



SERVICIO  
GEOLOGICO  
COLOMBIANO



**Zonificación de respuesta sísmica**

**y**

**Escenarios de daño de la ciudad  
de Pereira**

**18 de Julio de 2023  
Julián Montejo - SGC**



# Tabla de contenido

**1 Introducción**

**2 Zonificación de Respuesta Sísmica (ZRS)**

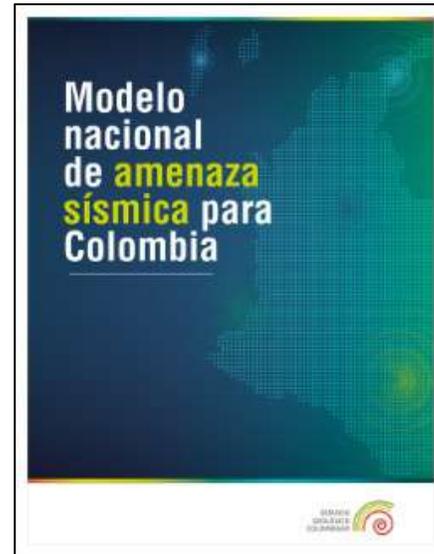
**3 Escenarios de riesgo sísmico (ERS)**

# Introducción



## Misión del SGC

Contribuir al desarrollo económico y social del país, a través de la investigación en geociencias básicas y aplicadas del subsuelo, el potencial de sus recursos, **la evaluación y monitoreo de amenazas de origen geológico, la gestión integral del conocimiento geocientífico**, la investigación y el control nuclear y radiactivo, atendiendo las prioridades de las políticas del Gobierno Nacional.



### Modelo Nacional de Amenaza Sísmica (MNAS):

- Abierto
- Libre
- No es un mapa, es un modelo.
- Continua actualización
- Insumo para tomadores de decisiones

<https://amenazasismica.sgc.gov.co/>

# ¿Qué es un estudio de ZRS?

## Normativa NSR-98 sobre estudios de microzonificación sísmica (A.2.9)

¿Quién debe realizarlos?

A.2.9.2. Las capitales de departamento y las ciudades de más de 100 000 habitantes, localizadas en las zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, con el fin de tener en cuenta el efecto que sobre las construcciones tenga la propagación de la onda sísmica a través de los estratos de suelo subyacentes, **podrán** armonizar las reglamentaciones municipales de ordenamiento del uso de tierra, con un estudio o estudios de microzonificación sísmica, que cumplan el alcance dado en la sección A.2.9.3.

¿Qué debe incluir ?

Amenaza

- a) un estudio geológico regional con especial énfasis en la neotectónica regional en el cual se identifiquen las fallas geológicas existentes en la zona
- b) recopilación de la información sobre la sismicidad regional,
- c) una evaluación de la máxima aceleración horizontal efectiva para una probabilidad de excedencia de 10 por ciento en un lapso de 50 años, con un cubrimiento por incertidumbre en la determinación de la máxima aceleración horizontal efectiva, no menor del 90 por ciento,
- d) opcionalmente, cuando una falla geológica, que el estudio de neotectónica haya definido como activa, esté localizada a menos de cinco km del área que se está microzonificando, ésta puede investigarse por medio de trincheras sísmicas con el fin de intentar establecer los períodos de recurrencia de su actividad y este dato incorporarse en la determinación del valor de la máxima aceleración horizontal efectiva.
- e) aspectos geotécnicos y geológicos locales, referentes a la posición y espesores de la estratificación dominante y la profundidad de la roca base,
- f) estudio de clasificación y características de los suelos, identificando la presencia de suelos granulares saturados y poco compactos, con el fin de establecer la susceptibilidad a la licuación, la cual como mínimo, se debe identificar por medio de correlaciones con el ensayo de penetración estándar,
- g) en zonas de ladera, mediante la evaluación de las condiciones naturales de origen geológico, morfológico y geotécnico, establecer la amenaza potencial de movimientos de masa iniciados por el sismo (debe consultarse A.2.4.1.6),
- h) estudios del comportamiento del módulo dinámico de cortante y la capacidad de amortiguamiento hysterético de muestras inalteradas representativas del subsuelo en cuestión; para estos se pueden emplear técnicas tales como ensayos triaxiales cíclicos, estudios de muestras de columna resonante, métodos torsionales u otros que estén respaldados por resultados apropiados,
- i) análisis de la respuesta dinámica del subsuelo, empleando en principio la propagación ondulatoria unidimensional, pero soportada por los estudios geotécnicos anotados. De estos estudios se deben deducir los correspondientes espectros que incluyan la amplificación local para que, mediante un análisis cualitativo apropiado, se puedan establecer factores de amplificación dominantes del subsuelo y para las estratigrafías identificadas,
- j) síntesis de los resultados mediante la agrupación en zonas cuyas características sean similares, a las cuales se les pueda aplicar los valores de amplificación promedio deducidos, estableciendo coeficientes de sitio, **S**, para cada una de ellas, o valores de **F<sub>a</sub>** y **F<sub>v</sub>**, tal como los define el Apéndice H-1,
- k) en lo posible, comprobación experimental local de los resultados mediante estudios de respuesta de vibración ambiental, con el fin de establecer la concordancia entre los resultados experimentales y los factores de amplificación obtenidos en (i),
- l) definición de los criterios a emplear en las zonas de transición entre un tipo de comportamiento del suelo y otro,
- m) estudio de los efectos de amplificación generados por accidentes topográficos como pueden ser las laderas y colinas aisladas
- n) síntesis de los resultados mediante el establecimiento de zonas menores, las cuales conforman la microzonificación, cuya respuesta dinámica sea sensiblemente similar. Debe ejercerse el mayor criterio en la selección de las dimensiones de las microzonas.

Respuesta sísmica

# ¿Qué es un estudio de ZRS?

## Normativa NSR-10 sobre estudios de microzonificación sísmica(A.2.9)

¿Quién debe realizarlos?

A.2.9.2. **Las capitales de departamento y las ciudades de más de 100 000 habitantes, localizadas en las zonas de amenaza sísmica intermedia y alta**, con el fin de tener en cuenta el efecto que sobre las construcciones tenga la propagación de la onda sísmica a través de los estratos de suelo subyacentes, **deberán** armonizar los instrumentos de planificación para el ordenamiento territorial, con un estudio o estudios de microzonificación sísmica, que cumpla con el alcance dado en la sección A.2.9.3.

¿Qué debe incluir ?

- A.2.9.3.1 – Geología y neotectónica
- A.2.9.3.2 – Sismología regional
- A.2.9.3.3 – Definición de fuentes sismogénicas
- A.2.9.3.4 – Determinación de la aceleración y velocidad esperada para las ondas sísmicas de diseño en roca
- A.2.9.3.5 – Estudios geotécnicos
- A. 2. 9.3.6 – Estudios de amplificación de onda, zonificación, y obtención de movimiento sísmico de diseño en superficie
- A.2.9.3.7 – Aprobación del estudio de microzonificación

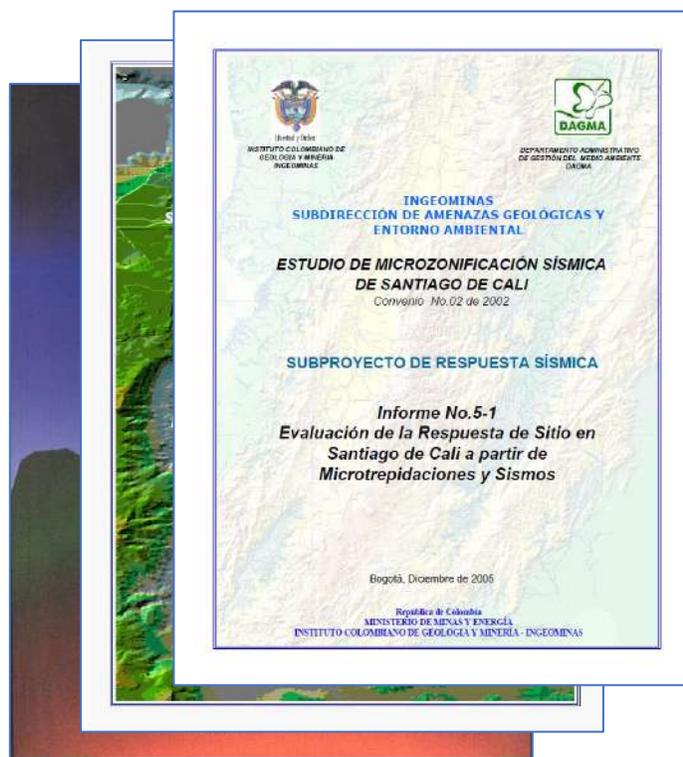
Amenaza

Respuesta sísmica

→ Generación y aprobación de decreto

# Experiencia del SGC en estudios de ZRS

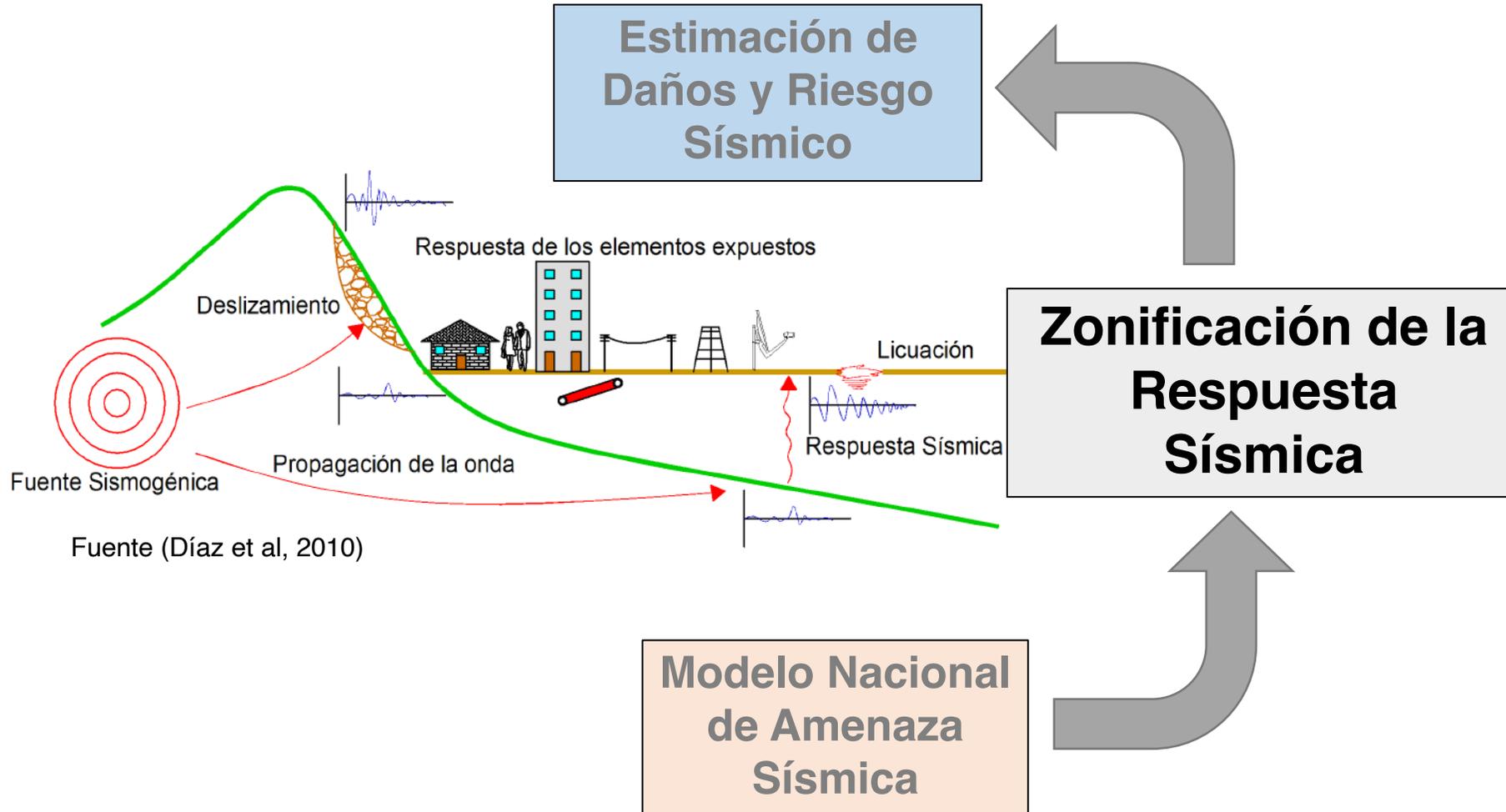
Primera generación  
Microzonificaciones sísmicas



Nueva generación  
Zonificaciones de respuesta sísmica



# Definición del problema



## **2. Zonificación de Respuesta Sísmica (ZRS)**



# Contenido

- 1 Convenio
- 2 Marco conceptual
- 3 Sismicidad histórica
- 4 Amenaza sísmica en roca
- 5 Interpretación de señales de acelerógrafos
- 6 Caracterización geológica
- 7 Caracterización geofísica
- 8 Caracterización geotécnica
- 9 Modelación de la respuesta sísmica
- 10 Zonificación de respuesta sísmica
- 11 Factores de amplificación y espectros normativos
- 12 Conclusiones y recomendaciones

## Nombre

Convenio especial de cooperación 018 de 2019

## Objeto

Aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros para realizar el estudio de Actualización y armonización de los estudios de microzonificación sísmica del área urbana y de expansión del Municipio de Pereira (Risaralda), así como la evaluación de escenarios de riesgo sísmico.

## Suscrito entre

Servicio Geológico Colombiano y La Alcaldía de Tunja

## Plazo inicial

24 meses

## Grupo de trabajo

### MUNICIPIO DE PEREIRA

#### ALCALDE

Carlos Alberto Maya López 2020-2023  
Juan Pablo Gallo 2016-2019

#### DIRECCIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

Alexander Galindo

#### COORDINADOR DE CONOCIMIENTO

Jhon Valencia 2020-2021  
Darío Moreno 2019-2020

#### PROFESIONALES PARTICIPANTES

Vanesa Mejía 2020-2021  
Sandra Álvarez 2019-2020

## SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

#### DIRECCIÓN GENERAL

Oscar Paredes Z.

#### DIRECCIÓN TÉCNICA DE GEOAMENAZAS

Marta Lucía Calvache V.

#### LIDER TÉCNICO GRUPO DE AMENAZA Y RIESGO SÍSMICO

María Mónica Arcila R.

#### COORDINADOR TÉCNICO DEL CONVENIO

Fernando Javier Díaz P.

#### AUTORES

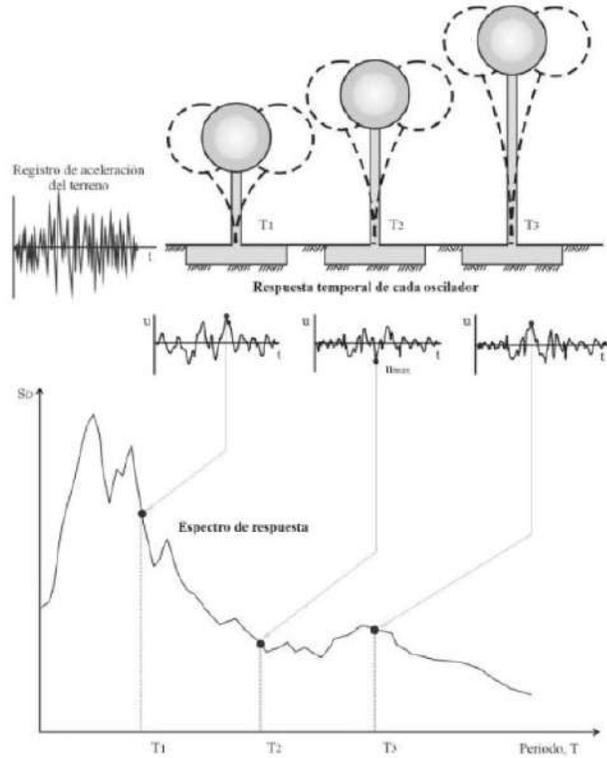
Fernando Javier Díaz P. Ingeniero Civil  
Julián Montejo E., Ingeniero Civil  
Nelson Perico G., Ingeniero Civil  
Myriam C. López C., Geóloga  
Diana Rocío Barbosa C., Geógrafa  
Gustavo Posada, Ingeniero Geólogo  
Leandro Pérez, Ingeniero Topógrafo  
Gustavo Posada, Ingeniero Geólogo  
Miguel Mora C., Ingeniero Civil  
Jairo Valcárcel T., Ingeniero Civil  
Héctor Pérez B., Ingeniero Civil  
Mónica Arcila, Geóloga

#### RED PORTATIL DE ACELEROGRAFOS

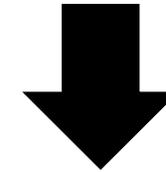
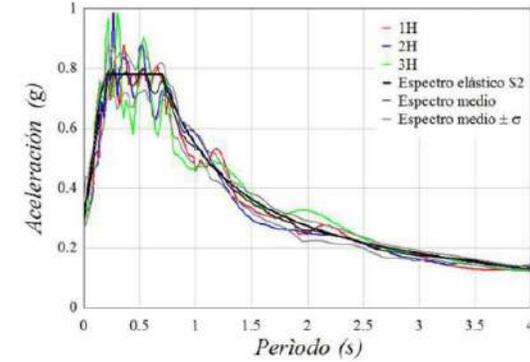
Luisa Castillo, Física  
Elizabeth Mazo, Física  
Andrés Felipe Gómez, Ing. Electrónico

# 2 Marco conceptual

¿Espectro de respuesta?



¿Espectro paramétrico de diseño?



Espectro normativo

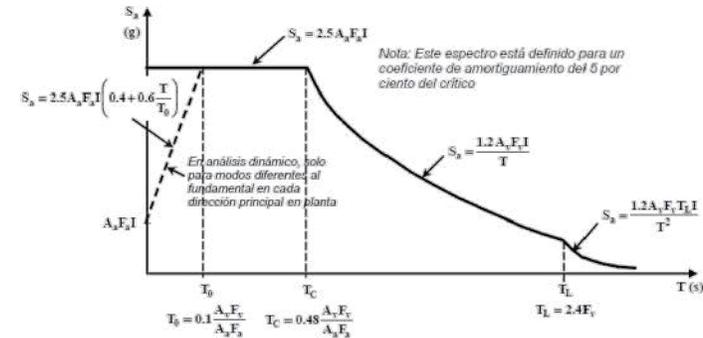


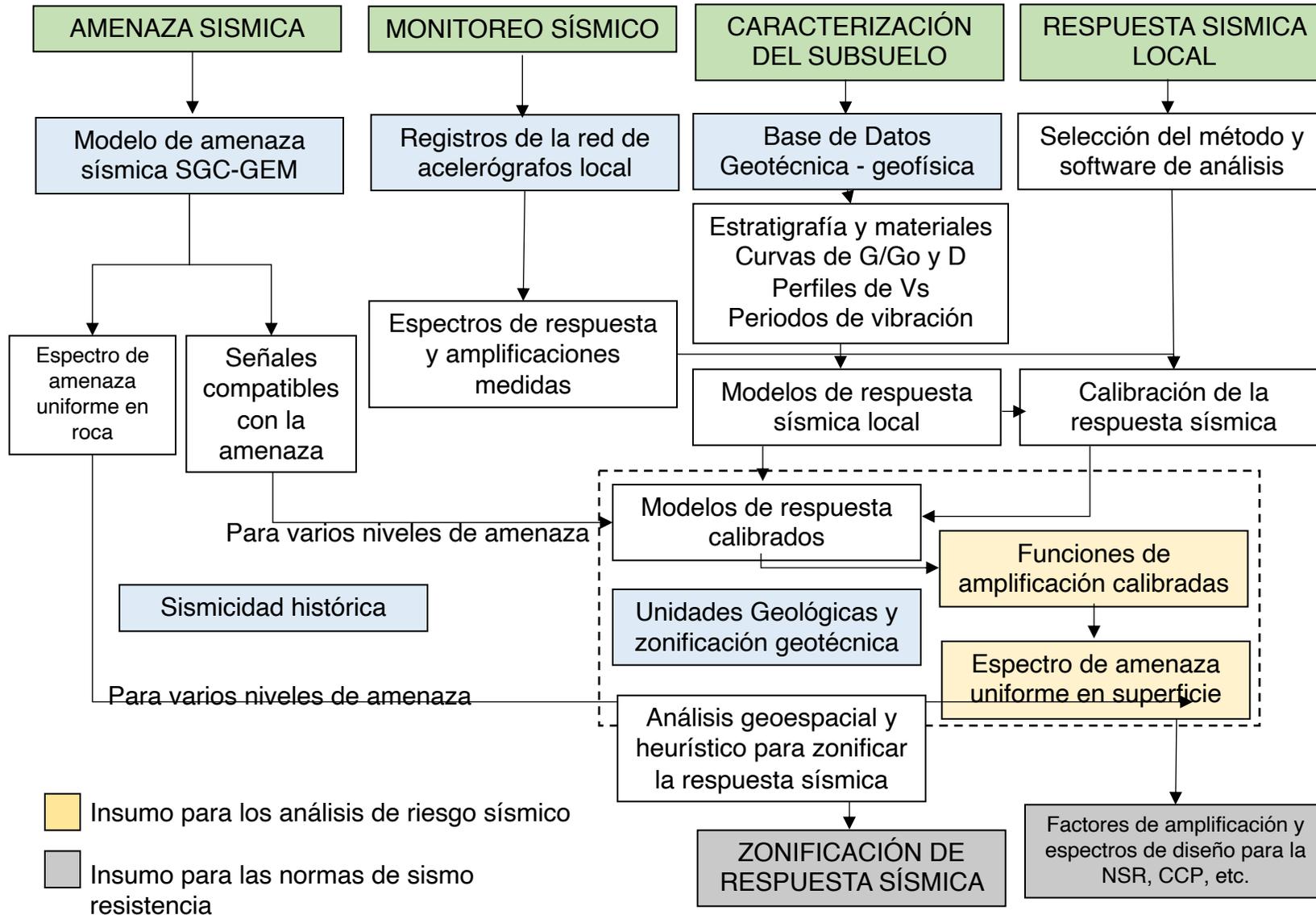
Figura 7.16. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g. (Tomado de la NSR-10)

Aa y Av son coeficientes de diseños asociados al nivel de amenaza!

Fa y Fv dependen de las condiciones de sitio!

# 2 Marco conceptual -Actividades

Zonificación de respuesta sísmica

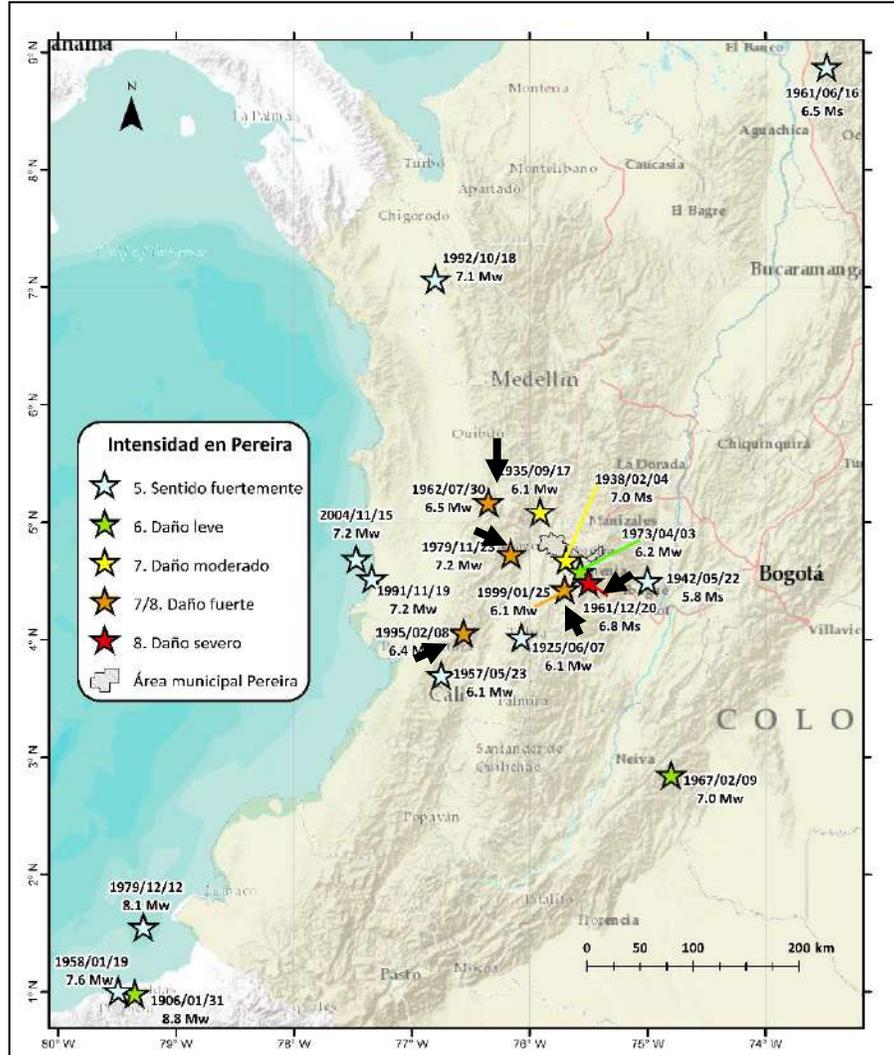


## 3 Sismicidad Histórica

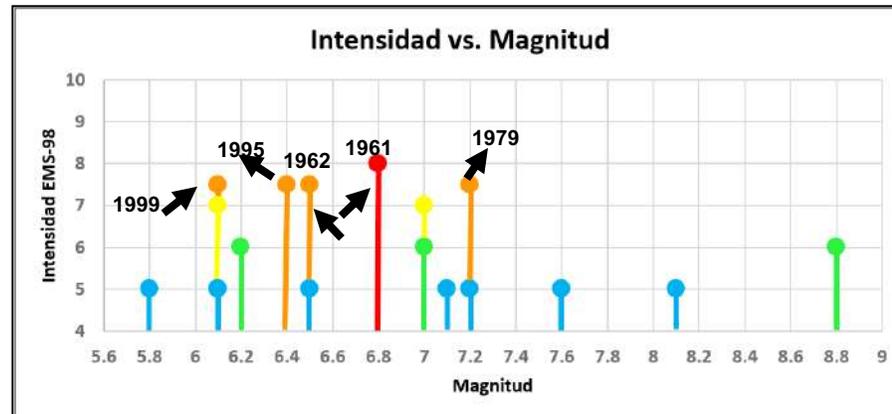
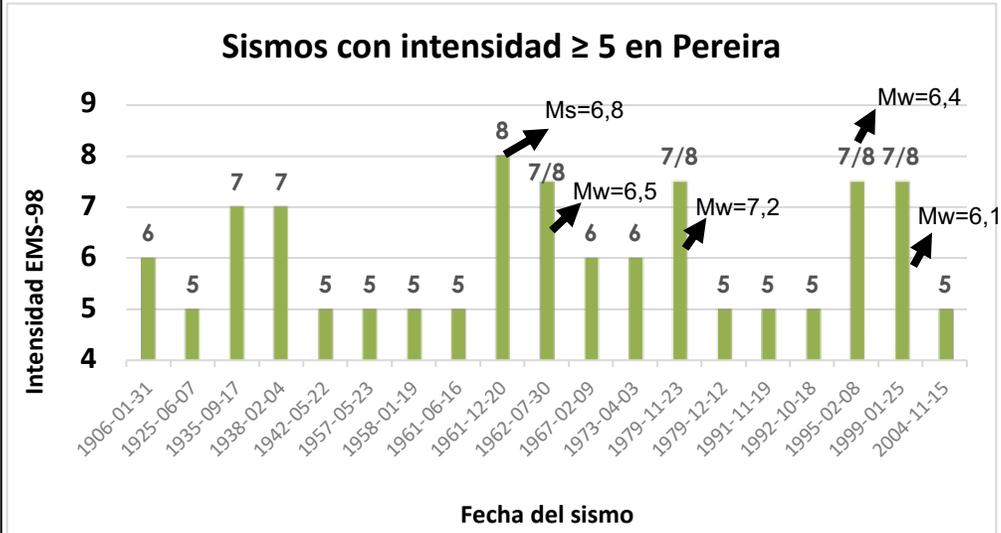
- Pereira ha sido afectada en varias ocasiones por sismos que han provocado daños severos en sus construcciones, esto ha incidido en el desarrollo urbano y arquitectura de la ciudad. La descripción de los efectos se ve reflejada en fuentes documentales de diferentes épocas.
- El análisis tuvo en cuenta los sismos históricos con intensidad mayor a 5 en la escala EMS-98, tomados del "*Sistema de Información de Sismicidad Histórica de Colombia*" (SISHC) del SGC, que contiene información macrosísmica y sismológica de los grandes sismos ocurridos entre 1644-2016.

## Sismos históricos significativos

Zonificación de respuesta sísmica



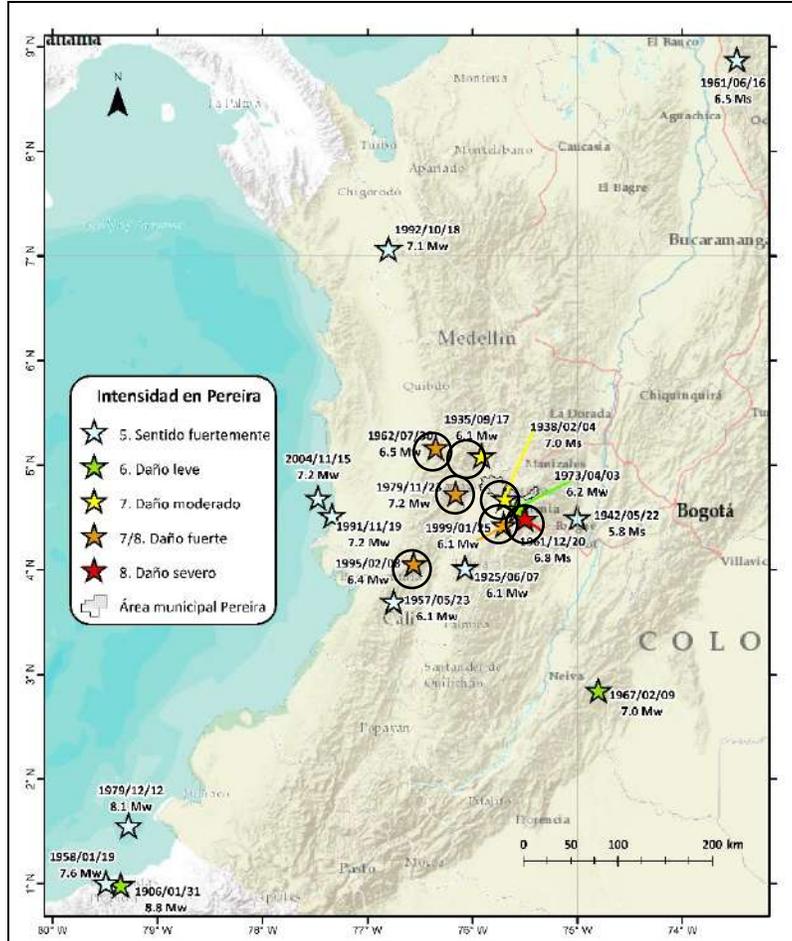
19 sismos con intensidad >5 en escala EMS-98



# 3 Sismicidad Histórica

## Sismos con intensidad $\geq 7$ en Pereira

Zonificación de respuesta sísmica

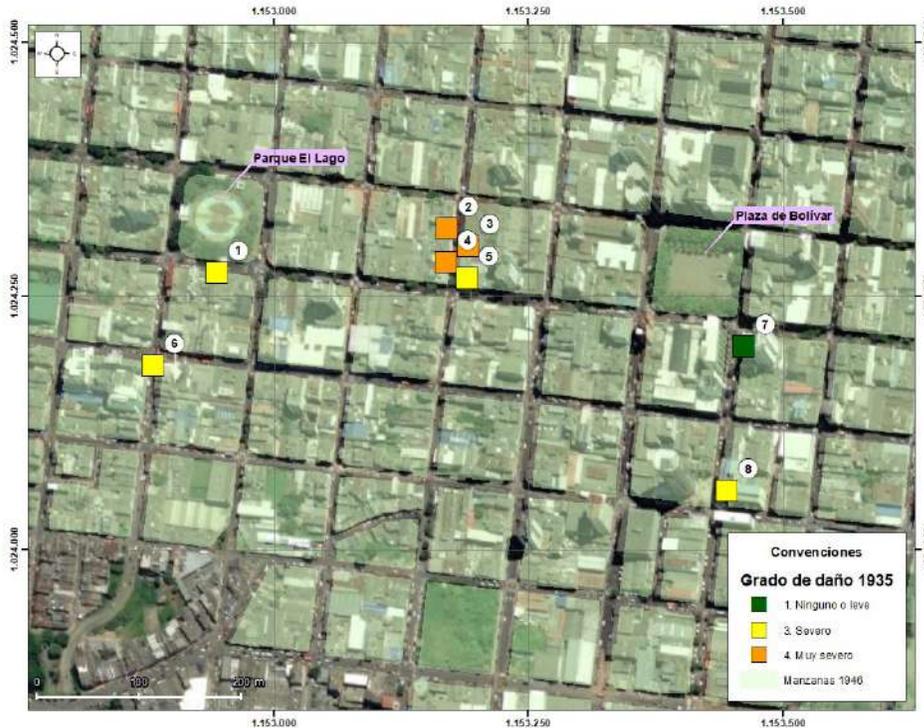


Fecha	Hora Local*	Lat.	Long.	Mag.	Prof. (Km)	Int. Pereira	Int. Máxima	Dist. Hipo. (km)
1935/09/17	23:58	5.09	-76.08	6.1 Mw	15	7	8	49.2
1938/02/04	21:23	4.68	-75.69	7 Ms	150	7	8	151.1
1961/12/20	8:25	4.49	-75.5	6.8 Ms	163	8	8	169.7
1962/07/30	15:18	5.17	-76.35	6.5 Mw	64	7/8	8	100.1
1979/11/23	18:40	4.73	-76.16	7.2 Mw	110	7/8	8	120.1
1995/02/08	13:40	4.06	-76.56	6.4 Mw	71	7/8	8	144.3
1999/01/25	13:19	4.432	-75.703	6.1 Mw	15	7/8	9	47.9

Intensidad EMS-98	Definición	Tipo de efectos
7	Daños moderados	La mayoría de la gente se asusta y corre a la calle. Los muebles son desplazados y caen objetos de repisas. Muchos edificios bien contruidos presentan daños moderados: grietas largas en muros, caída de revestimiento en gran proporción, caída de partes de chimeneas. Los edificios más vulnerables pueden mostrar grandes grietas en los muros.
7/8*	Daño fuerte	Muchos edificios bien contruidos presentan daños moderados: grietas largas en muros, caída de revestimiento en gran proporción, caída de partes de chimeneas. Los edificios más vulnerables pueden mostrar grandes grietas en los muros. Muy pocos edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios en los muros, mientras que las estructuras antiguas y débiles pueden colapsar.
8	Daños severos	A mucha gente le cuesta mantenerse de pie. Se pueden desplazar o volcar los muebles pesados. Pocos edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios en los muros, mientras que las estructuras antiguas y débiles pueden colapsar.
9	Destructivo	Pánico general. Muchas construcciones débiles colapsan. Incluso los edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios como fallas estructurales parciales.

## Análisis de sismos significativos: terremoto del 17 de septiembre de 1935

- Mw 6,1 a 49,2 km de distancia hipocentral. Intensidad en la ciudad = 7
- Se localizaron ocho construcciones de las cuales resultaron tres con daños muy severos, cuatro con daños severos, y una con daño leve.

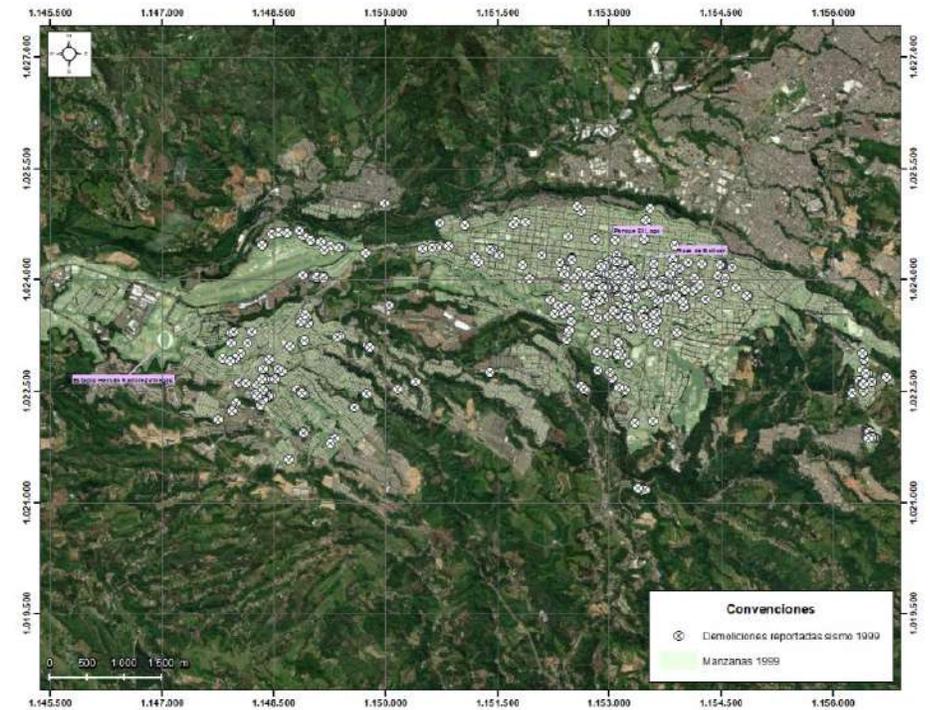
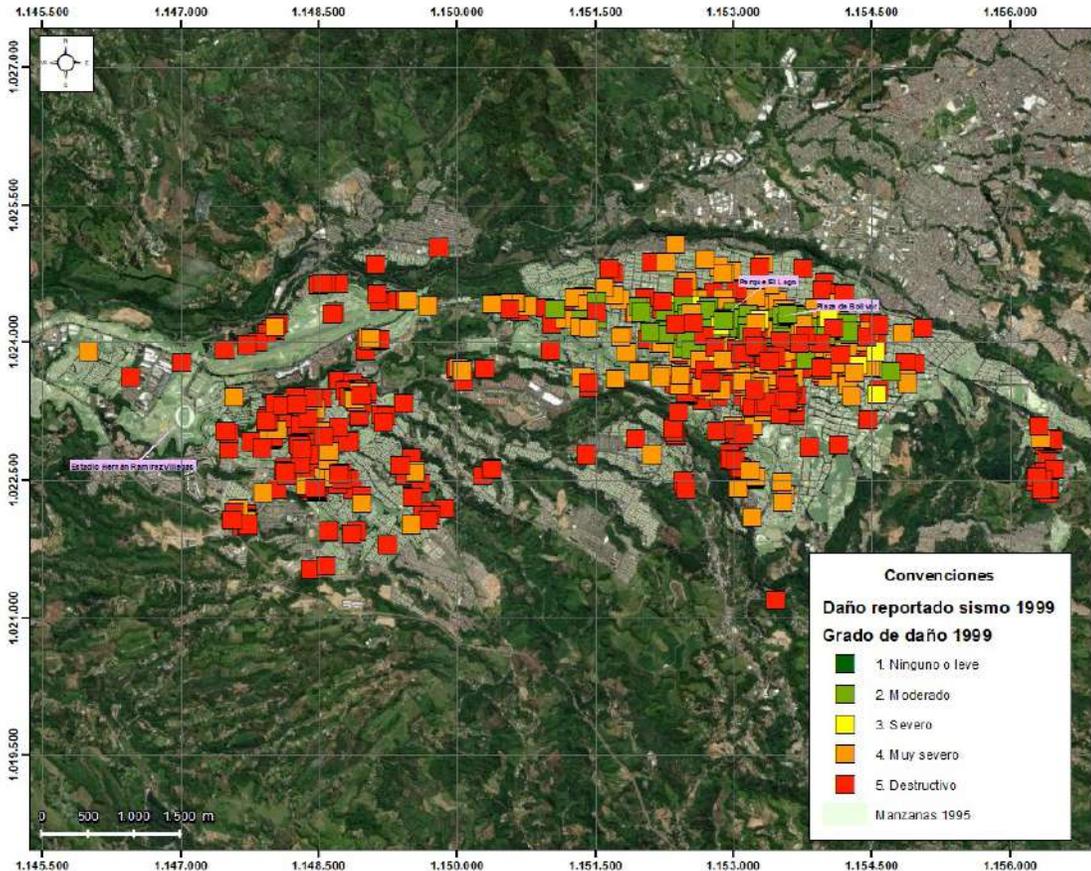


Id	Nombre	Material/Conservación	Tipo de daño	Vul.	Grado
1	Casa de Jesús Orozco H.	Casa de dos pisos. Bahareque	Cayó el frontis de la vivienda y quedó inhabitable	A-B	3
2	Casa de la Familia Iza - Ocupada por Pablo Hincapié	Bahareque – teja de barro	Daños muy severos. Debió ser evacuada	A-B	4
3	Casa de la Familia Iza - Ocupada por José Galeano.	Bahareque – teja de barro	Daños muy severos. Debió ser evacuada	A-B	4
4	Casa de la Familia Iza - Ocupada por Tobías Ospina.	Bahareque – teja de barro	Daños muy severos. Debió ser evacuada	A-B	4
5	Casa de Vicente Jiménez - Ocupada por familia Álvarez.	Bahareque – teja de barro	Tres piezas destruidas y dañado el alero	A-B	3
6	Casa de Teresa García	Bahareque – teja de barro	Presentó "grandes" averías no específicas	A-B	3
7	Hotel España	Mampostería en ladrillo?	Tuvo Agrietamiento leve	C	1
8	Edificio Isaza Llano y Lotero	Edificio de siete pisos en guadua (bahareque) Bajo grado de conservación	Presentó más daños no específicos	A-B	3

## Análisis de sismos significativos: terremoto del 25 de enero de 1999

- Mw 6,1 a 47,9 km de distancia hipocentral. Intensidad en la ciudad = 7/8
- Se localizaron 1082 construcciones reportadas a partir de la evaluación de daños realizadas por la CLEPAD. Se localizaron 538 construcciones reportadas para demoler

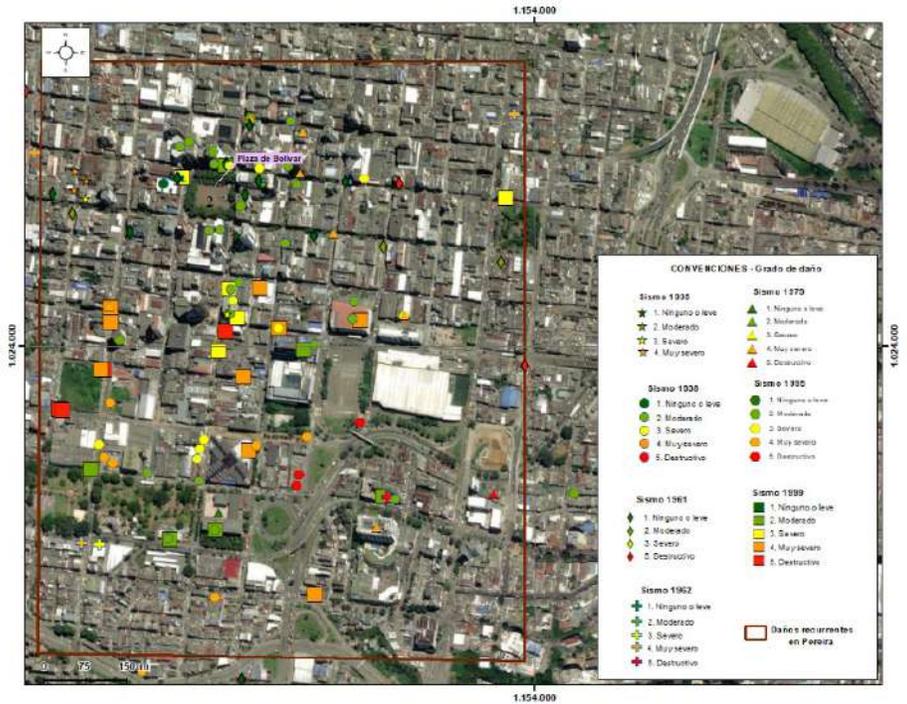
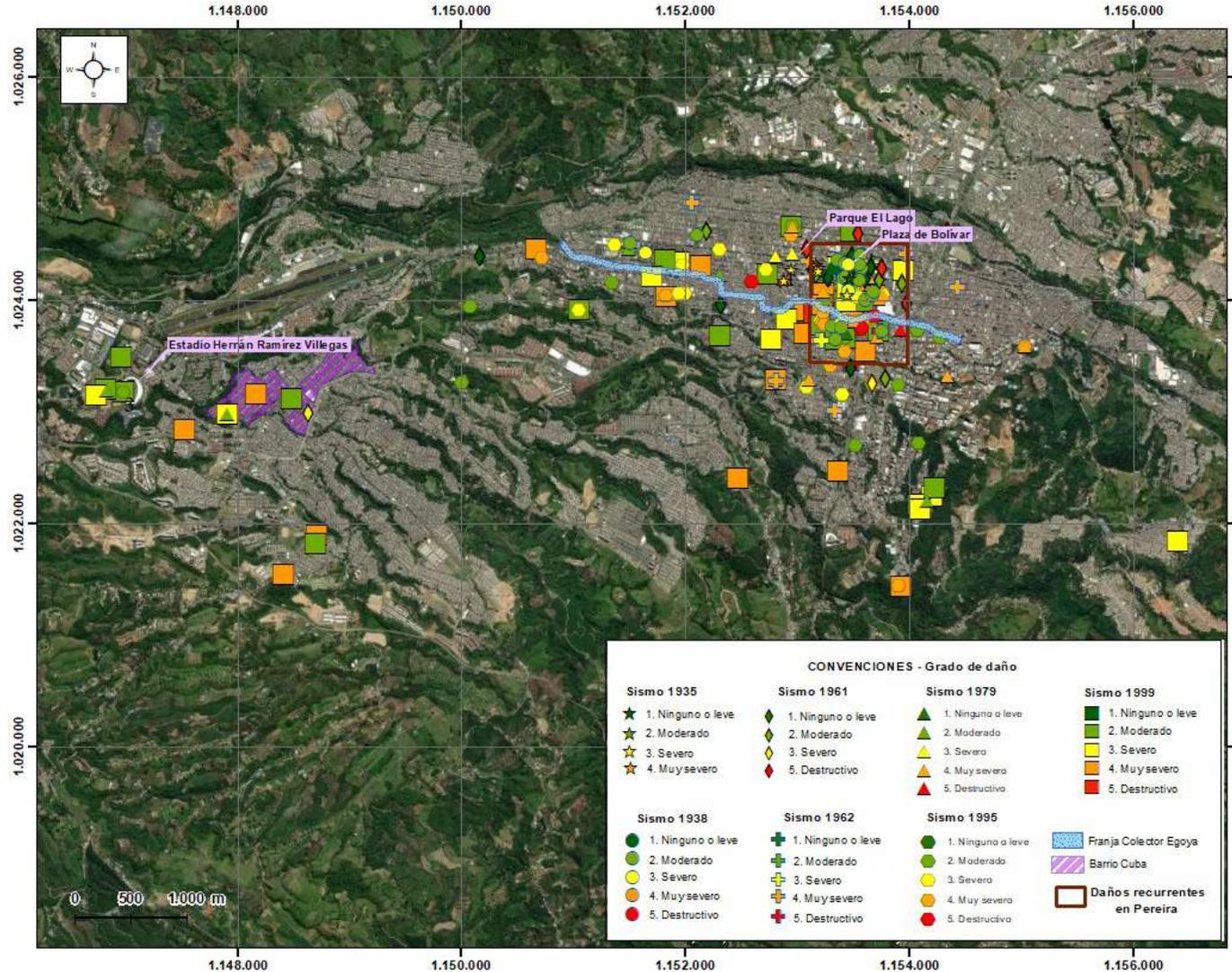
Zonificación de respuesta sísmica



# 3 Sismicidad Histórica

## Mapas de daños recurrentes

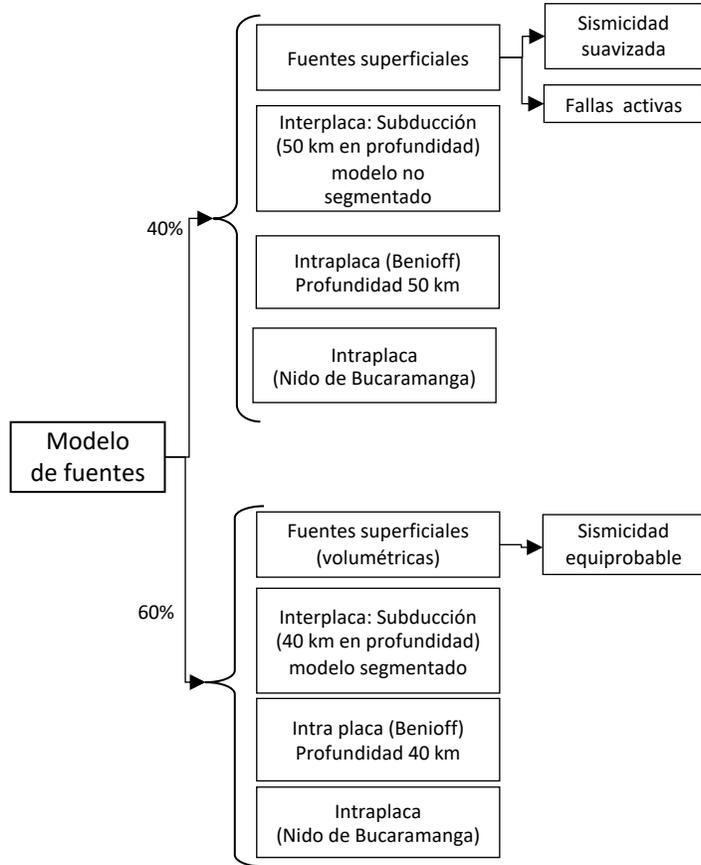
Zonificación de respuesta sísmica



# 4 Amenaza Sísmica en Roca

## Modelo Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia

Zonificación de respuesta sísmica



Fallas activas



Fuentes interplaca



Fuentes tipo área (superficiales)



Zona Benioff



Sismicidad distribuida



Nido sísmico de Bucaramanga

# 4 Amenaza Sísmica en Roca

## Modelo Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia

Visor web: <https://amenazasismica.sgc.gov.co>

Zonificación de respuesta sísmica

Consulta de la amenaza sísmica de Colombia   El futuro es de todos  Minenergía

Sistema de Consulta de la Amenaza Sísmica de Colombia 



# 4 Amenaza Sísmica en Roca

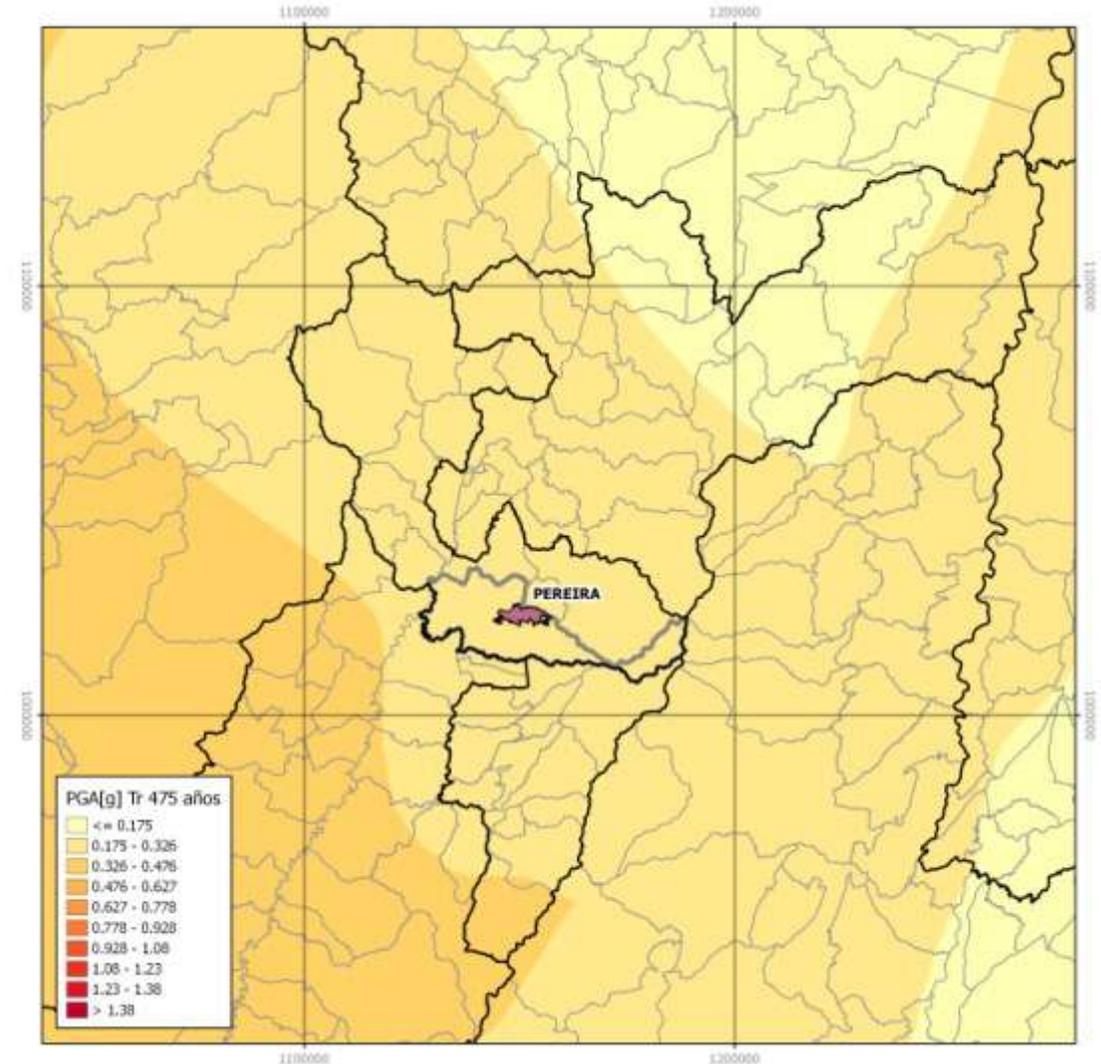
## Modelo Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia

PGA, Sa (0.2) y Sa (1.0) MNAS

Tiempo de exposición [años]	probabilidad de excedencia [%]	periodo de retorno [años]	PGA [g] Valor medio	Sa(0.2) Valor medio	Sa (1.0) Valor medio
50	80	31	0.06	0.11	0.02
50	20	225	0.19	0.39	0.08
50	10	475	0.27	0.59	0.13
50	5	975	0.36	0.78	0.17
50	2	2475	0.51	1.14	0.25

Coefficientes de diseño

Tiempo de exposición [años]	probabilidad de excedencia [%]	periodo de retorno [años]	Intensidad Aa	Intensidad Av	Fuente
50	80	31	0.10		NSR-10
50	20	225	0.20	0.20	
50	10	475	0.25	0.25	
75	7	975	Pga 0.25	S1 0.30	CCP14



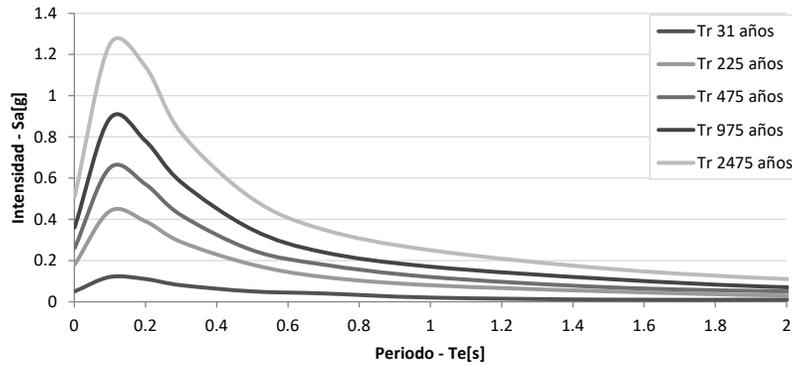
Zonificación de respuesta sísmica

# 4 Amenaza Sísmica en Roca

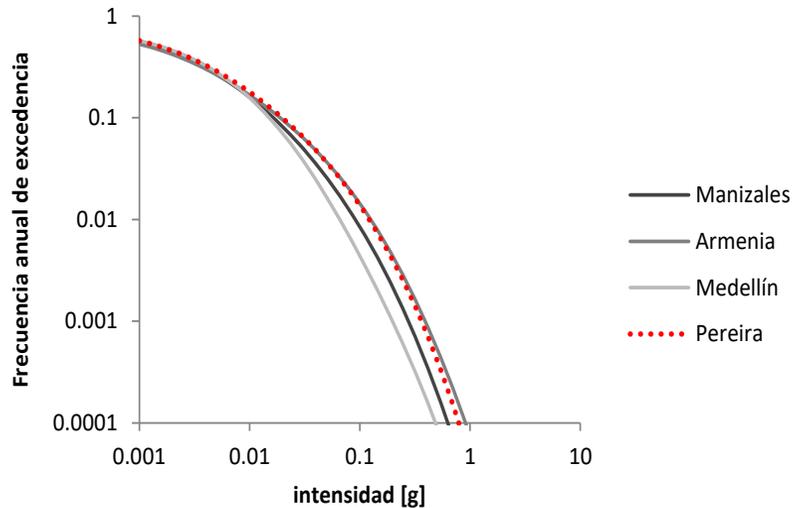
Zonificación de respuesta sísmica

## Resultados generales en roca

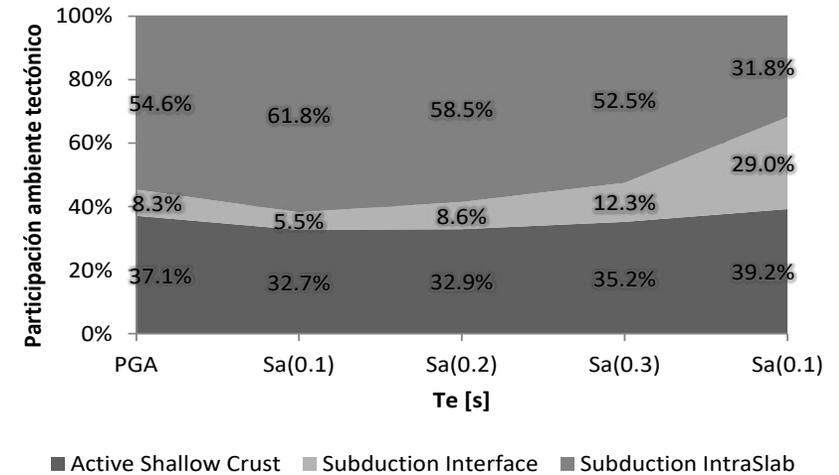
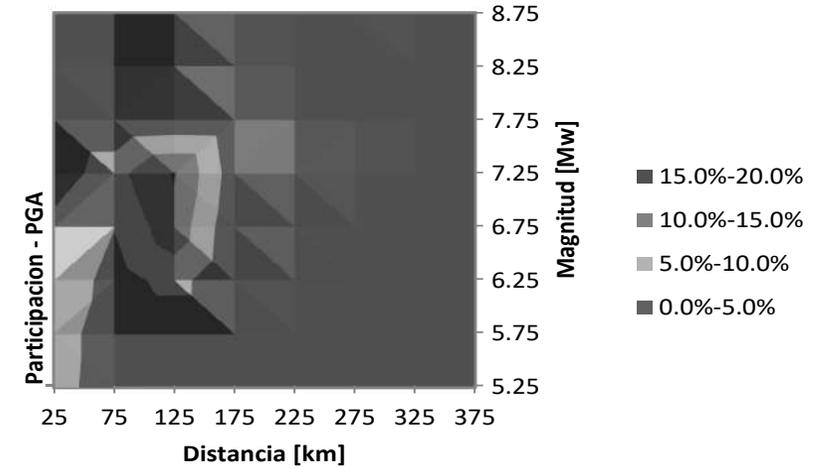
Espectros de amenaza uniforme



Curvas de amenaza



Desagregación sísmica



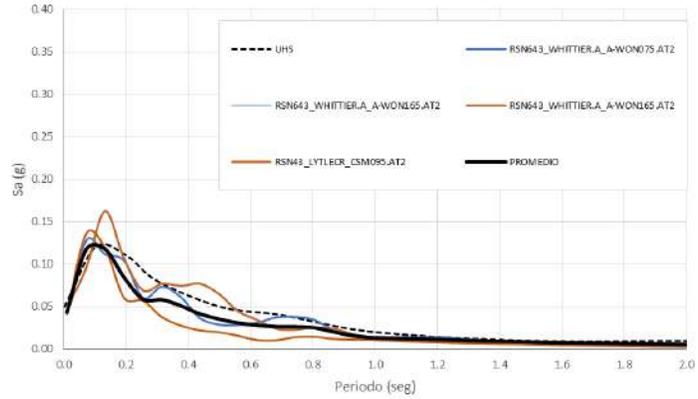
# 4 Amenaza Sísmica en Roca

Zonificación de respuesta sísmica

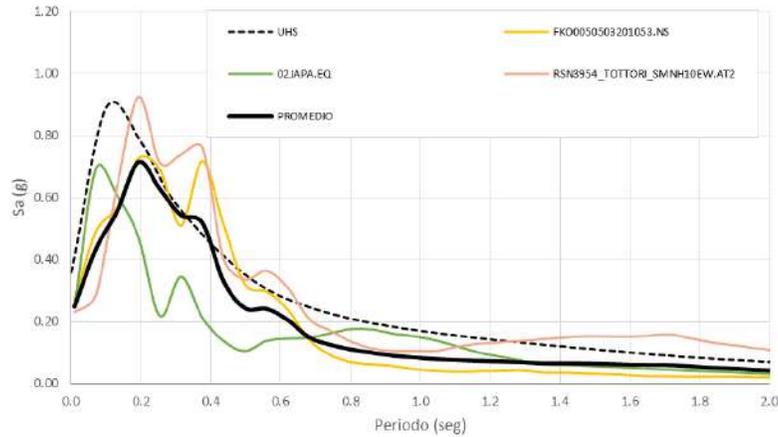
## Definición de señales compatibles con la amenaza

21 señales de bases de datos internacionales para 4 niveles de intensidad

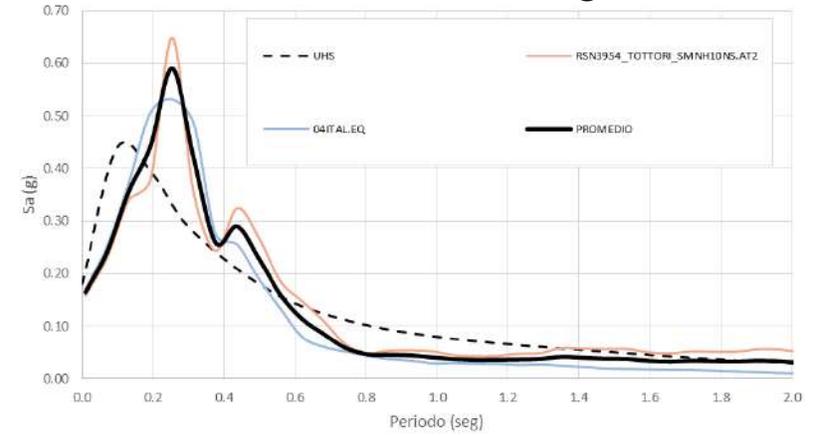
Tr 33 - 0.05g



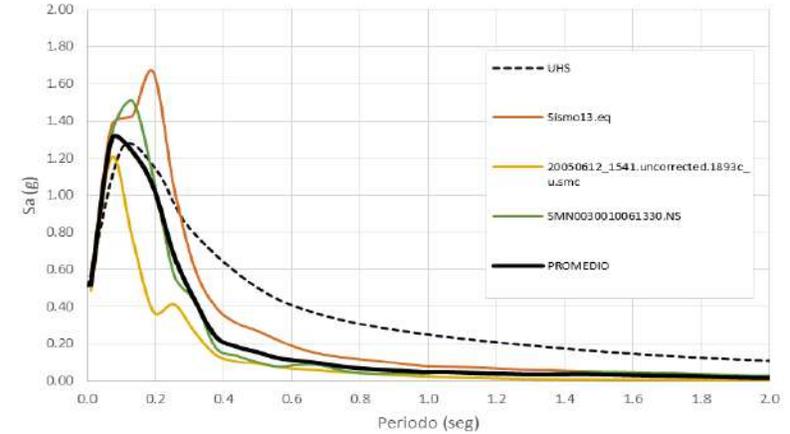
Tr 475 - 0,25g



Tr 225 - 0,18g

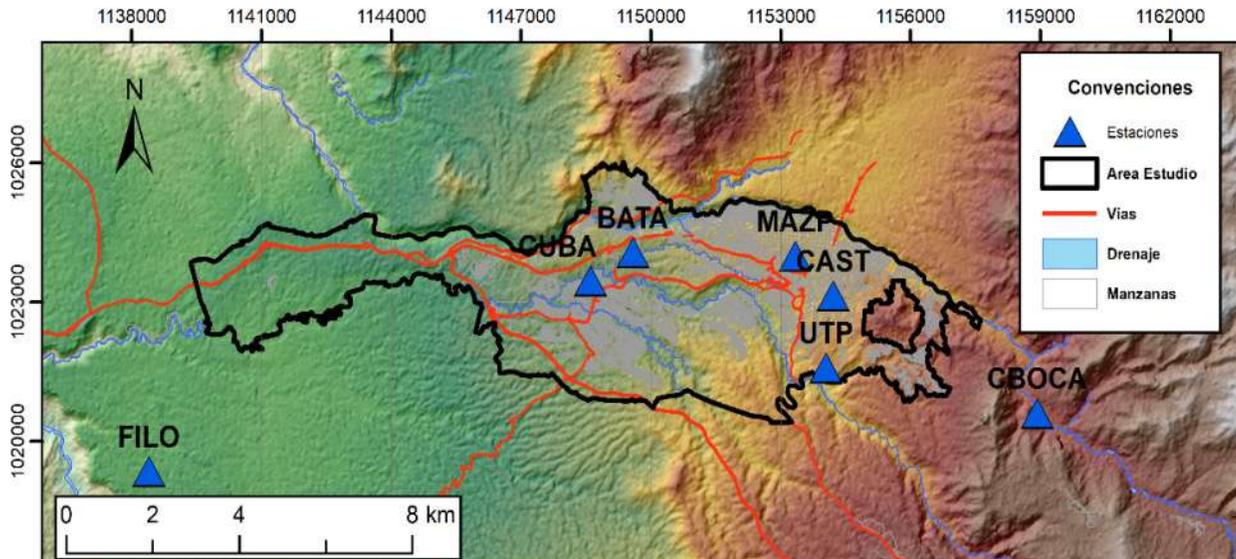


Tr 2475 - 0,52g



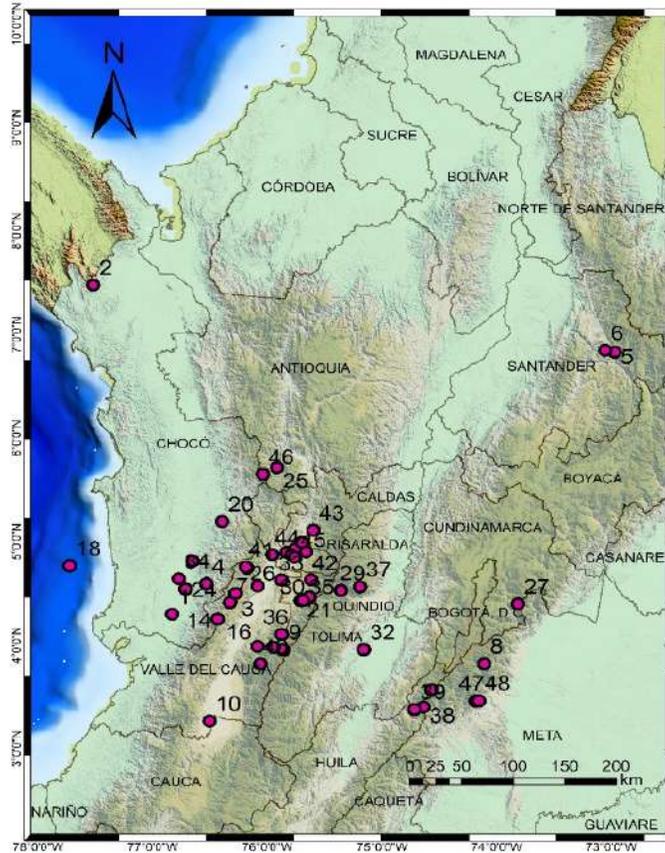
## Red permanente

Las 7 estaciones acelerográficas analizadas han operado de la siguiente manera, entre el año 1995 y 2000 funcionó la estación BATA; entre 1996 y 2011 las estaciones MAZP y UTP; la estación CAST (llamada CPER2 por el SGC) operó entre 1996 y 2010 y la estación Filo entre 1996 y 2008; han permanecido activas CBOCA y CUBA (ésta última llamada CPER3 por el SGC) desde 2011 y 2013, respectivamente, bajo el seguimiento del SGC.

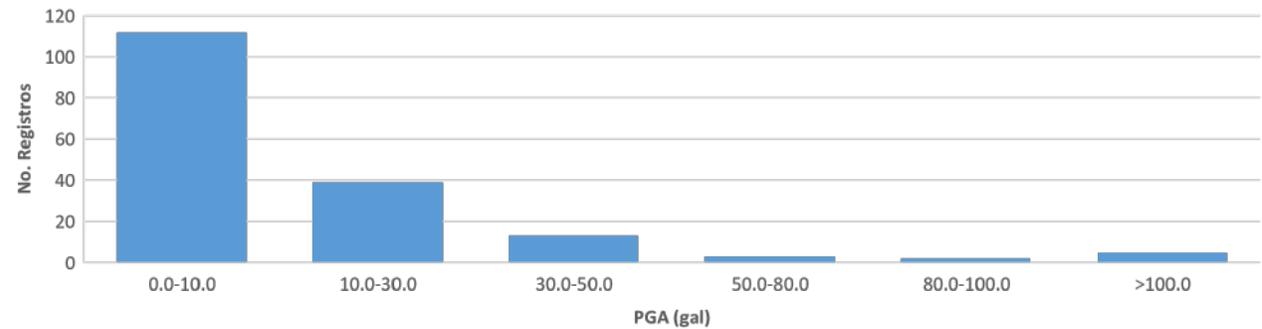
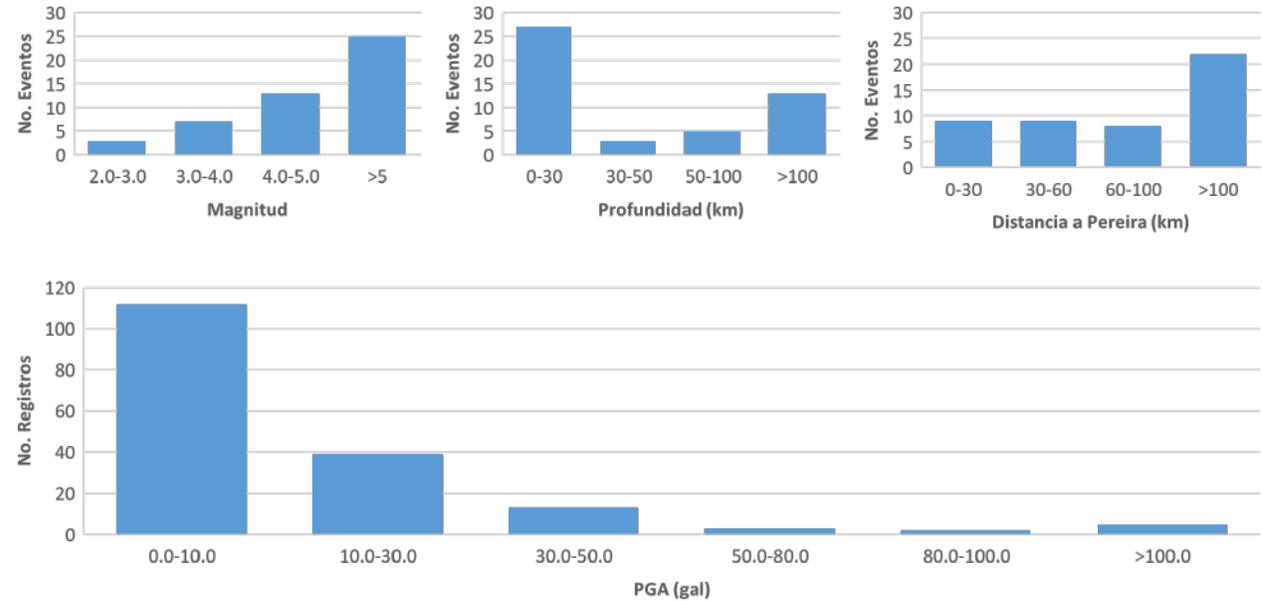


ESTACIONES		UBICACIÓN	
Nombre	Código	Latitud	Longitud
Bocatoma	CBOCA	4.781	-75.645
Casa blanca	FILO	4.770	-75.830
Cuba	CUBA	4.807	-75.738
Batallón	BATA	4.812	-75.729
Castañares	CAST	4.804	-75.687
Maz-Pereira	MAZP	4.812	-75.695
Vivero	UTP	4.790	-75.689

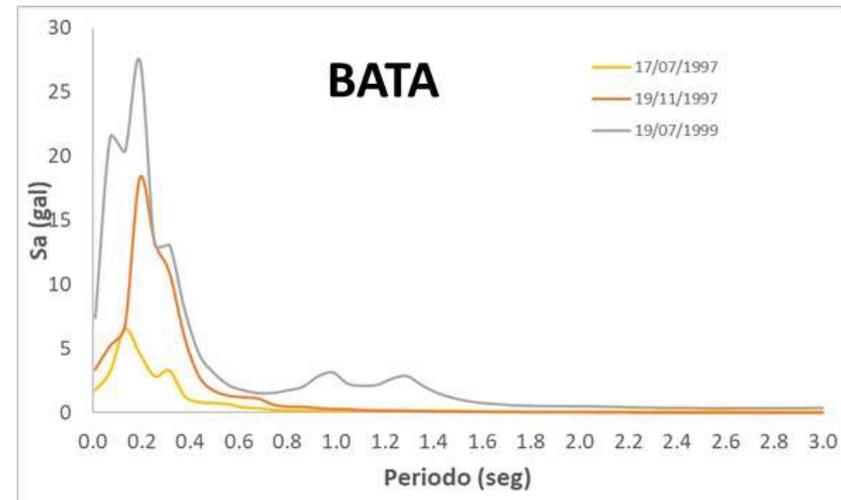
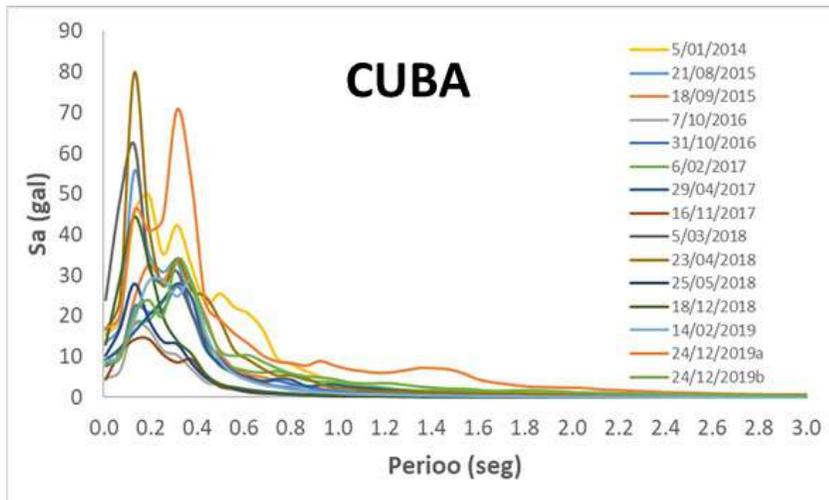
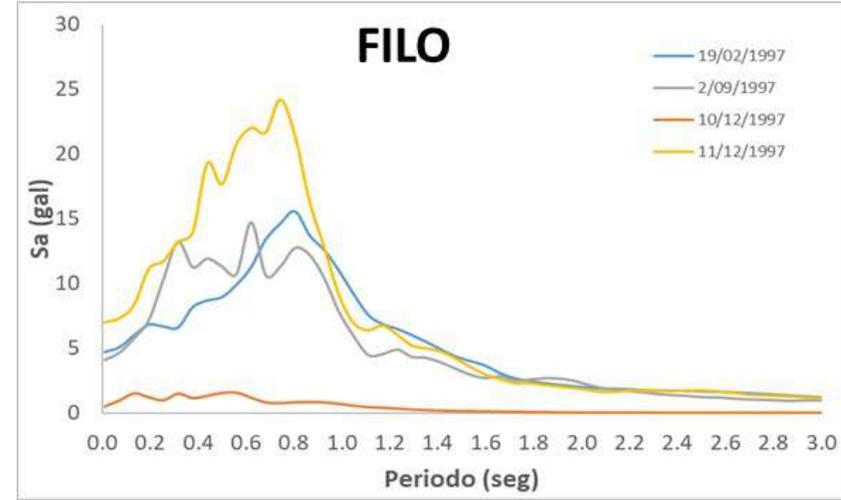
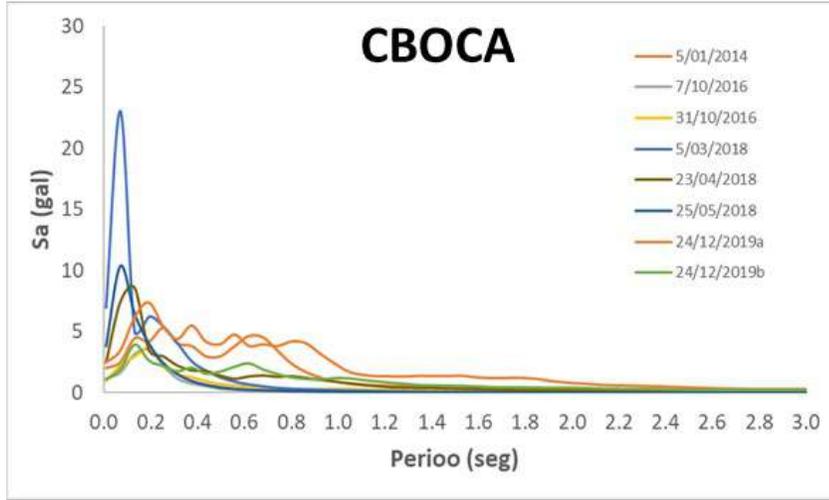
## Red permanente



**48 eventos** registrados entre marzo 1995 y marzo 2020.

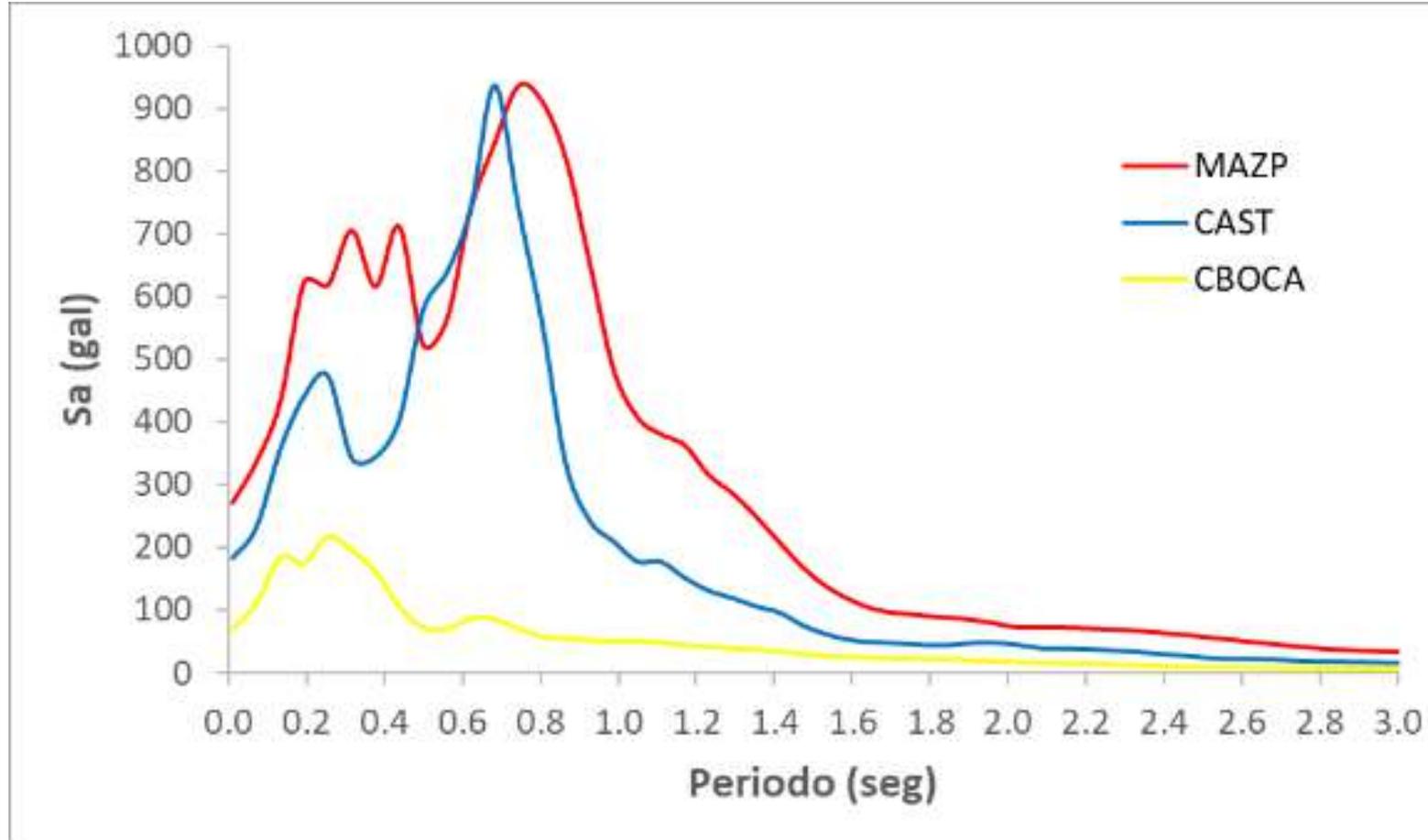


## Espectros de respuesta



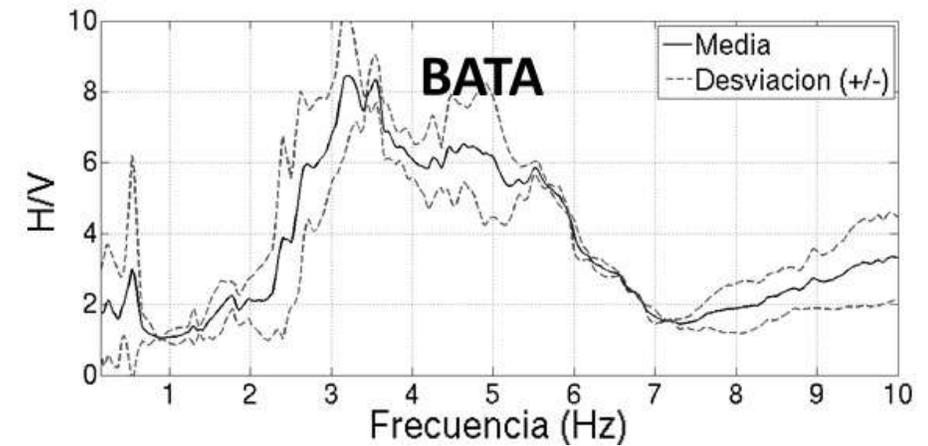
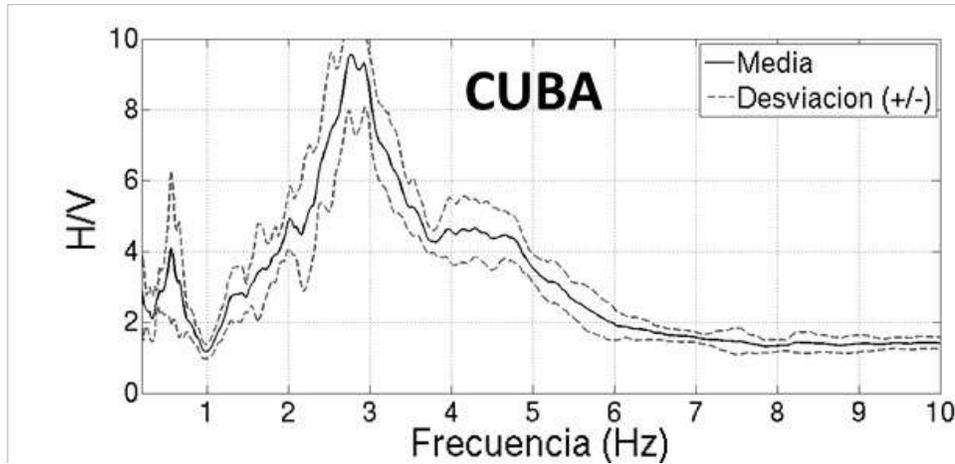
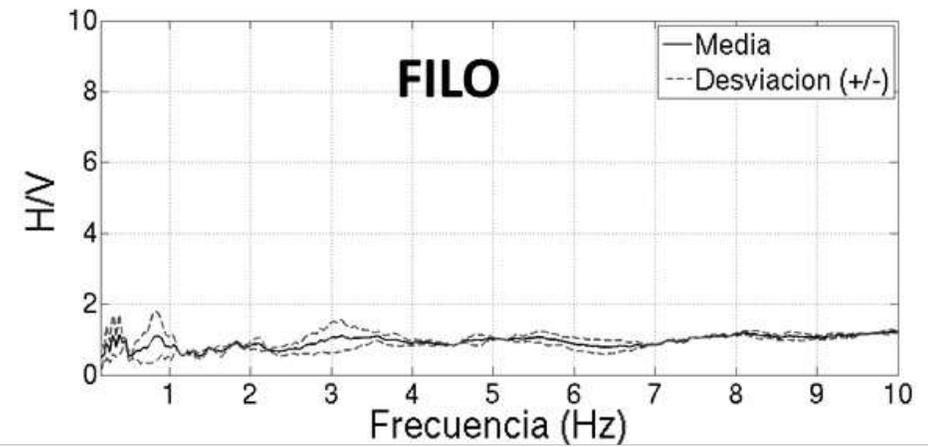
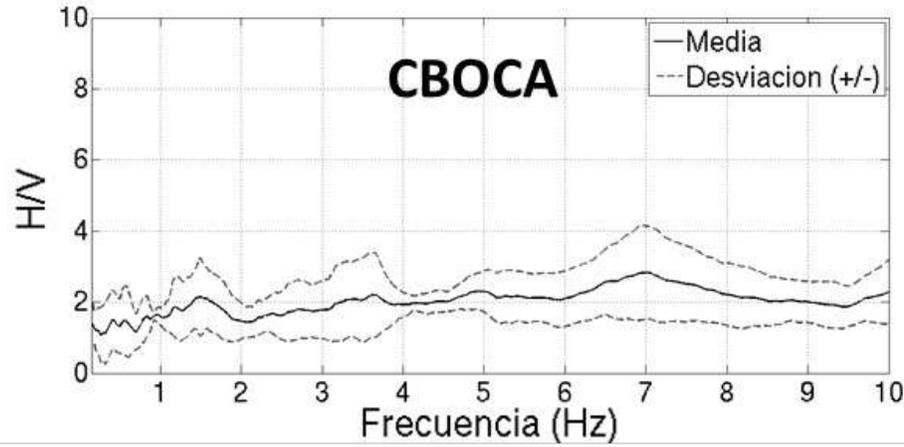
# 5 Interpretación de señales

Sismos del 25 de enero de 1999



Zonificación de respuesta sísmica

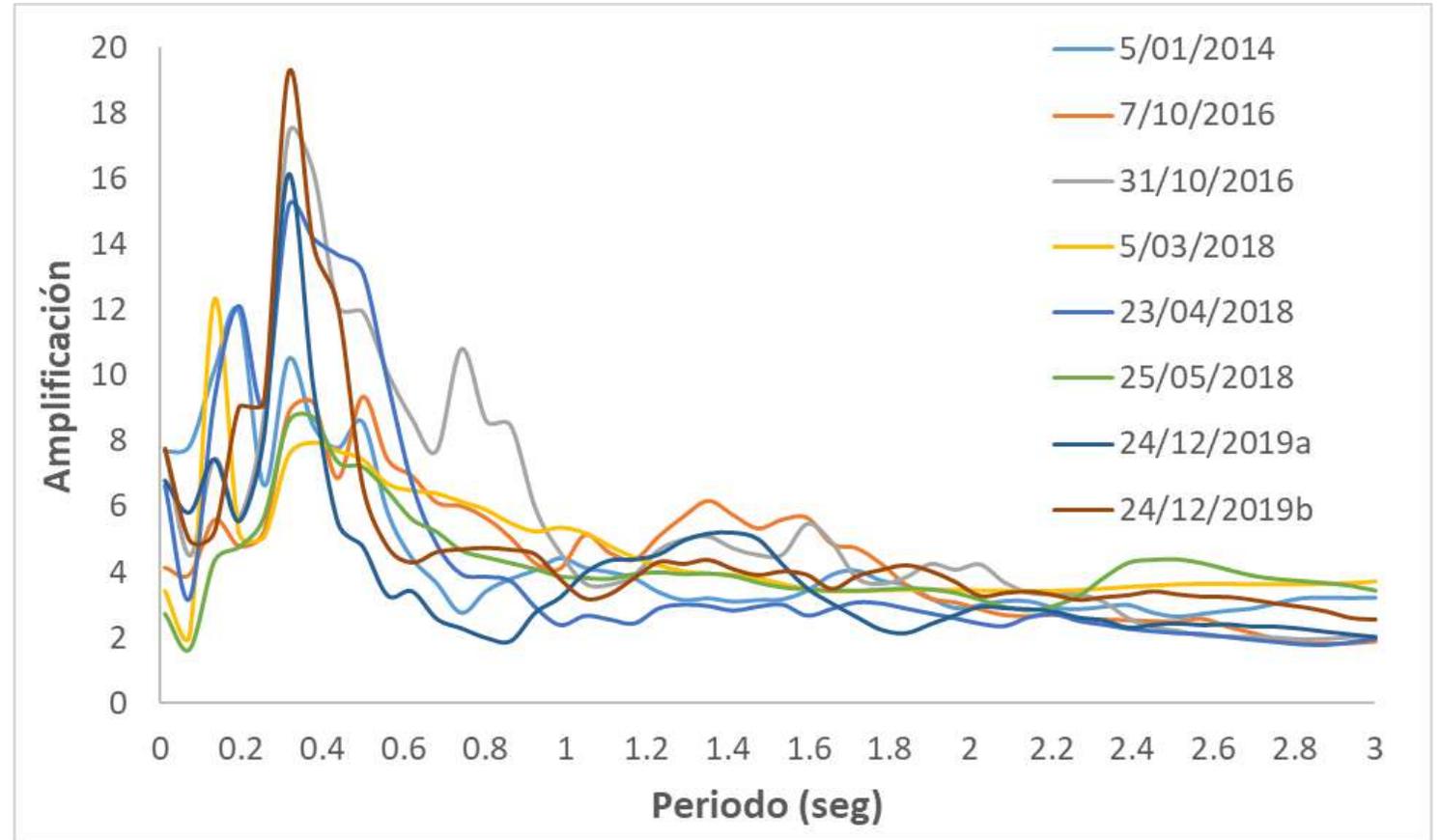
## Espectros H/V



## Funciones de transferencia empíricas

Se define la amplificación como la respuesta de sitio dividida entre la respuesta en roca:

$$\frac{S_a - Referencia}{S_a - Roca}$$

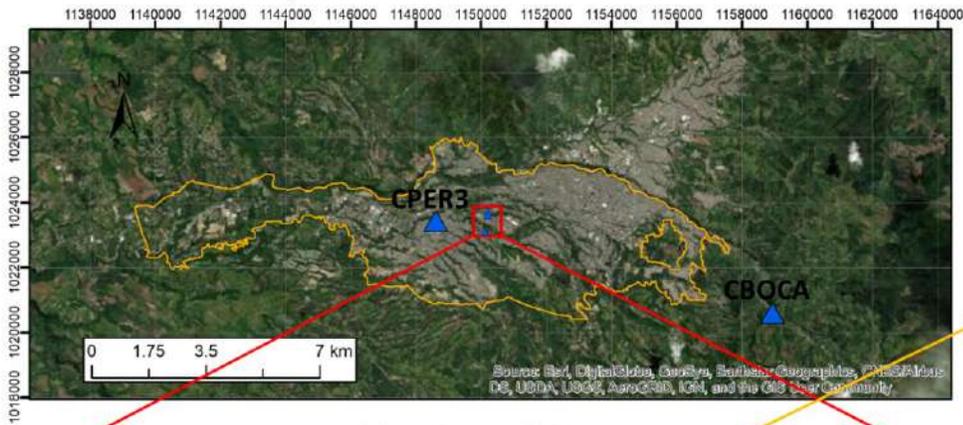


CUBA/CBOCA

## Red portátil - localización

Dentro de los análisis para el estudio del efecto de sitio y topográfico en Pereira, se instaló una red portátil de tres estaciones acelerográficas entre el Parque del Café de la ciudad y la Universidad Católica.

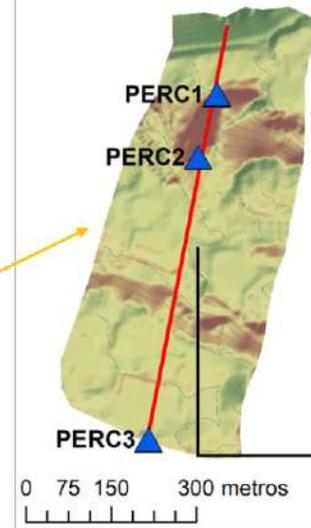
a) Ubicación de la Red Portátil



b) Red Portátil

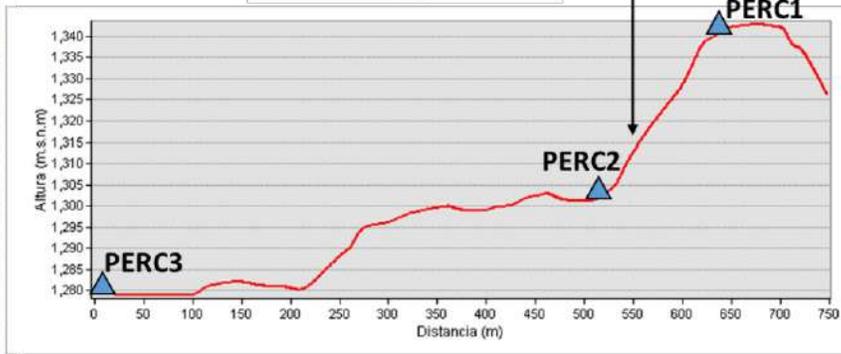


c) MDE



ESTACIONES			UBICACIÓN	
No.	Nombre	Código	Latitud	Longitud
1	Piscinas Parque del Café	PERC1	4.809	-75.723
2	Fin Tobogán Parque del Café	PERC2	4.808	-75.723
3	U. Católica	PERC3	4.804	-75.724

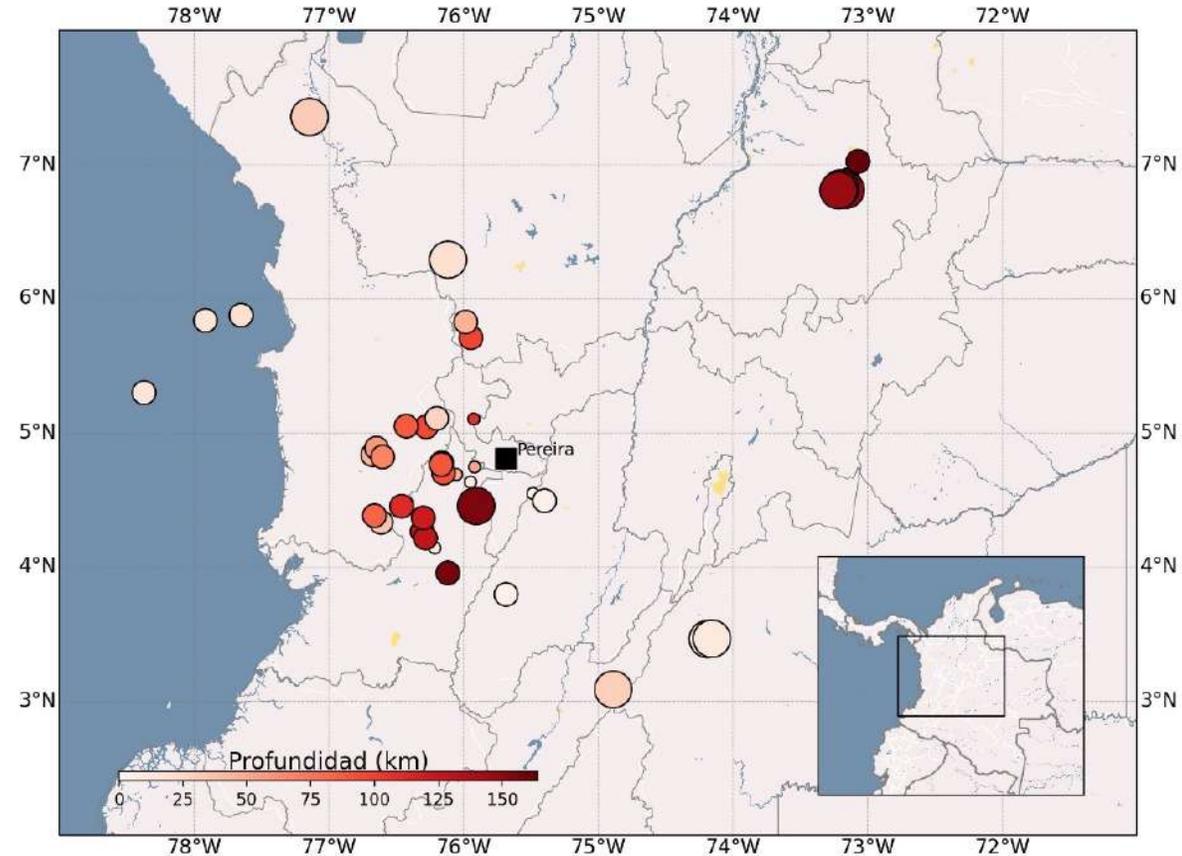
d) Perfil



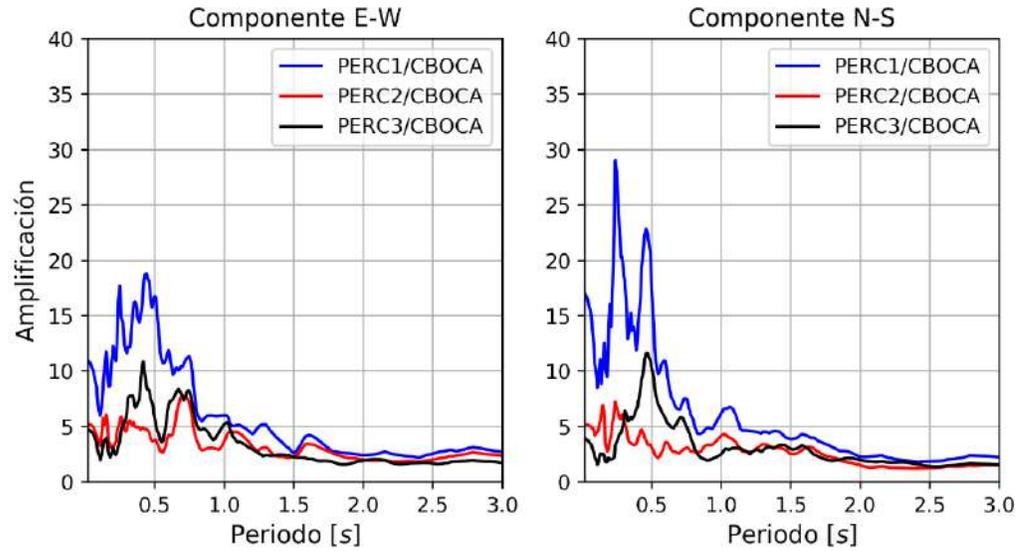
## Red portátil – datos registrados

**48 eventos** registrados entre marzo 2019 y marzo 2021.

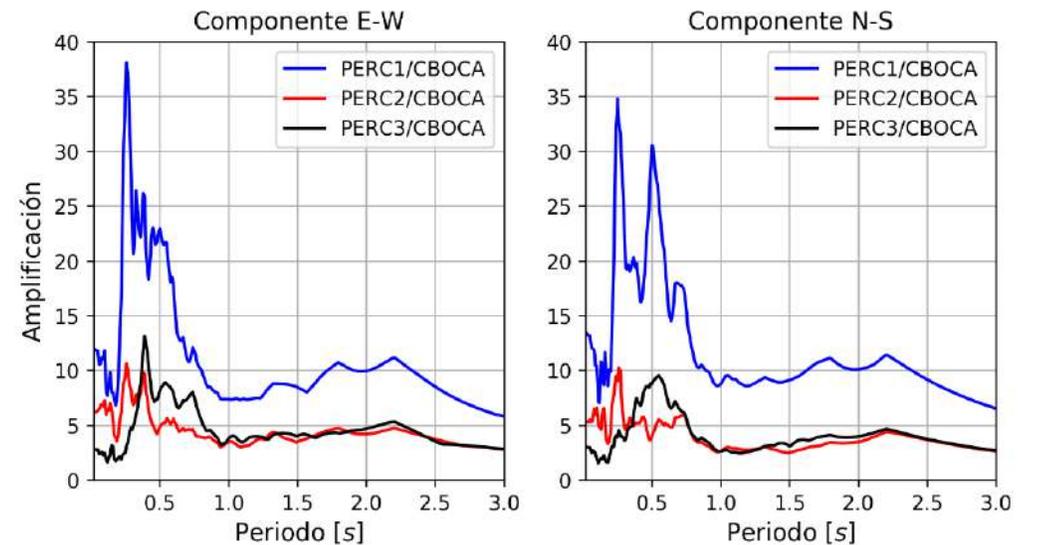
Eventos destacados:  
*Mesetas – Meta*  
*La Victoria – Valle*



## Red portátil – funciones de amplificación

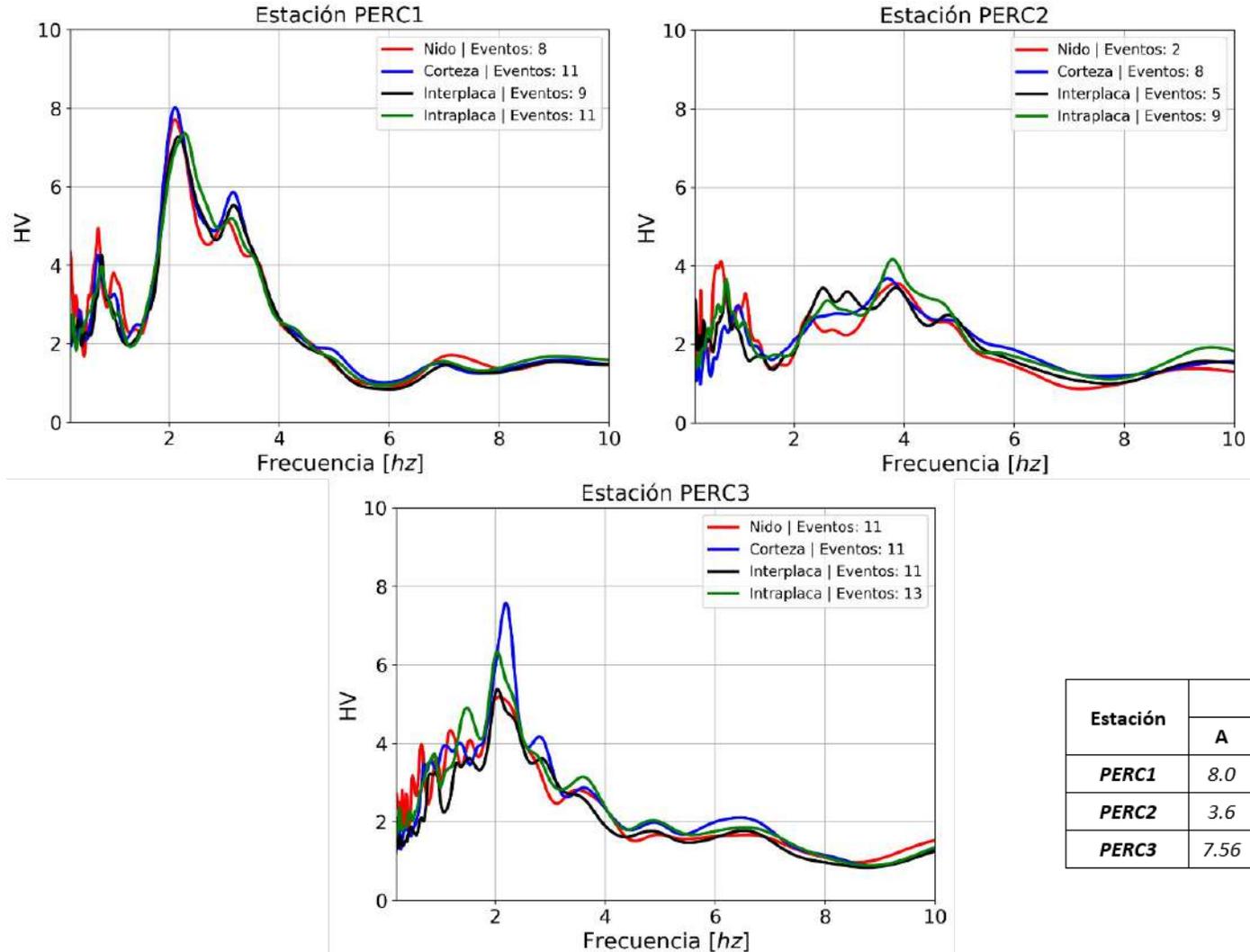


**FTs Mesetas - Meta**



**FTs La Victoria - Valle**

## Red portátil – Espectros H/V

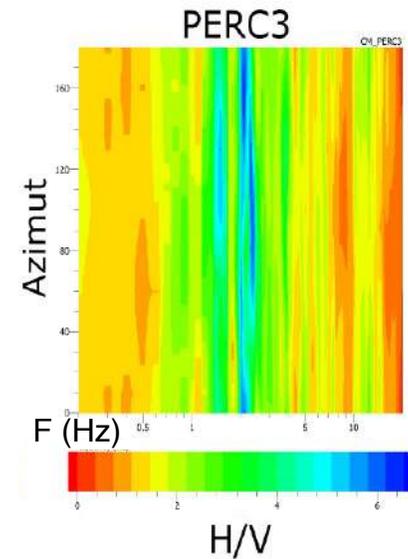
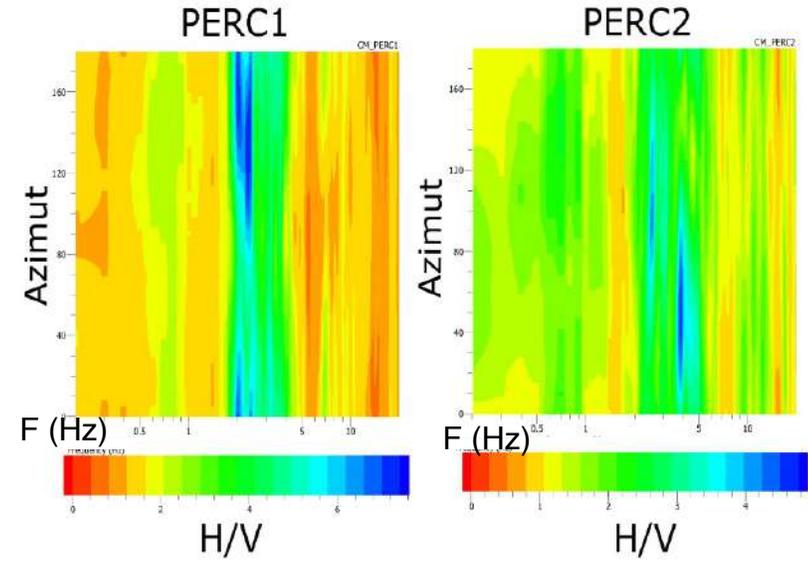
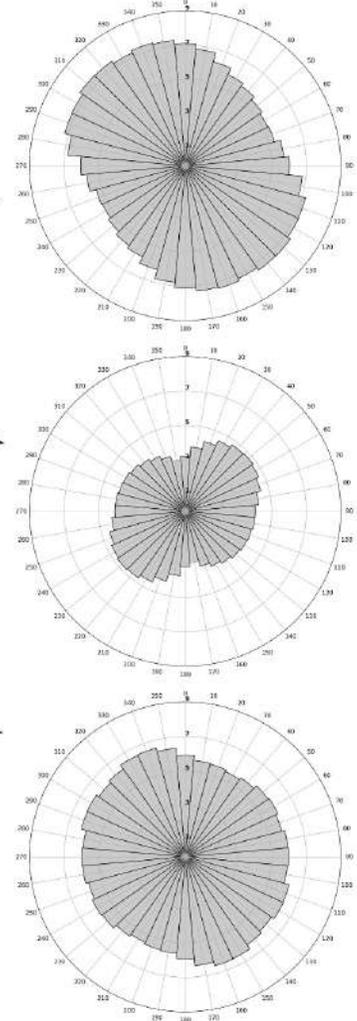
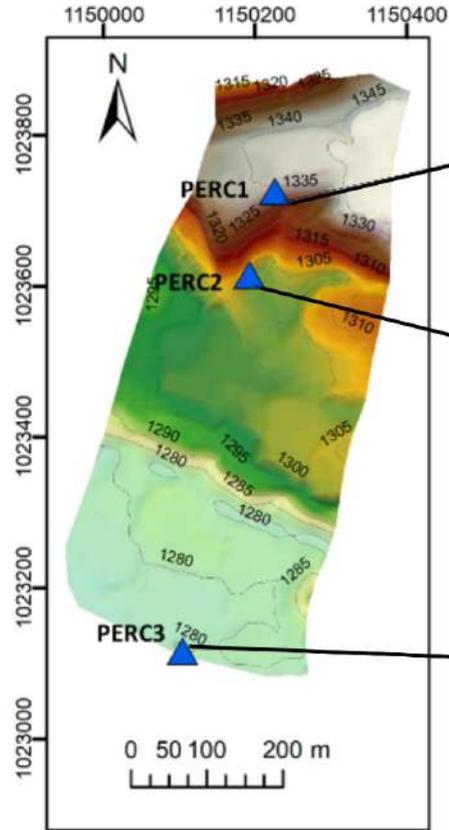


Estación	Cortical			Interplaca			Intraplaca			Nido		
	A	Hz	Kg	A	Hz	Kg	A	Hz	Kg	A	Hz	Kg
PERC1	8.0	2.11	25.0	7.2	2.17	24.3	7.3	2.28	23.6	7.7	2.09	28.3
PERC2	3.6	3.69	15.5	--	--	--	4.15	3.79	4.54	--	--	--
PERC3	7.56	2.19	13.1	5.3	2.0	14.1	6.32	2.0	19.6	5.1	2.08	12.9

# 5 Interpretación de señales

Zonificación de respuesta sísmica

## Red portátil – Análisis de direccionalidad



## Objetivo

- El Objetivo de la geología en el convenio fue recopilar toda la información secundaria disponible con el fin de entender de manera conceptual la estructura de los depósitos en la ciudad.
- Se realizaron controles y validaciones en campo de la información disponible

# 6 Caracterización geológica

## Geología en escala 1:100.000

Zonificación de respuesta sísmica

- Qtl** Depósitos de pendiente
- Tplz** Formación Zarzal
- Tmp** Formación La Paila
- Tocp** Formación Cauca Superior

**Qto** Flujos de lodo y cenizas recientes

**Tpp** Pórfido Andesítico de Pereira

**Toi** Formación Amagá

**Kvo** Grupo Diabásico

**Qal** Depósitos recientes no diferenciados

**Qflv** Flujos de lodo volcánico

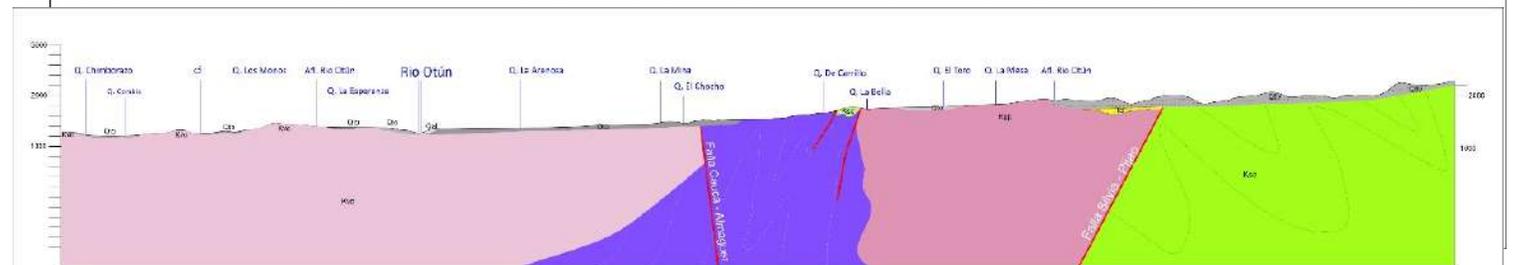
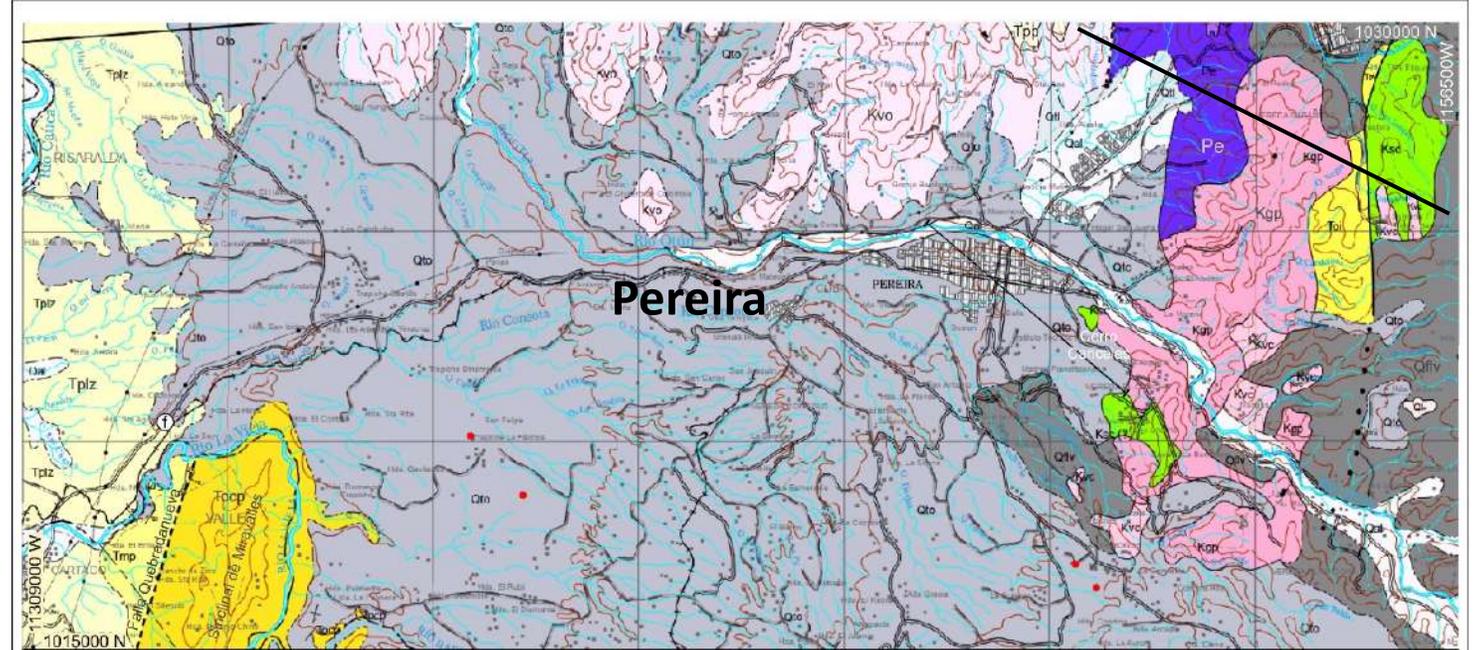
**Ksc?** Formación Quebradagrande

**Kvc** Stock gábrico de Pereira

**Kgp** Stock gábrico de Pereira

**Pe** Esquistos verdes y grafiticos

Ingeominas (Caballero y Zapata, 1984) Escala 1:100.000



Nota: El corte geológico es una interpretación a partir del Mapa Geológico del Ingeominas (Caballero y Zapata, 1984).

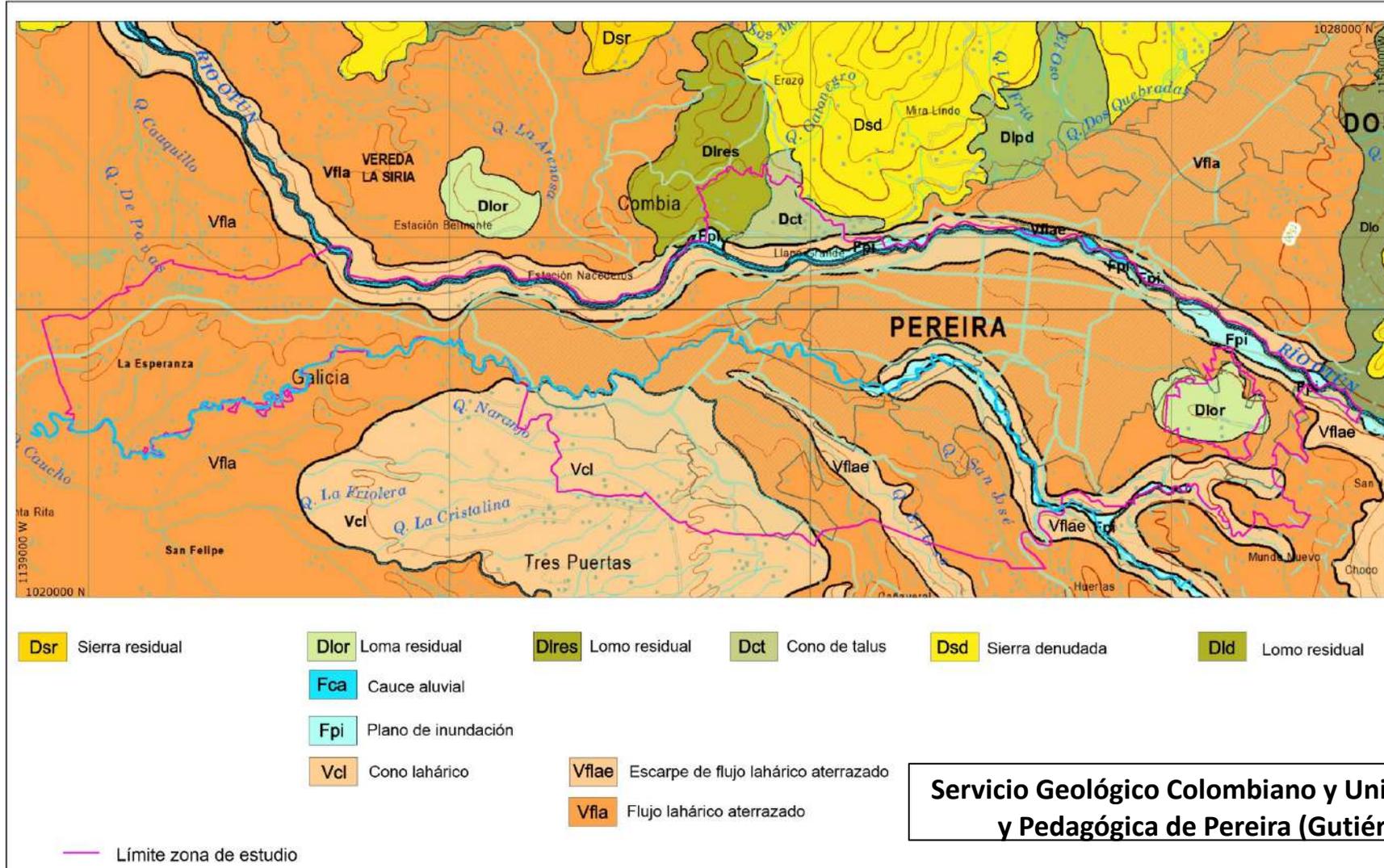
La Falda Cauca-Almaguer representa el límite de las rocas básicas del occidente y rocas metamórficas del Complejo Arauca de edad Cretácico Superior del oriente.

Fuente: INEGI © 1992 C.

# 6 Caracterización geológica

## Geomorfología en escala 1:100.000

Zonificación de respuesta sísmica

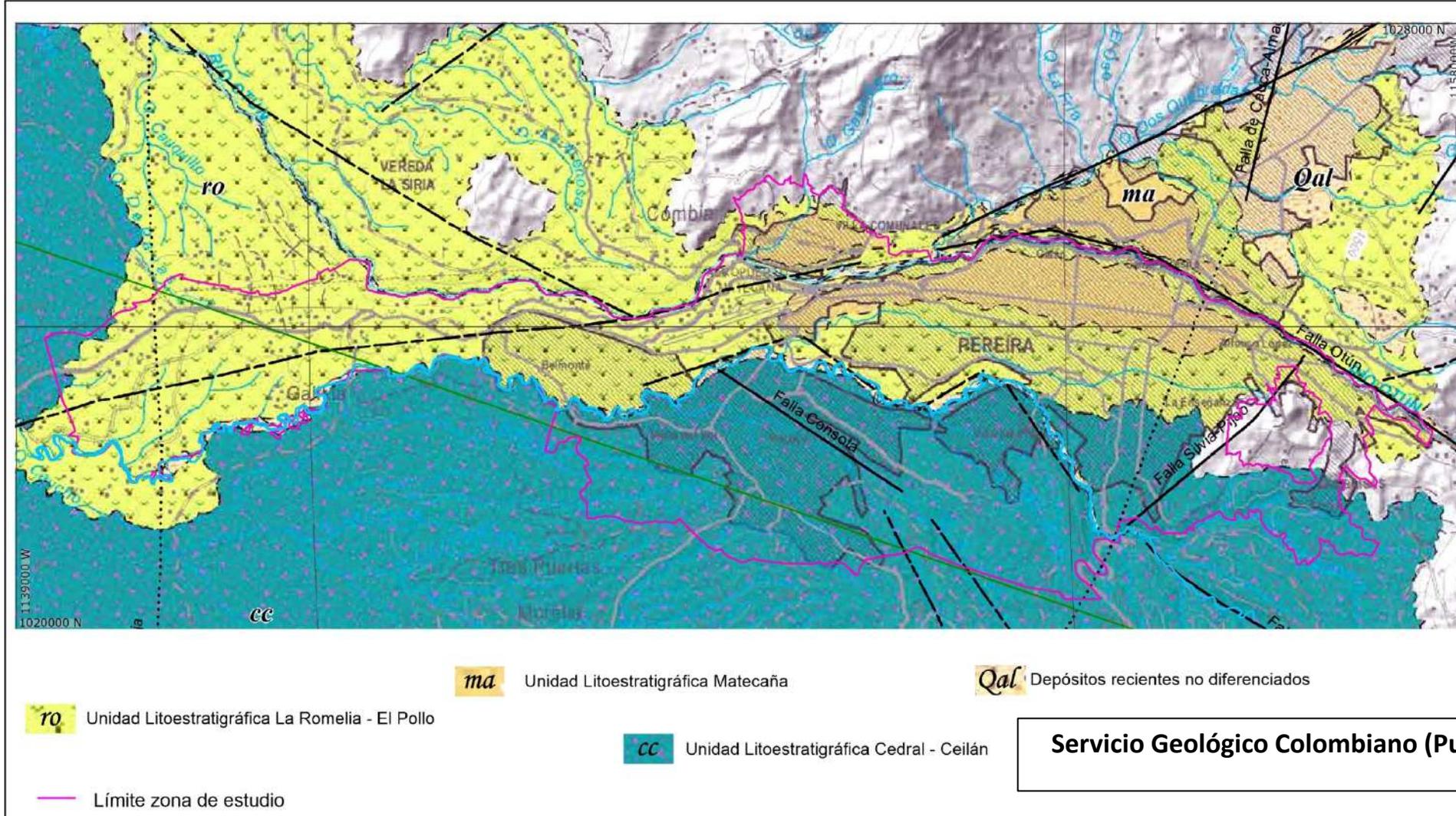


Servicio Geológico Colombiano y Universidad Tecnológica y Pedagógica de Pereira (Gutiérrez et al., 2015)

# 6 Caracterización geológica

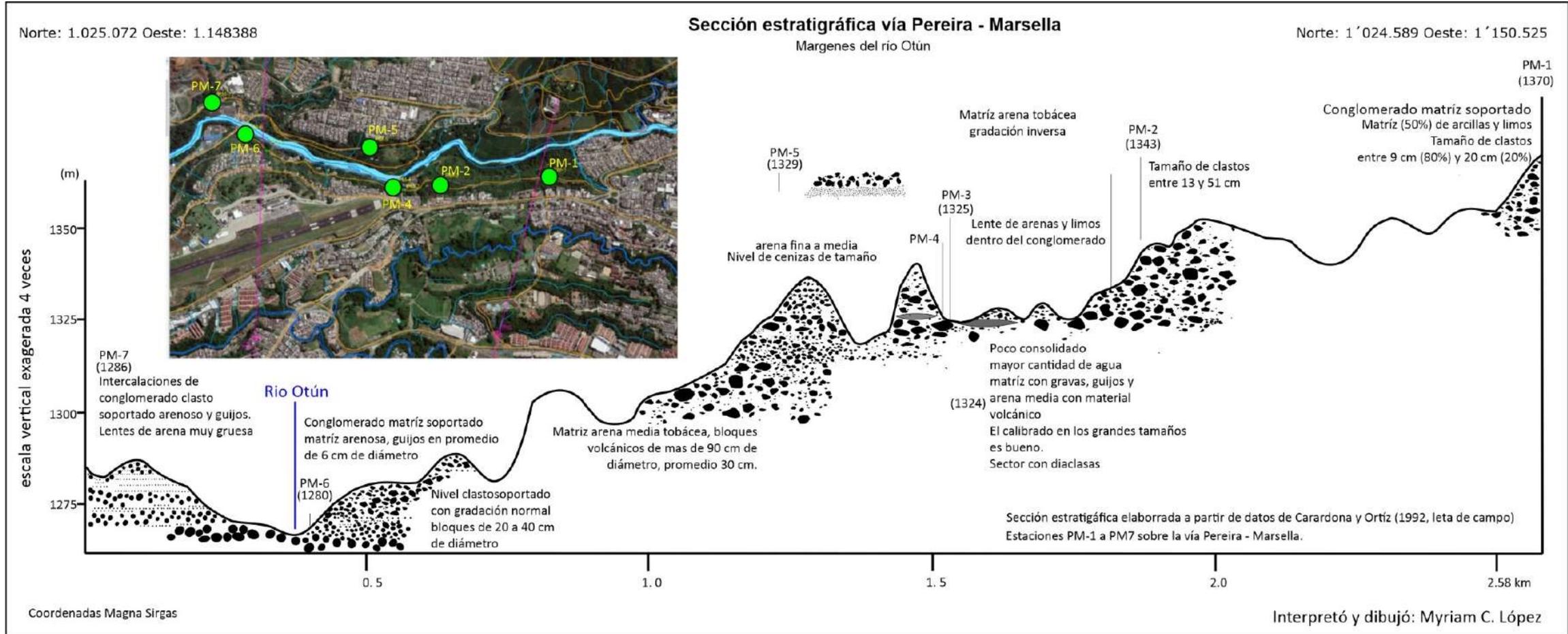
## Unidades litoestratigráficas complejo volcánico Paramillo de Santa Rosa

Zonificación de respuesta sísmica



## Estaciones de control

Zonificación de respuesta sísmica



(Cardona y Ortíz, 1994)

## Validaciones en campo

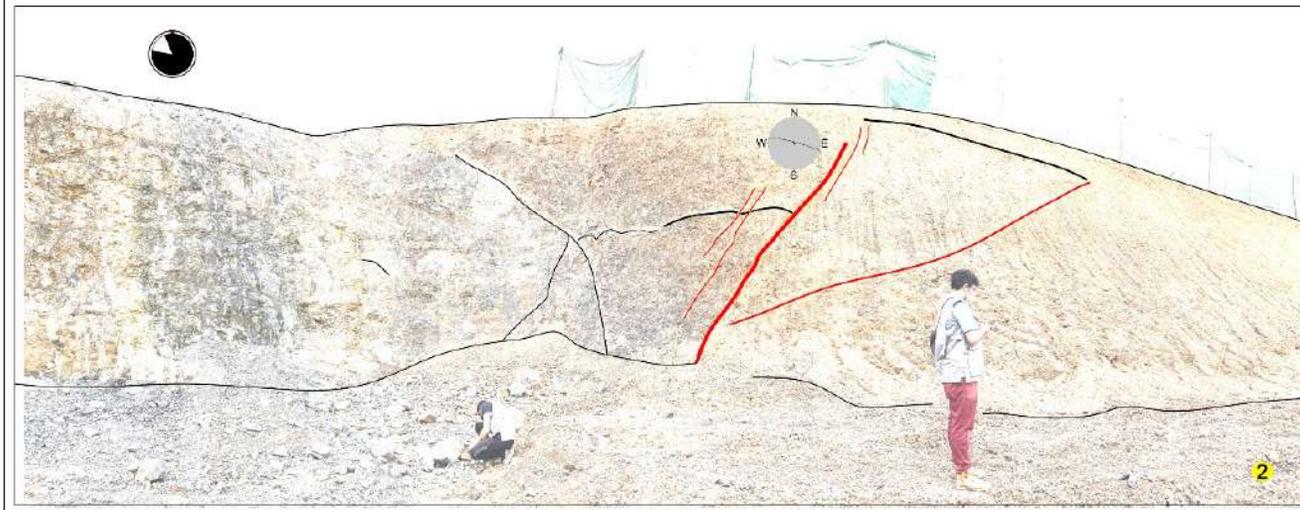
Base del Cerro Canceles Depósitos de cenizas suprayaciendo rocas gabroicas



Zonificación de respuesta sísmica

## Validaciones en campo

Zonificación de respuesta sísmica

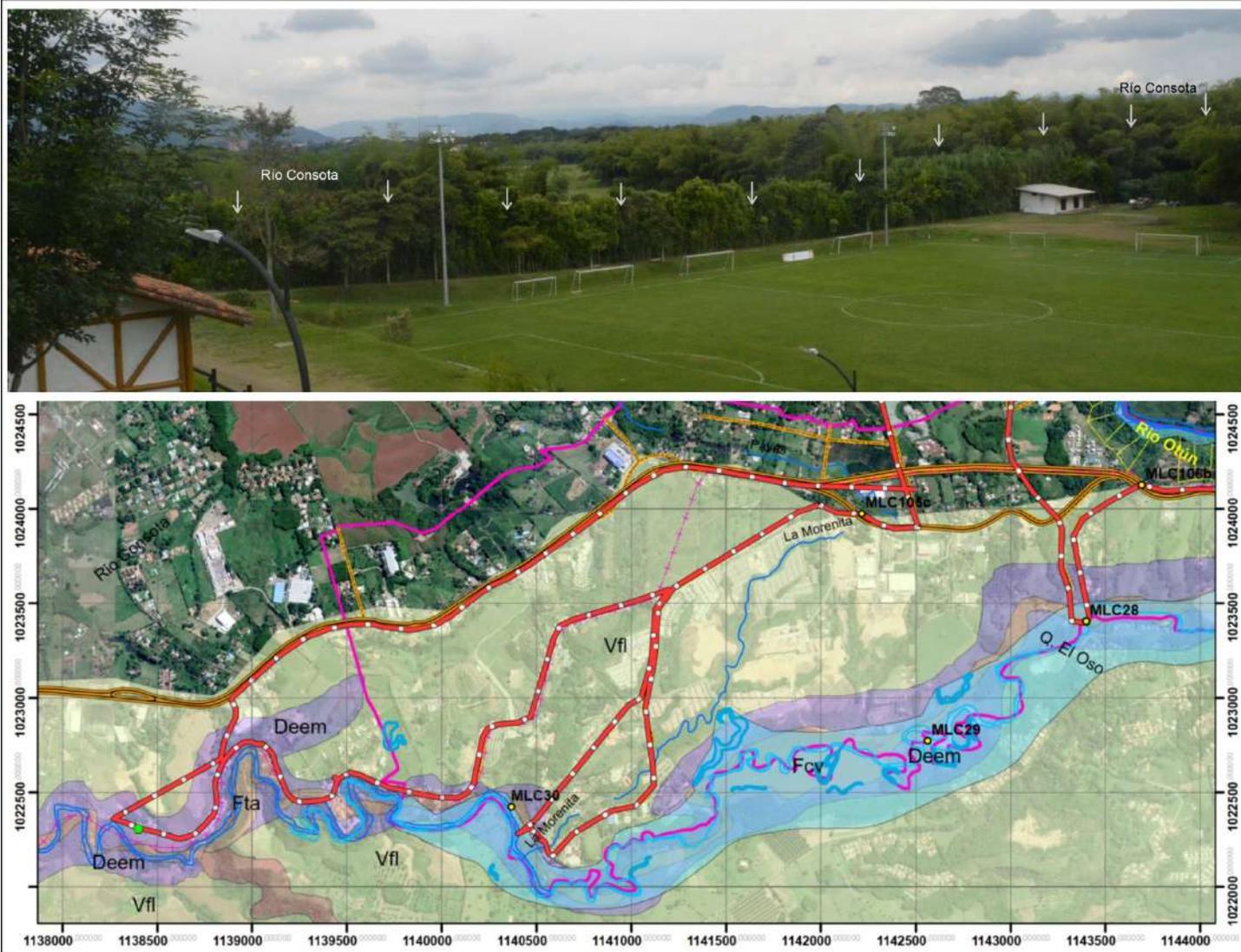


Grupo Diabásico  
Depósitos coluvio-aluviales  
Falla E-NE dextral inversa

# 6 Caracterización geológica

Zonificación de respuesta sísmica

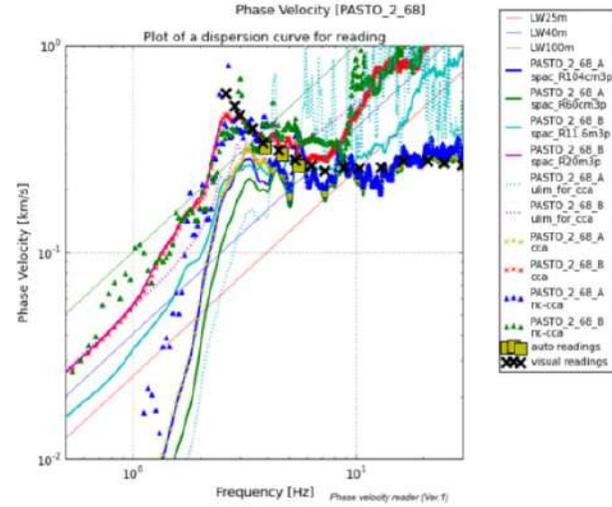
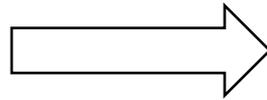
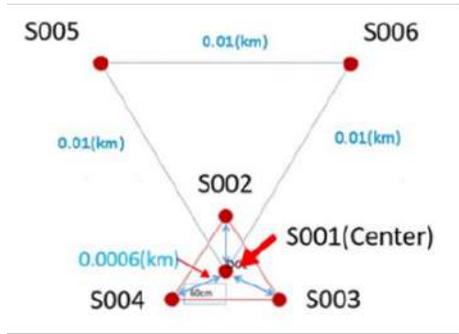
## Validaciones en campo



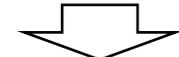
Zonificación de respuesta sísmica

## Metodología

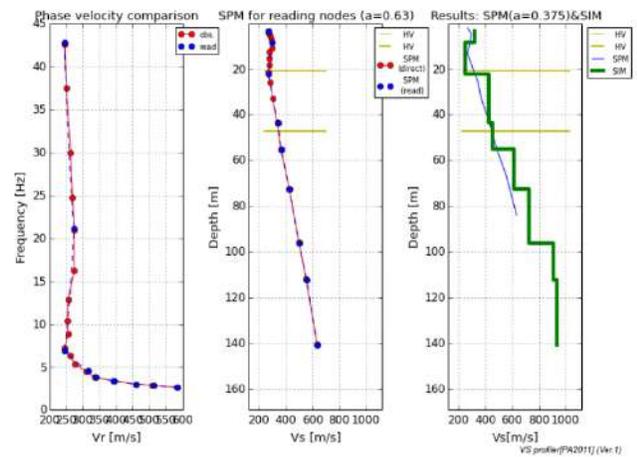
Registro de microtremores



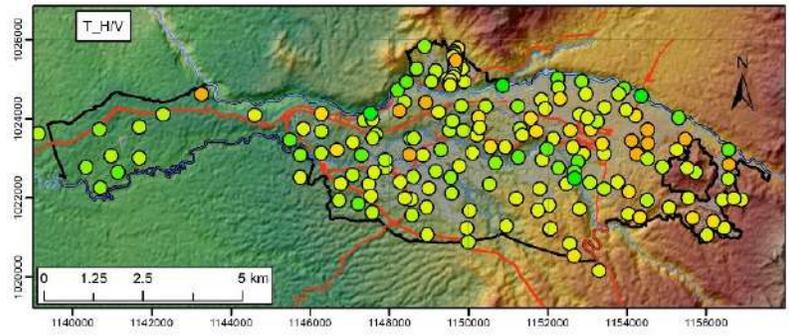
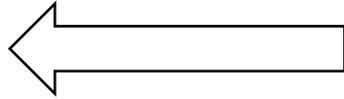
- Software: BIDO
- Métodos: SPAC, CCn, CCA



Inversión directa (Pelekis, 2011)



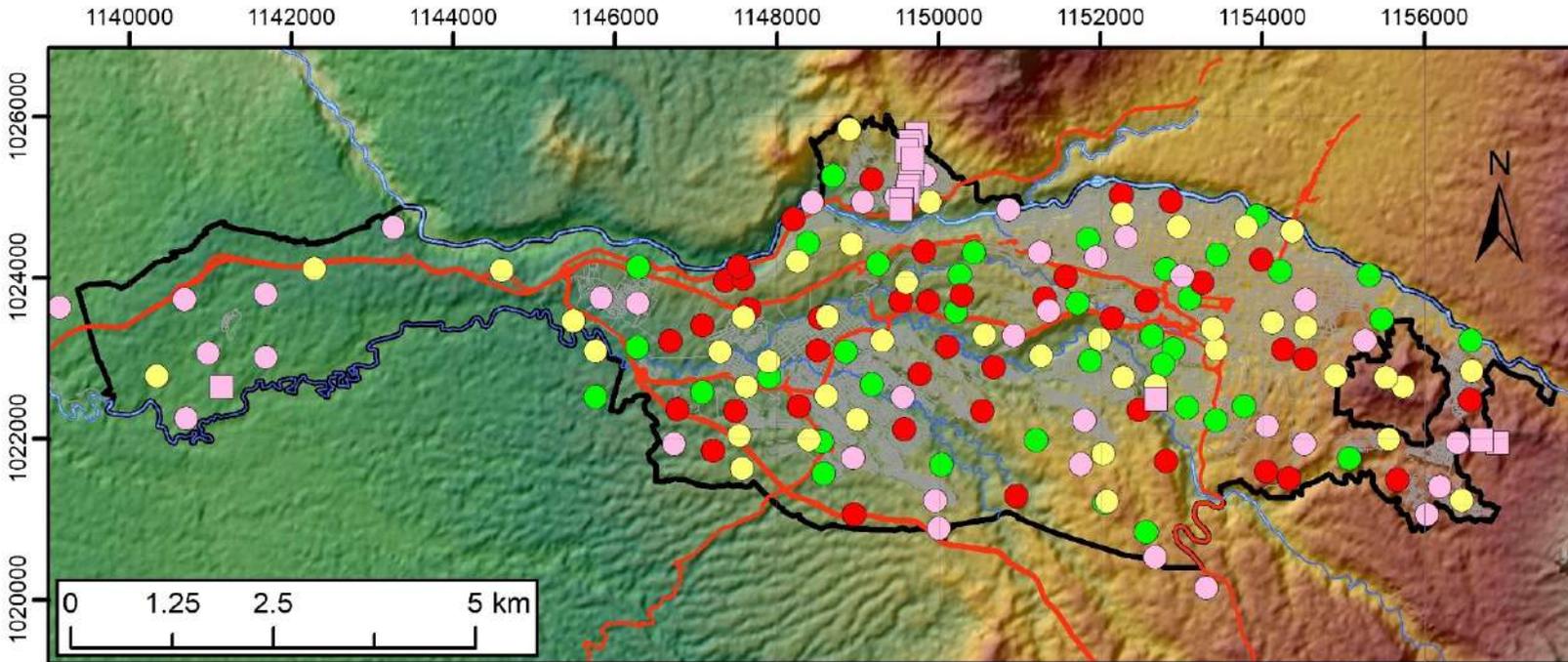
Post procesamiento



Vs30, Período, Profundidad del basamento

## Campañas de medición

Se realizaron tres campañas de medición (174 sitios – 16 únicamente con H/V):



### Exploración Geofísica

#### Simbología

##### Tipo de ensayo

- H/V
- H/V y SPAC

##### Escala de colores

##### Campaña

- 1
- 2
- 3
- 4

##### Vías

##### Drenaje Doble

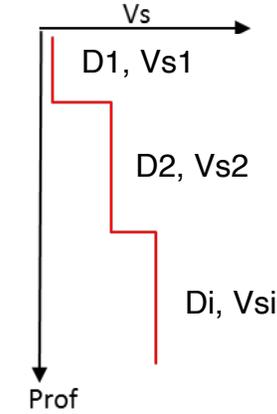
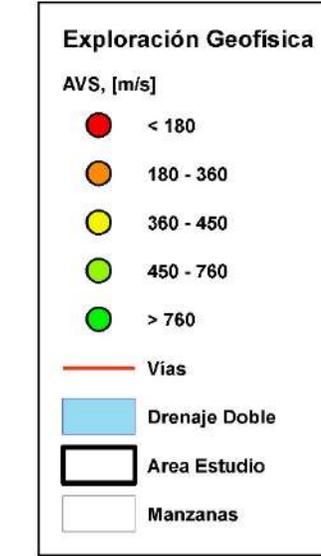
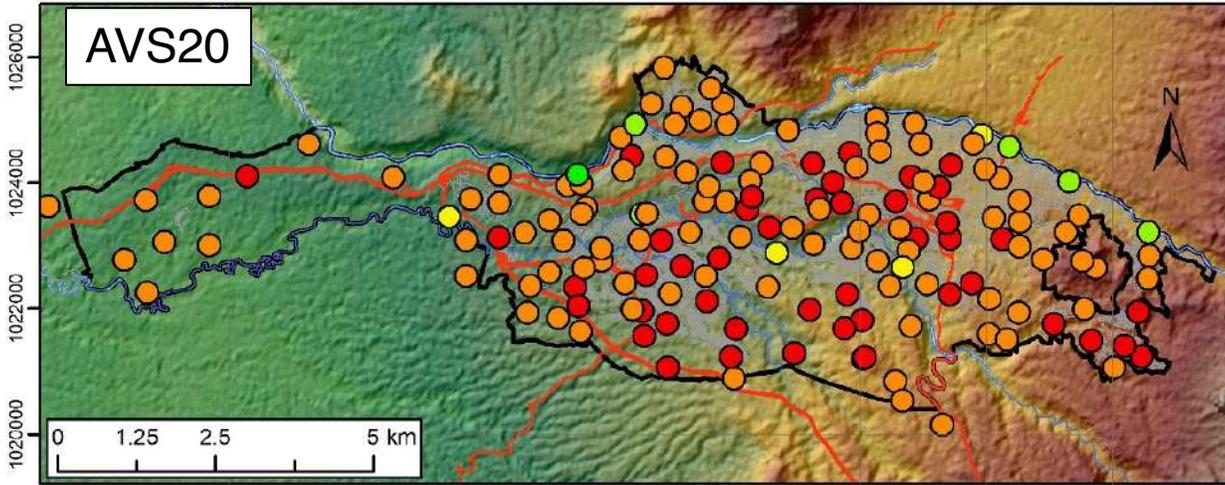
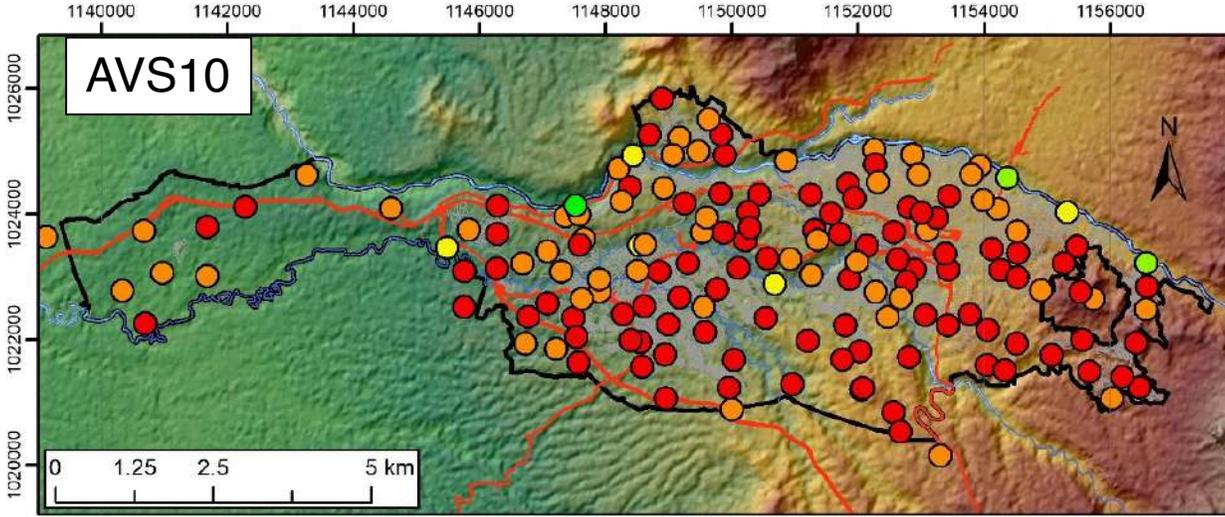
##### Area Estudio

##### Manzanas

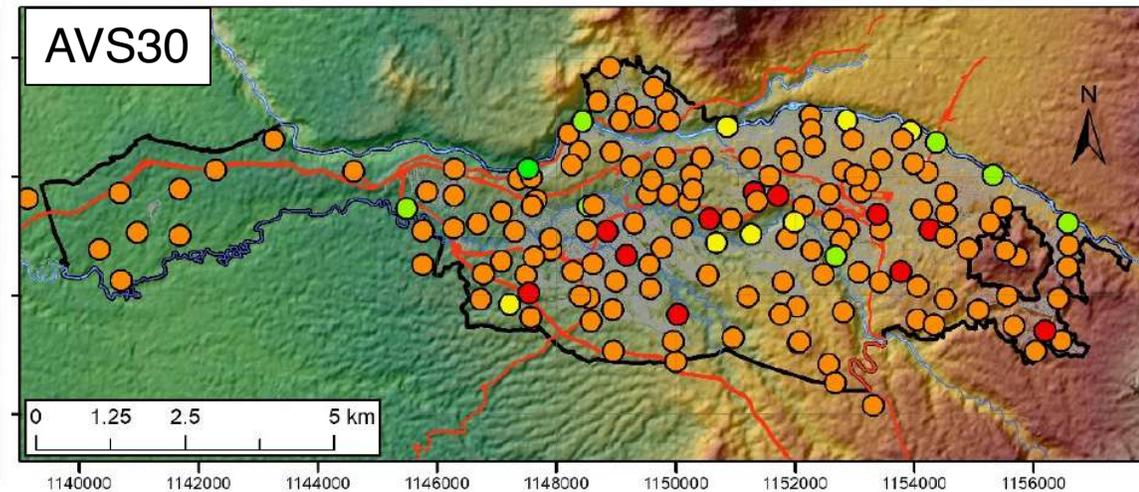
# 7 Caracterización geofísica

Zonificación de respuesta sísmica

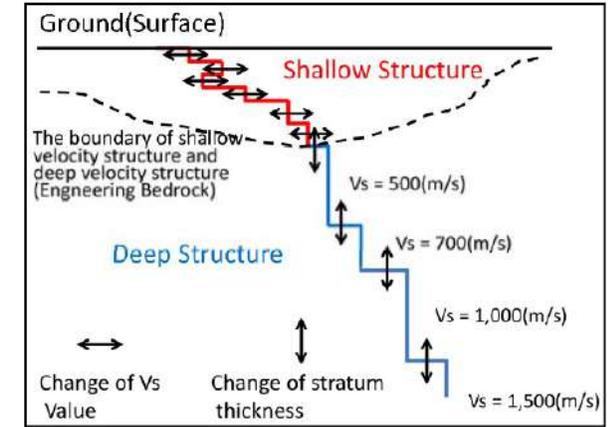
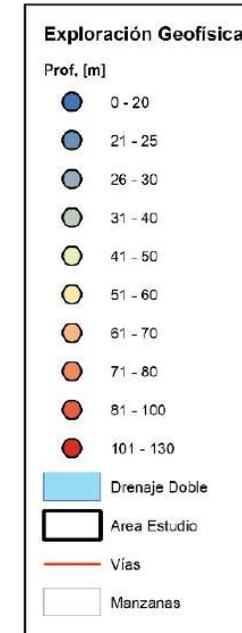
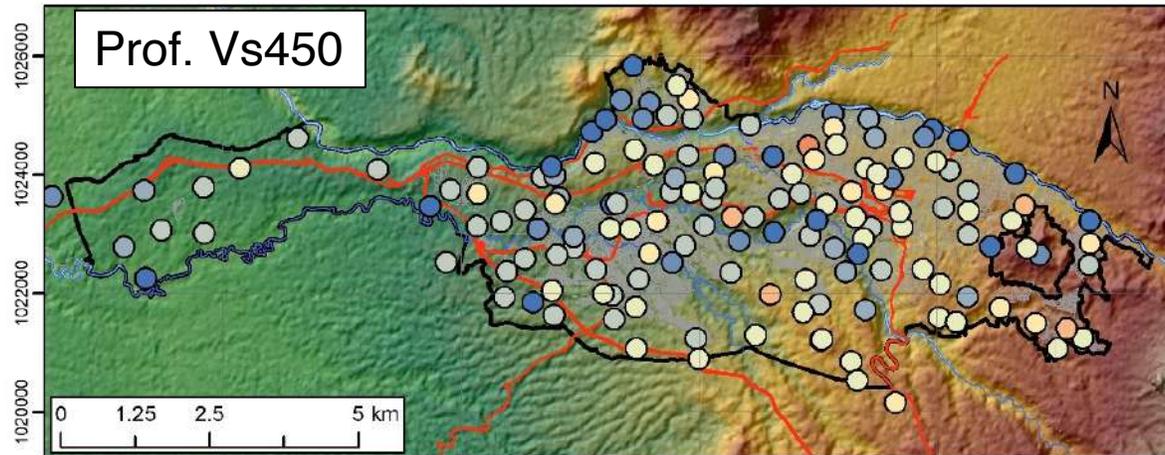
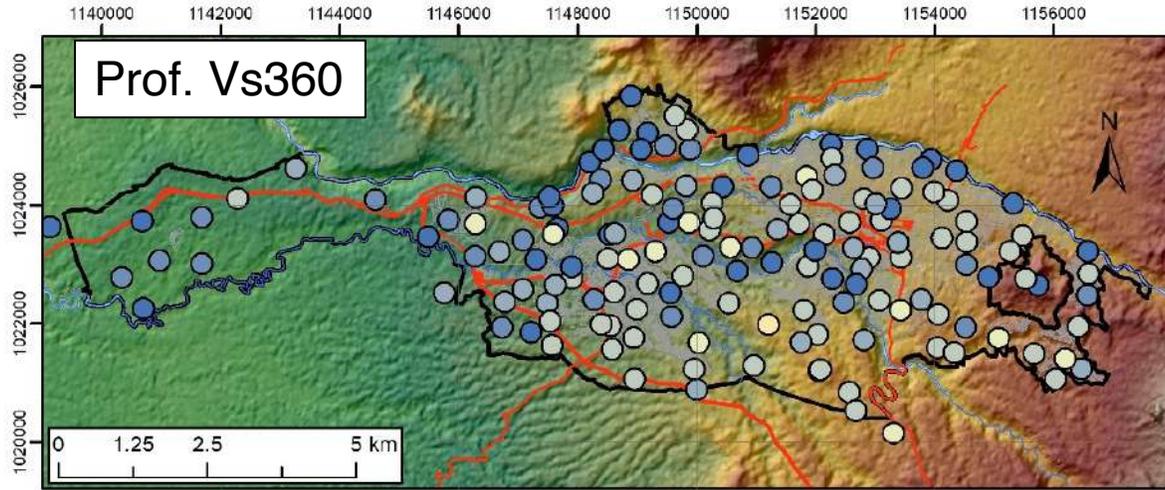
## Vs promedio



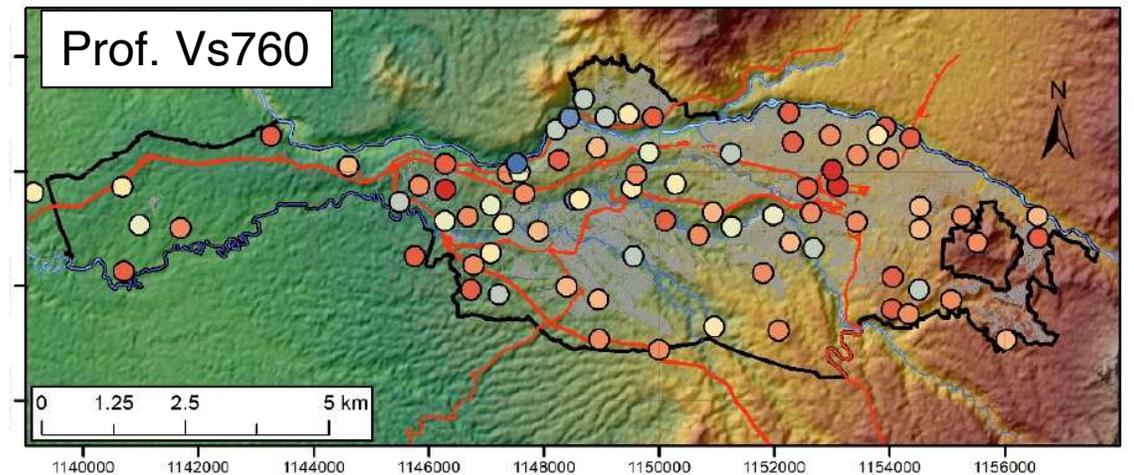
$$AVS_x = \frac{\sum_i D_i}{\sum_i \frac{D_i}{V_{S_i}}}$$



## Profundidades de Vs de referencia



Estructura del subsuelo  
(Senna, et al., 2013)



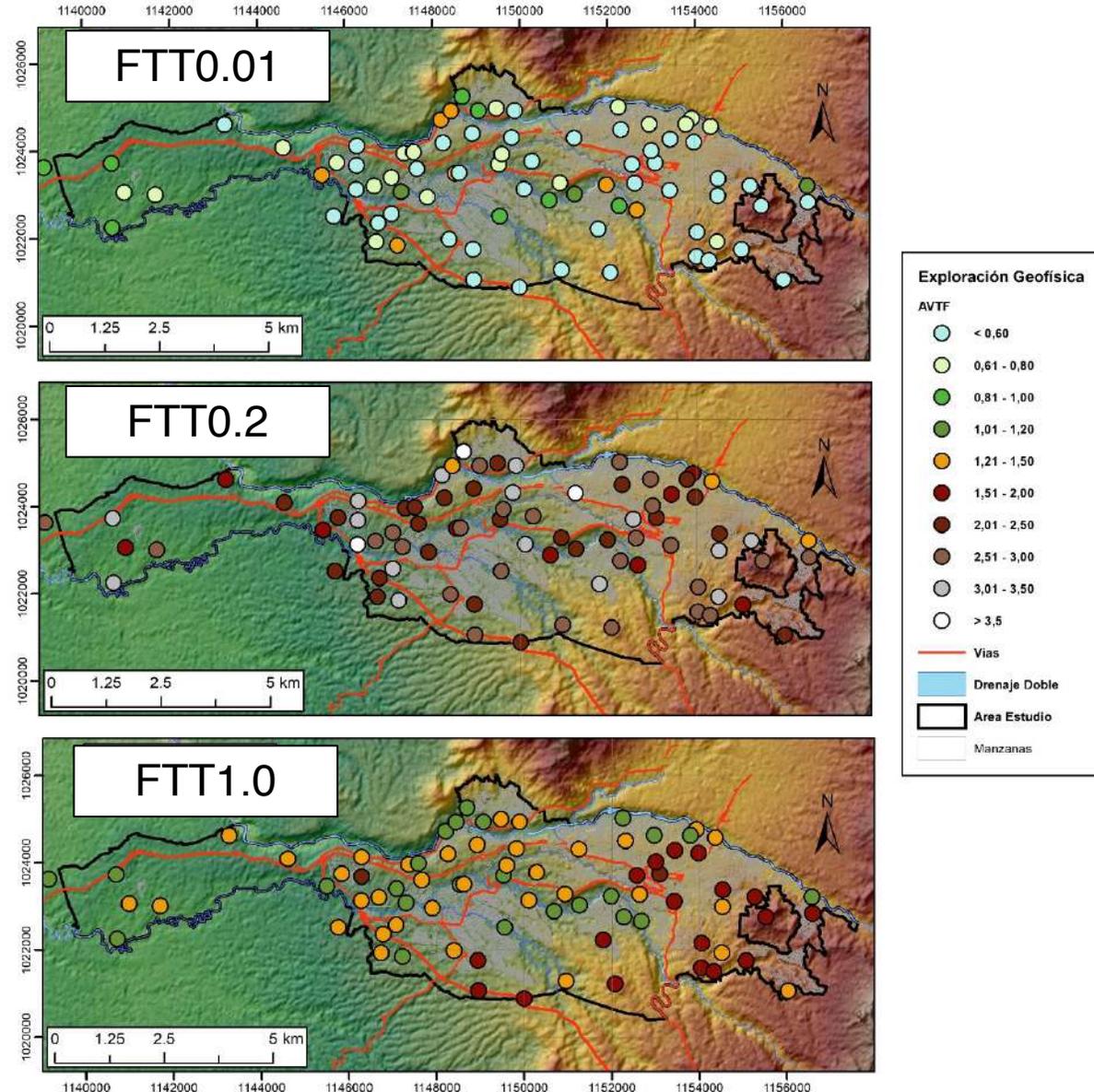


# 7 Caracterización geofísica

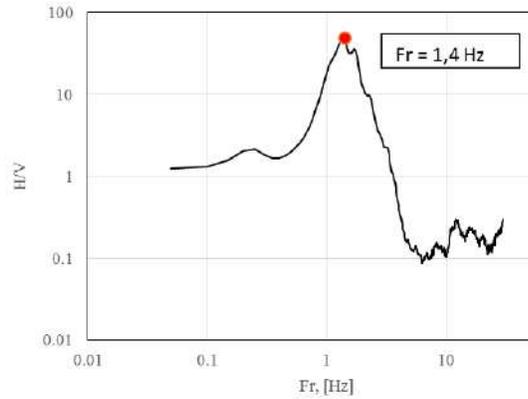
Zonificación de respuesta sísmica

## Amplificación teórica lineal

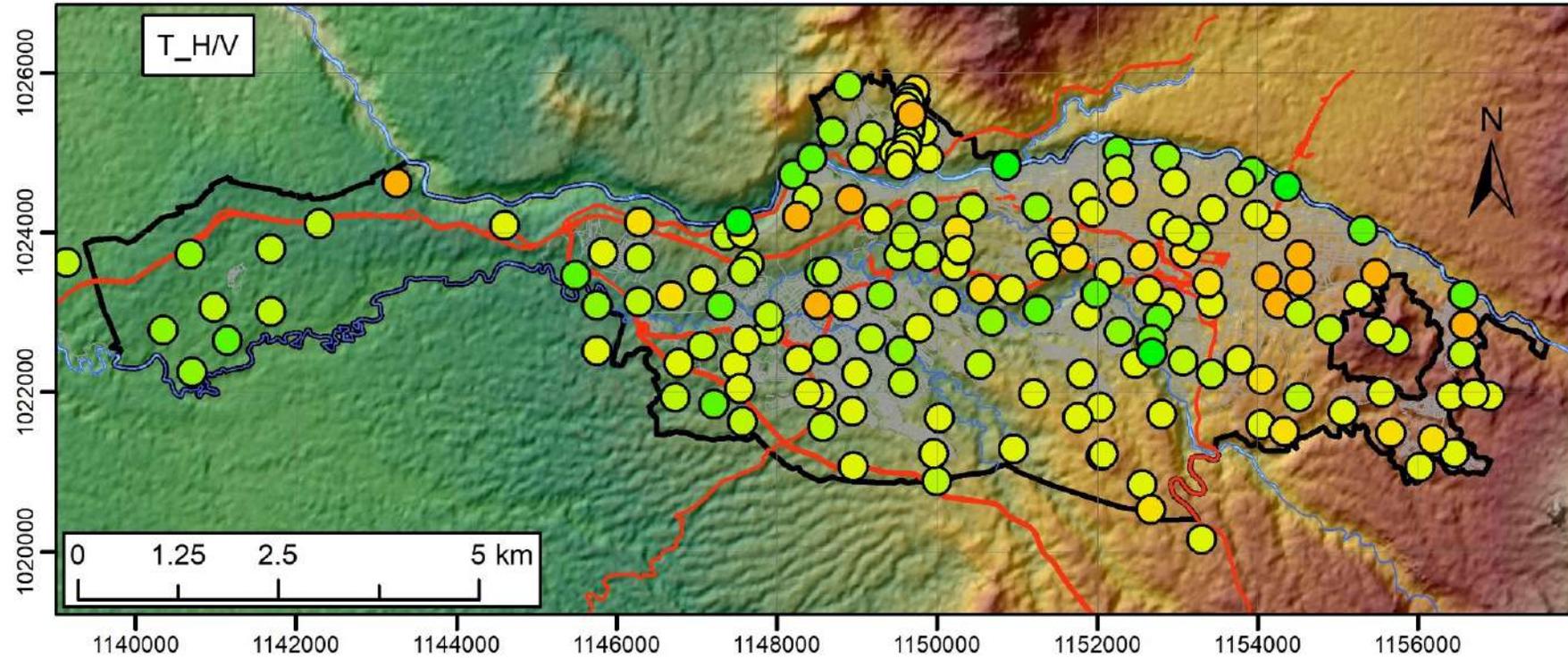
$T, [s]$	Factor de amplificación
0.05	AVTF(0.005-0.015)
0.1	AVTF(0.07-0.14)
0.2	AVTF(0.14-0.32)
0.5	AVTF(0.32-0.7)
1	AVTF(0.9-1.1)
1.7	AVTF(0.3-2)
2.5	AVTF(2 - 3)
3.5	AVTF(3 - 4)
4.5	AVTF(4 - 5)
5.5	AVTF(5 - 6)
6.5	AVTF(6 - 7)
7.5	AVTF(7 - 8)
8.5	AVTF(8 - 9)
9.5	AVTF(9 - 10)



## Medición de periodos con H/V



Nakamura aplicado a microtremores (H/V)





## Actividades realizadas



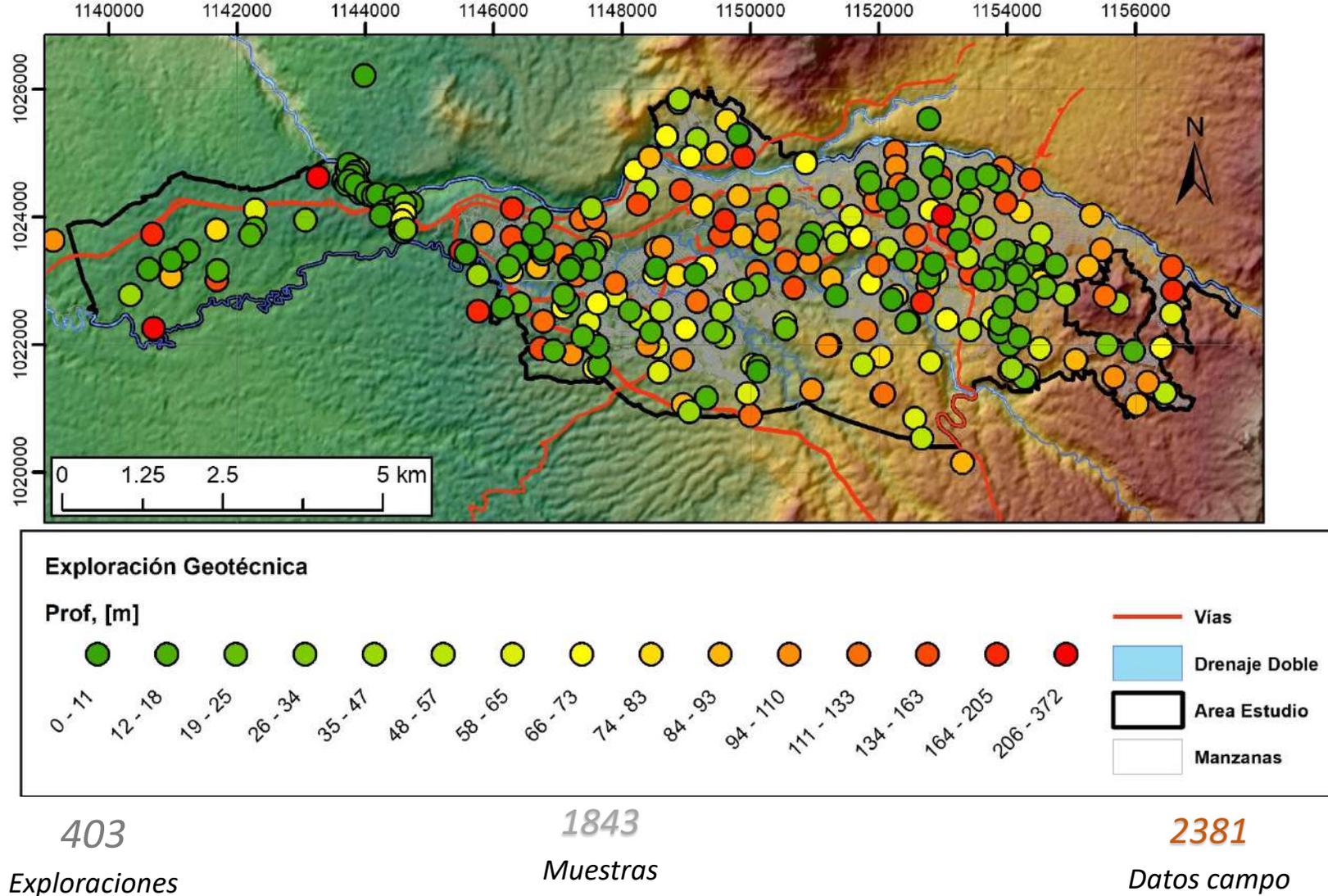
*Perforación en Parque la Libertad*

- 7 perforaciones realizadas en el CEC SGC-PEREIRA (2019)
- 15 perforaciones realizados en el Proyecto de MZS (1999)
- 218 perforaciones recopiladas en el CEC SGC-PEREIRA (2020)
- 158 SPAC ejecutados en el CEC SGC-PEREIRA (2019 a 2021)

# 8 Caracterización geotécnica

Zonificación de respuesta sísmica

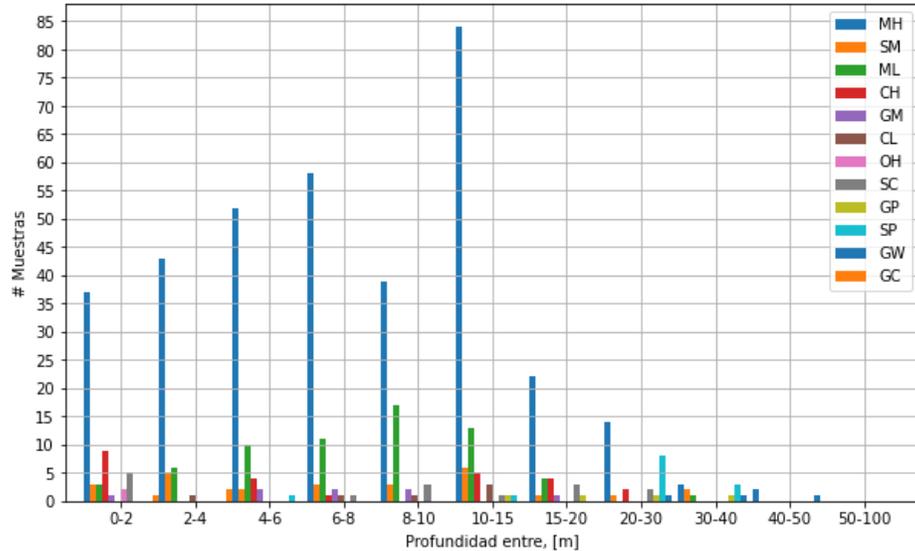
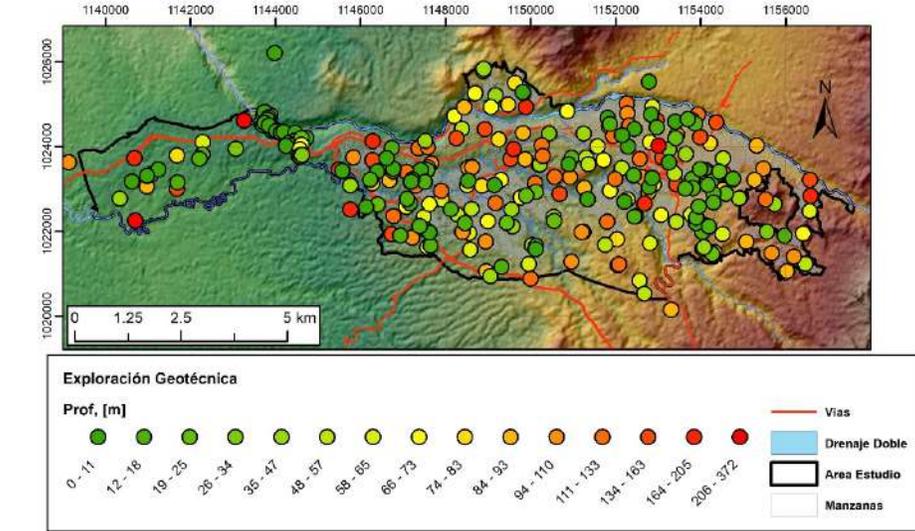
## Resumen de información



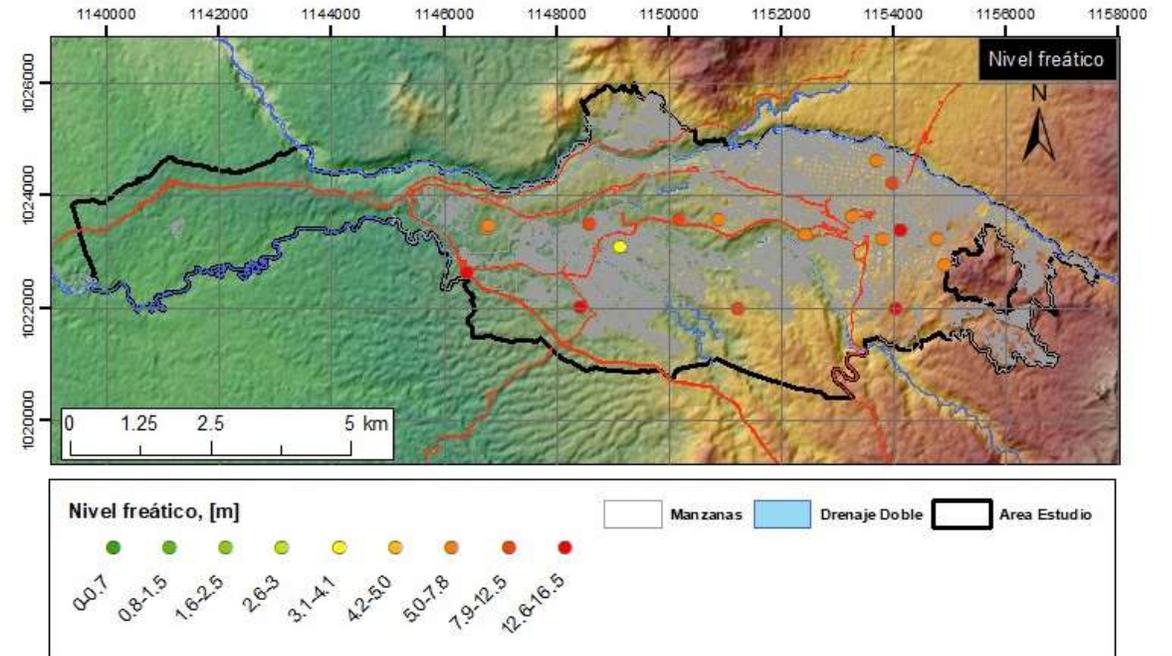
# 8 Caracterización geotécnica

Zonificación de respuesta sísmica

## Resumen de datos recopilados



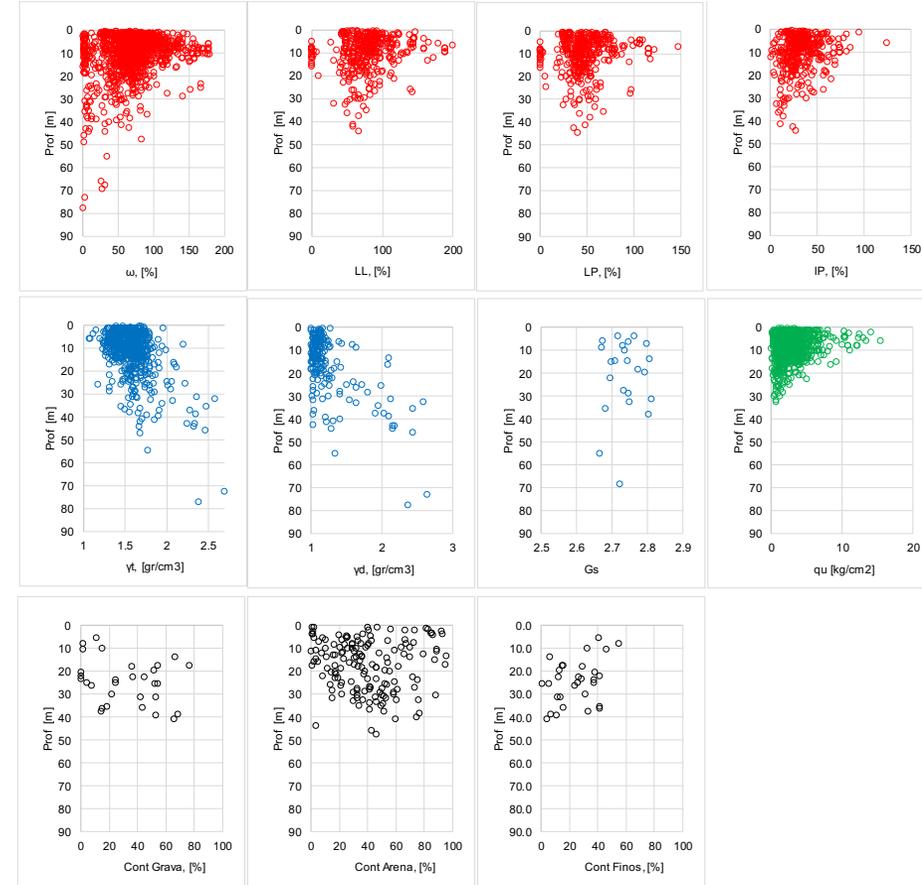
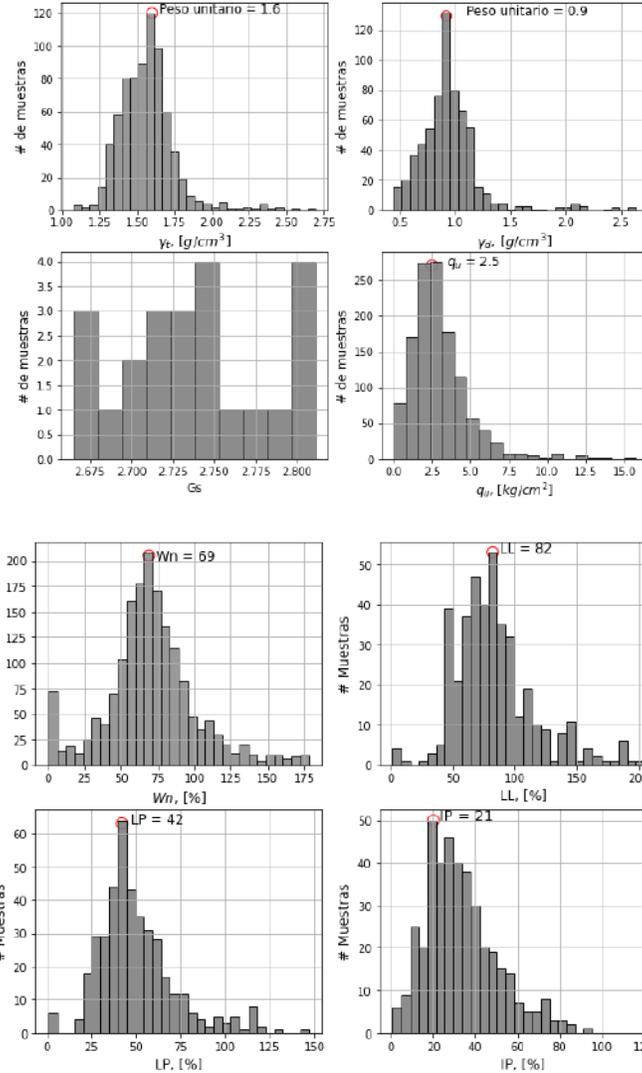
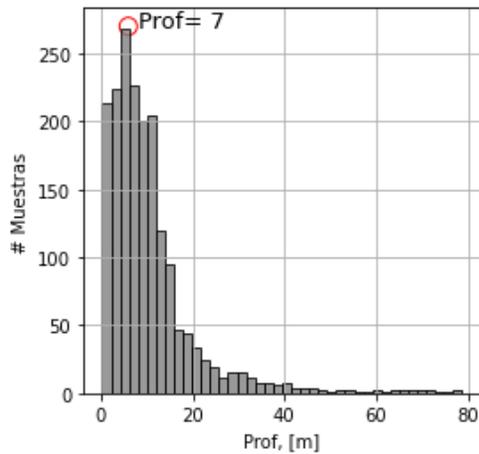
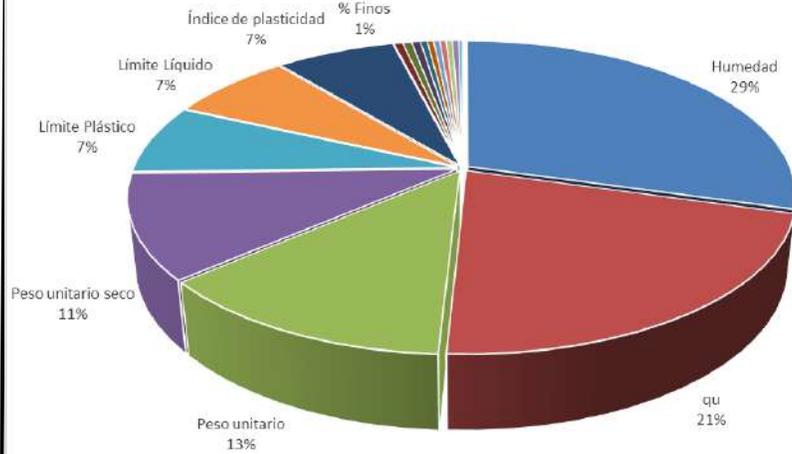
Fuente	# Exploraciones	Porcentaje, [%]
SGC	165	41%
ALM	128	32%
HFC	36	9%
UNA	15	4%
ROC	10	2%
AQU	9	2%
SUC	8	2%
SAL	5	1%
IEL	4	1%
HGG	4	1%
OIN	3	1%
IGN	3	1%
ALI	3	1%
GEI	2	0%
GEX	2	0%
GEO	1	0%
SLM	5	1%



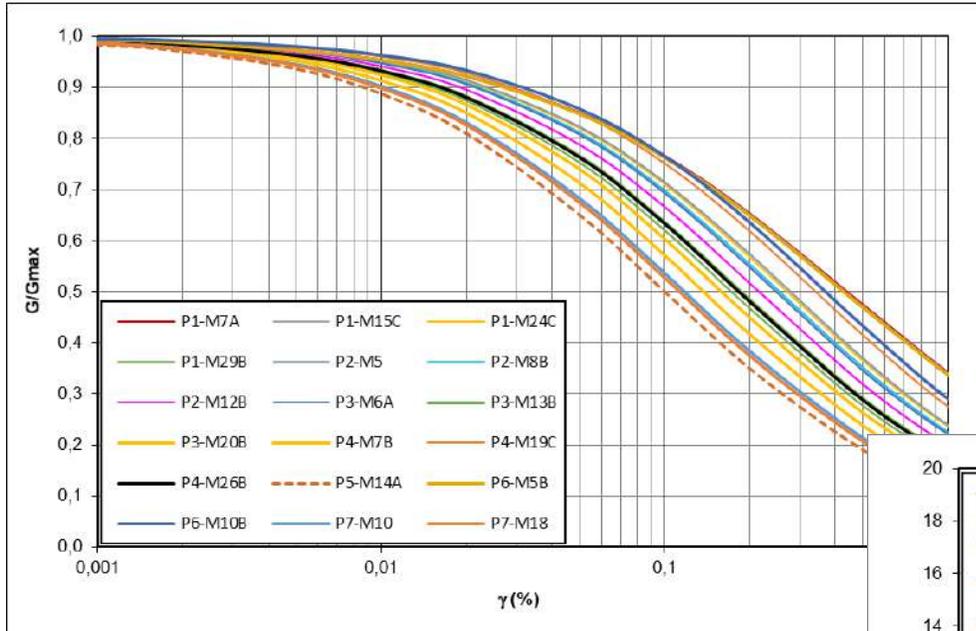
# 8 Caracterización geotécnica

1844 muestras

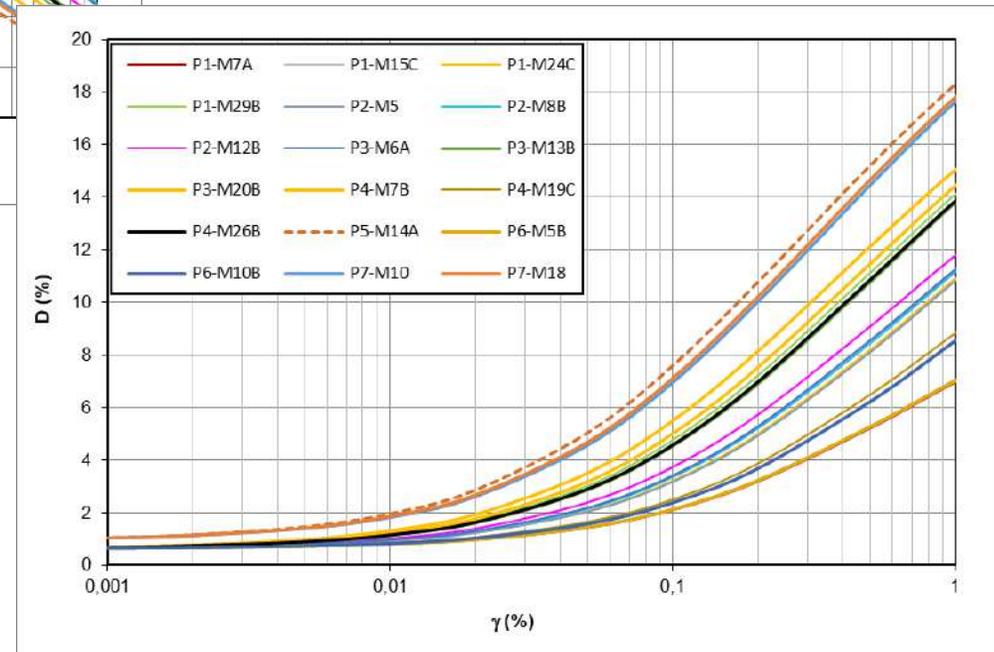
Zonificación de respuesta sísmica



## Propiedades dinámicas



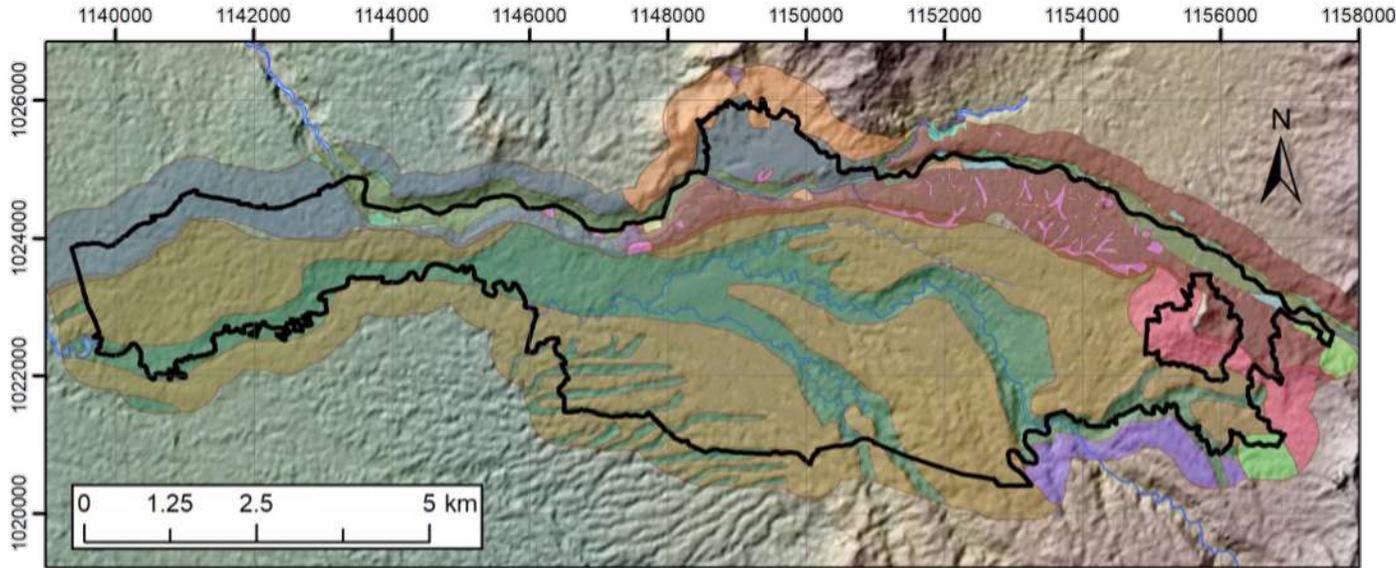
Presión de confinamiento = 101 kPa



# 8 Caracterización geotécnica

Zonificación de respuesta sísmica

## Zonificaciones geotécnicas previas



**POMCA Otún (2017):** recoge MZS (1999) y caracteriza suelos residuales y transportados volcánicos y fluviales.

**POMCA La Vieja (2018):** no recoge MZS (1999), por la gran extensión de la cuenca no se detalla el sector de Pereira. Se basa en geología básica y caracteriza suelos transportados volcánicos y fluviales.

### Geología superficial

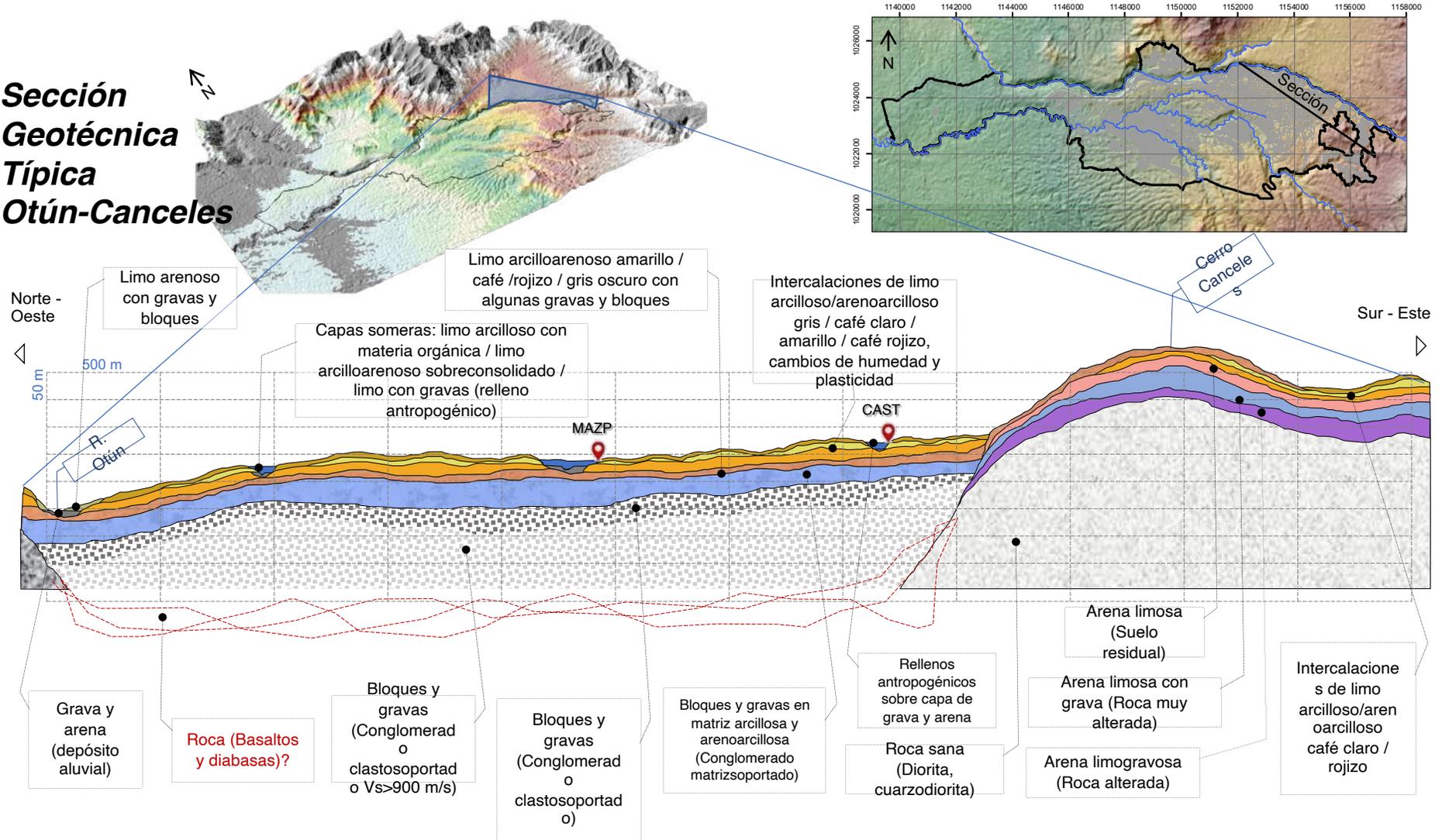


# 8 Caracterización geotécnica

Zonificación de respuesta sísmica

## Secciones 2D

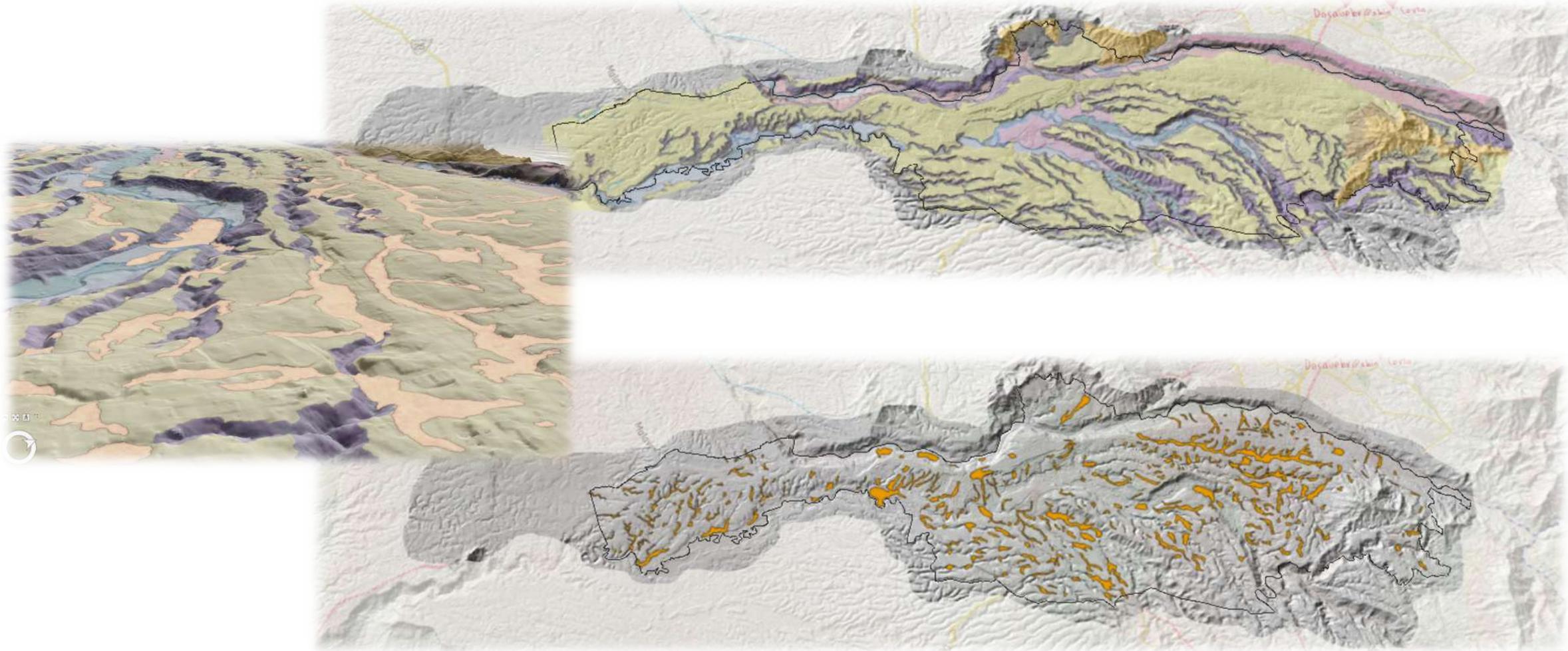
**Sección Geotécnica Típica Otún-Canceles**



# 8 Caracterización geotécnica

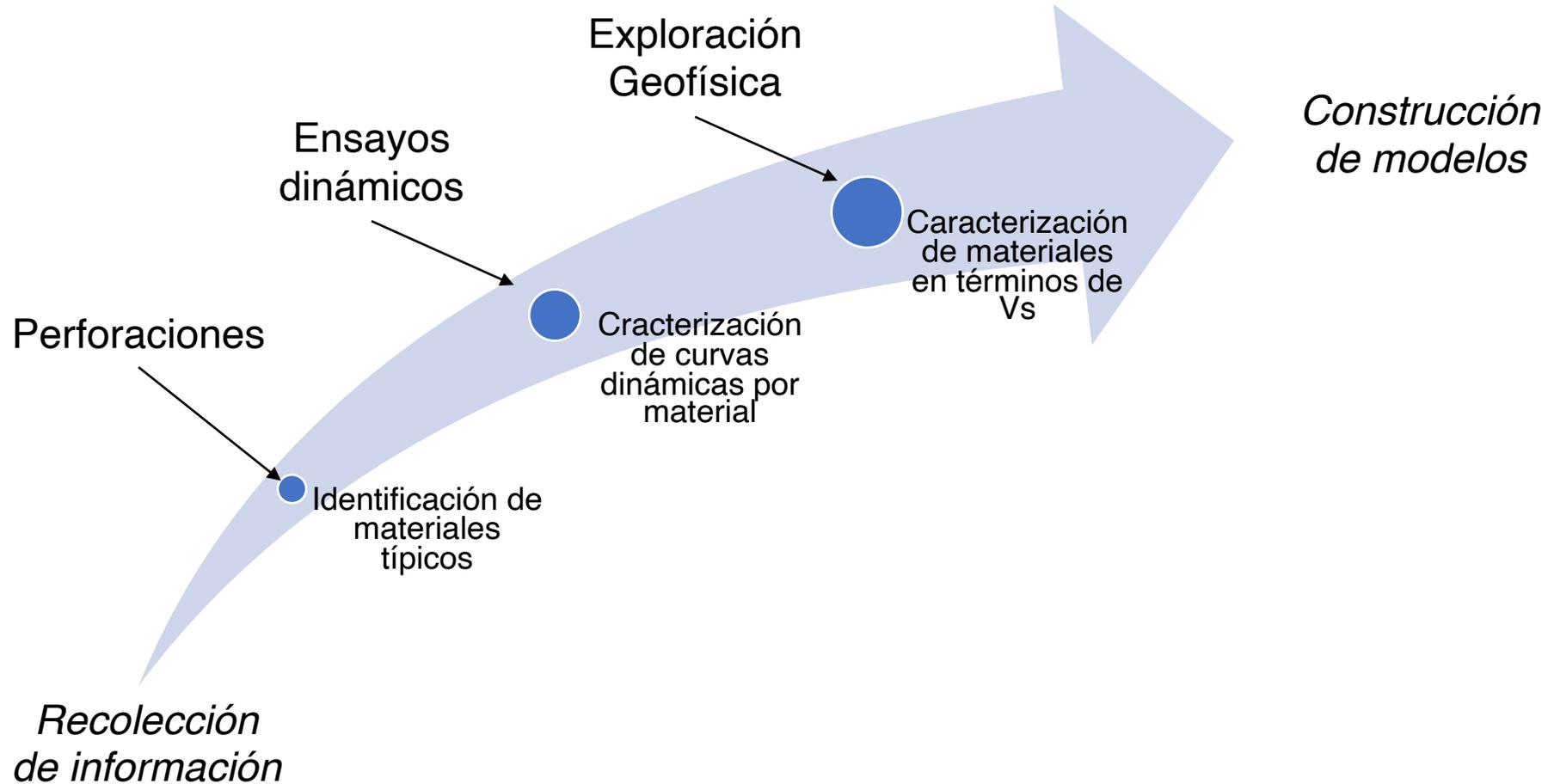
## Foto interpretación

Zonificación de respuesta sísmica

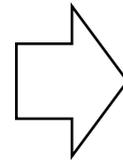
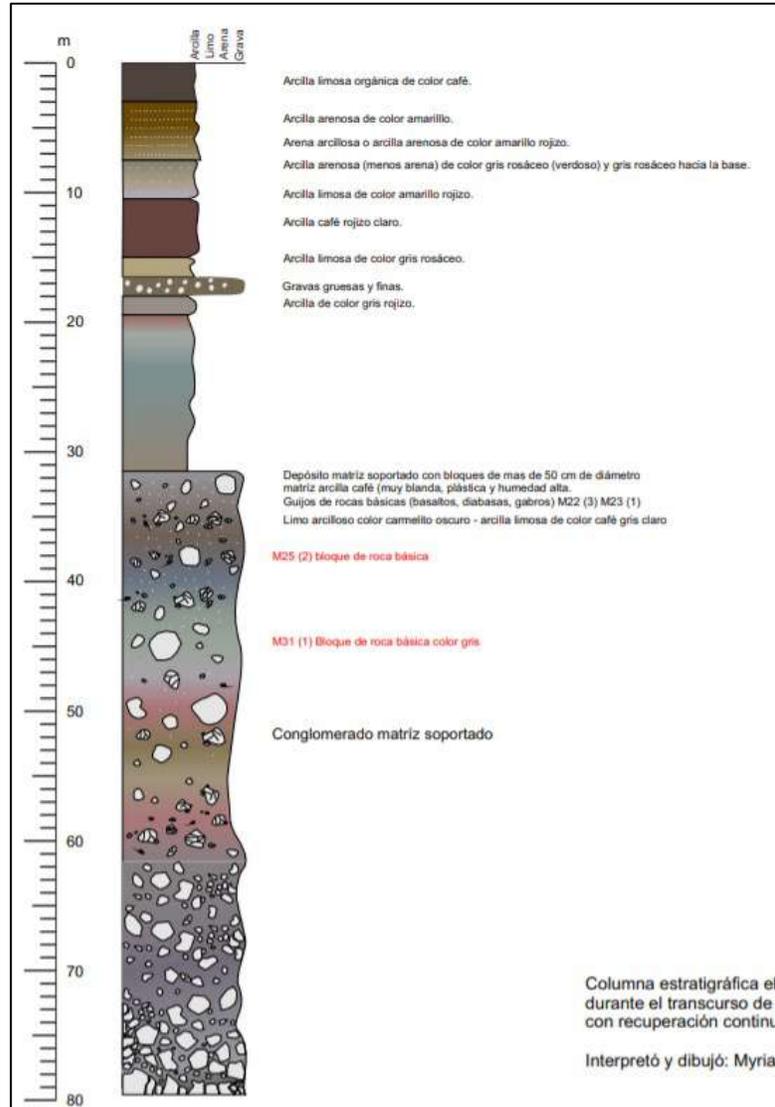


Zonificación de respuesta sísmica

## Metodología



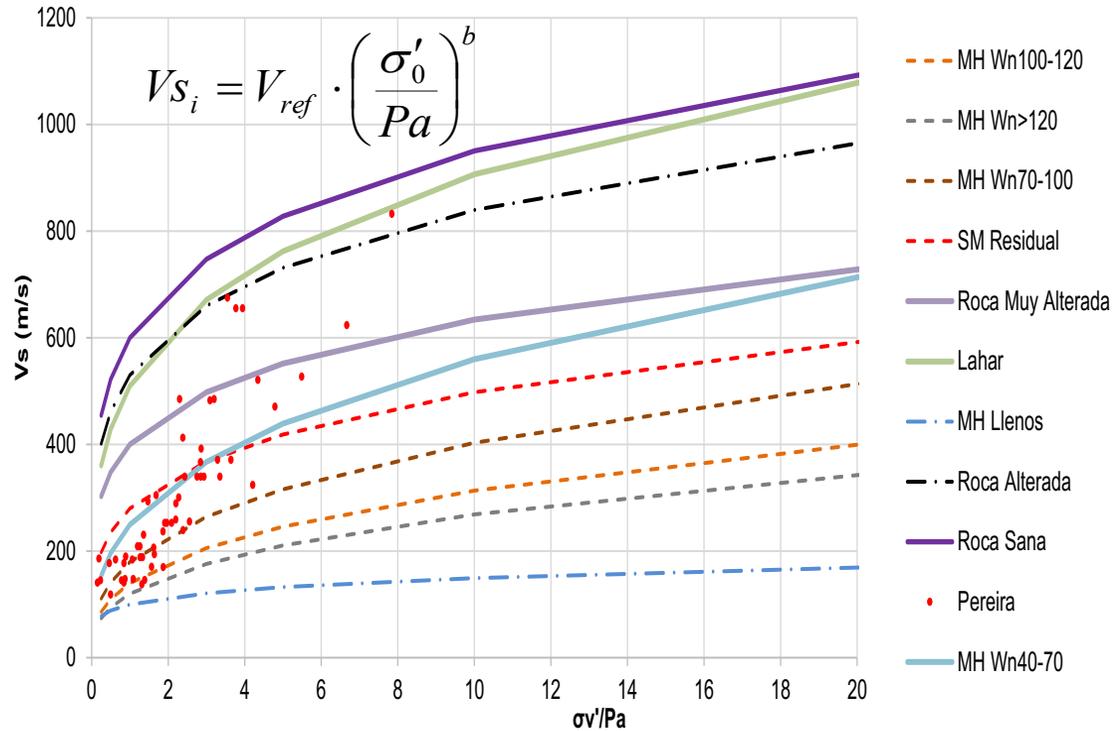
## Definición de materiales típicos



Material	Origen	Descripción	Wn típica, [%]	Peso unitario típico, [g/cm <sup>3</sup> ]
MH Llenos	Lleno antrópico	Lleno antrópico limoso	90	1,40
MH Wn>120	Flujos con cenizas	Limos arcillosos cafes amarillos, habanos o rojizos de alta humedad	140	1,30
MH Wn100-120	Flujos con cenizas	Limos arcillosos cafes amarillos, habanos o rojizos de alta humedad	110	1,36
MH Wn70-100	Flujos con cenizas	Limos arcillo arenosos cafés amarillos, habanos o rojizos	85	1,50
MH Wn40-70	Flujo con cenizas y clastos	Limos areno gravosos amarillo rojizo a café	55	1,55
ML-SM Cenizas	Cenizas de caída	Arena limosa de grano fino rojiza a café claro	30	1,80
SM Residual	Suelo residual	Arena limo arcillosa café claro	40	1,75
SW	Suelos aluviales	Arena gruesa gris	25	1,85
GW GM	Flujos de lahar clasto soportado	Gravas y bloques de esquistos con rastros de matriz areno arcillosa color gris	25	1,90
Lahar	Flujos de lahar muy denso	Bloques y gravas conglomeraticos	15	2,10
Roca Muy Alterada	Roca muy alterada	Arena limo gravosa cafe claro, rojizo y negro	10	2,10
Roca Alterada	Roca alterada	Gravas areno limosas amarillo rojizo	10	2,20
Roca Sana	Roca sana	Roca volcánicas básicas	5	2,40

## Caracterización de materiales típicos

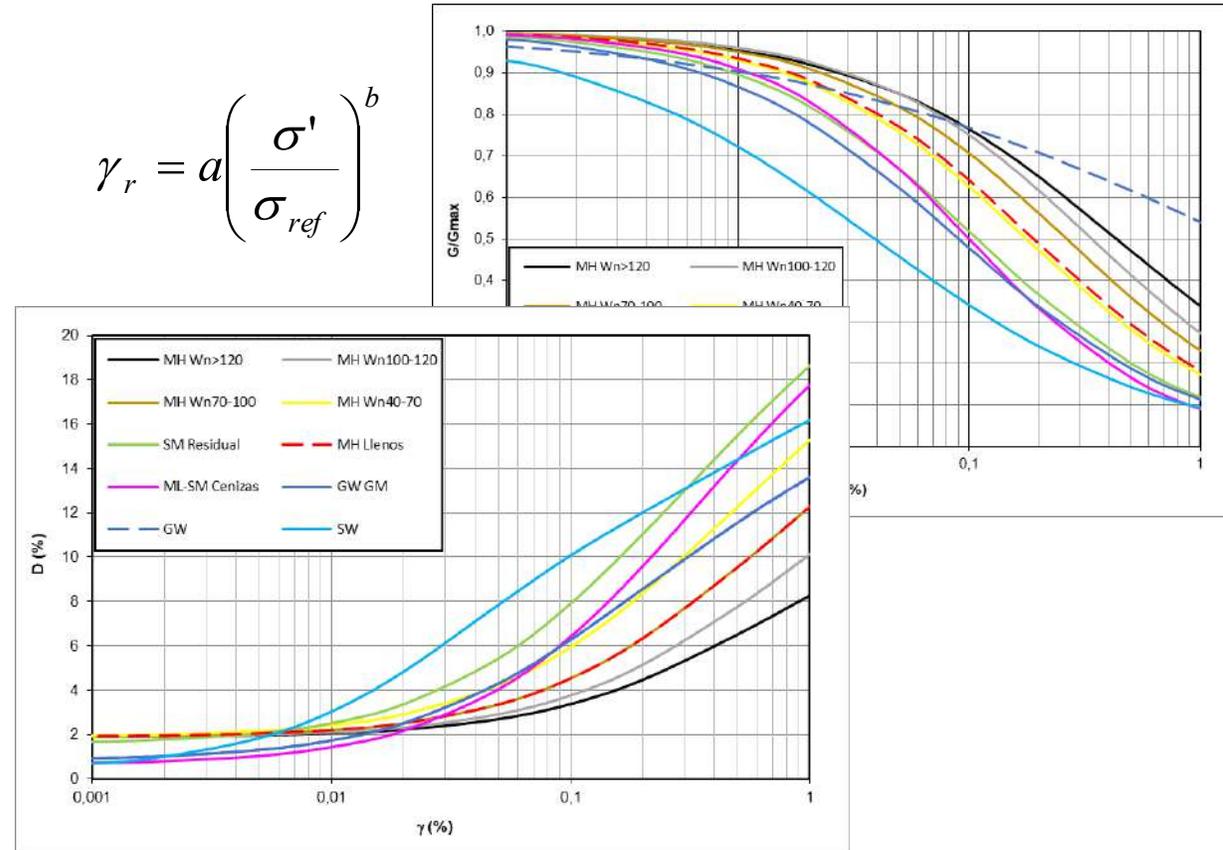
Caracterización de Vs



Modelo de degradación  
NO LINEAL tipo MKZ

$$\gamma_r = a \left( \frac{\sigma'}{\sigma_{ref}} \right)^b$$

$$\tau = \frac{G_o \gamma}{1 + \beta \left( \frac{G_o}{\tau_{max}} \gamma \right)^s} = \frac{G_o \gamma}{1 + \beta \left( \frac{\gamma}{\gamma_r} \right)^s}$$



# 9 Modelación de la respuesta sísmica

Zonificación de respuesta sísmica

1. Información geotécnica  
(Perforaciones BDG)

**Material 1.**  
Wn, gt,  
granulometría

**Material 2.**  
Wn, gt,  
granulometría

**Material 3.**  
Wn, gt,  
granulometría



2. Identificar materiales  
típico

**MH Wn 70-100**  
 $V_{ref1}, b_1$

$D_{min1}, g_{ref1}, S_1, \dots$

**MH Wn 40-70**  
 $V_{ref2}, b_2$

$D_{min2}, g_{ref2}, S_2, \dots$

**GW GM**  
 $V_{ref3}, b_3$

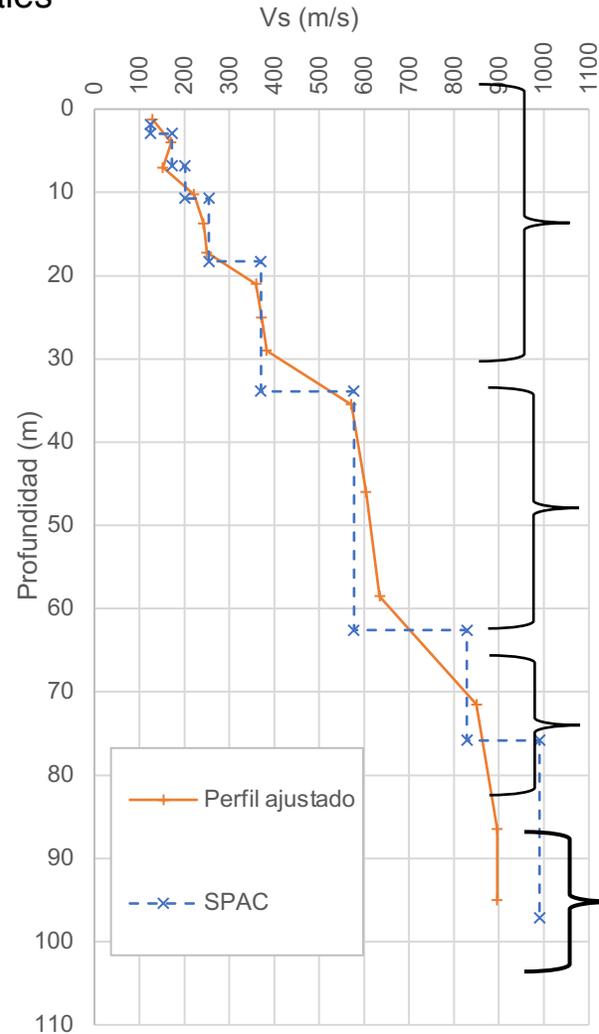
$D_{min3}, g_{ref3}, S_3, \dots$

**Lahar**  
 $V_{ref4}, b_4$

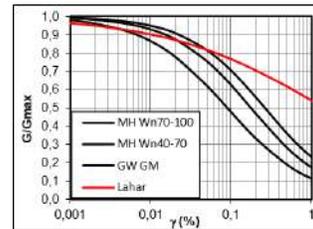
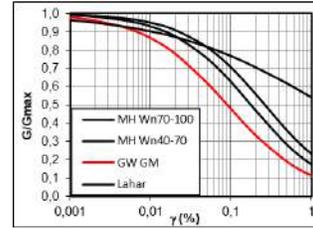
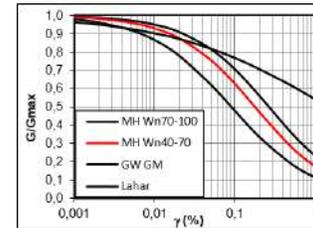
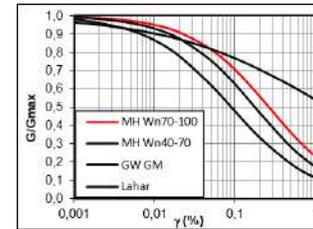
$D_{min4}, g_{ref4}, S_4, \dots$

4. Extrapolar el perfil con  
Inf. Geofísica - Geológica

3. Asignar  $V_s$   
por tipo de material

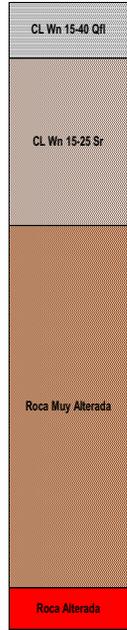


5. Asignar curvas  
dinámicas por material

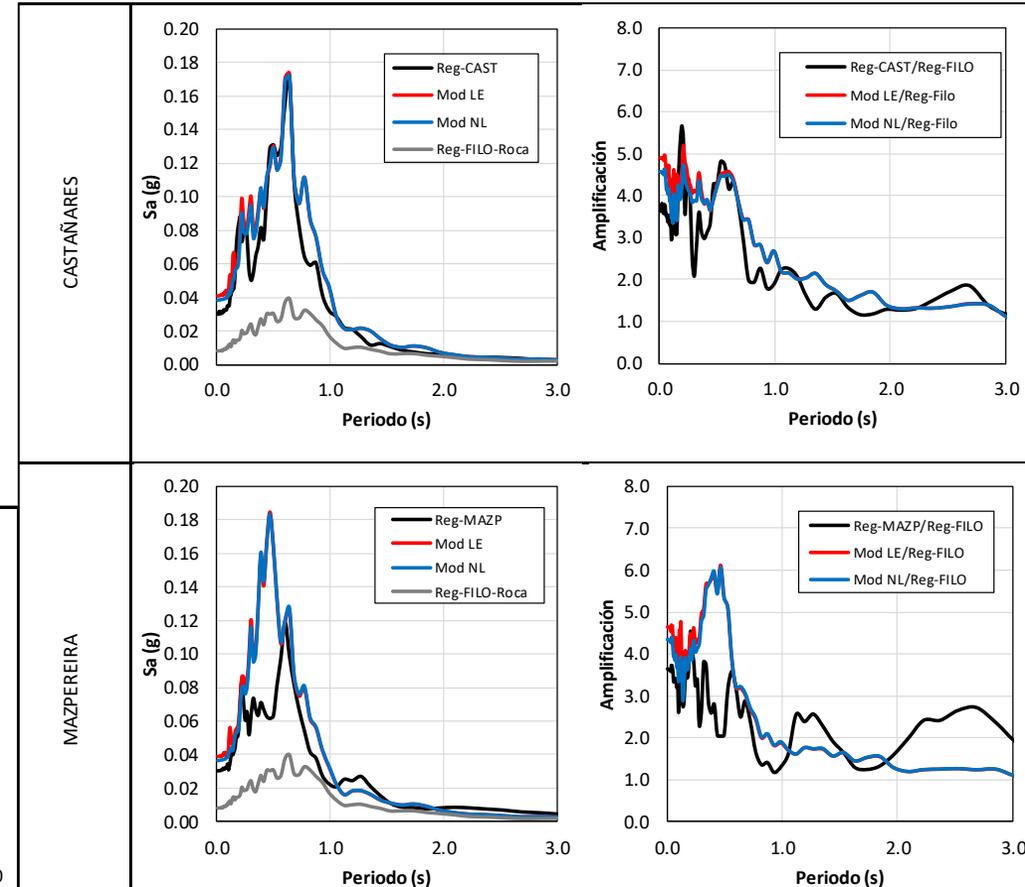
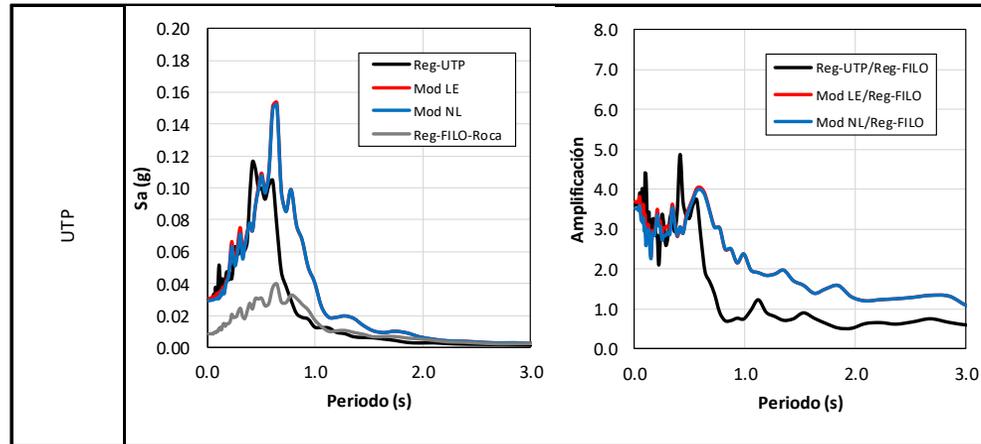
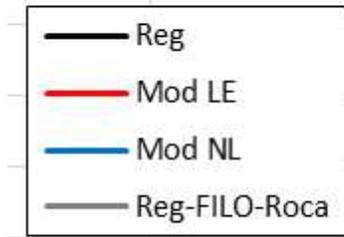


## Calibración de modelos

Zonificación de respuesta sísmica

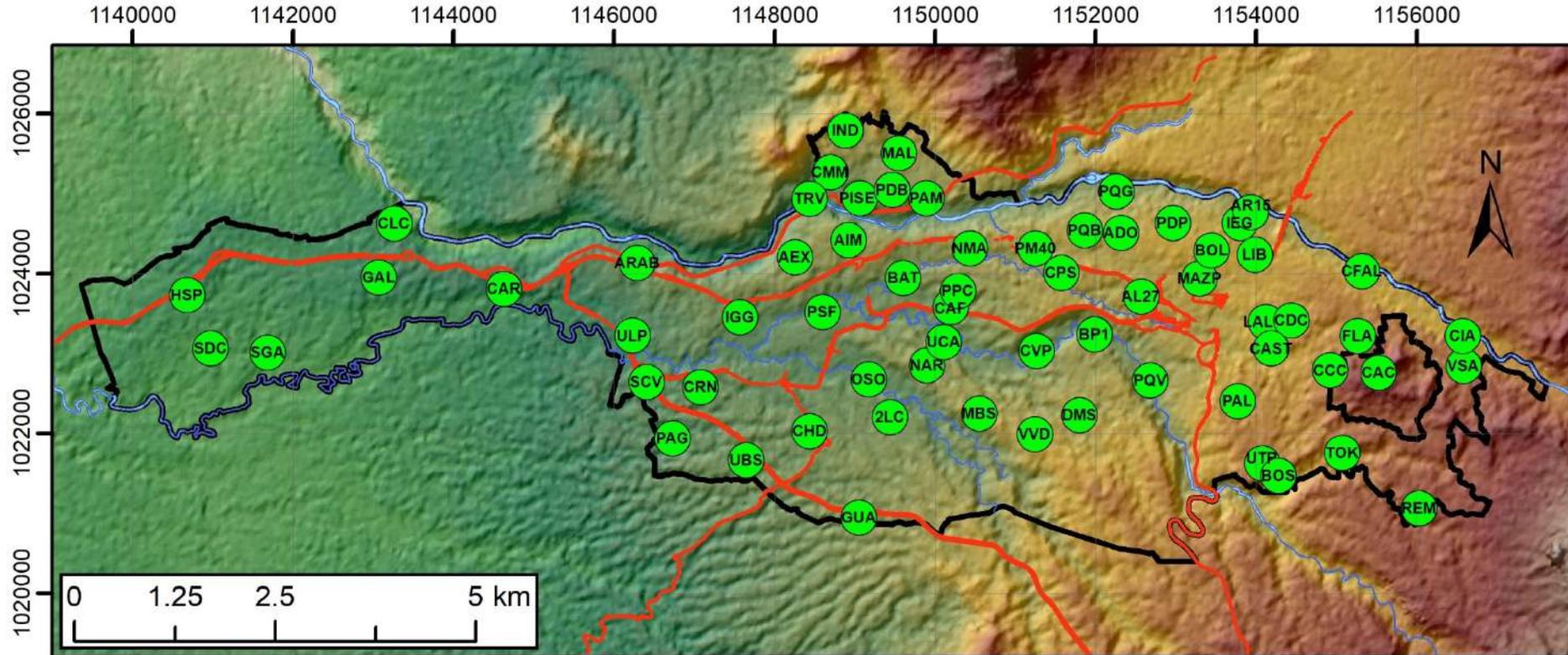


REGISTRO DE 1997-09-02



## Modelos 1D – 65 Modelos

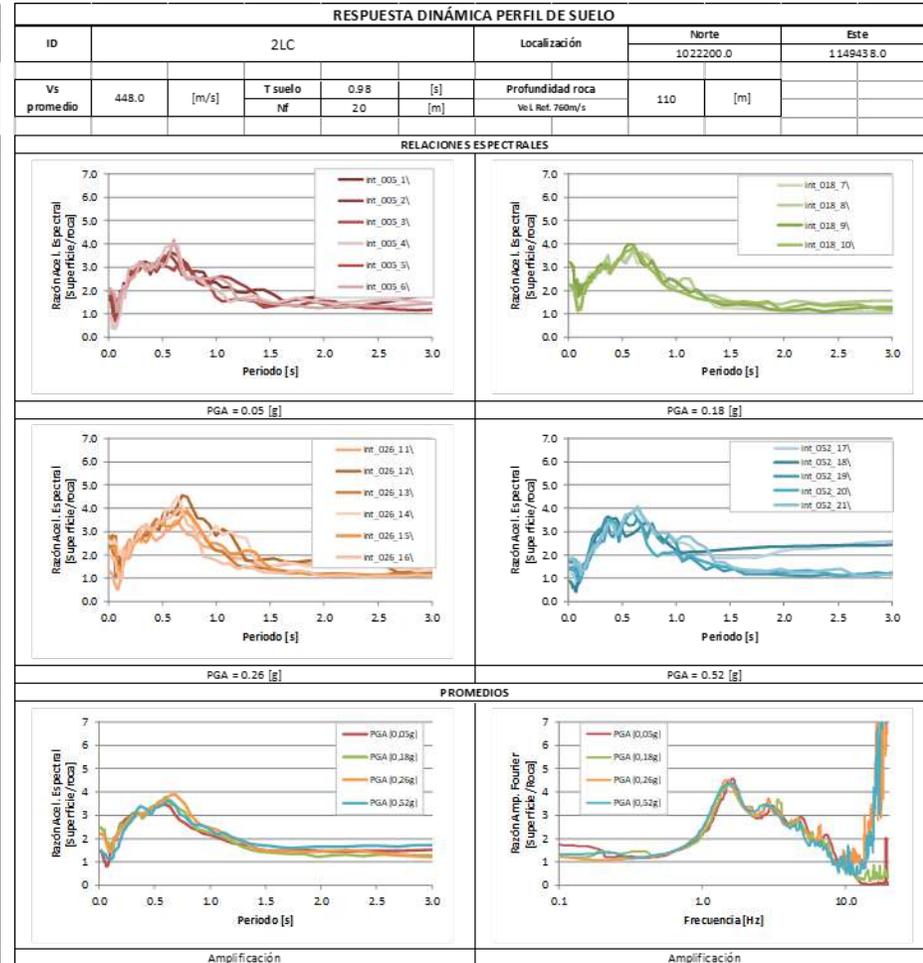
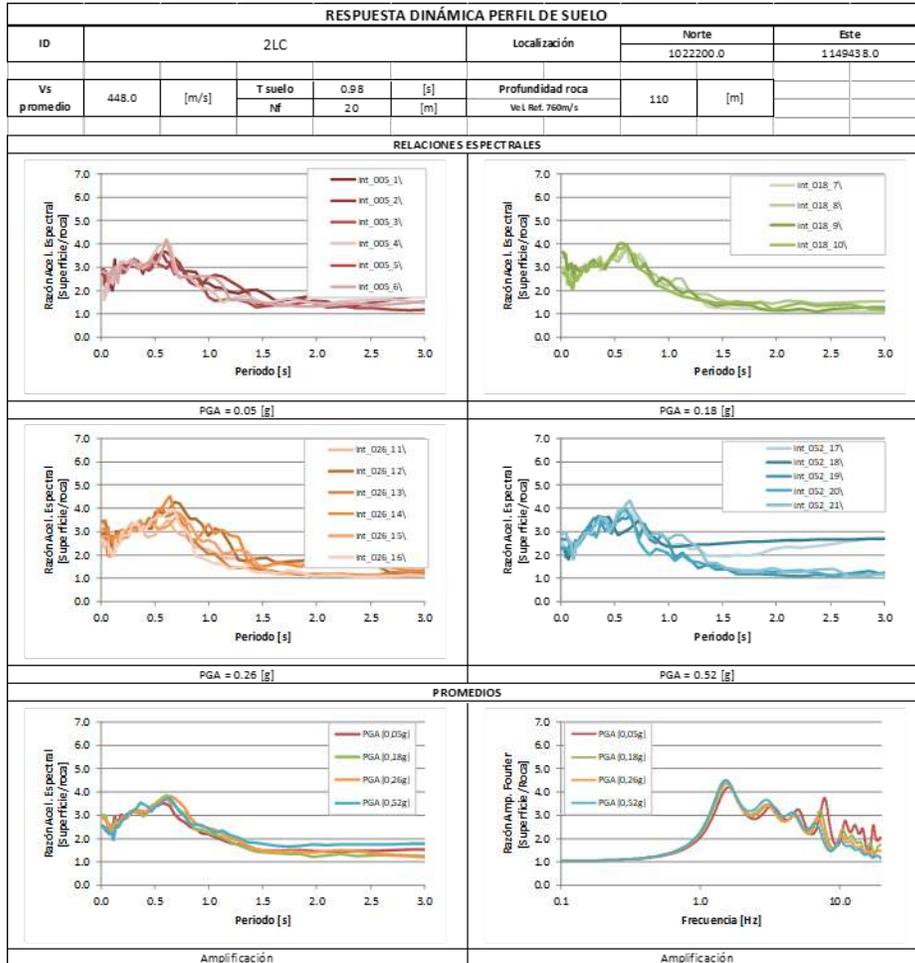
Zonificación de respuesta sísmica



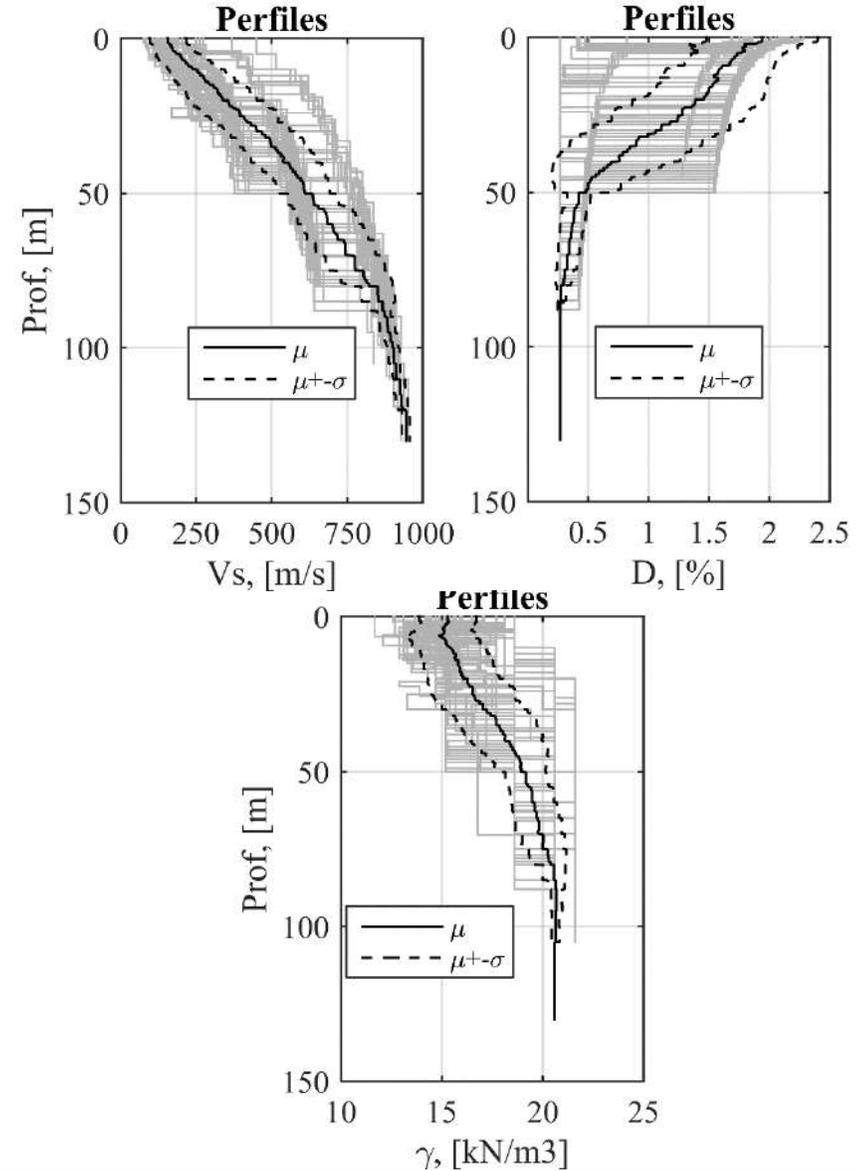
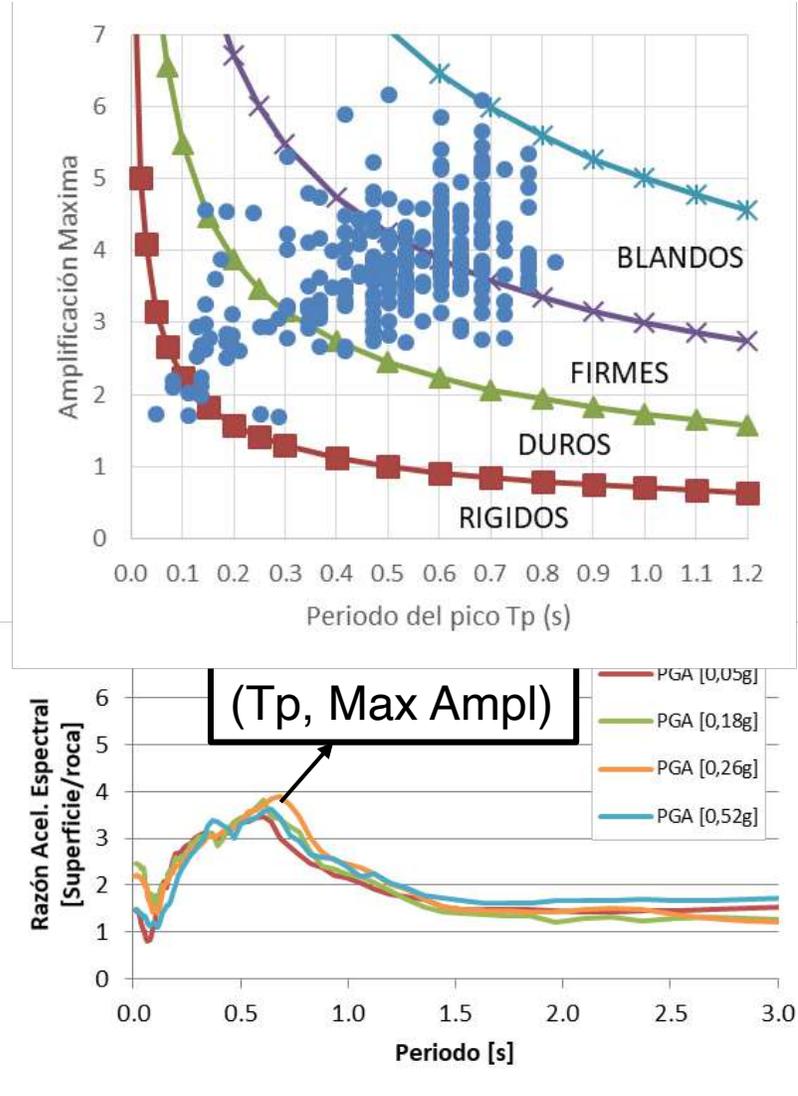
## Resumen resultados

Lineal equivalente

No lineal

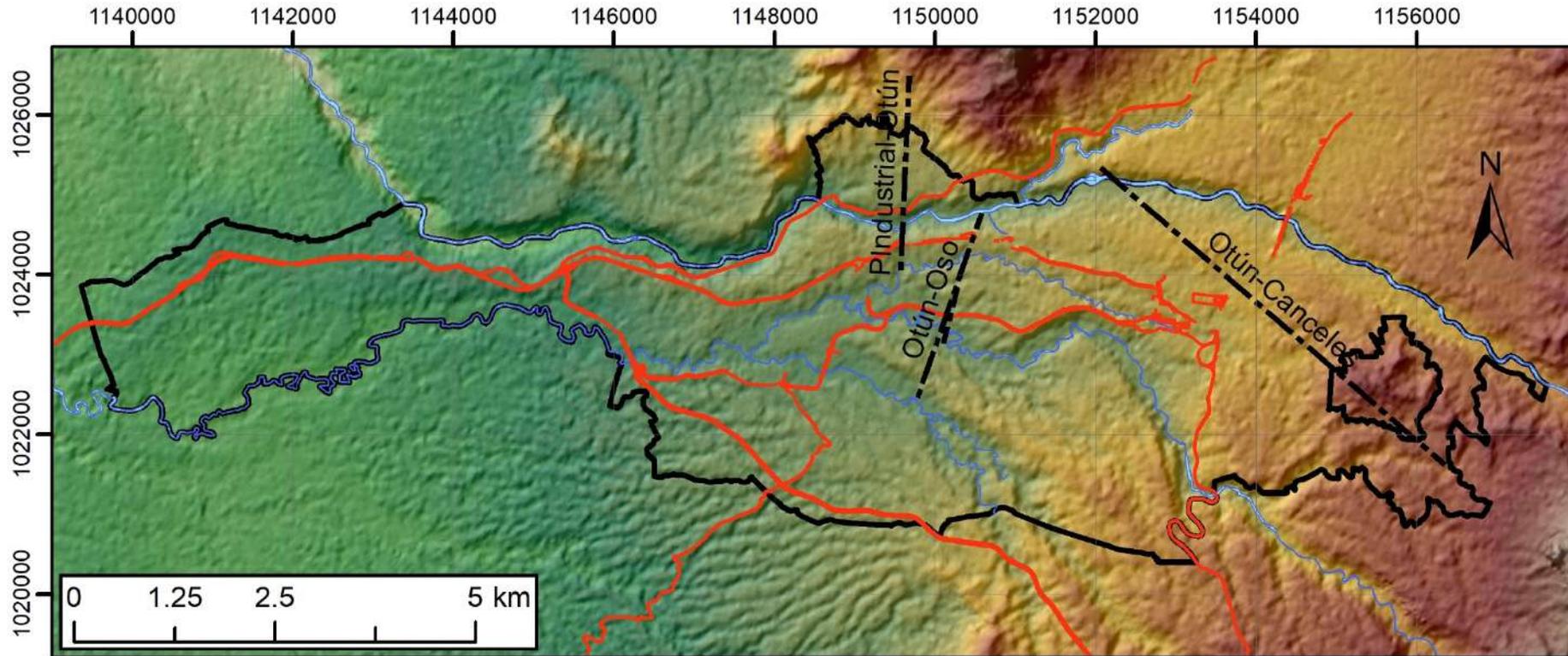


## Resumen de resultados

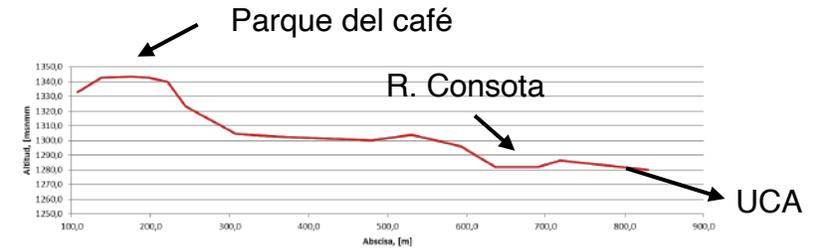
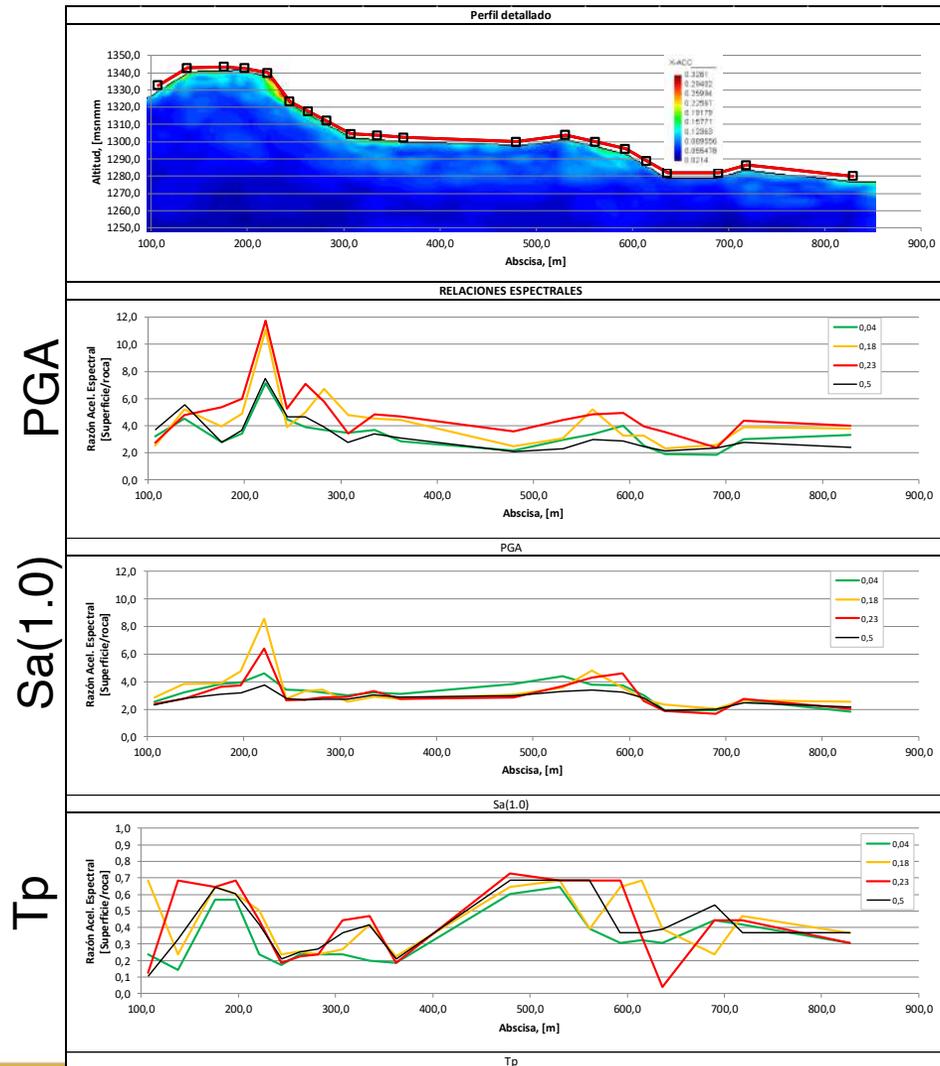


Zonificación de respuesta sísmica

## Modelos 2D -3 modelos



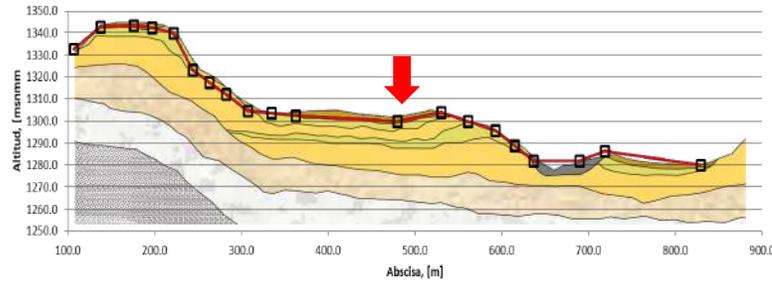
## Ejemplo de resultados 2D Amplificación Total



Como aislar el efecto topográfico de los efectos de amplificación 1D producto de la estratigrafía?

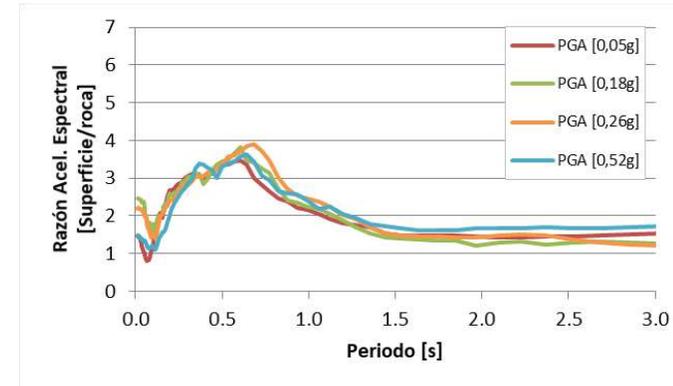
## Aislamiento del efecto 2D

1. Definición de puntos de estudio



2. Cálculo de las amplificaciones 2D

3. Construcción de modelos 1D en cada punto de estudio (LE)

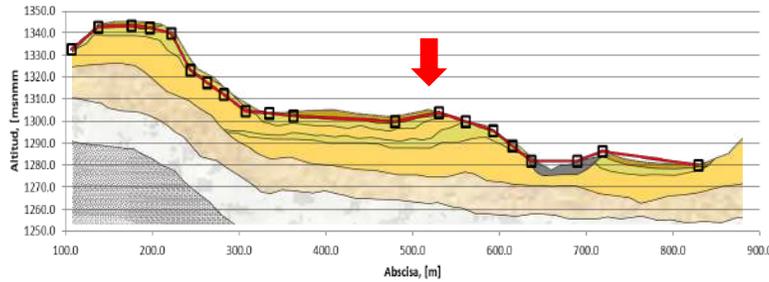


4. Estimación de efectos topográficos

$$Amp. Top (T_e) = \frac{Amp. 2D(T_e)}{Amp. 1D(T_e)}$$

## Espacialización de resultados

1. Cálculo de curvatura y pendiente de la sección modelada



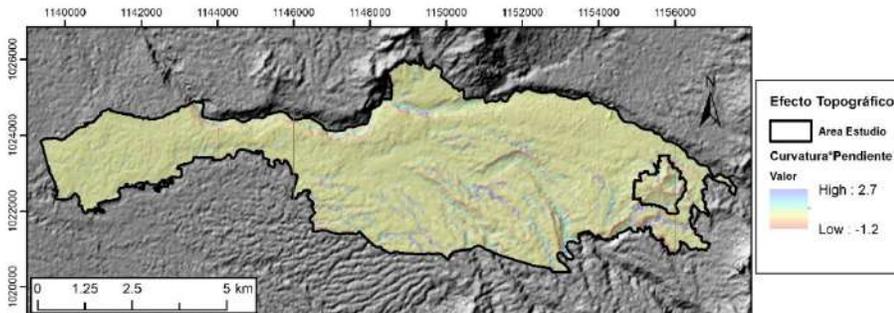
Pendiente

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

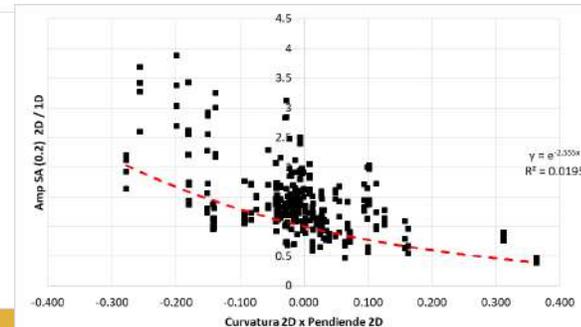
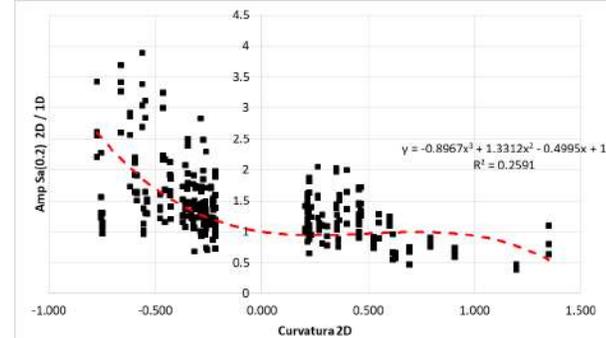
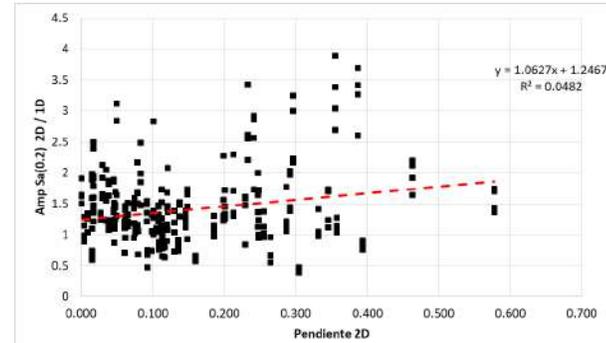
Curvatura

$$b = \frac{|y''|}{(1 + y'^2)^{3/2}}$$

2. Cálculo de curvatura y pendiente del MDT



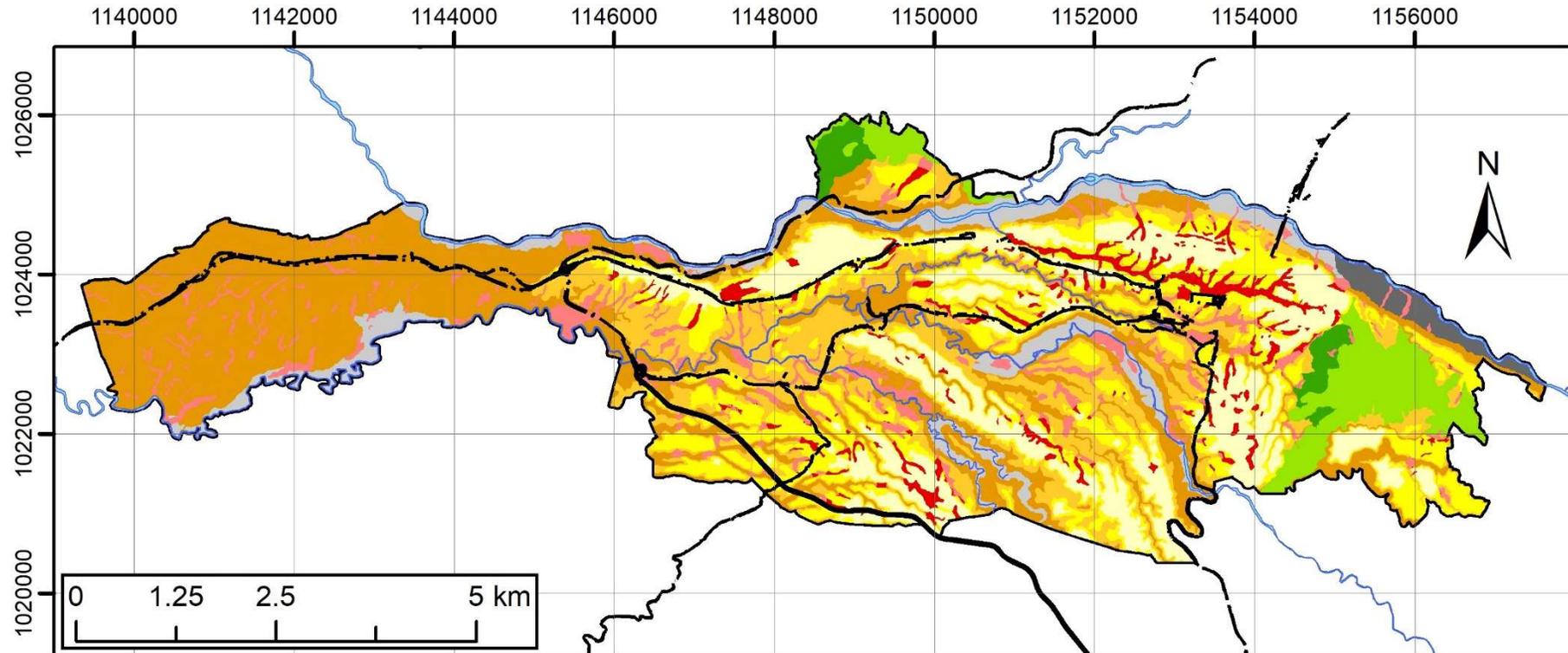
3. Cálculo de relaciones empíricas para pga, Sa 0.2s y Sa 1.0s



# 10 Zonificación de la respuesta sísmica

## Zonificación de efectos 1D

ID	ZRS	Espesor de suelos blandos a firmes
1A Aluvial	1A Aluvial Duro	0 m
1B Aluvial	1B Aluvial 7m Duro	Hasta 7 m
2A Residual	2A Residuales 15-30 m Firme	Entre 15 y 30 m
2B Residual	2B Residual 30-45 m Firme	Entre 30 y 45 m
3A Volcánico	3A Volcánico -30 m Firme	Menor a 30 m
3B Volcánico	3B Volcánico -30 m Firme-Blando	Menor a 30 m
4A Volcánico	4A Volcánico 30-40 m Blando	Entre 30 y 40 m
4B Volcánico	4B Volcánico +40 m Blando	Mayor a 40 m
5A Llenos	5A Lleno -30m Blando	Hasta 30 m
5B Llenos	5B Lleno +30m Blando	Mayor a 30 m



Zonificación de respuesta sísmica

## Perfiles típicos

### Aluviales

Suelos aluviales	1B Aluvial Duro -7m				1A Aluvial Duro			
	Espesor, [m]		Vs, [m/s]		Espesor, [m]		Vs, [m/s]	
	min	max	min	max	min	max	min	max
MH	0	2	80	100				
SW	0	5	250	300				
MH	3	5	180	240				
GW-GM	10	80	400	600	0	80	500	600
Lahar	30	60	700	900	20	30	500	900
Roca alterada	0	30	600	900	0	30	600	900

### Residuales

Suelos residuales	2A Residual 15-30m Firme				2B Residual 30-45m Firme			
	Espesor, [m]		Vs, [m/s]		Espesor, [m]		Vs, [m/s]	
	min	max	min	max	min	max	min	max
MH					18	35	180	250
ML-SM	8	12	200	250				
SM	6	15	290	350	10	15	250	350
Roca Muy Alterada	8	16	460	520	18	33	500	600
Roca Alterada	20	32	700	750	15	30	750	850

### Volcánicos

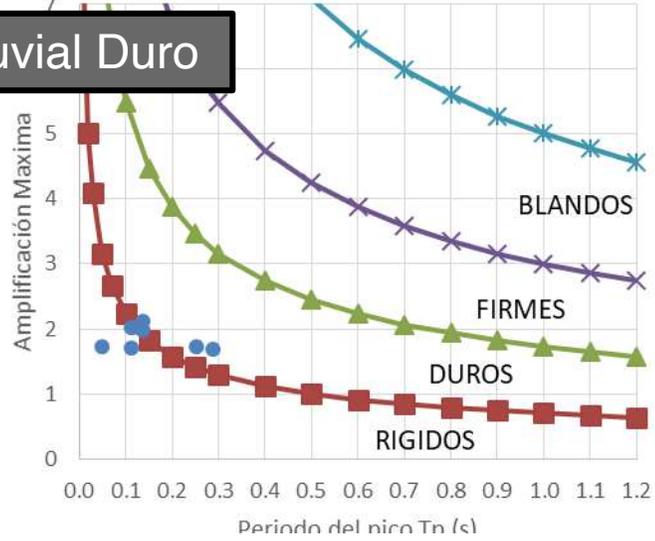
Suelos volcánicos	3A Volcánico -30m Firme				3B Volcánico 30 m Firme-Blando				4A Volcánico 30-40m Blando				4B Volcánico +40m Blando			
	Espesor, [m]		Vs, [m/s]		Espesor, [m]		Vs, [m/s]		Espesor, [m]		Vs, [m/s]		Espesor, [m]		Vs, [m/s]	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
SW	0	5	220	270												
MH	5	13	150	200	10	20	150	200	15	30	170	220	20	30	170	220
MH	10	30	200	400	5	20	280	360	5	20	330	380	15	30	350	420
GW-GM	15	20	450	550	20	40	520	580	20	40	550	620	15	40	590	650
Lahar	20	25	700	800	20	55	750	850	25	50	830	910	20	45	800	910

### Llenos

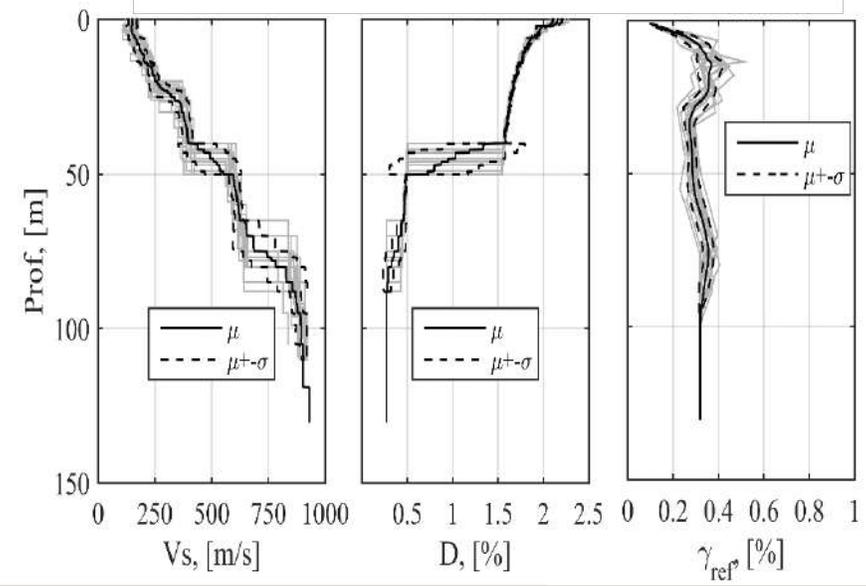
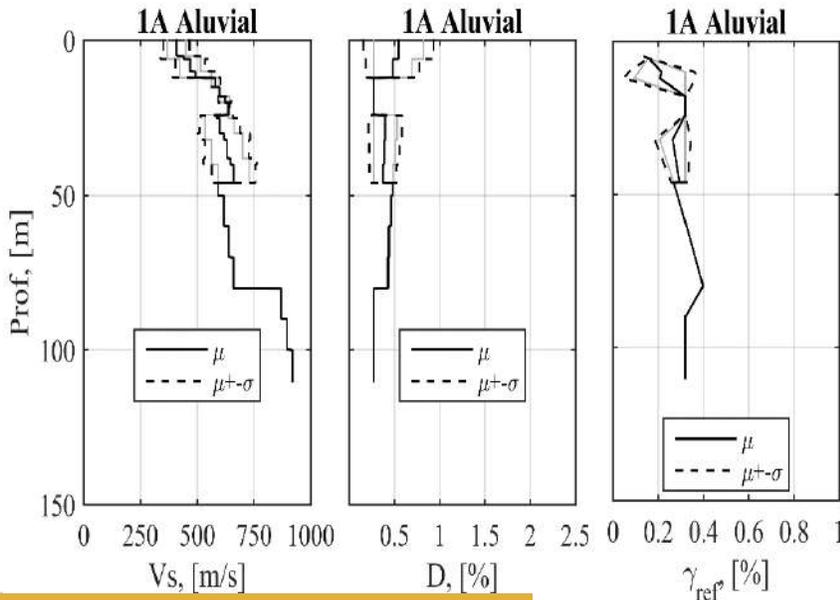
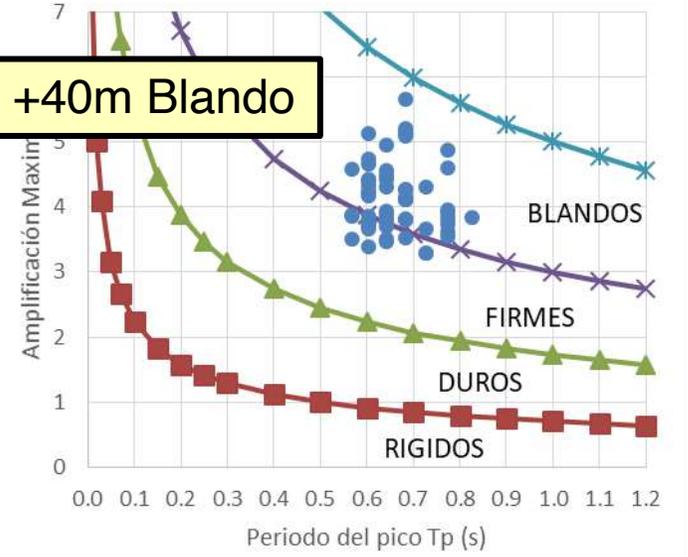
Perfiles de suelos con	5A Lleno -30m Blando				5B Llenos +30m Blando			
	Espesor, [m]		Vs, [m/s]		Espesor, [m]		Vs, [m/s]	
	min	max	min	max	min	max	min	max
MH	2	10	80	100	2	10	80	100
ML-SM	0	15	200	250				
MH	2	20	120	250	10	20	100	200
SW	0	5	300	350	0	5	300	350
MH	10	20	270	370	15	20	250	370
GW-GM	25	50	500	600	30	40	500	620
Lahar	25	60	800	900	30	50	740	900

## Caracterización de cada una de las zonas

1A Aluvial Duro

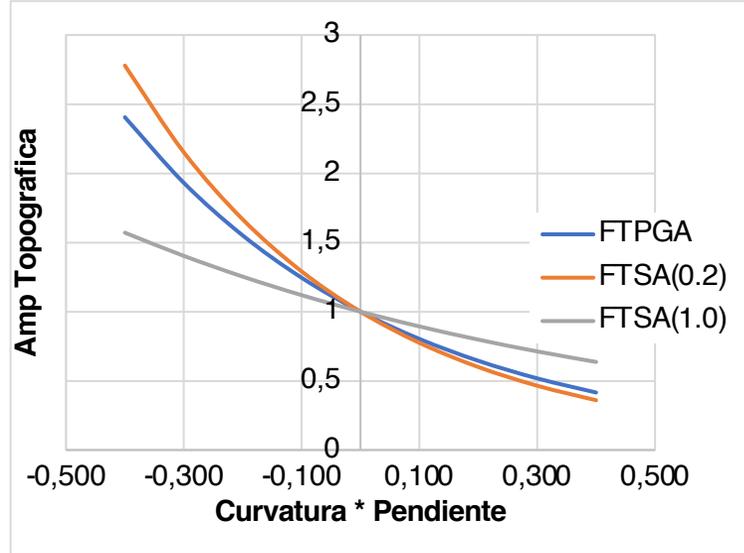


4B Volcánico +40m Blando

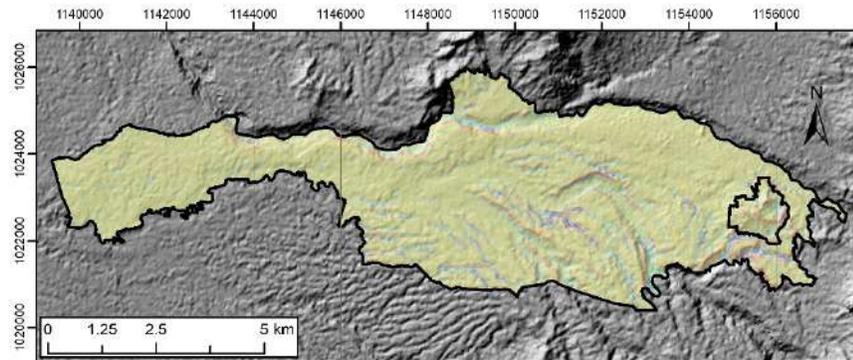


## Efectos 2D

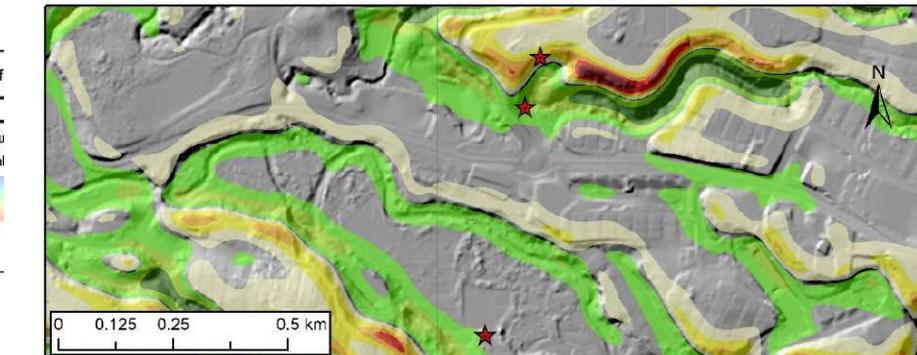
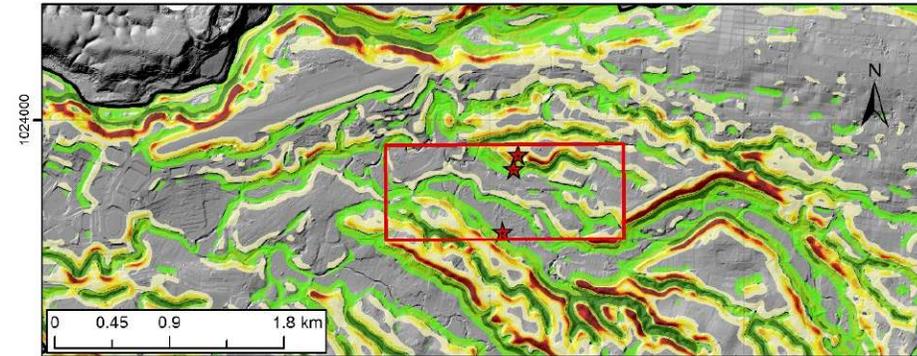
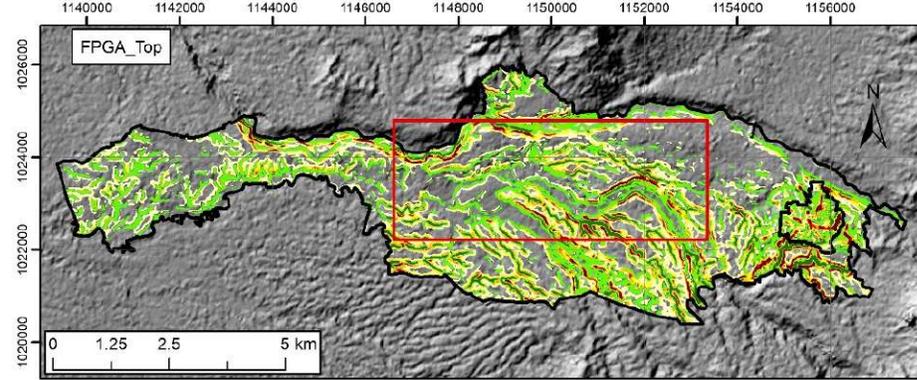
### Regresiones



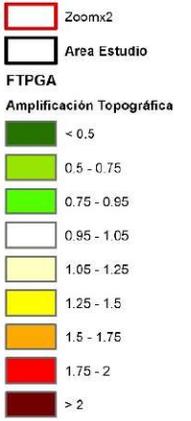
### Espacialización de la variable a\*b



## Espacialización de los factores



### Efecto Topográfico



## Factores NSR-10

Tabla A.2.4-1  
Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $>$ $\bar{V}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $>$ $\bar{V}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{\sigma}_u \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s $>$ $\bar{V}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 >$ $\bar{N} \geq 15$ , o $100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> ) $>$ $\bar{\sigma}_u \geq 50$ kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180$ m/s $>$ $\bar{V}_s$
	perfil que contiene un espesor total $H$ mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50$ kPa ( $\approx 0.50$ kgf/cm <sup>2</sup> ) $>$ $\bar{\sigma}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un Ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: $F_1$ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. $F_2$ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( $H > 3$ m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). $F_3$ — Arcillas de muy alta plasticidad ( $H > 7.5$ m con Índice de Plasticidad $IP > 75$ ) $F_4$ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( $H > 36$ m)	

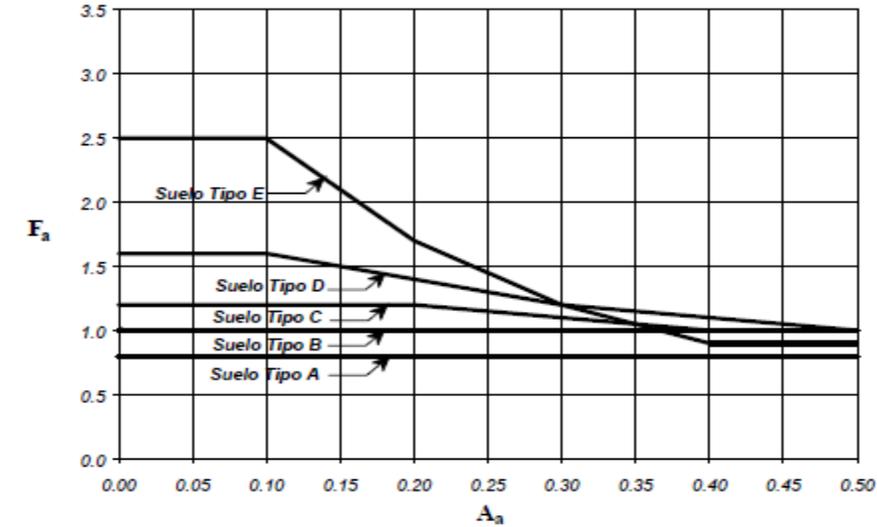


Figura A.2.4-1 - Coeficiente de amplificación  $F_a$  del suelo para la zona de períodos cortos del espectro

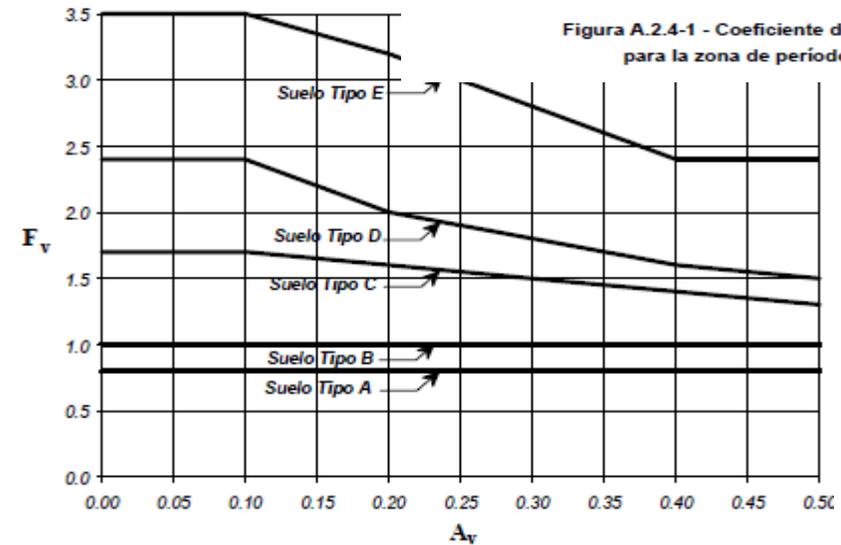
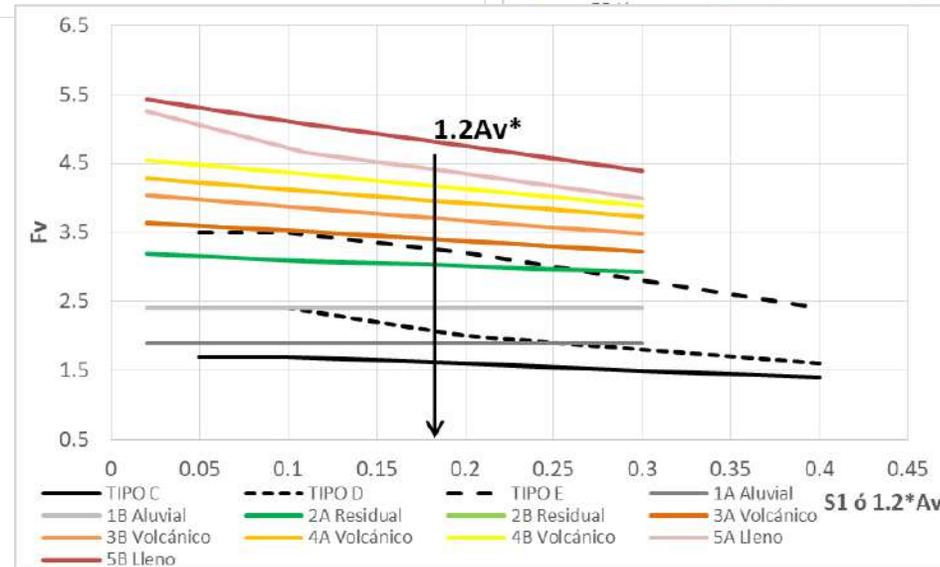
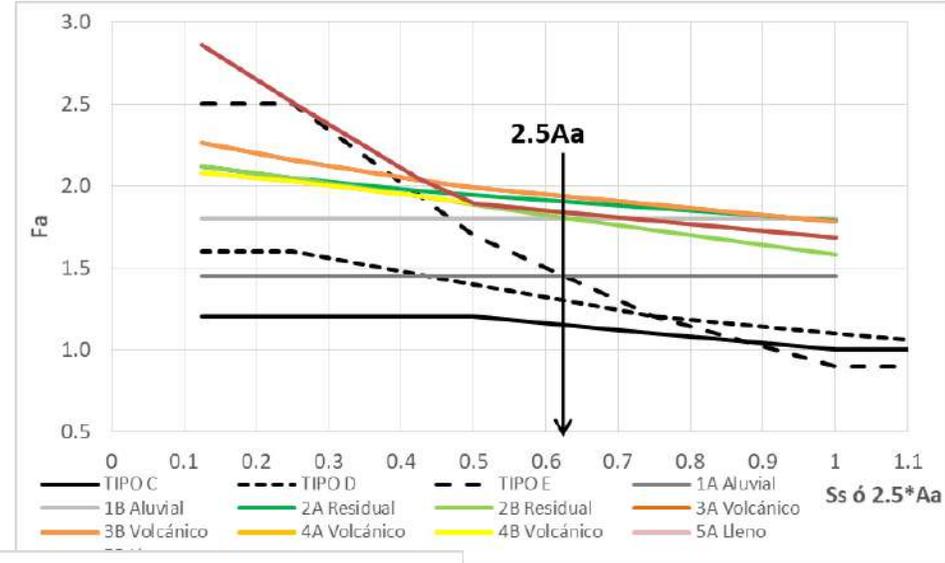
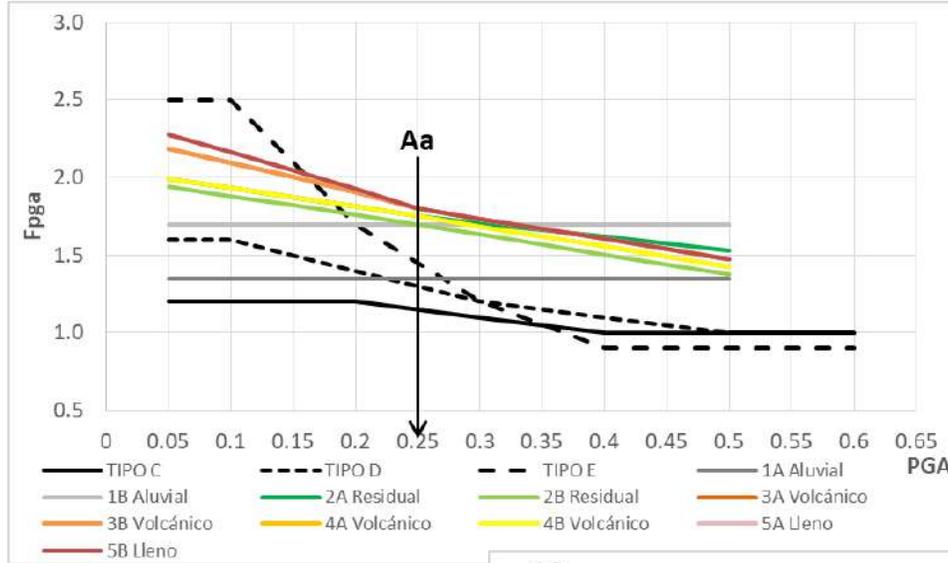


Figura A.2.4-2 — Coeficiente de amplificación  $F_v$  del suelo para la zona de períodos intermedios del espectro

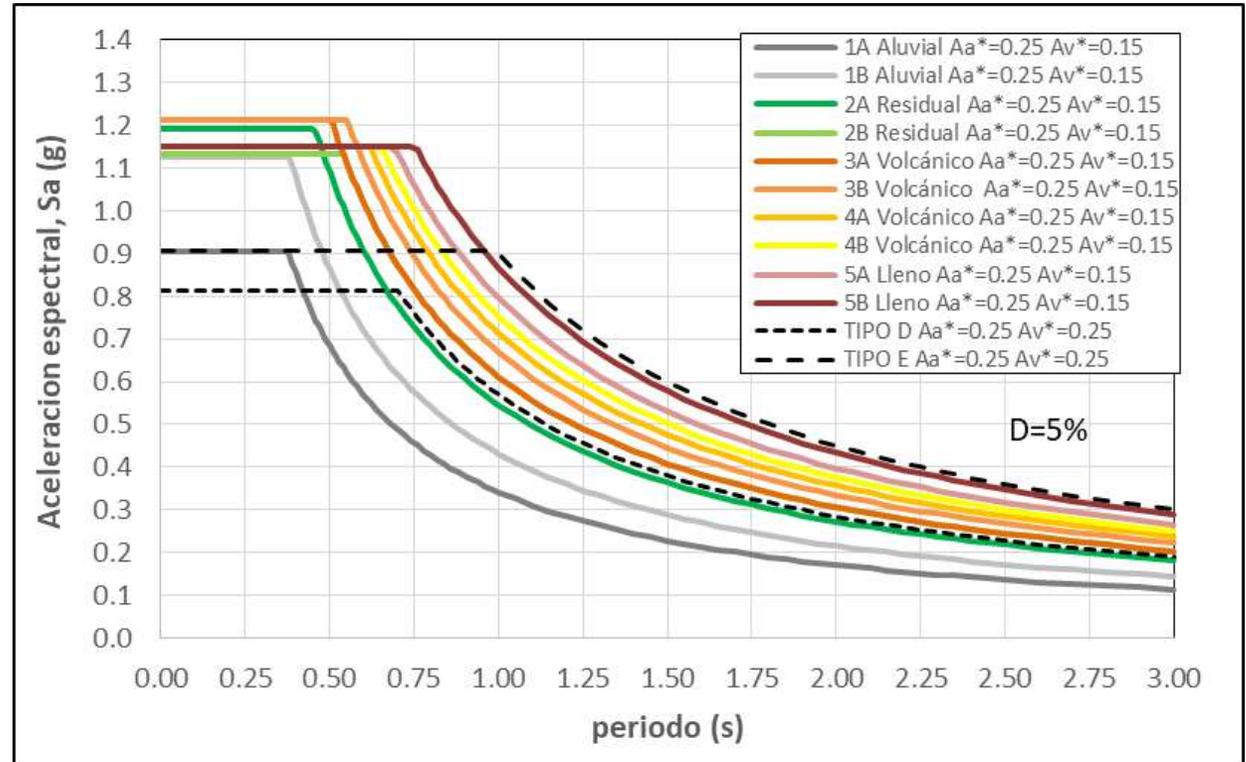
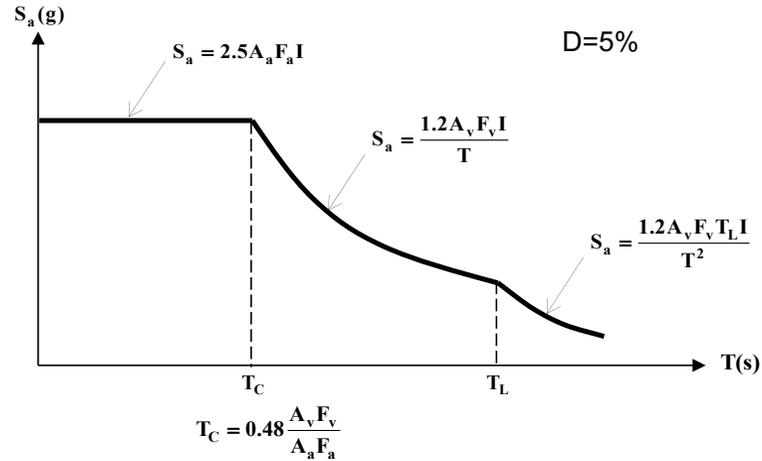
## Factores definidos NSR-10



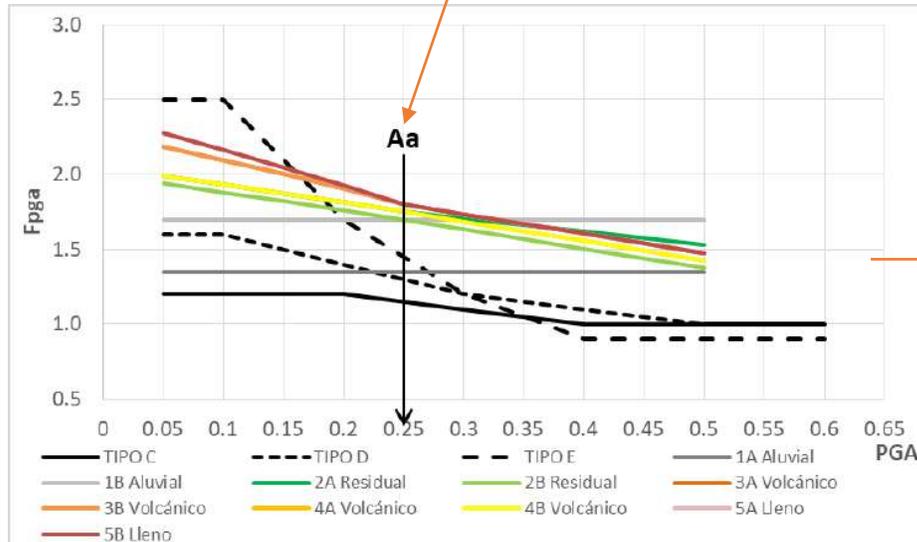
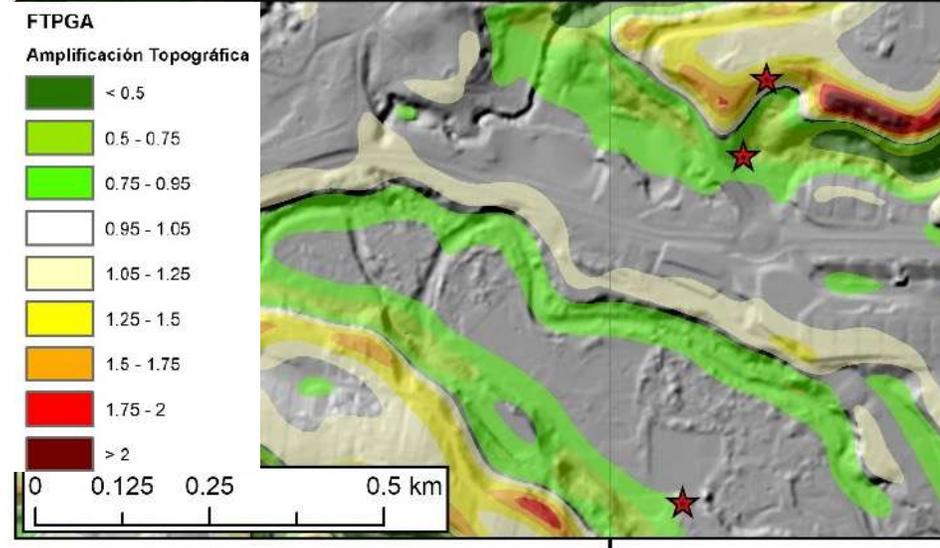
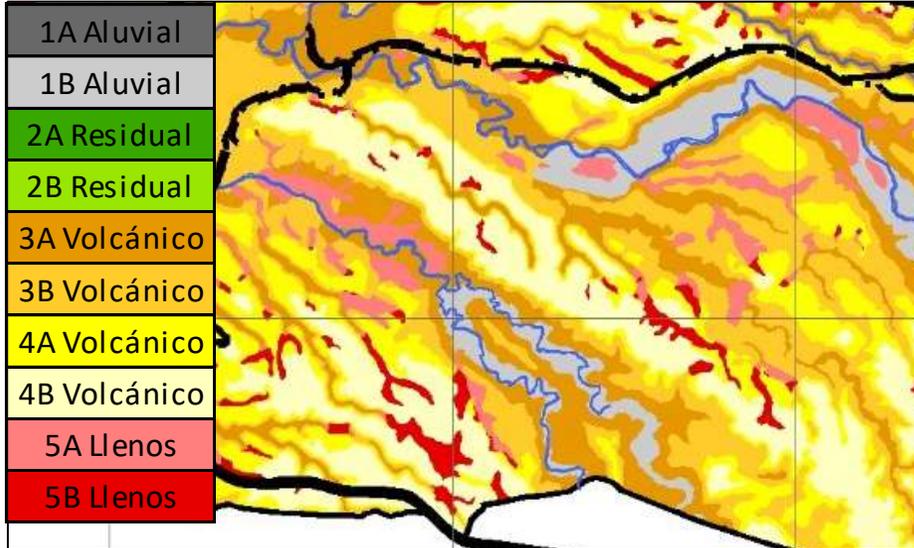
# 11 Factores y espectros normativos

Zonificación de respuesta sísmica

Espectro definido para 475 años de periodo de retorno



## Factores finales



$$F_{pga} = F_{pga_{1D}} * F_{pga_{Top}}$$

$$F_a = F_{a_{1D}} * F_{a_{Top}}$$

$$F_v = F_{v_{1D}} * F_{v_{Top}}$$

- El municipio de Pereira ha sentido sismos importantes en su historia, los cuales han llegado a causar afectaciones, como pasó en 1961, 1962, 1979, 1995 y 1999.
- La zona de amenaza sísmica donde se localiza Pereira es ALTA de acuerdo con el Reglamento NSR-10, lo cual es consistente con el Modelo Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia (Arcila et al, 2020).
- La red de acelerógrafos local permitió conocer la respuesta sísmica de los depósitos de suelos de la ciudad, brindando información muy importante para el estudio.
- Se definió un modelo geológico – geofísico – geotécnico a nivel conceptual donde se identifican cuatro perfiles típicos según su origen, zonas de residuales en las colinas, zonas aluviales, zonas de flujos volcánicos y zonas de llenos antrópicos.
- Se definieron 10 zonas de respuesta sísmica homogénea, cada zona se caracterizó con funciones de amplificación espectral para varias intensidades.
- Se definieron y especializaron los factores de amplificación por efectos topográfico, que combinados con las amplificaciones por la estratigrafía ó 1D se obtienen amplificaciones totales.
- Para fines normativos se definieron las zonas, perfiles y factores de amplificación respectivos que remplazan la clasificación general dada en el Reglamento NSR-10.

# **3. Escenarios de riesgo sísmico (ERS)**



# Contenido

- 1 Introducción
- 2 Amenaza sísmica
- 3 Modelo de exposición de edificaciones
- 4 Modelo de vulnerabilidad sísmica de edificaciones
- 5 Evaluación de escenarios de daño
- 6 Resultados de riesgo probabilista
- 7 Conclusiones del estudio

1

**Ley 1523 - art 14:** *“El alcalde, como conductor del desarrollo local, es el responsable directo de la implementación de los procesos de gestión del riesgo en el distrito o municipio, incluyendo el conocimiento y la reducción del riesgo y el manejo de desastres en el área de su jurisdicción”.*

2

**Ley 400 de 1997 - NSR 10, art A.2.9.2:** *“**Las capitales de departamento y las ciudades de más de 100,000 habitantes, localizadas en las zonas de amenaza sísmica intermedia y alta**, con el fin de tener en cuenta el efecto que sobre las construcciones tenga la propagación de la onda sísmica a través de los estratos de suelo subyacentes, **deberán armonizar los instrumentos de planificación para el ordenamiento territorial, con un estudio de microzonificación sísmica, que cumpla con el alcance dado en la sección A.2.9.3”***

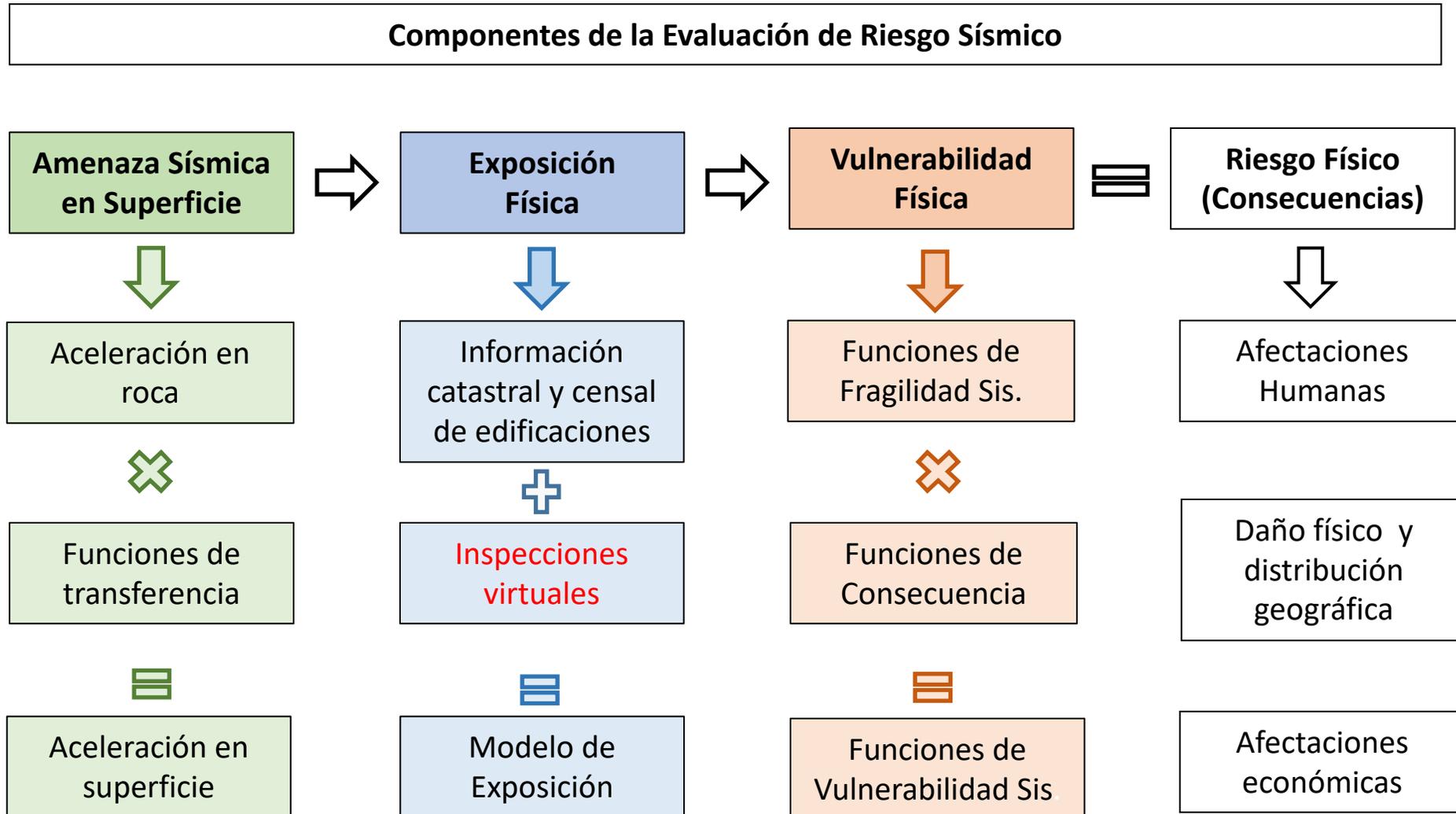
3

**PNGRD 2015-2025, Proyecto 1.1.2:** *“13 ciudades capitales (**en zona de amenaza sísmica alta**) con evaluación probabilista del riesgo por sismo realizado”.*

# 1 Introducción

## Enfoque conceptual de la evaluación del riesgo

Escenarios de riesgo sísmico



## Objetivo General

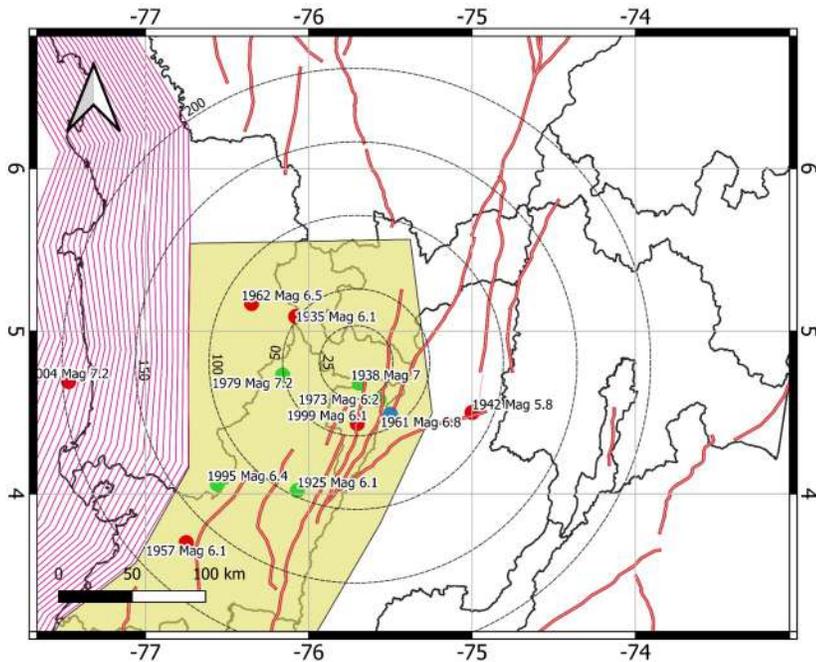
Evaluar el riesgo sísmico de las edificaciones de ocupación normal y edificaciones educativas localizadas en el perímetro urbano del municipio de Pereira.

## Objetivos Específicos

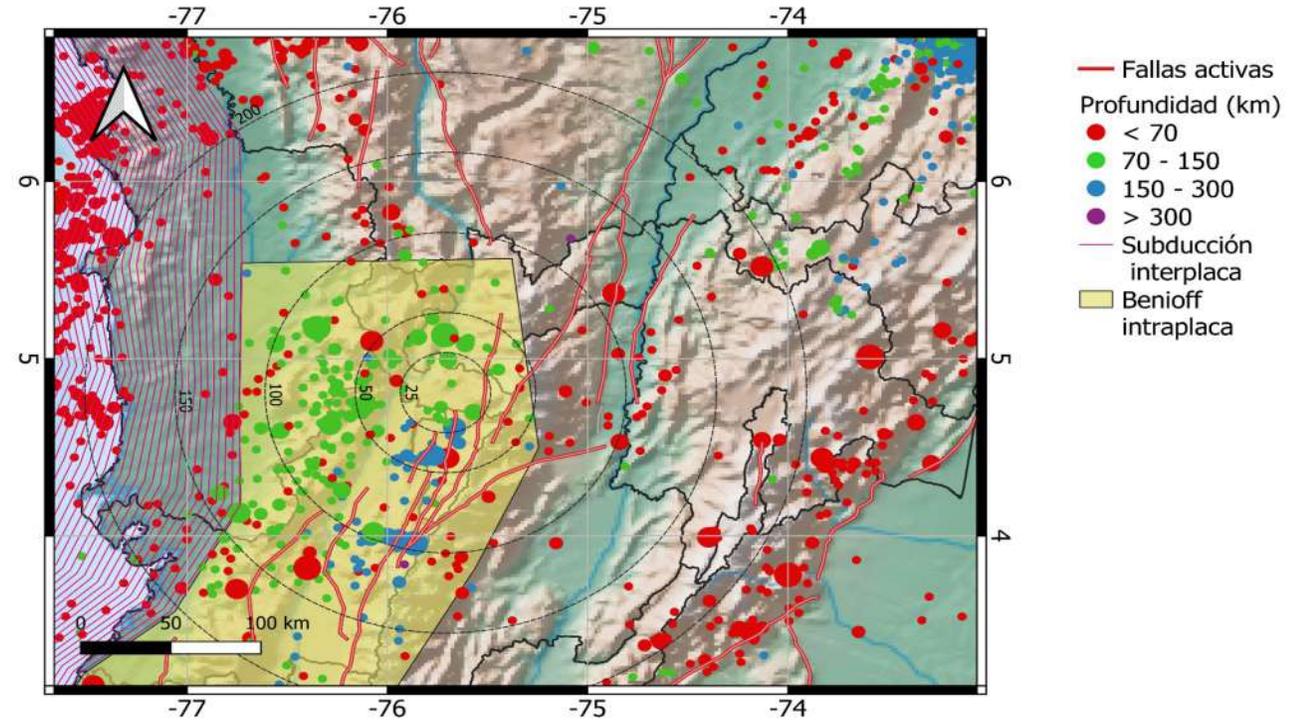
- 1 Elaborar un modelo de exposición que describa las características principales de las edificaciones en cuanto a su estructura, valor económico, uso y ocupación.
- 2 Determinar el grado de fragilidad de las estructuras típicas para estimar el posible grado de daño a través de funciones de vulnerabilidad, y correlacionar estas con afectaciones y pérdidas mediante funciones de consecuencia.
- 3 Realizar la estimación de daños y pérdidas por sismo de manera probabilista y determinista para escenarios predefinidos, cuyos resultados serán insumos para la gestión del riesgo de desastres.
- 4 Realizar las socializaciones y acompañamiento técnico por parte del SGC para la armonización de los productos con los instrumentos de planificación territorial.

## Insumos

### Eventos históricos



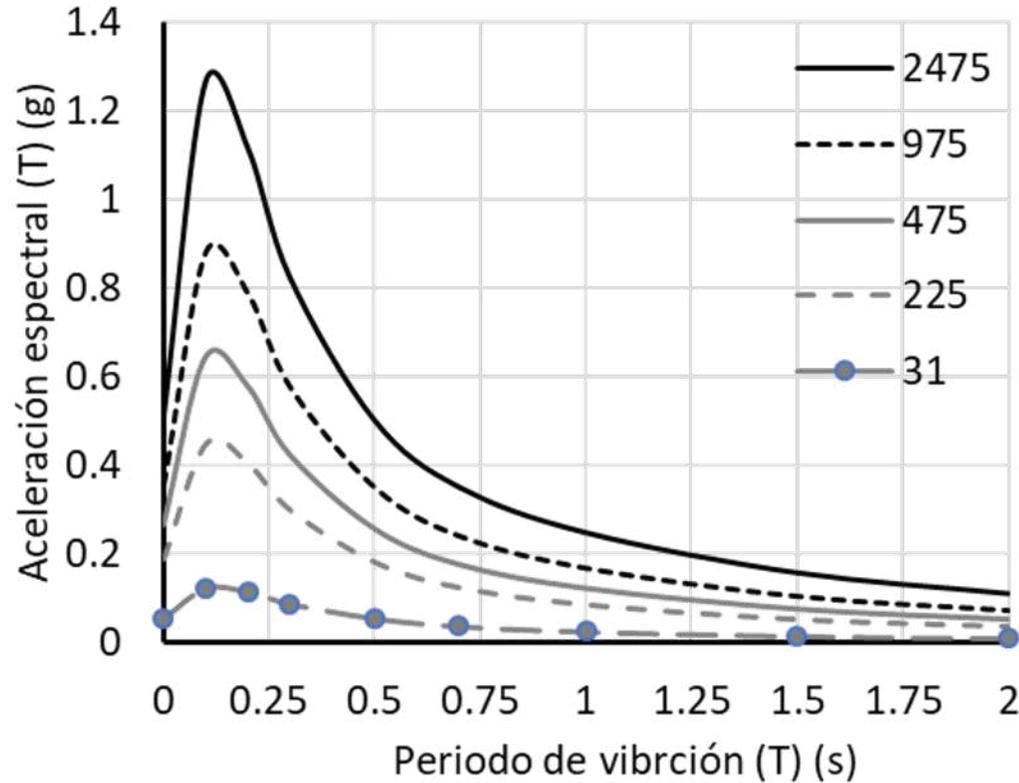
### Catálogo sísmico integrado



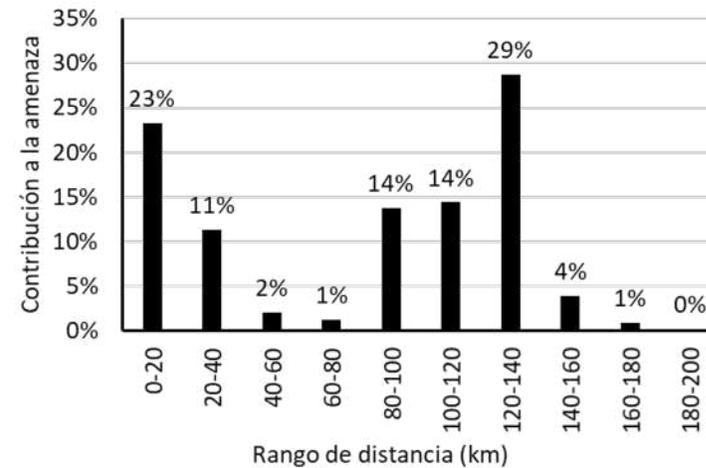
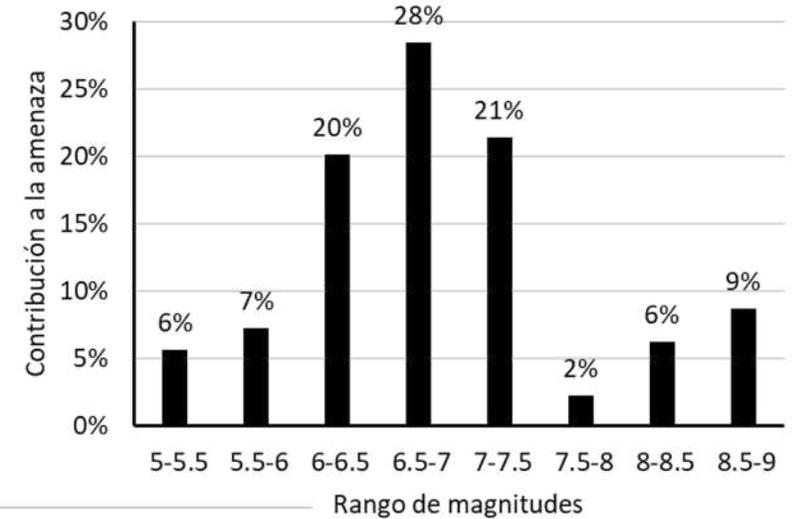
Escenarios de riesgo sísmico

## Insumos

### Intensidades esperadas



## Análisis de desagregación sísmica

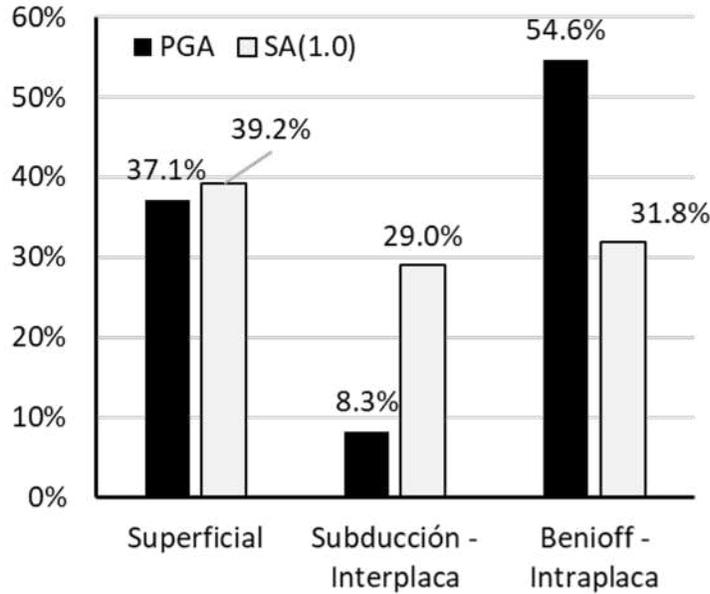


Escenarios de riesgo sísmico

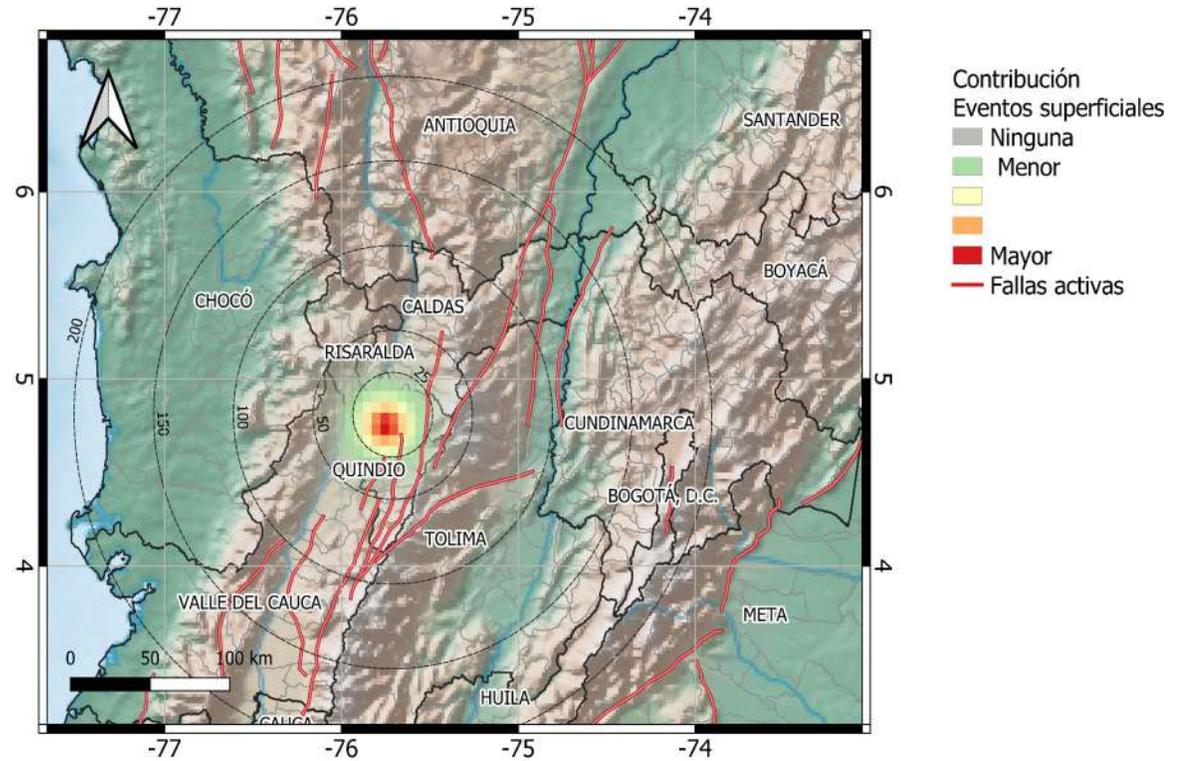
# 2 Amenaza Sísmica

Escenarios de riesgo sísmico

## Insumos



Participación en la amenaza por ambiente tectónico y periodo de vibración



## Tipos de análisis

### **Análisis probabilista**

Determina las afectaciones con una probabilidad de excedencia, luego de incluir todas las posibles fuentes y todas las posibles rupturas dentro del Modelo de Amenaza Probabilista

### **Análisis determinista**

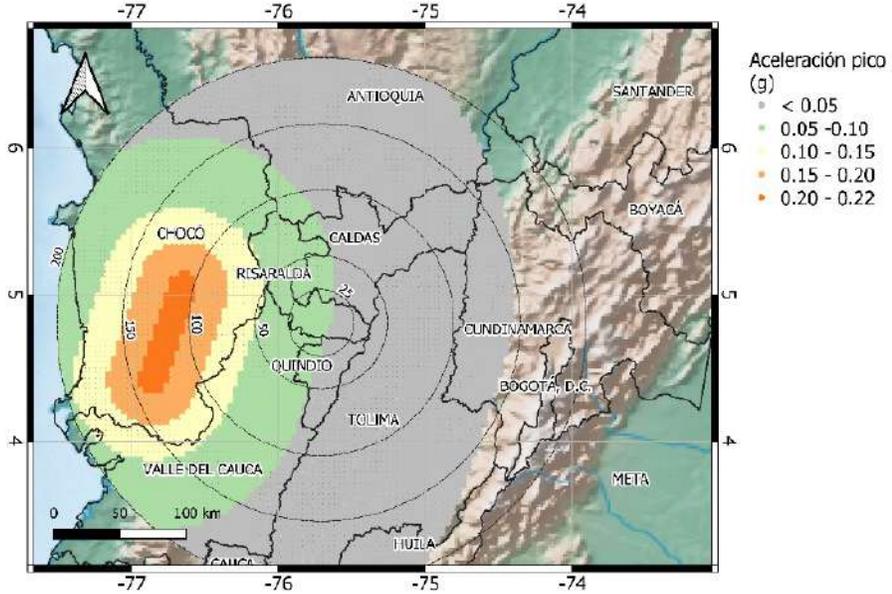
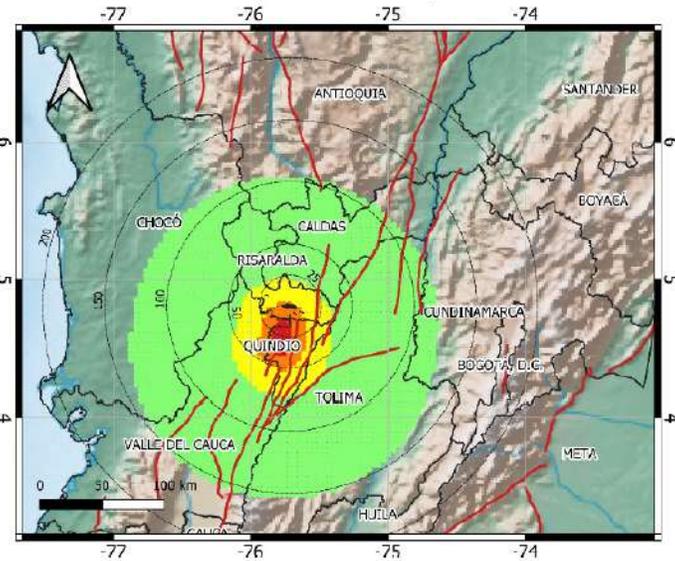
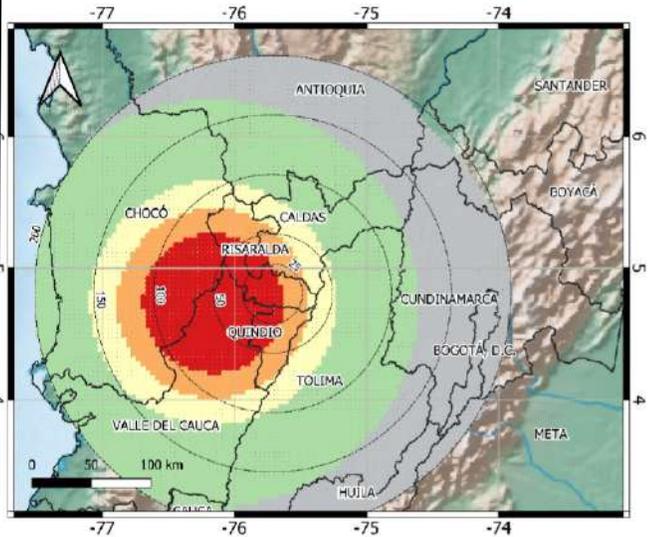
Determina las afectaciones para un único evento sísmico definido a partir de la información disponible de geología, tectónica y sismicidad.

# 2 Amenaza Sísmica

## Selección de eventos deterministas y amenaza en roca

ID	Tipo	Long	Lat	Prof	Dip	Strike	Rak	Mw	Ambiente tectónico
M7.5D45	Hipotético Benioff	-76.16	0.73	100	41	137	-163	7.5	Intraplaca
M6.1D47	Sismo de 25/01/1999	-75.75	4.58	17	65	8	-21	6.1	Superficial
M7.5D113	Hipotético de subducción	-76.42	4.728	50	86	18	-83	7.5	Interplaca

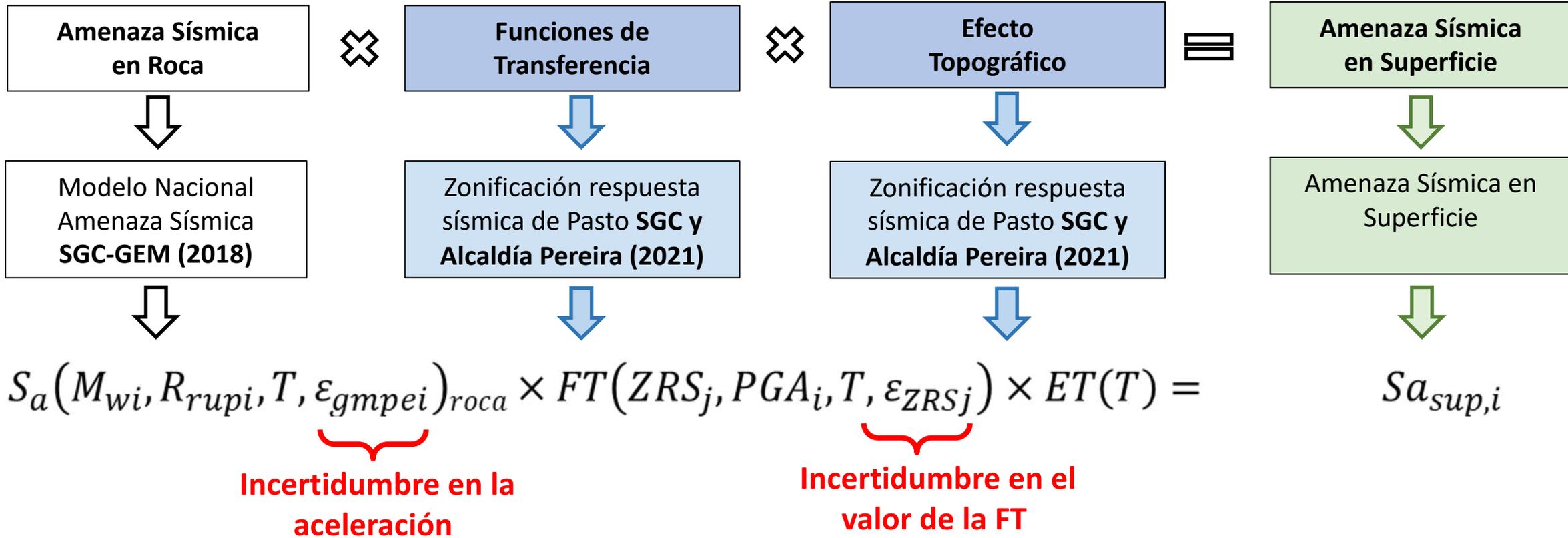
Escenarios de riesgo sísmico



# 2 Amenaza Sísmica

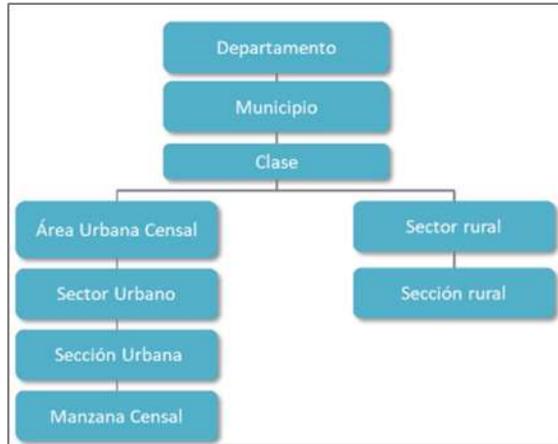
## Estimación de intensidades en superficie

Escenarios de riesgo sísmico

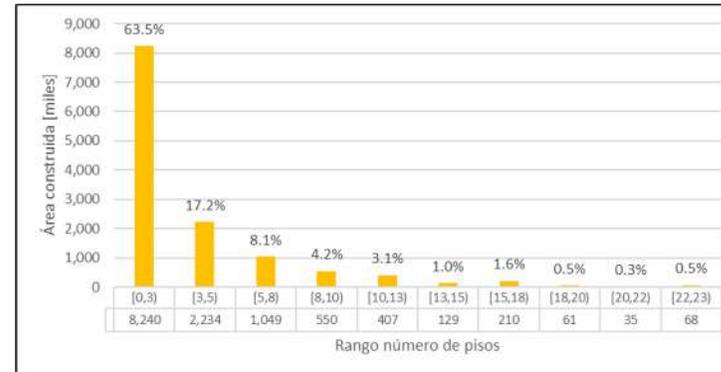
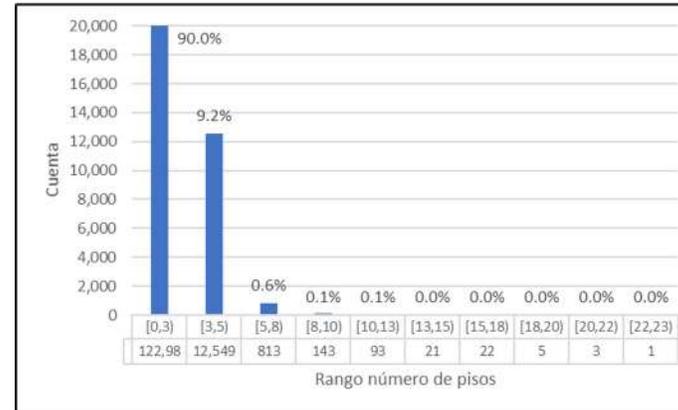


## Información base

### Marco geoestadístico nacional

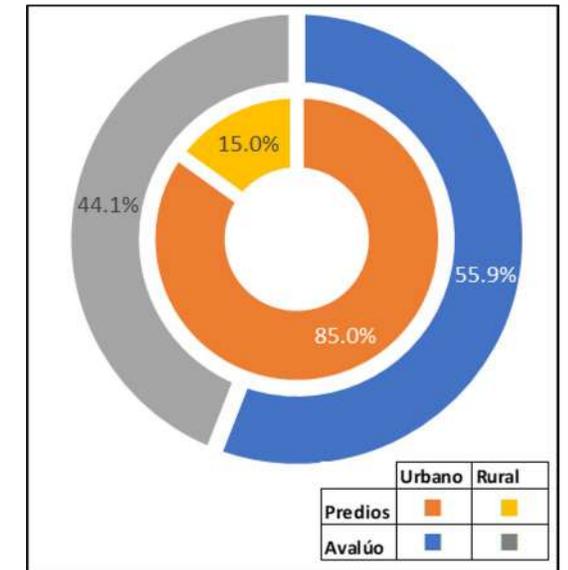


## Base de datos catastral

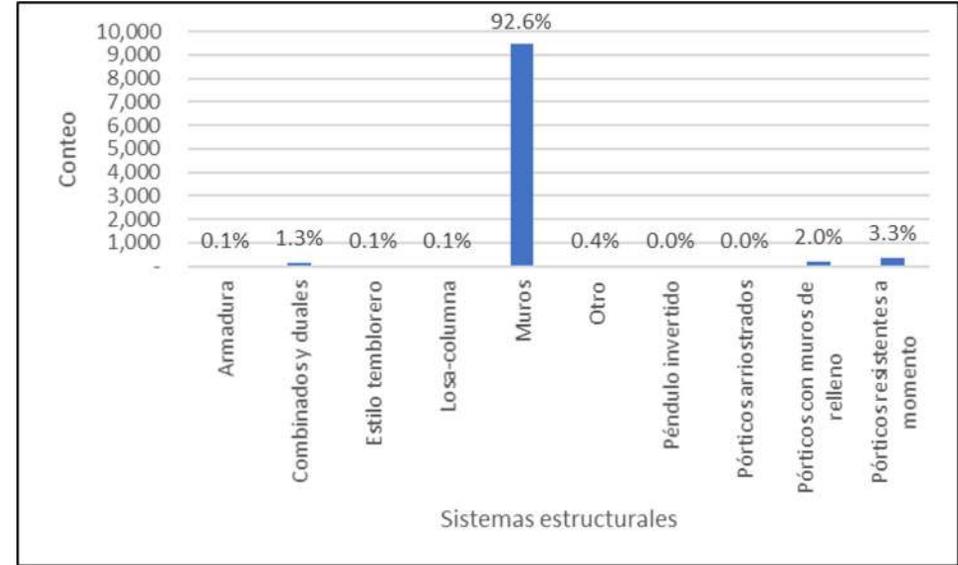


## Avalúos o valoraciones catastrales

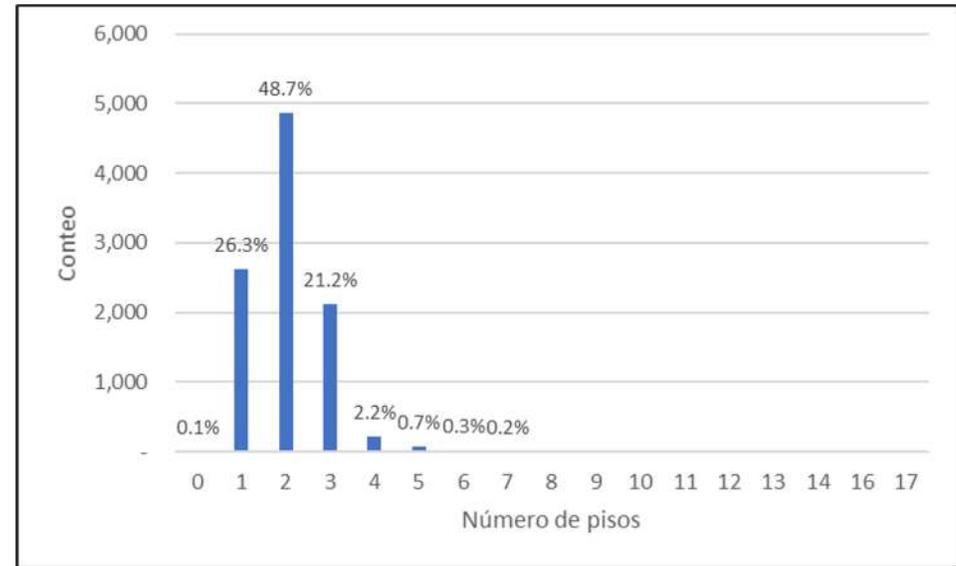
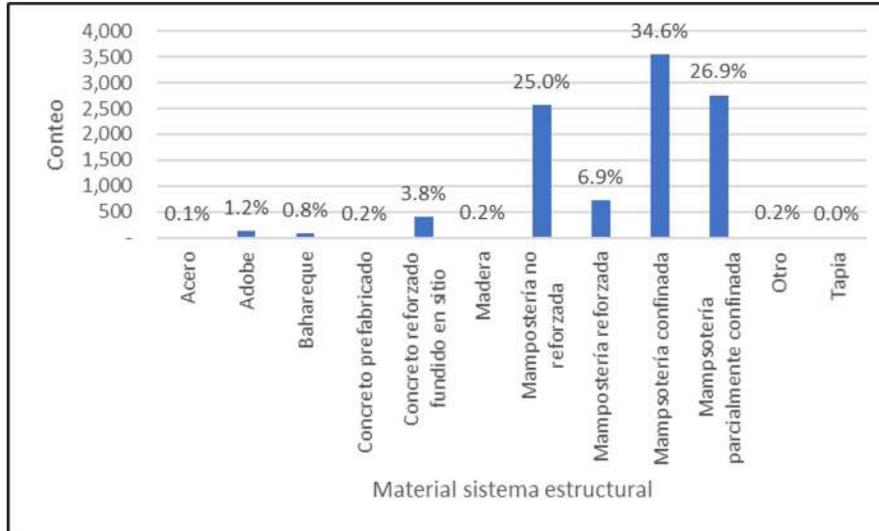
		Urbano	Rural	Total
Predios	[und.]	147.915	26.132	174.047
	[%]	85,0%	15,0%	
Avalúo	[COP millones]	\$ 11.337.339	\$ 8.942.401	\$ 20.279.740
	[%]	55,9%	44,1%	
Estado		Actualizado 2017	Actualizado 2017	



## Información base – Inspecciones visuales



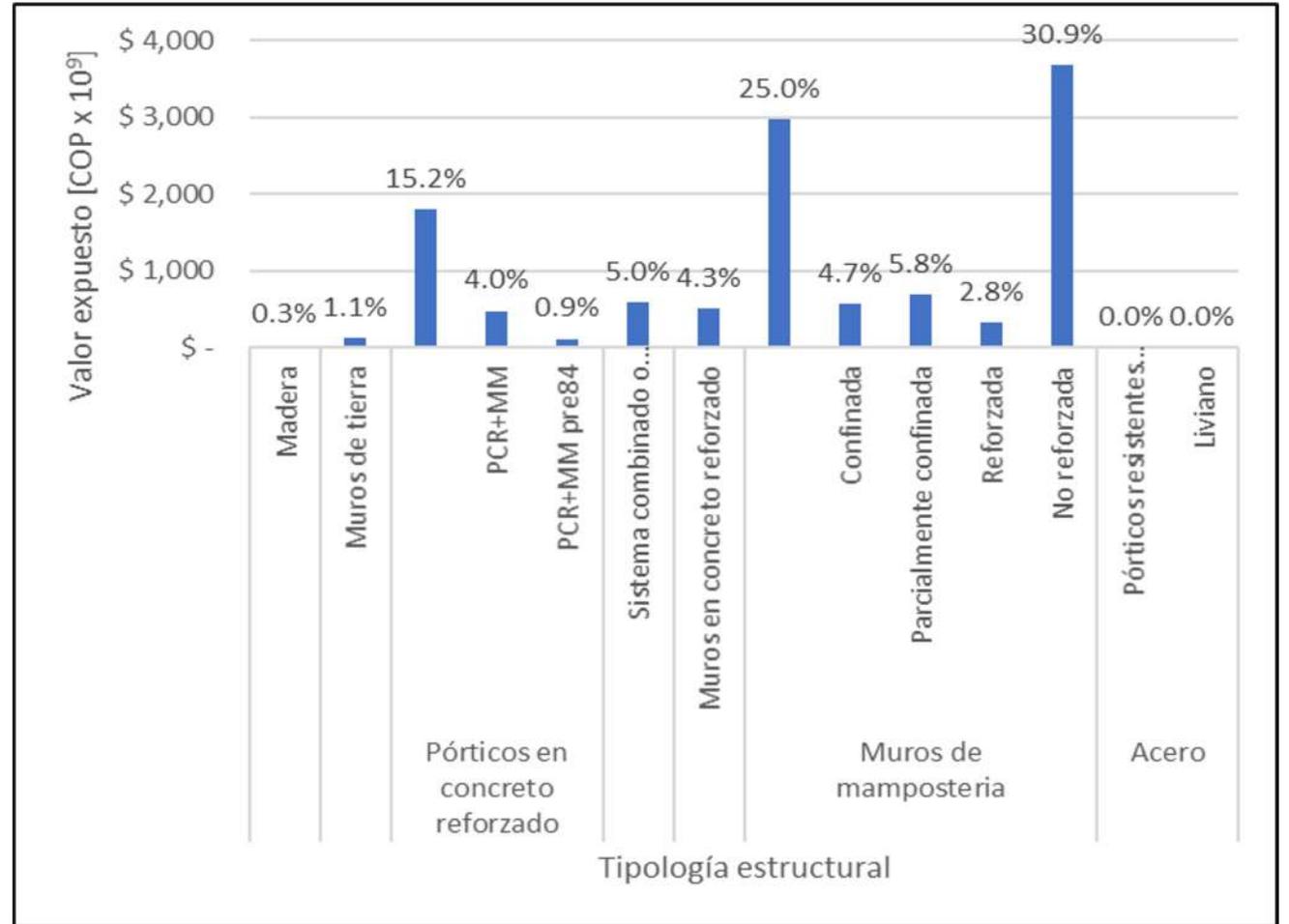
Se incluyeron las inspecciones realizadas por 30 estudiantes financiados por Miyamoto!



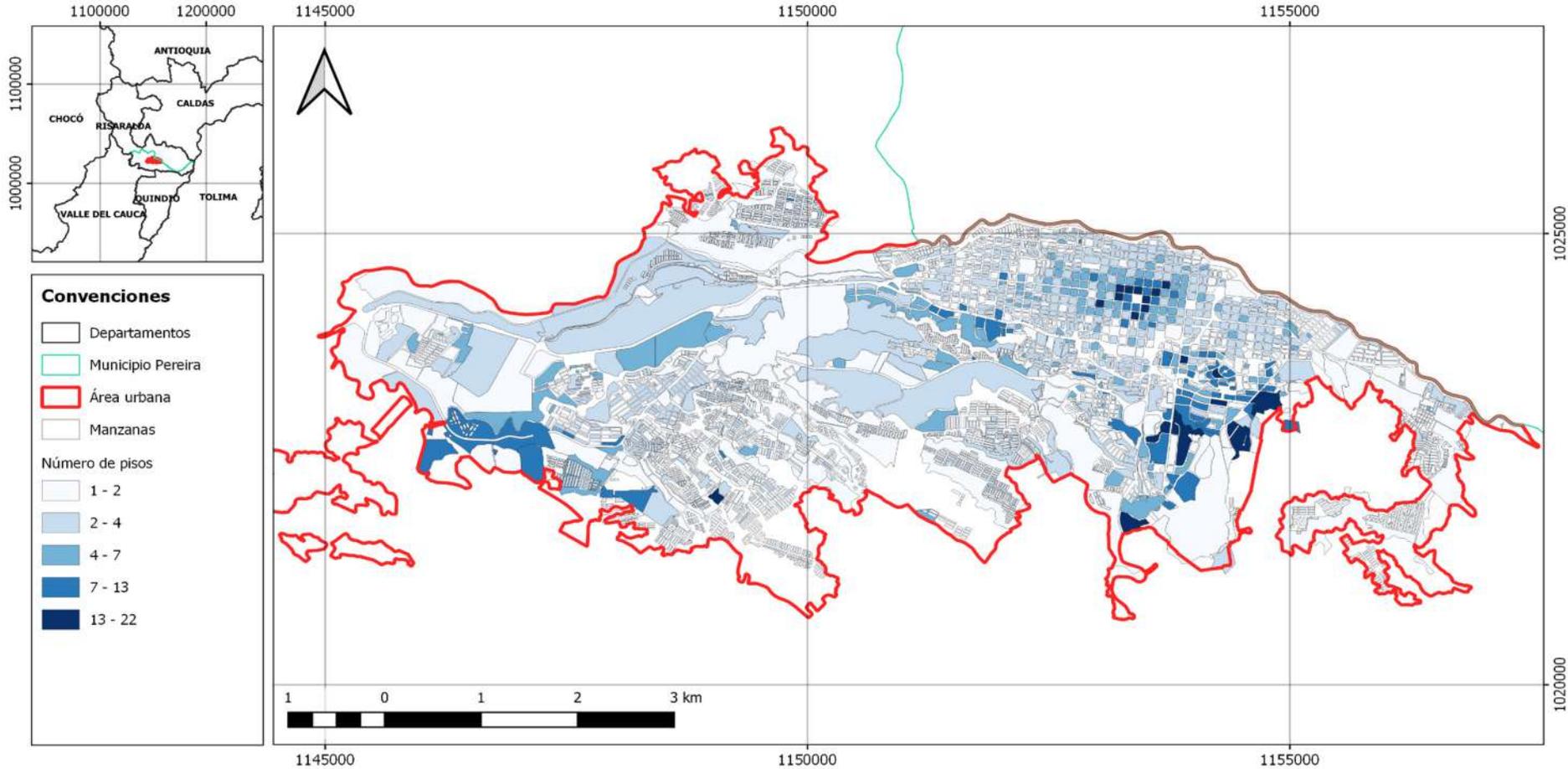
## Modelo final

Escenarios de riesgo sísmico

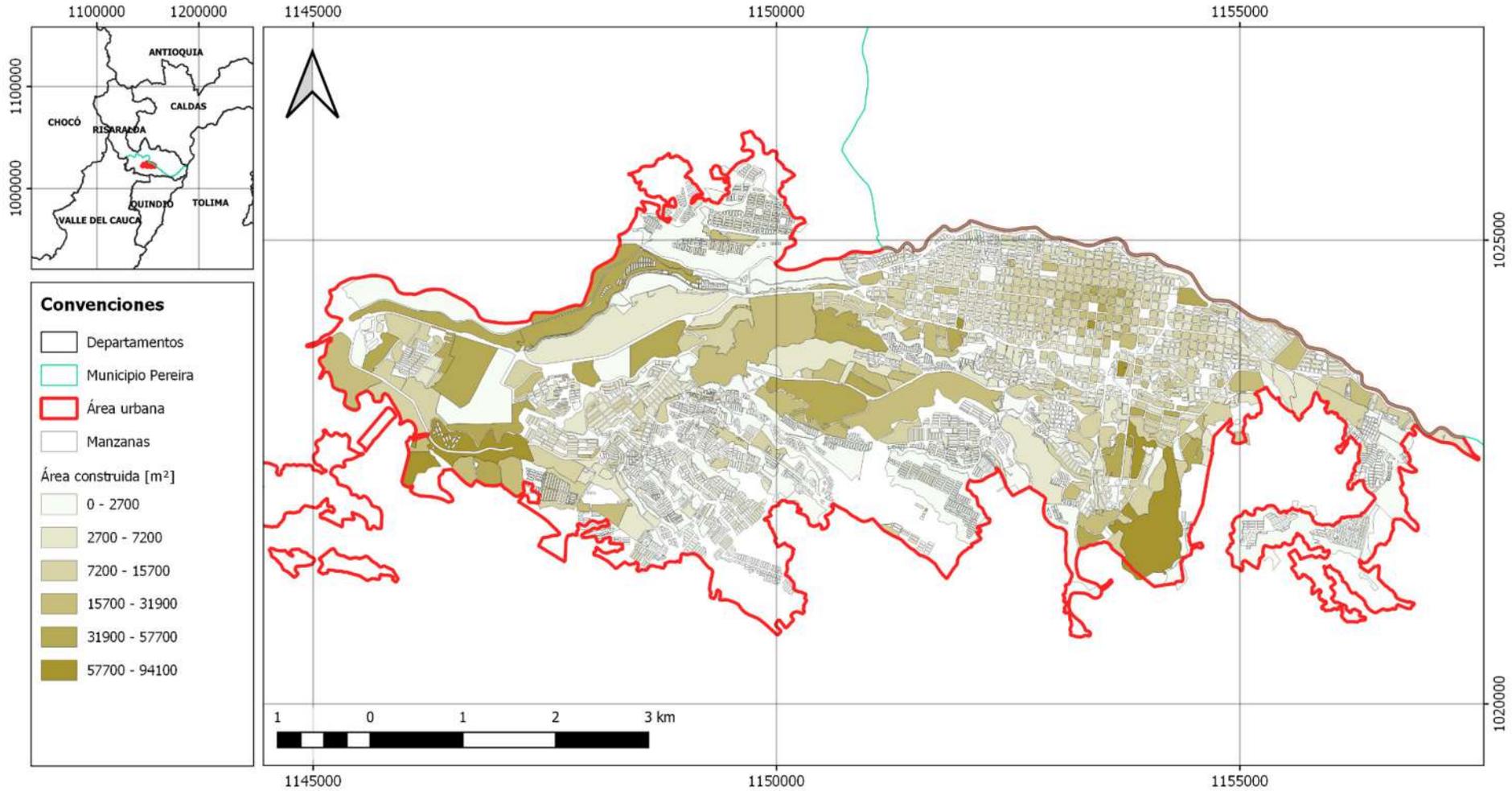
Centro poblado	No. edificaciones	Valor expuesto [COP billones]
Pereira	68,715	11.87



## Modelo final



## Modelo final



Escenarios de riesgo sísmico

## Tipos de edificaciones

Bahareque



Mampostería no-reforzada



Mampostería confinada



Mampostería reforzada



Pórticos en CR



Sistema dual en CR



Muros en CR



## Tipologías constructivas

El portafolio de edificaciones bajo estudio es agrupado en **tipologías constructivas** en función de atributos funcionales, arquitectónicos y estructurales:

1

### Atributos constructivos

- Año de construcción
- Adiciones, remodelaciones y reforzamiento
- Nivel de conservación
- Calidad de la mano de obra

3

### Atributos arquitectónicos

- Número de pisos
- Interacción elementos no-estructurales y estructurales

2

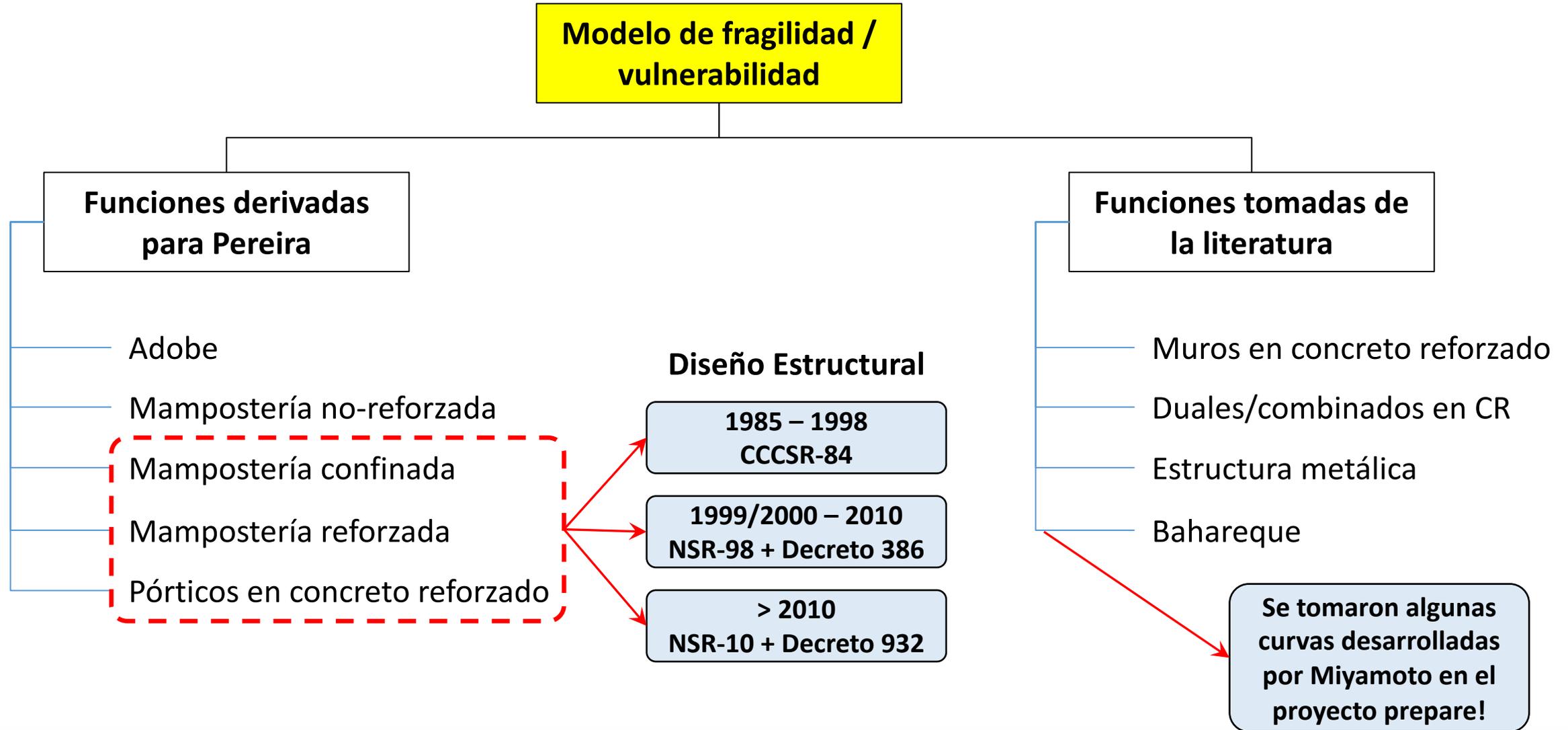
### Atributos estructurales

- Sistema estructural (SE)
- Propiedades mecánicas de materiales del SE
- Presencia e interacción con muros de relleno
- Reglamento de diseño o ausencia del mismo
- Nivel de ductilidad
- Irregularidades en planta y en altura
- Grupo de uso (importancia)

# 4 Modelo de vulnerabilidad

Conformación del modelo – 83 tipologías! 63 derivadas para Pereira!

Escenarios de riesgo sísmico



## Tipologías constructivas para centros educativos

Escenarios de riesgo sísmico

Sistema estructural	Número de pisos	Periodo de construcción
Mampostería confinada	1	No aplica
Mampostería confinada	2	No aplica
Mampostería simple	1	No aplica
Pórticos de concreto reforzado con muros no dilatados	1	Entre 1930-1984
Pórticos de concreto reforzado con muros no dilatados	1	Entre 1985 a 1998
Pórticos de concreto reforzado con muros no dilatados	2	Entre 1930-1984
Pórticos de concreto reforzado con muros no dilatados	2	Entre 1985 a 1998

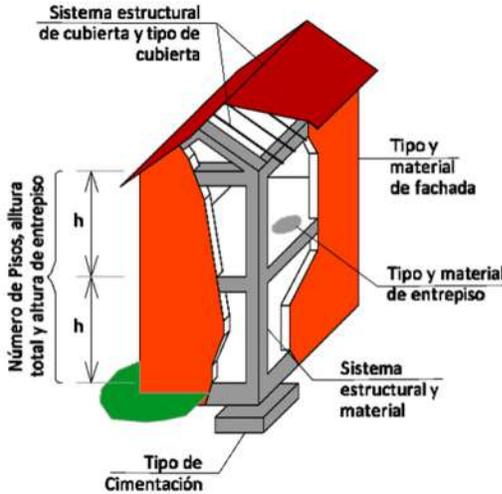
## Metodología

Escenarios de riesgo sísmico

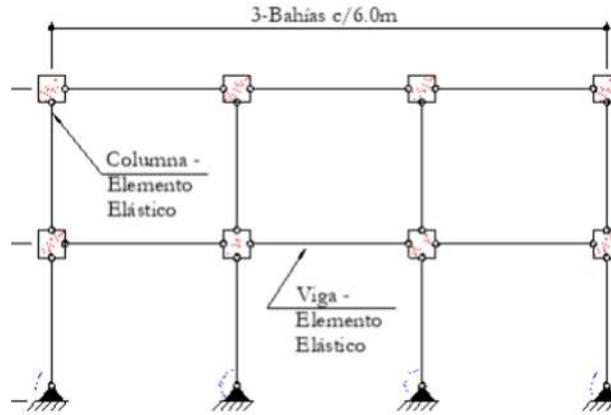
Respuesta Estructural

Funciones Fragilidad

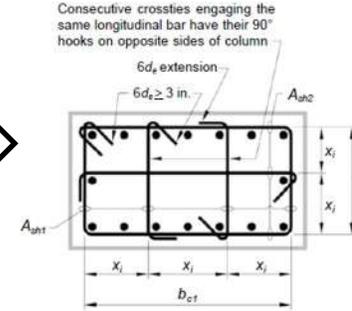
### Tipología Constructiva



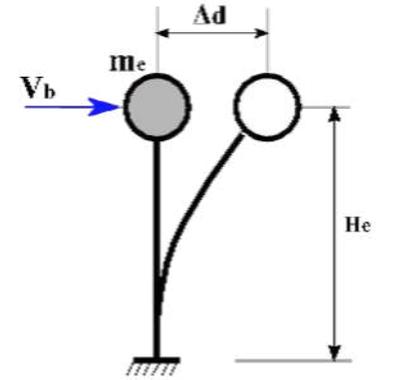
### Definición de arquetipo estructural a partir de atributos



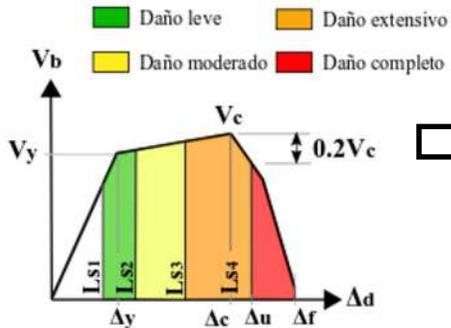
### Diseño Estructural (Si aplica)



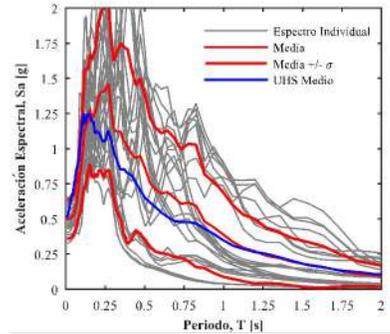
### Respuesta No-Lineal y conversión a un sistema equivalente de UGDL



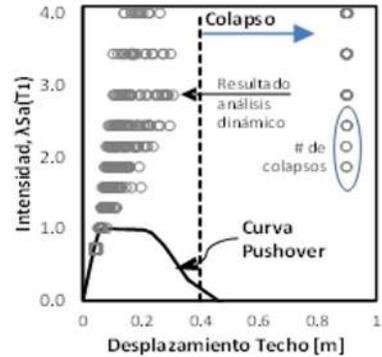
### Límites de desempeño y estados de daño



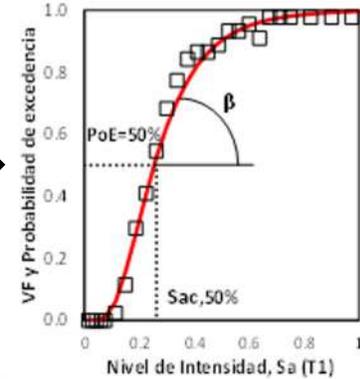
### Selección y escalamiento de acelerogramas



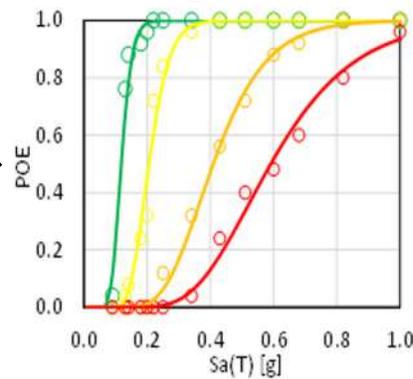
### Análisis dinámico a periodos de retorno incrementales



### Ajuste función de probabilidad

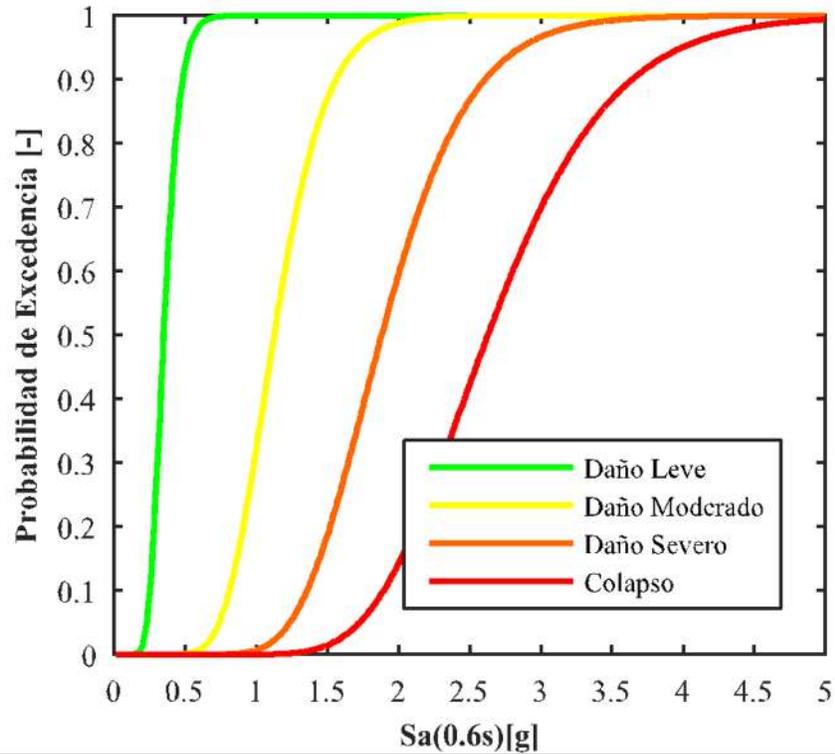


### Función de fragilidad

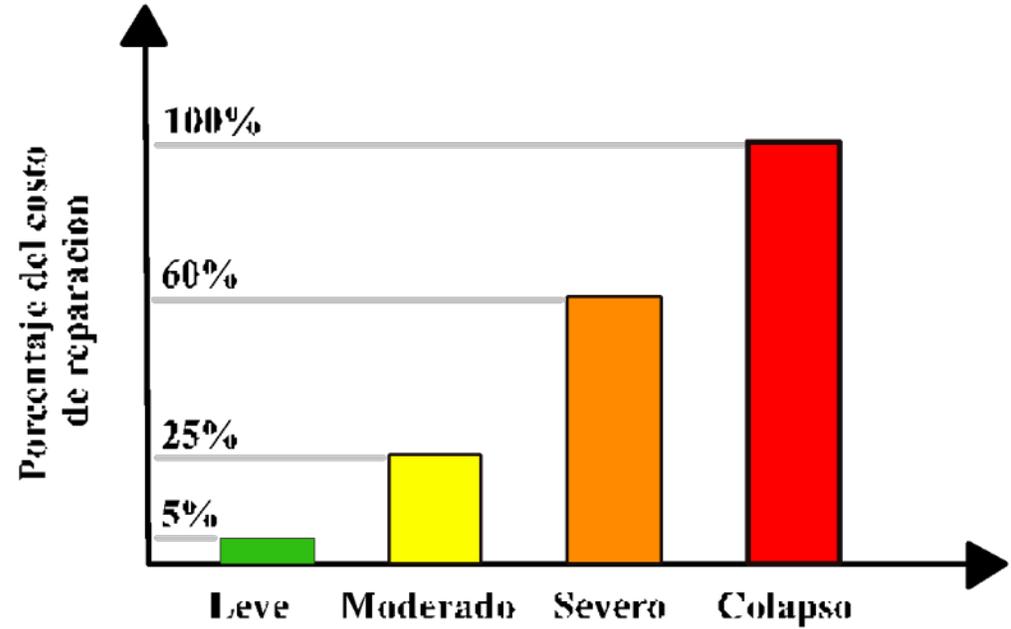


## Interpretación de las funciones de fragilidad

Escenarios de riesgo sísmico



**Función de Fragilidad**



**Función de Consecuencia**

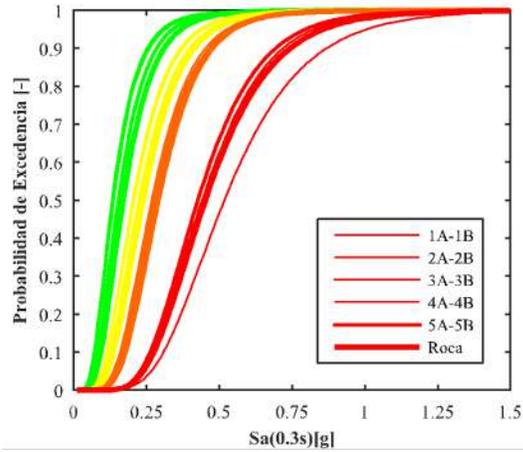
## Muestra de funciones de fragilidad construidas

Escenarios de riesgo sísmico

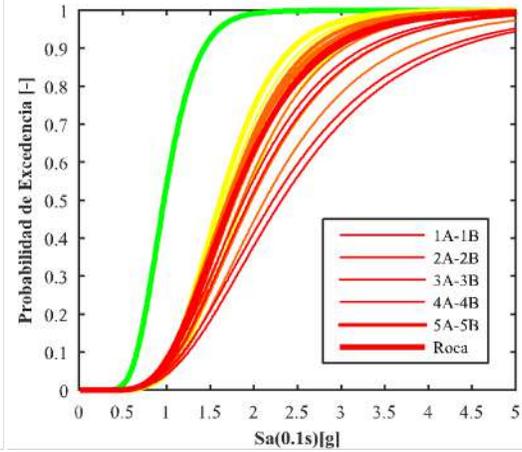
Uno/Dos pisos

Dos/Tres pisos

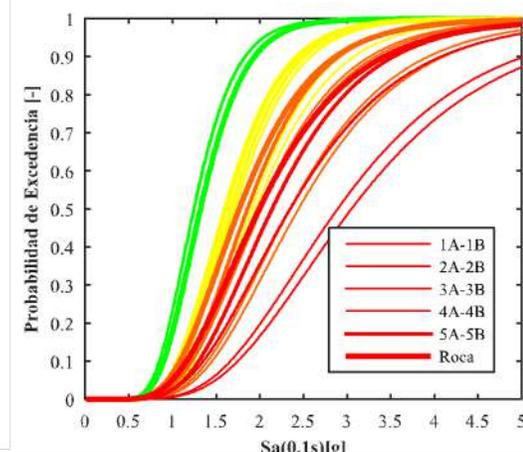
Mampostería no-reforzada



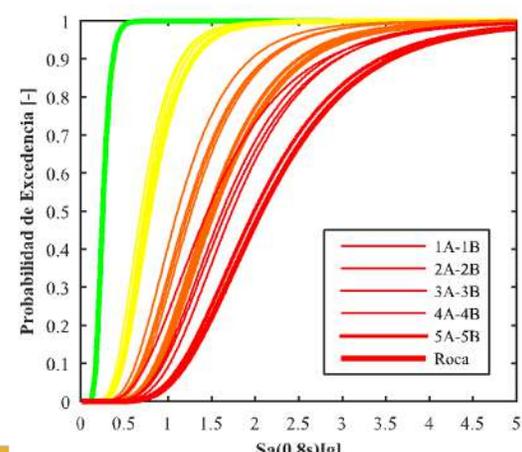
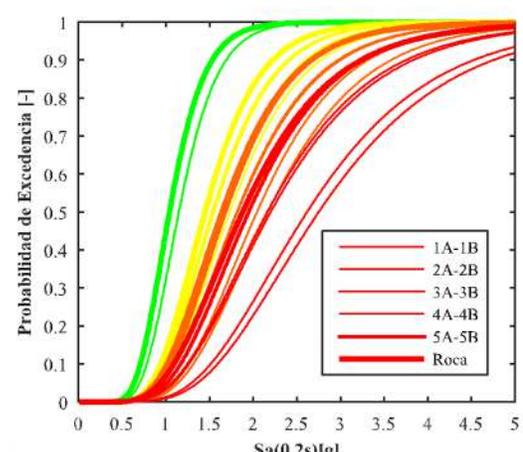
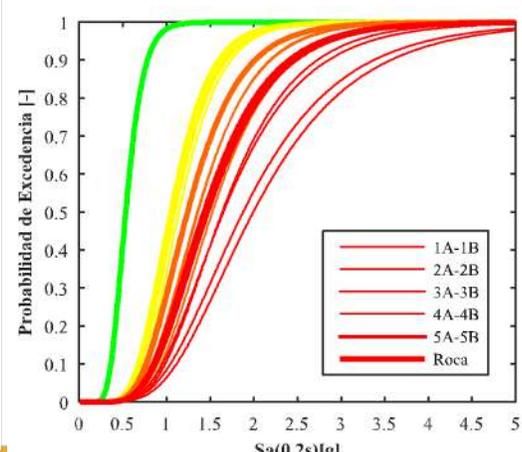
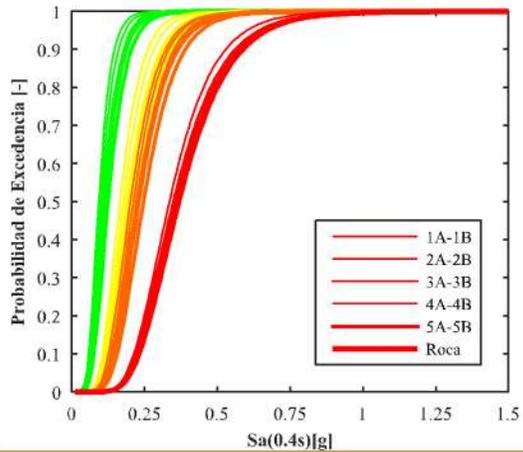
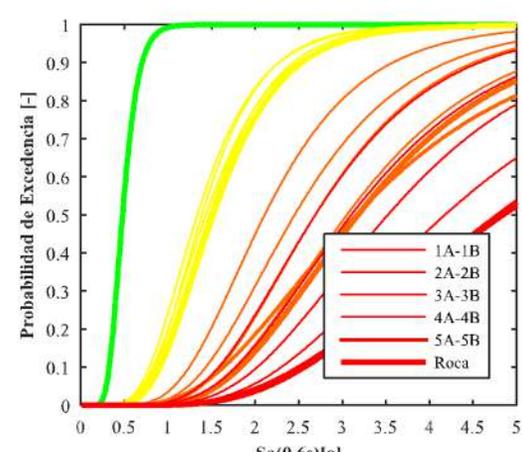
Mampostería confinada



Mampostería reforzada

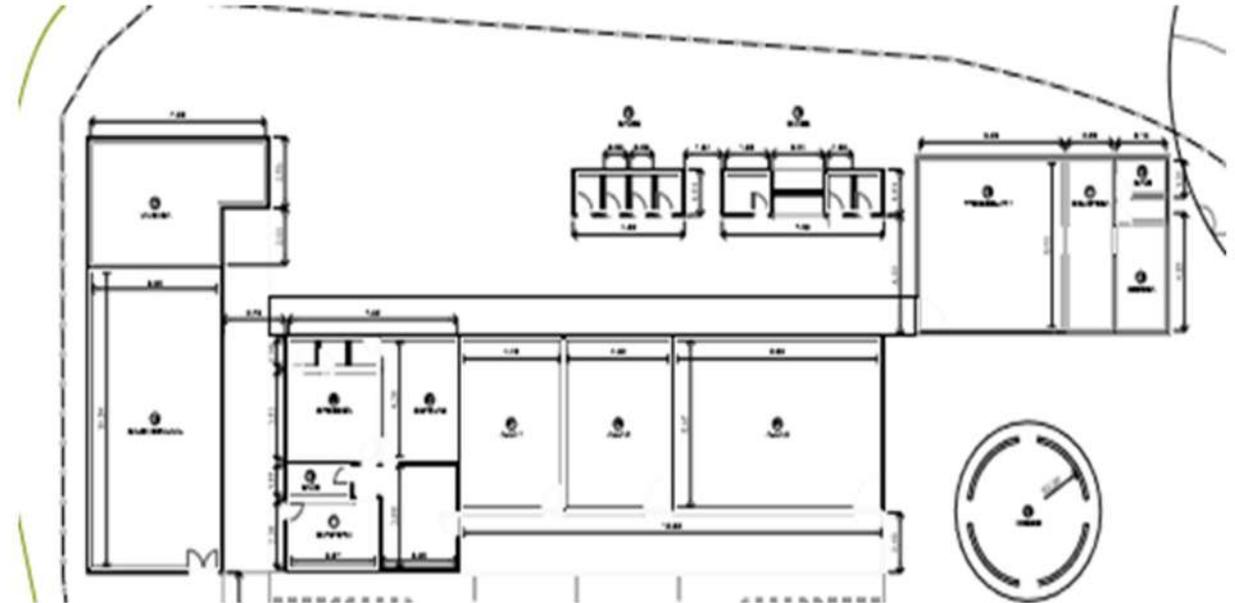


Pórticos CR Post 1984



## Ejemplos arquetipos típicos

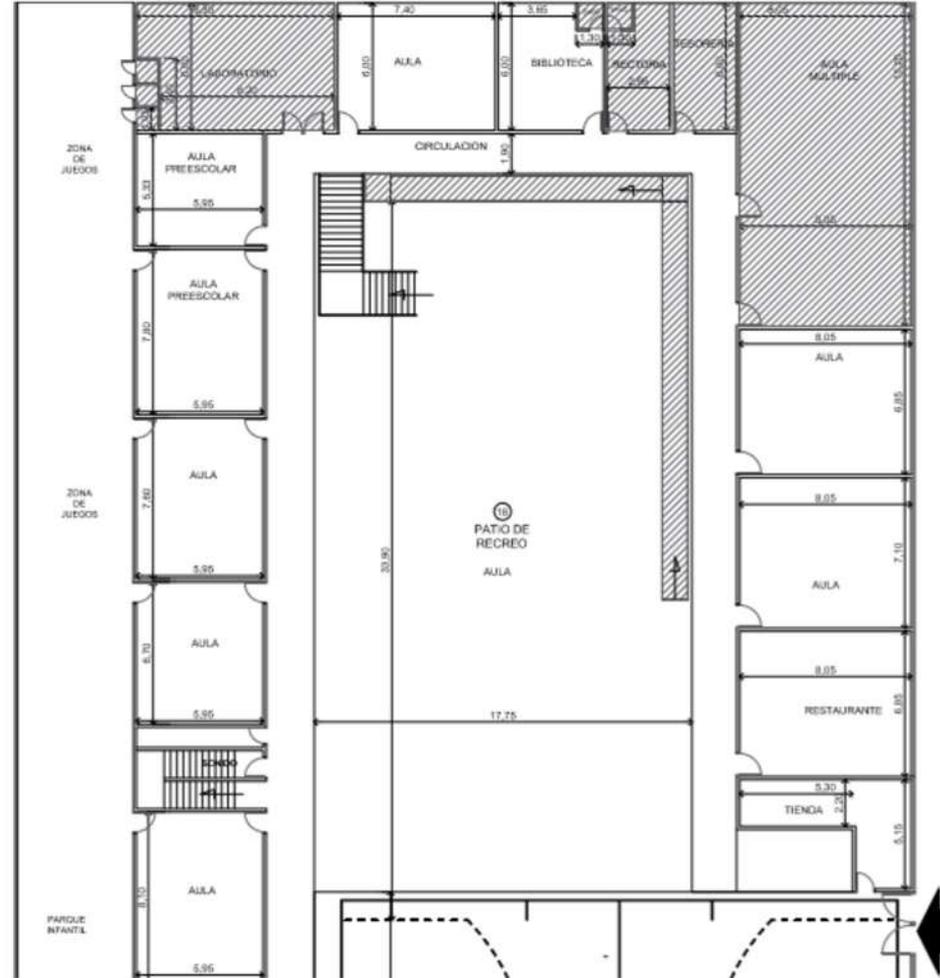
### Pórticos de concreto de 1 piso



Escenarios de riesgo sísmico

## Ejemplos arquetipos típicos

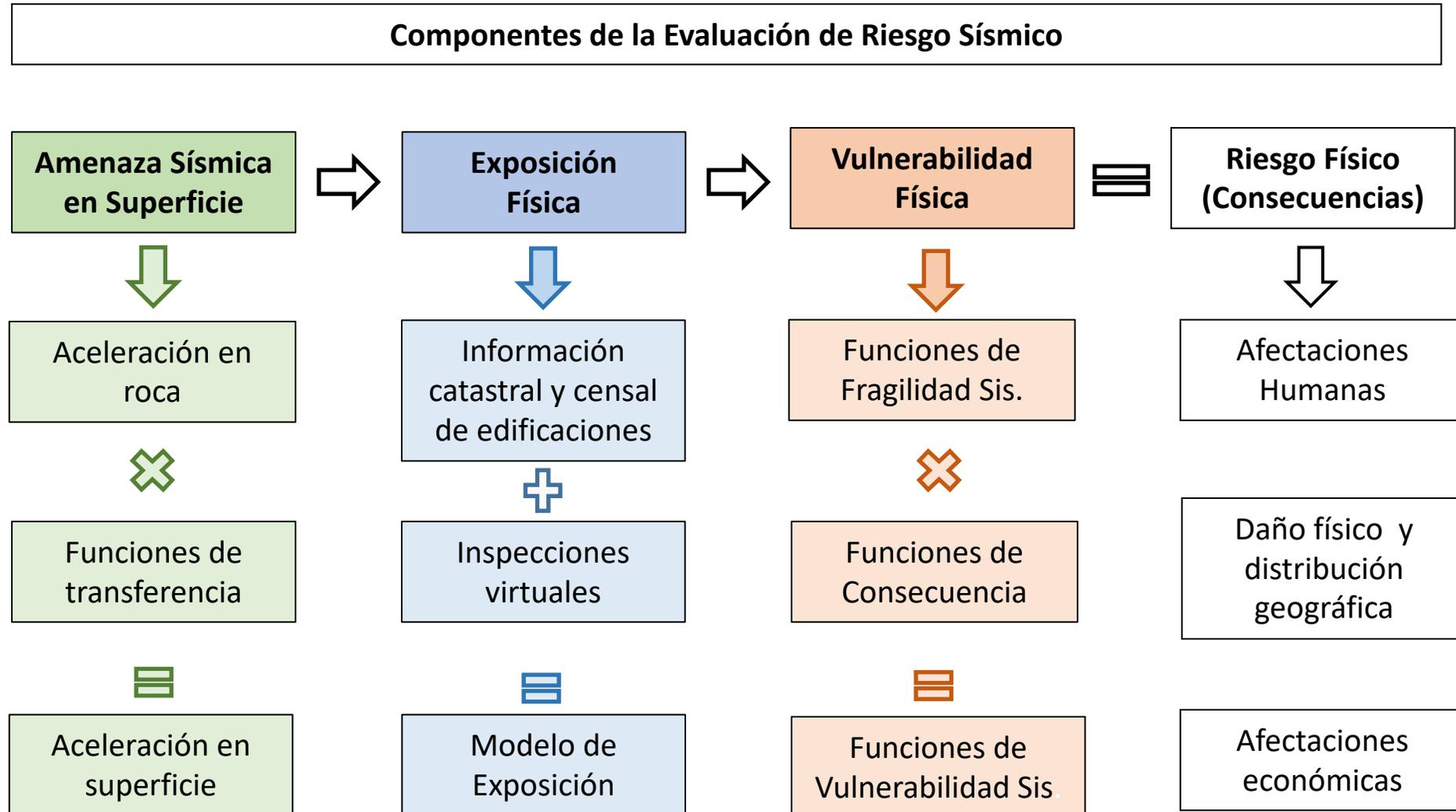
### Pórticos de concreto de 2 pisos



Escenarios de riesgo sísmico

## Tipos de edificaciones

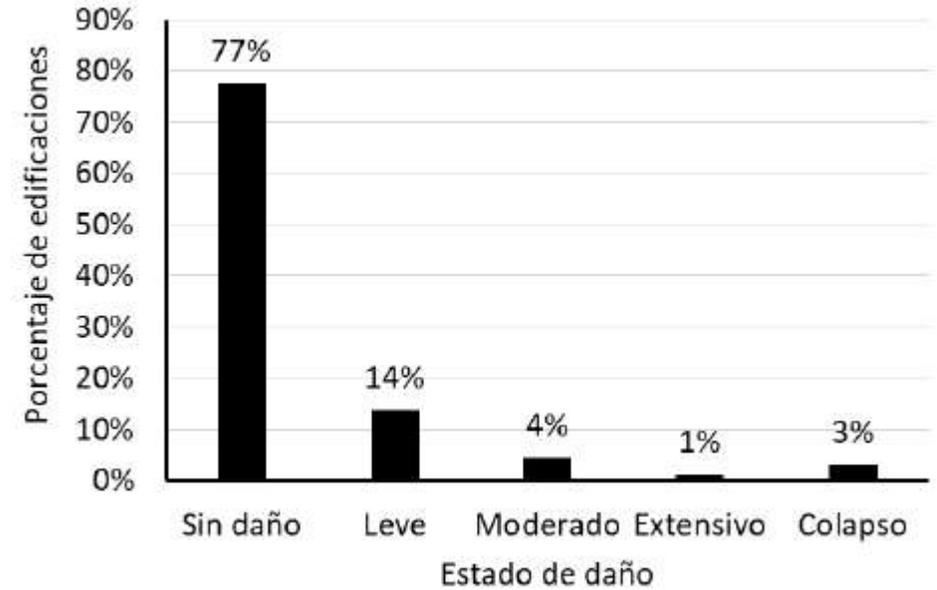
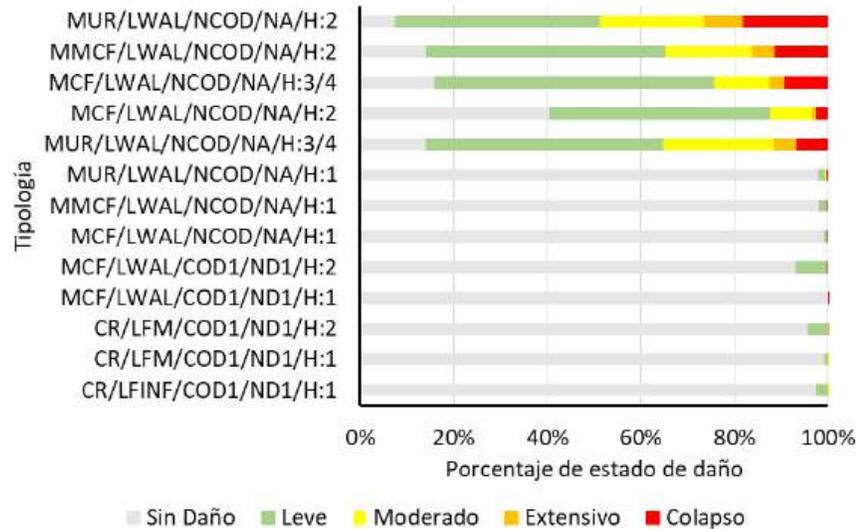
Escenarios de riesgo sísmico



## Resumen de resultados – sismo de 7,5Mw a 100 km en interplaca

**Tabla 57.** Resumen de principales resultados del escenario de un sismo hipotético en la subducción del pacífico de magnitud 7.5 Mw

Valor expuesto	[COP millones]	
	Población total	
Pérdida económica estimada	[COP millones]	658,998
	%	5.55%
Población afectada	Población en edificaciones con daño extensivo	5,420
	%	1.36%
	Población en edificaciones en colapso	12,982
	%	3.25%
	Heridos	4,004
	%	1.00%
	Fallecidos	1,002
	%	0.25%

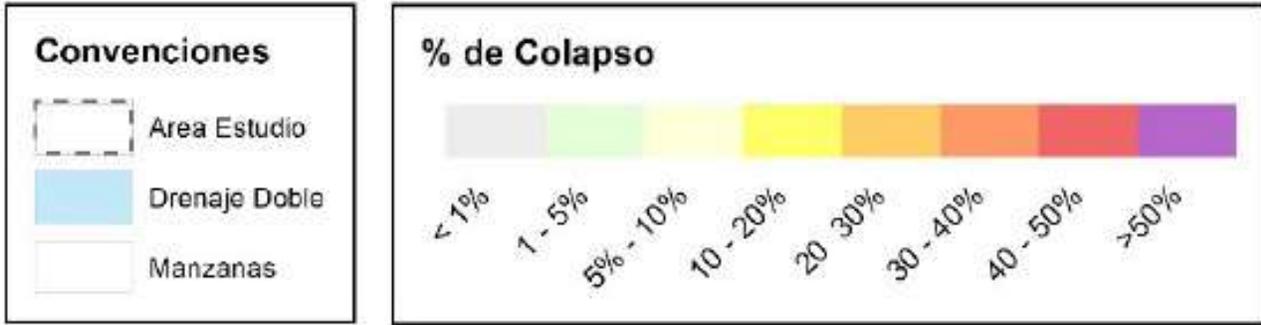
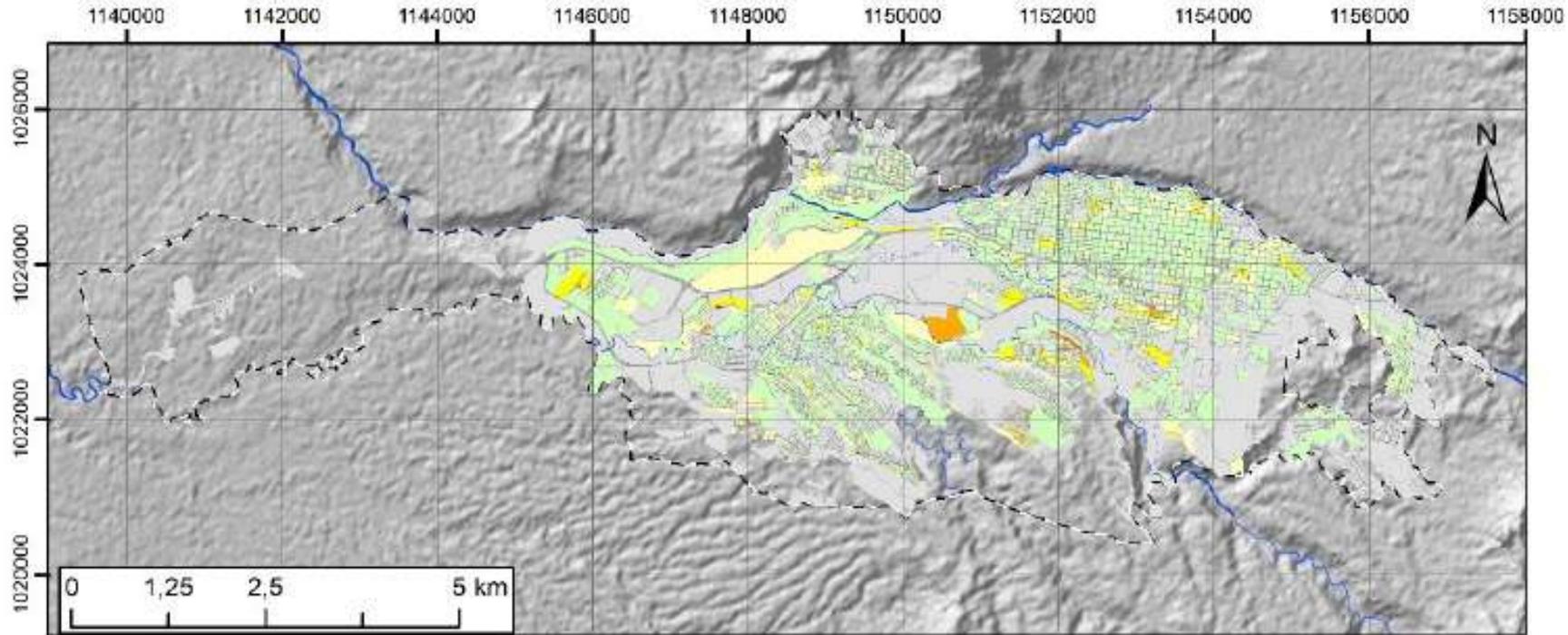


Escenarios de riesgo sísmico

# 5 Escenarios de daños

Resumen de resultados – sismo de 7,5Mw a 100 km en interplaca

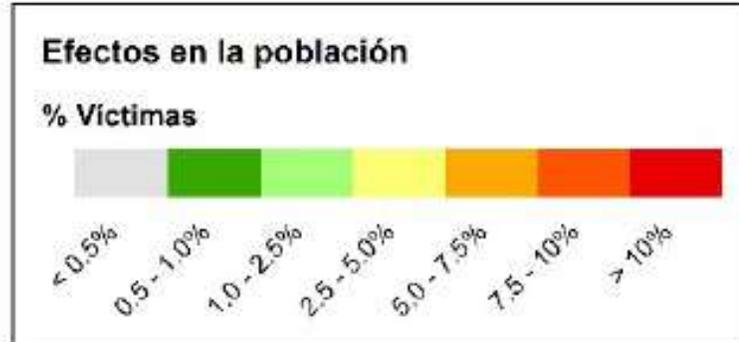
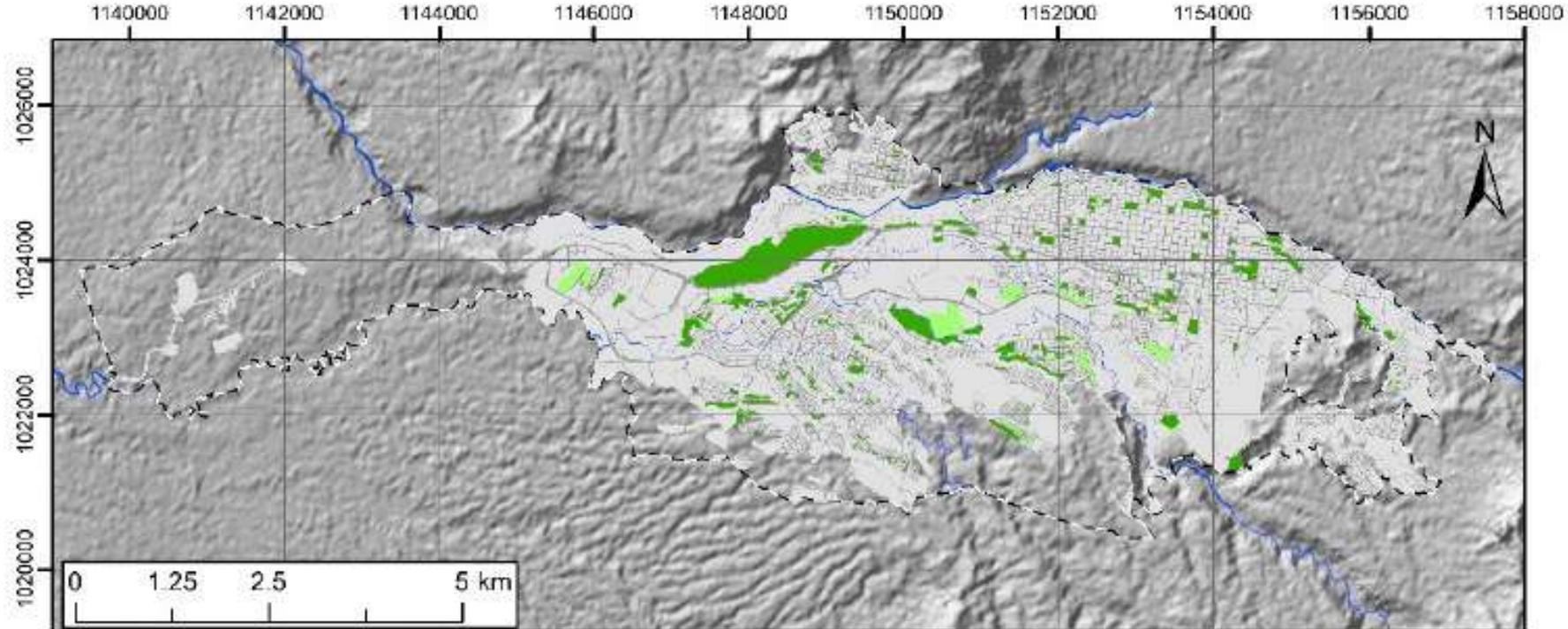
Escenarios de riesgo sísmico



# 5 Escenarios de daños

## Resumen de resultados – sismo de 7,5Mw a 100 km en interplaca

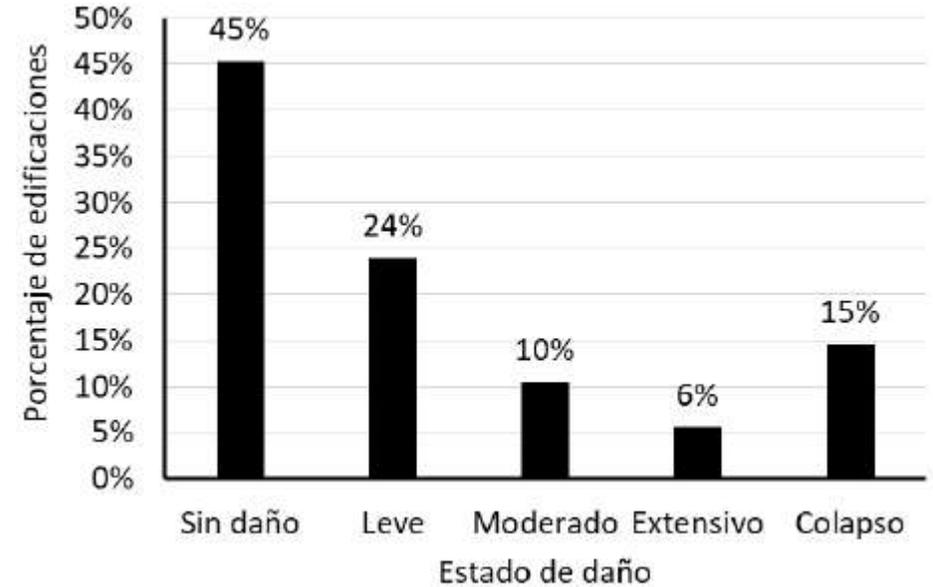
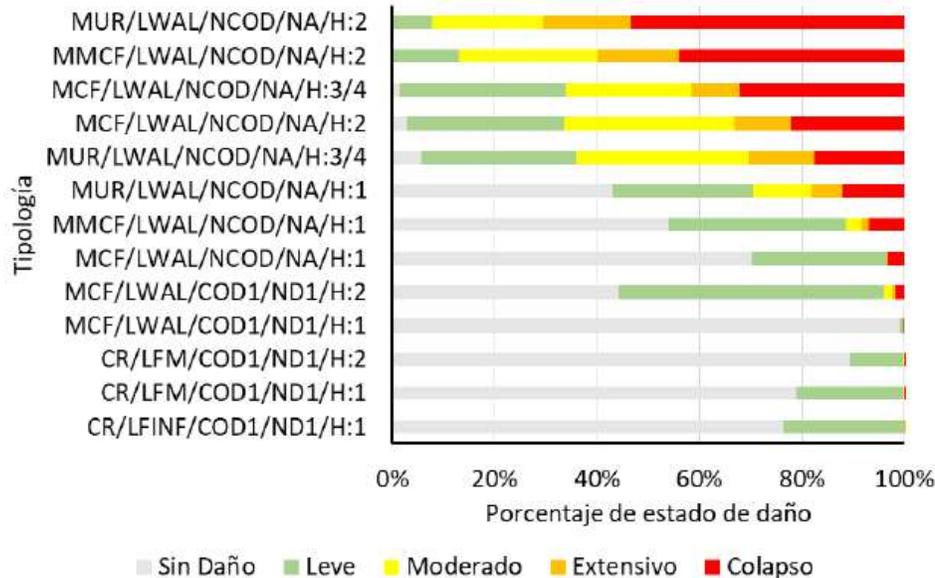
Escenarios de riesgo sísmico



## Resumen de resultados – sismo de 1999 Mw6,1 D47km

Tabla 52. Resumen de principales resultados del escenario sismo de 1999 de magnitud de 6.1 Mw

Valor expuesto	[COP millones]	\$11,872,102
Población total		399,694
Pérdida económica estimada	[COP millones]	2,133,373
	[%]	17.97%
Población en edificaciones con daño extensivo		22,050
	[%]	5.52%
Población en edificaciones en colapso		58,154
	[%]	14.55%
Población afectada	Heridos	17,746
	[%]	4.44%
	Fallecidos	4,439
	[%]	1.11%

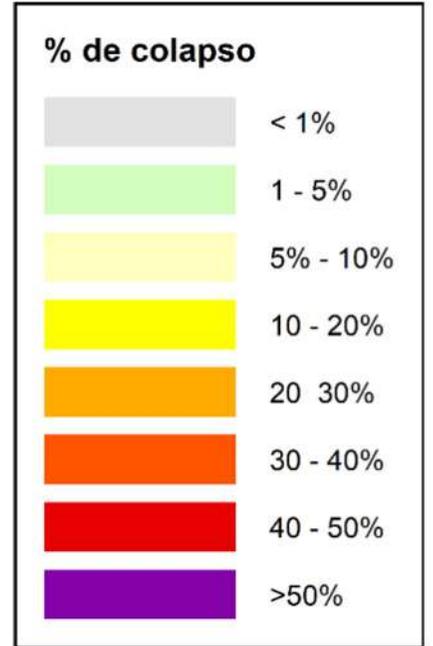
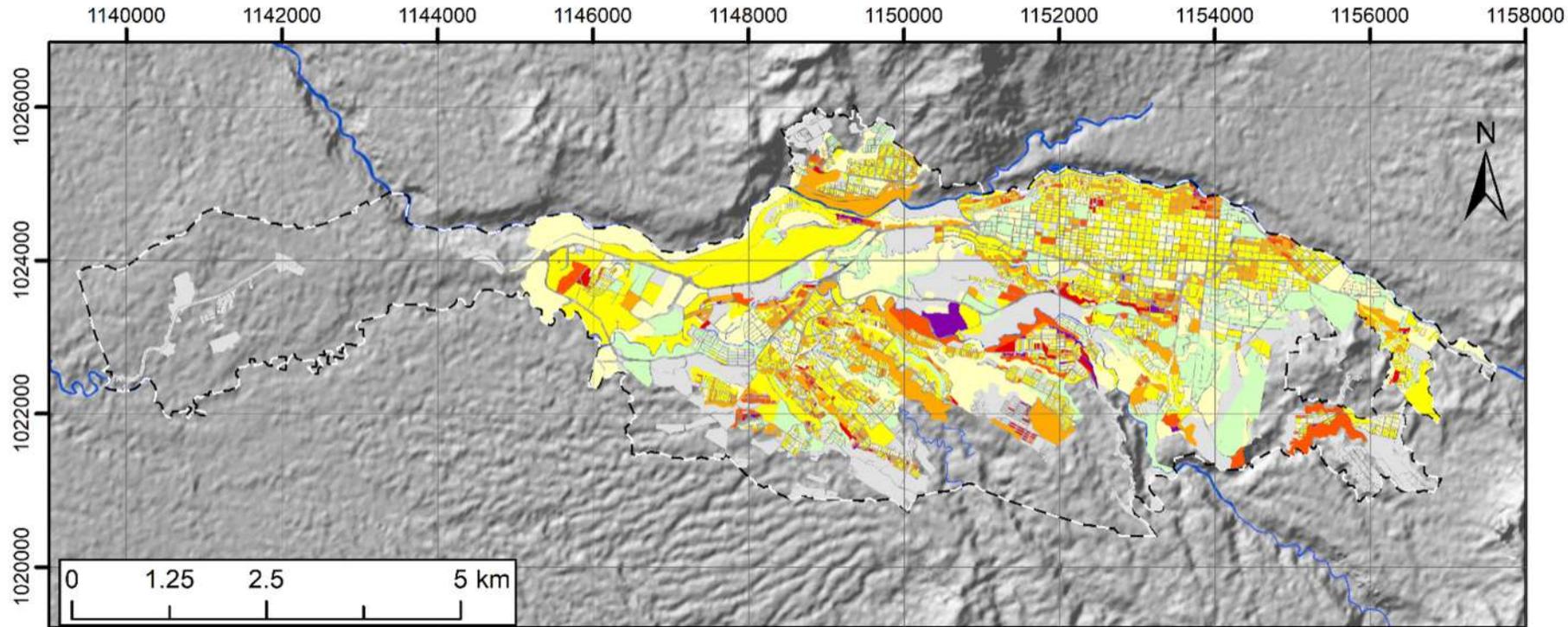


Escenarios de riesgo sísmico

# 5 Escenarios de daños

## Resumen de resultados – sismo de 1999 Mw6,1 D47km

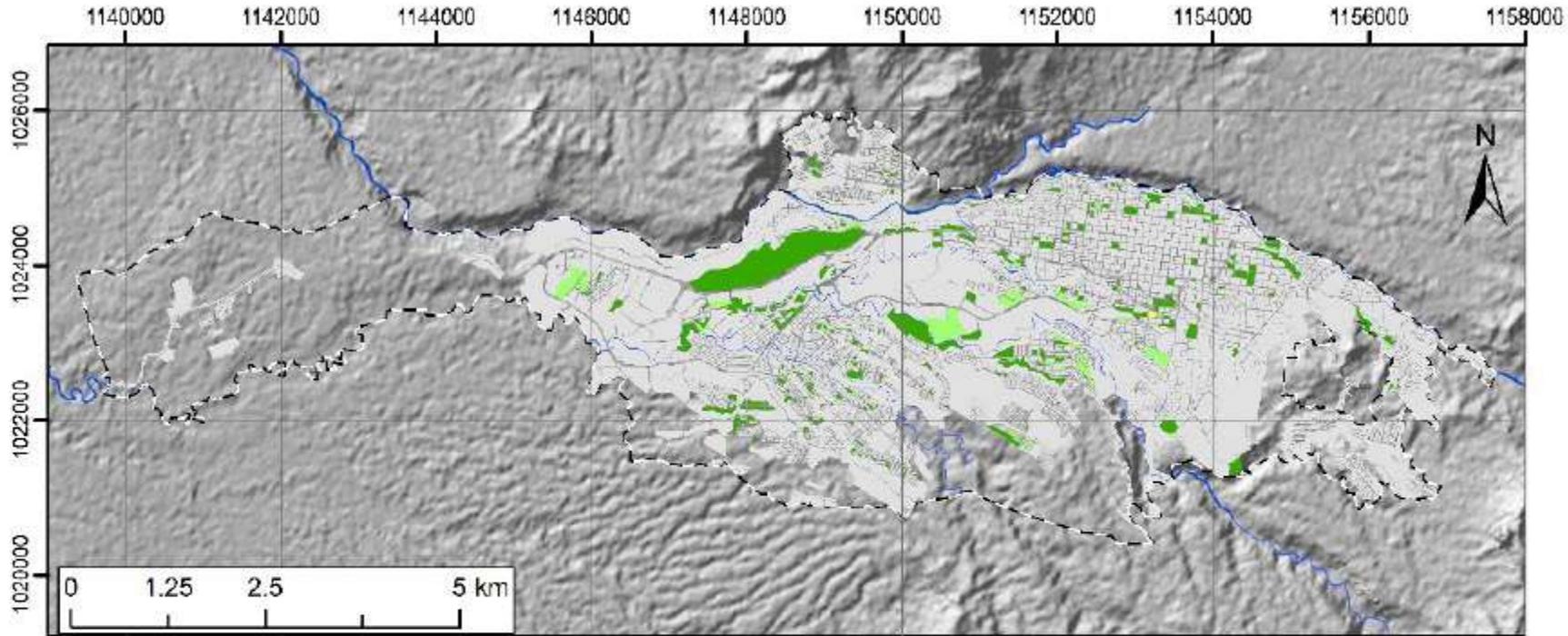
Escenarios de riesgo sísmico



# 5 Escenarios de daños

## Resumen de resultados – sismo de 1999 Mw6,1 D47km

Escenarios de riesgo sísmico



**Convenciones**

- Area Estudio
- Drenaje Doble
- Manzanas

**Efectos en la población**

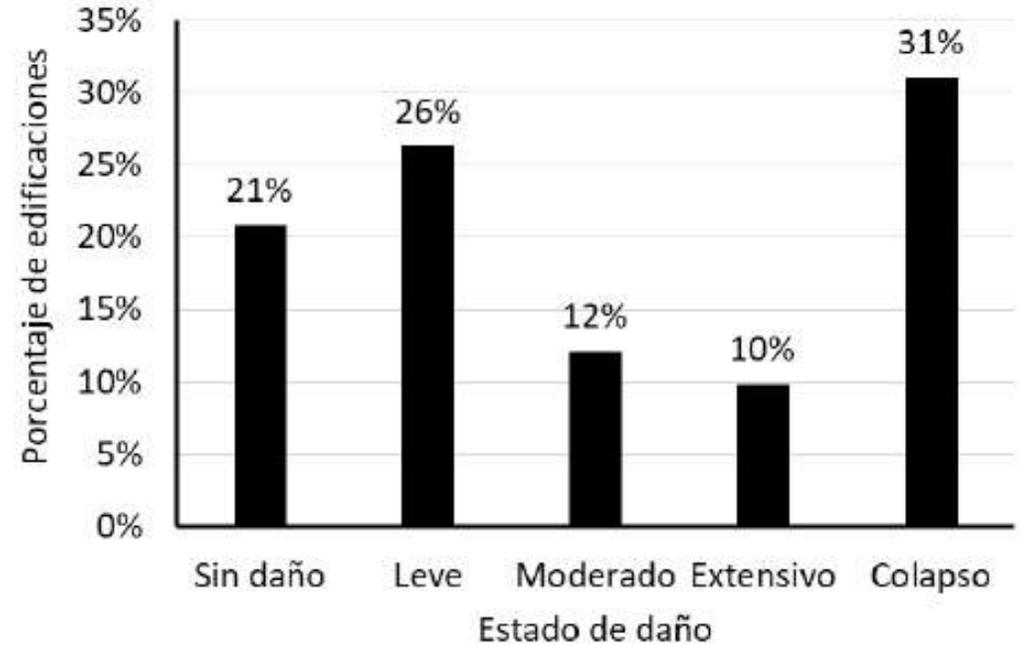
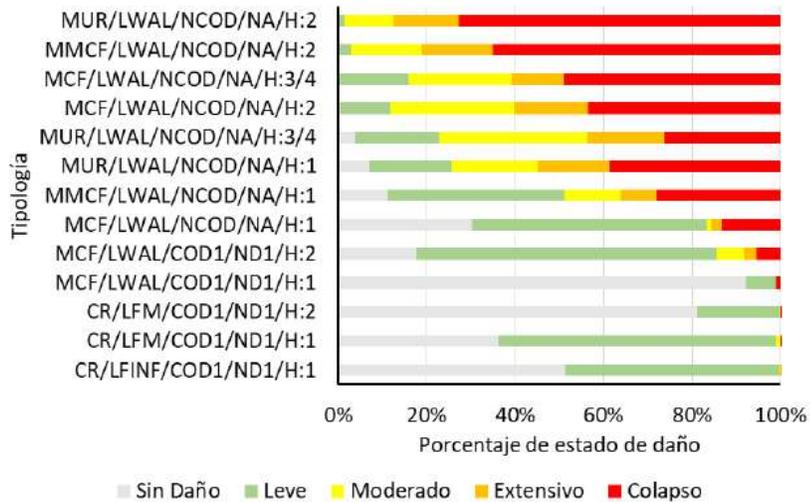
% Víctimas

< 0.5%	0.5 - 1.0%	1.0 - 2.5%	2.5 - 5.0%	5.0 - 7.5%	7.5 - 10%	> 10%
--------	------------	------------	------------	------------	-----------	-------

## Escenario de Benioff – 7,5Mw a 100km

Tabla 47. Resumen de principales resultados del escenario del sismo hipotético de Benioff magnitud 7.5 Mw

<b>Valor expuesto</b>	<b>[COP millones]</b>	<b>\$11,872,102</b>
Población total		399,694
<b>Pérdida económica estimada</b>	<b>[COP millones]</b>	<b>3,762,410</b>
<b>Valor expuesto</b>	<b>[COP millones]</b>	<b>\$11,872,102</b>
Población total		399,694
%		31.69%
Población en edificaciones con daño extensivo		37,169
%		9.30%
Población en edificaciones en colapso		119,271
%		29.84%
Heridos		36,201
%		9.06%
Fallecidos		9,055
%		2.27%

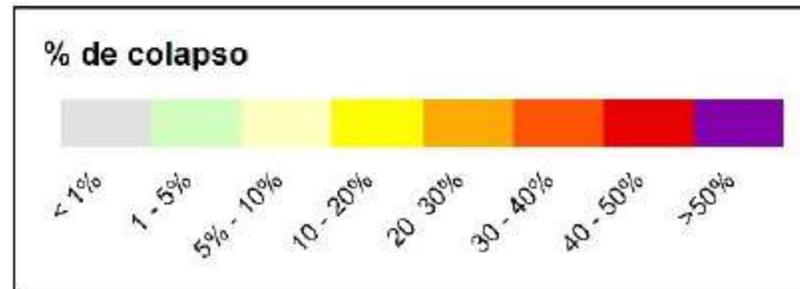
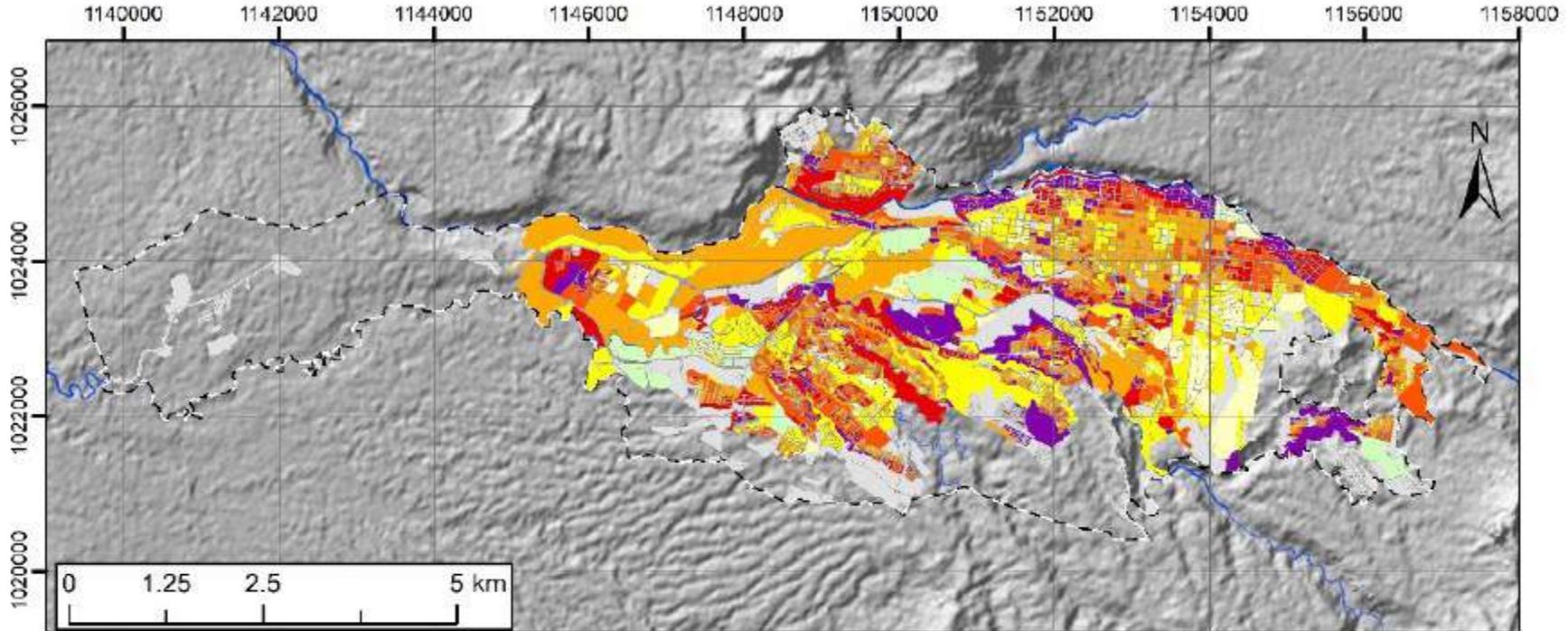


Escenarios de riesgo sísmico

# 5 Escenarios de daños

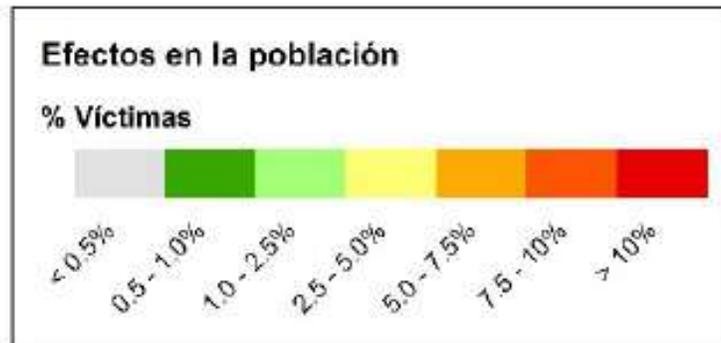
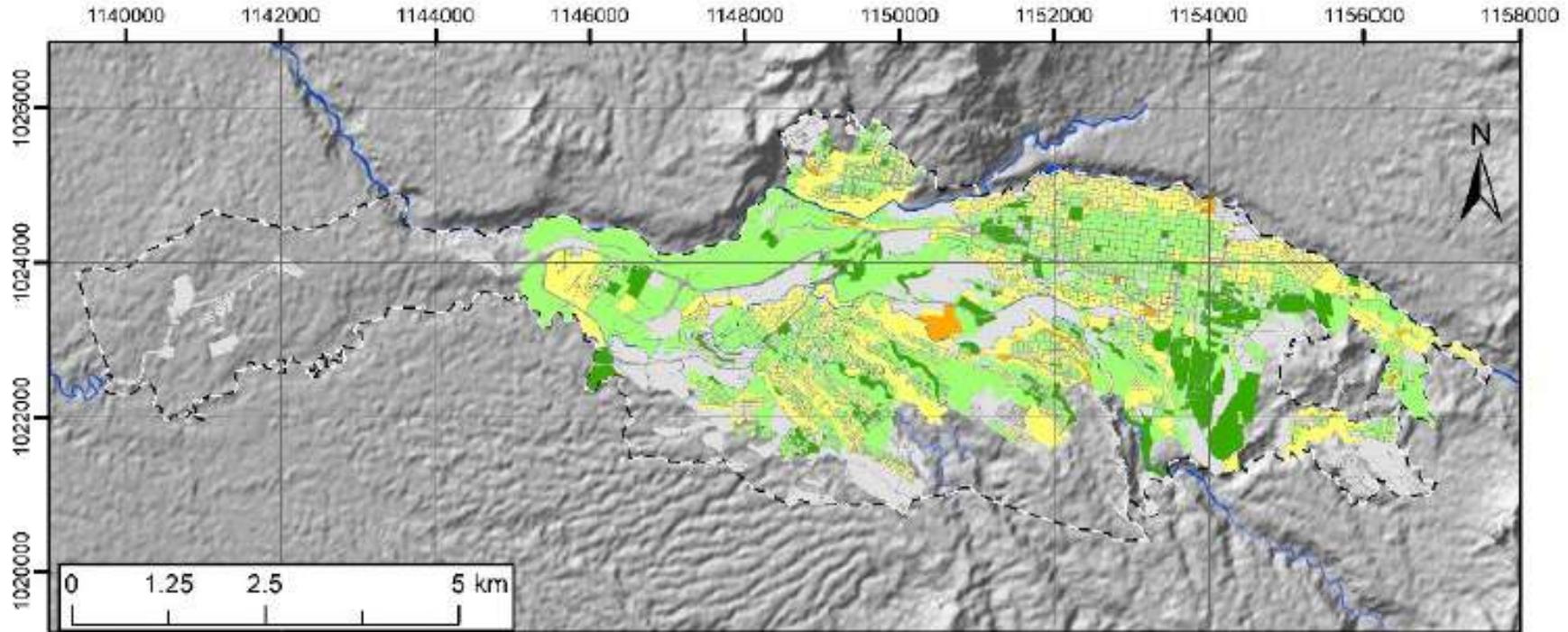
## Escenario de Benioff – 7,5Mw a 100km

Escenarios de riesgo sísmico



## Tipos de edificaciones

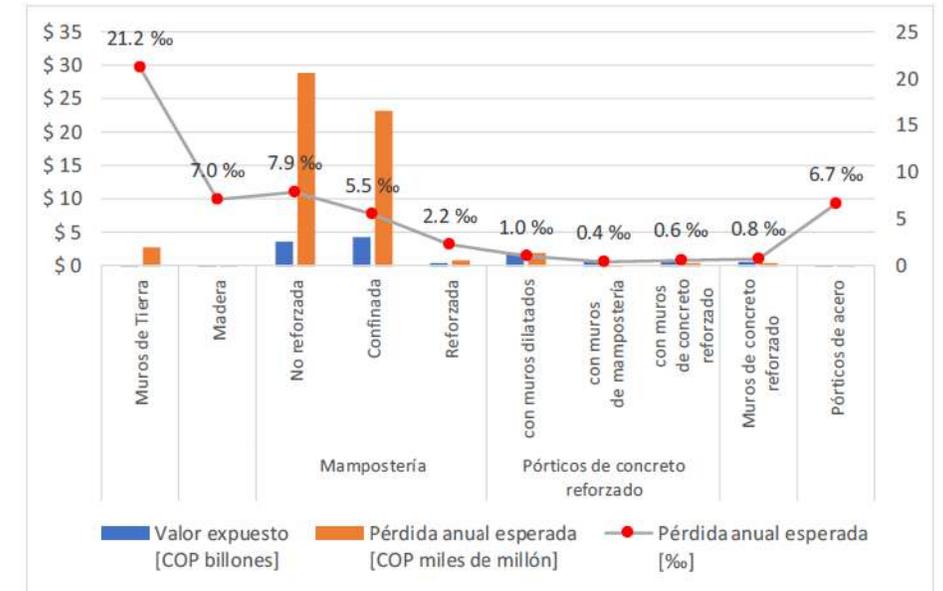
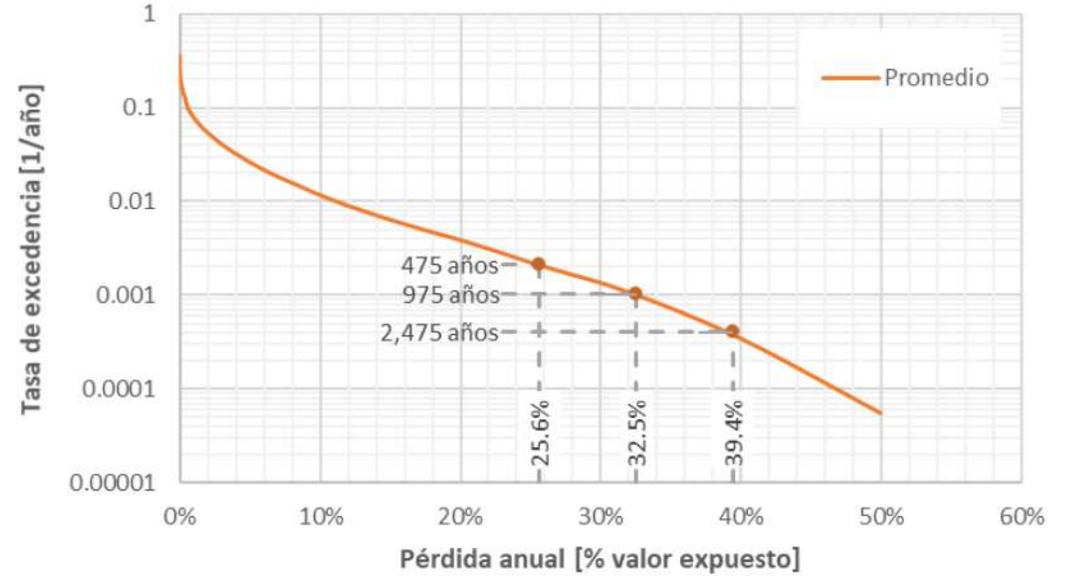
Escenarios de riesgo sísmico



## Resultados generales

Tabla 42. Resultados principales para toda la ciudad

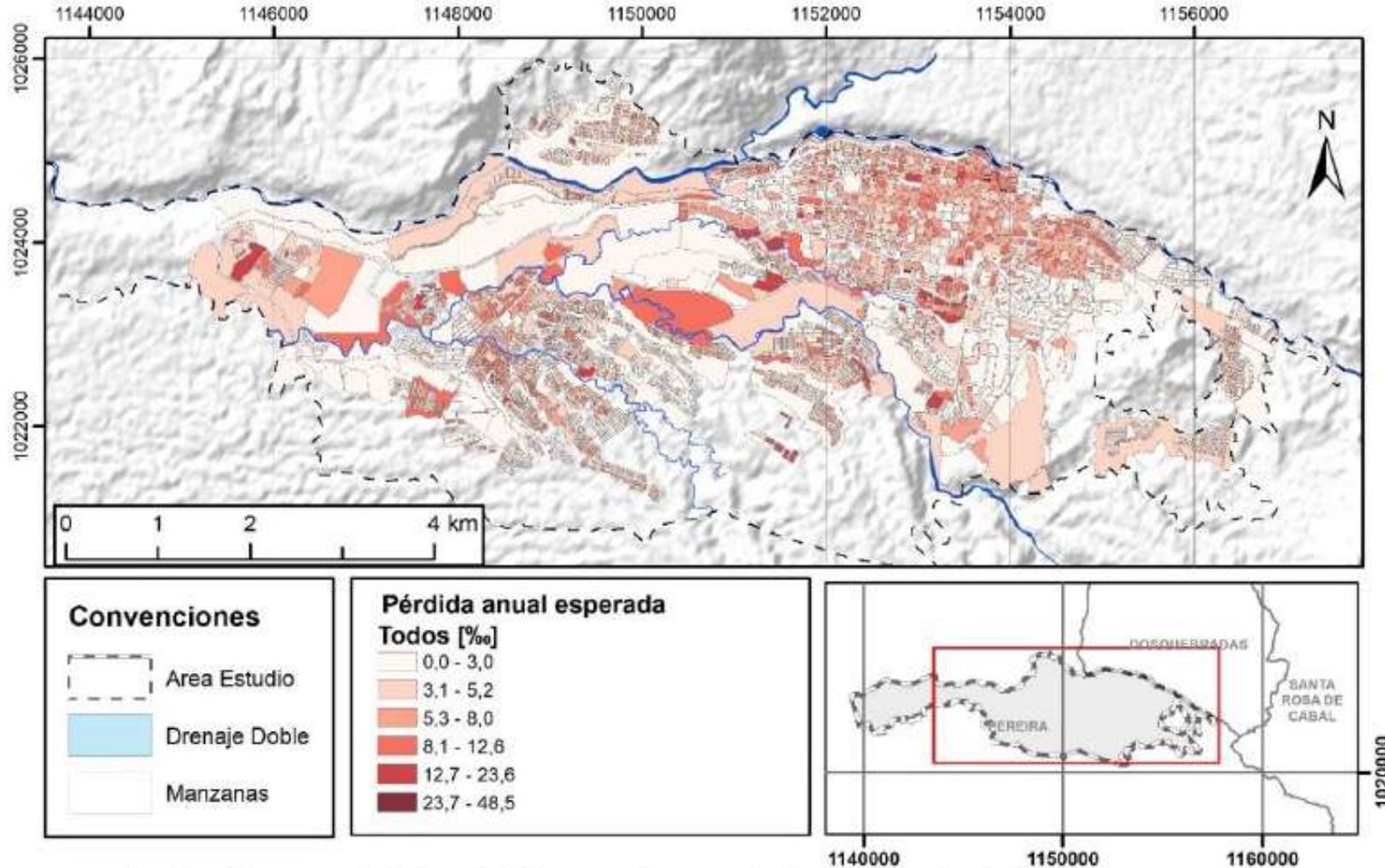
<b>Valor expuesto</b>	<b>[COP millones]</b>	\$ 11,872,334
<b>Pérdida anual esperada</b>	<b>[COP millones]</b>	\$ 58,539
	<b>[‰]</b>	4.93
Pérdida máxima probable		
<b>Periodo de retorno</b>	<b>Probabilidad de excedencia</b>	<b>Pérdida esperada</b>
<b>[años]</b>	<b>[%]</b>	<b>[COP millones] [%]</b>
225	20%	\$ 2,230,192 18.78%
475	10%	\$ 3,044,139 25.64%
975	5%	\$ 3,861,222 32.52%
2475	2%	\$ 4,676,028 39.39%
4975	1%	\$ 5,333,545 44.92%



# 6 Riesgo probabilista

## Pérdida anual esperada

Escenarios de riesgo sísmico



- Se definieron 83 tipologías típicas para edificaciones catastrales y fue posible asignarles curvas de fragilidad con base en arquetipos típicos y curvas de la literatura.
- La ciudad de Pereira es susceptible a escenarios sísmicos provenientes de sismos corticales y de la subducción del Pacífico que pueden causar un alto porcentaje de daños.
- Fue posible validar los resultados con el inventario de daños históricos ocurridos por sismos como el de 1999.
- Fue posible caracterizar el inventario de edificaciones con base en información secundaria y validaciones con inspecciones remotas.
- Se caracterizaron un total de 68,715 edificaciones catastrales con un valor expuesto estimado de 11.87 billones de pesos.
- Se caracterizaron alrededor de 200 edificaciones educativas.

# Información adicional

The screenshot shows the MIIG web application interface. At the top, there is a navigation bar with the logo of the Servicio Geológico Colombiano and the text "MIIG Motor de Integración de Información Geocientífica". Below this, a breadcrumb trail reads "Inicio MIIG / Búsqueda de Información Geocientífica". The main content area features a search bar and several filter options: "Búsqueda General" (highlighted), "Búsqueda Avanzada", "Búsqueda Predefinida", and "Geocientíficos destacados". There are also links for "Acerca del MIIG" and "Ayuda". Below the search bar, a message states: "Si requiere una búsqueda concreta, complemente o diligencie al menos uno de los siguientes filtros y/o seleccione un área geográfica en el mapa". The interface includes two date selection fields: "Fecha Inicial (dd/mm/aaaa)" and "Fecha Final (dd/mm/aaaa)", both with calendar icons and a "Limpiar Fechas" button. Below these are three dropdown menus: "Área del Conocimiento", "Línea Temática", and "Escala". On the right side, there is a map of Colombia with various cities labeled, including Bogotá, Medellín, Bucaramanga, Cali, Jaramilla, Cartagena, Maracibo, Caracas, Valencia, and Quito. The map includes zoom in/out controls, a full extent button, and navigation arrows.

**Muchas gracias a todos!**

