



International Conference on Earthquake Engineering

*CISMID: 40 Years of Science, Innovation
and Infrastructure Assessment
for Resilient Cities*

Imágenes Satelitales y de Drones en la Generación de Información Geoespacial para la Gestión del Riesgo de Desastres

PhD. Miguel Luis Estrada Mendoza

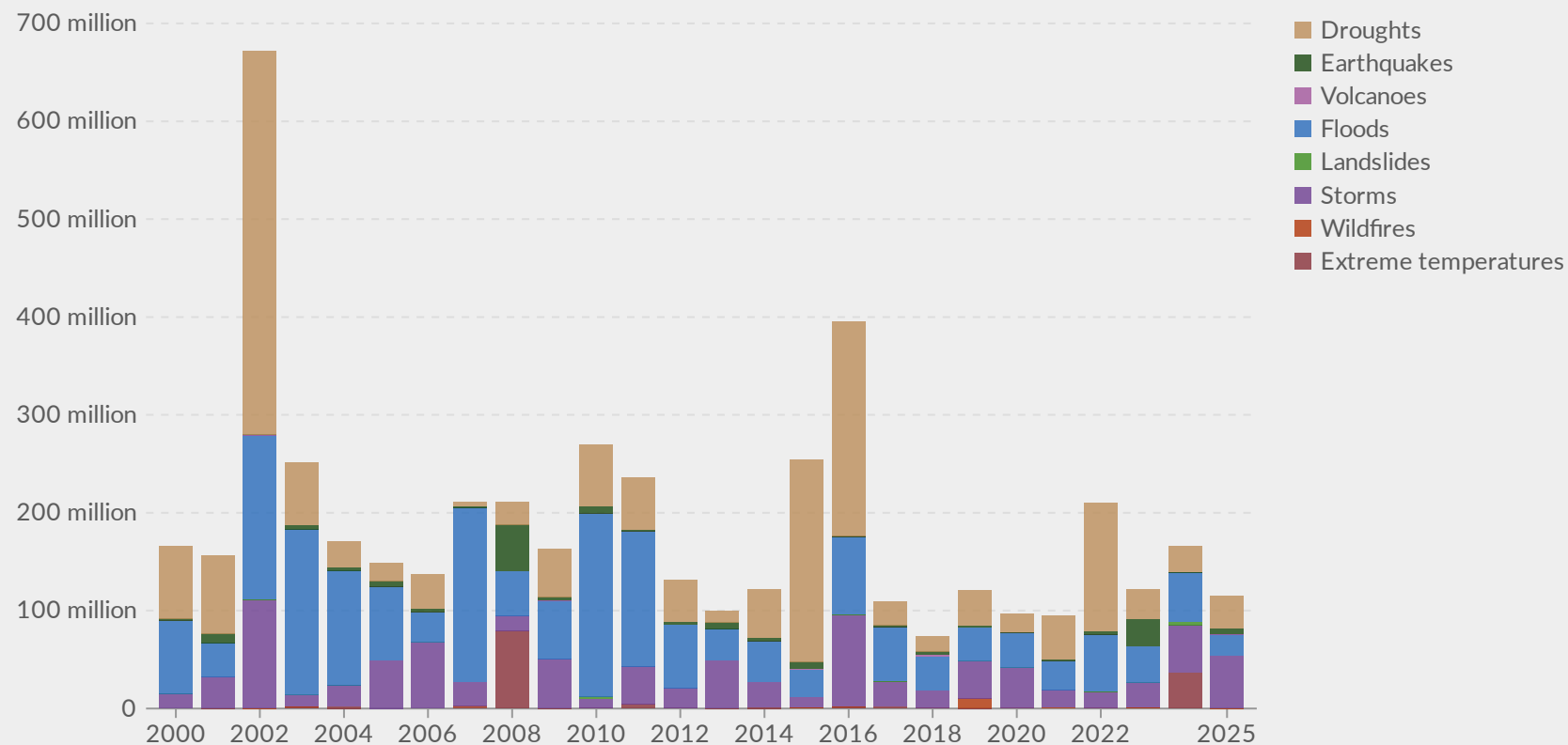


Número anual de personas afectadas por todos los desastres de origen natural, 2000 a 2025

Annual number of people affected by all natural disasters, World, 2000 to 2025

Our World
in Data

The total number of people affected is the sum of those injured, requiring assistance, and left homeless. Disasters include events such as earthquakes, volcanoes, droughts, wildfires, storms, and floods.



Data source: EM-DAT, CRED / UCLouvain (2026)

OurWorldinData.org/natural-disasters | CC BY

Note: Based on recorded events; coverage is more limited before the year 2000. Longer historical trends may partly reflect reporting improvements.

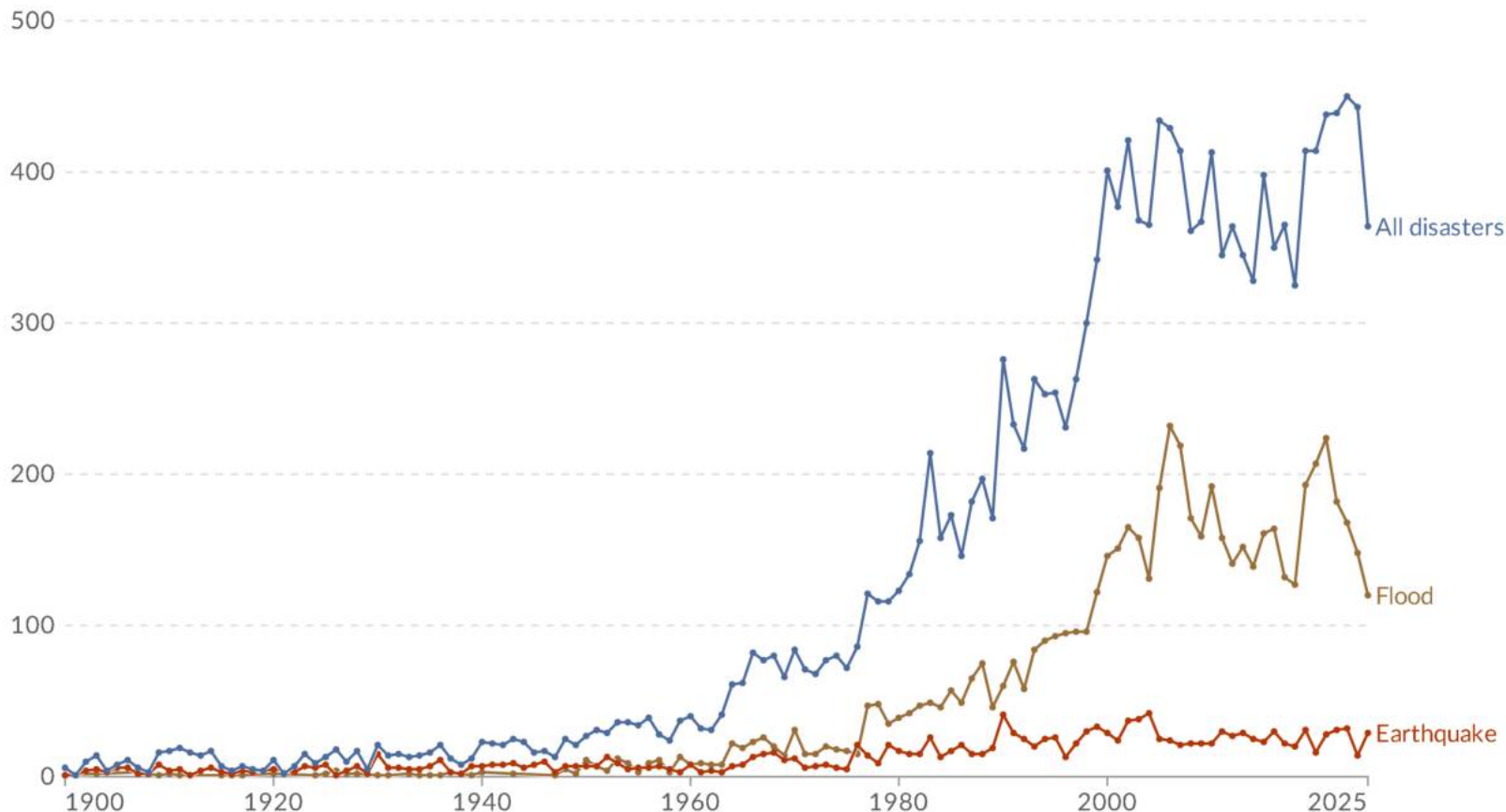


Número de desastres reportados globalmente debido a riesgos, 1900 a 2025

Number of reported natural disaster events, 1900 to 2025

Our World
in Data

The number of global reported natural disaster events in any given year. Note that this largely reflects increases in data reporting, and should not be used to assess the total number of events.



Data source: EM-DAT, CRED / UCLouvain (2026)

Note: Data includes disasters reported up to April 2026.

OurWorldinData.org/natural-disasters | CC BY

Actividad Sísmica – Tectónicas Placas

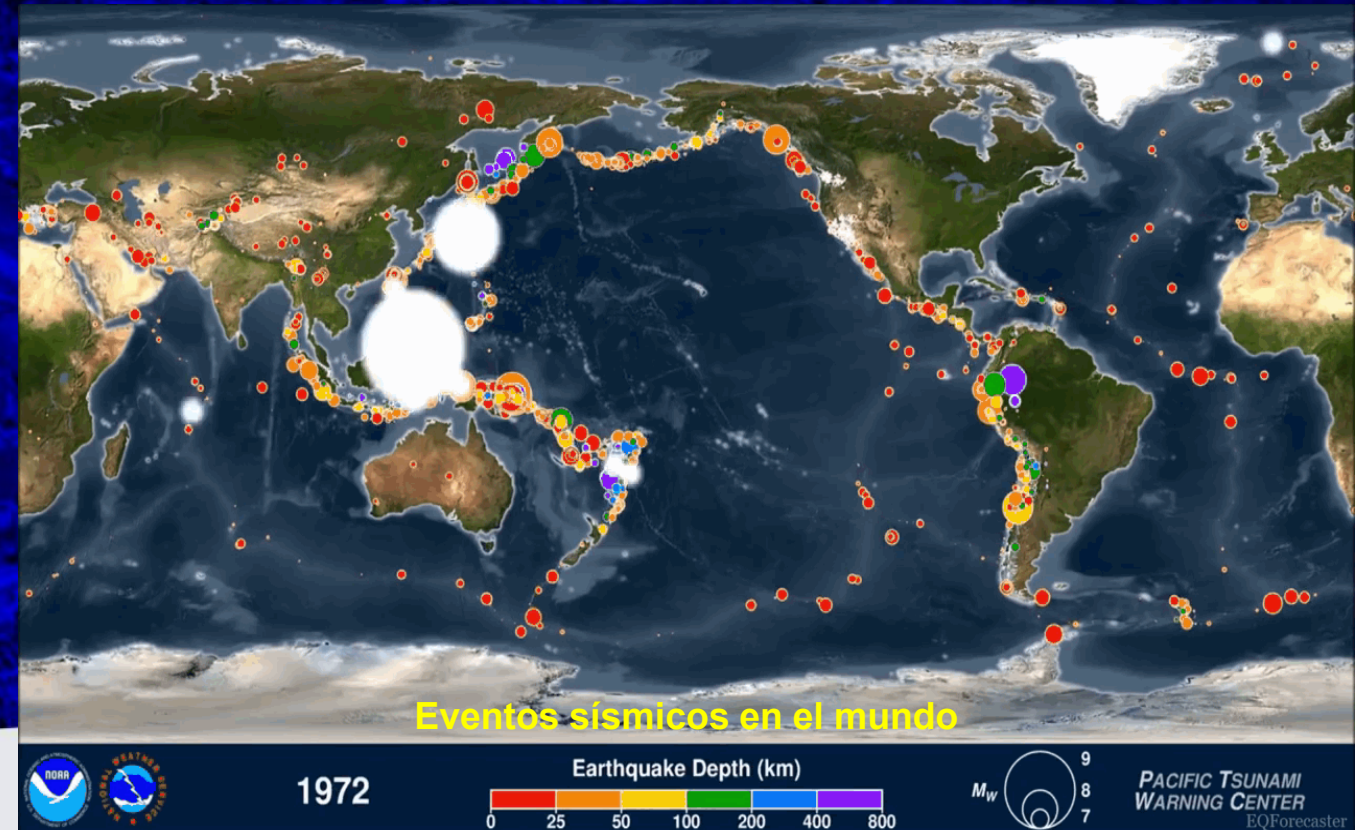
Cinturón de Fuego del Pacífico

Zona caracterizada por poseer un alto registro de actividad sísmica y volcánica.



Fuente: Pacific Tsunami Warning Center

Cortesía: Dr. Zenón Aguilar Bardales



Sismos Recientes en Perú



NAZCA 1996



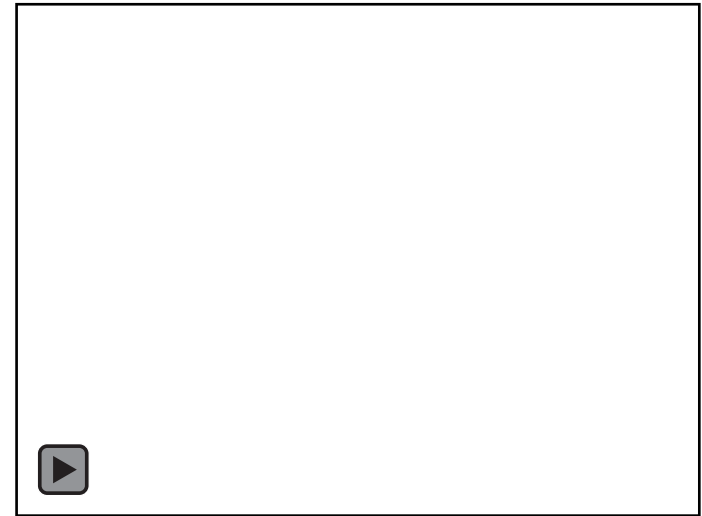
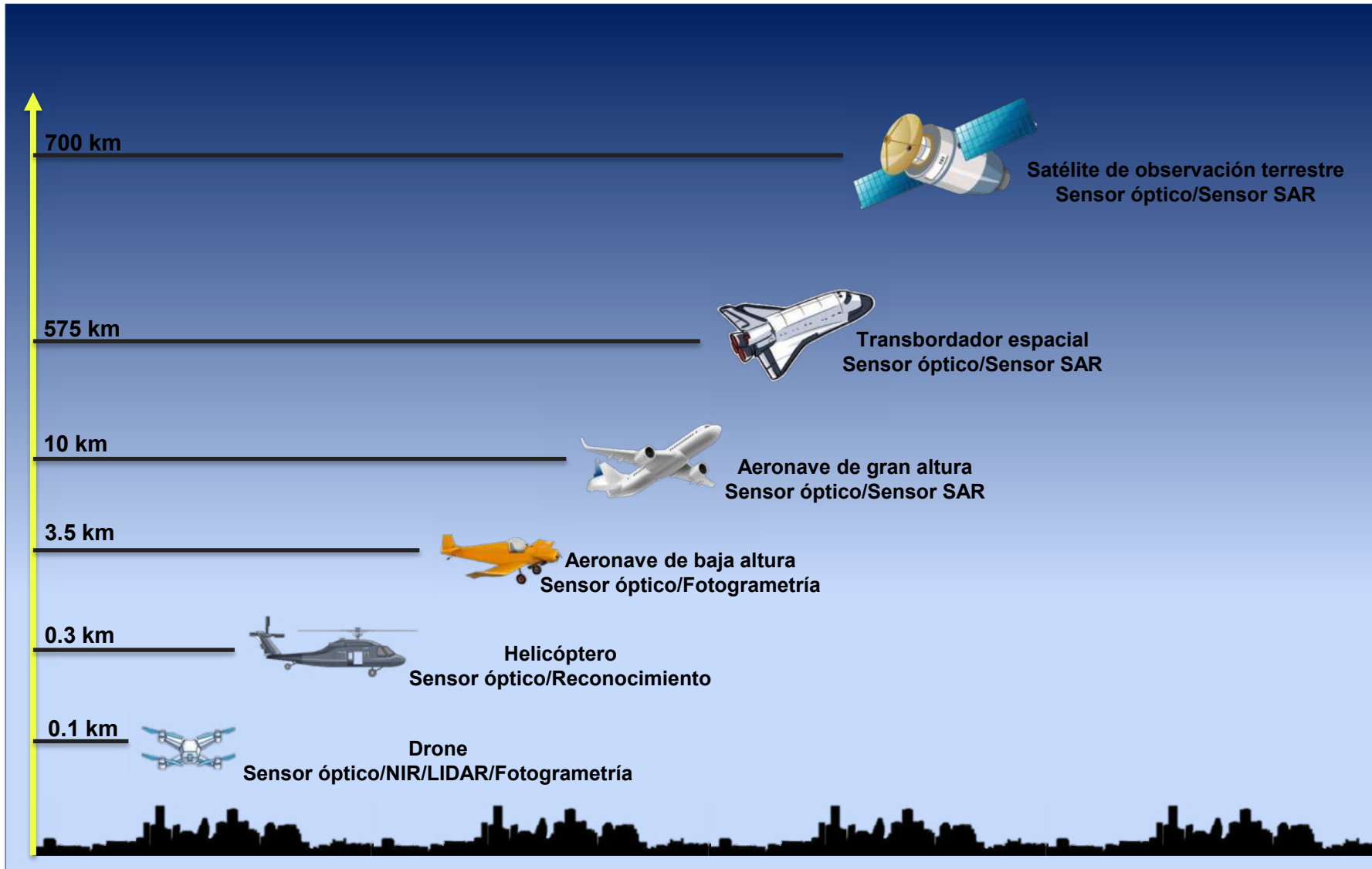
MOQUEGUA 2001



PISCO 2007

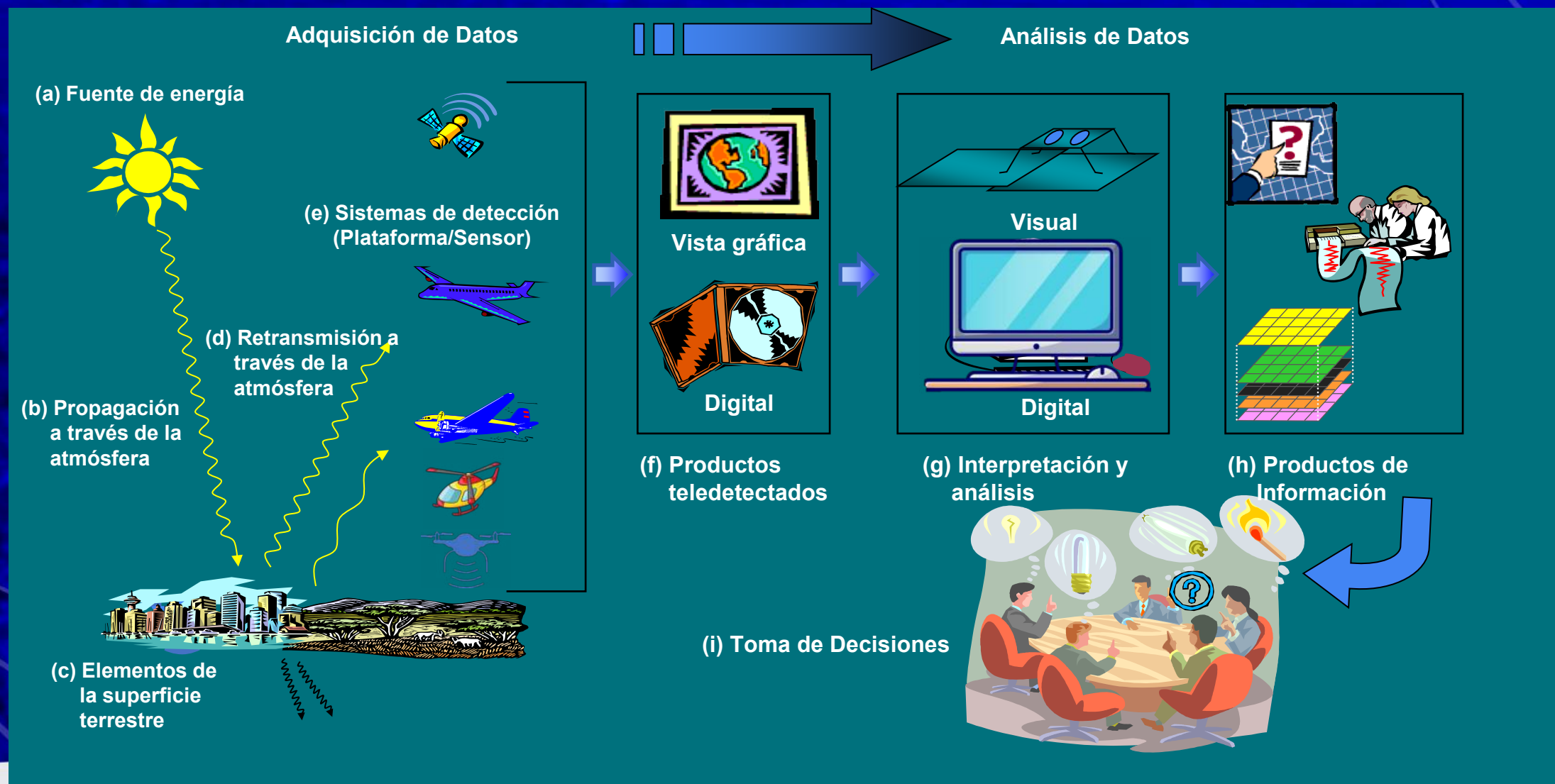
- **Sin Prevención** = Mayores pérdidas de vidas y materiales. Mayor Costo de Reconstrucción.
- **Con Prevención** = Menores pérdidas de vidas y materiales. Menor Costo en Reconstrucción.

Las Tecnologías de Teledetección



- Cubre una vasta área de superficie terrestre
- Información digital (DN)
- Información histórica está disponible
- Adquisición periódica (4a dimensión)
- Información espectral (5a dimensión)
- Varios satélites (PerúSat-1, Worldview, Quickbird, Ikonos, otros)

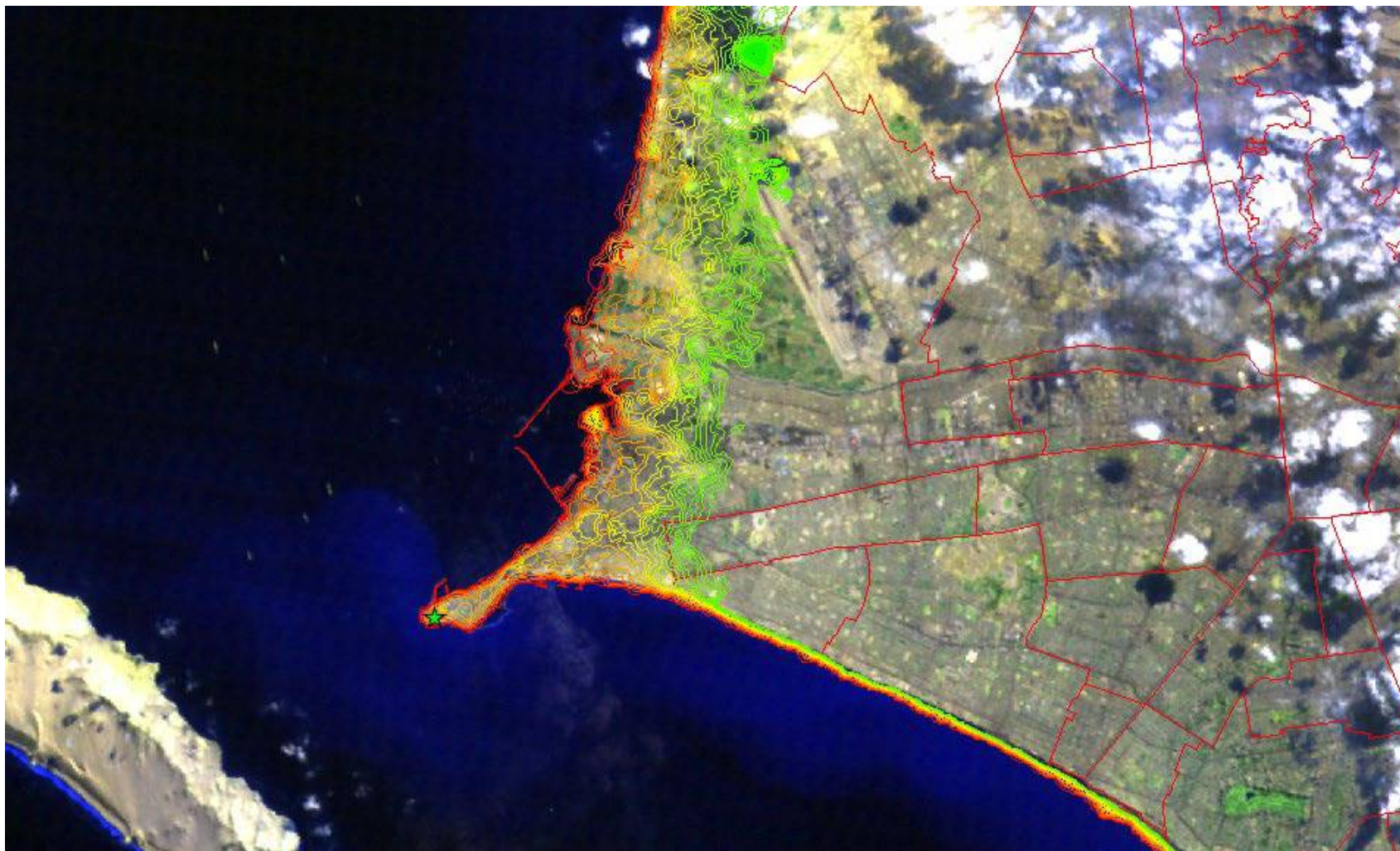
Teledetección de la Superficie Terrestre



Historia de las imágenes satelitales

Identificación de Zonas Pobladas

Landsat – 1997 (MultiSpectral – 30m)



Uso del suelo estimado a partir de Imágenes Satelitales Ópticas

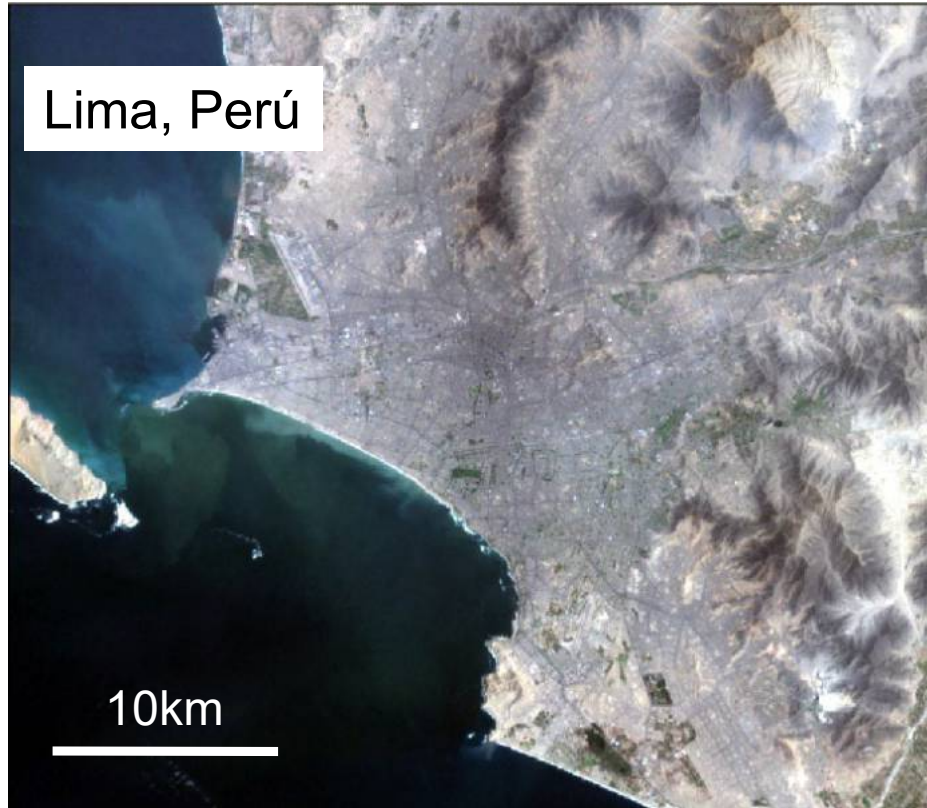
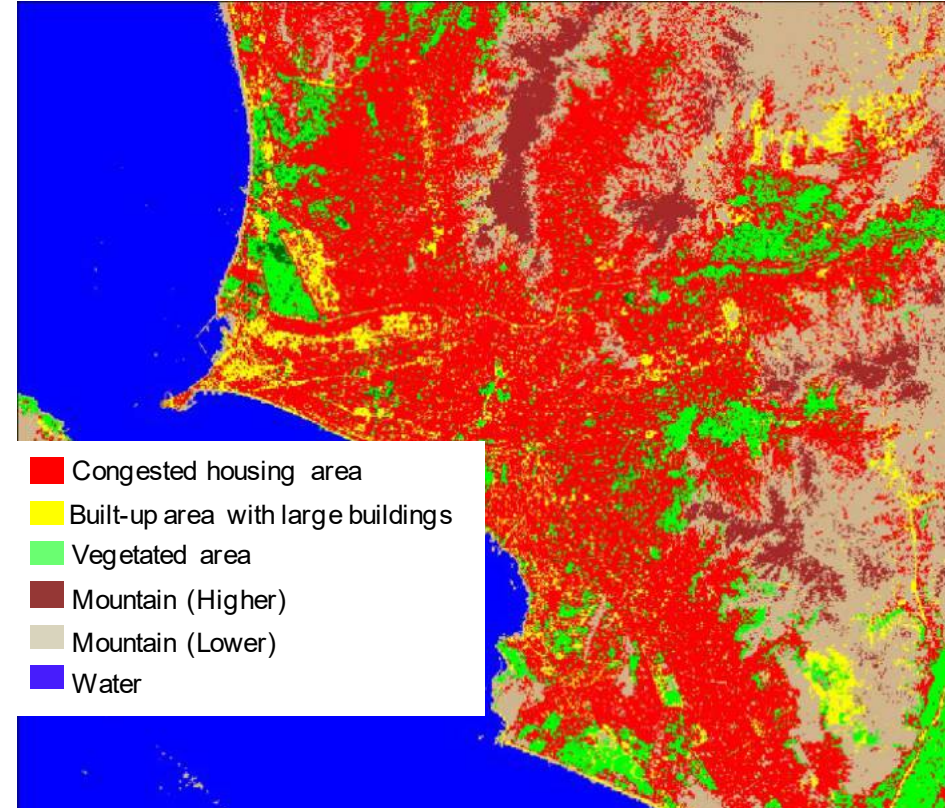


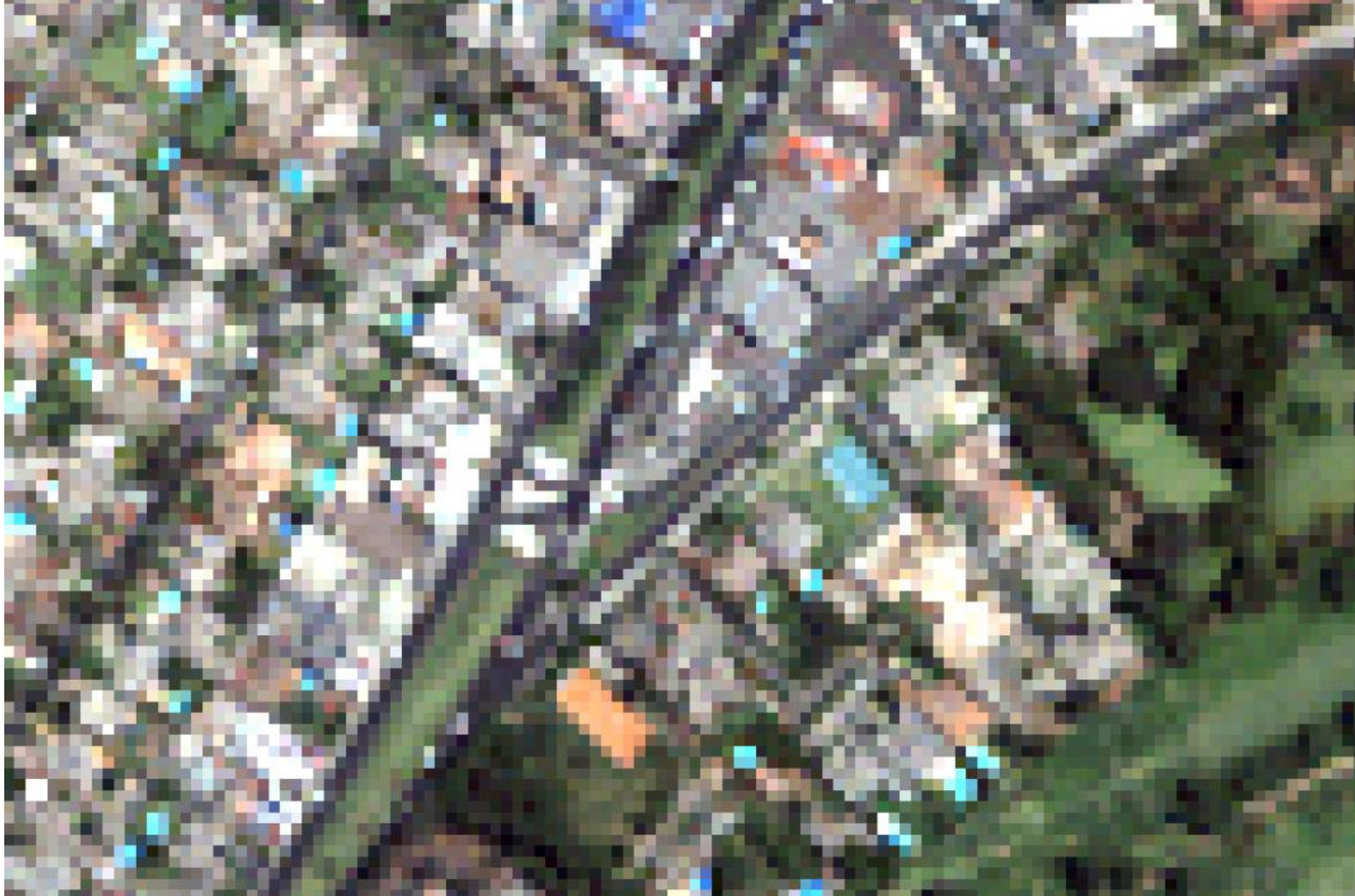
Imagen Landsat (15m-resolución)
Observada en 2002/1/17



Mapa del Uso del Suelo Estimado por
Clasificación Supervisada

Classification accuracy should be improved by using appropriate supervised data and digital elevation model (DEM). From time-series analysis of Landsat images, sprawl of urbanized area would be evaluated. (H. Miura)

IKONOS – 2002 (Bandas Multiespectrales – 4m)



IKONOS – 2002 (Banda Pancromática – 1m)



IKONOS – 2002 (Pansharpened – 1m)



WorldView-2 – 2010 (MultiSpectral – 2m)



WorldView-2 – 2010 (Panchromatic – 0.5m)



WorldView-2 – 2010 (Pansharpened – 0.5m)



Gram-Schmidt Spectral Sharpening Method

Imagen de drone 2022 (GSD = 0.04 m)



Generación del Riesgo



Carabayllo



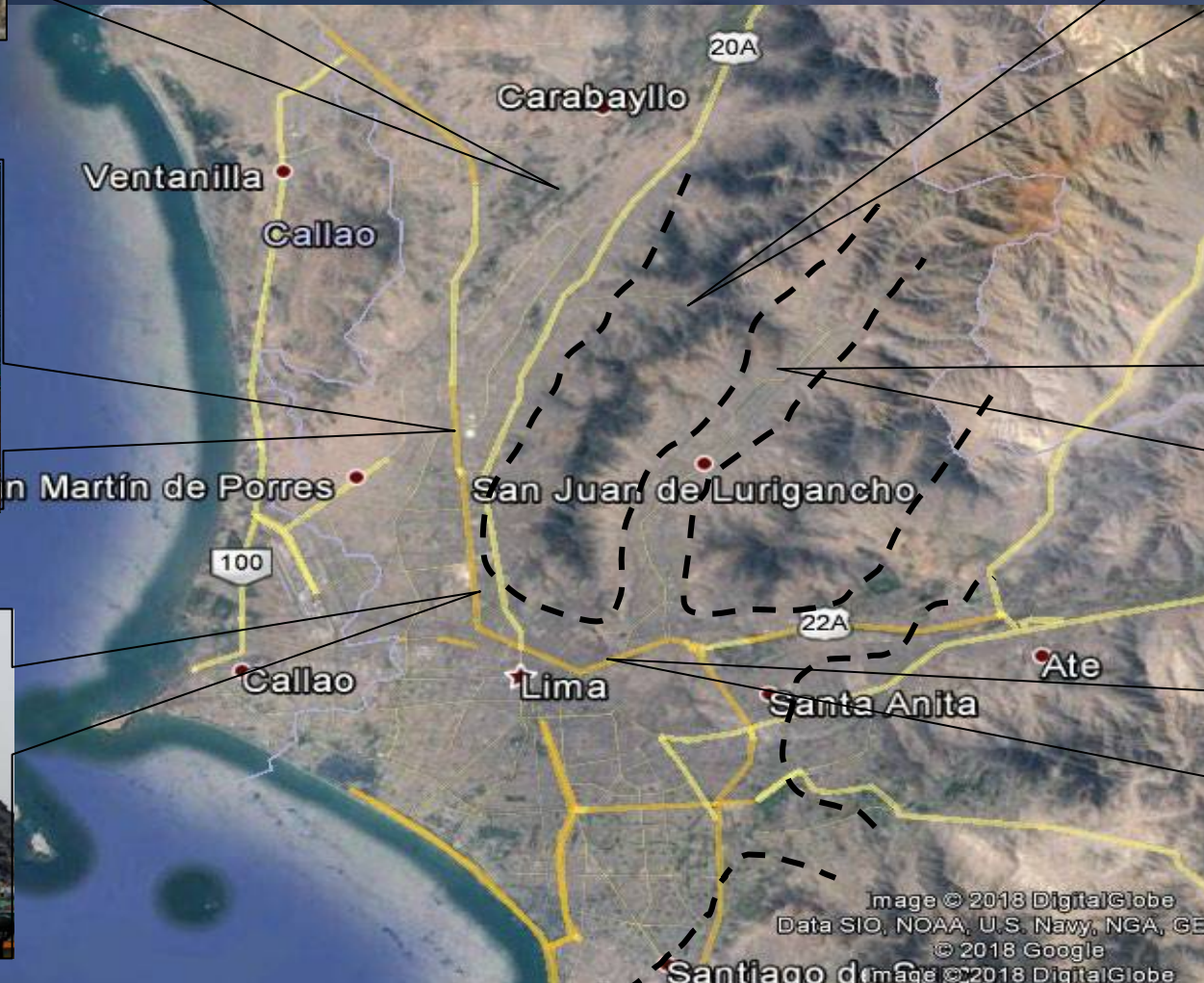
Comas



Independencia



La Victoria



San Juan de Lurigancho



Rímac

Image © 2018 DigitalGlobe
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
© 2018 Google
Image © 2018 DigitalGlobe

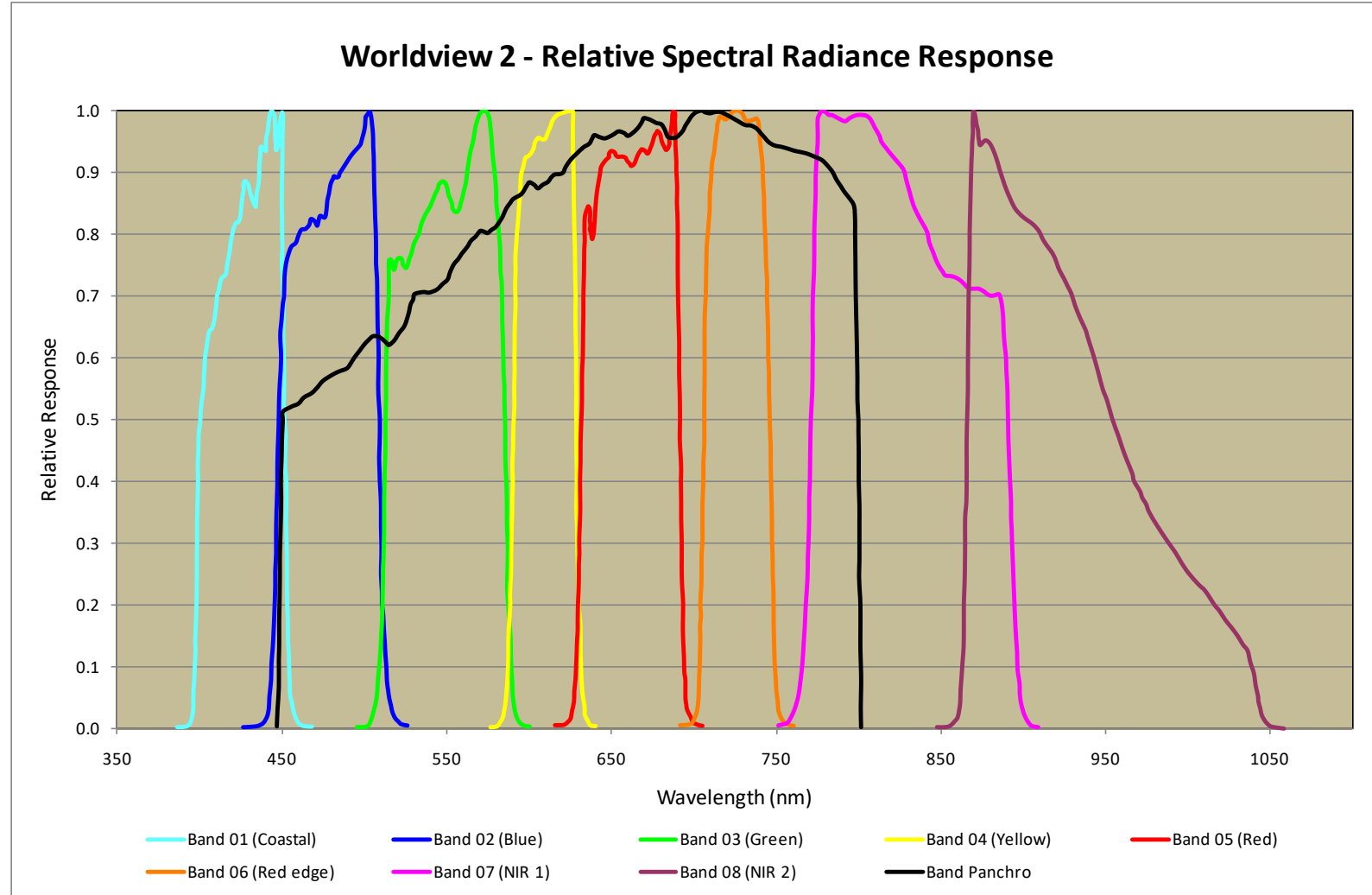


Generación del Riesgo

Imágenes
multitemporales:
2006 – 2016

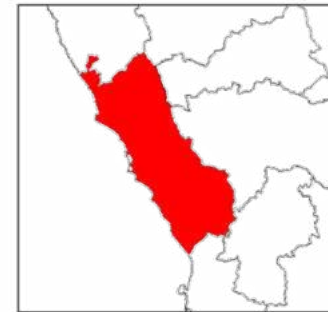
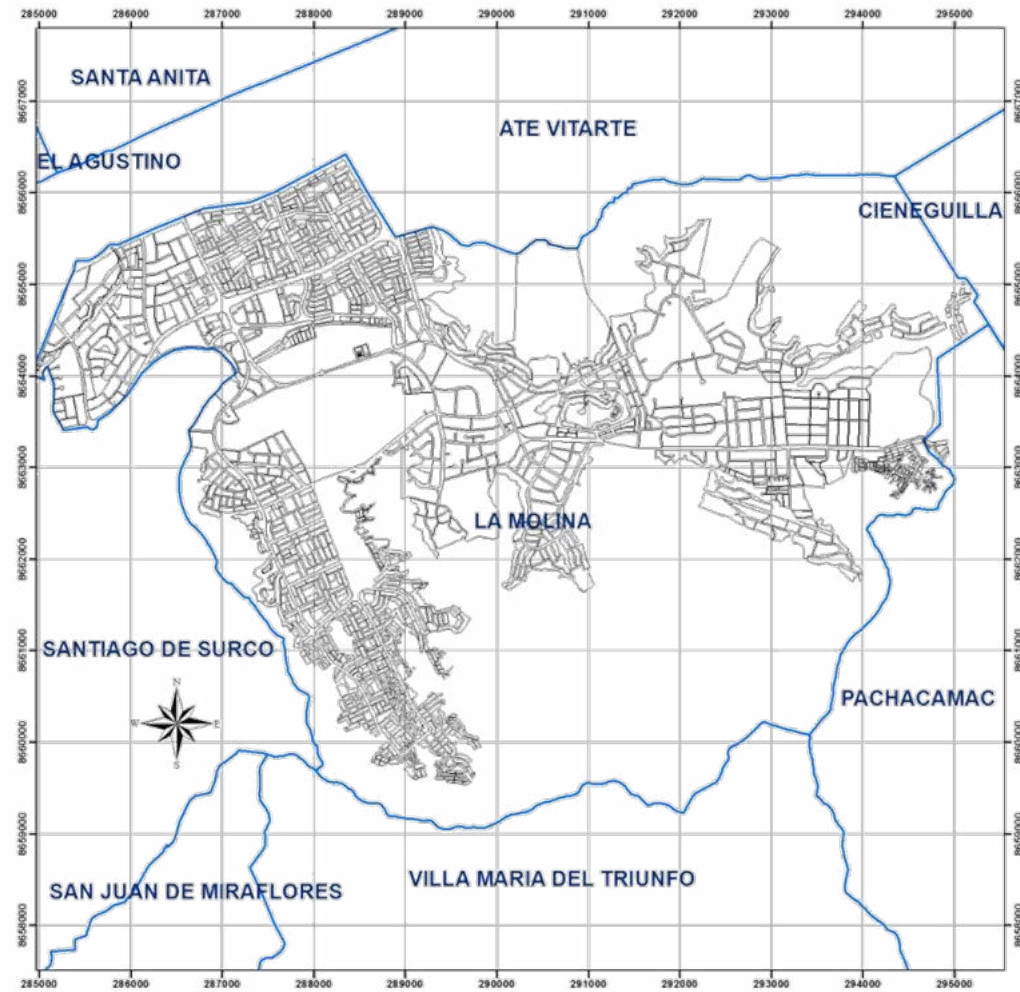


Información Espectral IKONOS vs. WorldView-2



8 Bandas Multiespectrales

Área de Estudio – La Molina, Lima



Diferentes Tipos de Uso de Suelo



Diferentes Tipos de Uso de Suelo

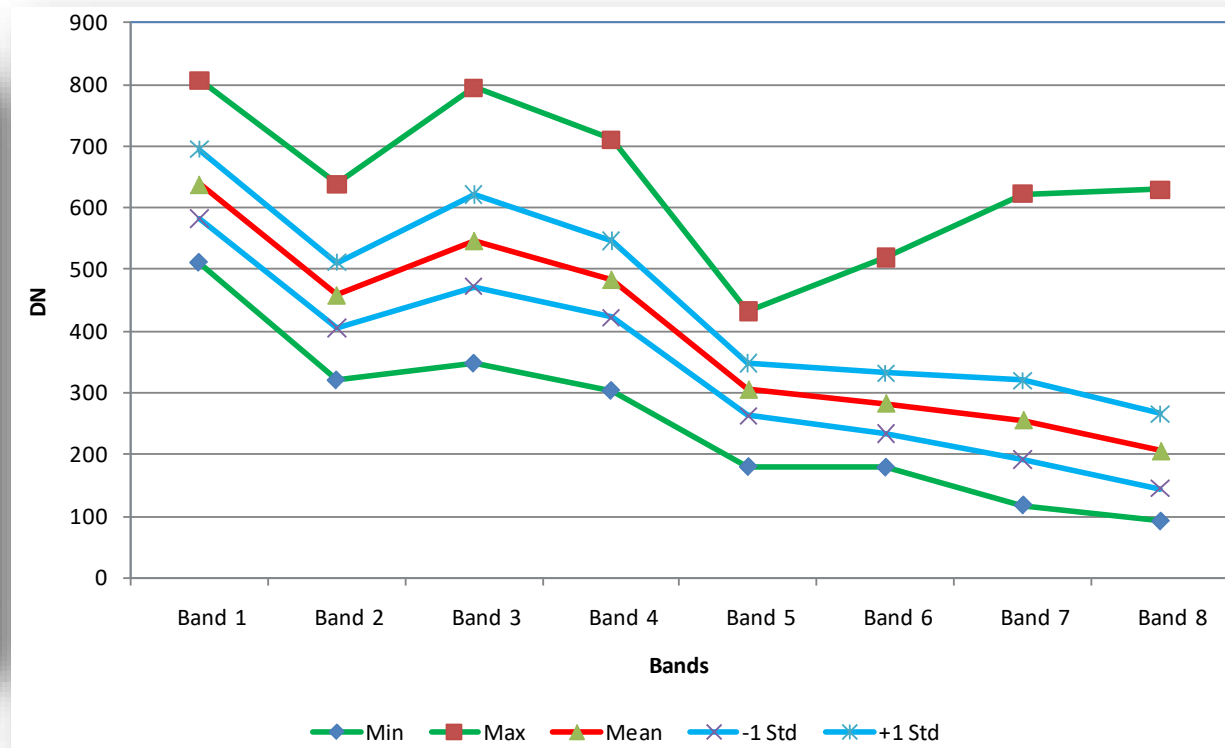


Diferentes Tipos de Uso de Suelo



Clasificación Supervisada

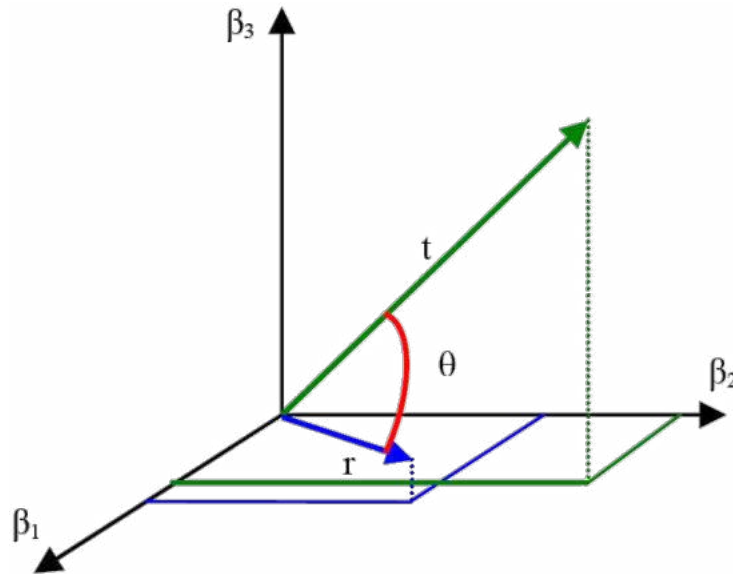
Clasificación Supervisada de Imágenes Digitales:
Área de entrenamiento + Método de Clasificación



Clasificación Supervisada

Método de Clasificación: Mapeador de Ángulo Espectral (Spectral Angle Mapper)

La reflectancia espectral de un píxel puede ser representada por un vector en un espacio n-dimensional.



El ángulo espectral θ
Es una clase de correlación

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2 \sum_{i=1}^n r_i^2}} \right)$$

Donde: n = número de bandas
 t = valor actual del espectro (DN)
 r = espectro de referencia (DN)

Resultados

Método de Clasificación: Spectral Angle Mapper Classification

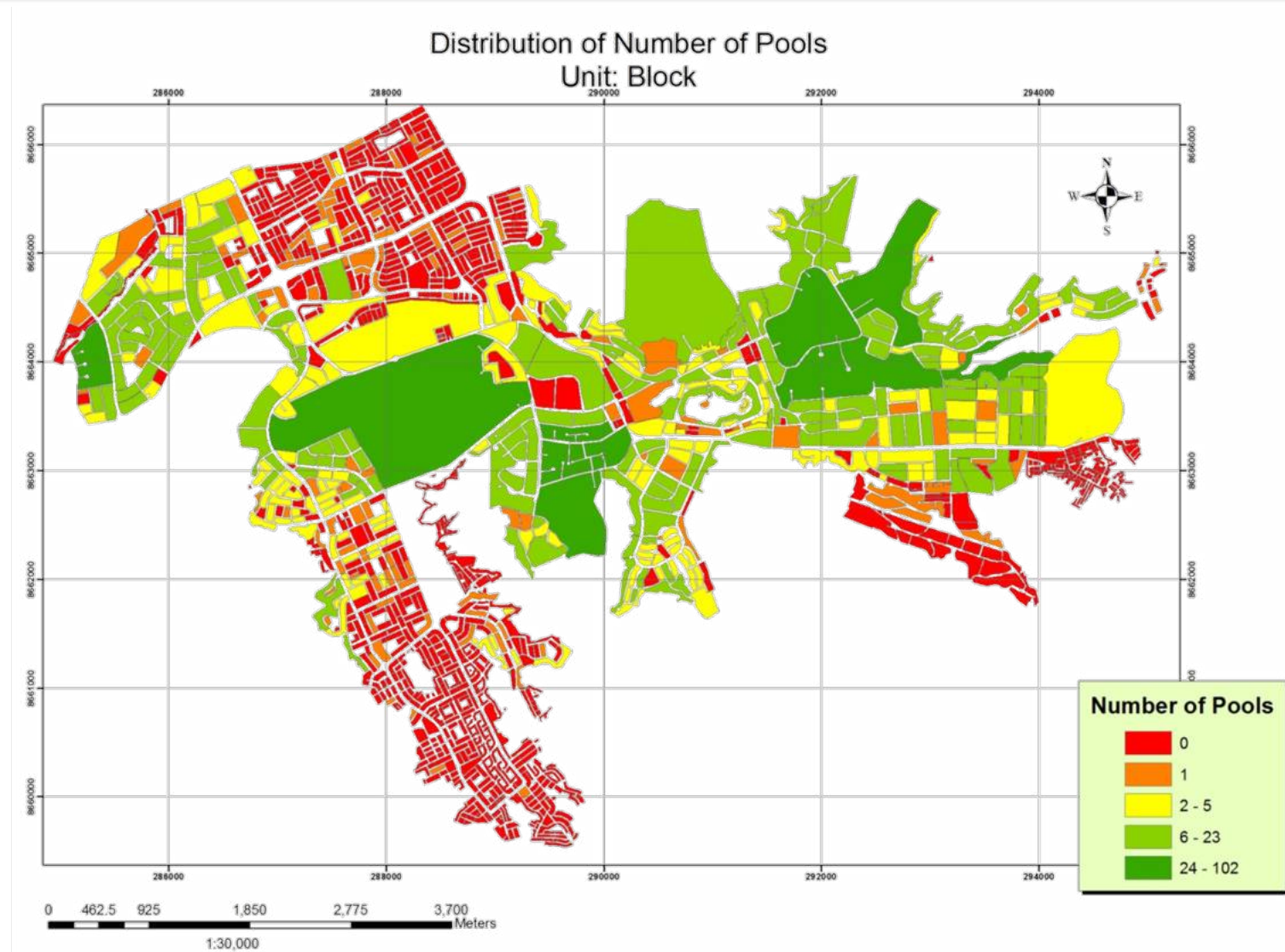


Buena concordancia
entre la imagen real y
la clasificada

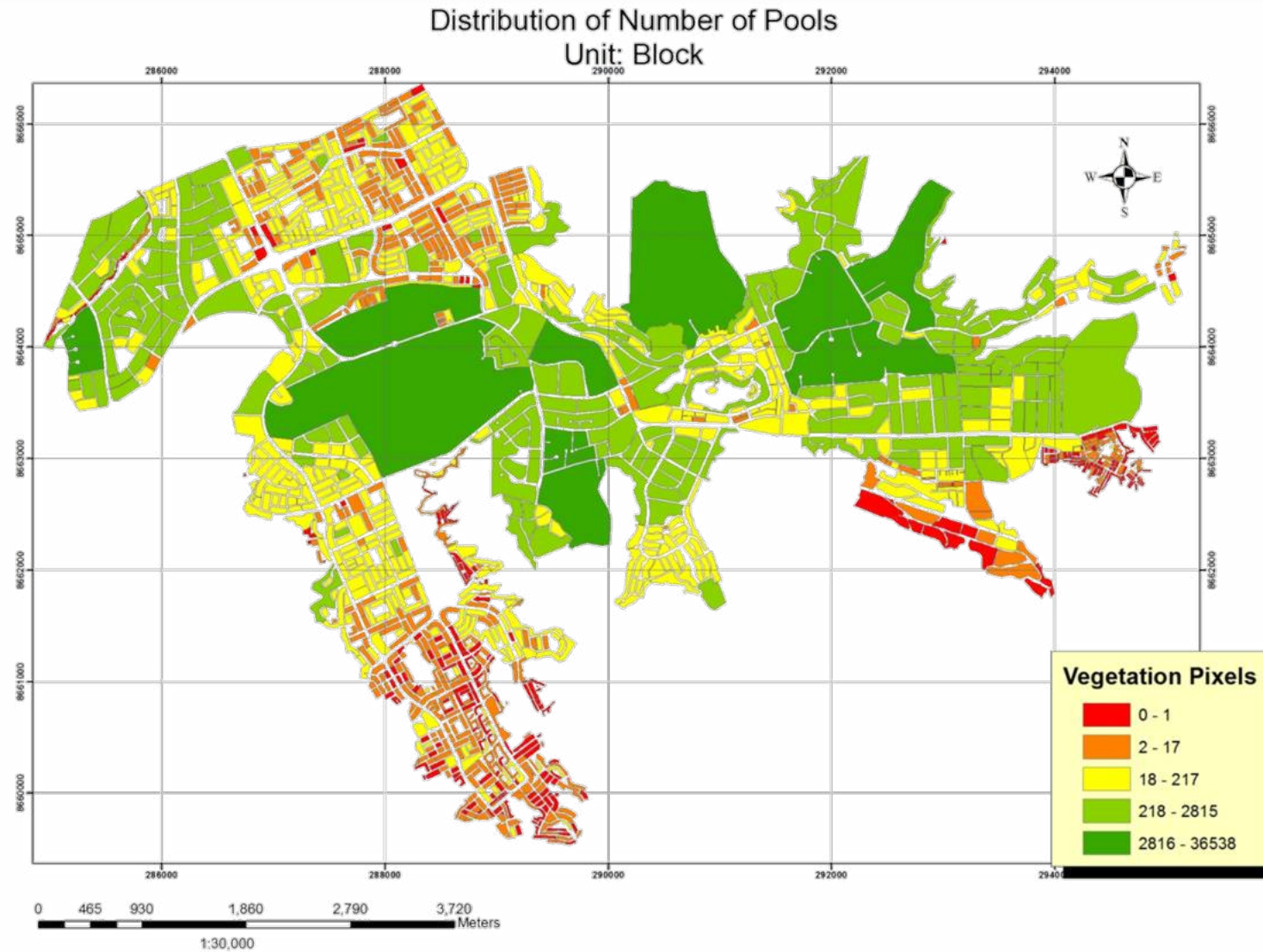


El modelo de clasificación inclusive puede ser usado para delinear las piscinas

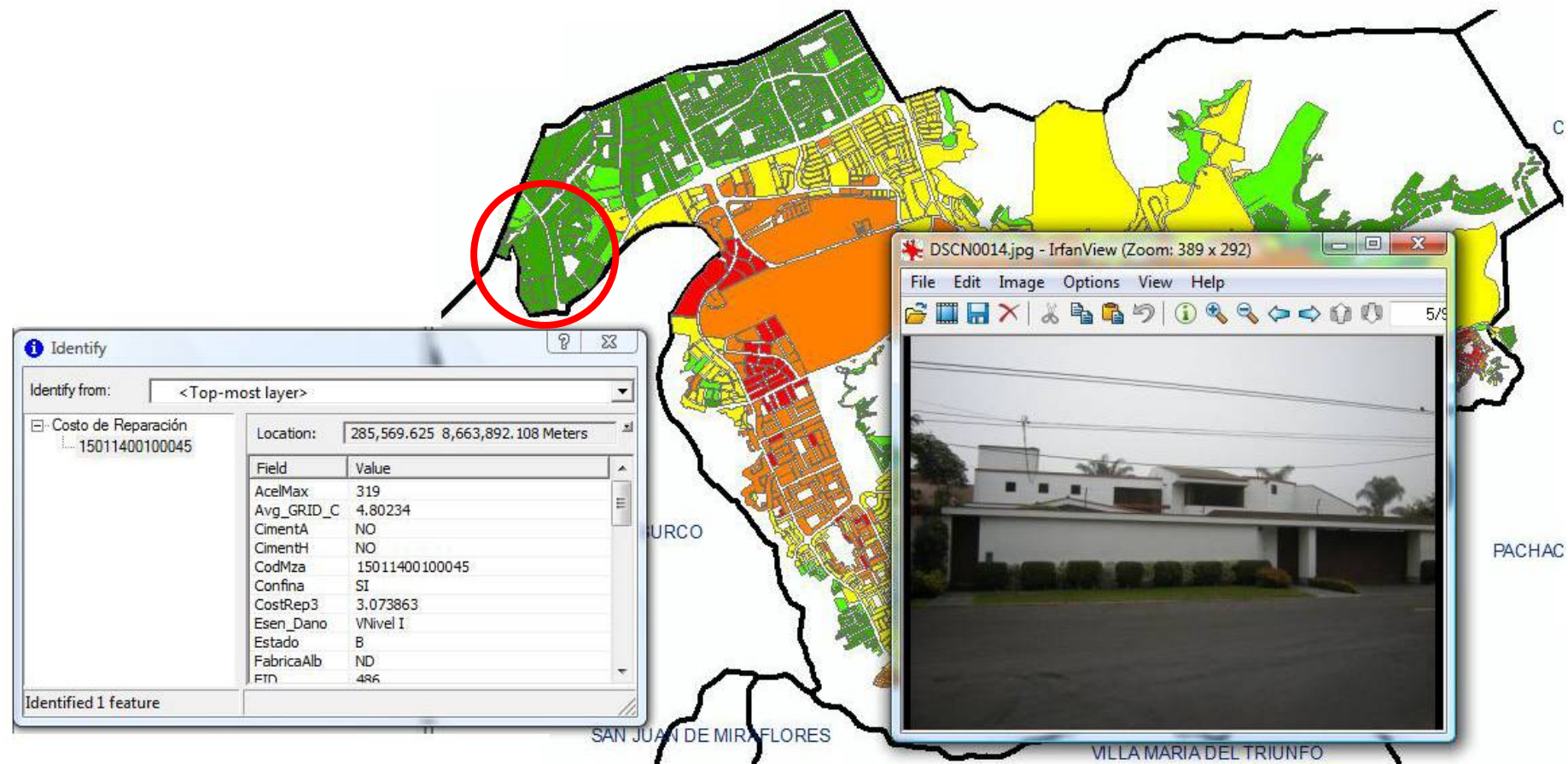
Transferencia de Datos Raster a vector (GIS)



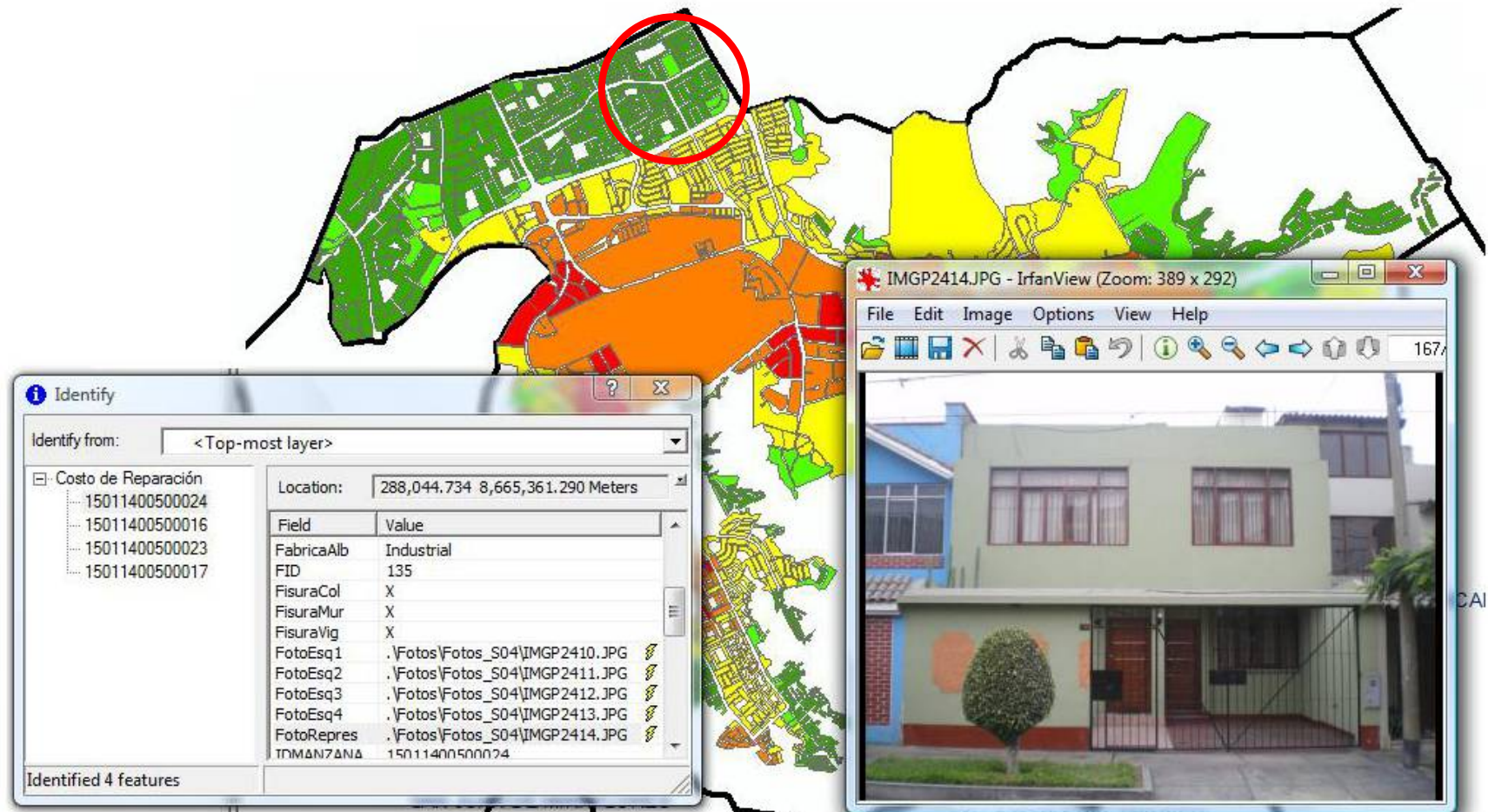
Mismo Procedimiento para NDVI (De raster a vector)



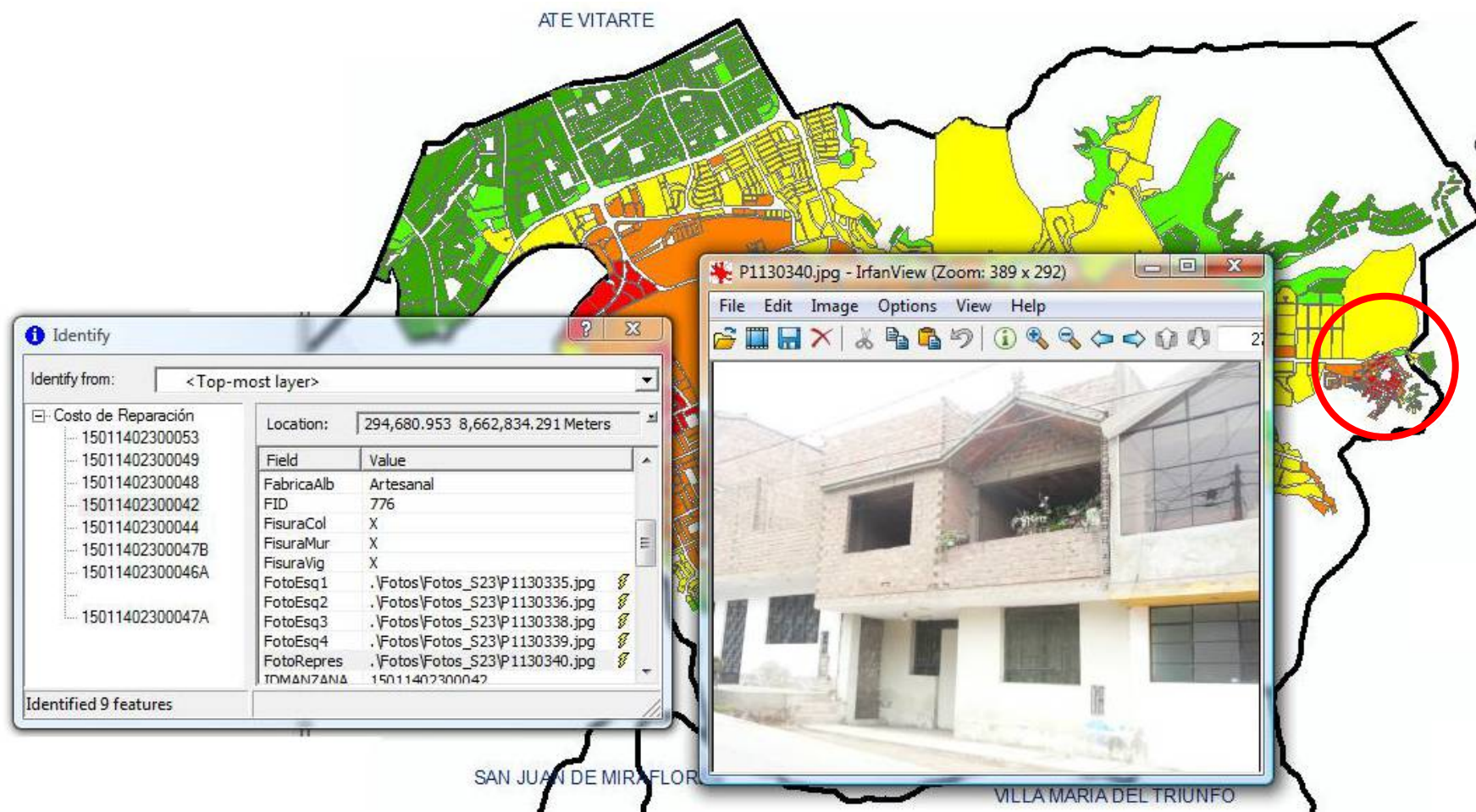
Verificación de campo



Verificación de campo

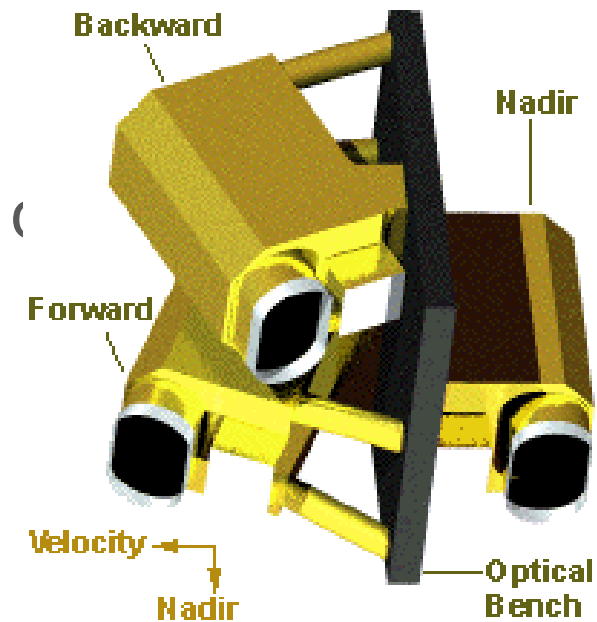


Verificación de Campo

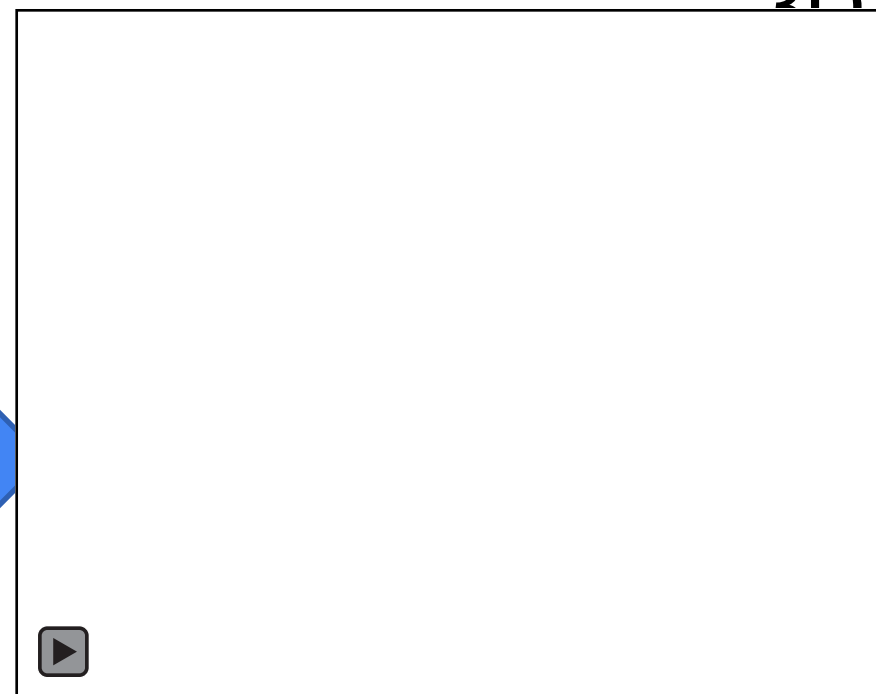
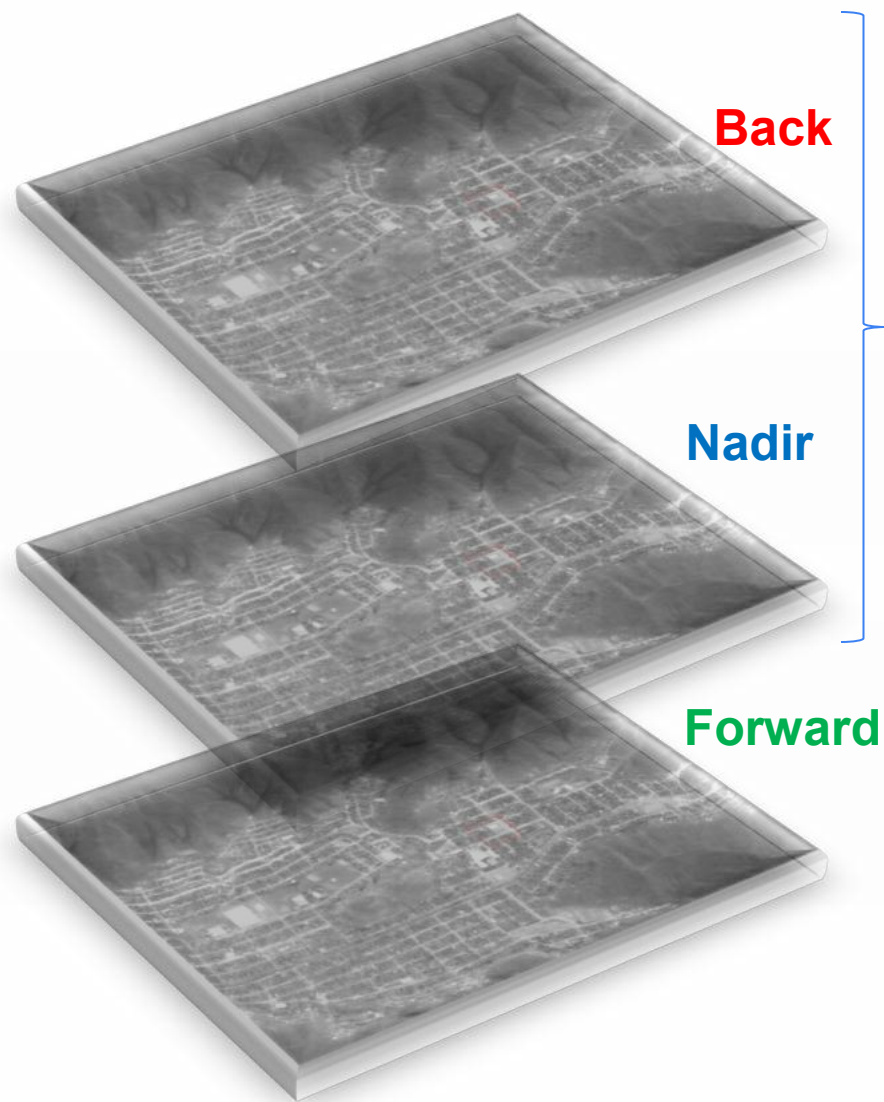


Sensor PRISM (Información Topográfica)

- PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping.
- Radiómetro Pancromático de 2.5 m (resolución espacial).
- Tiene 3 cámaras independiente, adquiriendo información al mismo tiempo.
- A través del procesamiento se puede obtener modelos 3D de alta precisión.

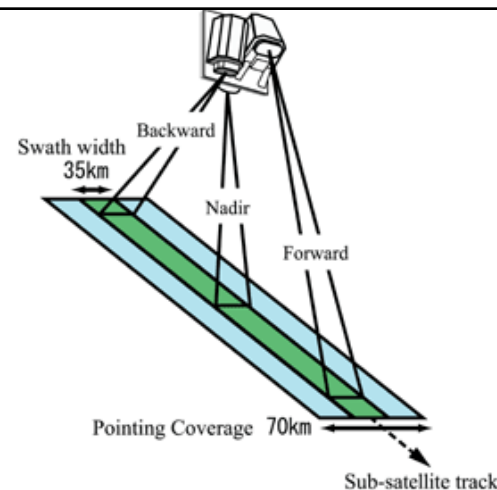


Generación de Modelo 3D

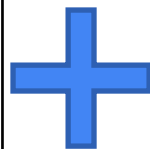
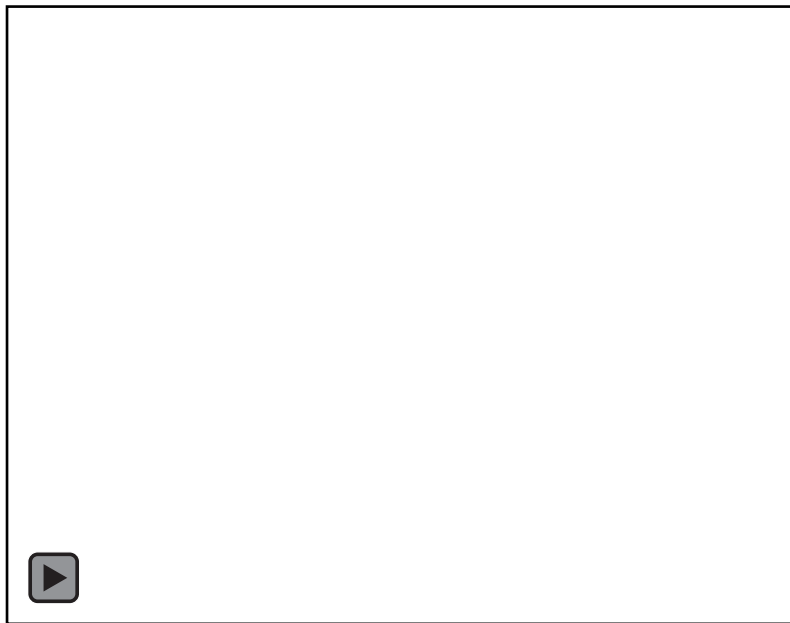


Modelo 3D

Modelo de adquisición de datos y procesamiento fotogramétrico.



Integración Imagen HR y Modelo 3D



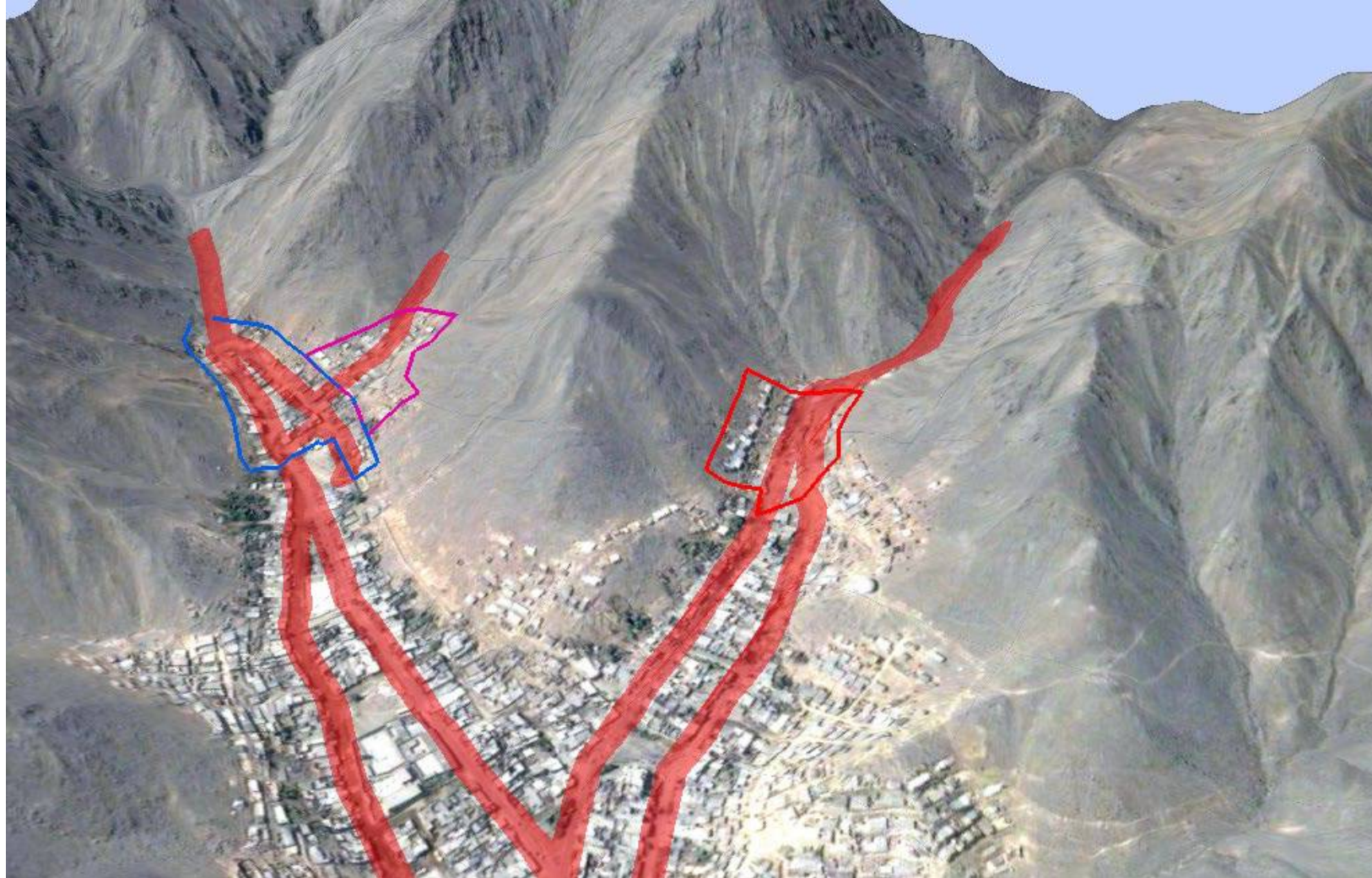
Integración RS – GIS – DEM (PRISM) (Ciudad 3d)



Imagen satelital de alta resolución integrada con MDT



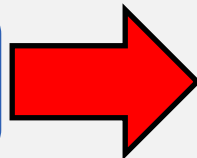
Simulación de probables áreas de inundación por lluvia y deslizamientos



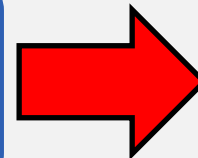


DINÁMICA DEL MOVIMIENTO EN LADERAS

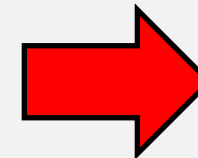
Recolección
de la data



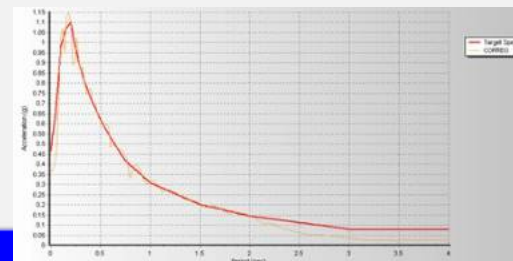
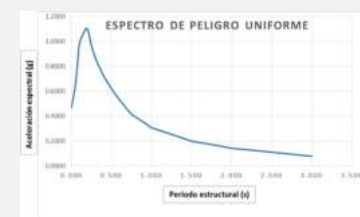
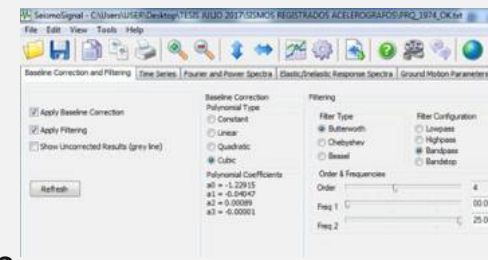
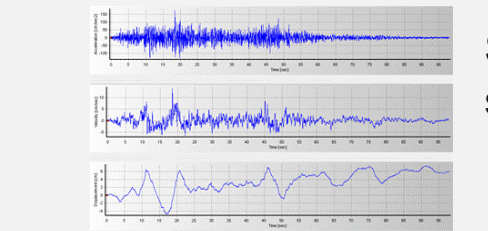
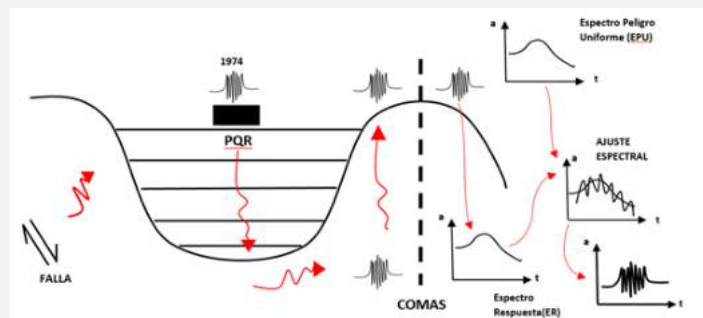
Análisis dinámico
del movimiento en
laderas



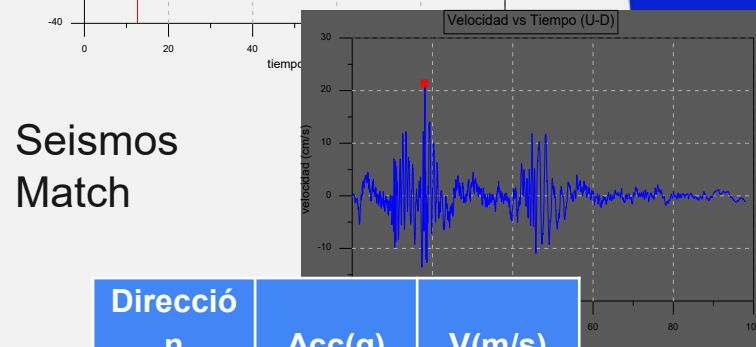
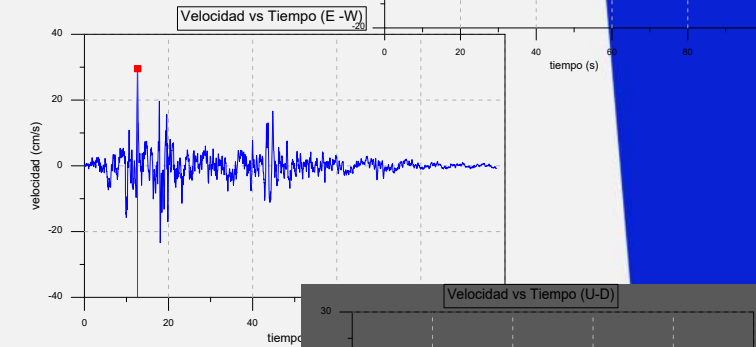
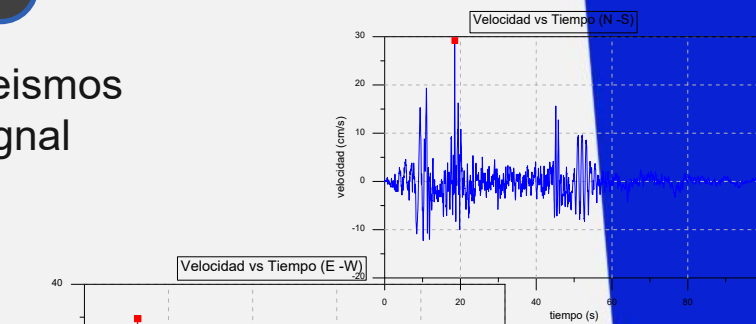
Tratamiento y
procesamiento de
los acelerogramas



Resultados



Seismos
signal



Seismos
Match

Dirección	Acc(g)	V(m/s)
NS=	0.570	0.356
EW=	0.527	0.352
UP=	0.51	0.258

Sismo de 1974:
- 3 octubre - Lima
- Magnitud: 6.6 mb
- PGA: 194.1 cm/s(0.20g)

Los espectros son diseño basados en formas que se escalan con la aceleración pico del suelo conducen a una distribución no uniforme del peligro. A lo largo del espectro distribución de aceleraciones y ordenadas espectrales para todo el País correspondientes a un periodo de retorno de 475 años

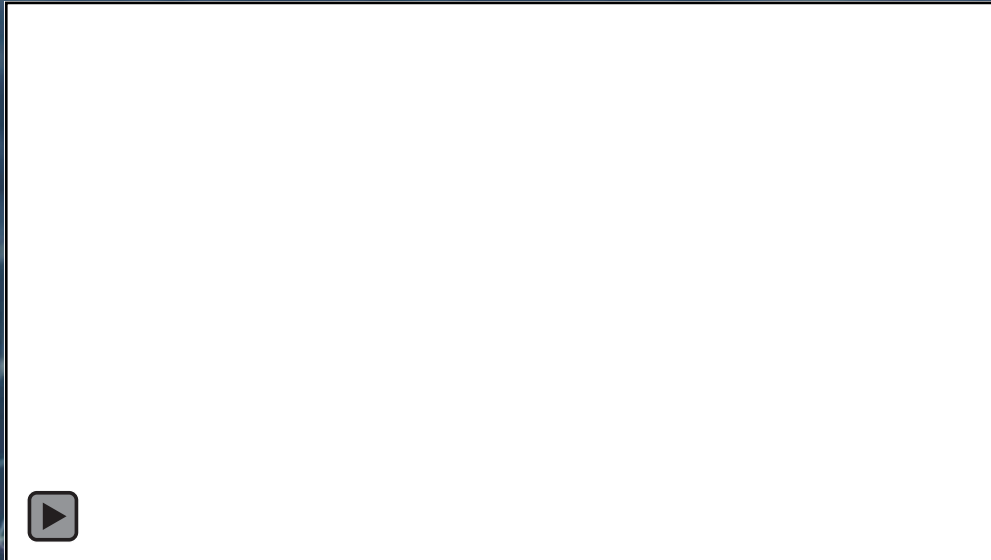


Página Web
del Sencico

Suelo denso o Roca
Vs30 mayor a 750 m/s

Levantamiento Fotogramétrico con Drones

Topografía de Alta Precisión

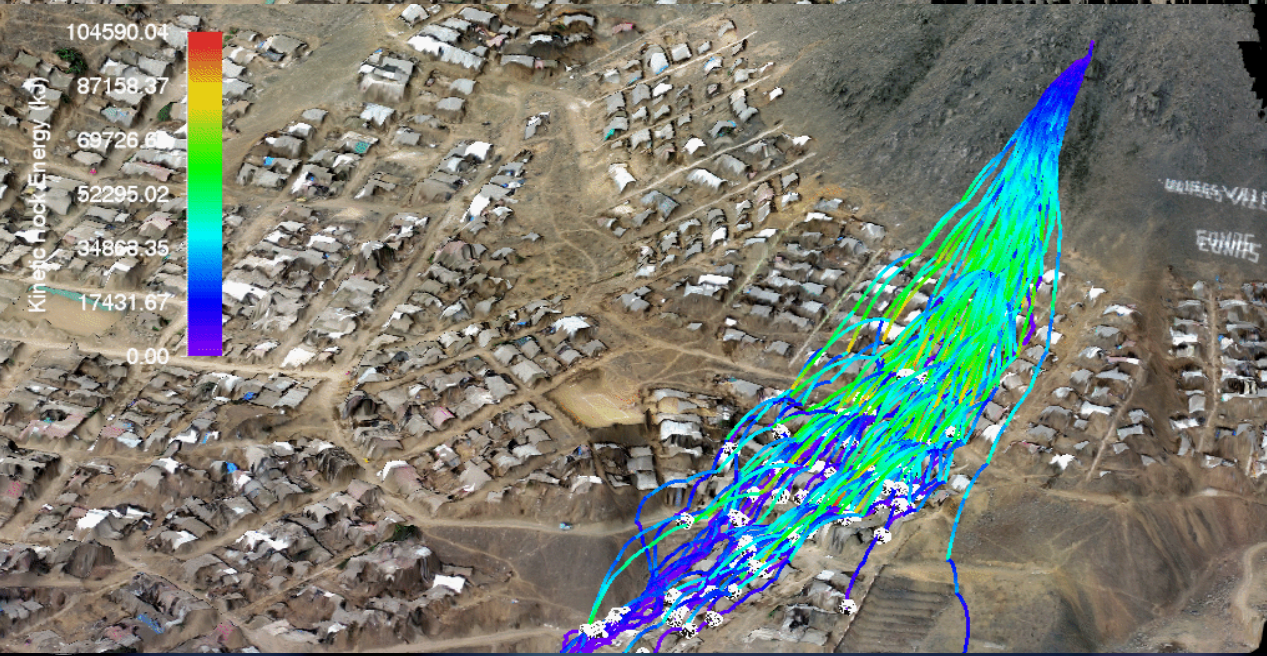
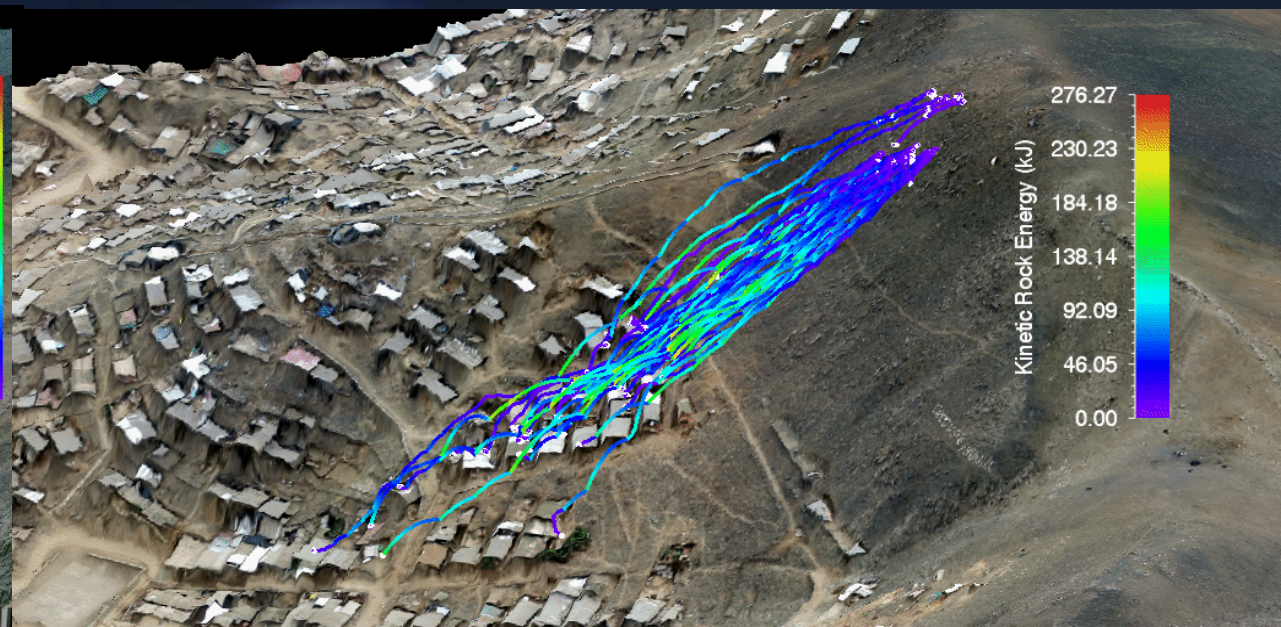
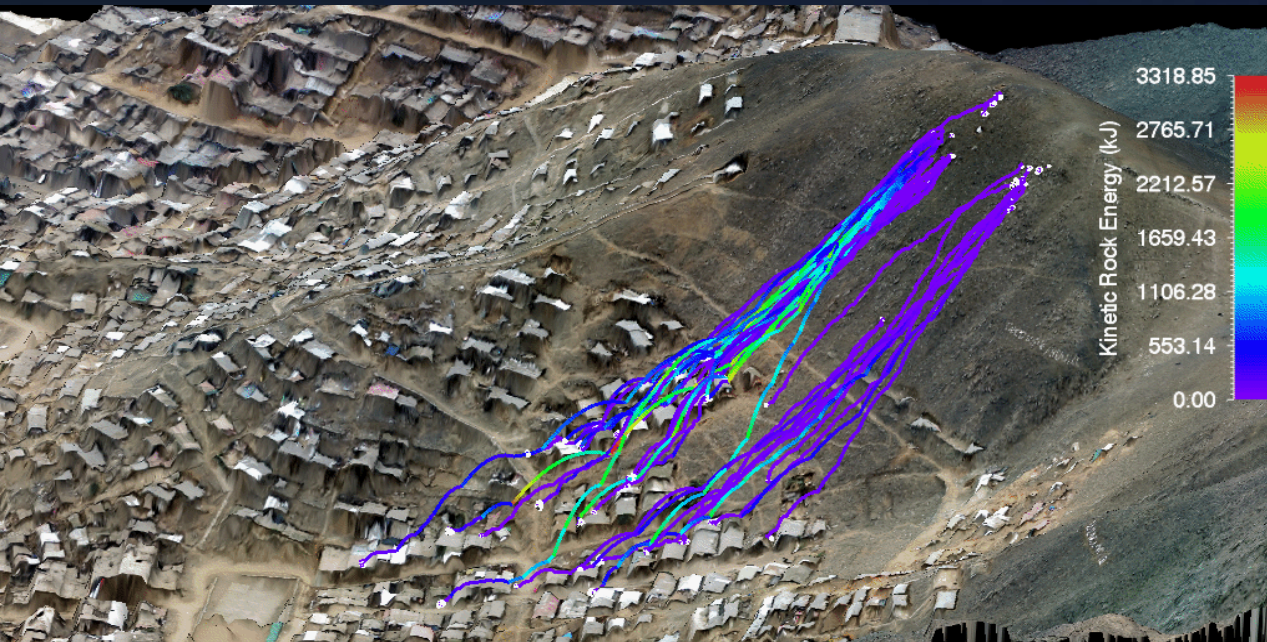


Vuelo y restitución fotogramétrica



Modelo Digital de Elevación

RESULTADOS DEL MODELAMIENTO



SIMULACIÓN EN 3D DEL MODELAMIENTO DE CAÍDA DE ROCAS



Tsunamis

Ubicación de últimos sismos que produjeron tsunamis:

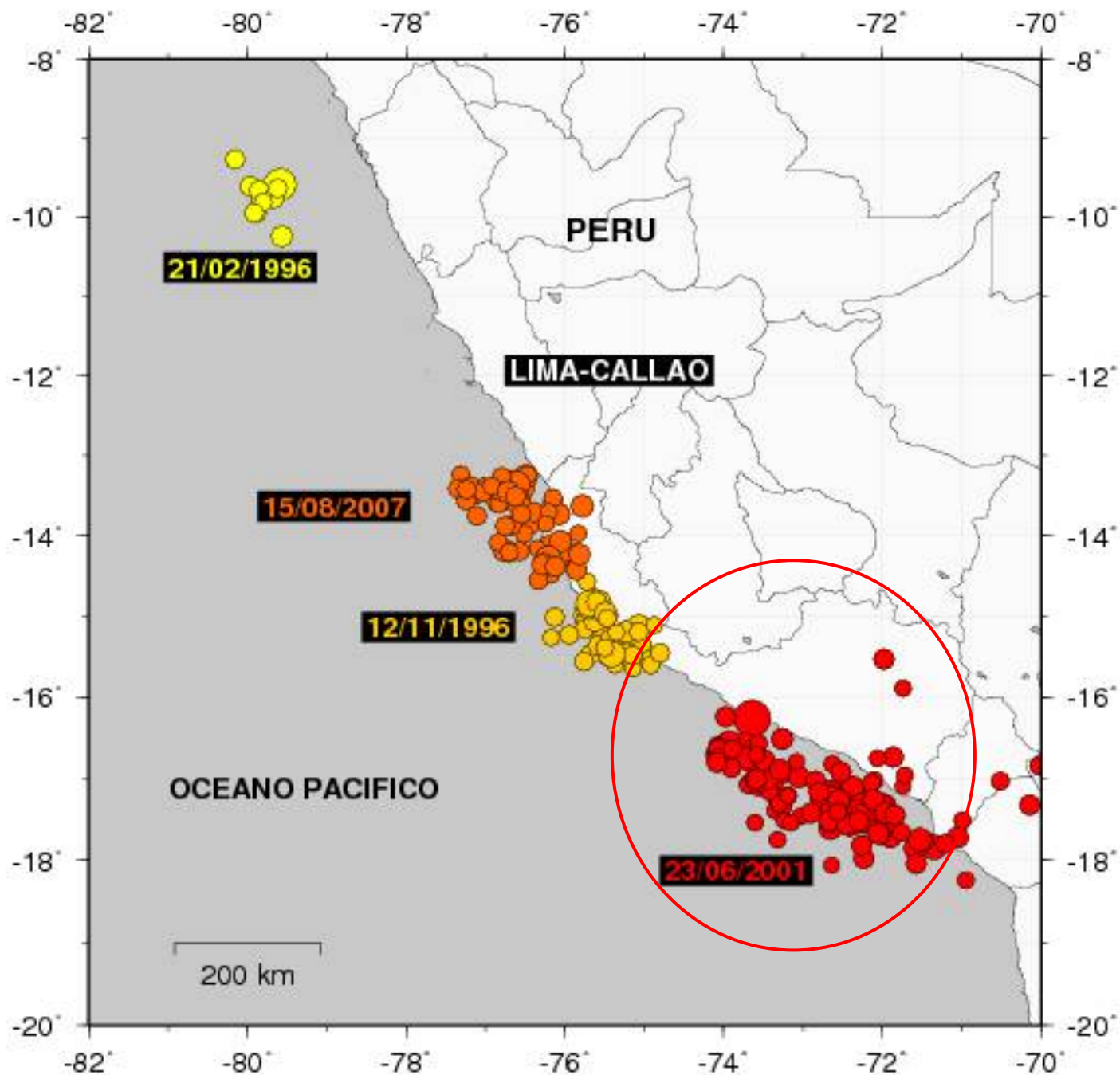
Chimbote **1996**

Nazca **1996**

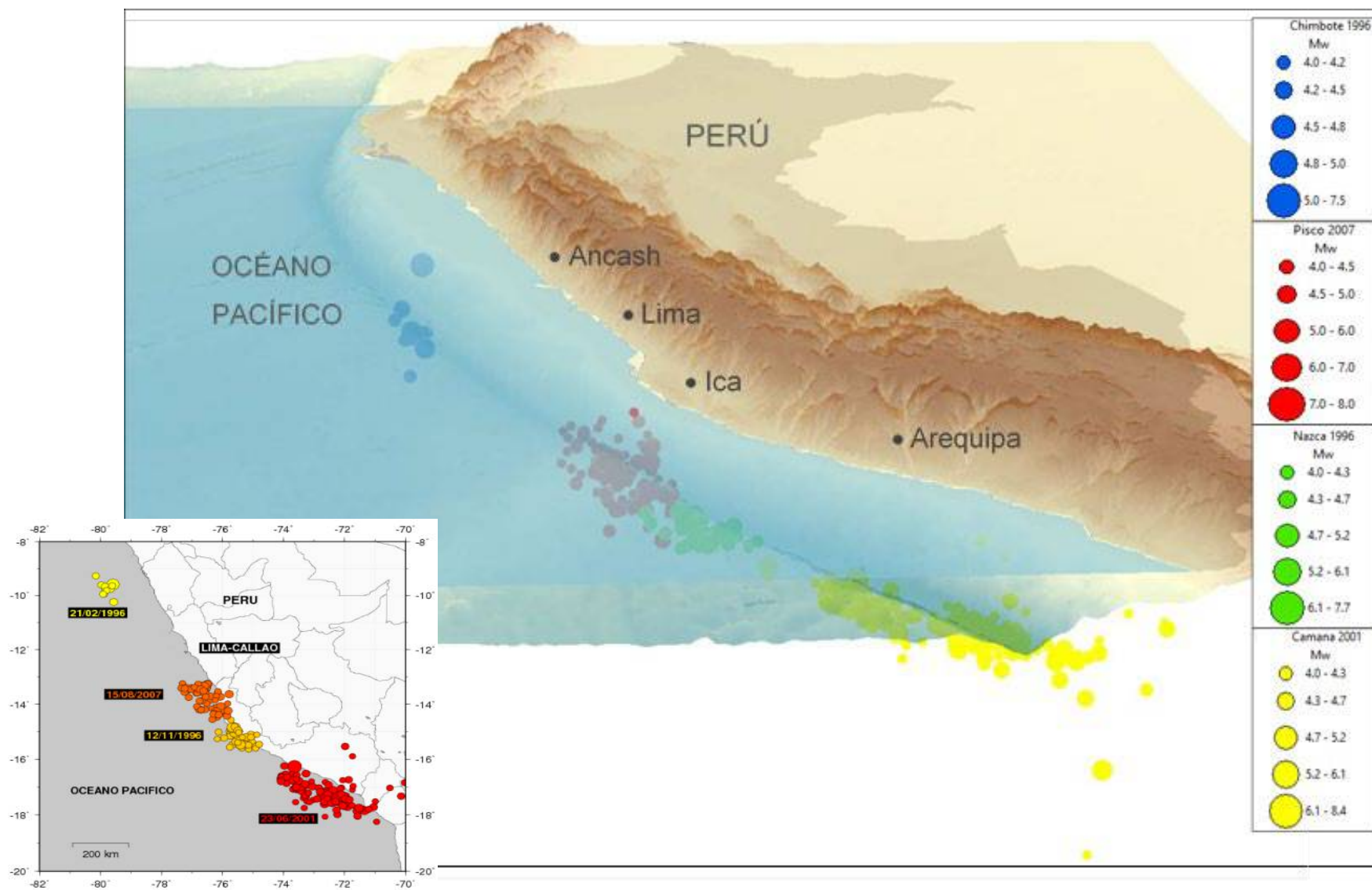
camana **2001**

Pisco **2007**

Lima **20XX?**



Location of latest earthquake the generated tsunami that affected Peru

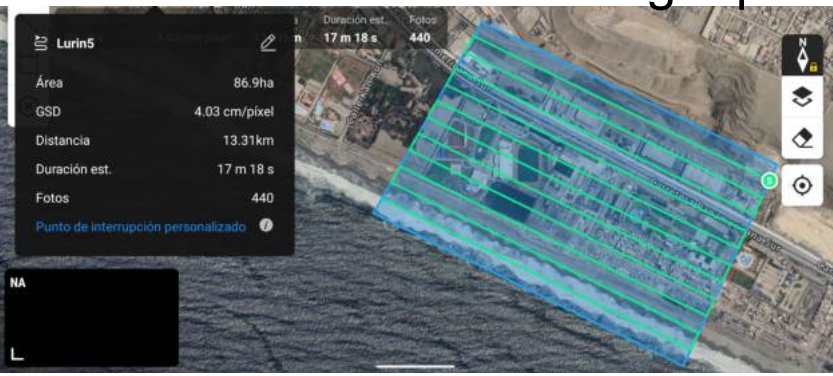


Update of topography and exposure

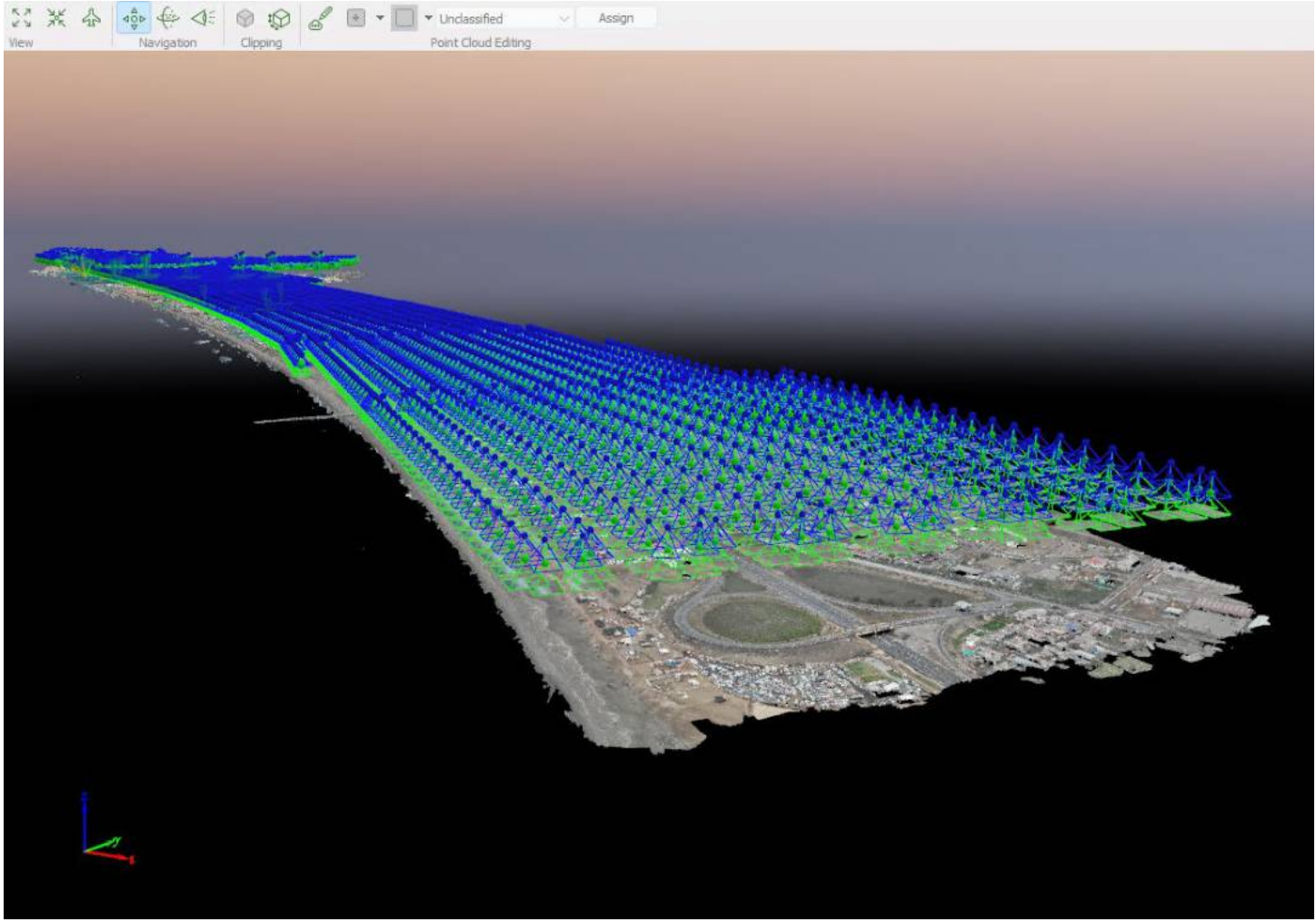
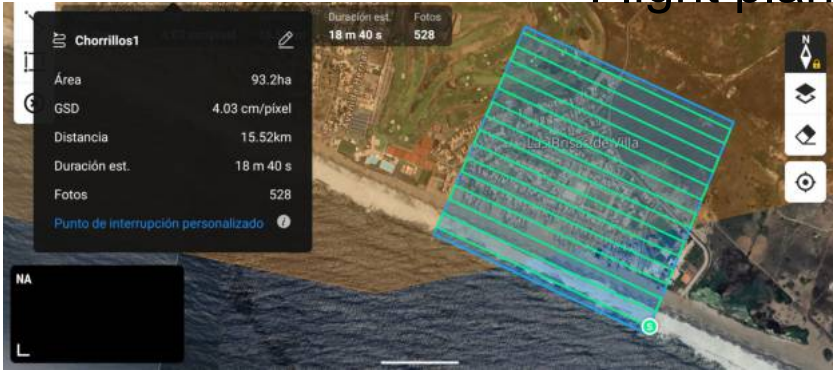
Flight plan 3



Flight plan 2



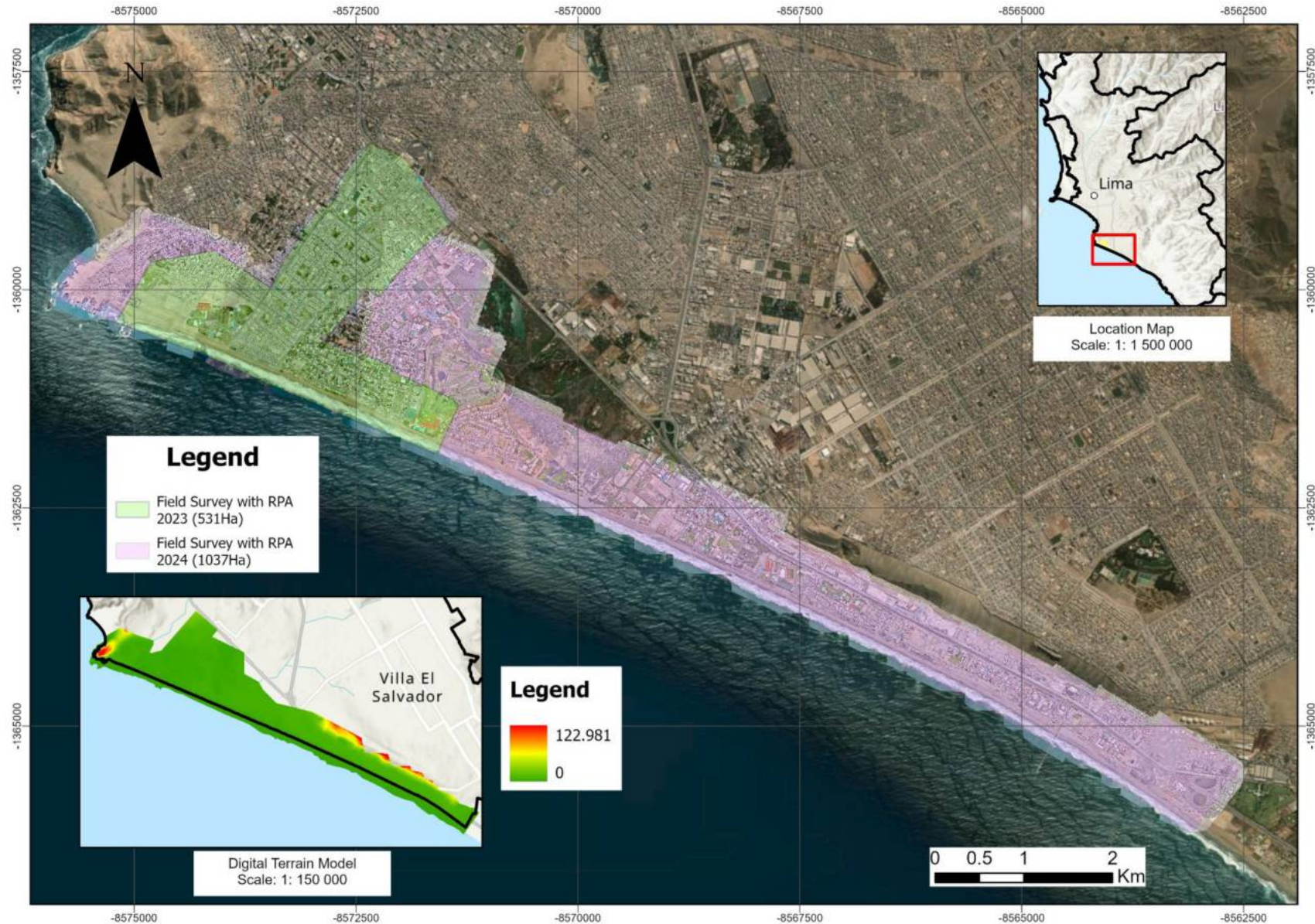
Flight plan 1



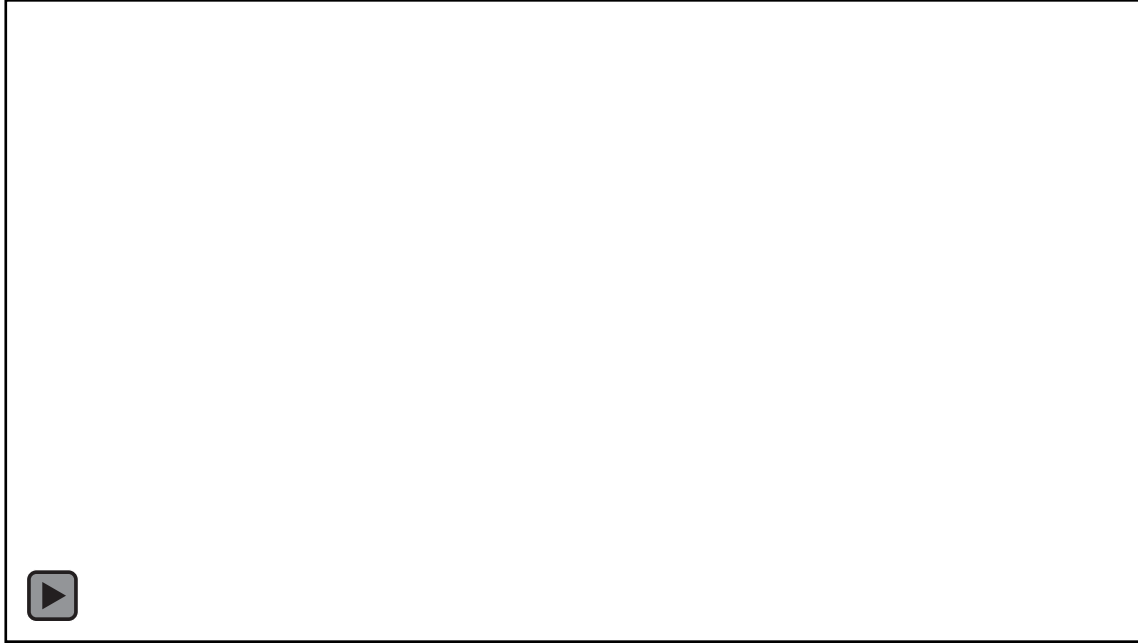
High-Resolution urban occupancy update

The update was realized using a drone, considering the following technical specifications:

- Flight altitude: 150 m
- Ground Sample Distance: 5 cm
- Flight speed: 10 m/s
- Vertical overlap: 80%
- Horizontal overlap: 75%

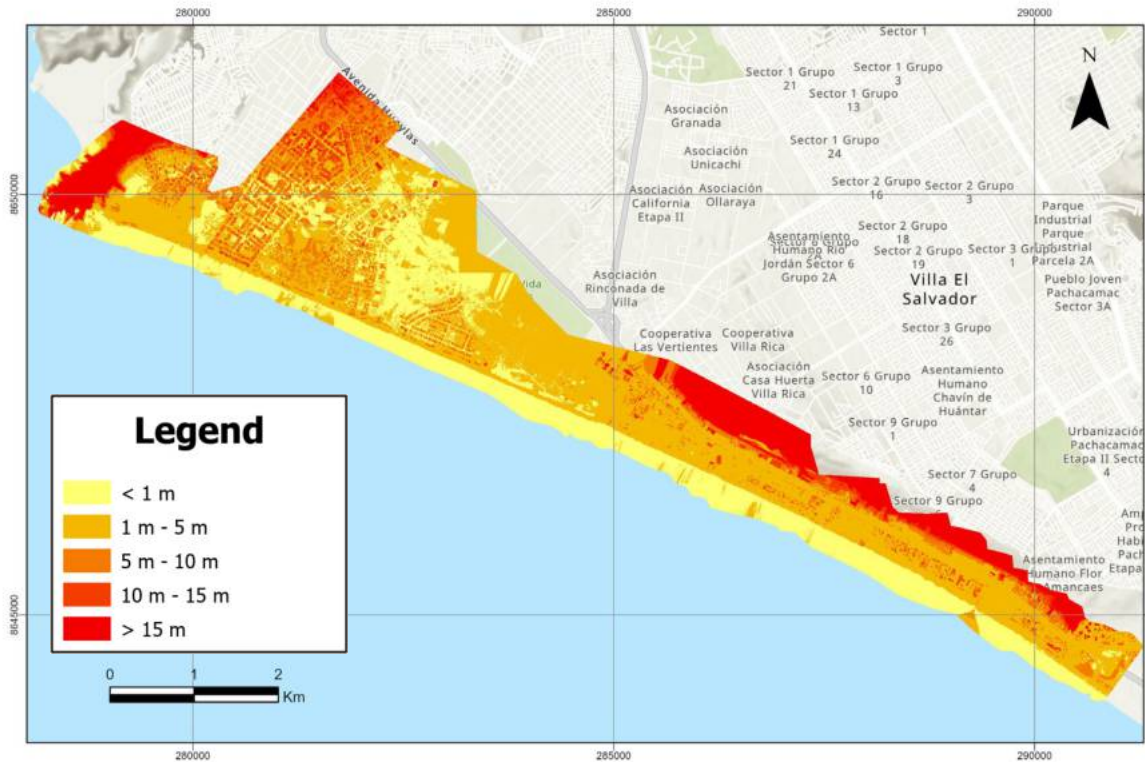


Comparación entre vídeo digital y restitución fotogramétrica (DSM)



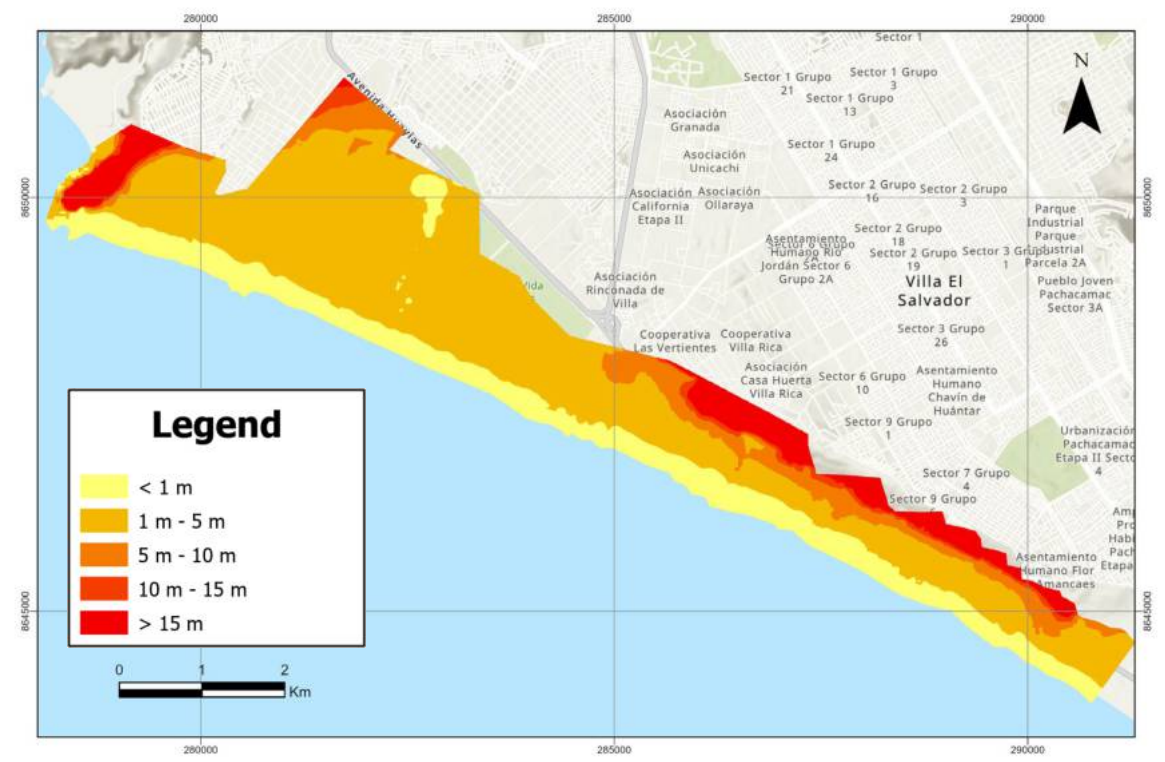
Modelos digitales de elevación por RPA

Modelo Digital de Superficie (DSM)



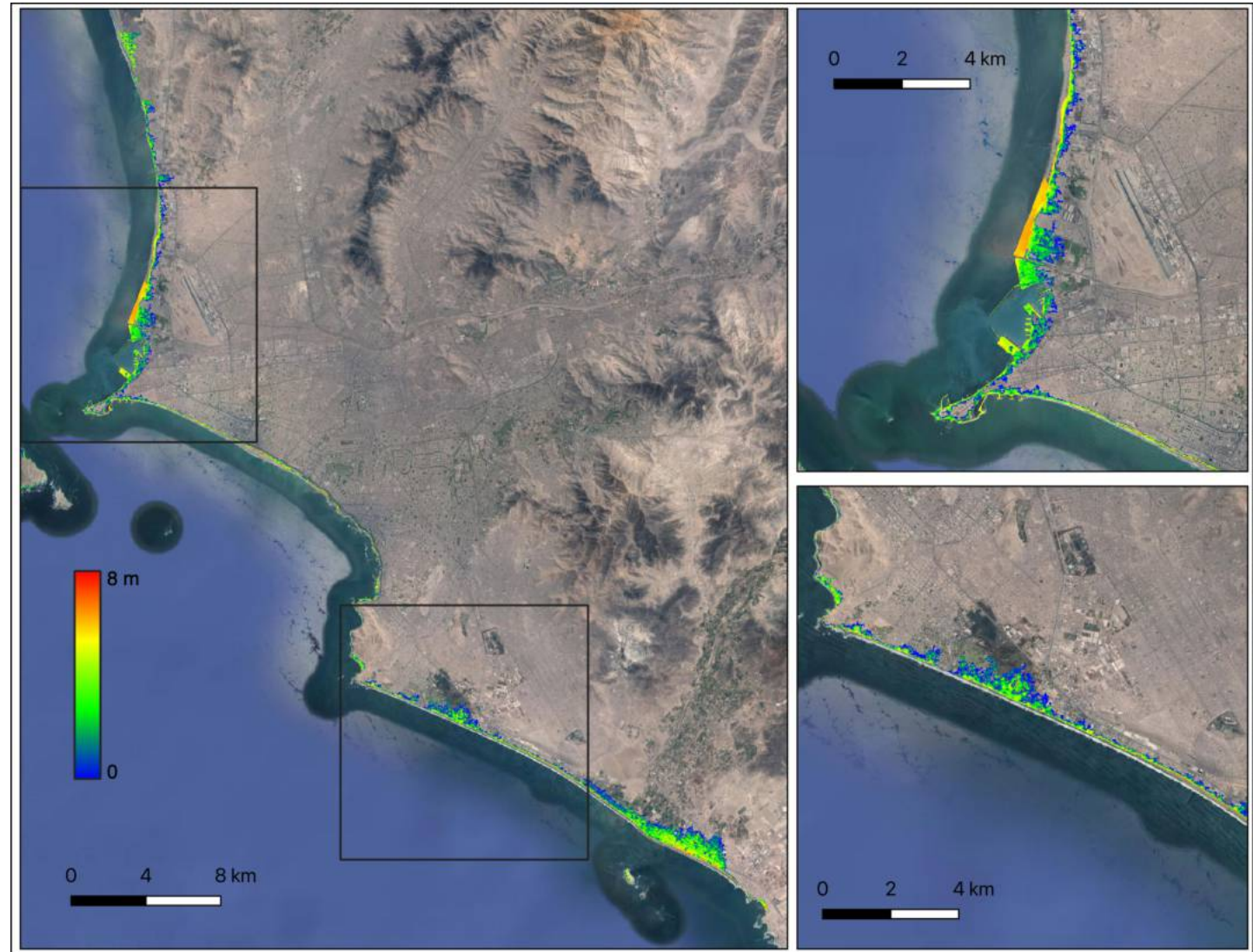
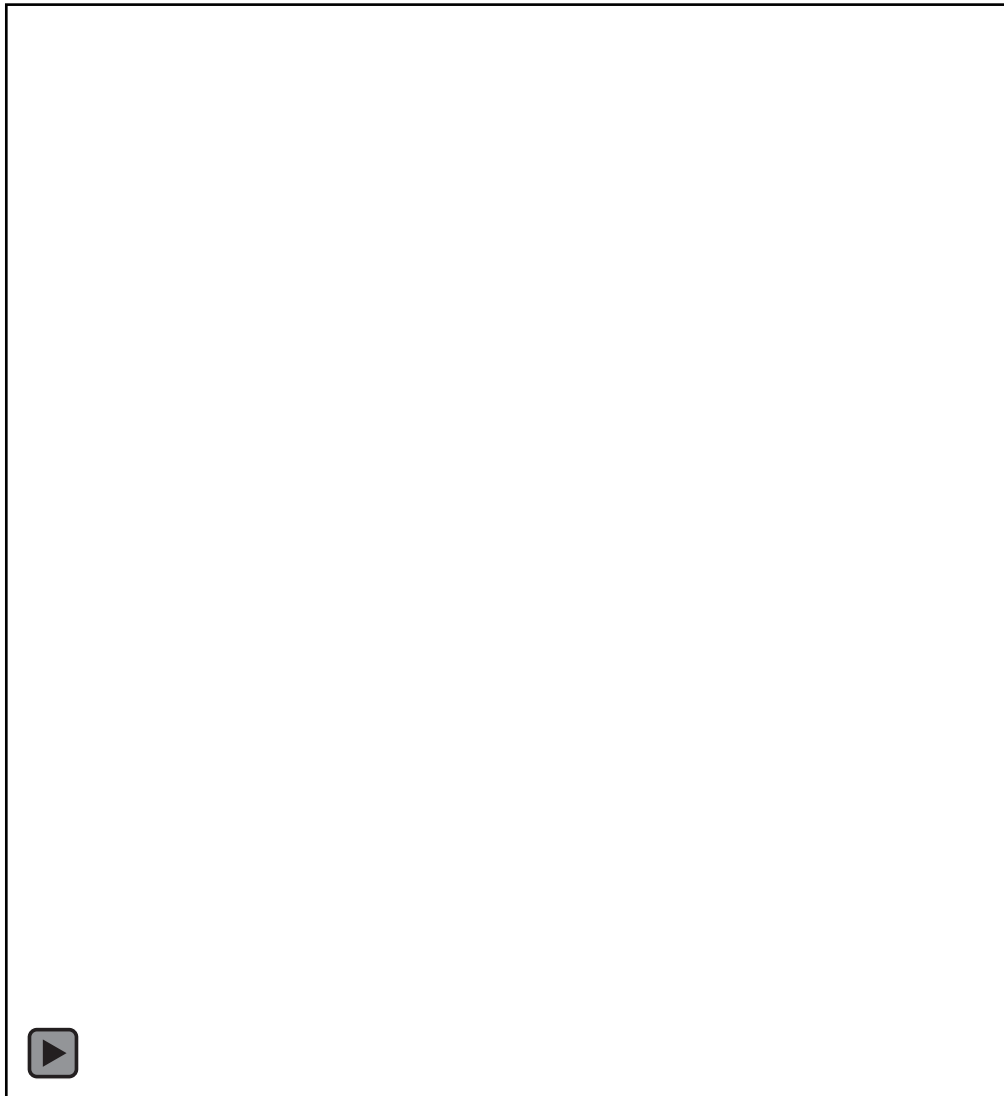
Representa la altura de la estructura natural y artificial, como la vegetación y los edificios.

Modelo Digital del Terreno (DTM)



Representa la altura del terreno.

Caso de prueba para la simulación de inundaciones hasta 6 horas



Tsunami source (Mw8.9): Villegas-Lanza et al., (2016), JGR Solid Earth

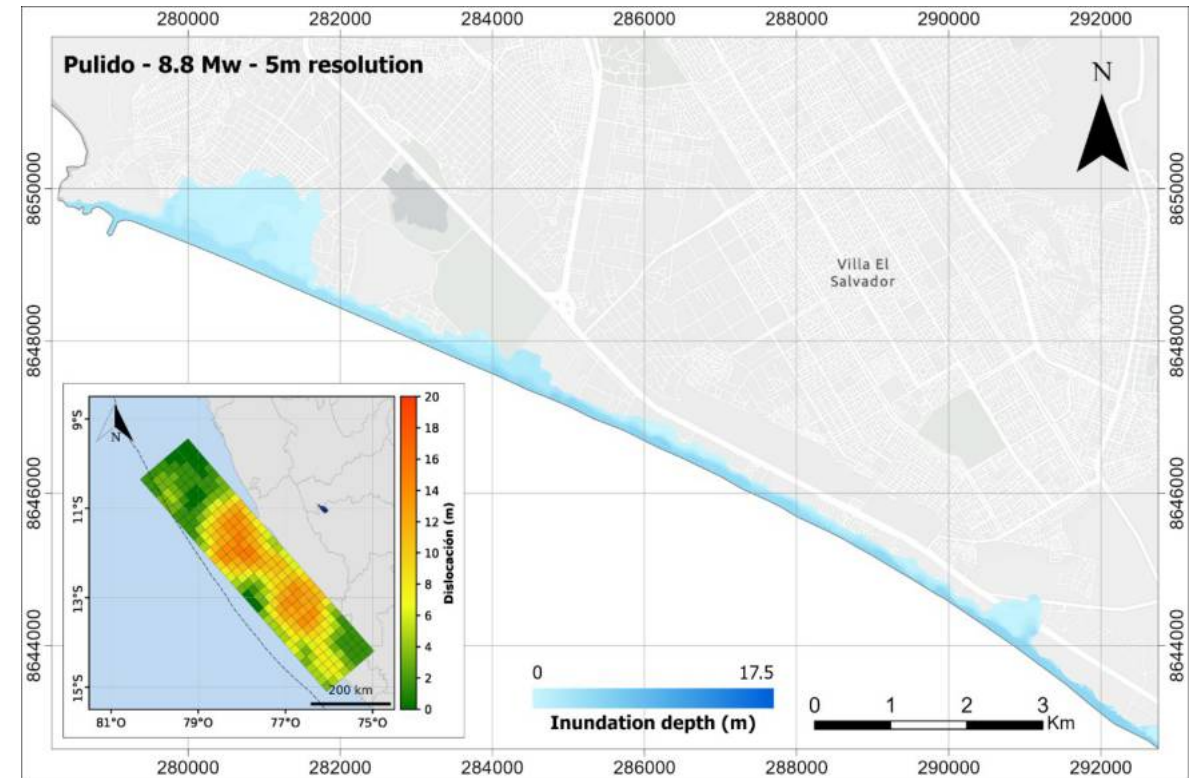
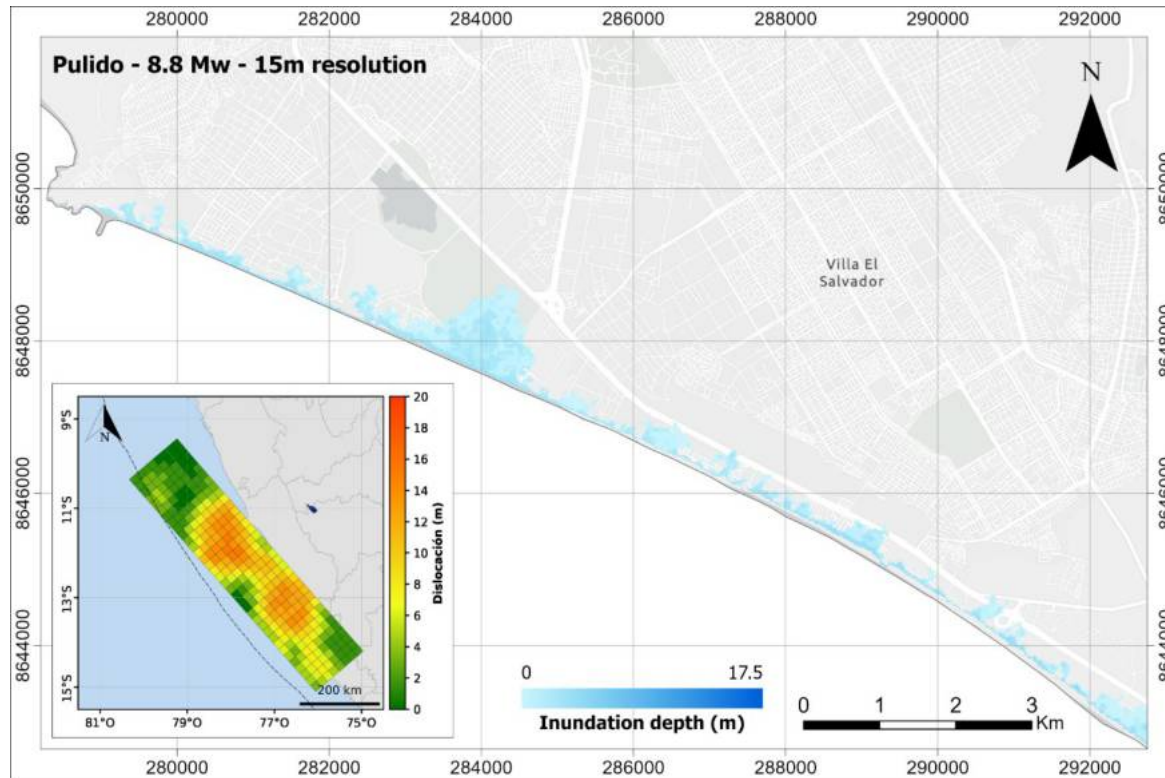
Zonas de inundación causadas por diferentes fuentes sísmicas



Mejora de la resolución

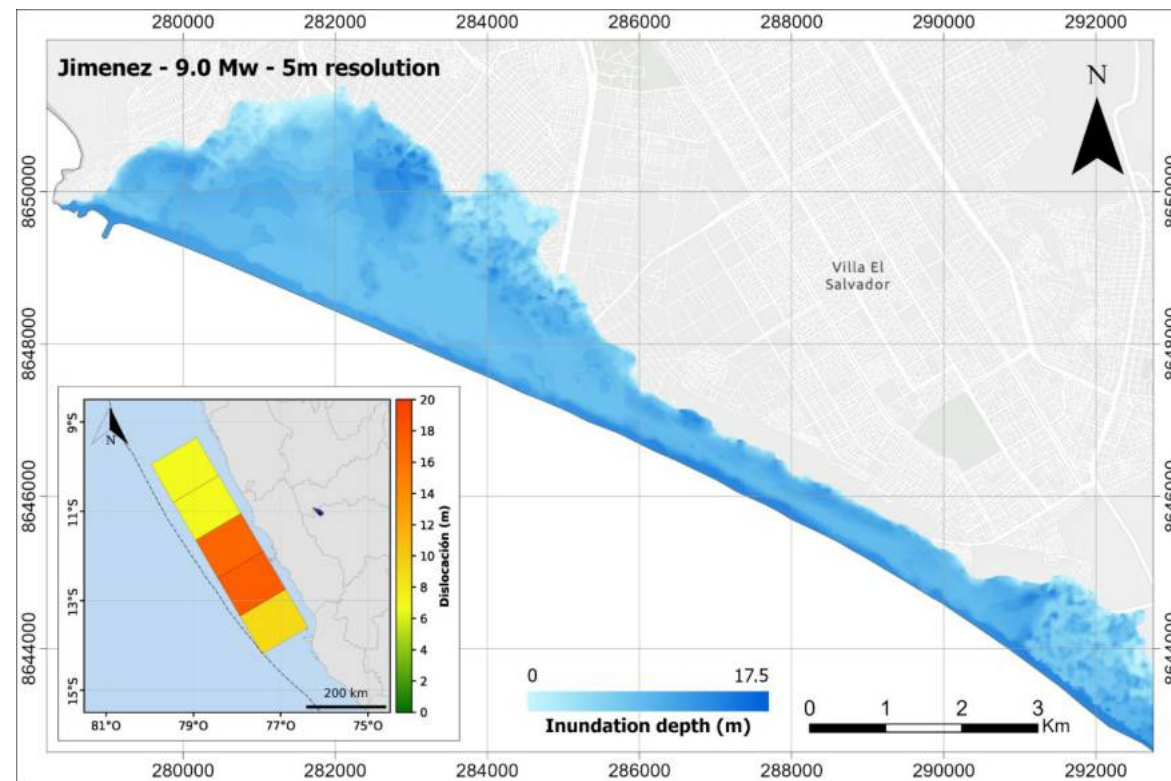
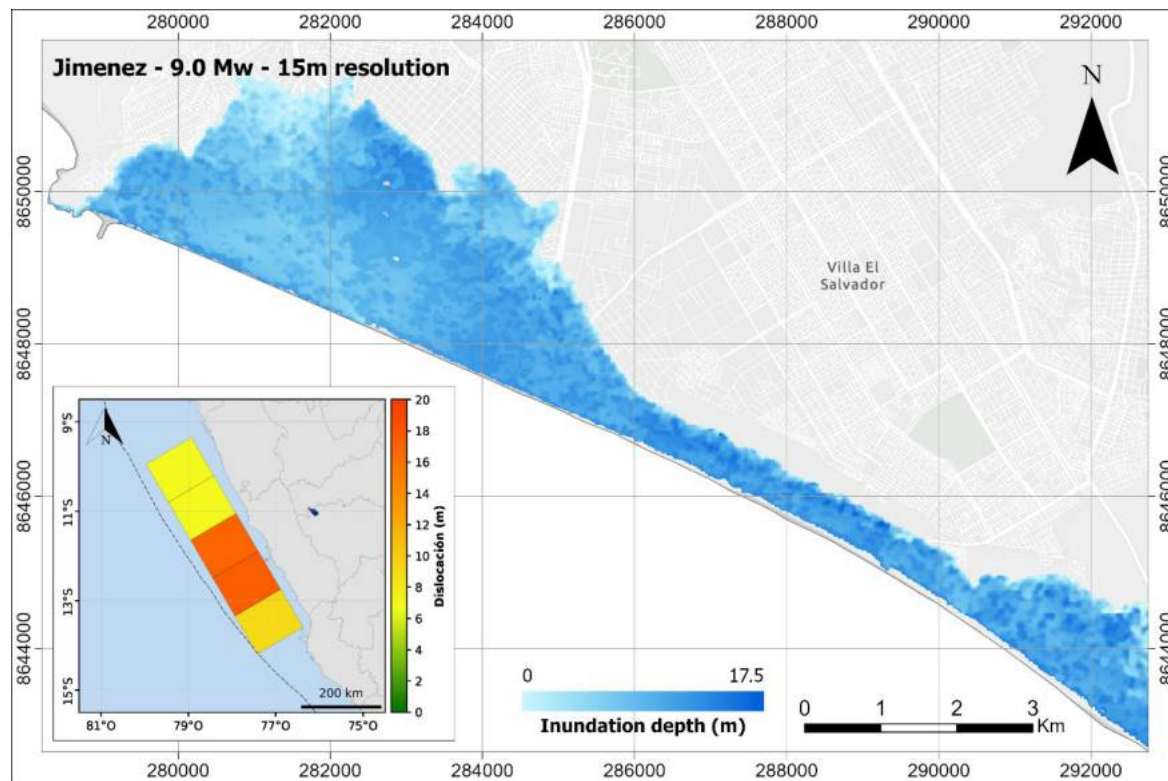


Mejora de la resolución



Fuente sísmica 3
(Mw 8.8): [Pulido et al., \(2015\)](#)

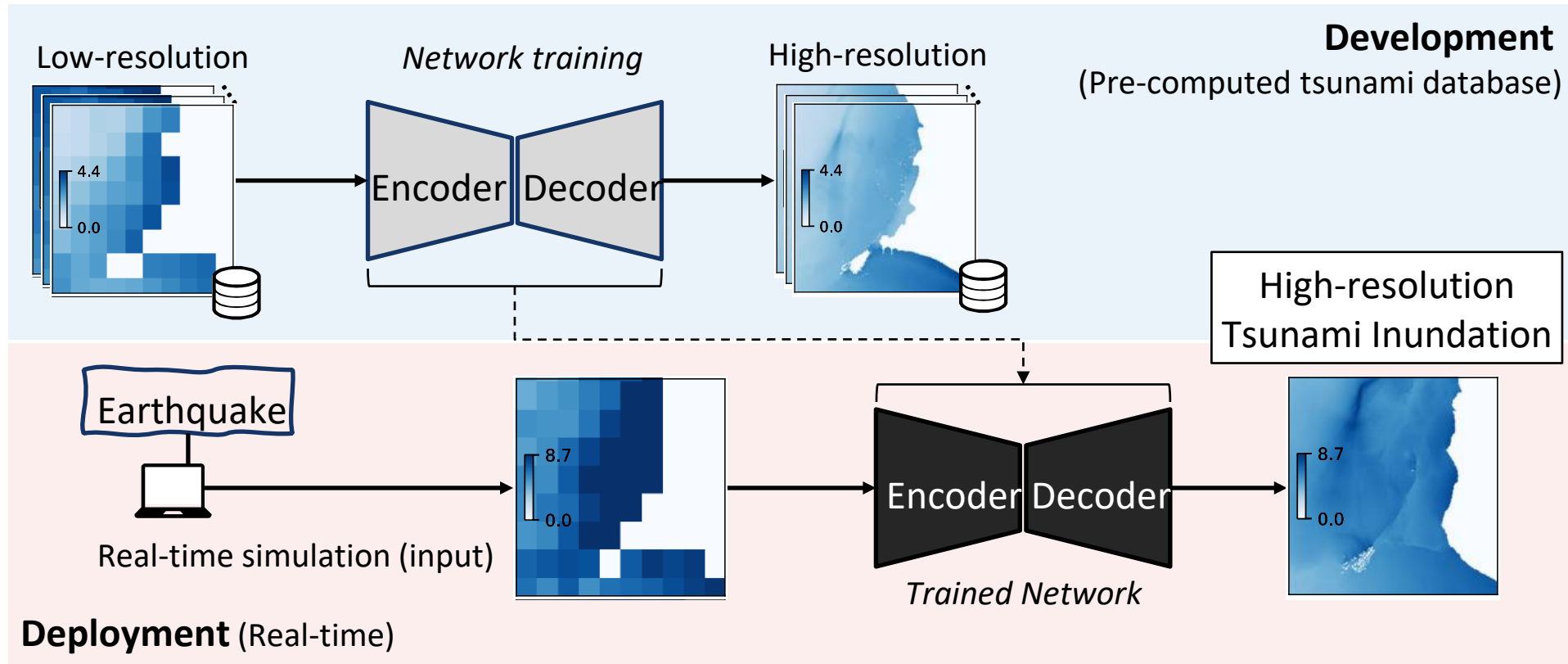
Mejora de la resolución



Fuente sísmica 1
(Mw 9.0) Jiménez et al., (2013)

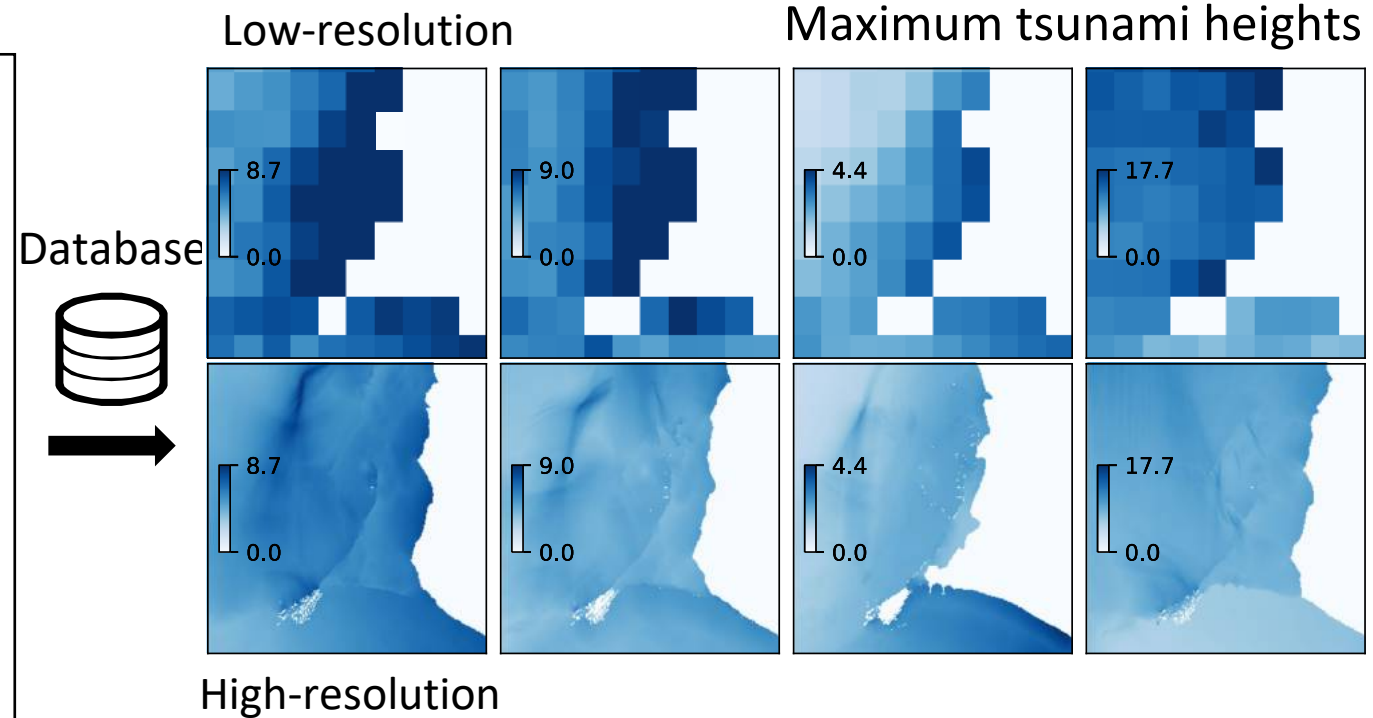
Marco para la estimación de la profundidad de inundación

- Tsunami Super Resolución -



- ❖ **Desarrollo:** La construcción de un conjunto de datos de entrenamiento consiste en simulaciones de características hidrodinámicas de tsunamis a baja y alta resolución.
- ❖ **Despliegue:** Una vez ocurrido un terremoto, el marco puede predecir inundaciones de tsunamis de alta resolución en grandes áreas.

Tsunami Super-Resolución



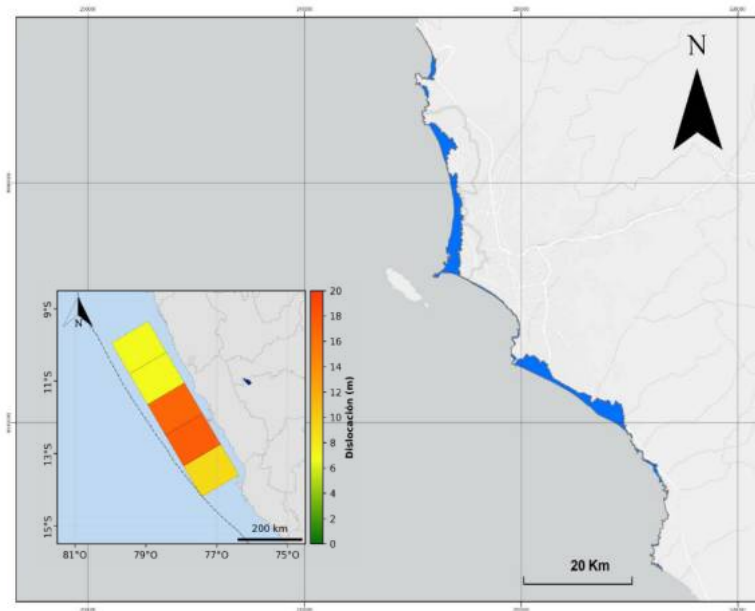
- La distribución de deslizamiento se basa en modelos de acoplamiento intersísmico (Mw7-9)
- Unos 1.000 escenarios de terremotos de tsunami

- El tamaño computacional de la malla varía desde 450 m (baja resolución) hasta 10 m (alta resolución).
- Cada escenario tiene un par de alturas de tsunami de baja resolución y una profundidad máxima de inundación de alta resolución.

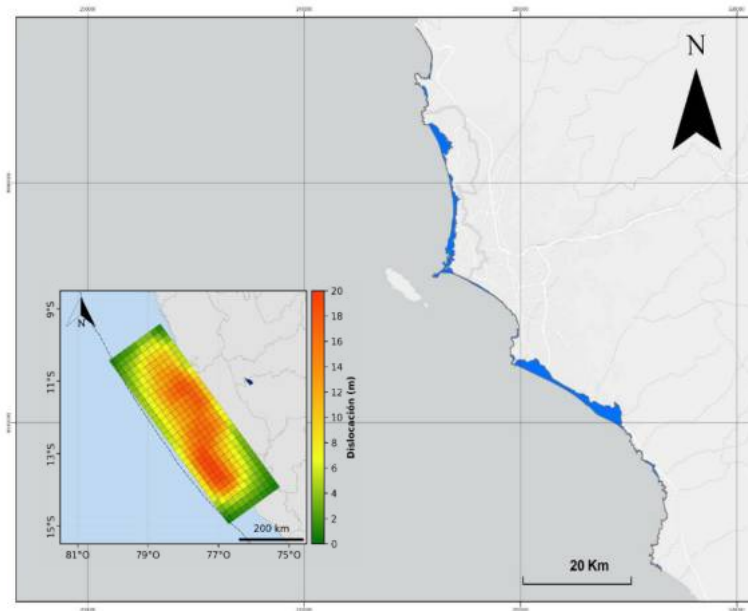
Scenario 06: Cañete-Lima-Barranca-Huarmey



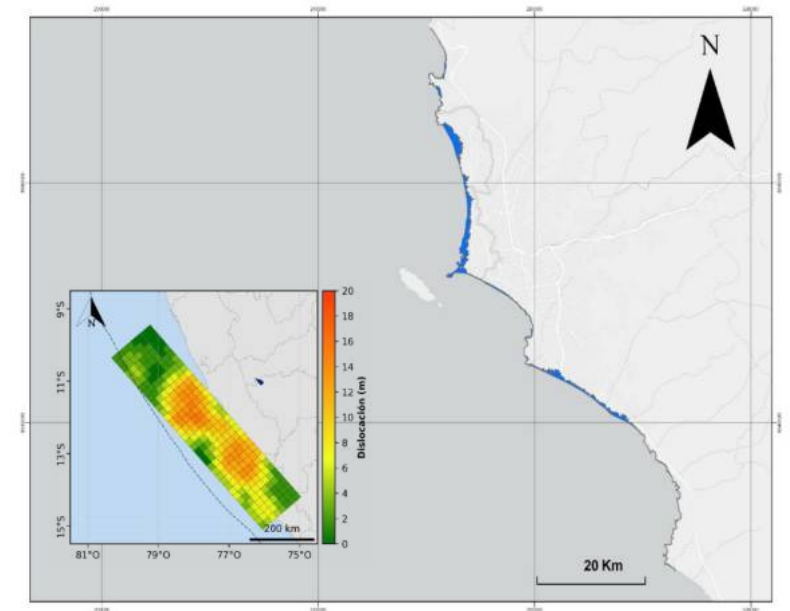
Escenarios de inundación causados por diferentes fuentes sísmicas para el cálculo del impacto en la ocupación urbana



Seismic Source 1
(Mw 9.0) **Jiménez** et al., (2013)

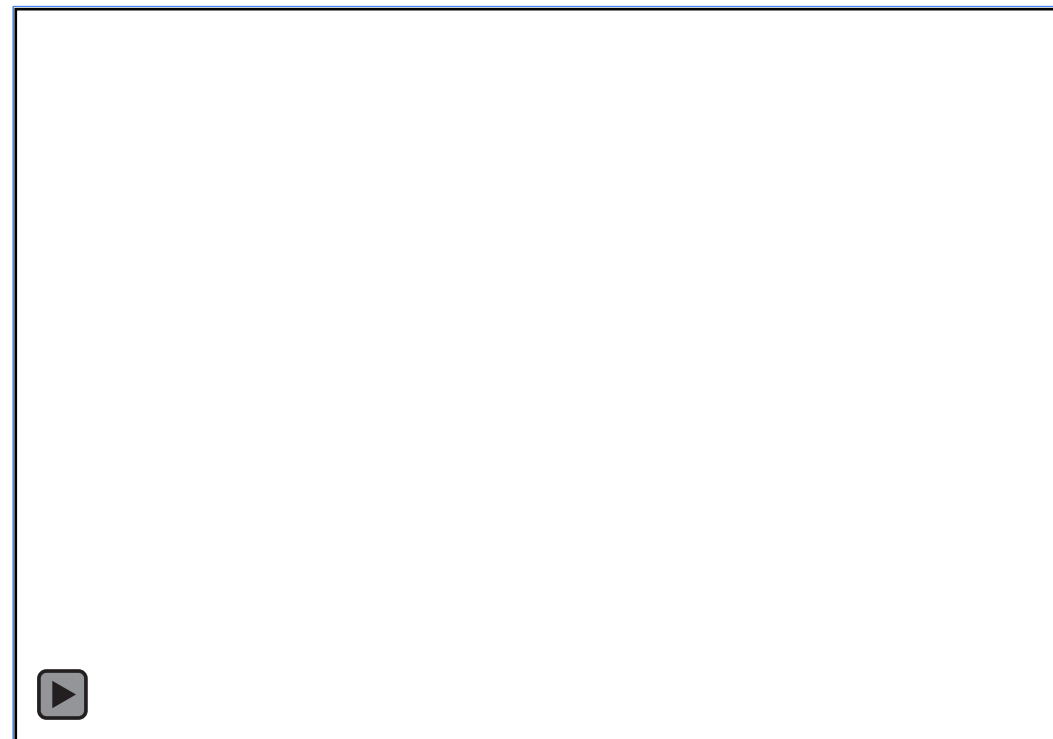


Seismic Source 2
(**CaLiBaHu** - Mw 8.95): Pulido and Villegas,
(2023)



Seismic Source 3
(Mw 8.8): **Pulido** et al., (2015)

Inspección en La Punta, Callao



Plan de vuelo

	CARACTERÍSTICA	VALOR
1	Área cubierta	104 ha.
2	Velocidad de vuelo promedio	9 m/s
3	Total de vuelos programados	5
4	Tiempo promedio cada vuelo	15 min
5	Total de imágenes	1262
6	Altura de vuelo programada	90 m
7	Resolución mínima obtenida	4.0 cm/pixel
8	Tiempo de procesamiento	4 horas

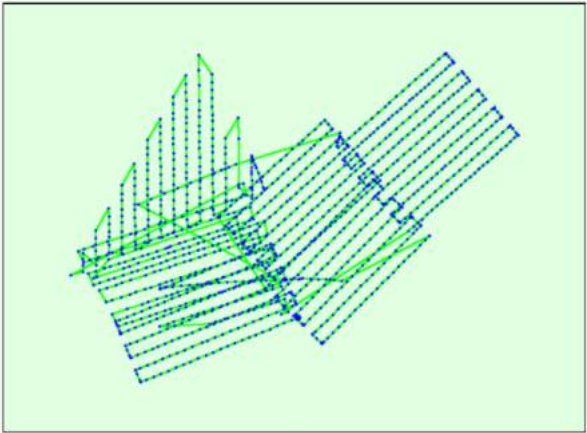
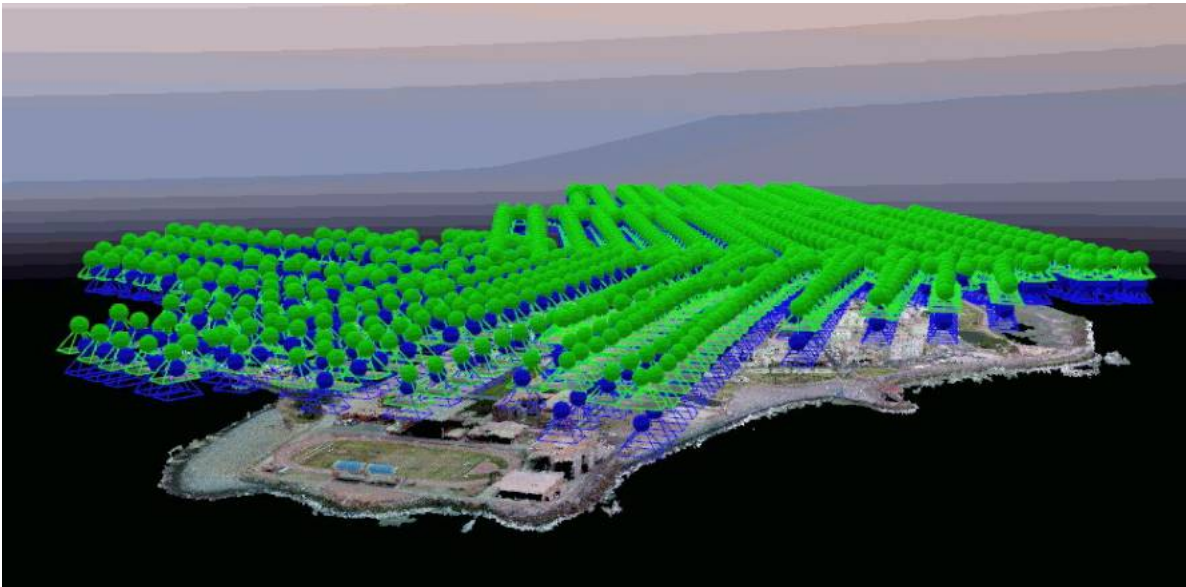
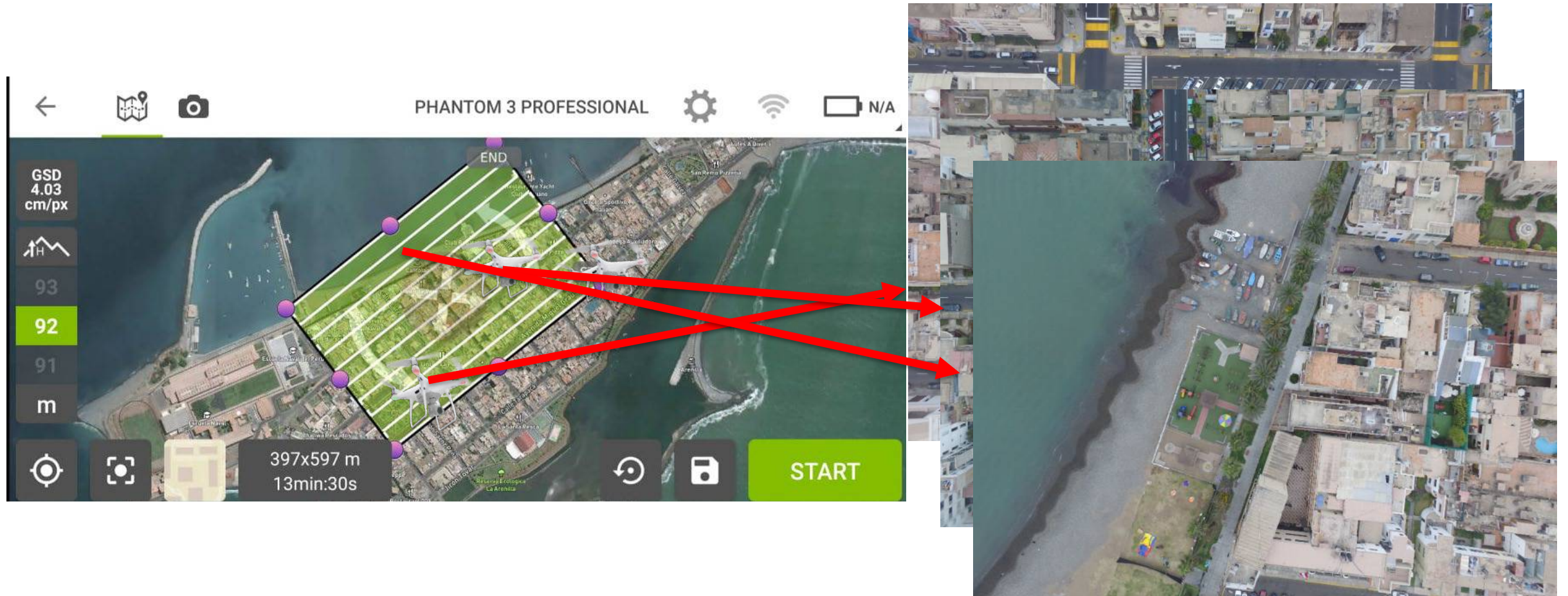


Diagrama de las líneas
de los planes de vuelo



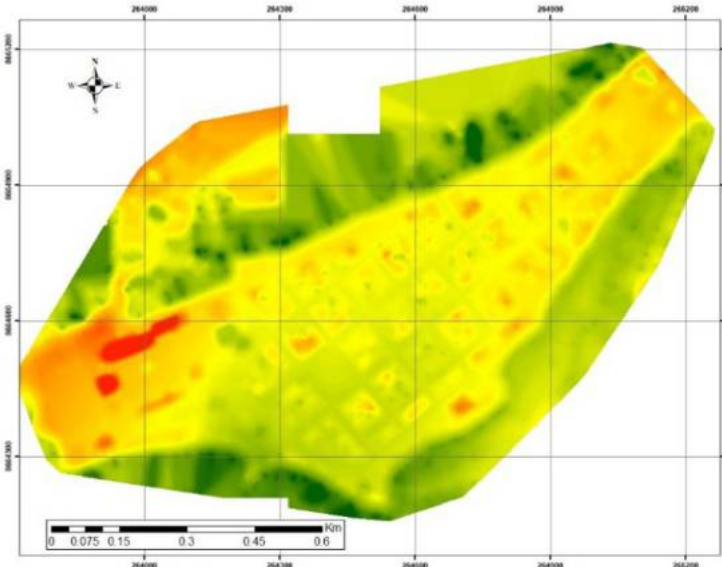
Productos RPAS



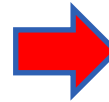
Extracción del número de pisos



**DIGITAL SURFACE MODEL
(DSM)**

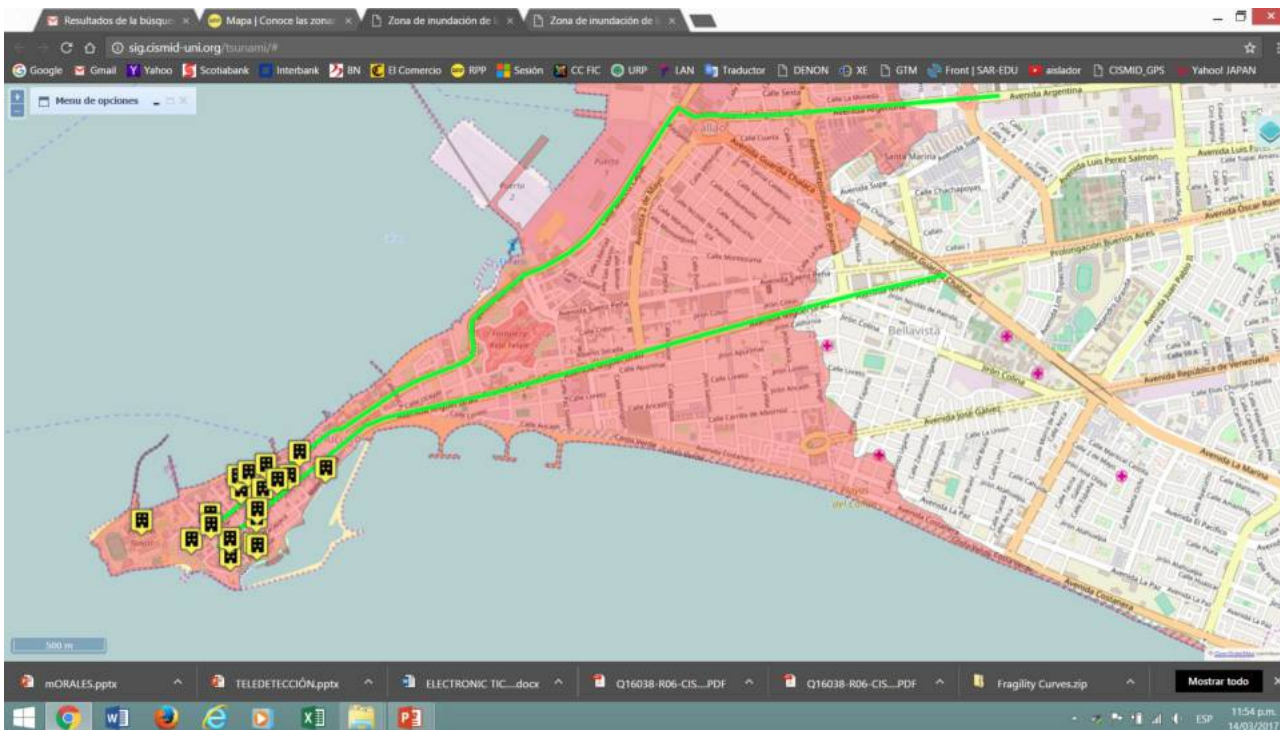


**DIGITAL TERRAIN MODEL
(DTM)**



**DIFERENCIA DSM –
DTM**

Development of massive Information Systems

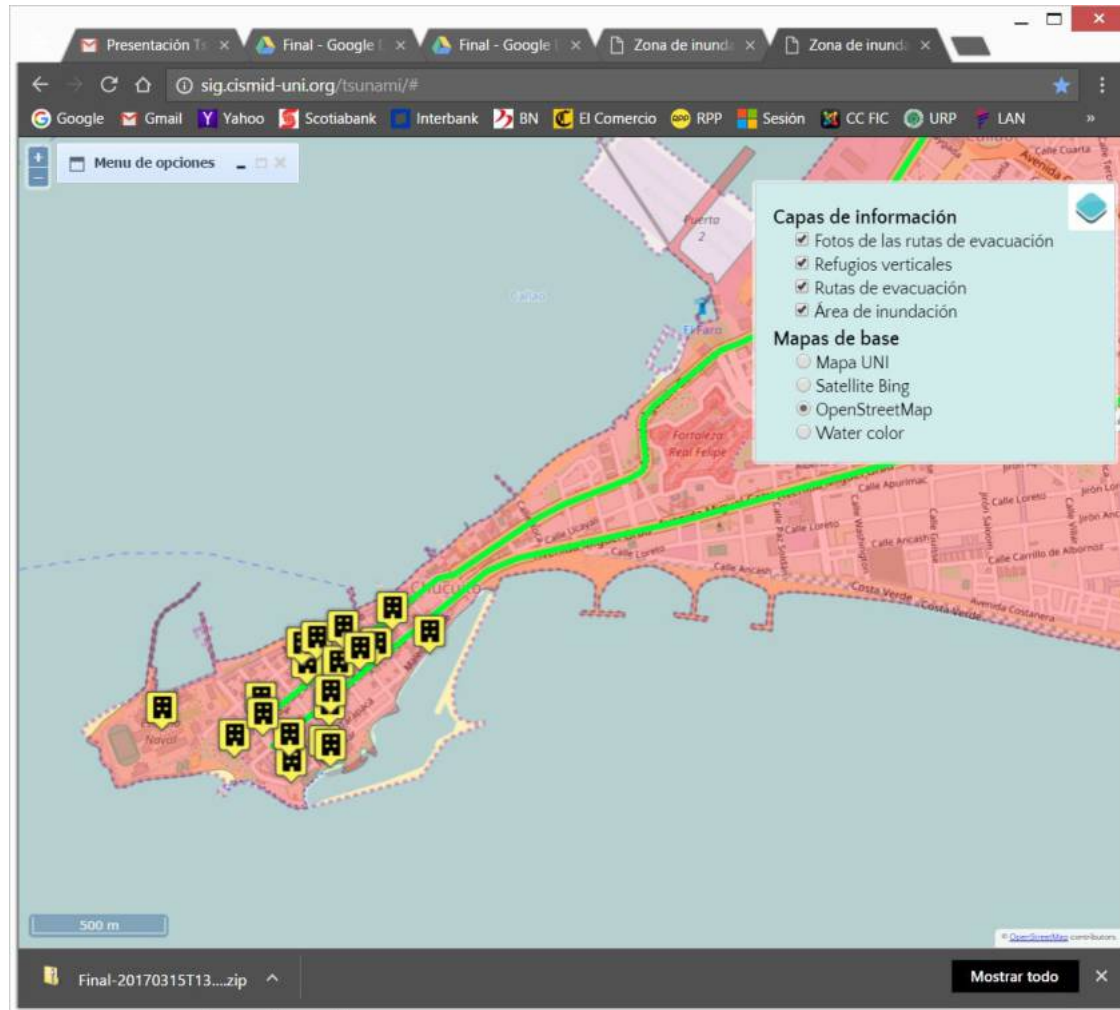


<http://sig.cismid-uni.org/tsunami/#>

Goal:

- Development of a massive information systems to offer information to common people.
- Development of maps disseminated through Internet.
- Development of Android and iOS operating systems for smartphone to show tsunami information.

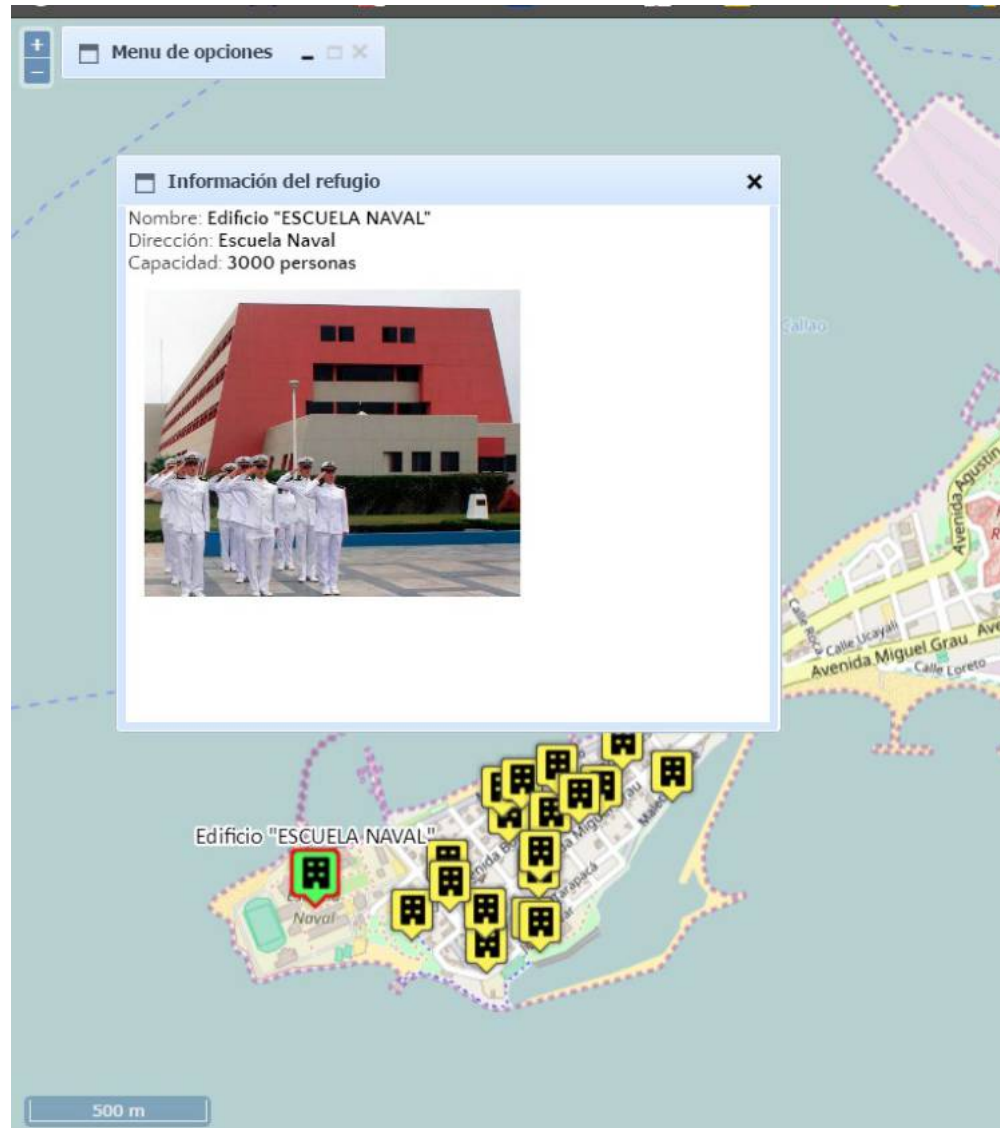
Development of massive Information Systems Under OGC standards (Open Geospatial Consortium)



<http://sig.cismid-uni.org/tsunami/#>

- Es un servicio web para mostrar las zonas de inundación en caso de tsunami, compatible para verlo desde cualquier navegador en un ordenador o dispositivo móvil, ya que no requiere plugins adicionales.
- Desarrollado mediante software libre, la parte interactiva funciona con HTML y JavaScript. Los mapas se muestran utilizando el framework OpenLayers y GeoServer en Java.
- La información se almacena en la base de datos PostgreSQL con su extensión PostGIS para almacenar información geoespacial. Todo implementado en un servidor Ubuntu con Linux.

Desarrollo de sistemas de información masivos



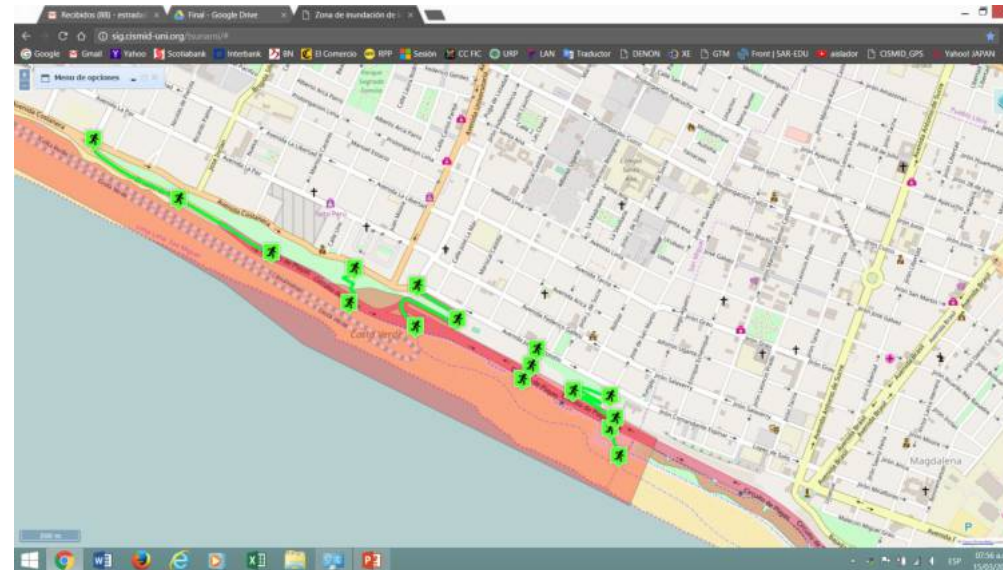
- Todavía está en un proyecto piloto para el distrito de La Punta en Callao.
- Se ha identificado edificios altos que pueden utilizarse como puntos de evacuación verticales.
- El sistema no solo muestra la ubicación, sino también la imagen del edificio para facilitar su identificación.
- Permitirá al usuario introducir la ubicación actual y realizar un geoproceso en el servidor para determinar la ruta de evacuación más óptima hacia un lugar seguro e indicándola en el mapa. Introduciendo diferentes variables como distancias, pendientes u obstáculos.

<http://sig.cismid-uni.org/tsunami/#>

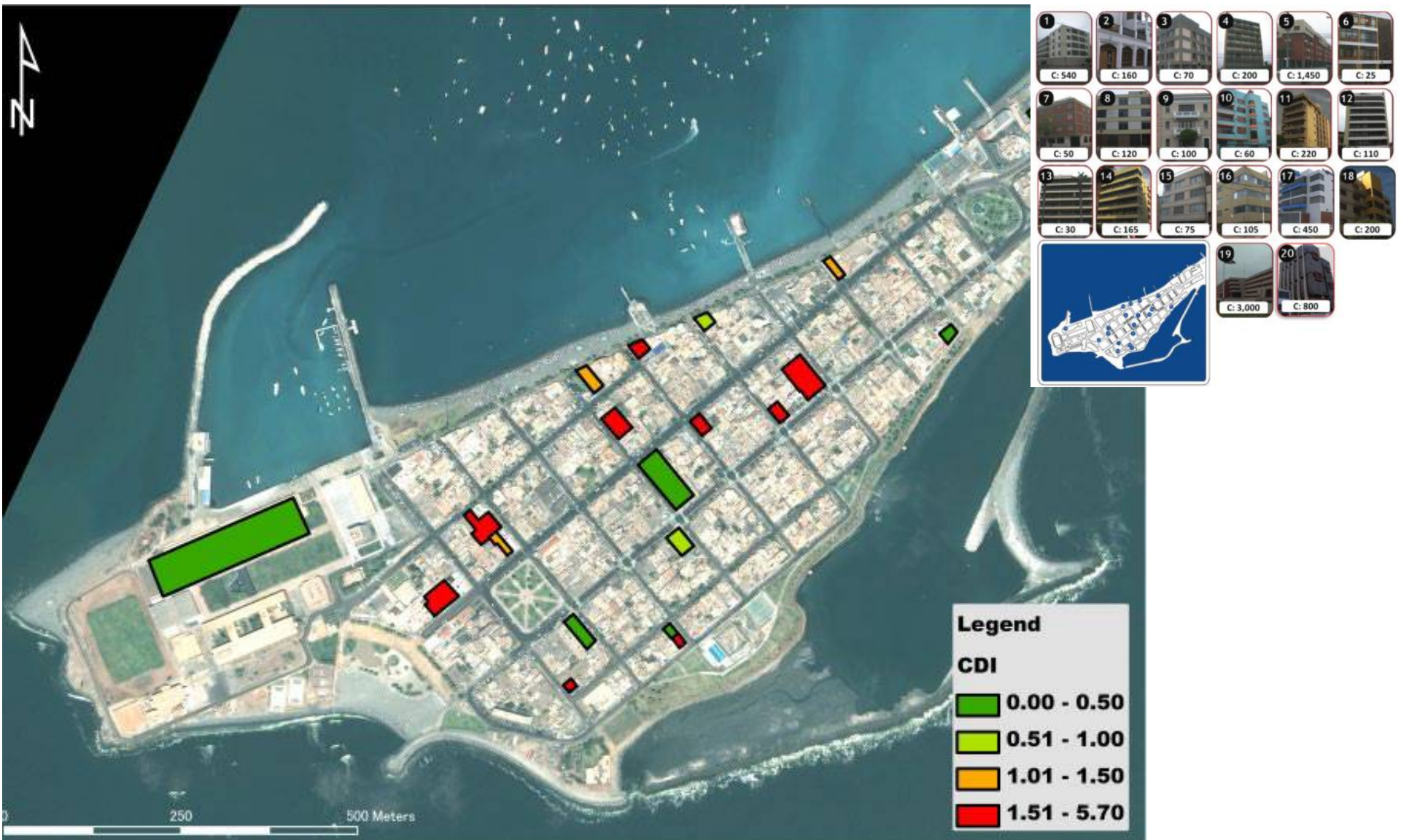
Desarrollo de sistemas de información masivos



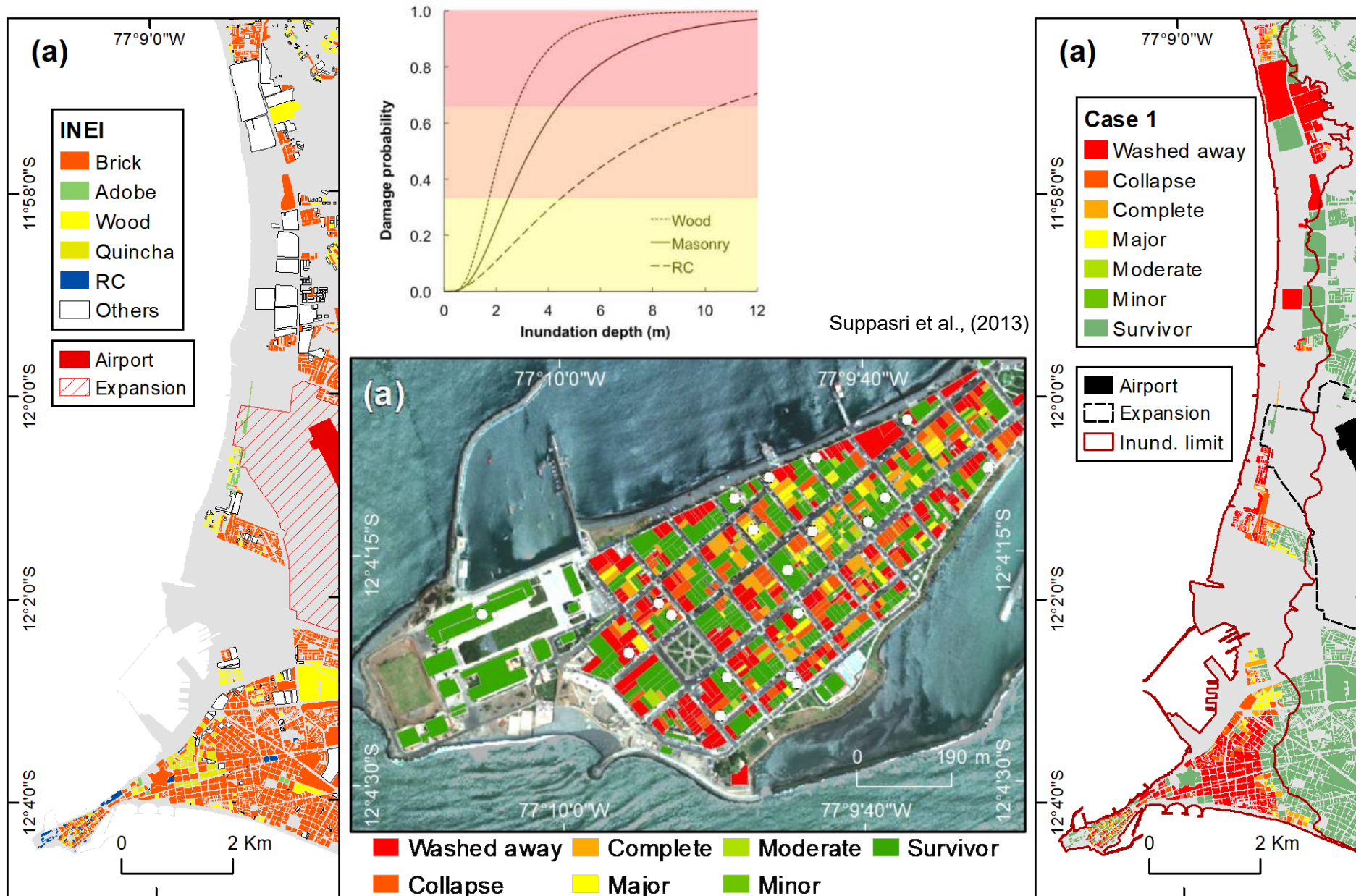
- El sistema puede ejecutarse en sistemas operativos Android o iOS para smartphones.
- Muestra rutas de evacuación.
- La ubicación del usuario puede enviarse a otros usuarios para conocer la ubicación y quizá para operaciones de rescate.



Identificación de Edificaciones para la Evacuación Vertical



Evaluación del Daño por Tsunami: Curvas de Fragilidad



Simulación de Inundación Sismo 8.8 Mw La Punta



Gracias