XXXVIII Simposio Nacional de Prevención de Desastres

Ciencia e Ingeniería para proteger vidas ante terremotos y tsunamis

Caracterización y análisis de vulnerabilidad en vías urbanas

Por:
D.Sc.(c) Ing. Fanny Eto
Bach. Ing. Omar Yllanes

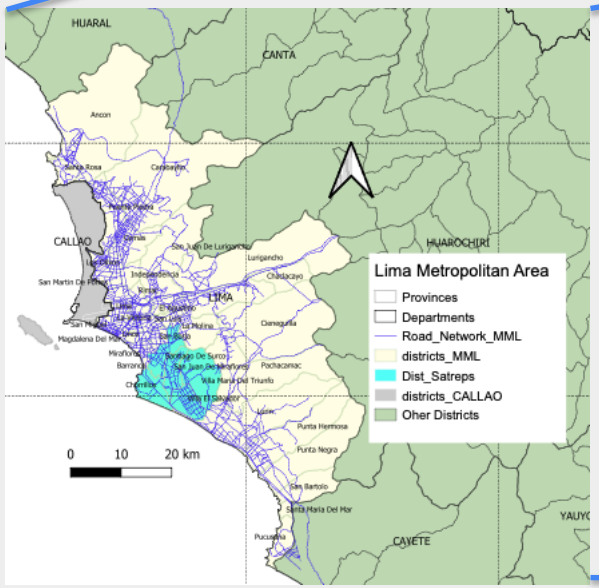
Objetivo:

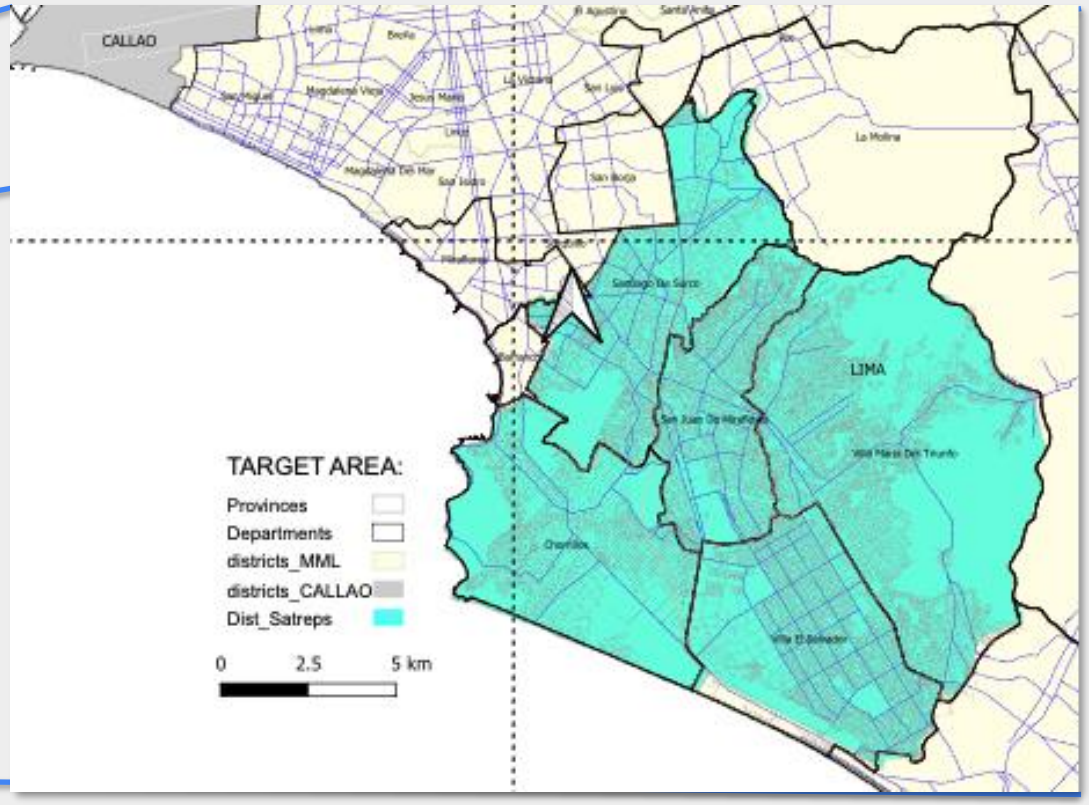
Evaluar la vulnerabilidad física y la funcionalidad operativa de la red vial ante eventos sísmicos de gran magnitud.

Área de Estudio:

Cinco (05) distritos del sur: Chorrillos, San Juan de Miraflores, Santiago de Surco, Villa El Salvador y Villa María del Triunfo.

Distrito	ÁreaTotal [Km²]	Área Involucrada		Año de creación
		[km²]	[%]	
CH	33.18	33.18	100.0	1857
SJM	21.61	14.76	68.3	1965
SS	31.95	6.99	21.9	1929
VES	33.68	33.68	100.0	1983
VMT	40.15	2.92	7.3	1961



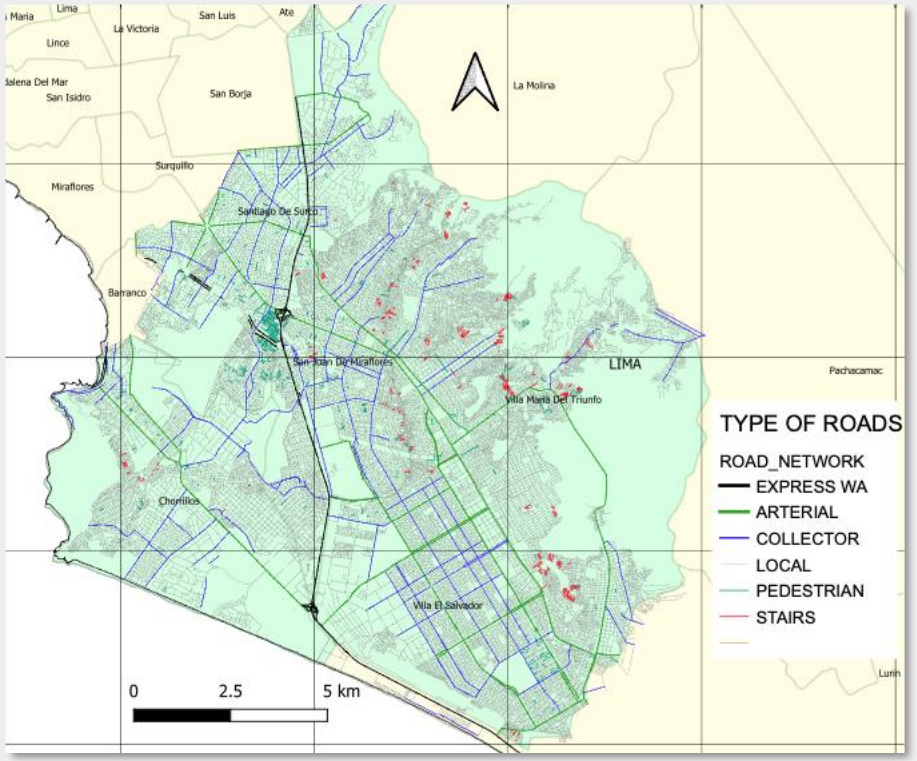


Jerarquía y Clasificación de la Red Vial

El Sistema Vial Metropolitano tiene una Red de 2,355 kms

Distribución de vías urbanas en el área de studio para clasificación funcional

District	CH	SJM	SS	VES	VMT	Total (km)
Vía Expresa	2.1	10.2	13.0	9.8	-	35.1
Arterial	11.9	10.4	15.9	42.4	20.6	101.2
Colectora	30.7	34.5	46.4	49.2	23.6	184.4
Local	443.4	527.9	451.5	559.7	1,048.2	3,030.7
Peatonal	2.5	4.8	17.7	3.3	7.5	35.8
Escaleras	1.3	2.8	0.0	0.6	16.2	20.9
Total (km)	491.9	590.6	544.5	665.0	1,116.1	3,408.1



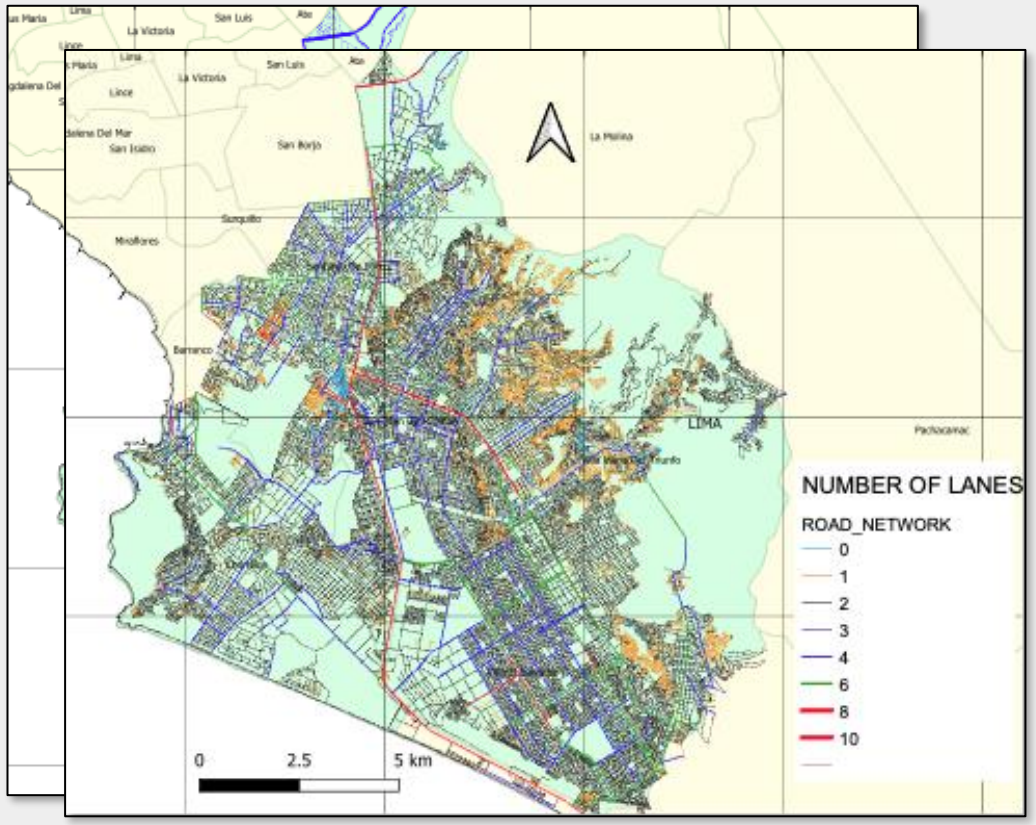
Vía Local: Bajo mantenimiento, estrecha, empinada

Colectora

Arterial

Vía expresa

Distribución de vías por ancho de Vías y Número de carriles

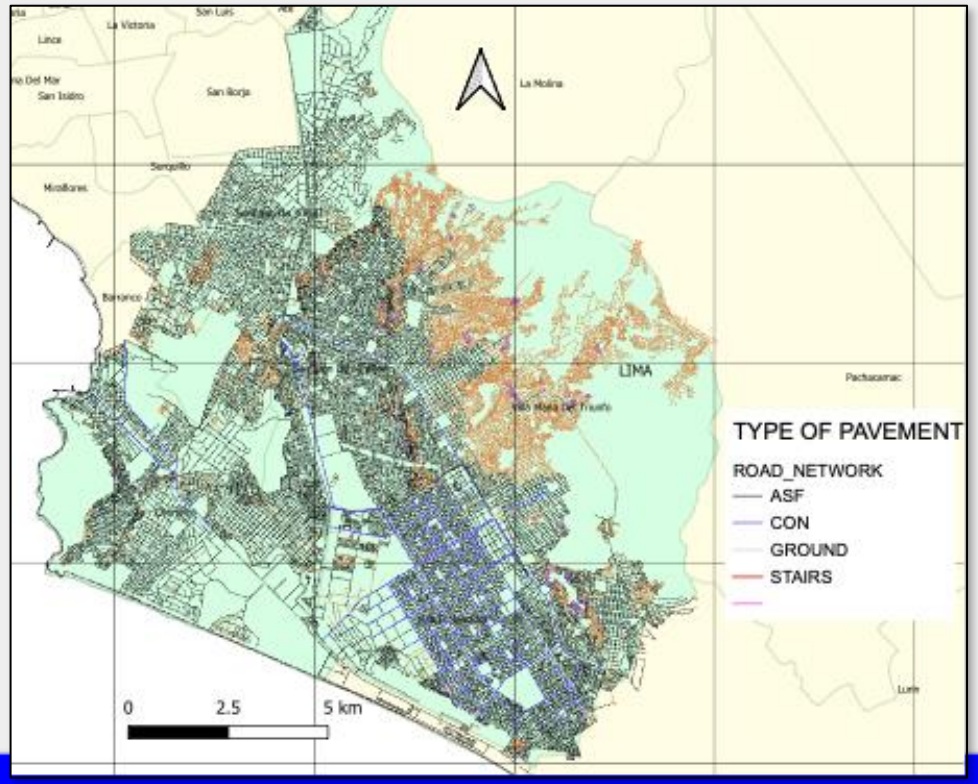


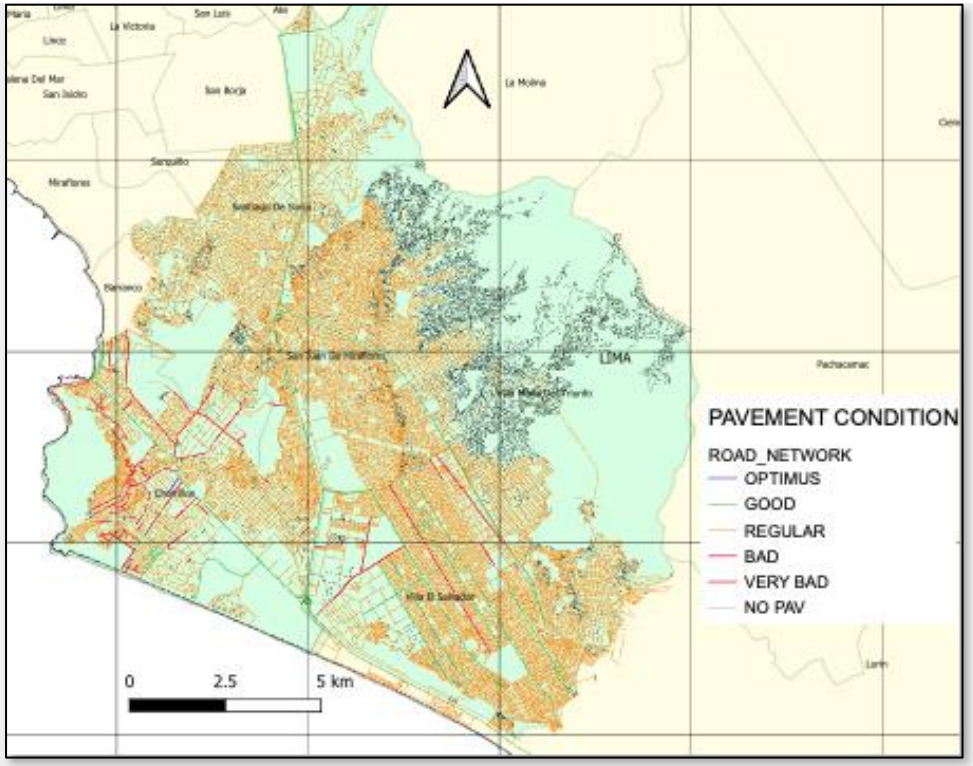
District width(m)	CH	SJM	SS	VES	VMT	Total (km)
0 - 3	49.8	87.5	112.7	47.6	335.3	632.9
3 - 5.5	2.6	9.4	4.0	1.9	18.2	36.1
5.5 - 7.2	399.7	449.4	371.2	537.3	729.6	2,487.2
7.2 - 10.8	2.3	6.8	-	0.4	0.5	10.0
10.8 - 14.4	27.2	24.0	45.9	57.2	28.7	183.0
14.4 - 21.6	9.7	10.1	0.2	10.5	-	30.5
21.6 - 28.8	0.4	1.6	8.2	9.0	2.0	21.2
28.8 - 56	----	1.7	2.4	1.0	0.8	5.9
Total (Km)	491.7	590.5	544.6	664.9	1,115.1	3,406.8

Lanes	CH	SJM	SS	VES	VMT	Total (km)
0	2.2	6.6	18.9	3.4	15.7	46.8
1	46.4	86.7	83.9	21.8	345.1	583.9
2	398.7	448.1	367.2	538.4	718.2	2,470.6
3	2.3	0.1	-	-	-	2.4
4	32.5	32.8	46.2	50.8	23.0	185.3
6	9.2	5.4	15.9	36.5	12.2	79.2
8	0.5	7.5	10.8	13.0	-	31.8
10	-	3.3	1.7	1.0	2.1	8.1
Total (km)	491.8	590.5	544.6	664.9	1,116.3	3,408.1

Estado de la Infraestructura Vial

Districto / Tipo	CH	SJM	SS	VES	VMT	Total (km)
Asfalto	432.4	436.3	447.4	531.9	395.4	2,243.4
Concreto	8.4	9.9	-	97.7	5.1	121.1
Afirmado	49.2	141.3	97.2	34.7	699.3	1,021.7
Escalera	1.3	2.8	0.0	0.6	16.2	20.9
Unpaved	0.6	0.3	-	0.0	0.1	1.0
Total (km)	491.9	590.6	544.6	664.9	1,116.1	3,408.1





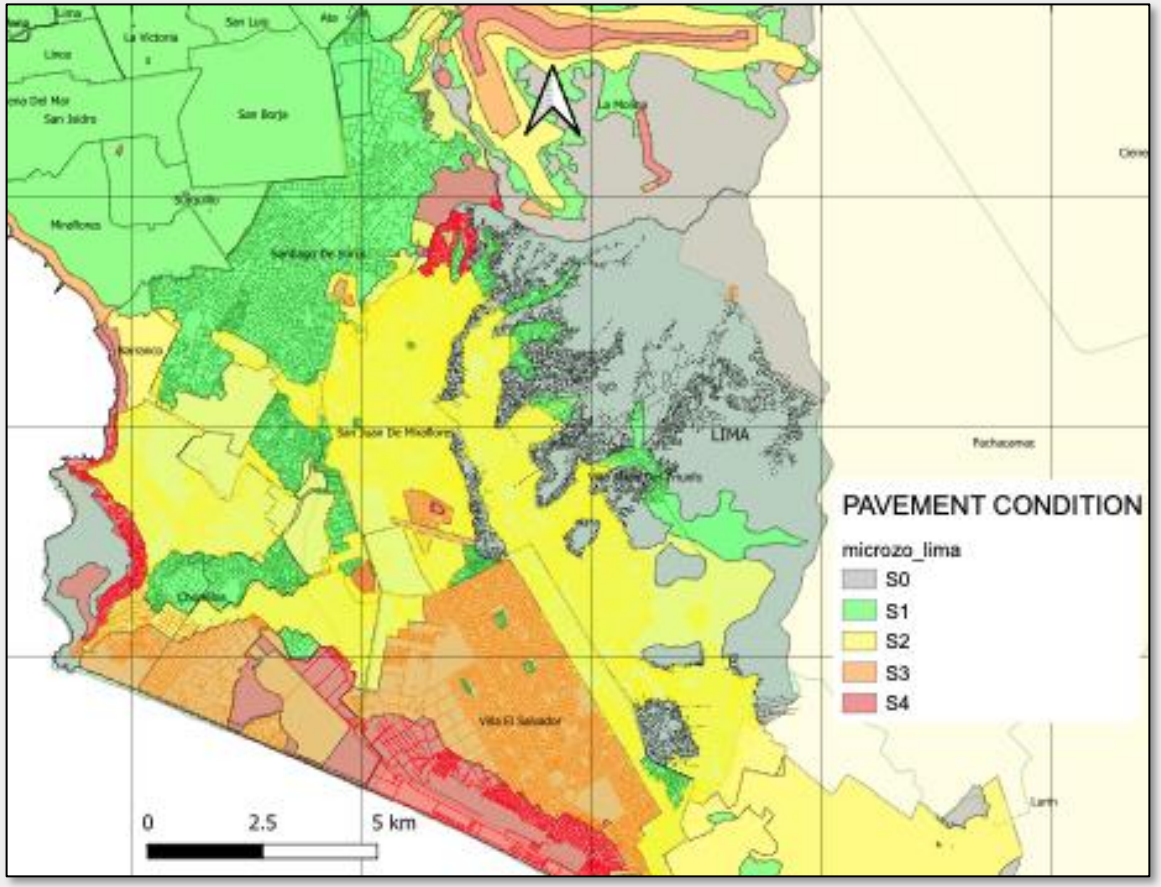
District Condition	CH	SJM	SS	VES	VMT	Total (km)
Óptimo	0.5	-	-	-	-	0.5
Bueno	19.4	13.7	11.7	51.5	2.7	99.1
Regular	388.8	438.9	449.7	566.4	420.5	2,264.3
Malo	33.5	-	-	14.2	-	47.7
Muy malo	2.1	-	-	0.0	-	2.2
No Pav	47.5	137.9	83.1	32.8	693.0	994.3
Total (km)	491.8	590.5	544.6	664.9	1,116.2	3,407.9

Tipos de Suelo y Amenaza Sísmica

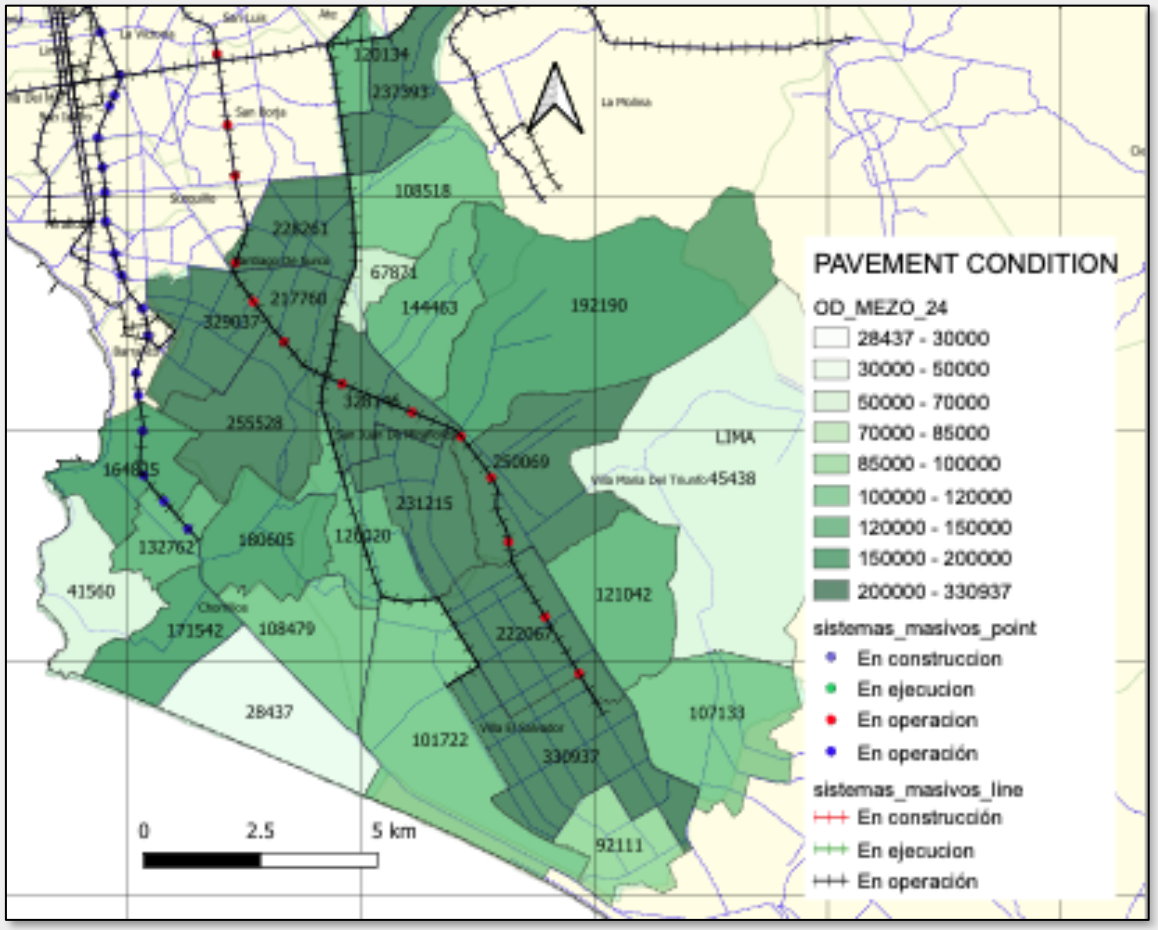
DISTRICT	So	S1	S2	S3	S4
CH (%)	0.0	2.7	5.8	4.0	1.9
SJM (%)	1.1	1.8	12.5	0.9	1.1
SS (%)	0.0	13.3	2.4	0.2	0.1
VES (%)	0.0	0.7	3.5	11.7	3.6
VMT (%)	17.9	1.7	13.1	0.1	0.0
Total (%)	19.0	20.2	37.2	17.0	6.6

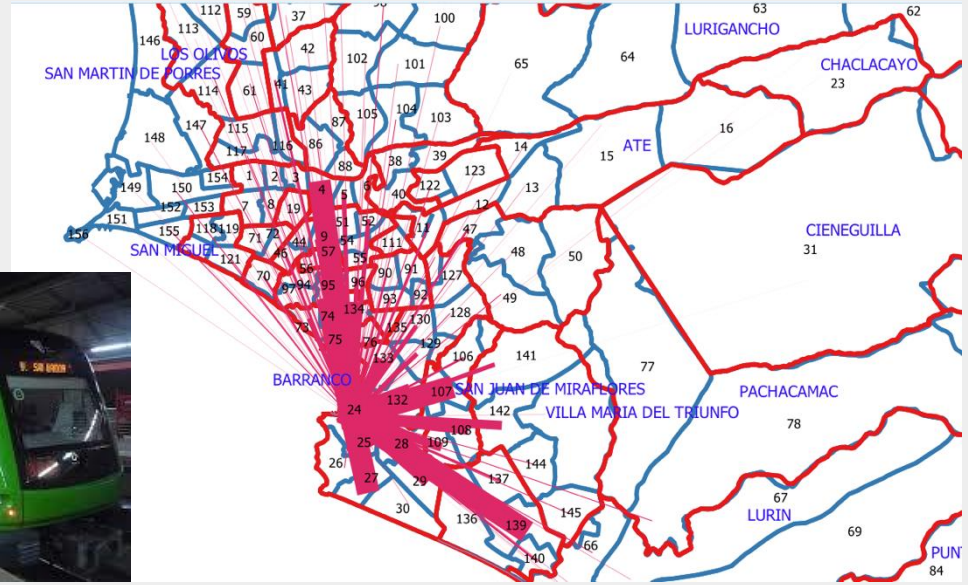
Tipo	Description
So	Roca Dura
S1	Roca o suelos rígidos
S2	Suelos Intermedios
S3	Suelos Blandos
S4	Suelos Especiales

Source: Peruvian Standard E.030 Seismic-Resistant Design



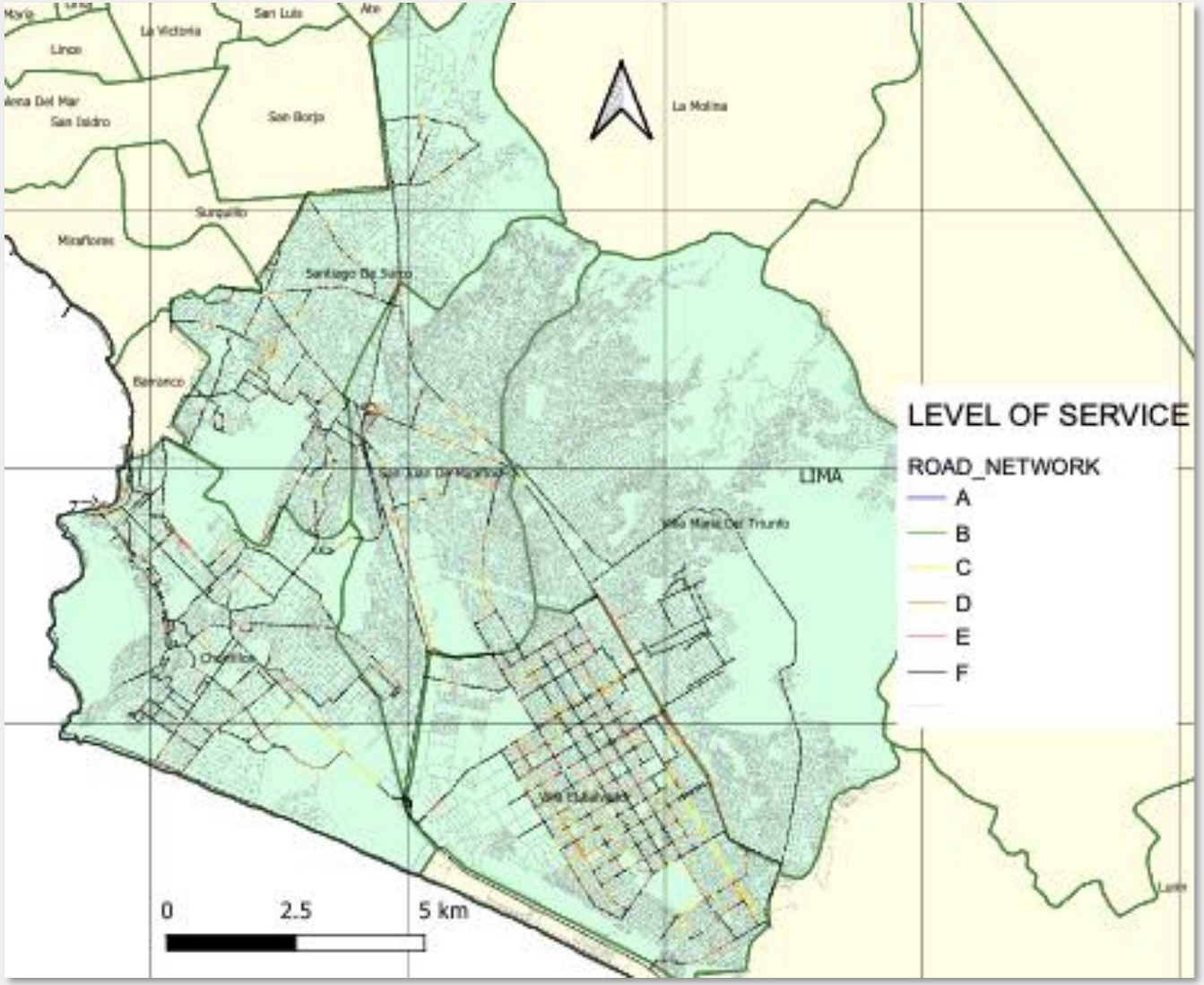
Matriz de viajes y Sistema de Transporte





Nivel de Servicio - Congestión

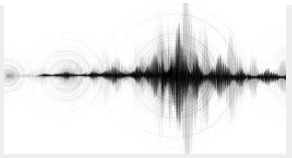
Travel Speed as a Percentage of Base Free-Flow Speed (%)	Level of Service by Critical Volume-to-Capacity Ratio	
	<=1.0	>1.0
>85	A	F
>67 - 85	B	F
>50 - 67	C	F
>40 – 50	D	F
>30 - 40	E	F
<=30	F	F

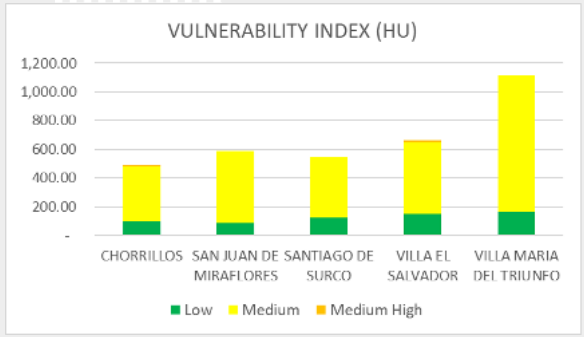


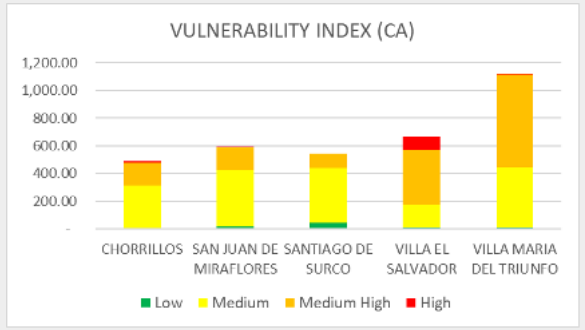
Análisis de Vulnerabilidad y Funcionalidad Operacional

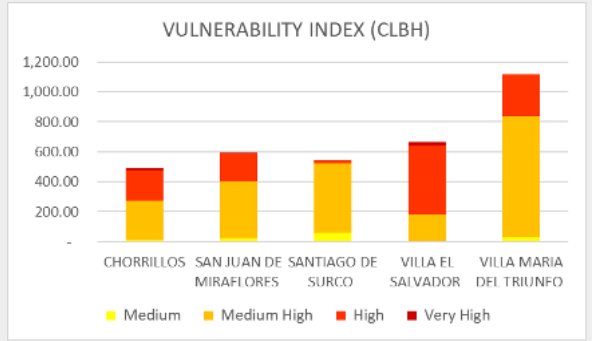
Componente	Factor	Item
Wi	Wij	Wijk
Funcional (W_1)	Vía	Jerarquización
		Ancho efectivo
	Acceso	Accesibilidad a equipamiento
	Uso del Suelo	Importancia del uso del suelo a lo largo de la vía para indicadores urbanos.
Operacional (W_2)	Tráfico – Nivel de servicio	Análisis de capacidad en vías urbanas y nivel de servicio.
	Transporte	Transporte público
		Flota
Estructural (W_3)	Pavimento	Tipo de Pavimento
	Condición de Mantenimiento	Condiciones de los pavimentos
		Medidas de protección de taludes
	Terraplén	Altura
		Calidad de Compactación
		Pendiente / Talud
	Condiciones del suelo	Tipo de suelos
		Potencial de deslizamiento
Peligro (W_4)	Intensidad sísmica	
	Potencial de Licuación	

Índices de vulnerabilidad en tres (03) escenarios sísmicos

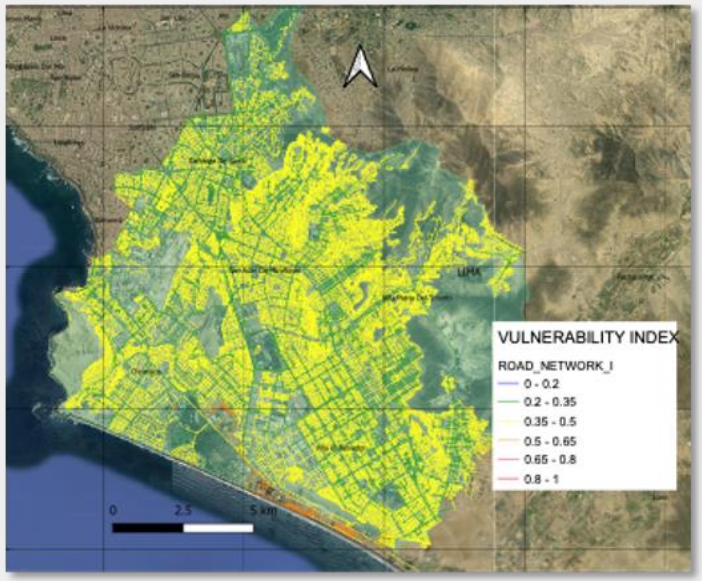




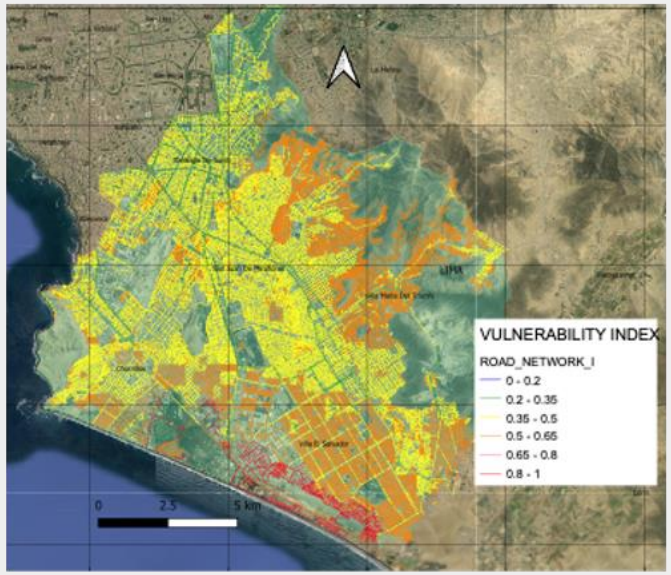




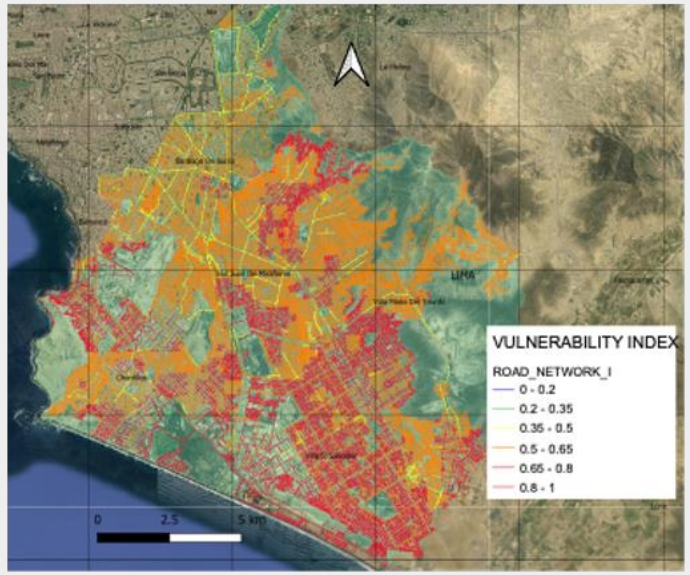
Funcional (W_1)	Vía
	Acceso
	Uso del Suelo
Estructural (W_3)	Pavimento
	Condición de Mantenimiento
	Terraplén
	Condiciones del suelo
Peligro (W_4)	Intensidad sísmica
	Potencial de Licuación



Huarmey

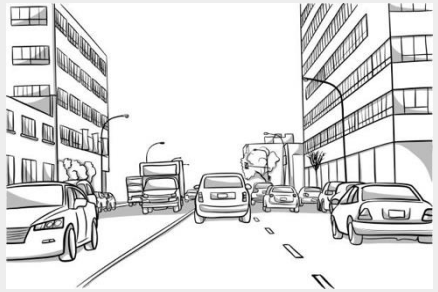


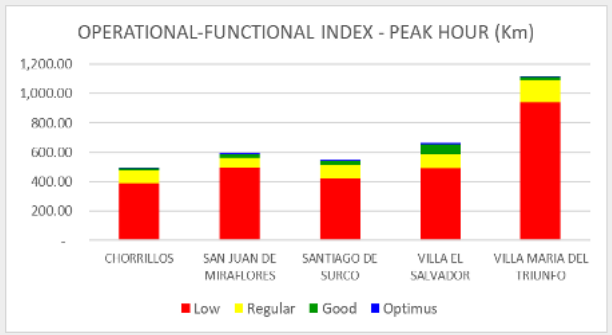
Cañete

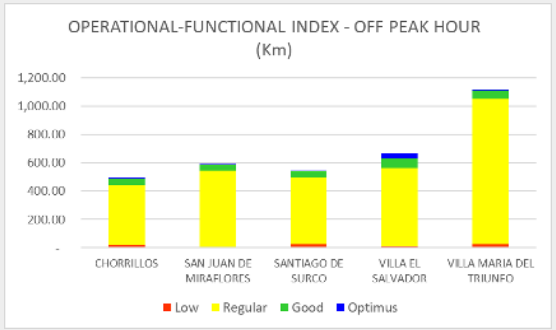


CaLiBaHu

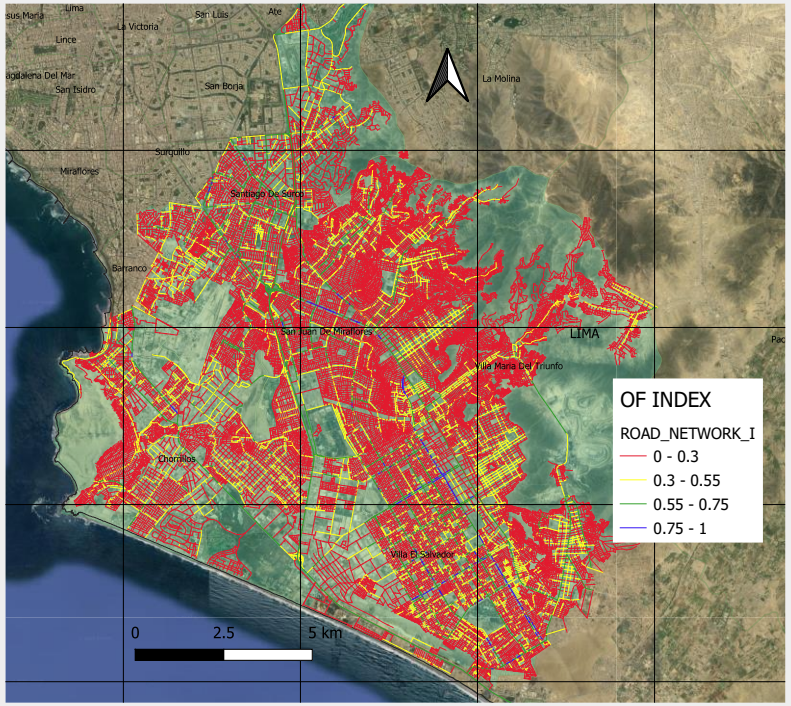
Índices Funcional-Operacional en hora punta y hora valle



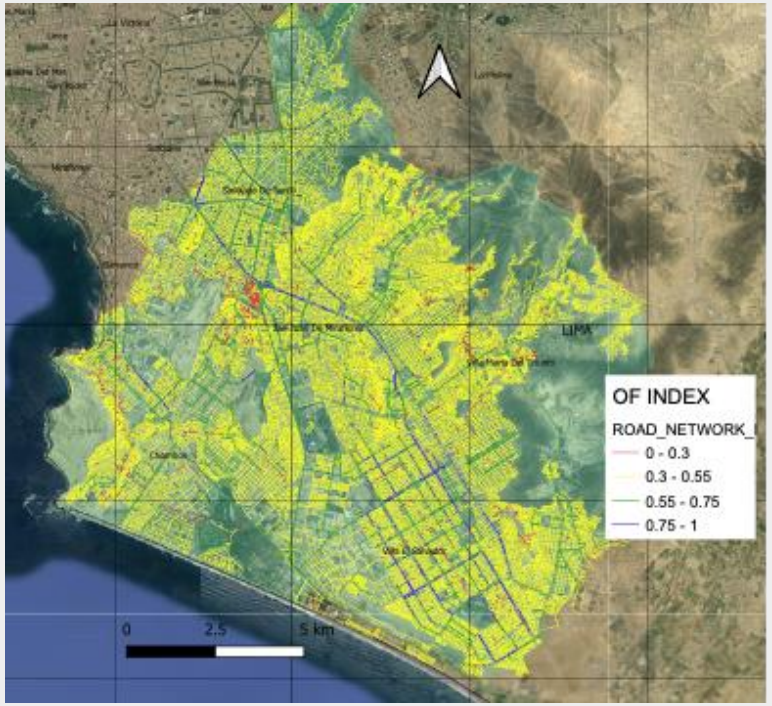




Funcional (W_1)	Vía
	Acceso
	Uso del Suelo
Operacional (W_2)	Tráfico – Nivel de servicio
	Transporte



Índice Operacional Funcional - Hora Punta



Índice Operacional Funcional – Hora Valle

PROCESO PARA DETERMINAR LOS ESTADOS DE DAÑO DIRECTOS EN VIAS URBANAS

Reconocimiento del Tipo de vía

Vías locales

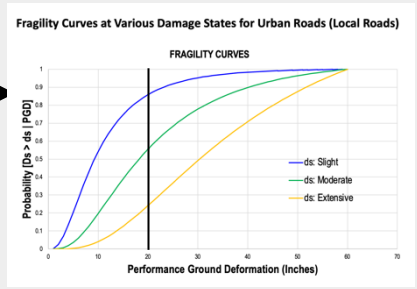
Avenidas

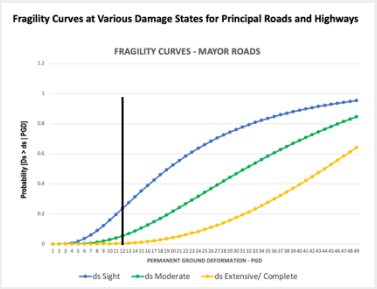
Parámetros viales

- Jerarquización vial
- Número de carriles
- Etc..

Escenario Sísmico

- PGD
- PGA





Función de Fragilidad Empírica usando parámetros

$$P[ds|PGD] = \Phi\left[\frac{1}{\beta_{ds}}\ln\left(\frac{PGD}{PGD_{ds}}\right)\right]$$

Estado de daños directos en vías

Vías Locales
PGD = 0.20 m (8”)
Sin daño = 57.80%
Daño leve = 29.90%
Daño moderado = 10.32%
D. Severo /Completo = 1.97%

Avenidas
PGD = 0.30 m (12”)
Sin daño = 72.47%
Daño leve = 20.53%
Daño moderado = 6.34%
D. Severo /Completo = 0.66%

PROCESO PARA DETERMINAR LOS ESTADOS DE DAÑO INDIRECTOS EN VIAS POR DERRUMBES

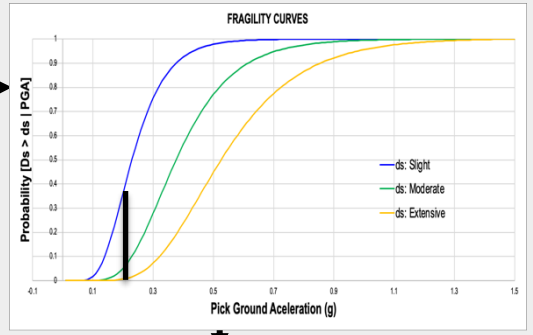
Reconocimiento del Tipo de Vía, Orografía, litología,

Parámetros viales

- Material
- Litología
- Pendiente
- Volumen de derrumbes (m^3)
- Etc.

Escenario Sísmico

- PGA



Función de Fragilidad usando parámetros

$$P[ds|PGA] = \Phi\left[\frac{1}{\beta_{ds}}\ln\left(\frac{PGA}{PGA_{ds}}\right)\right]$$

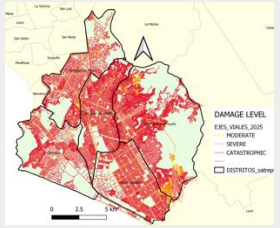
Estado de Daños Indirectos (derrumbes) a las vías

<u>Vías urbanas</u>

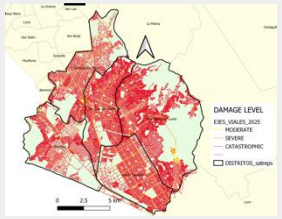
PGA = 0.20 g (m/s^2)
No Daño = 63.84%
Daño leve= 31.04%
Daño Moderado= 4.51%
D. Extensivo /Completo = 0.61%

Estado de daños Directos en la Red Vial

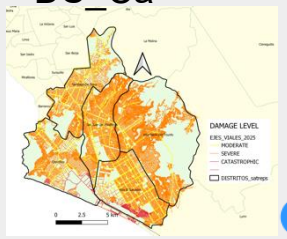
DS_Ba



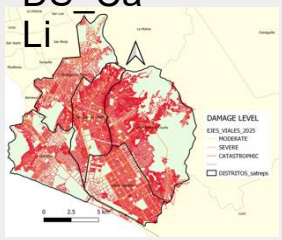
DS_BaHu



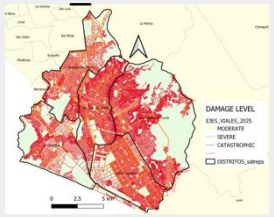
DS_Ca



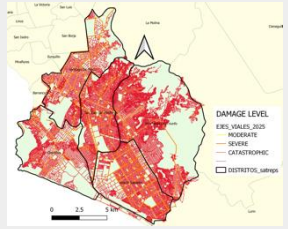
DS_Ca Li



DS_CaLiBa

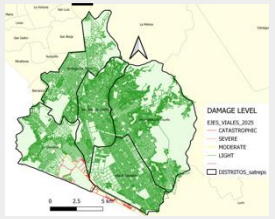


DS_CaLiBaHu

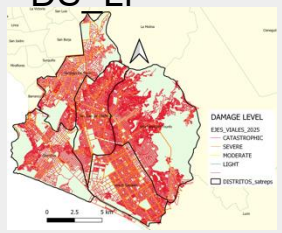


Estimación de estado de daño usnado 10 escenarios sísmicos irregulares.

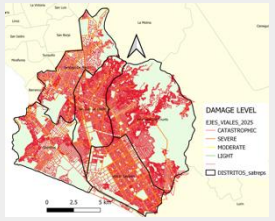
DS_Hu



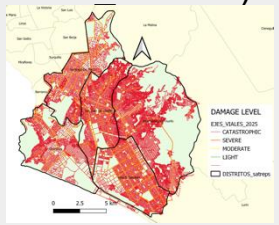
DS_Li



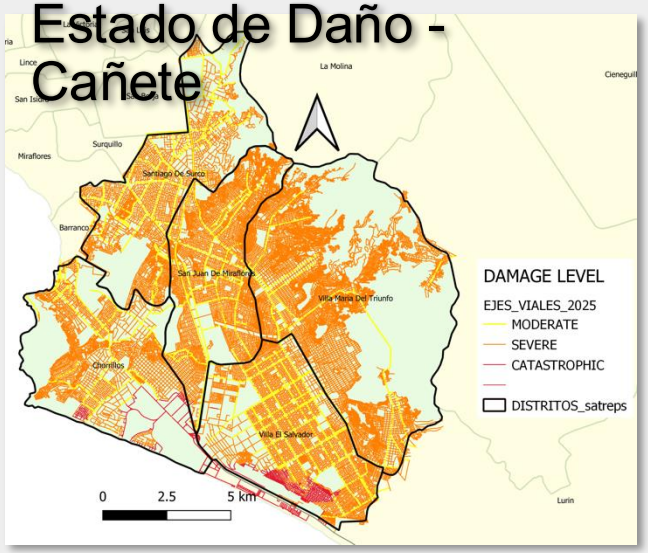
DS_LiBa



DS_LiBaHu)



Estado de Daño - Cañete



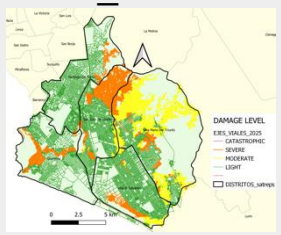
Estado de daño leve

Estado de daño moderado

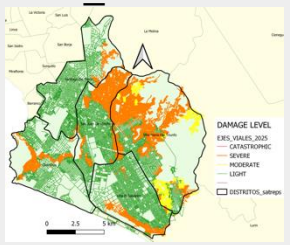
Estado de daño severo

Estado de Daños Indirectos Damage por Derrumbes

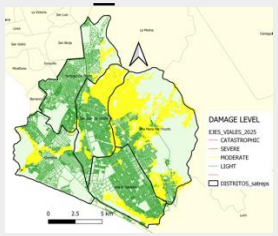
DS_Ba



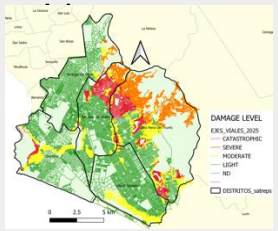
DS_BaHu



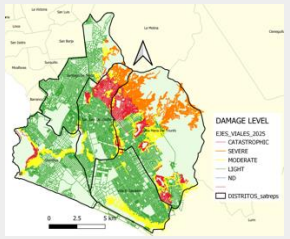
DS_



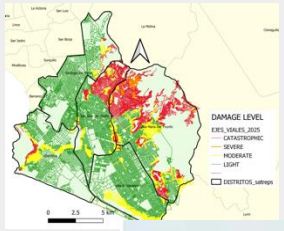
DS_Ca



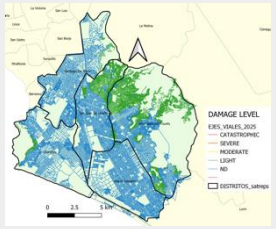
DS_CaLiB



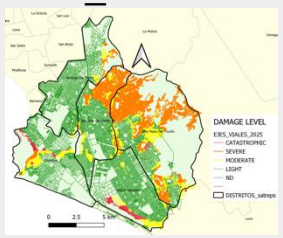
DS_CaLiBaH



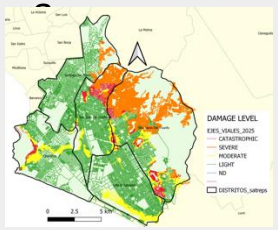
DS_H



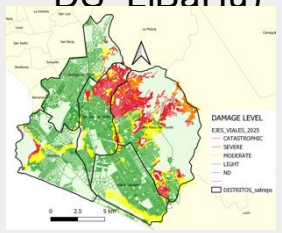
DS_Li

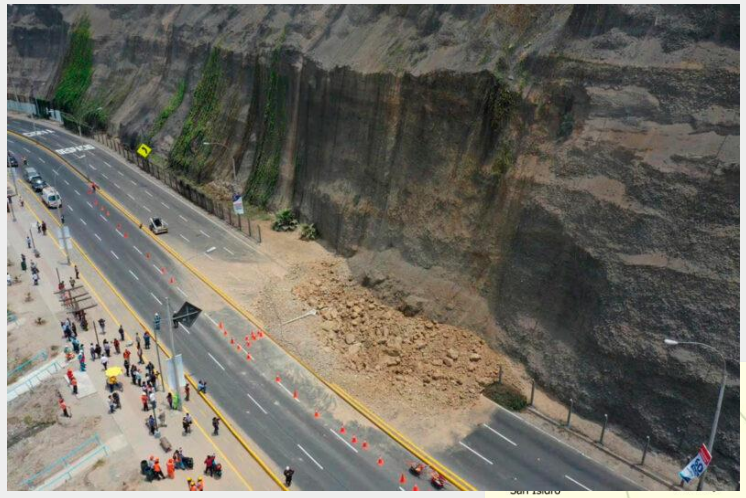


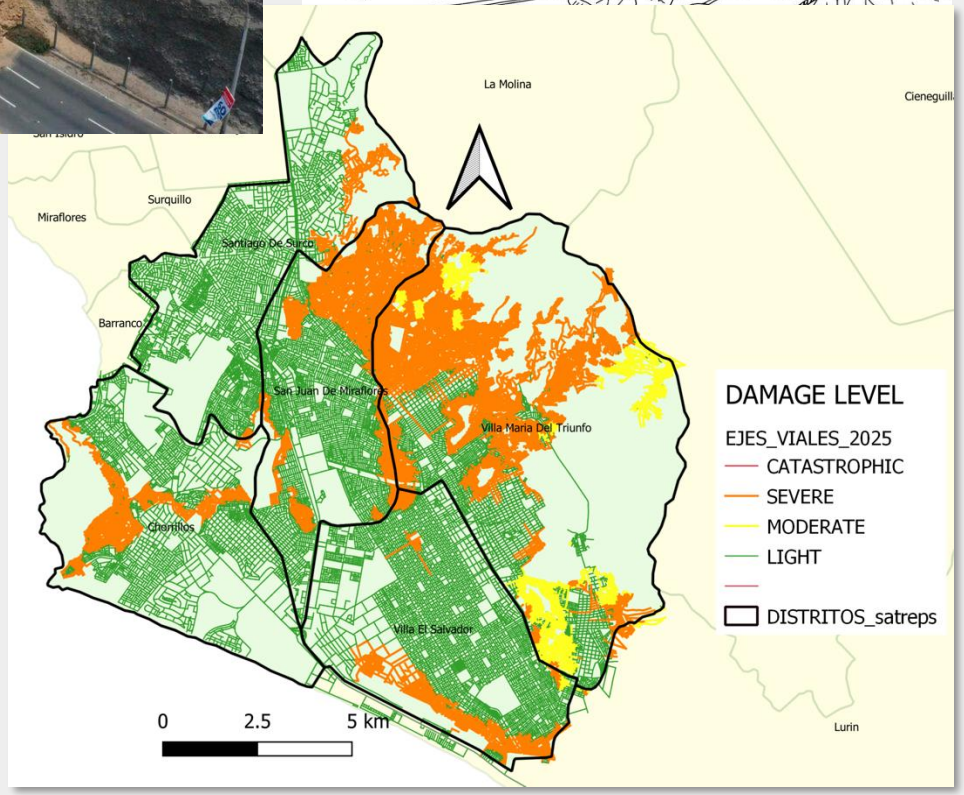
DS_LiB



DS_LiBaHu)

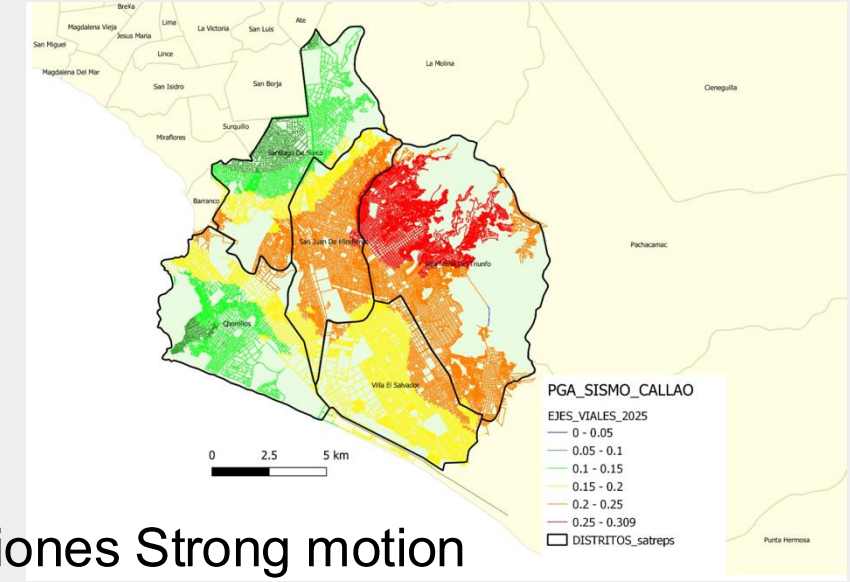




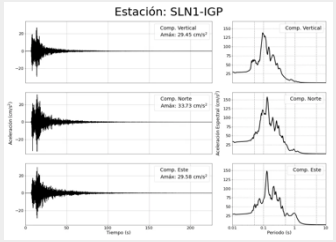


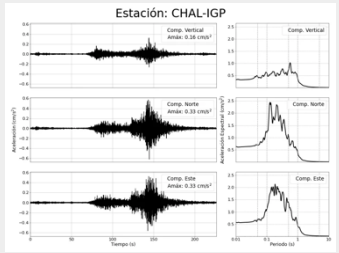
Sismo de Callao, PGA (0.0 – 0.305 g) En vías

Area de Estudio

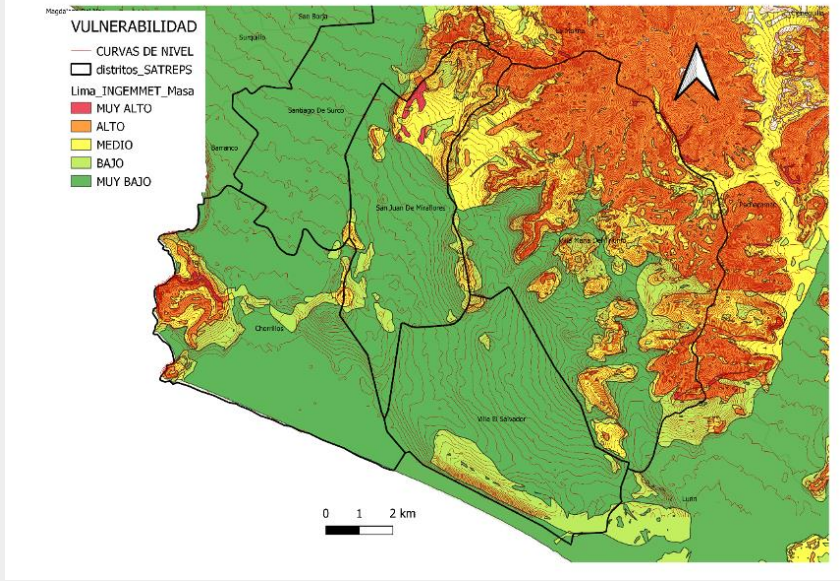


71 Estaciones Strong motion



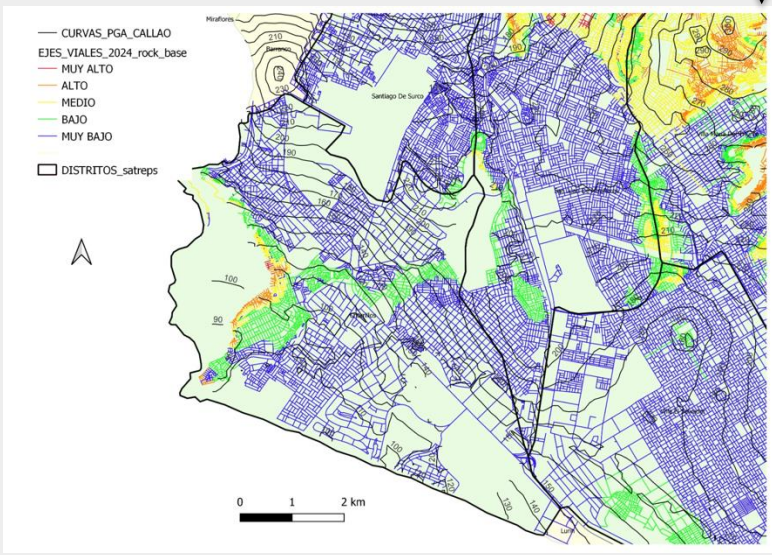


https://www.igp.gob.pe/servicios/aceldat-peru/reportes-registros-acelerometricos?date=20250615_163527

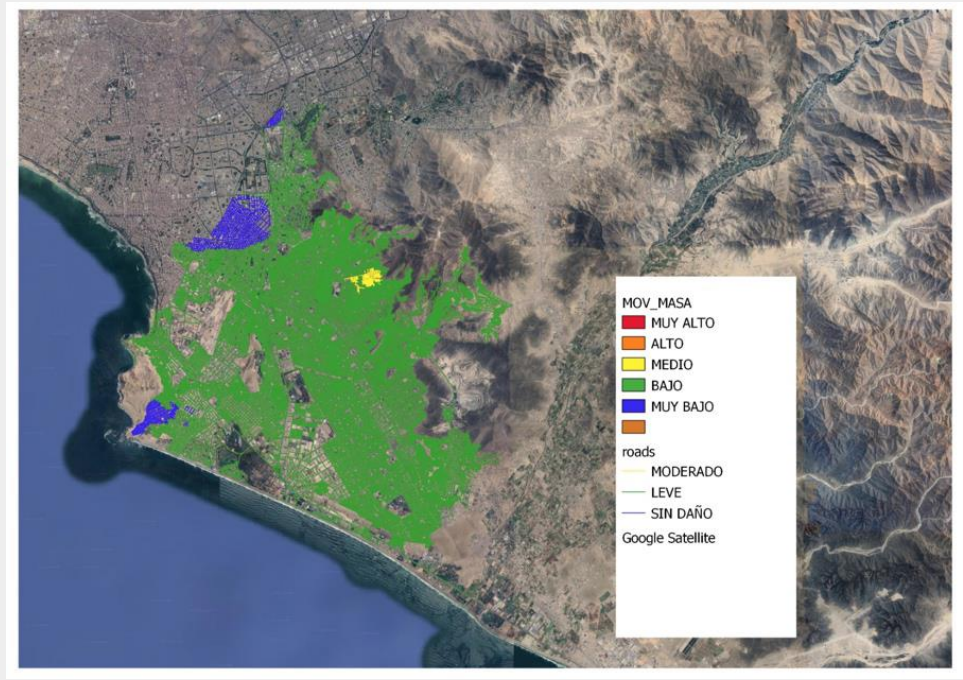


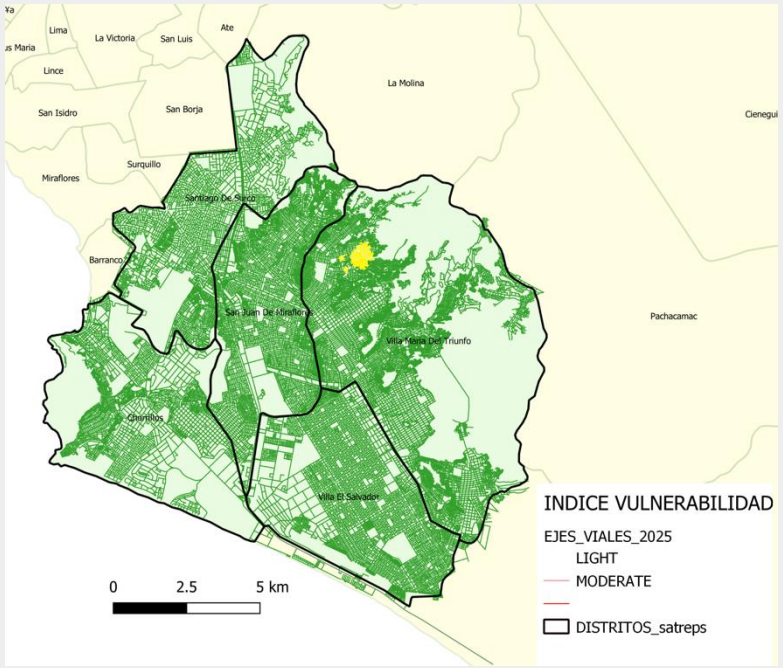
DERRUMBES – MOVIMIENTOS DE MASAS - INGEMMET

VULNERABILIDAD EN VÍAS



DAÑOS ESTIMADOS EN EL SISMO DE CALLAO (15.06.2026)





NIVEL DE DAÑO POR DERRUMBE

UNIFIC

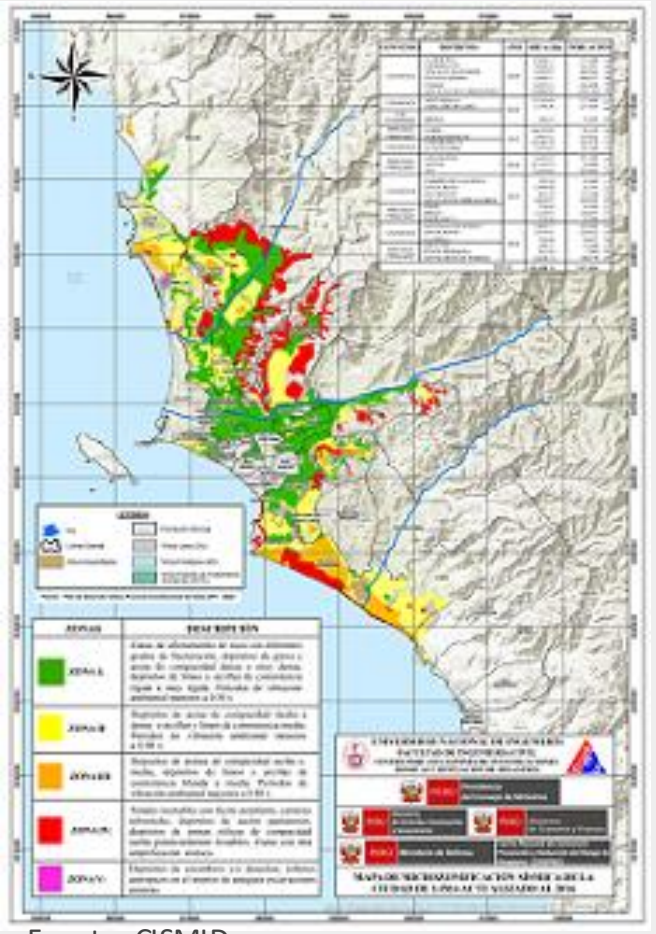
"EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ESCOMBROS EN LA FUNCIONALIDAD VIAL Y LA GENERACIÓN DE RUTAS DE EMERGENCIA EN ESCENARIOS SÍSMICOS EN EL DISTRITO DE CHORRILLOS."

Lima es altamente vulnerable ante un sismo severo o catastrófico

- Alta informalidad en la construcción
- Exposición sísmica.
- Riesgo de colapso urbano.

Fuente: Propia

Fuente: RFI



Fuente: CISMID

Los escombros bloquean vías críticas

- Reducción de capacidad vial
- Congestión
- Retraso de vehículos de emergencia (ambulancias y bomberos)

Fuente: Comercio

Fuente: Revista Semana

Area de Estudio

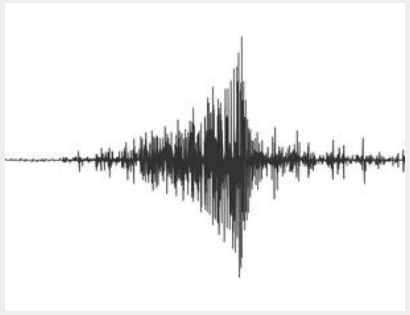
Alta densidad urbana

Características de la zona

Vías criticas

Cadena de problemas

Sismo

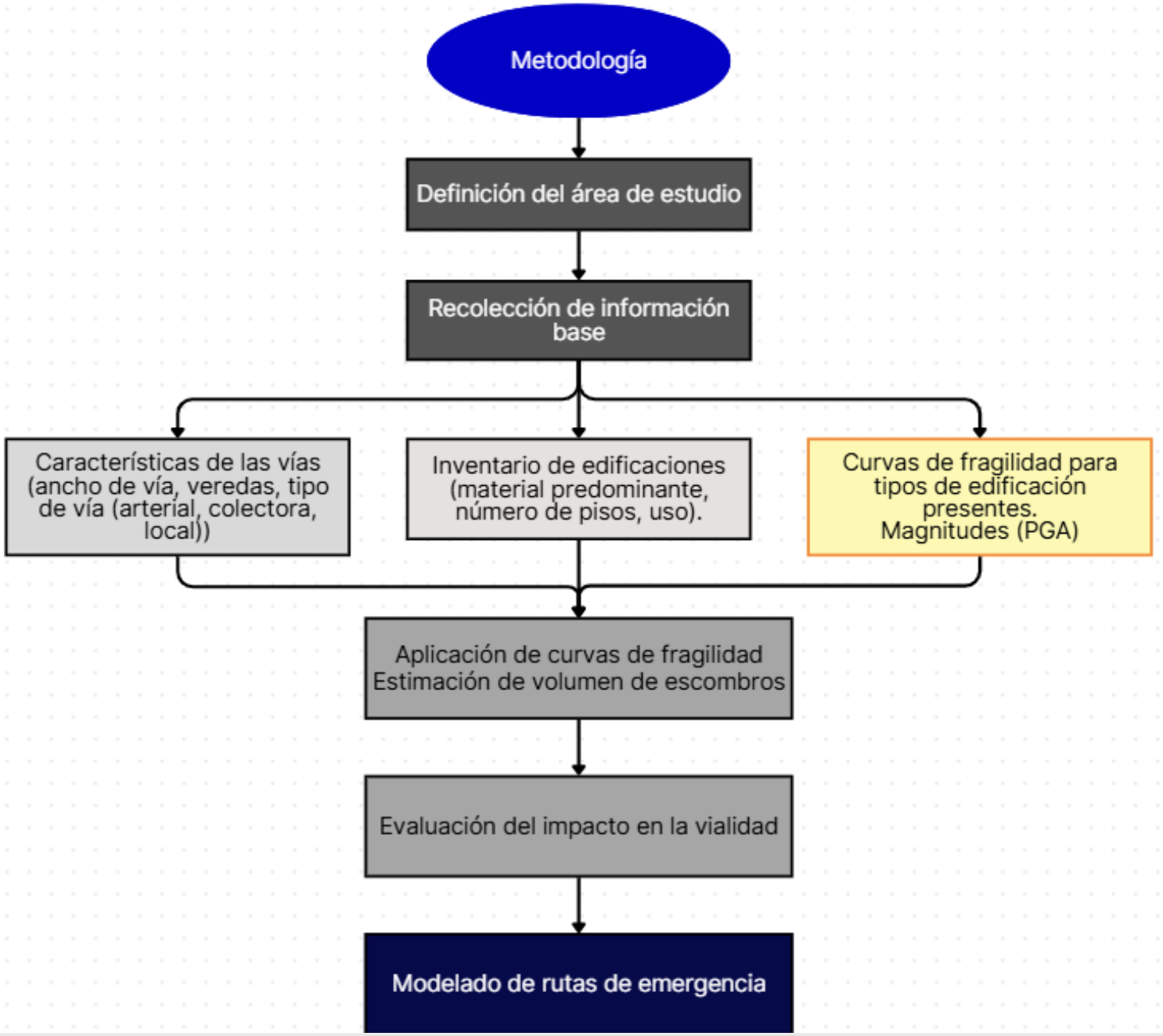


Daño estructural

Escombros

Bloqueo de vías

Retraso de atención a emergencia


Metodología
Definición del área de estudio
Recolección de información base
Características de las vías (ancho de vía, veredas, tipo de vía (arterial, colectora, local))
Inventario de edificaciones (material predominante, número de pisos, uso).
Curvas de fragilidad para tipos de edificación presentes. Magnitudes (PGA)
Aplicación de curvas de fragilidad Estimación de volumen de escombros
Evaluación del impacto en la vialidad
Modelado de rutas de emergencia

Conectividad entre posibles refugios (losas y parques) con los servicios médicos.

Fuente: Municipalidad de Chorrillos - FB

Fuente: Propia

Fuente: Municipalidad de Chorrillos - FB

Fuente: Crónica Viva

Inventario vial

Fuente: Propia

Fuente: Propia

Fuente: Propia

Arteriales/ Colectoras

Fuente: Streetmix

Calle local

Fuente: Streetmix

Pasaje peatonal

Fuente: Streetmix

Detección de Interferencias

Fuente: Propia

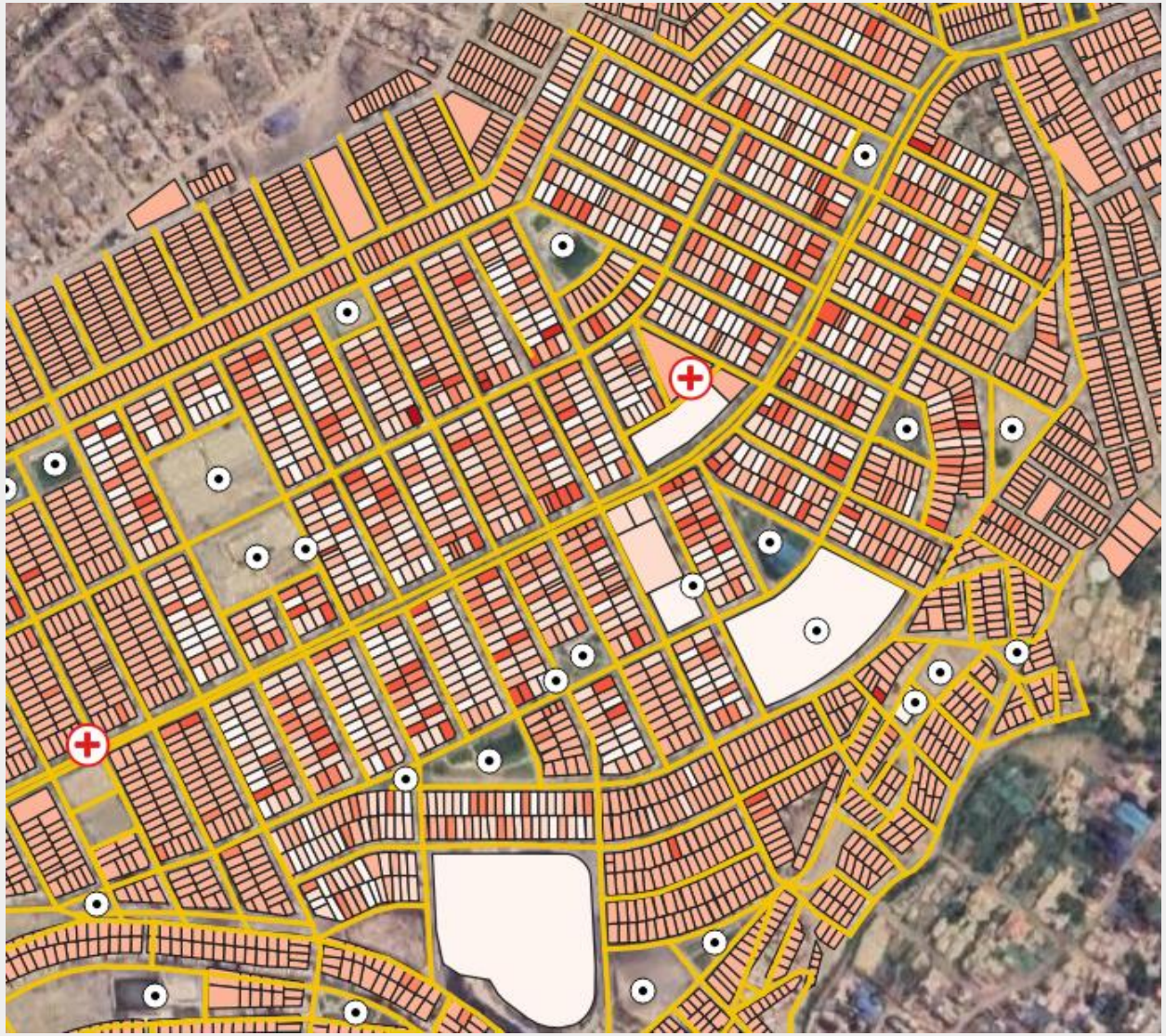
Fuente: Propia

Fuente: Primer Alcance

Fuente: Propia

Fuente: Municipalidad de Ciudad Nueva

Inventario de edificaciones



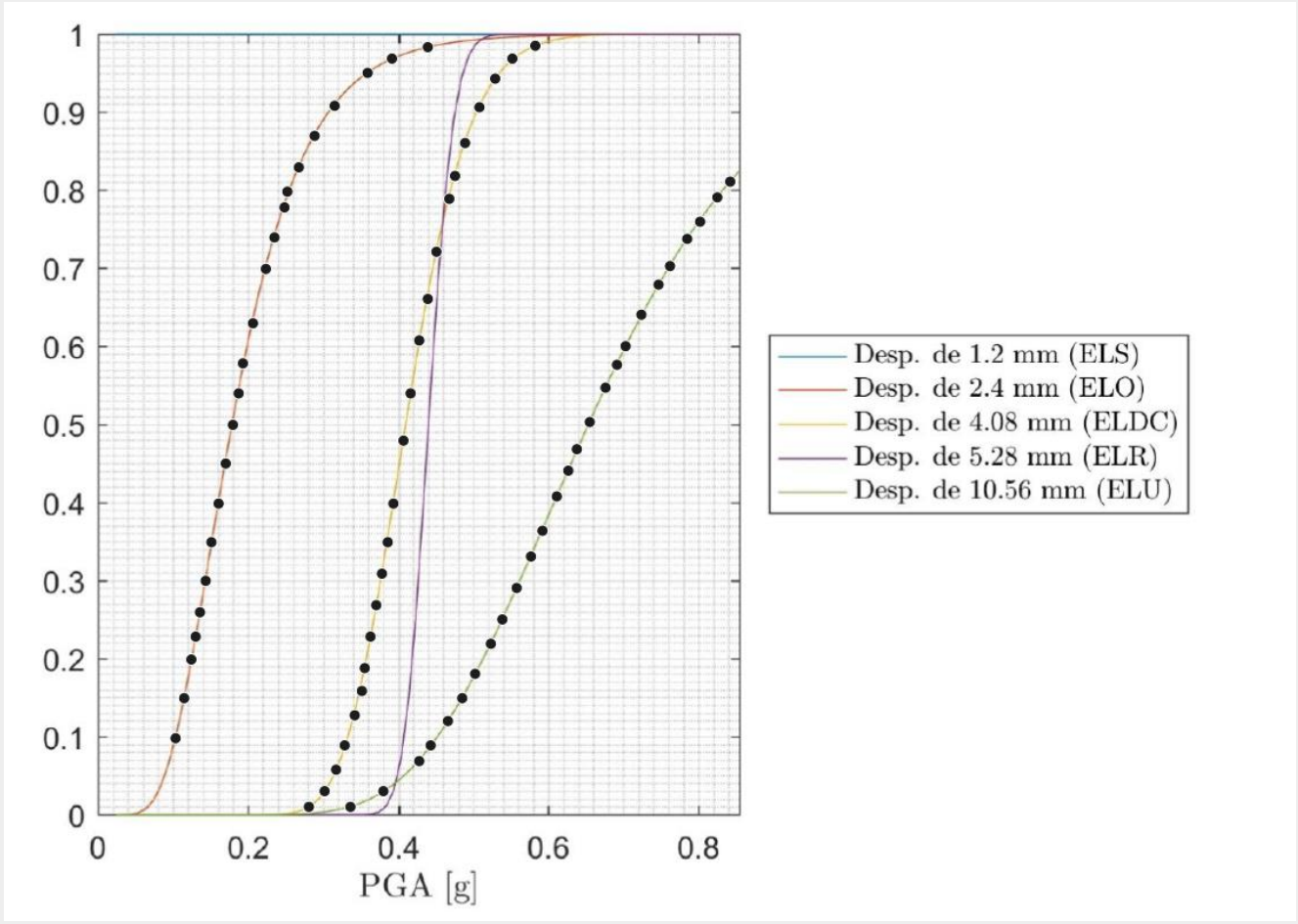
Fuente: Propia

Nivel de servicio para vías urbanas

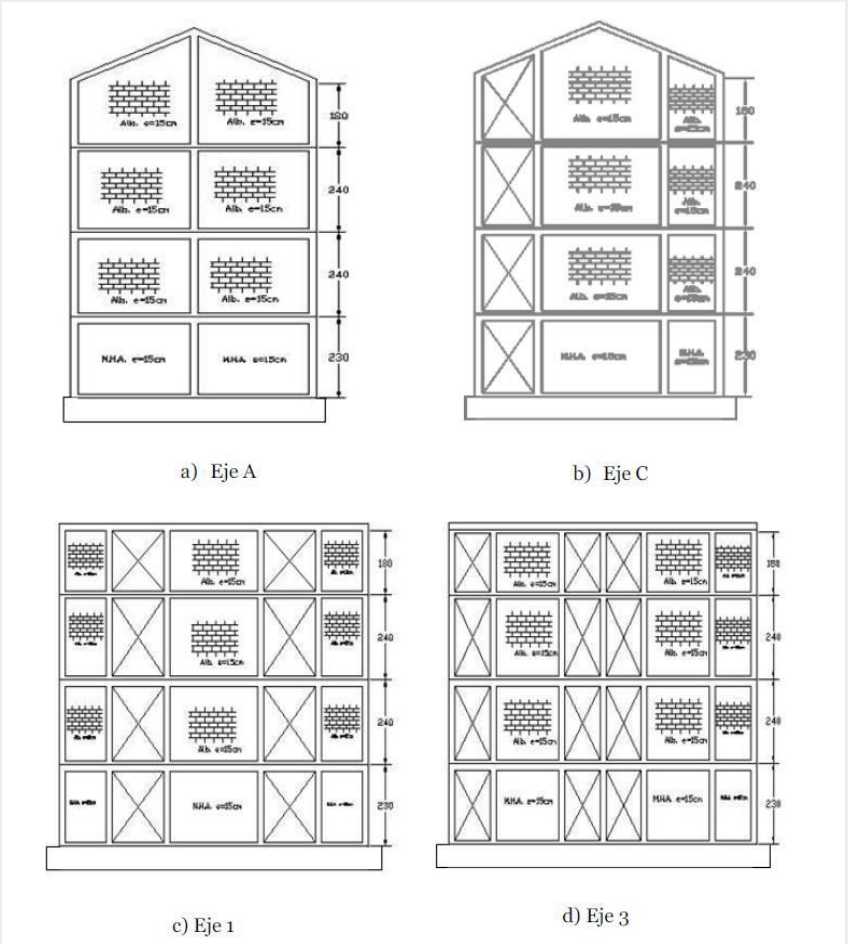
Velocidad de viaje como porcentaje de la velocidad de flujo libre (%)	LOS por relación volumen - Capacidad	
	≤ 1.0	> 1.0
>85	A	F
>67-85	B	F
>50-67	C	F
>40-50	D	F
>30-40	E	F
≤ 30	F	F

Fuente: Highway Capacity Manual HCM

Curva de Fragilidad



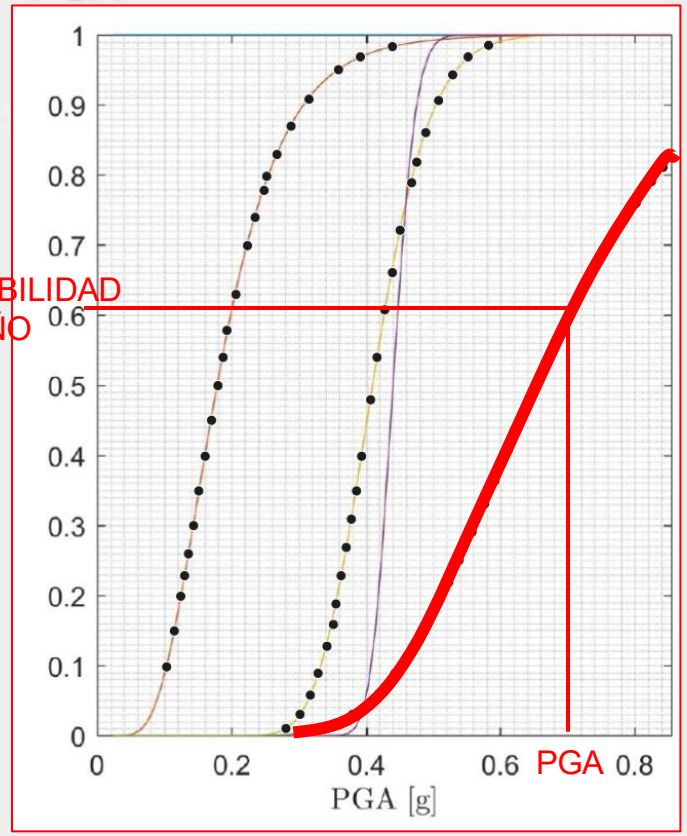
Fuente: SANTIAGO SÁENZ MUÑOZ



Fuente: SANTIAGO SÁENZ MUÑOZ

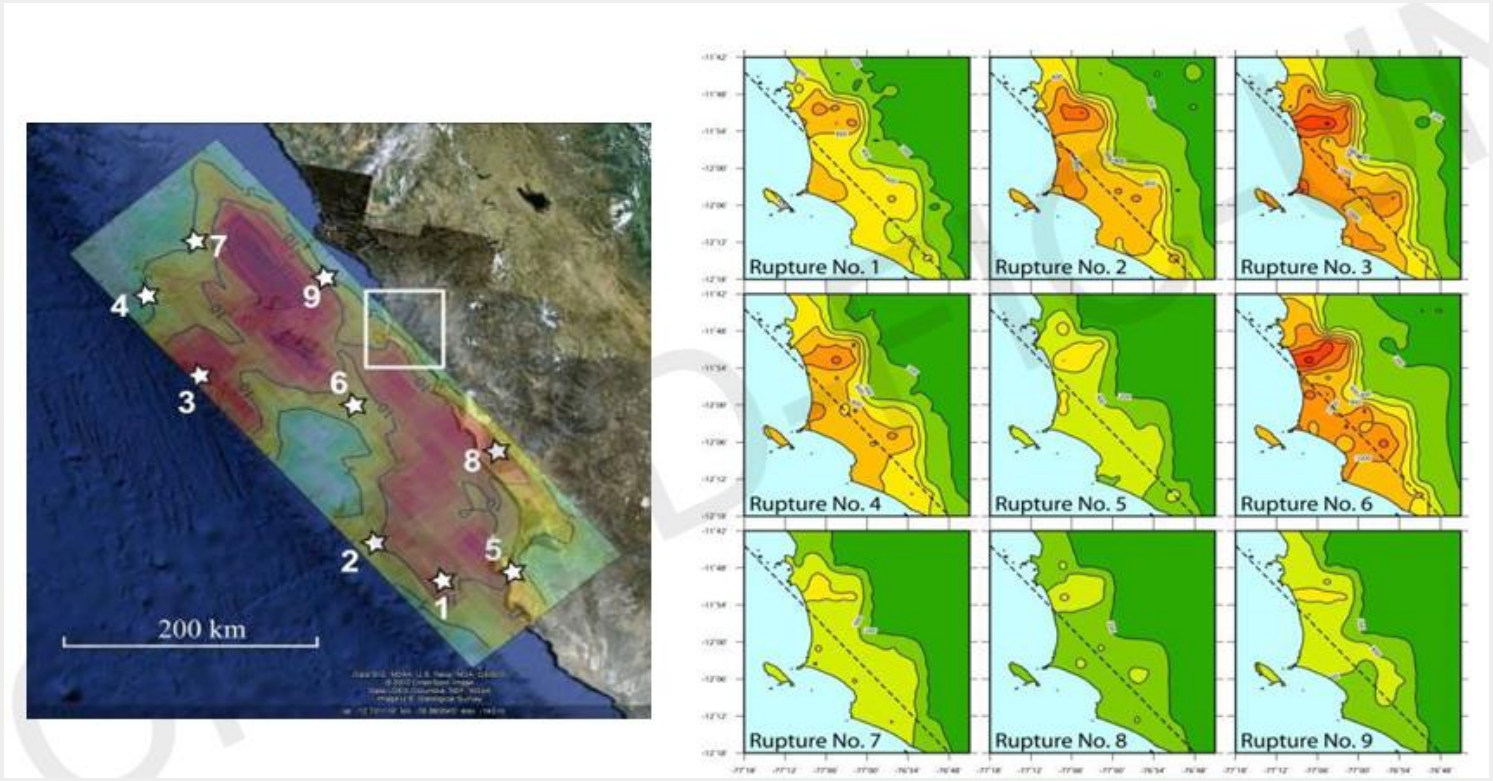
Escenarios Sísmicos

PGA



Fuente: SANTIAGO SÁENZ MUÑOZ

Escenarios Sísmicos



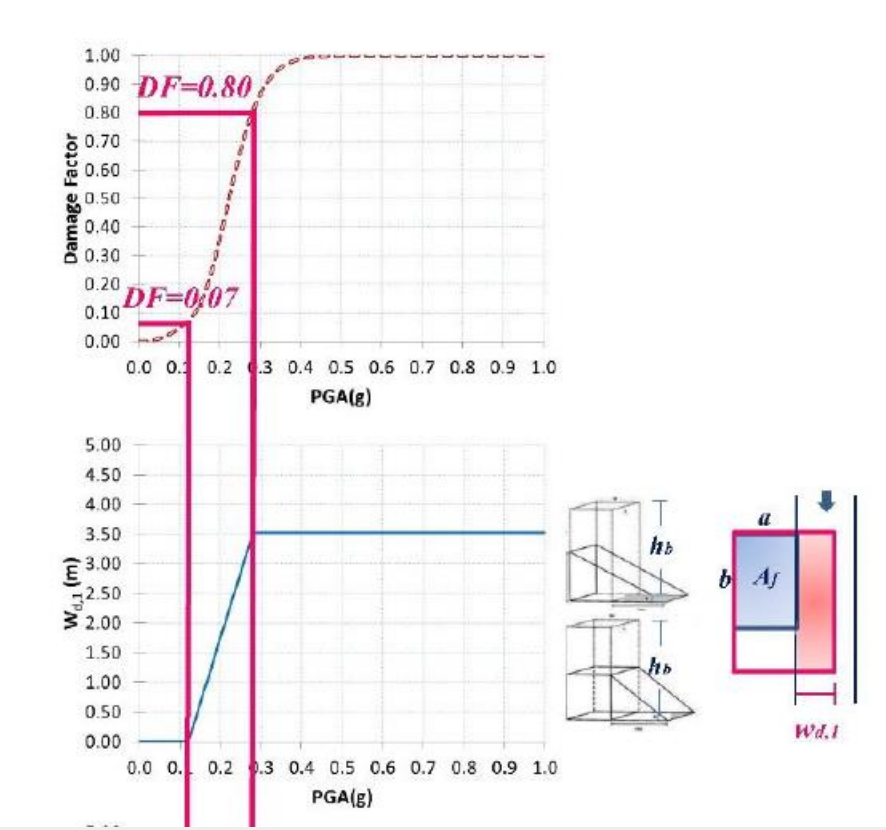
Fuente: CISMID-UNI

Generación de escombros

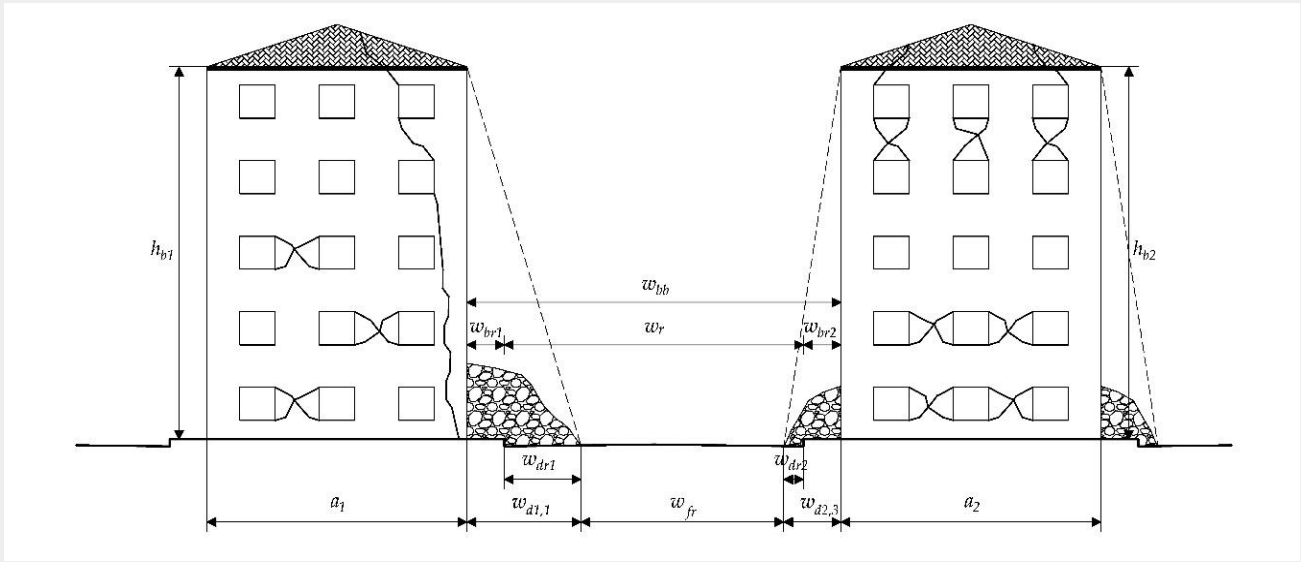
$$A_{d,max} = A_f \cdot \varepsilon^2$$

$$\varepsilon = 1.228 + 0.07869 \cdot \left(\frac{a}{b}\right) + 0.05626 \cdot \left(\frac{A_f}{V_b} \cdot \frac{h_b^2}{a}\right)$$

$$w_{d,1} = w_{d,max} = a \cdot (\varepsilon - 1)$$



Fuente: doi:10.3390/app10041289

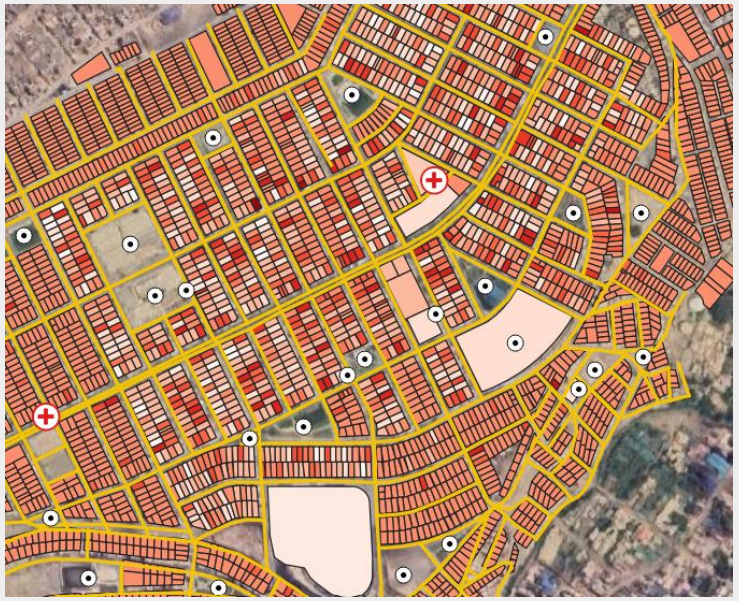


$$w_{fr} = w_{bb} - max\left(w_{br1}; \left|w_{br1} - w_{d1,i}\right|\right) - max\left(w_{br2}; \left|w_{br2} - w_{d2,j}\right|\right)$$

Generación de escombros

Identifificación de viviendas afectadas por el sismo (PGA) y estimación del ancho de vía afectada por escombros

Fuente: Propia



Fuente: Propia

Nivel de servicio de la Capacidad de la vía

Inicial

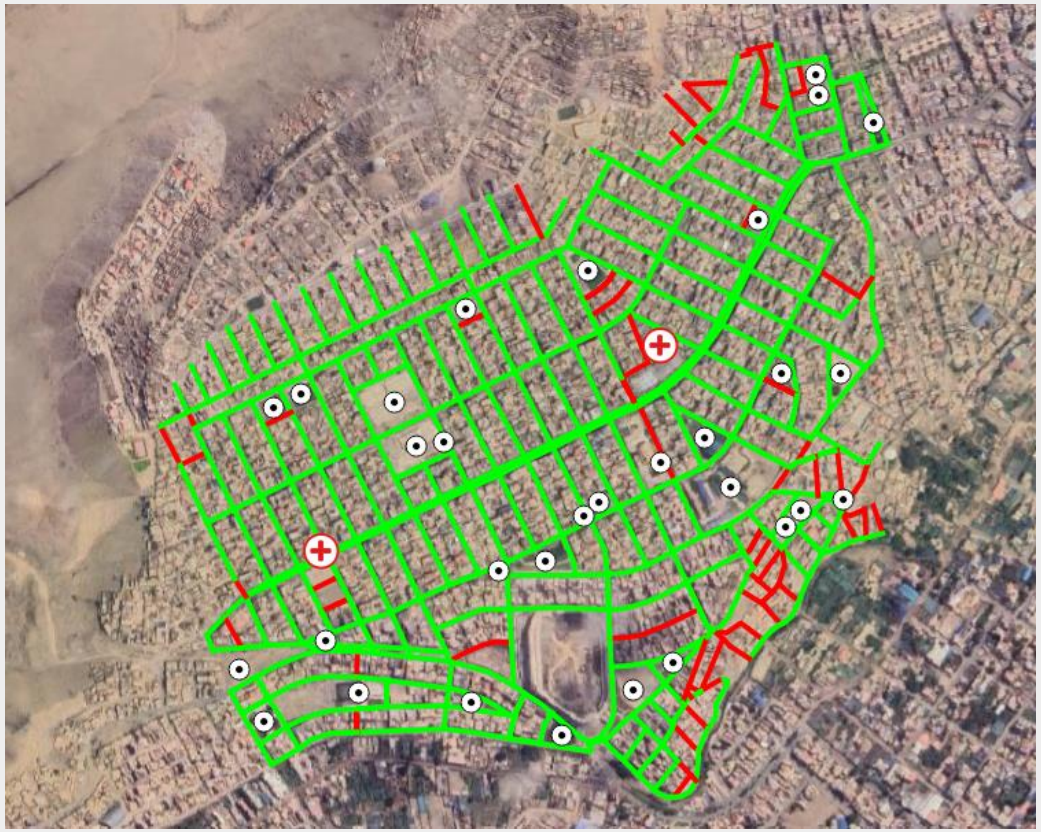
Fuente: Propia

Post sismo

Fuente: Propia

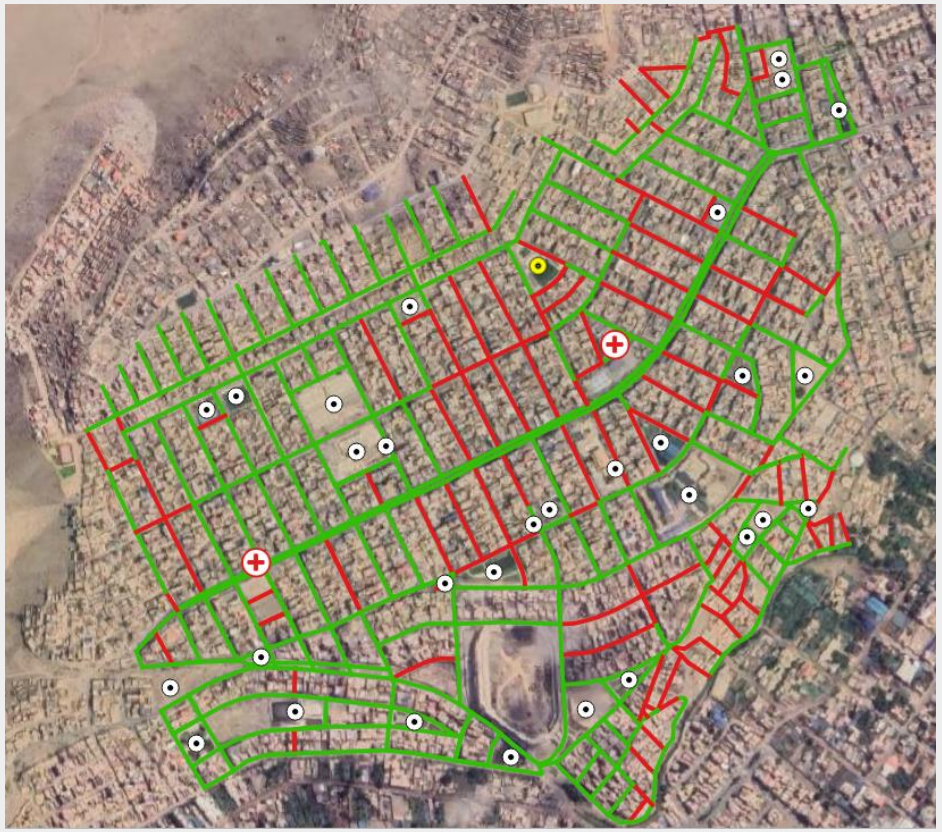
Transitabilidad

Sin sismo Severo



Fuente: Propia

Post sismo (PGA 0.953)

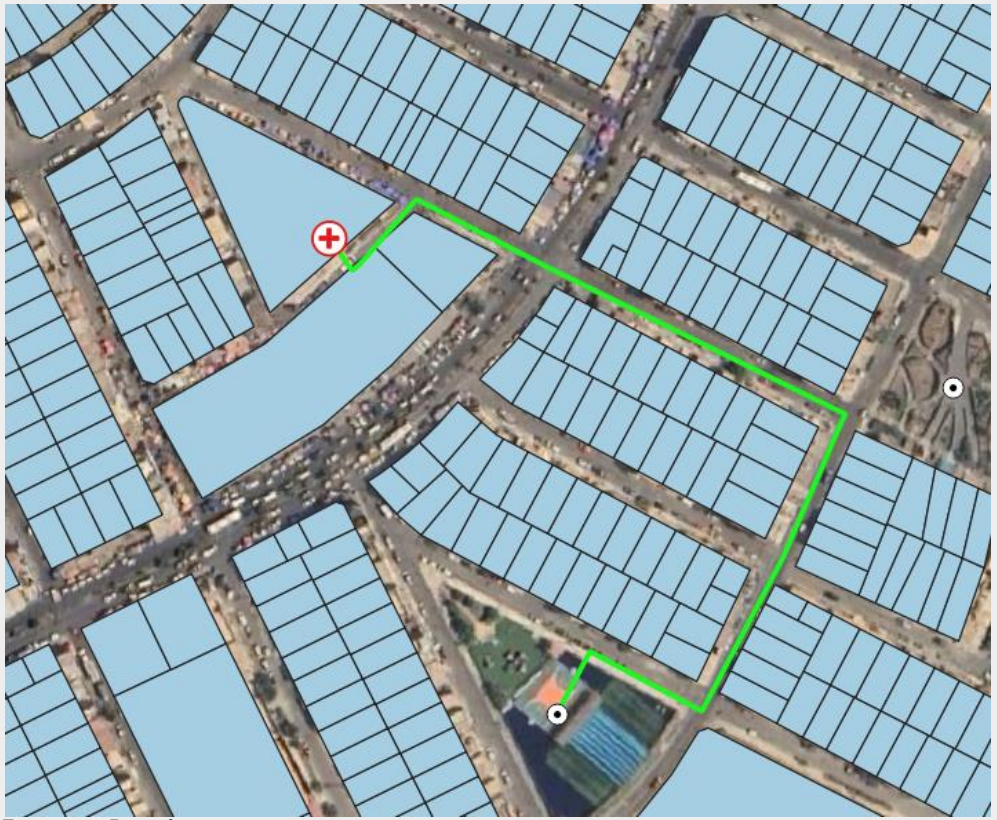


Fuente: Propia

Rutas de emergencia

Sin sismo Severo

Caso 1



Fuente: Propia

Ruta original

Post sismo (PGA 0.953)

Caso 1

Fuente: Propia

Ruta alterna – Desvío por escombros

Rutas de emergencia

Sin sismo Severo

Caso 2

Fuente: Propia

Ruta original

Post sismo (PGA 0.953)

Caso 2

Fuente: Propia

Ruta alterna – Desvío por escombros

Gracias