



# Secretaría de **SEGURIDAD**

## PROYECTO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (TREQ)

DIRECCIÓN METROPOLITANA DE GESTIÓN DE RIESGOS

Julio de 2022



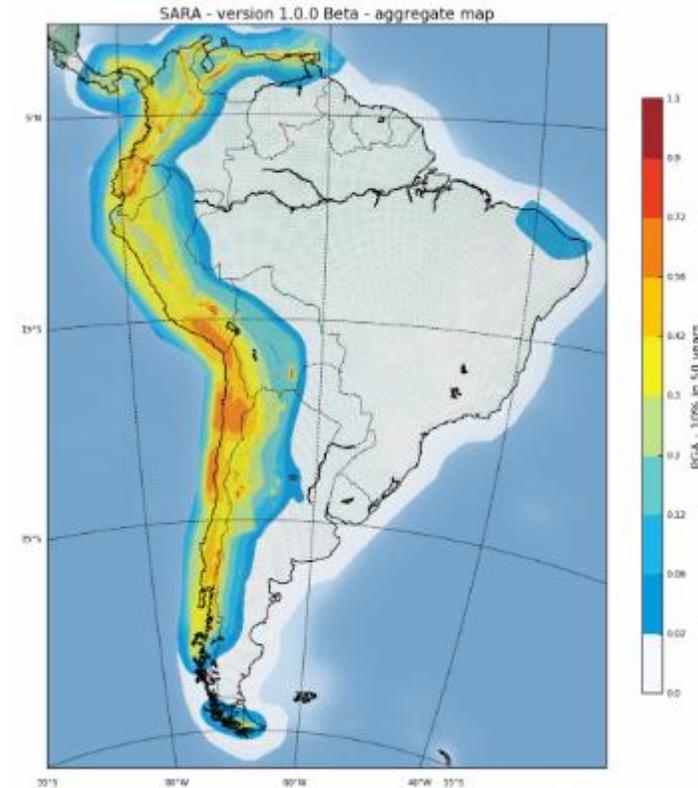
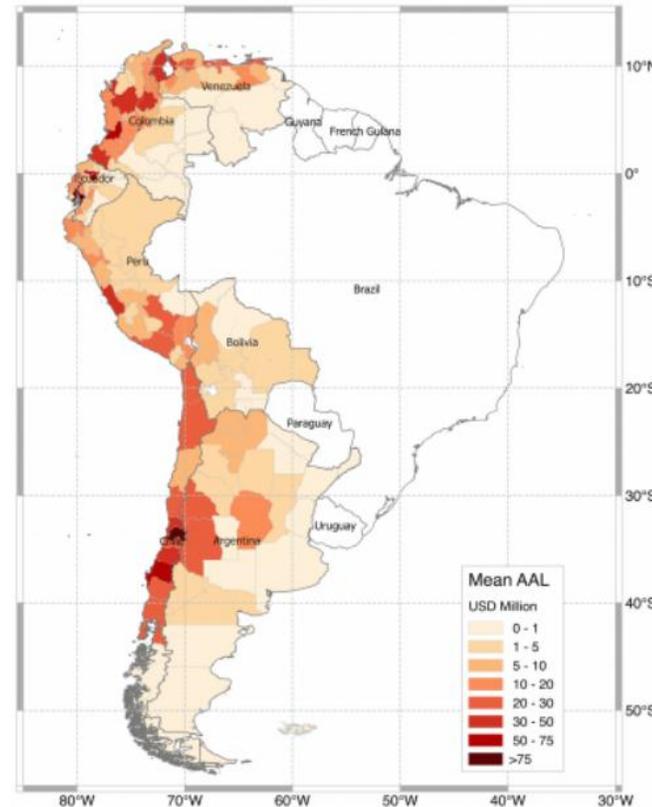
## Evaluación del riesgo sísmico en el DMQ: Antecedentes, Proyecto SARA

Fundación italiana GEM (Global Earthquake Model) lideró el proyecto SARA (South American Risk Assessment) entre 2013 y 2016.

SARA evaluó el peligro y el riesgo sísmico en 7 países de la región con la participación de más de 50 expertos locales; además desarrolló avances en 6 ciudades (incluido el DMQ) para evaluar el riesgo sísmico urbano con mejor detalle que a nivel nacional.

En 2015, GEM contactó a la SGSG (DMGR) y a la Escuela Politécnica Nacional (EPN) para desarrollar un primer modelo de exposición de edificaciones, una evaluación de la vulnerabilidad socio-económica y resiliencia de la población en el DMQ.

Los resultados preliminares del modelo de exposición de edificaciones fueron utilizados en el desarrollo de la ordenanza metropolitana para la regularización de viviendas informales en el DMQ.



Fuente: <https://sara.openquake.org/>



En 2019 se retomó el contacto entre GEM y SGSG (DMGR) para continuar la cooperación técnica y científica con el fin de aplicar las recomendaciones del proyecto SARA enfocado al riesgo urbano.

En marzo de 2020 arrancó el Proyecto TREQ (**Training and Communication for Earthquake Risk Assessment**) con la participación de 3 ciudades: Quito, Cali y Santiago de los Caballeros; con financiamiento de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID).

La inauguración de TREQ contó con visitantes de las 3 ciudades, así como invitados de instituciones académicas, del sector público y del sector privado de Quito. El evento fue organizado entre GEM, DMGR, y DMRI.



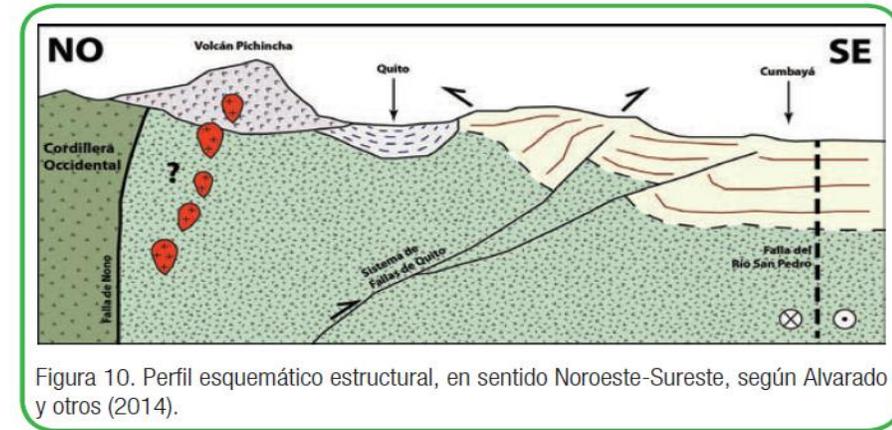
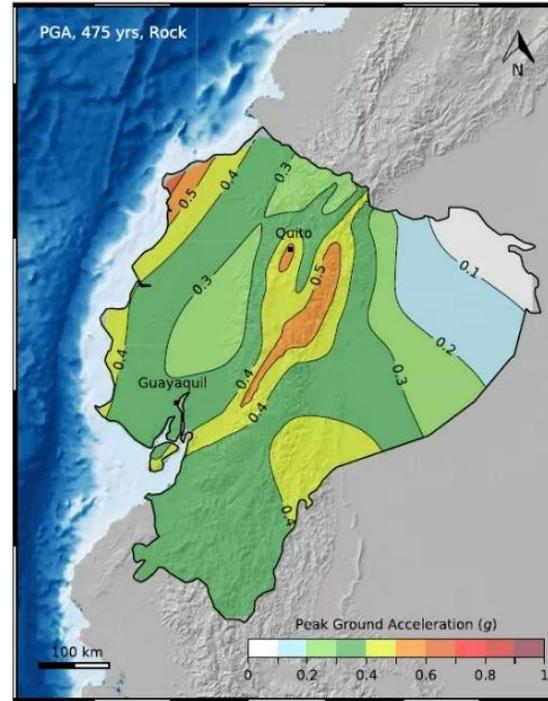
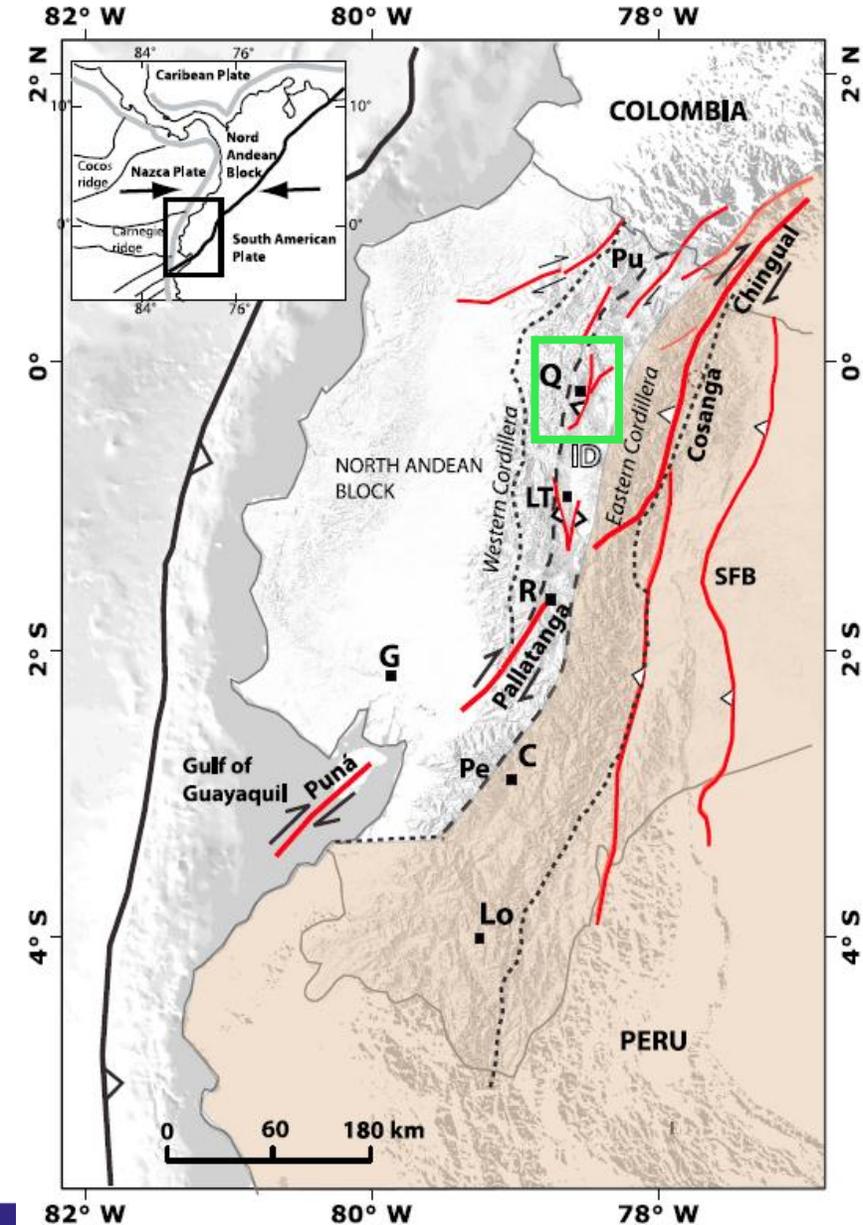


## PROYECTO TREQ

- Descripción de modelos y resultados
  - Amenaza sísmica
  - Caracterización de la respuesta del suelo
  - Modelo de exposición
  - **Vulnerabilidad**
  - Resultados de riesgo sísmico: escenarios y análisis probabilístico
- Discusión de resultados



# Evaluación del riesgo sísmico en el DMQ: Proyecto TREQ, Amenaza sísmica

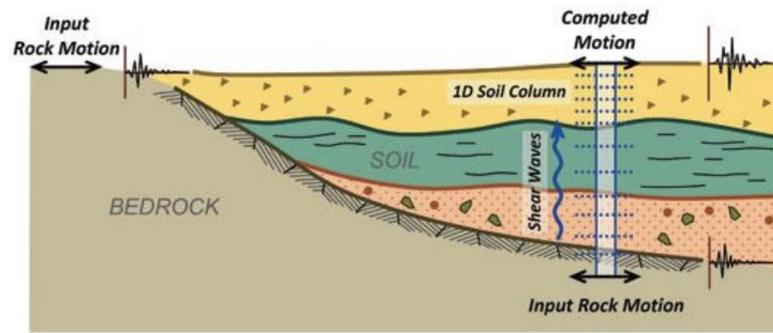


Sismos sentidos en DMQ están asociados a la zona de subducción y fallas geológicas; Fuente sísmica de mayor peligro es el sistema de fallas inversas debajo de la ciudad, con magnitudes máximas esperadas entre 6.0 y 6.5 (Mw); Aceleraciones máximas (PGA) esperadas para Tr de 475 años (en roca): 0,4 - 0,6 g; Subsuelo está formado por suelos de origen volcánico, depósitos aluviales y coluviales, y suelos blandos en el sur de la ciudad

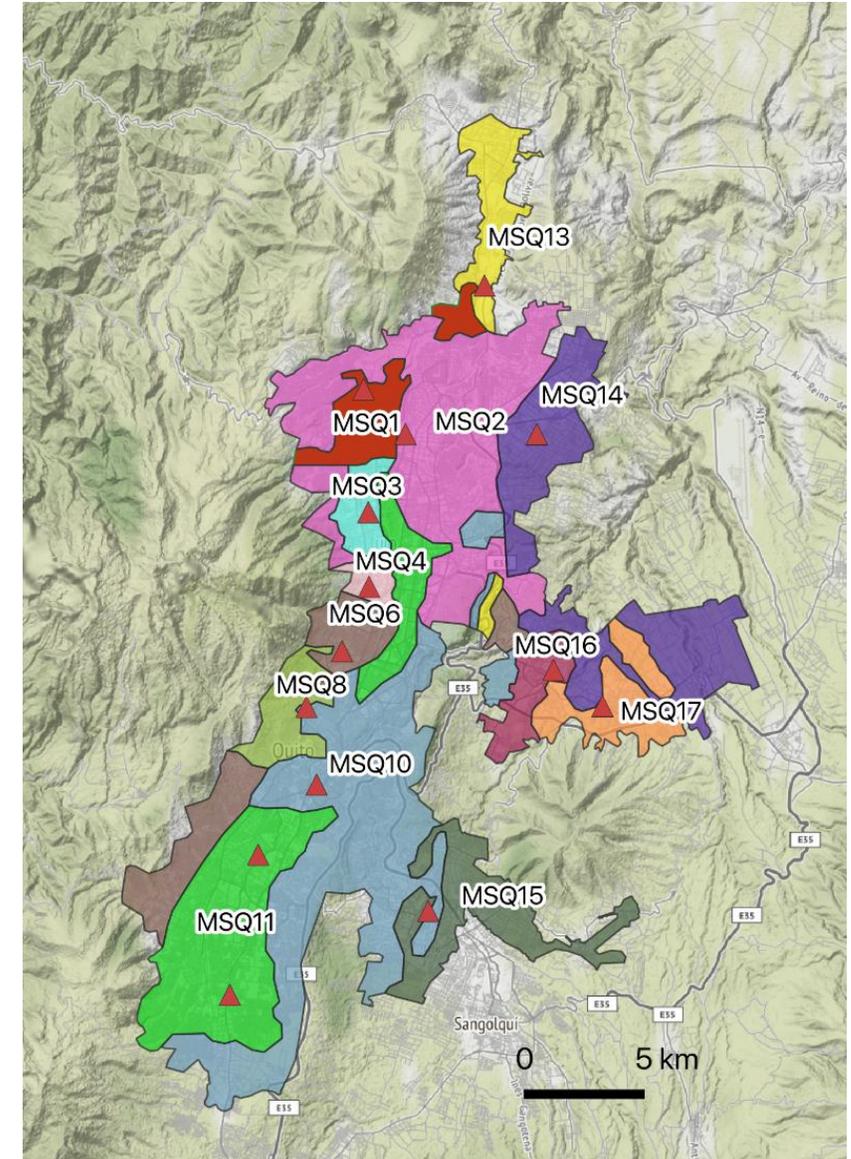


## Microzonificación ERN (2012)

- Se calcularon las funciones de amplificación del suelo (AF) en 13 zonas, utilizando diferentes períodos e intensidades de aceleración del terreno.
- El análisis incorpora:
  - ✓ Datos geotécnicos de 14 estaciones
  - ✓ Modelos de amplificación para sismos leves y fuertes
  - ✓ Incertidumbre por medio de múltiples simulaciones

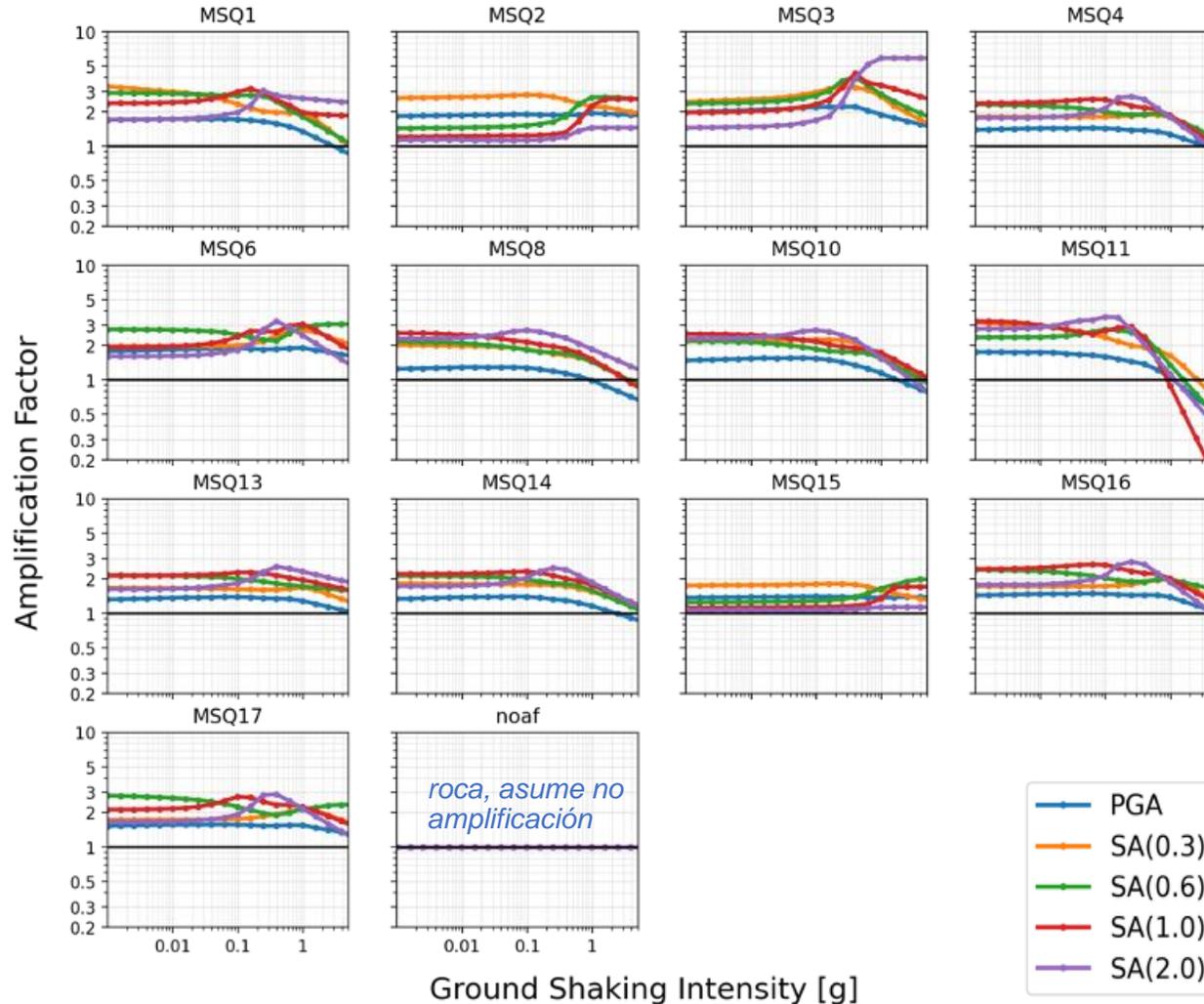


$$AF = Sa_{superficie} / Sa_{roca}$$





## FUNCIONES DE AMPLIFICACIÓN (AF)



**Amplificación en toda la ciudad, a excepción de MSQ11**  
amplificación ( $AF > 1$ ) para todos los períodos e intensidades.

$AF_{MAX} = 5$  en MSQ3 a 2.0 seg.

### Zonas MSQ2, MSQ10, MSQ11

- Amplificación significativa en todos los períodos
- Deamplificación ( $AF < 1$ ) solo en intensidades altas y períodos cortos (PGA)



## Definición de tipologías constructivas



Reporte sobre Tipologías constructivas en las ciudades del Proyecto TREQ  
San Francisco de Quito, Santiago de Cali y Santiago de los Caballeros





Más de 100 tipologías existentes en la ciudad:

- Concreto reforzado
- Concreto con mampostería
- Mampostería confinada
- Mampostería (semi-confinada)
- Mampostería reforzada
- Mampostería no reforzada
- Adobe
- Bahareque
- Madera
- Acero
- Prefabricado
- Materiales livianos

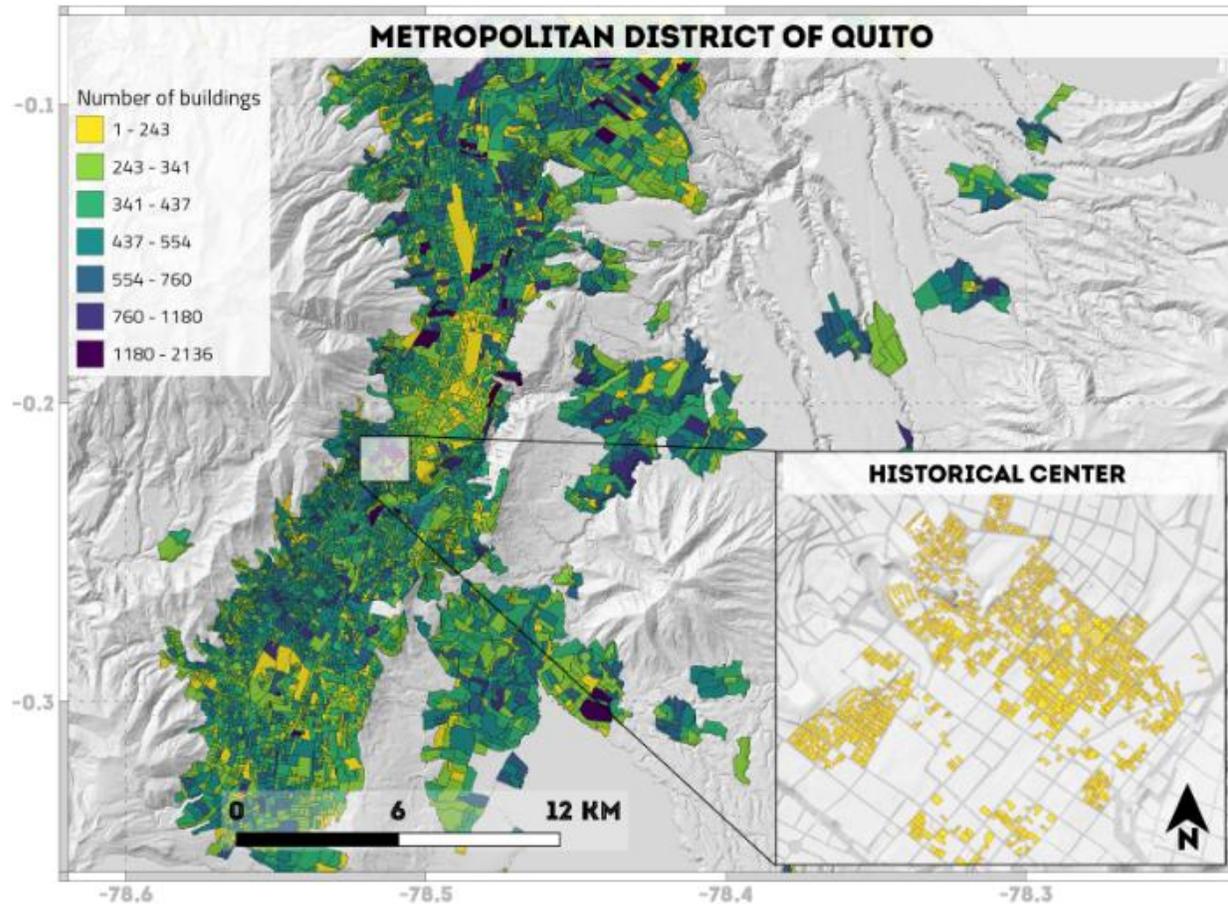


## De polígonos y variables al modelo de exposición





## Información del modelo de exposición



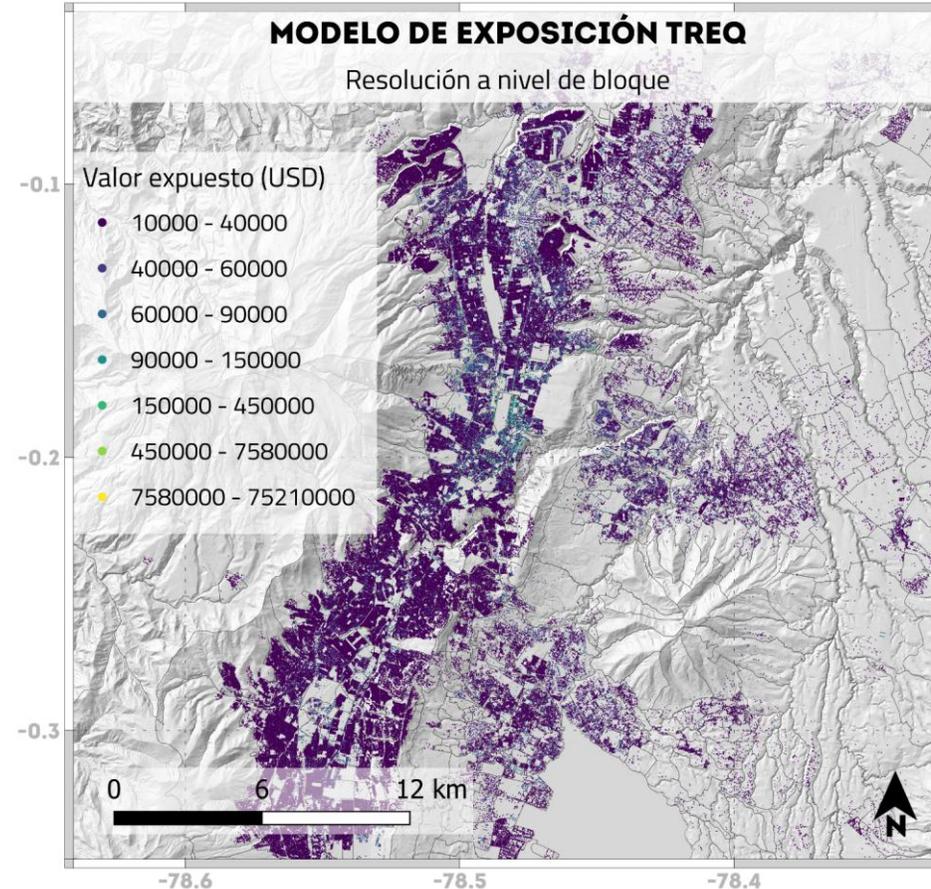
- Material constructivo
- Sistema resistente a las cargas laterales (sismos)
- Número de pisos
- Ductilidad esperada de la edificación
- Uso de la edificación (ocupación)
- Valor del costo de reemplazo



## Nuevo modelo de exposición a nivel urbano

### TREQ

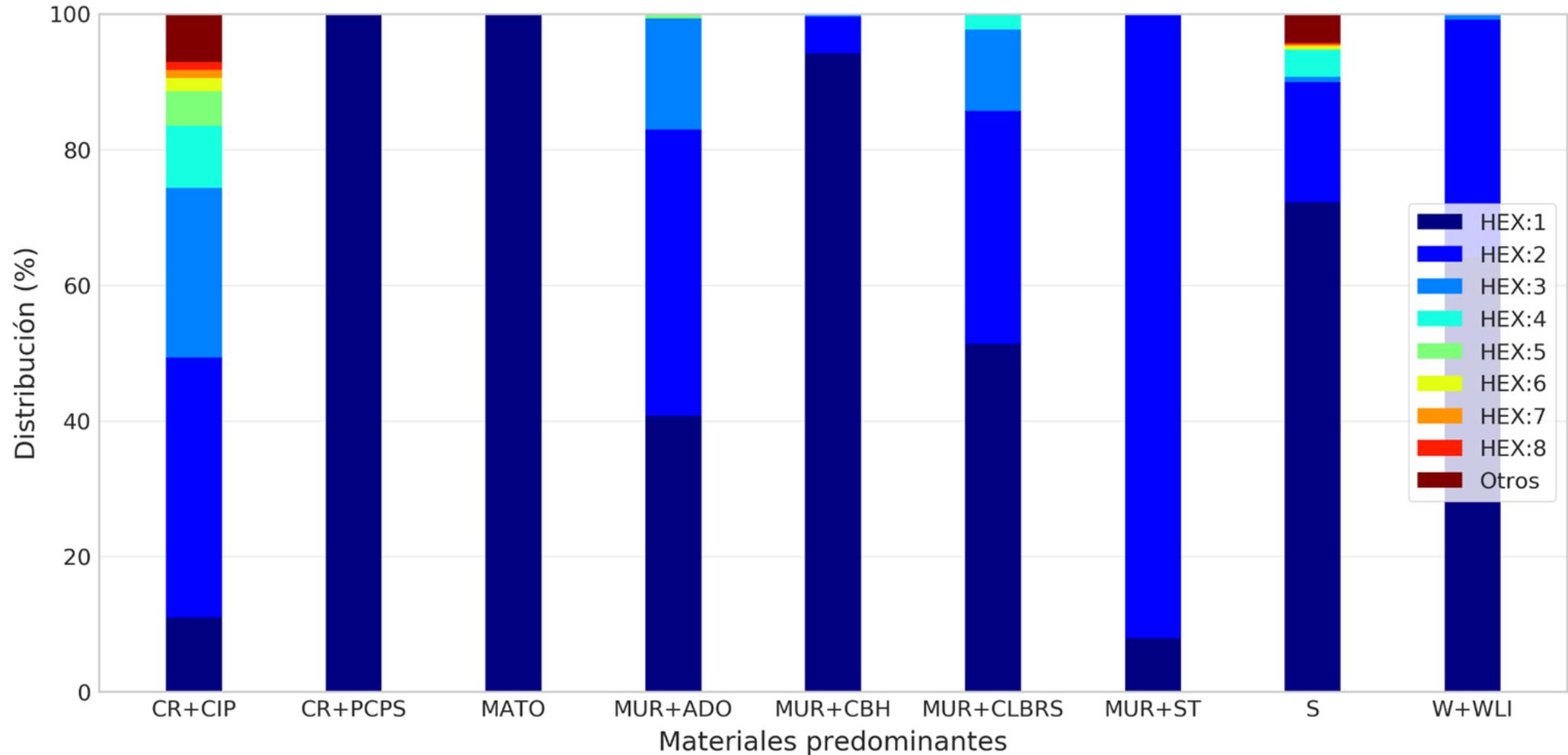
- Resolución: +280.000 puntos
- Uso de Suelo: RES, COM, IND, EDU, INS, HLC
- Occupants: +2.1M (censo 2010)
- Valor expuesto: 55 (bill. USD)
- Tipologías: 373 tipos
- Atributos: **Material + LLRS + Alturas+ Cubierta+ Ductilidad esperada**



- Base catastral 2020
- Censo 2010 proyectado a 2020
- PUOS 2016
- Variación del límite urbano de 1760 a 2015
- Base de datos del Centro Histórico (PUCE, 2018)



## Modelo de exposición → Tipología constructiva





## Estimación de daños, población afectada y pérdidas económicas

### Riesgo Determinista - Escenarios sísmicos

Selección de escenarios sísmicos:

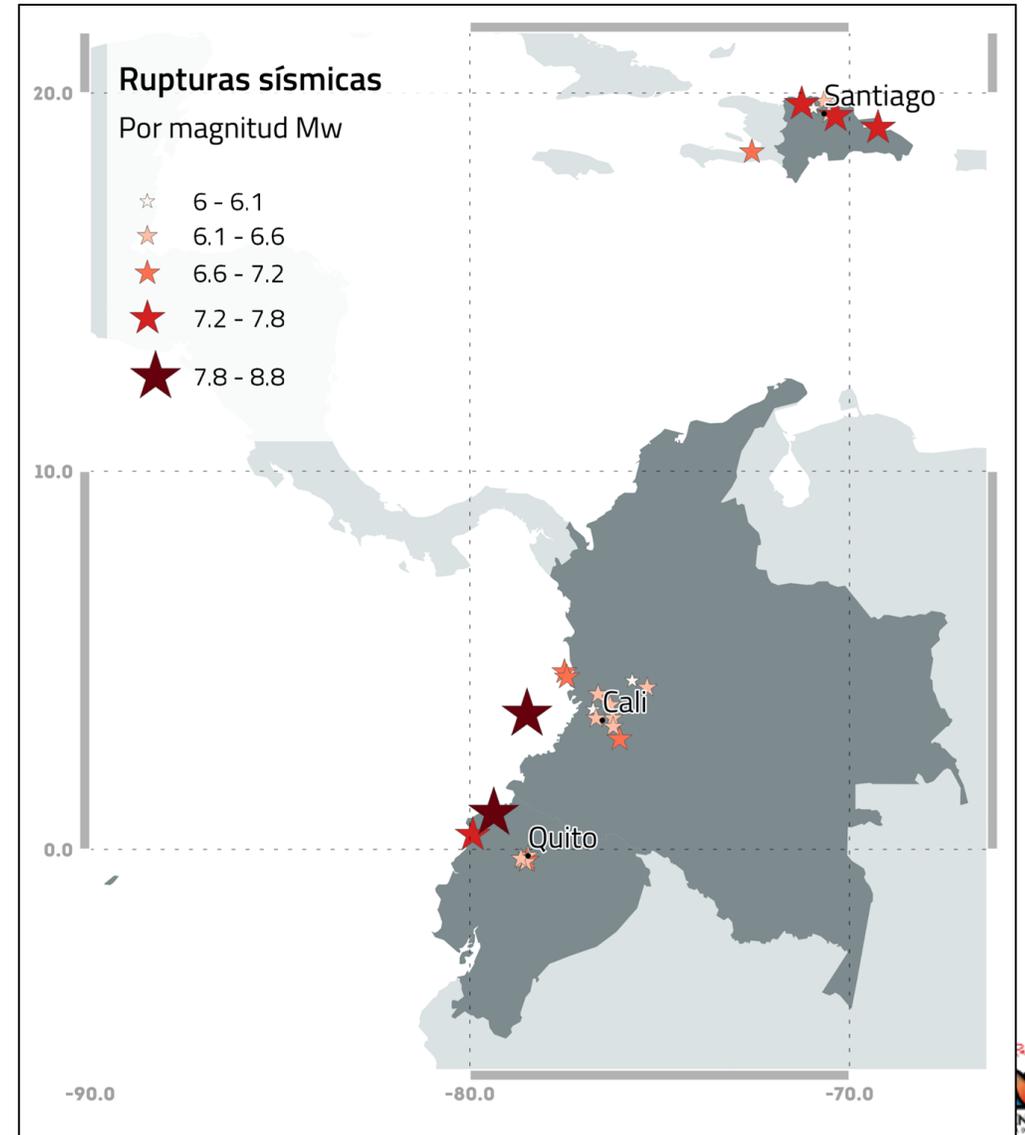
#### Escenarios históricos:

- Terremoto de 1906 (Mw 8.8 Nazca)
- Terremoto de 2016 (Mw 7.8 Manabí)

#### Escenarios según sismicidad esperada:

- Evento Mw 7.0 en el centro de la ciudad
- Evento Mw 6.5 en el centro de la ciudad
- Evento Mw 6.5 en el norte de la ciudad
- Evento Mw 6.5 al sur de la ciudad
- Evento Mw 6.5 al oeste de la ciudad

Todos con 8km de profundidad





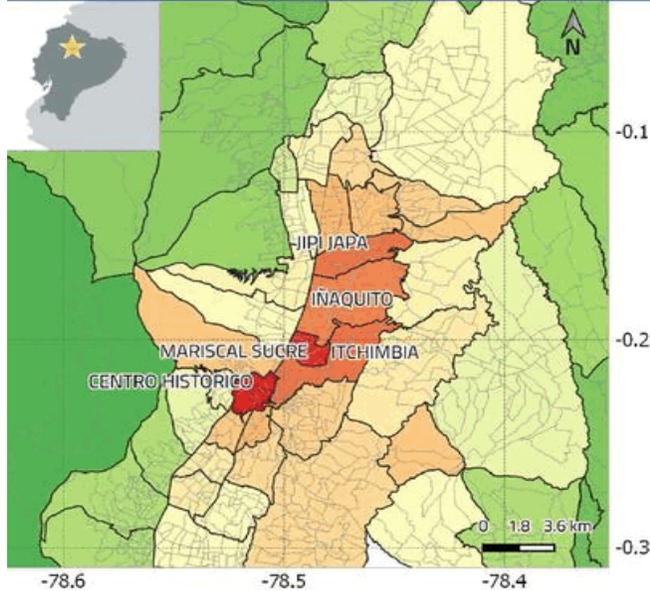
# Evaluación del riesgo sísmico en el DMQ: Proyecto TREQ, Riesgo Sísmico

Estimación de daños, población afectada y pérdidas económicas

**DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**  
 ESCENARIO SISMICO HIPOTETICO  
 MAGNITUD 7.0 – 8KM PROFUNDIDAD  
 ORIGEN: CENTRO DE LA CIUDAD

POBLACION Y EDIFICIOS EXPUESTOS

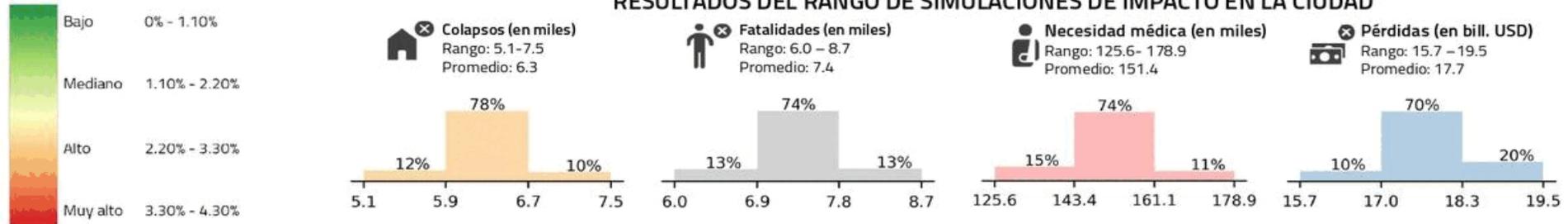
Población 3.1 millones	Edificios Residenciales 270 mil	Edificios Comerciales 12 mil	Edificios Educativos 1.8 mil	Edificios Industriales 1.7 mil	Edificios de Salud 104	Edificios de Gobierno 65	Capital expuesto \$55 bill. USD
---------------------------	------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	---------------------------	-----------------------------	------------------------------------



Mapa de parroquias más vulnerables: Índice de colapsos por parroquia

Parroquias	Índice de colapsos	Fatalidades	Personas heridas de gravedad	Pérdidas económicas (mill. USD)
CENTRO HISTORICO	4.34%	226	5252	4778
MARISCAL SUCRE	4.12%	88	1766	6285
JIPI JAPA	3.67%	217	4032	5288
ITCHIMBIA	3.63%	182	3745	4317
IÑAQUITO	3.53%	273	5196	15670
CHIMBACALLE	3.13%	204	4099	3390
KENNEDY	3.06%	379	7288	7587
SAN ISIDRO	3.00%	201	4048	4257
ZAMBIZA	2.91%	11	265	251
LA MAGDALENA	2.89%	127	2568	3391
SAN JUAN	2.88%	189	4229	5475
GUANGOPOLO	2.87%	8	163	16
PUENGASI	2.79%	281	5517	4946
LLANO CHICO	2.78%	30	720	789
AMAGUAÑA	2.72%	79	2046	2854

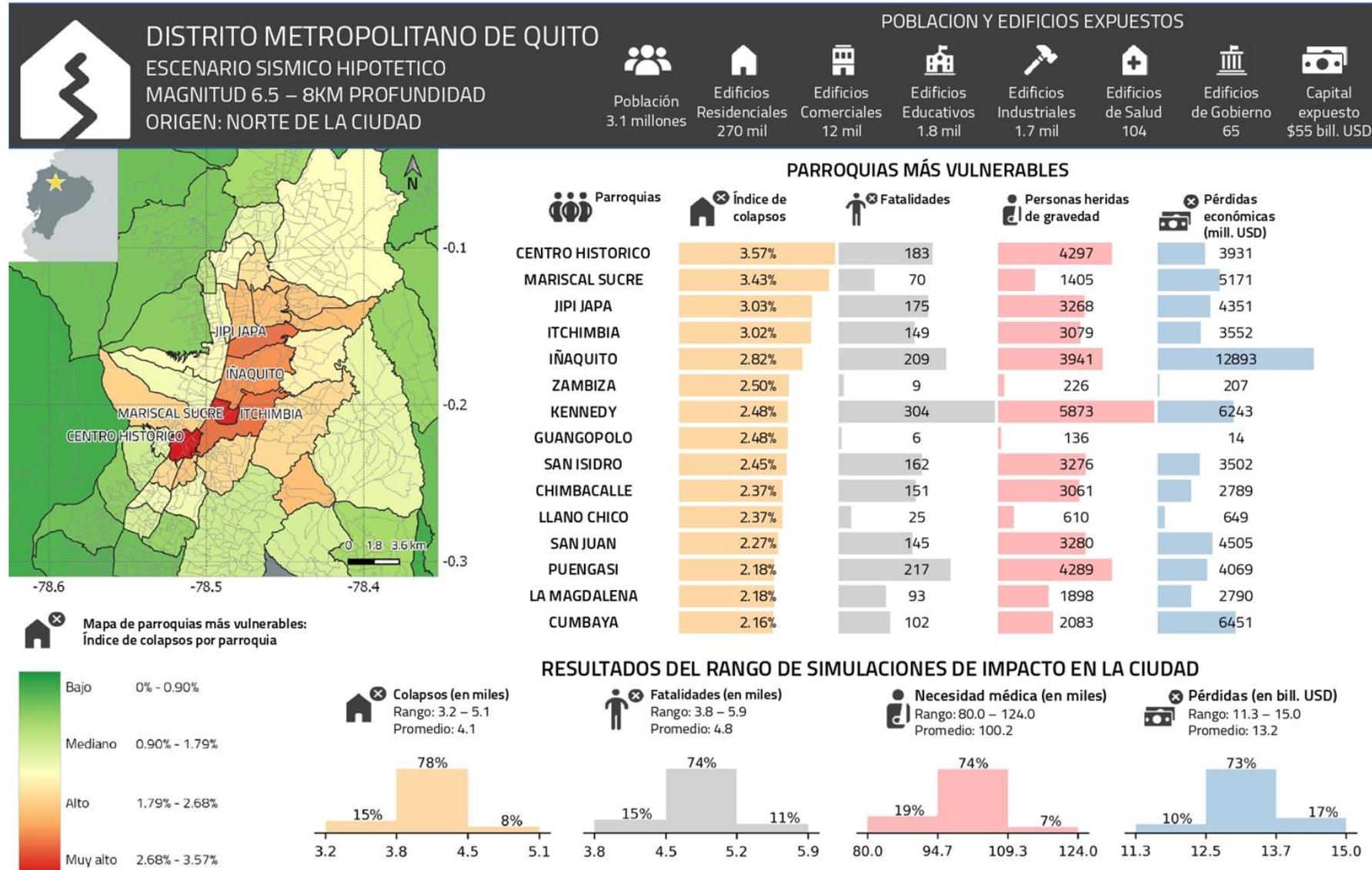
## RESULTADOS DEL RANGO DE SIMULACIONES DE IMPACTO EN LA CIUDAD





# Evaluación del riesgo sísmico en el DMQ: Proyecto TREQ, Riesgo Sísmico

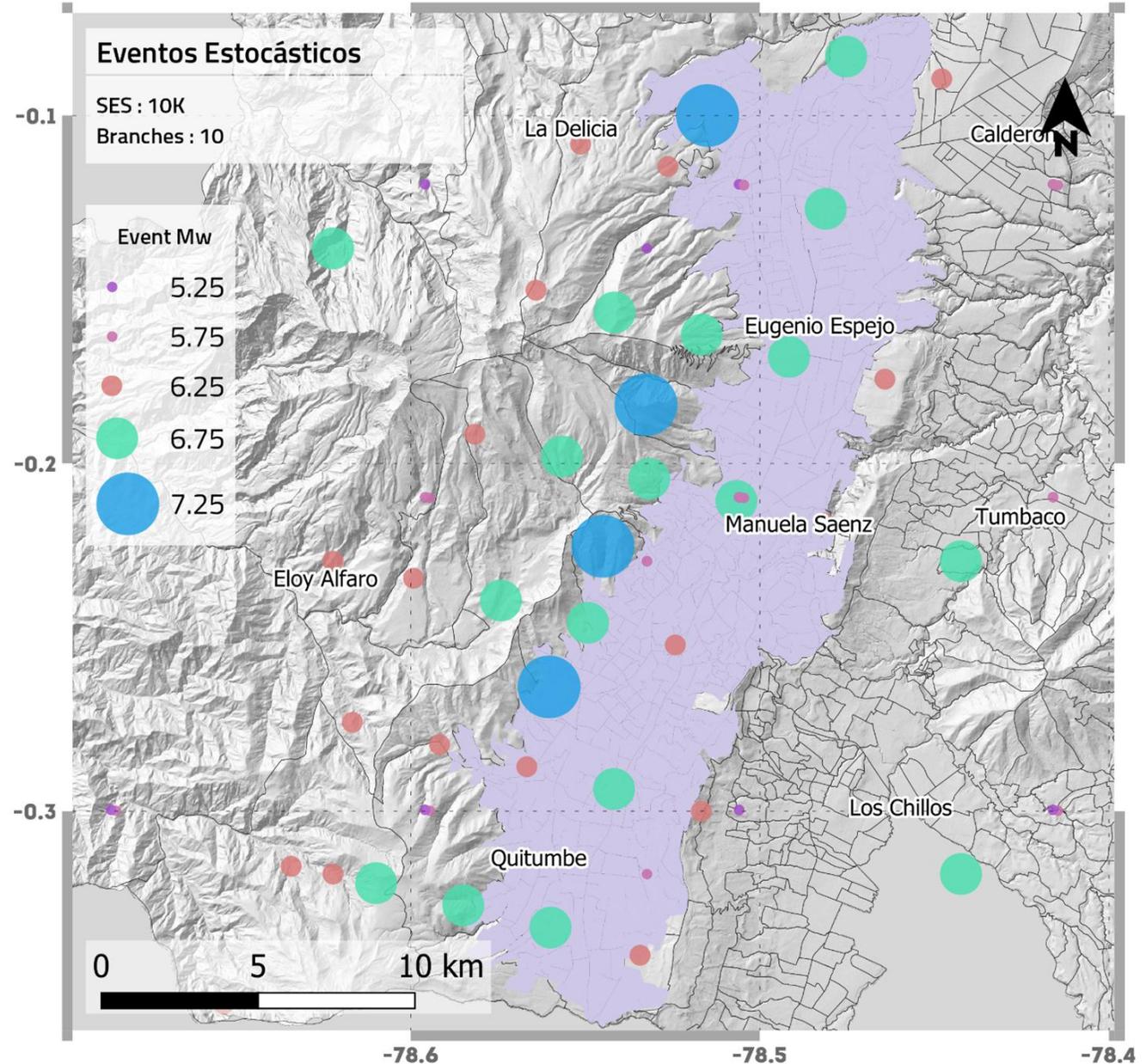
## Estimación de daños, población afectada y pérdidas económicas





## Riesgo Probabilista – Eventos estocásticos

- Simulaciones asumiendo 10.000 años de sismicidad, ~50.000 eventos sísmicos con potencial destructivo
- Se determinó el impacto de cada evento en la ciudad
- Se analizó el riesgo con tres enfoques:
  1. Riesgo por período de retorno
  2. Riesgo anualizado
  3. Comunidades en alto riesgo

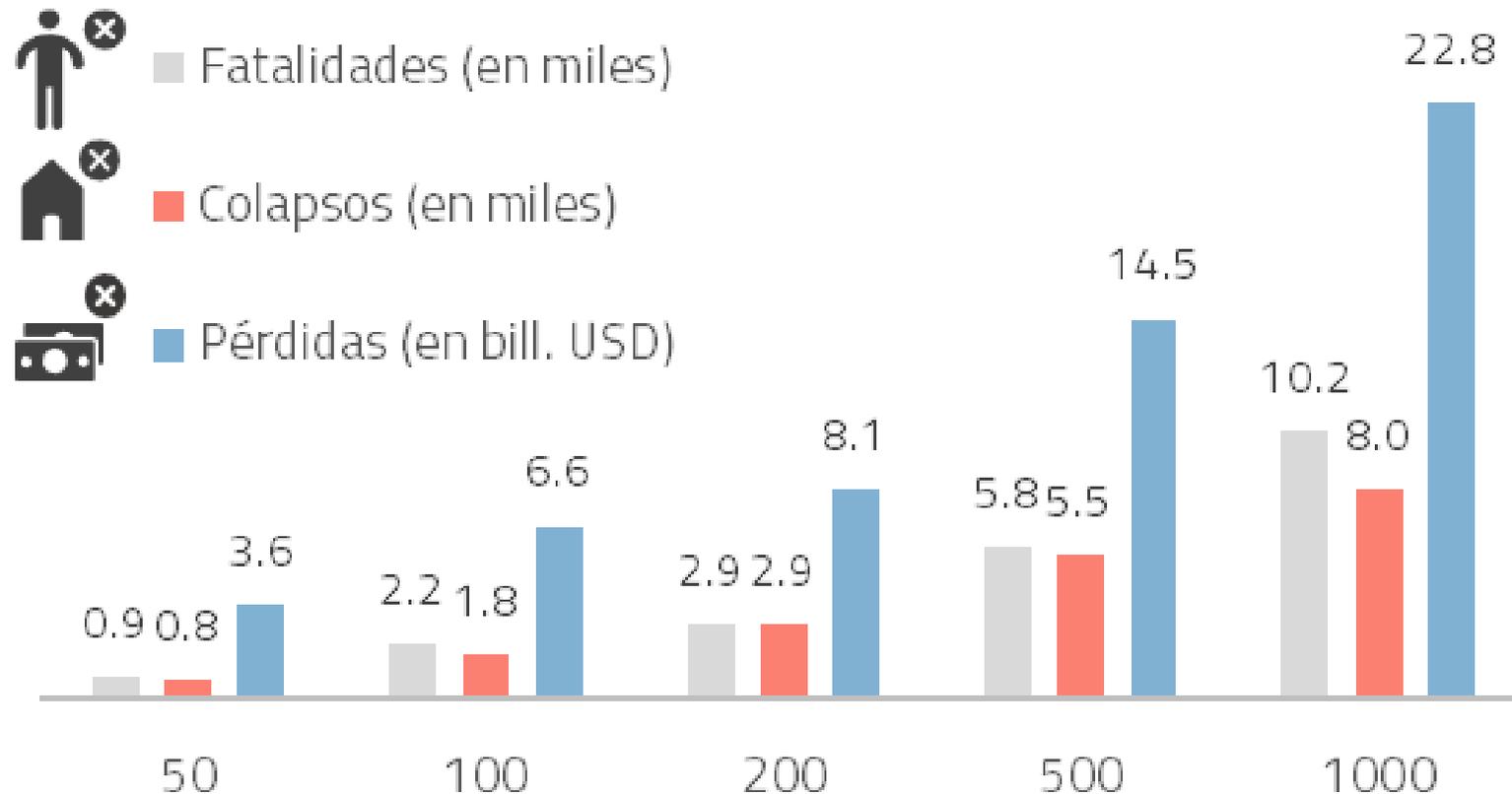




## Riesgo Probabilista – Eventos estocásticos

- El riesgo por período de retorno:** Basándonos en el número de veces con que se exceden ciertos niveles de daño y pérdida, podemos estimar qué tan frecuentes son dentro del periodo de investigación. Presentamos esa frecuencia como un periodo de retorno (cada cuántos años se observan los niveles pérdida en el tiempo de investigación de la sismicidad).

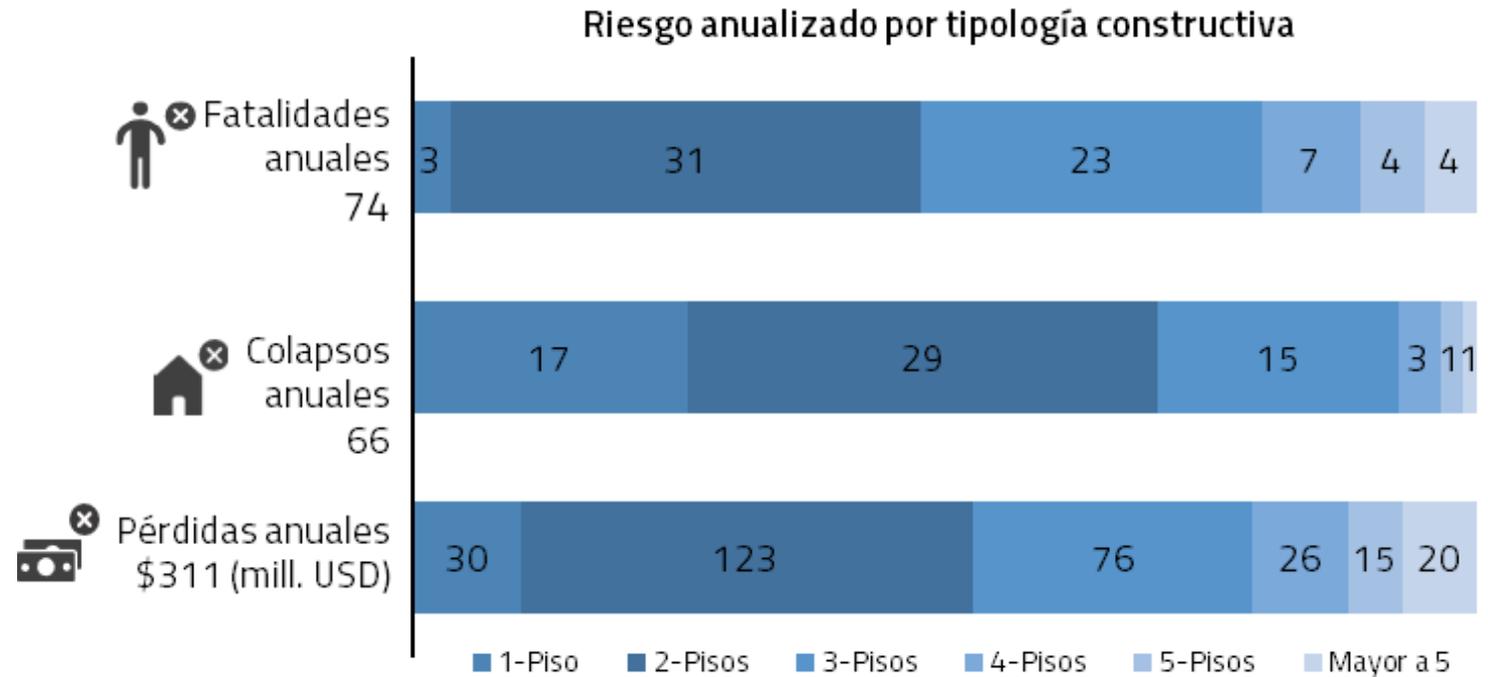
### Riesgo por periodo de retorno en años





## Riesgo Probabilista – Eventos estocásticos

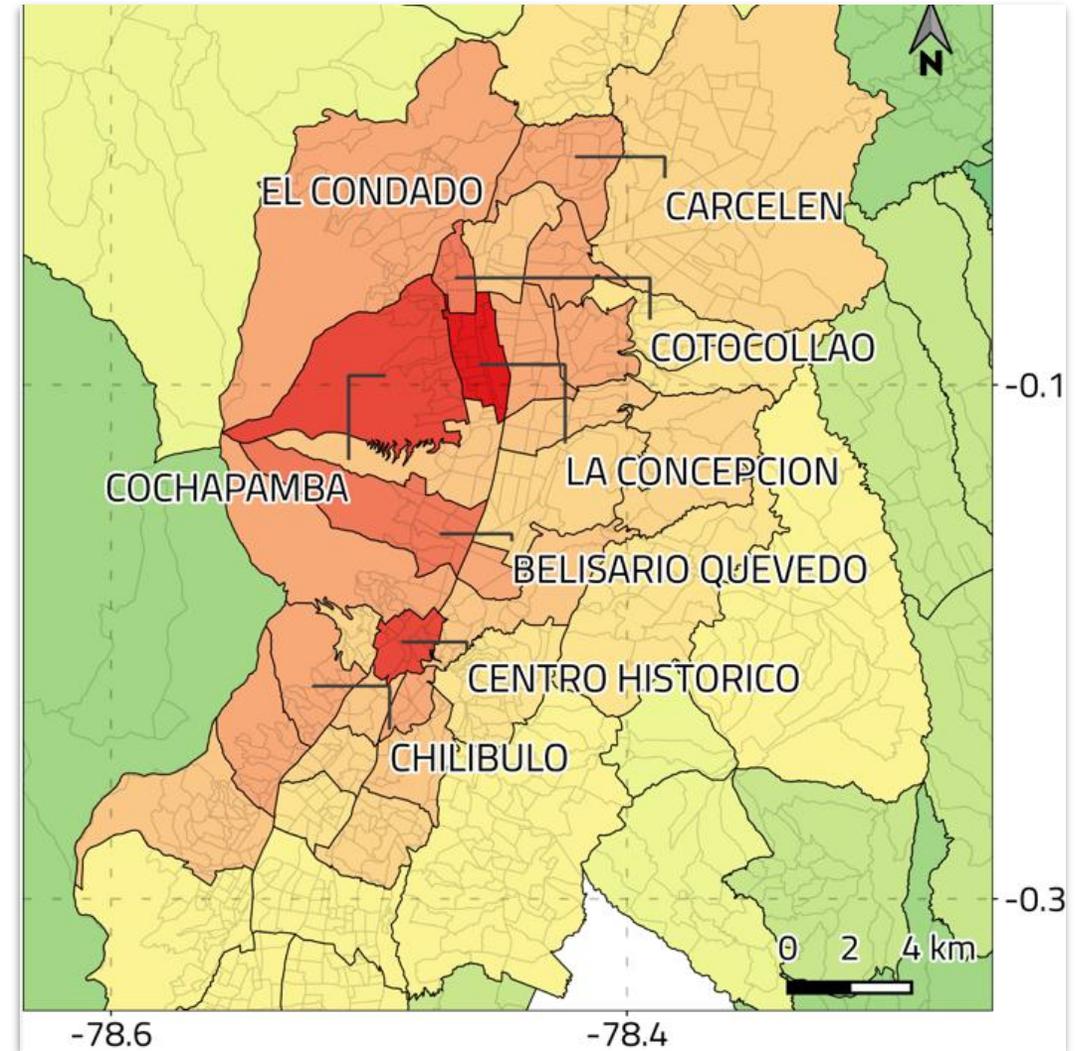
2. **El riesgo anualizado:** es el riesgo que obtenemos al tomar todo el daño y pérdidas registradas durante el periodo de sismicidad y lo dividimos entre la duración de dicho periodo. Debido a que considera todos los eventos sísmicos posibles, es una estimación del riesgo promedio en que se encuentra la ciudad cada año. Es por eso que el riesgo anualizado es útil para la asignación de recursos y la planificación de la gestión del riesgo a largo plazo.





## Riesgo Probabilista – Eventos estocásticos

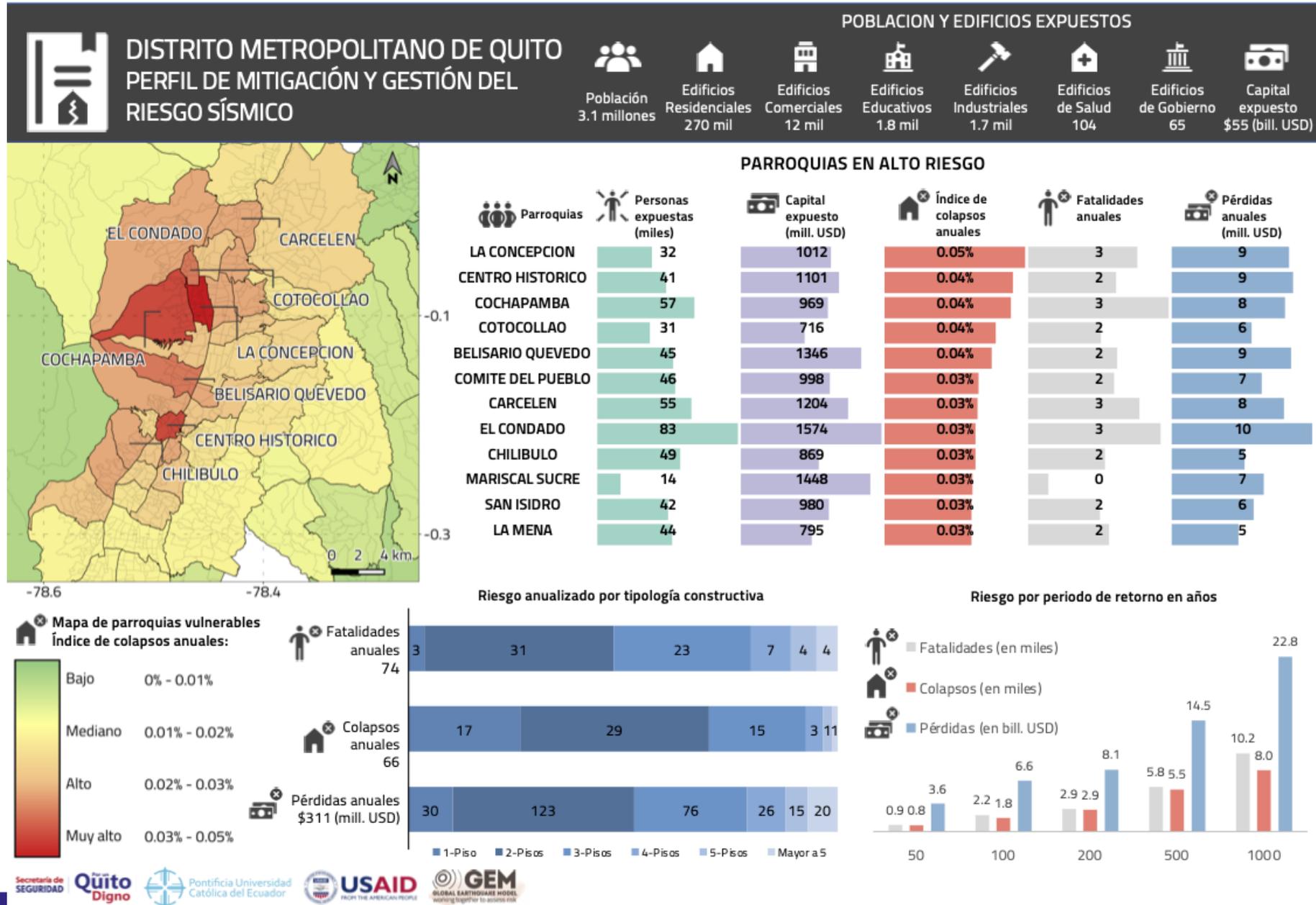
- Comunidades en alto riesgo:** con la tabla de daños y pérdidas por activos, también se puede estudiar el riesgo anualizado por región administrativa. Es decir, sumando las pérdidas de todos los elementos expuestos dentro de una región (e.g. provincia, distrito, barrio, cuadra). Así se identifican cuáles comunidades sufren más daños y pérdidas durante el periodo de sismicidad simulada. En este análisis se resaltan las comunidades más vulnerables debido a la frecuencia con que experimentan los sismos, las características físicas de sus edificaciones y calidad del suelo en que se encuentran.





# Evaluación del riesgo sísmico en el DMQ: Proyecto TREQ, Riesgo Sísmico

Riesgo Probabilista –  
Eventos estocásticos





## CONCLUSIONES

1. El DMQ tiene un alto nivel de riesgo sísmico, el cual se ve severamente agravado cuando se toma en consideración la respuesta del suelo local usando la Microzonificación Sísmica de ERN (2012).
2. Las tipologías constructivas predominantes tienen altos niveles de informalidad constructiva (baja ductilidad esperada).
3. Están en el período espectral que tiene más amplificación en la mayoría del rango de intensidades sísmicas.
4. La situación está presente en las zonas de la ciudad más pobladas (MSQ2, MSQ10 Y MSQ11)



## RECOMENDACIONES

**El modelo de exposición puede mejorarse con la información continuamente**, se puede promover un desarrollo del modelo desde las oficinas municipales y teniendo en cuenta una aplicación para todos los tipos de amenazas (inundaciones, deslizamientos, pandemias, etc).

**Mejorar la caracterización de la vulnerabilidad física** específica para la ciudad y para edificaciones de distintos usos.

**Mejorar la caracterización de la respuesta del suelo** con los estudios recientes o que se desarrollarán en la ciudad.

**Fortalecer lazos entre la academia y la municipalidad** para mantener un continuo desarrollo y mejora de los modelos y sus resultados.

**Capacitación continua sobre el conocimiento del riesgo sísmico** de las partes interesadas.

**Preparación ante emergencias usando resultados** (incorporación en planes de gestión de riesgos y políticas públicas).

**Estimaciones rápidas del impacto de eventos sísmicos usando ShakeMaps** (sistema de alerta temprana).



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN



**Secretaría de  
SEGURIDAD**

**EPMAPS**  
**AGUA DE QUITO**

