape con aeropuertos, ferrocarril, islas, lagos, lagunas, límites costaneros y continentales, poblados, represas, ríos y vías del país	Shapes	27/10/2017	INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR
RED VIAL ESTATAL	Shape con la Red Vial estatal	Shapes	26/11/2017	MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
64_CENTRALES ELECTRICAS_2014	Shape con centrales eléctricas	Shapes	27/11/2017	CELEC
68_LINEA_TRANSMISIÓN	Shape del sistema nacional de transmisión	Shapes	28/11/2017	CELEC
67_LINEA_SUBTRANSMISION	Shape del sistema que se divide en dos subestaciones	Shapes	29/11/2017	CELEC
Infraestructura Hidrocarburos	Información general de estaciones de servicio, gasoductos, poliductos,	Shapes, GDB y hojas de cálculo	15/04/2018	Ministerio de Hidrocarburos

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
	refinerías, estaciones de servicio y terminales.			
Infraestructura de transporte	Información infraestructura vial primaria y secundaria y puentes	Hojas de cálculo	19/04/2018	MTOP
Infraestructura eléctrica	Base de datos de estaciones eléctricas, listado de activos fijos de CELEC con valoración, líneas de transmisión, información general de subestaciones, planos de subestaciones eléctricas	Informes, hojas de cálculo y plano	24/04/2018	MEER
Infraestructura de almacenamiento de agua	Información relacionada a 14 sistemas pertenecientes a EPA, valoración económica de una obra tipo, planos de proyectos	Informes y planos	03/05/2018	EPA

En la Tabla 83 se presenta la información recopilada con respecto a la vulnerabilidad de las edificaciones e infraestructuras.

Tabla 83. Información recopilada vulnerabilidad

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
Edificaciones_evaluadas_1807_2016	Registro de edificaciones evaluadas en julio 2016	Shapes	27/10/2017	SGR
Base _eventos_anual_2010-_13102017	Registro de eventos peligrosos desde el año 2010 hasta el 2017	Informes	27/10/2017	SGR
Base histórica	Registro de sismos y personas fallecidas	Informes	27/10/2017	SGR

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
	desde 1942 hasta 2015			
Carpeta informe dentro de la carpeta llamada "8 vulnerabilidad"	Recopilación de informas realizados por la dirección de monitoreo de eventos adversos	Informes	27/10/2017	SGR
Reconstruyendo las cifras luego del sismo memorias	Reporte de personas afectadas, asistencia humanitaria e infraestructura	Informes	9/11/2017	INEC
Evaluación de los costos de reconstrucción	Evaluación de los costos de reconstrucción	Informes	9/11/2017	SENPLADES
Experiencia MIDUVI terremoto	Informe sobre el proceso de respuesta y reconstrucción ante el sismo del 16 de abril del 2016	Informes	16/01/2018	MIDUVI
Guía 5.5 inspección post-sismo	Metodología para la evaluación rápida de edificaciones luego de ser afectadas por un terremoto	Informes	16/01/2018	MIDUVI
Informe final evaluaciones	Informe sobre la inspección y evaluación rápida de estructuras post evento sísmico 2016	Informes	16/01/2018	MIDUVI
Corte_2017_01_04_8am_resumen	Formulario de evaluación rápida de estructuras sismo 2016 donde se clasifican las edificaciones y también se describe su material de construcción en un archivo Excel base para el informe final	Informes	16/01/2018	MIDUVI
Informes para riesgos	Archivo comprimido con informes de evaluación de daños y de avances en las rehabilitaciones tanto de hospitales como centros de salud	Informes	16/01/2018	MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA
Informes de evaluaciones inmediatas	Archivo comprimido con informes de	Informes	16/01/2018	MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	TIPO DE INFORMACIÓN	FECHA DE RECOPIACIÓN	FUENTE DE LA INFORMACIÓN
	evaluaciones posteriores al sismo del 16 de abril de 2016 tanto de centros de salud como de hospitales			
Informe terremoto abril 2016	Informe con acciones de respuesta, rehabilitación y reconstrucción ante los efectos sobre hospitales y centros de salud producidos por el terremoto del 16 de abril de 2016	Informes	16/01/2018	MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA
Unidades de salud afectadas	Acciones a realizarse ante la afectación de varias unidades de salud por el sismo del 16 de abril del 2016	Informes	16/01/2018	MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA