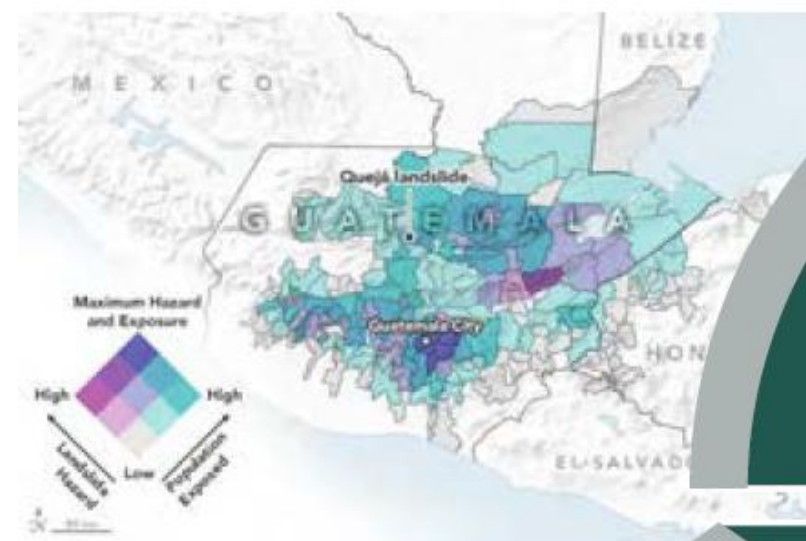
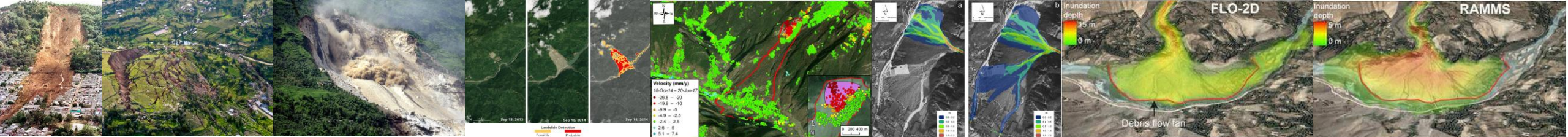


Unidad 2. Curso de Corrección de Torrentes

Observaciones Satelitales de Deslizamientos de Tierra

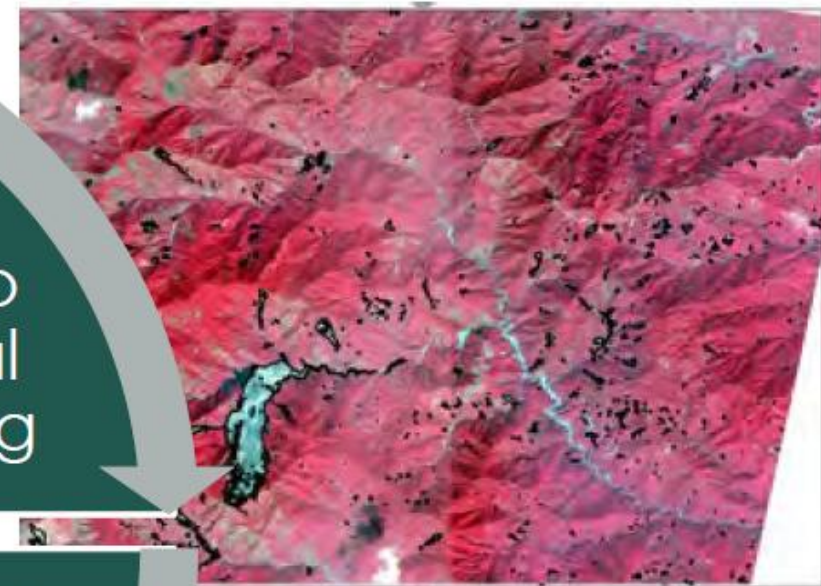
- Seleccionar datos satelitales y datos de modelos apropiados para respaldar la ciencia de los deslizamientos y la preparación ante desastres asociados.
- Reconocer cómo mapear las zonas donde han ocurrido deslizamientos utilizando datos ópticos y comprender cómo se pueden emplear herramientas automatizadas para este propósito.





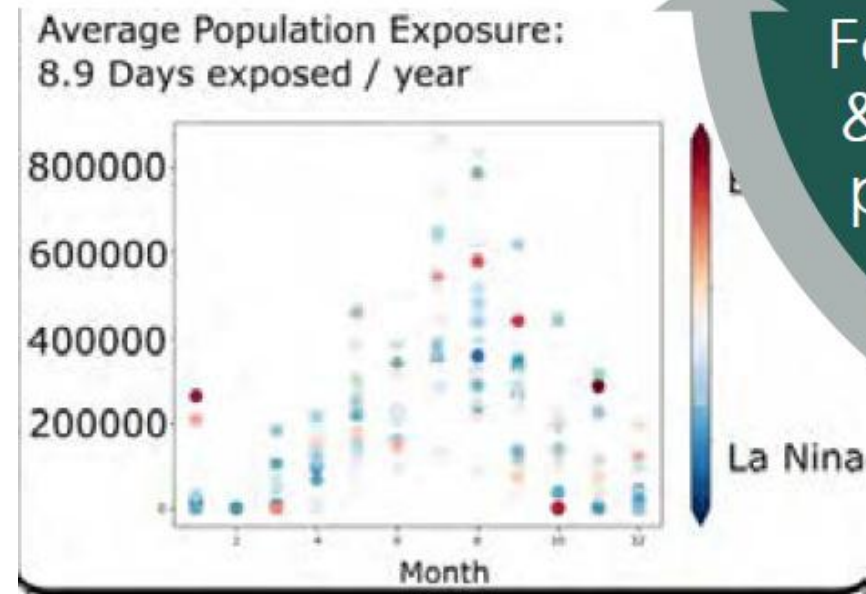
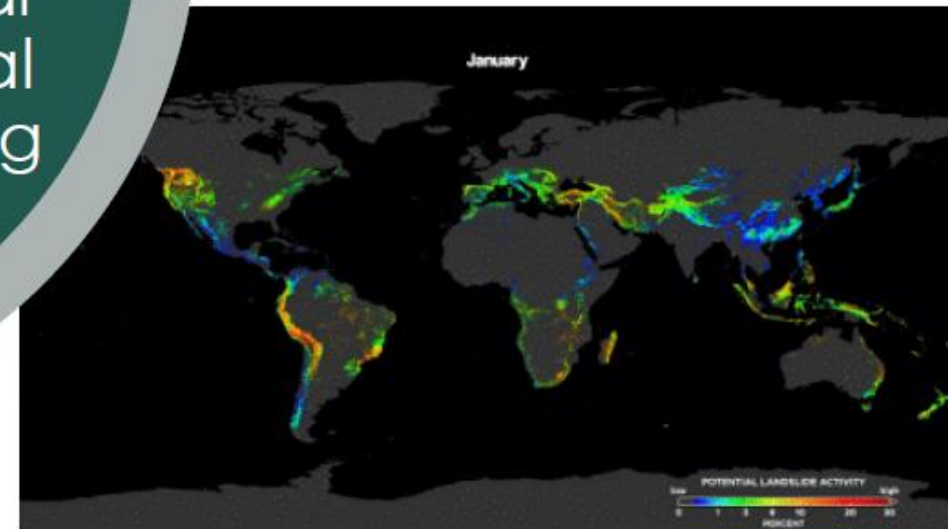
Exposure
analysis

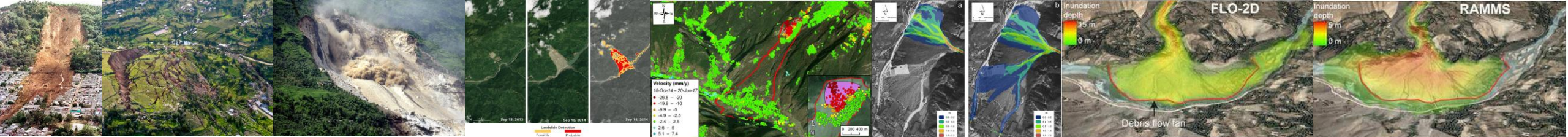
Local to
regional
mapping



Forecasting
& seasonal
prediction

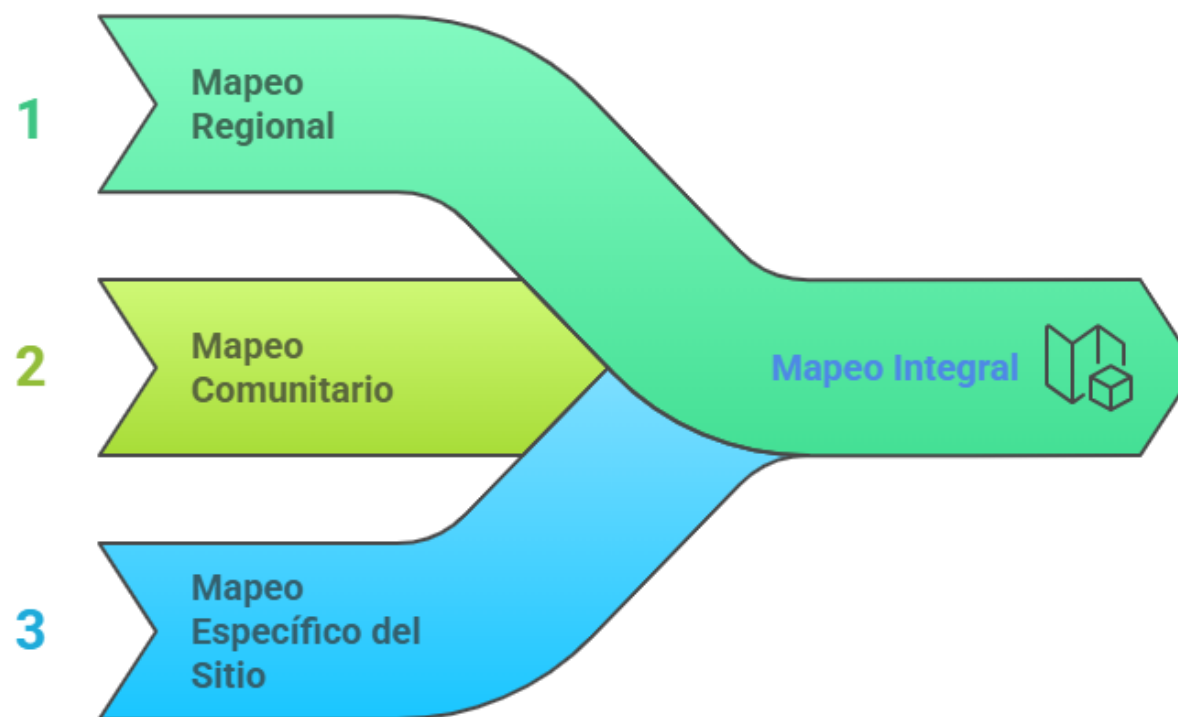
Regional
to global
modeling





Cartografía

Los mapas son una herramienta útil y conveniente para presentar información sobre amenazas por deslizamientos. Pueden mostrar muchos tipos y combinaciones de información en distintos niveles de detalle. Comúnmente, se emplea un enfoque de tres etapas para la elaboración de mapas de amenazas por deslizamientos:



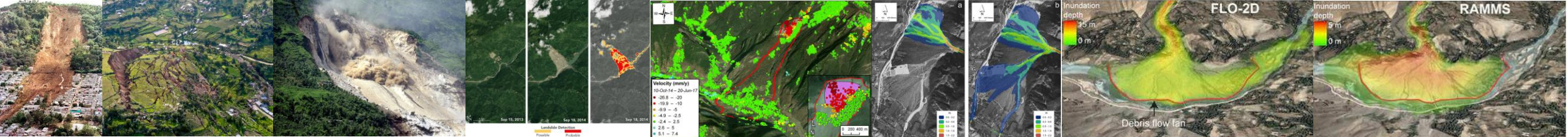


Cartografía a nivel comunitario:

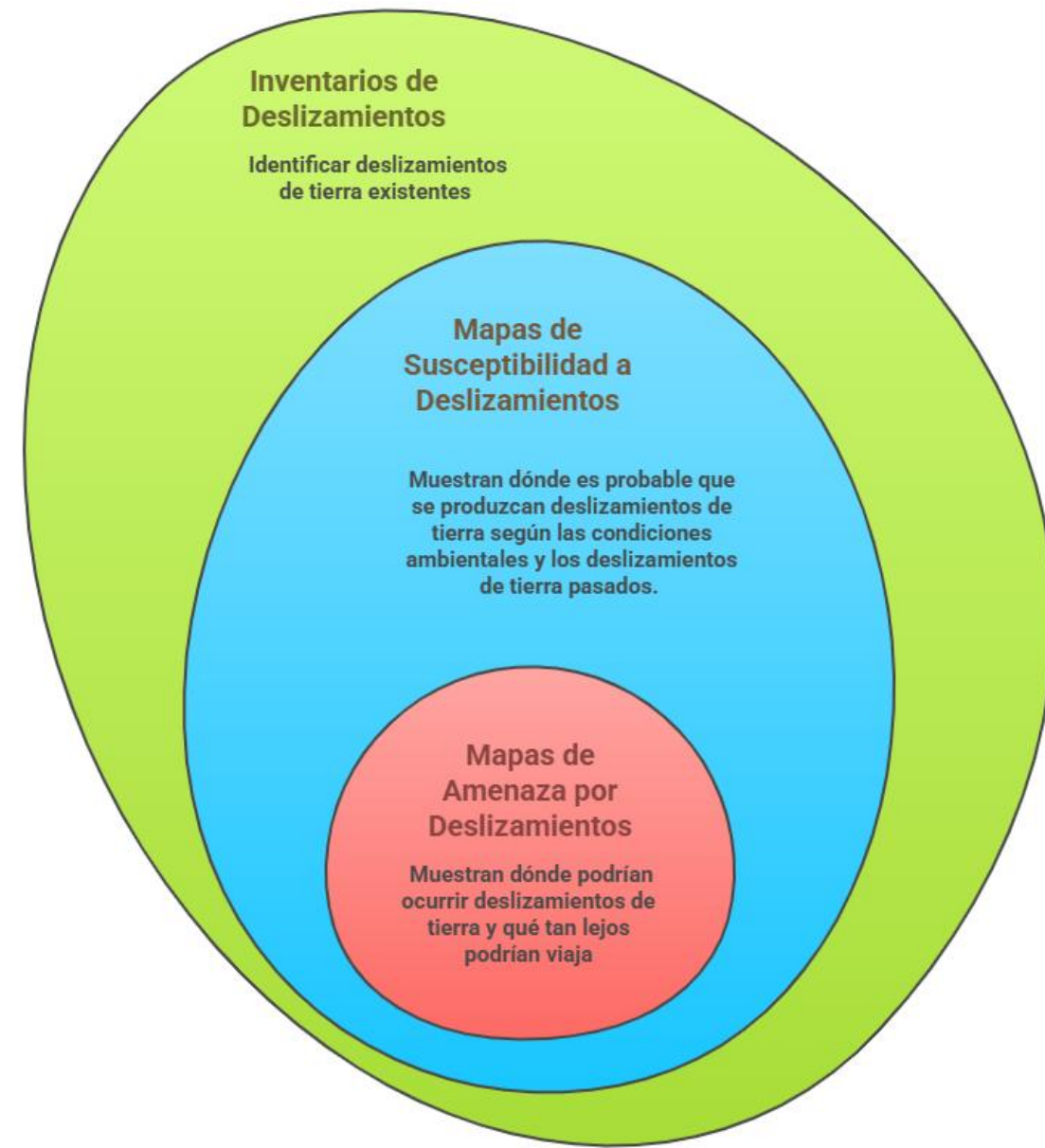
- Este tipo de cartografía **identifica tanto el potencial tridimensional de los deslizamientos de tierra como sus causas.**
- También se brindan orientaciones sobre el **uso del suelo, zonificación y construcción,** así como recomendaciones para futuras investigaciones específicas del sitio.
- Las escalas cartográficas a este nivel típicamente varían entre **1:1,000 y 1:10,000.**

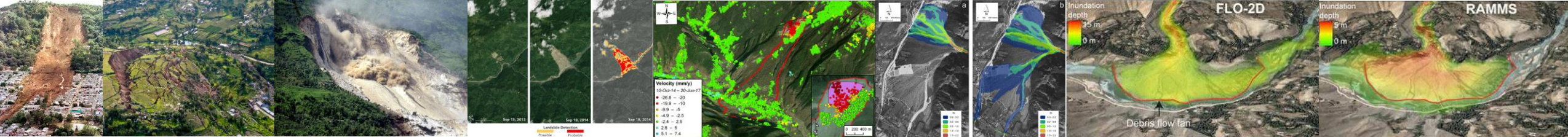
Cartografía específica del sitio:

- La cartografía específica del sitio se enfoca en la **identificación, análisis y solución de problemas reales en sitios específicos, a menudo del tamaño de un lote residencial.**
- Usualmente es realizada por **consultores privados contratados por propietarios que planean desarrollos en el sitio** y generalmente implica un **programa detallado de perforación, con registros geotécnicos, muestreo y análisis de laboratorio, con el fin de obtener la información necesaria para el diseño y la construcción.**
- Las escalas cartográficas varían, pero usualmente son alrededor de 1:600



Los tres tipos de mapas de deslizamientos más útiles para los planificadores y el público en general son:





Nivel de detalle:

- **Inventarios simples:** Delimitan áreas generales donde han ocurrido deslizamientos.
- **Inventarios detallados:** Clasifican y representan características específicas como escarpes, zonas de acumulación, tipo de movimiento, edad geológica, velocidad, espesor del material, etc.

Usos:

- Identificar zonas prioritarias para estudios más detallados.
- Entender los procesos de deslizamiento en un área.
- Regular el uso del suelo y prevenir desarrollos en zonas de riesgo.
- Diseñar medidas correctivas.
- Elaborar mapas derivados (como mapas de estabilidad de laderas o de amenaza por deslizamientos).

Metodología: Se usan fotografías aéreas combinadas con verificaciones de campo y se presenta la información en mapas codificados.

Elementos que pueden incluir los mapas: Estado de actividad, certeza de identificación, tipo de movimiento, espesor y tipo de material, fechas o periodos de actividad.

Escalas comunes: En EE. UU.: 1:24,000 es la más frecuente por la disponibilidad de mapas base topográficos del USGS. Otras escalas comunes: 1:50,000, 1:100,000 y 1:250,000.

Los mapas de inventario identifican áreas afectadas por deslizamientos de tierra.

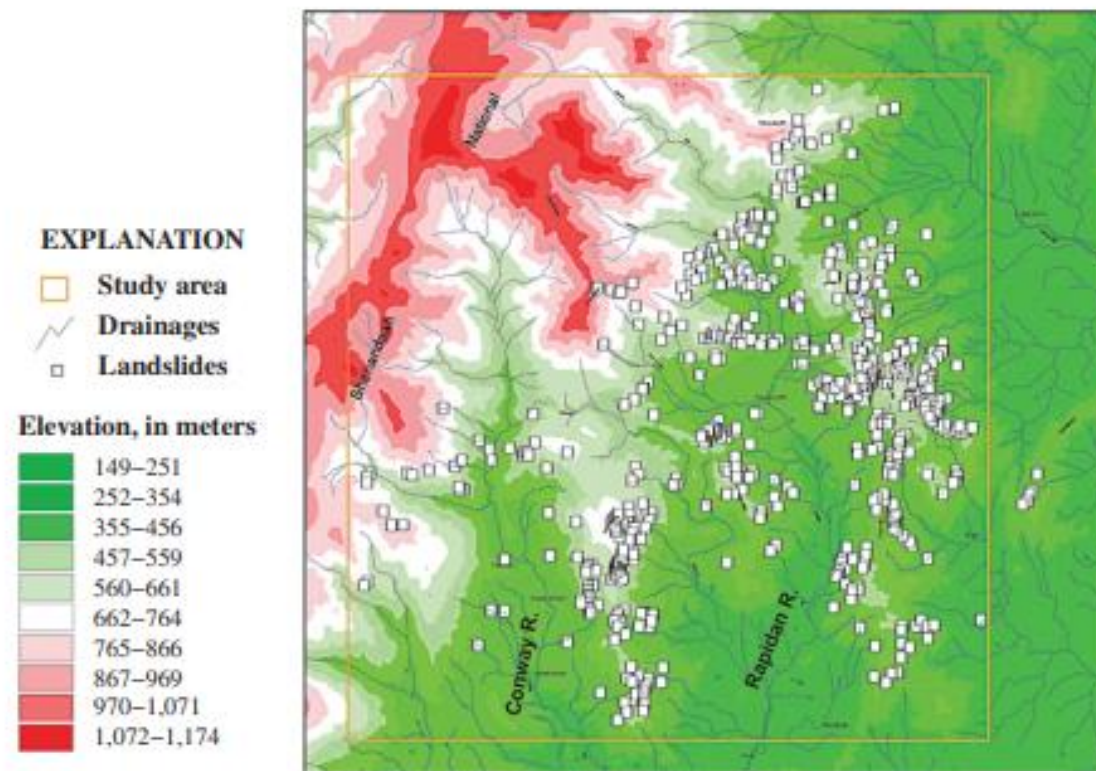
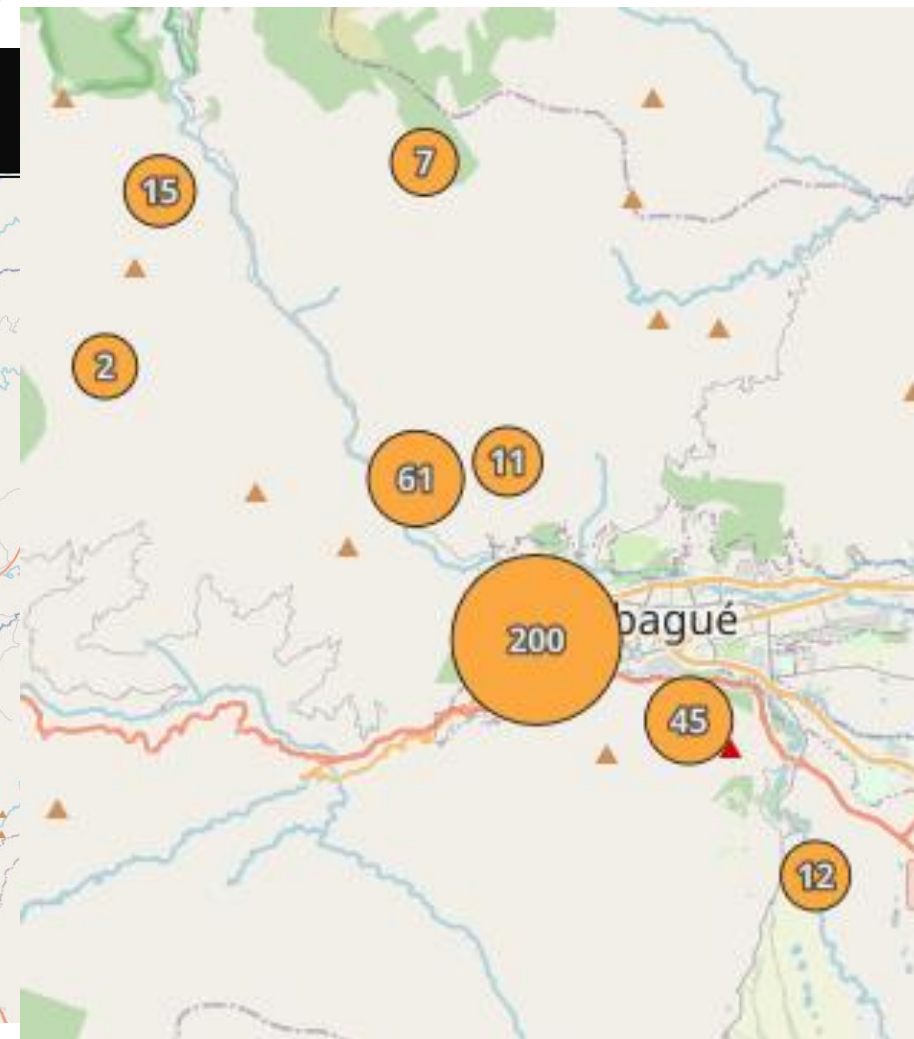
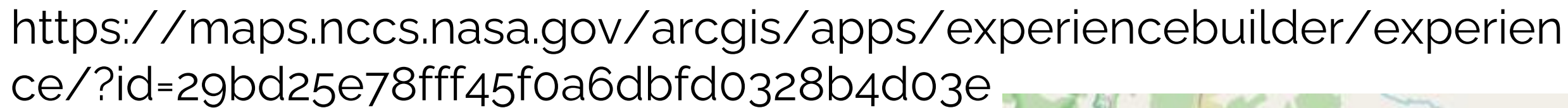


Figure B1. Example of a landslide inventory map showing the locations of past landslides and including topographical information consisting of elevation (measured in meters) and drainage courses (map from U.S. Geological Survey).



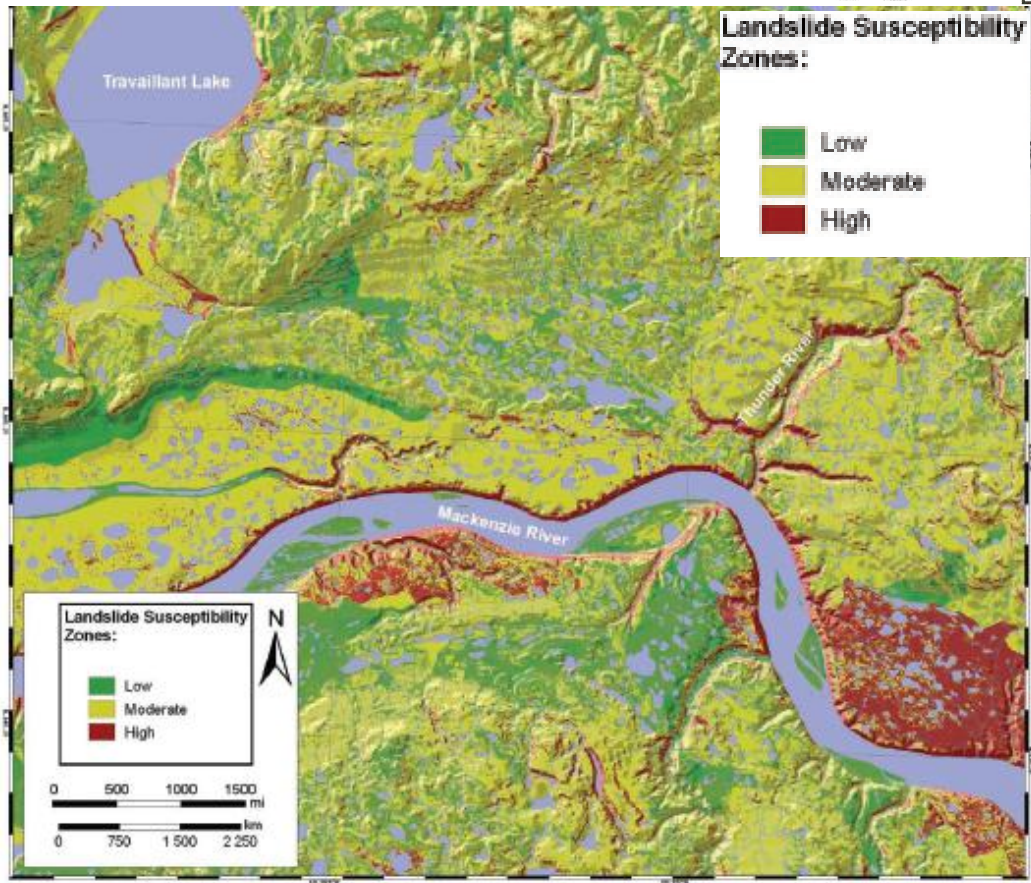
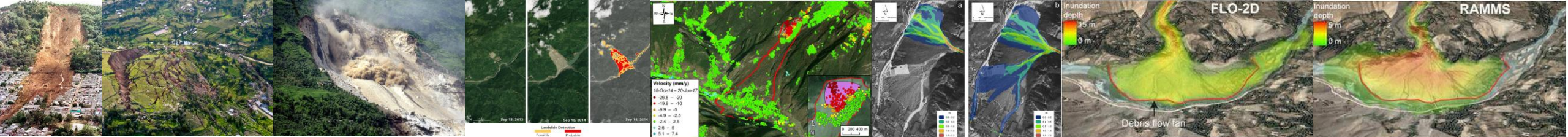


Figure B2. An example of a landslide susceptibility map. This map shows an area in Canada, the Mackenzie River Valley, Northwest Territories. Graphic by Réjean Couture, Geological Survey of Canada.

Mapas de susceptibilidad a deslizamientos de tierra : muestran dónde es probable que se produzcan deslizamientos de tierra según las condiciones edafológicas, geológicas, ambientales y los deslizamientos de tierra pasados.

Definición: Son mapas que van más allá del inventario e identifican áreas con potencial de sufrir deslizamientos, aunque aún no hayan ocurrido.

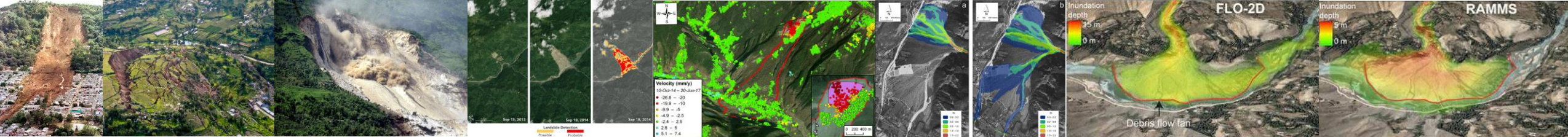
Metodología: Se elaboran correlacionando factores que favorecen los deslizamientos (pendientes fuertes, unidades geológicas débiles, drenaje deficiente) con la distribución pasada de deslizamientos.

Función: Indican la estabilidad relativa de las laderas, no predicen con certeza absoluta dónde ocurrirá un deslizamiento.

Relación con el inventario: Son mapas derivados del inventario de deslizamientos, ya que este es necesario como base para su elaboración.

Ejemplo de elaboración: Al superponer un mapa geológico con un inventario de deslizamientos, se pueden identificar unidades geológicas propensas, y luego extrapolar a otras áreas similares.

Complejidad: Los mapas más complejos pueden incorporar variables adicionales como ángulo de pendiente y características del drenaje.



Mapas de riesgo de deslizamientos de tierra : muestran dónde podrían ocurrir deslizamientos de tierra y qué tan lejos podrían viajar.

Representan la extensión espacial de los procesos de deslizamiento, incluyendo:

- Lugares donde han ocurrido deslizamientos en el pasado.
- Ocurrencias recientes.
- Probabilidad de ocurrencia futura en distintas zonas.

Contenido: Información detallada sobre:

- Tipos de deslizamientos.
- Extensión de las laderas susceptibles a fallas.
- Posible máxima extensión del movimiento del terreno.

Función: Se usan para predecir el grado relativo de amenaza en un área determinada.

Clasificación: Las zonas pueden clasificarse en niveles **Baja, moderada y alta amenaza.**

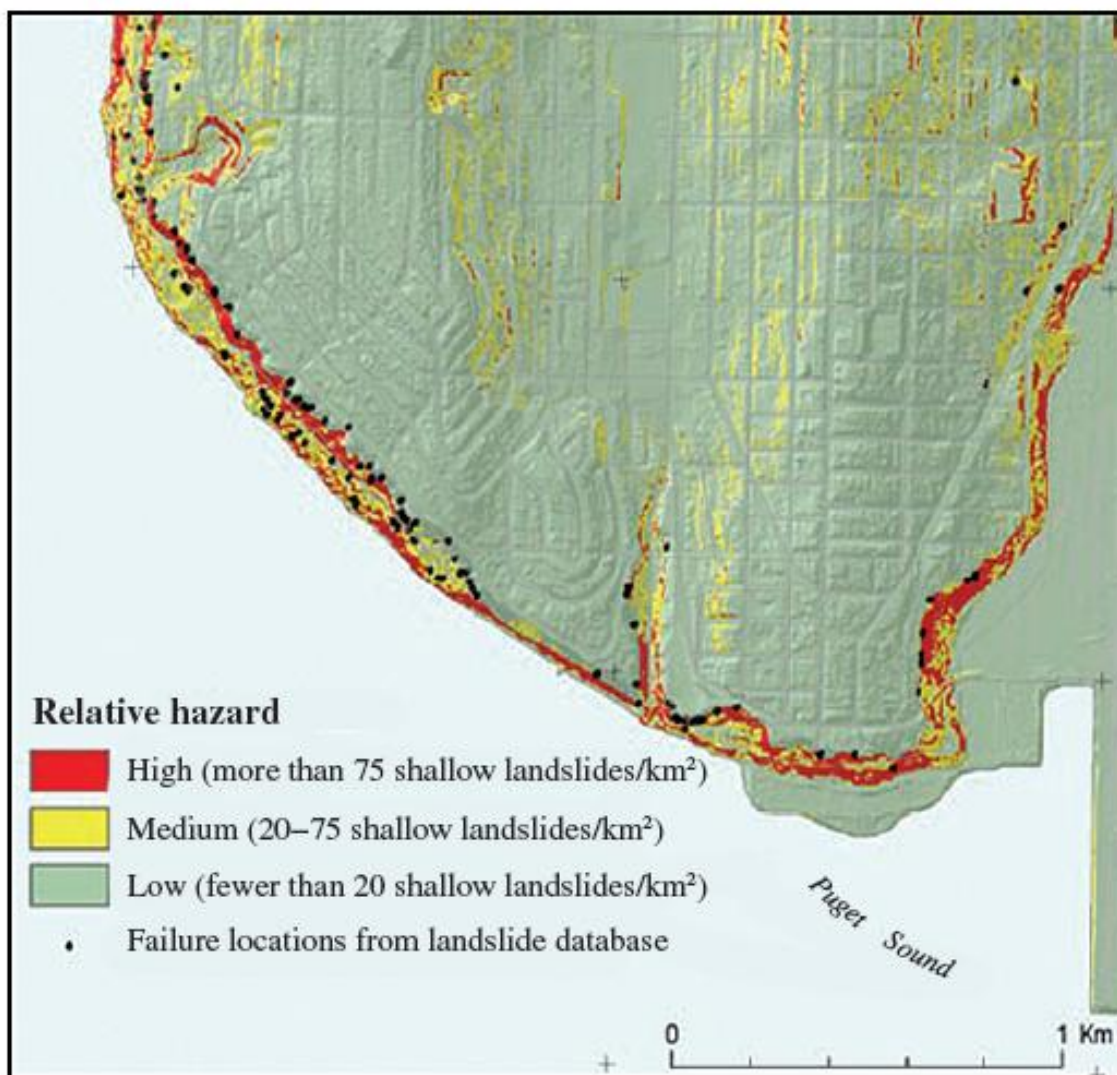
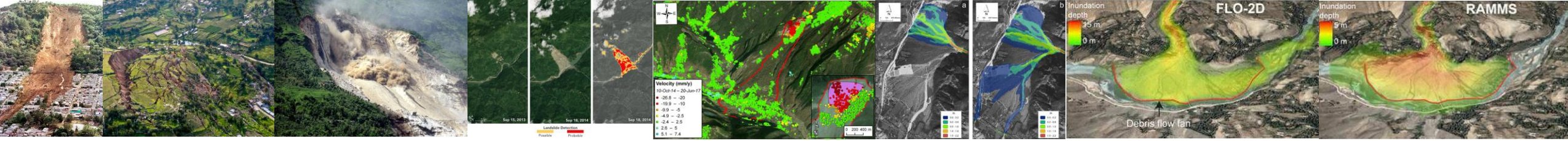
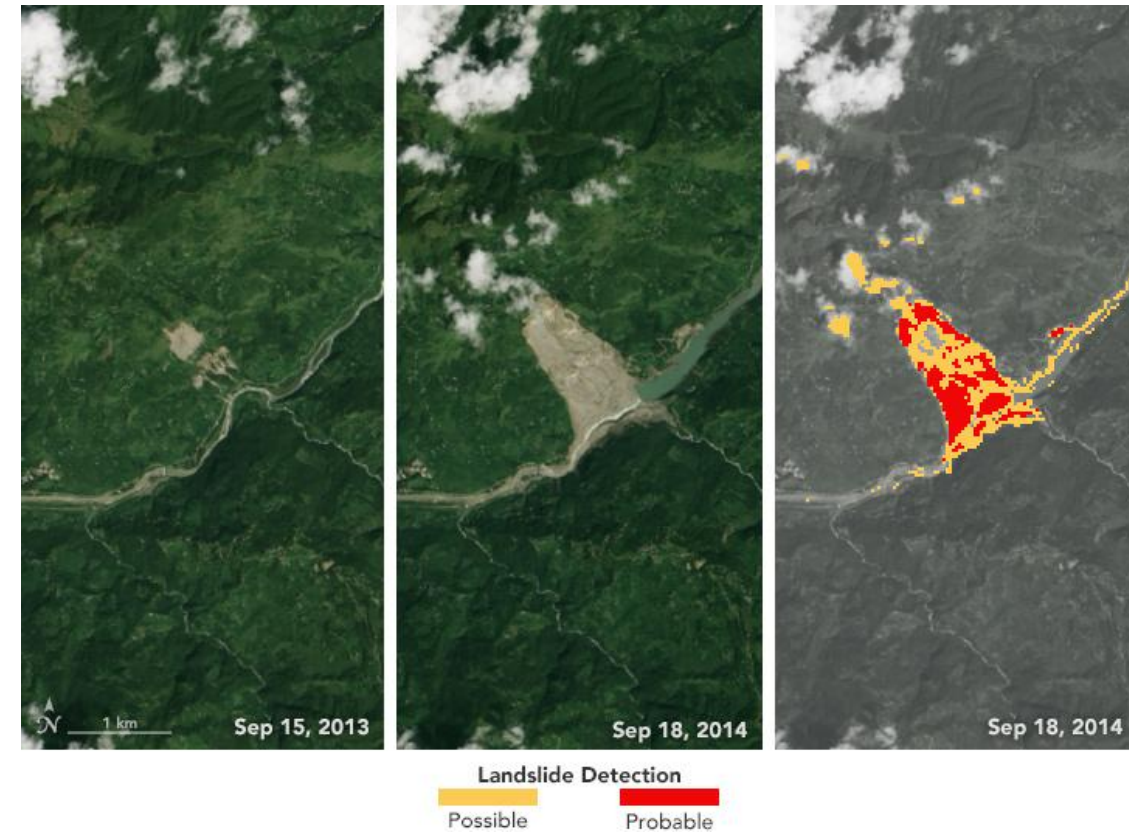


Figure B3. Portion of shallow landslide hazard map showing part of the Magnolia area of the city of Seattle, Washington, USA. (km² is notation for square kilometers.)



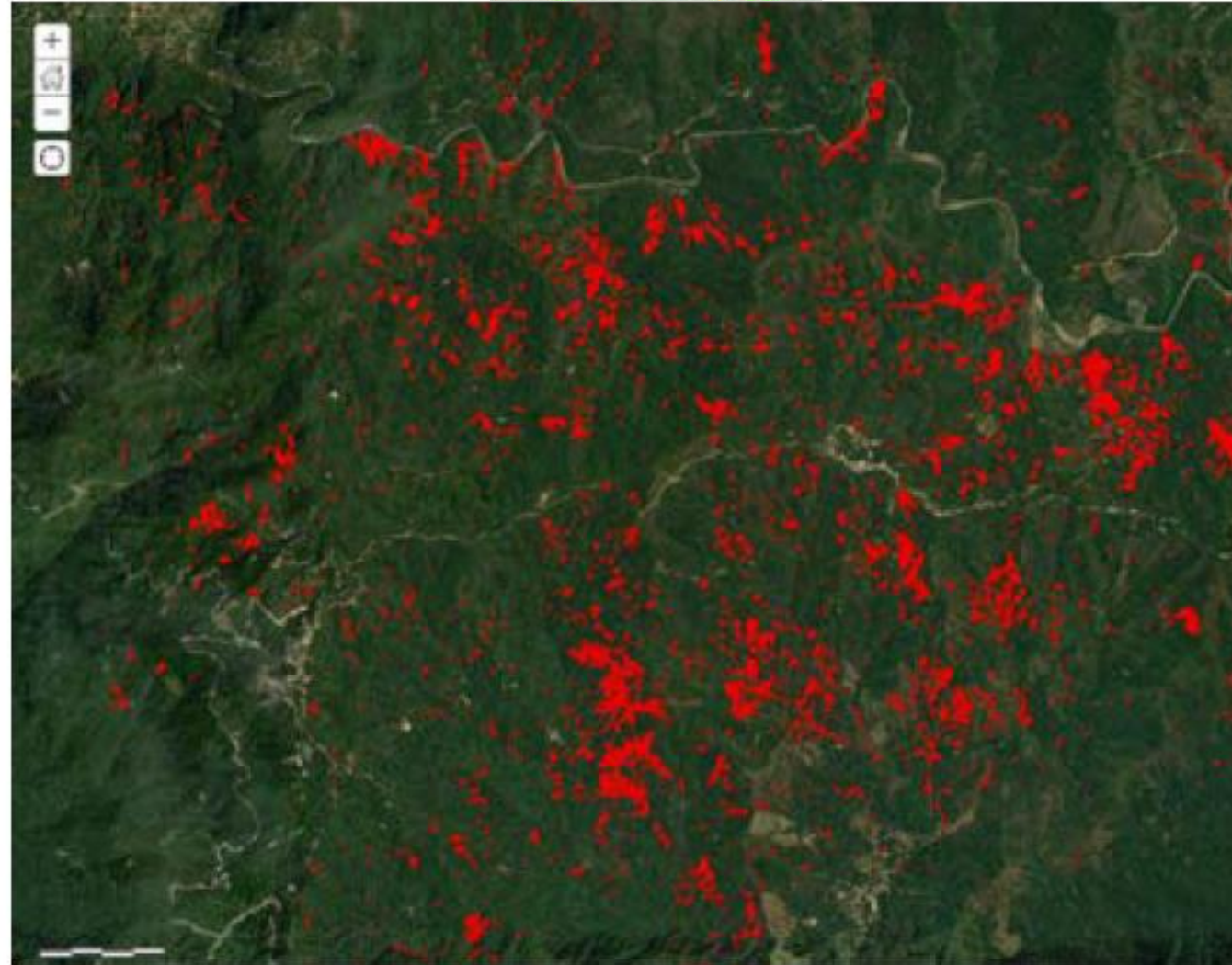
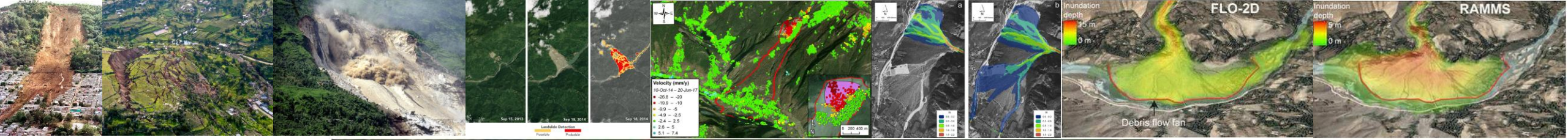
Tipos de Misiones: Observación de Eventos de Deslizamientos

- Los datos ópticos han sido durante décadas la herramienta principal para la modelación de deslizamientos de tierra.
- Satélites ópticos como la serie **Landsat** y **Sentinel-2** han permitido evaluaciones a gran escala con archivos extensos y resolución moderada.
- Los sistemas más recientes permiten análisis con **mayor resolución temporal y espacial**.
- La **cobertura nubosa** sigue siendo un desafío importante.
- Las múltiples bandas espectrales permiten analizar datos de mayor contraste, incluyendo índices como el **NDVI** (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada).

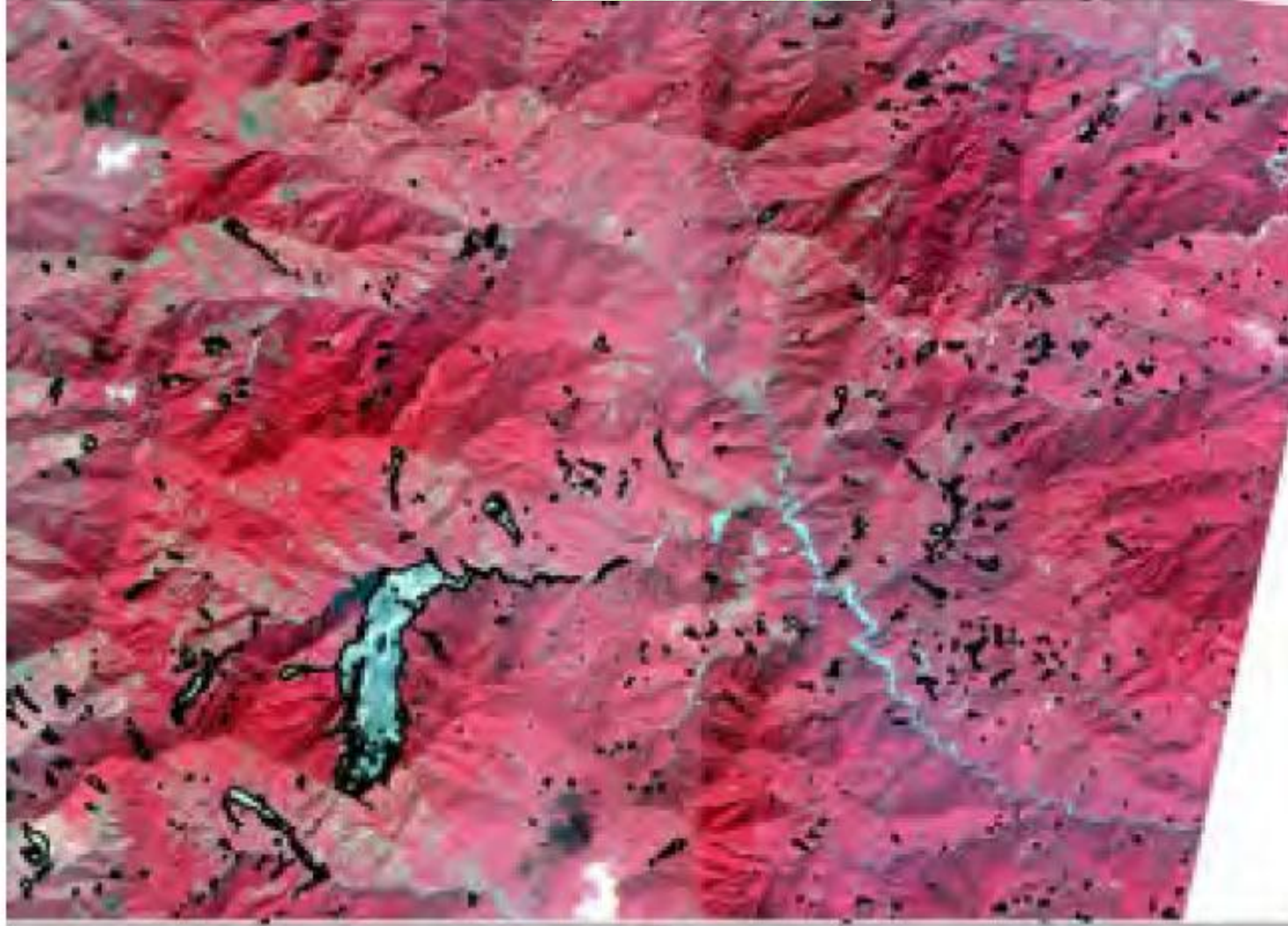
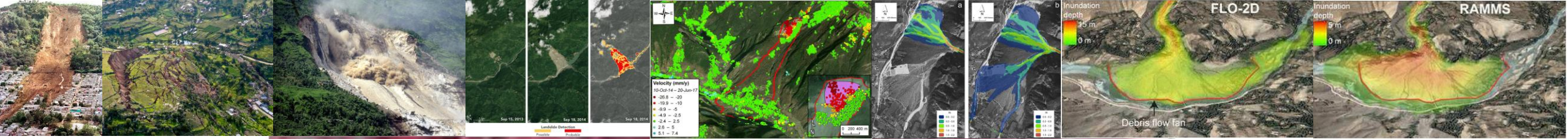




Landslides mapped in British Columbia on October 30, 2021.
Credit: Planet Labs



Large landslide inventory mapped using Landsat imagery.



Landslides highlighted using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



Proveedor de conjuntos de datos

Fragmento de Earth Engine

Intervalo de revisión

16 días

Etiquetas

cfmask

cloud

fmask

global

18sr

landsat

lasrc

lc08

1st

reflectance

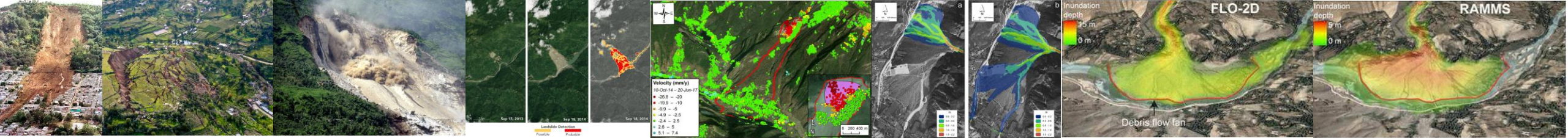
satellite-imagery

sr

usgs

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$$

Banda	Descripción	Nombre común	Resolución
B5	Infrarrojo cercano	NIR	30 metros
B4	Rojo	RED	30 metros



Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A (SR) 🔖



Disponibilidad de los conjuntos de datos

2017-03-28T00:00:00Z–2025-04-06T12:44:00.857000Z

Proveedor de conjuntos de datos

[Unión Europea/ESA/Copernicus](#)

Fragmento de Earth Engine

`ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")` [🔗](#)

Intervalo de revisión

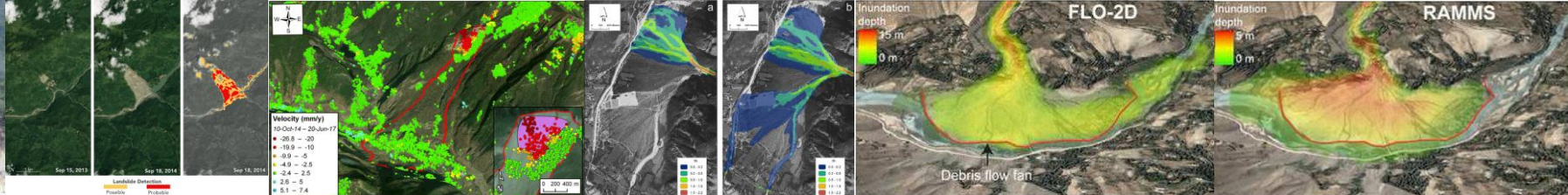
5 días

Etiquetas

- copernicus
- esa
- eu
- msi
- reflectance
- satellite-imagery
- sentinel
- sr

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

Banda	Descripción	Longitud de onda	Resolución
B8	Infrarrojo cercano (NIR)	842 nm	10 m
B4	Rojo (RED)	665 nm	10 m



SENSORES PASIVOS



Captan las radiaciones emitidas por los objetos a partir de la energía solar.

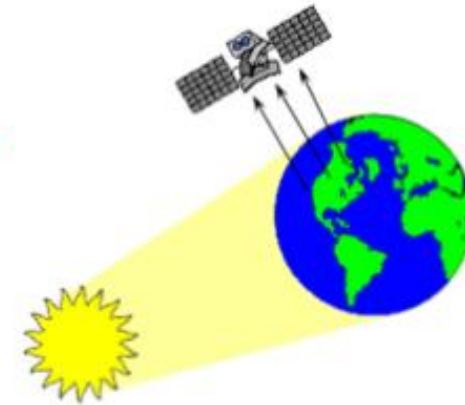
SENSORES ACTIVOS



Emiten su propia energía (RADAR)

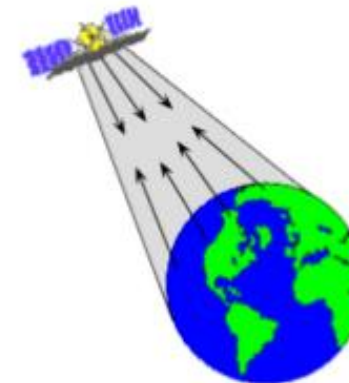
Definición: Detectan la **radiación natural** emitida o reflejada por los objetos de la superficie terrestre (como la luz solar o el calor). No funcionan bien de noche y con nubes

- pasivos



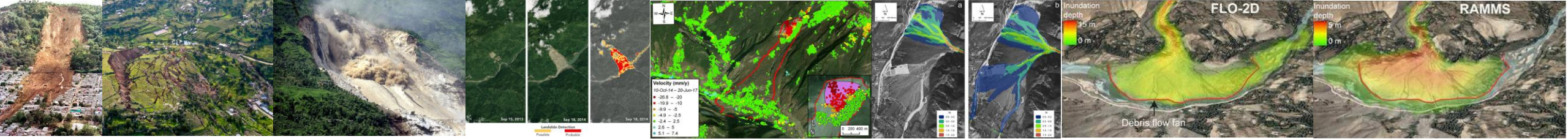
- sensores fotográficos.
- sensores óptico-electrónicos. (exploradores de barrido y empuje, cámaras de vidicon, cámaras de video)
- sensores de antena o radiómetros de microondas.

- activos



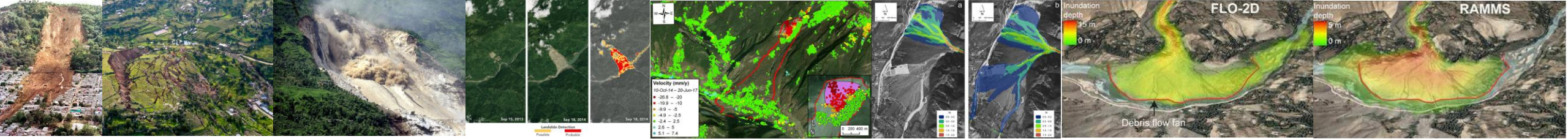
- radar (0.1 cm - 1 m)
- lidar (visible-IRC)

Definición: Emiten su **propia energía** (normalmente microondas) hacia la superficie terrestre y miden la señal que regresa. Funcionan **de día y de noche**, y **pueden penetrar nubes, humo o vegetación**.



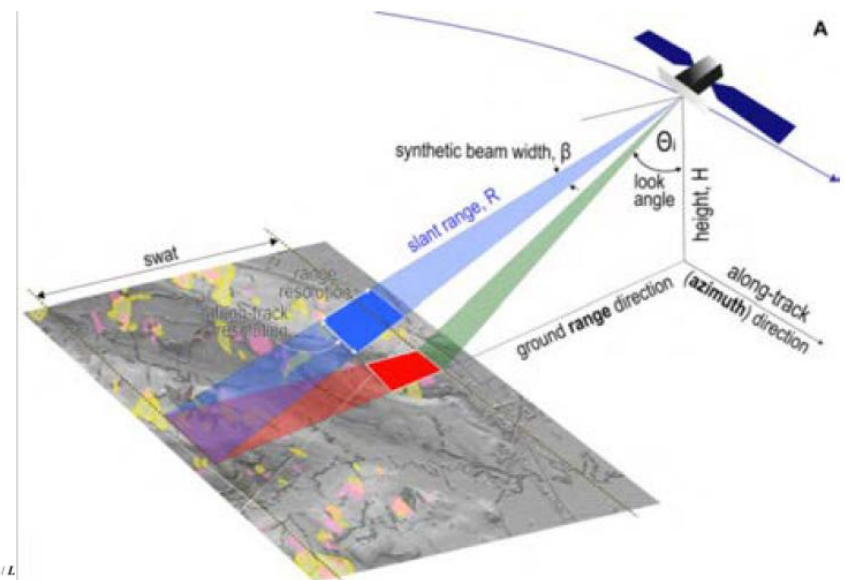
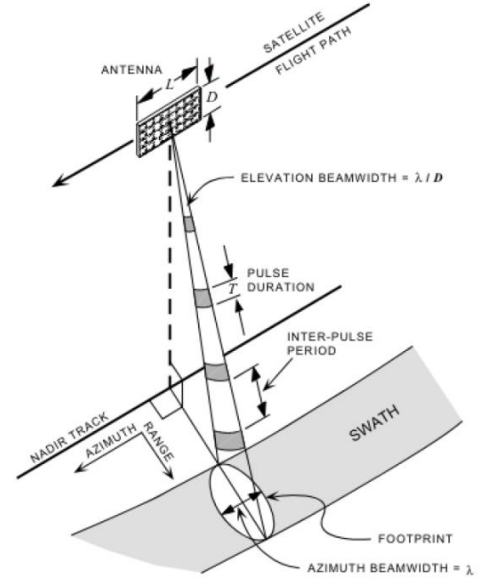
El **Radar de Apertura Sintética (SAR)** utiliza pulsos de ondas de radio para crear imágenes bidimensionales o tridimensionales de la superficie terrestre.

- Satélites como **ALOS-2**, **Sentinel-1** y la próxima misión **NISAR** de la NASA-ISRO emplean esta tecnología.
- La **detección de deslizamientos** se realiza típicamente mediante **detección de cambios** entre imágenes SAR tomadas antes y después del evento.
- Algunos métodos se basan en cambios en la **coherencia** de la señal SAR, mientras que otros utilizan **variaciones en la amplitud**.
- **No está limitado por la cobertura nubosa**, lo que lo hace ideal para monitoreo en regiones tropicales o durante temporadas de lluvia.

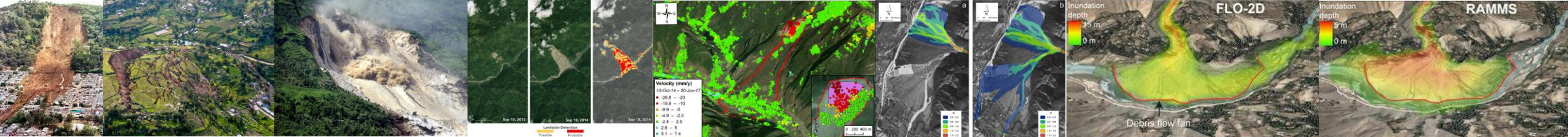


¿Qué es el radar de apertura sintética?

- El radar de apertura sintética (SAR) es un tipo de recopilación activa de datos en el que un instrumento emite un pulso de energía y registra la cantidad de energía reflejada tras su interacción con la Tierra.
- A diferencia de las imágenes ópticas, que son una técnica pasiva de recopilación de datos basada en la energía emitida, las imágenes SAR se crean a partir de la reacción de un pulso de energía emitido con estructuras físicas (como montañas, bosques y hielo marino) y condiciones como la humedad del suelo.



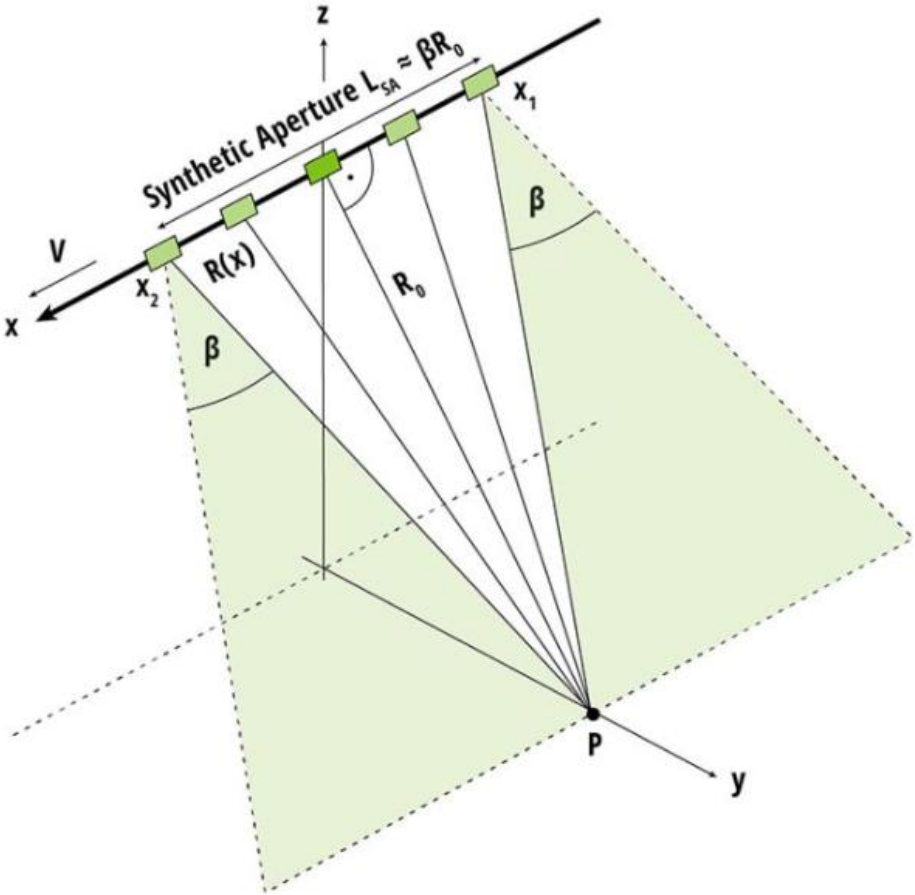
Para materializar este concepto, se transmiten ondas electromagnéticas secuencialmente, se recogen los ecos y la electrónica del sistema digitaliza y almacena los datos para su posterior procesamiento. Dado que la transmisión y la recepción ocurren en momentos diferentes, se asignan a diferentes posiciones pequeñas. La combinación ordenada de las señales recibidas crea una apertura virtual mucho mayor que el ancho físico de la antena. De ahí el término "apertura sintética"



La resolución espacial de los datos de radar está directamente relacionada con la relación entre la longitud de onda del sensor y la longitud de su antena.

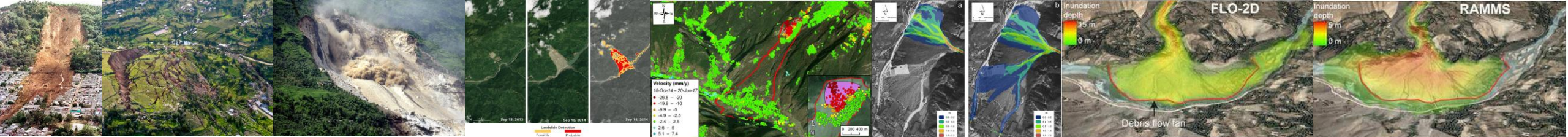
Para una longitud de onda dada, cuanto más larga sea la antena, mayor será la resolución espacial. Desde un satélite espacial que opera a una longitud de onda de aproximadamente 5 cm (radar de banda C), para obtener una resolución espacial de 10 m, se necesitaría una antena de radar de unos 4250 m de longitud. (¡Eso equivale a más de 47 campos de fútbol!)

Una antena de ese tamaño no es práctica para un sensor satelital en el espacio. Por ello, científicos e ingenieros idearon una ingeniosa solución alternativa: la apertura sintética. En este concepto, se combina una secuencia de adquisiciones de una antena más corta para simular una antena mucho más grande, proporcionando así datos de mayor resolución.



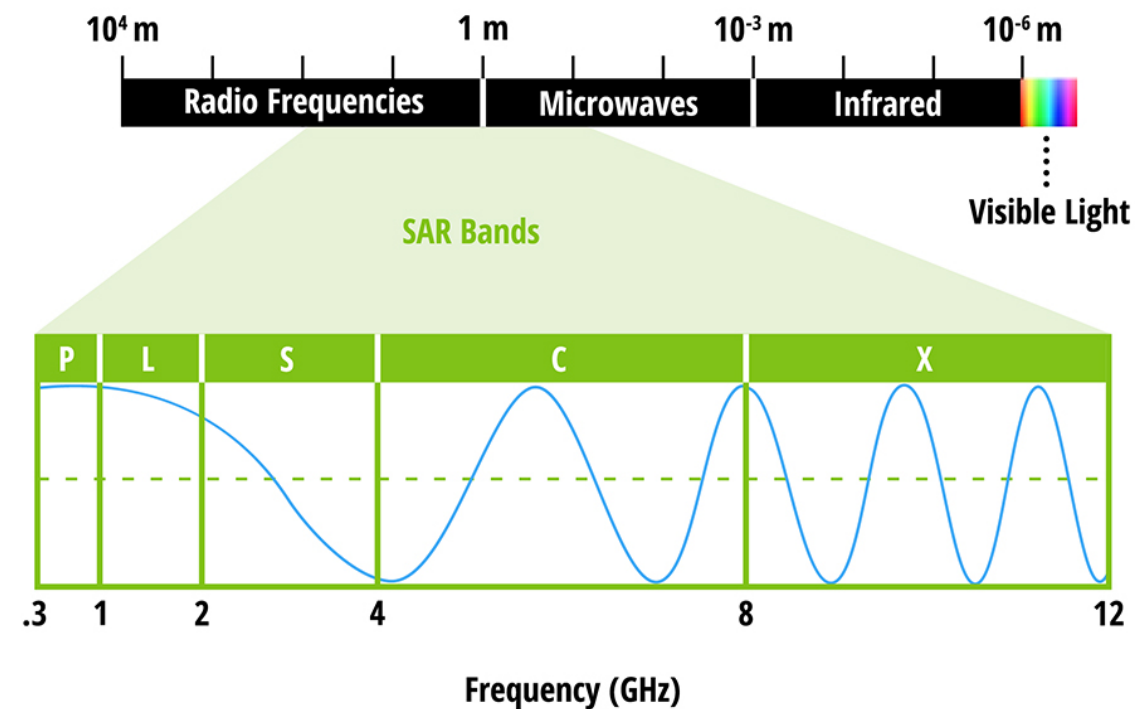
¿Cómo funciona?

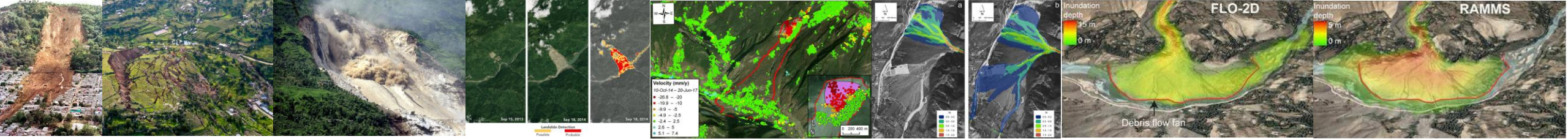
1. El radar se mueve (por ejemplo, montado en un satélite o avión).
2. Toma múltiples mediciones del mismo punto en el terreno (P) desde diferentes posiciones.
3. Luego, usando procesamiento de señales, **combina todas esas mediciones** como si hubiera usado una gran antena del tamaño de todo el recorrido. Esto **mejora la resolución** de la imagen final.



Los roles de la frecuencia y la longitud de onda

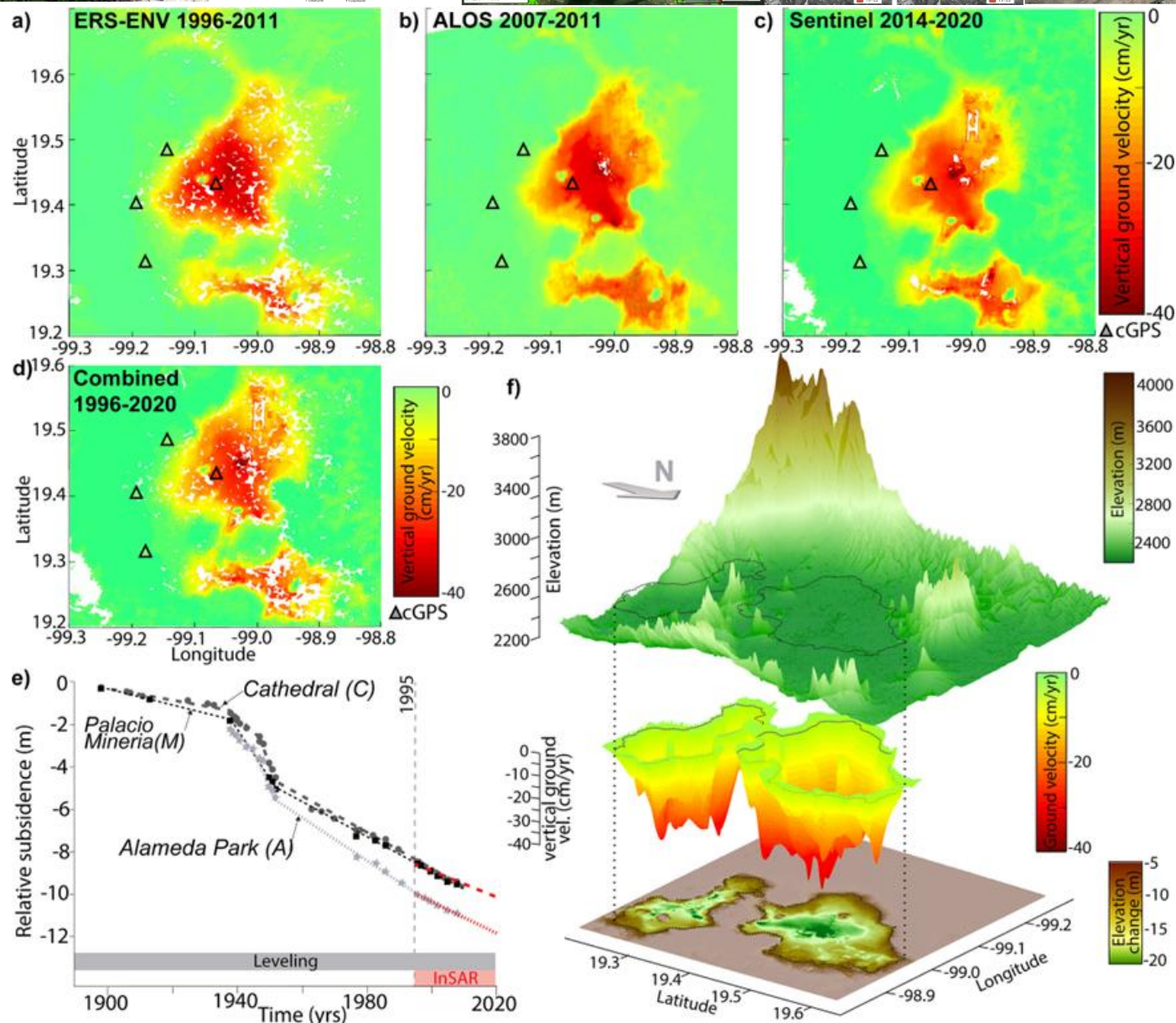
- Instrumentos ópticos como el Generador de Imágenes Terrestres Operacionales (OLI) de Landsat y el Instrumento Multiespectral (MSI) de Sentinel-2 recopilan datos en las porciones visible, infrarroja cercana e infrarroja de onda corta del espectro electromagnético.
- Los instrumentos de radar utilizan longitudes de onda más largas, de centímetros a metros, lo que les permite crear imágenes de accidentes geográficos que podrían estar cubiertos de nubes o bajo una densa vegetación. Las diferentes longitudes de onda del SAR se denominan bandas, con designaciones de letras como X, C, L y P.

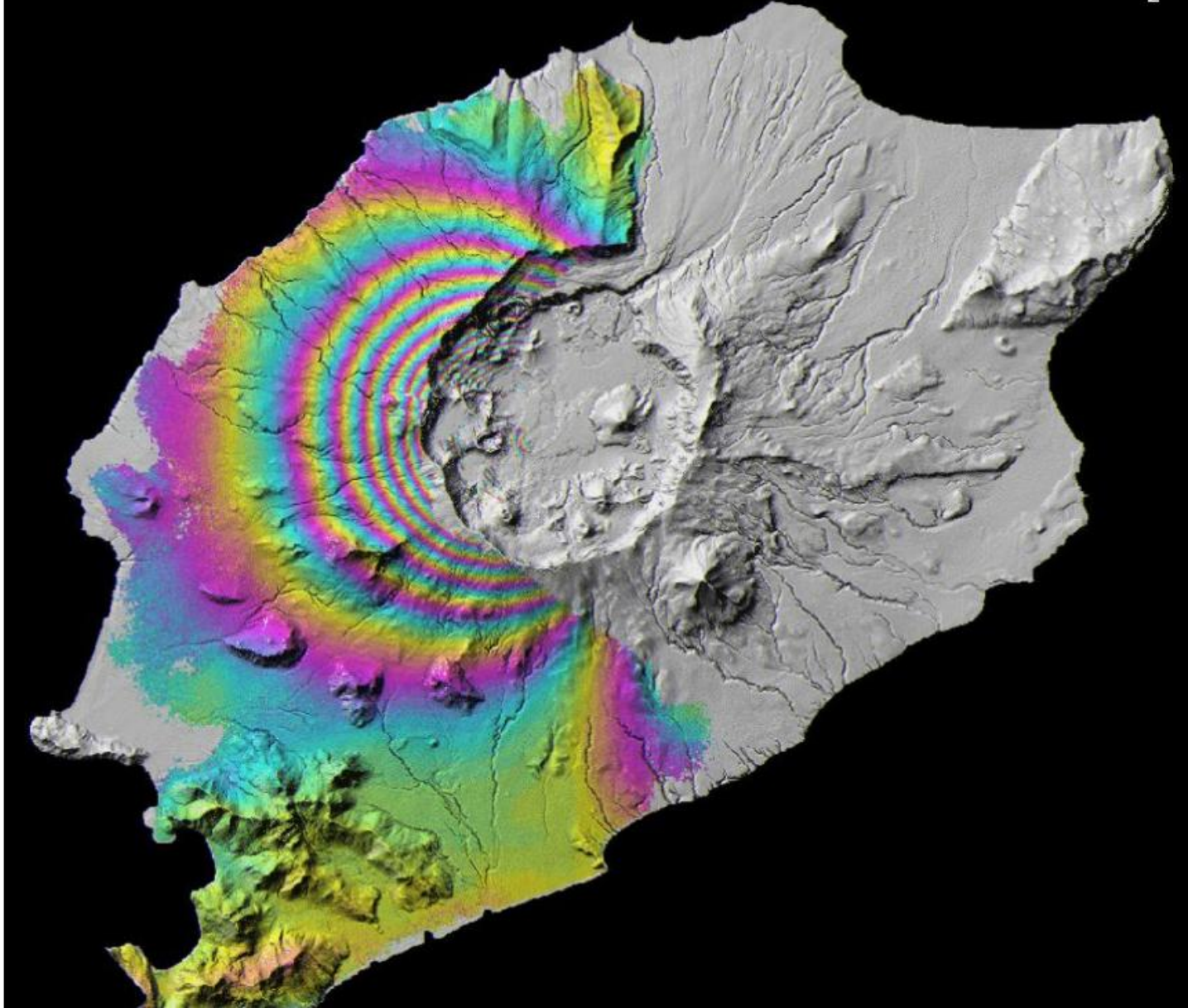
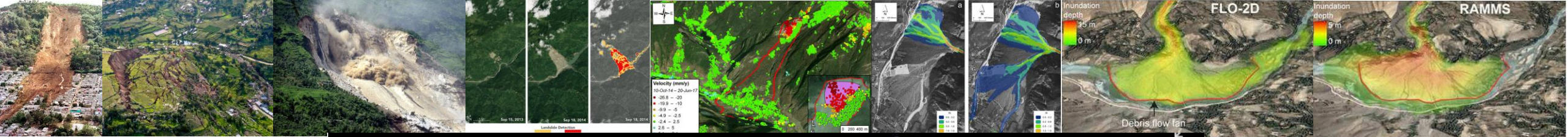


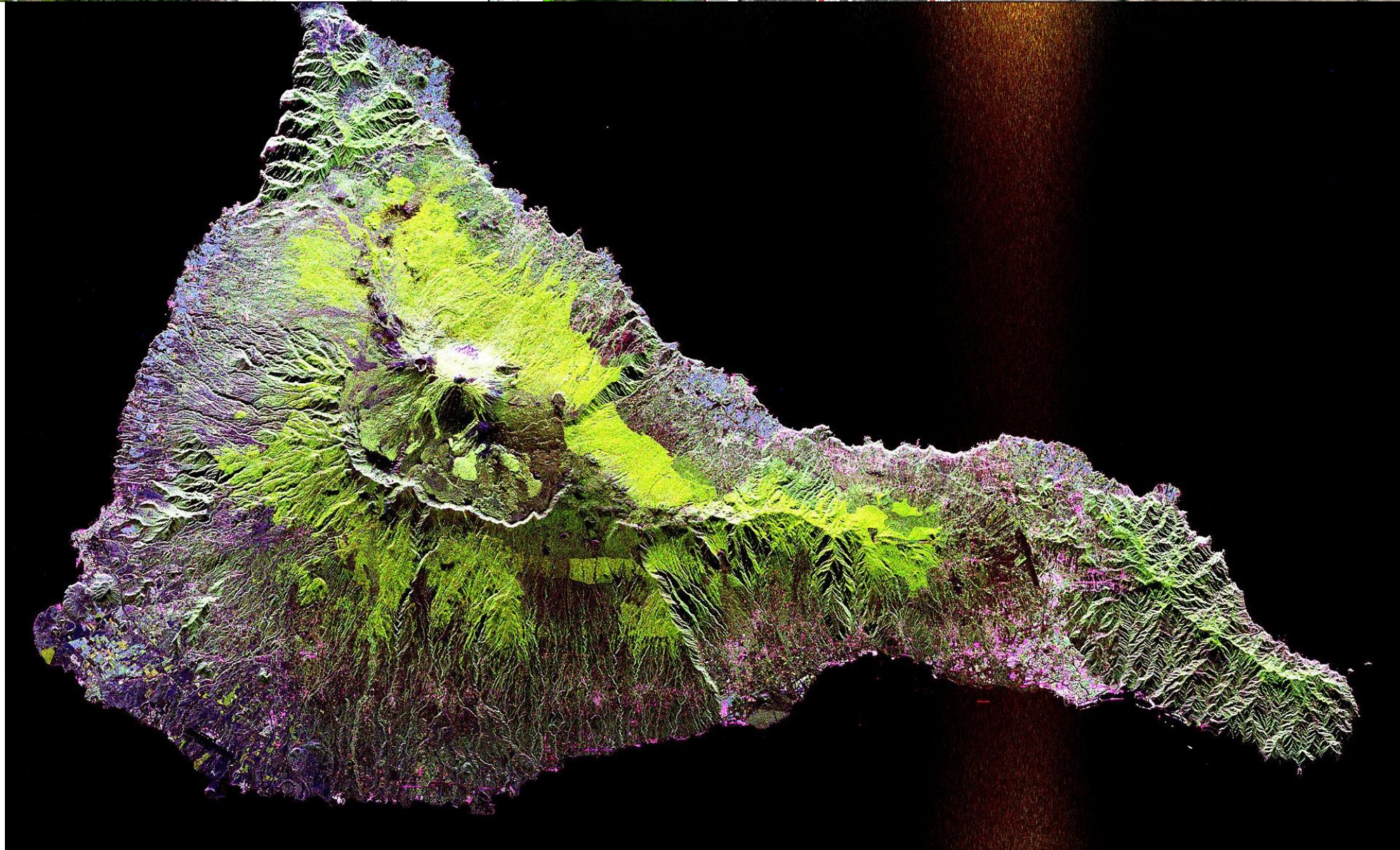
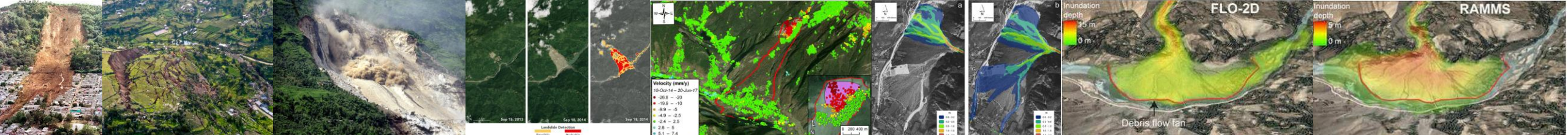


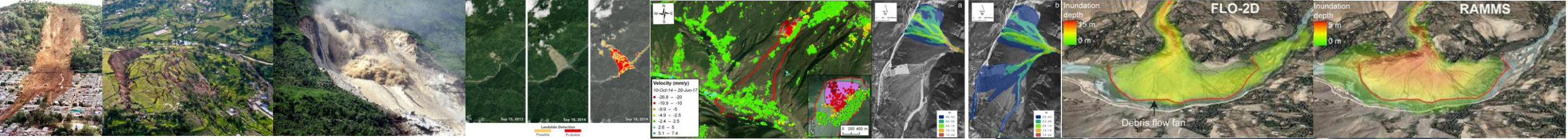
Interferometría

- Los datos **SAR** permiten un **método de análisis llamado interferometría**. Este método de análisis se denomina SAR interferométrico o InSAR.
- El **InSAR** utiliza la información de fase registrada por el instrumento para medir la distancia entre este y el objetivo.
- Cuando se realizan al menos dos observaciones del mismo objetivo en momentos diferentes, la distancia, junto con la información geométrica adicional del instrumento, puede utilizarse para medir cambios en la topografía de la superficie terrestre.
- Estas mediciones son muy precisas (hasta centímetros) y permiten identificar áreas de deformación tras eventos como erupciones volcánicas y terremotos.



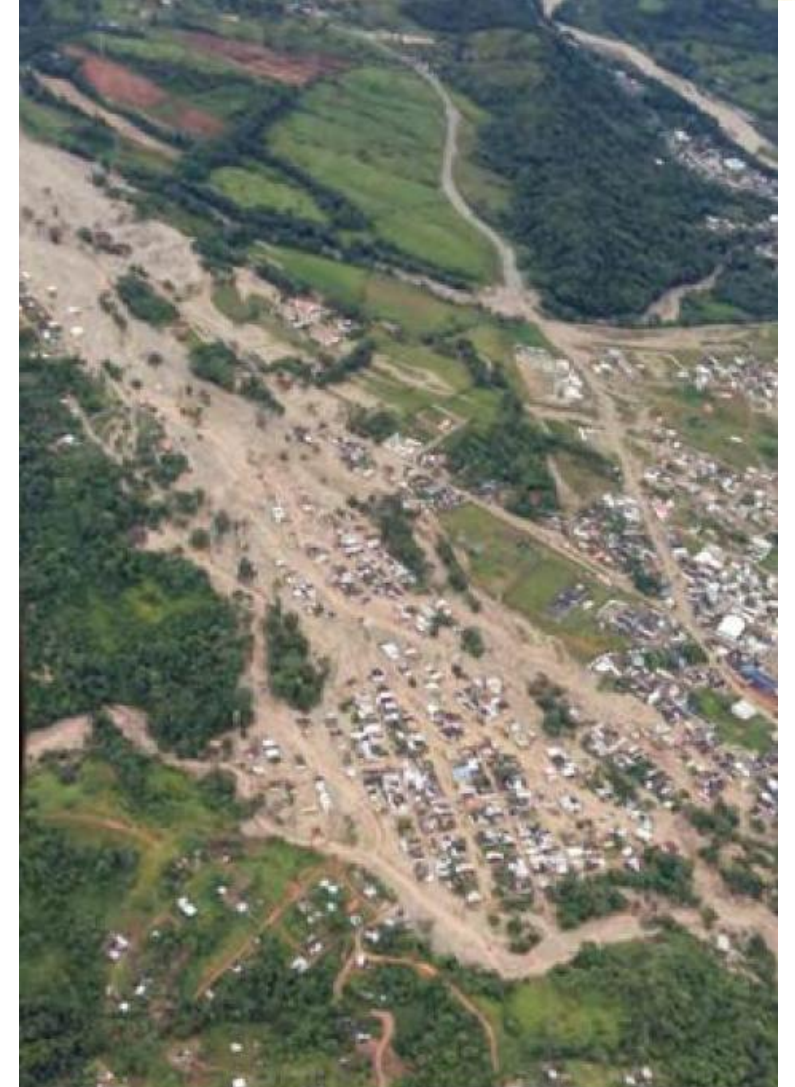






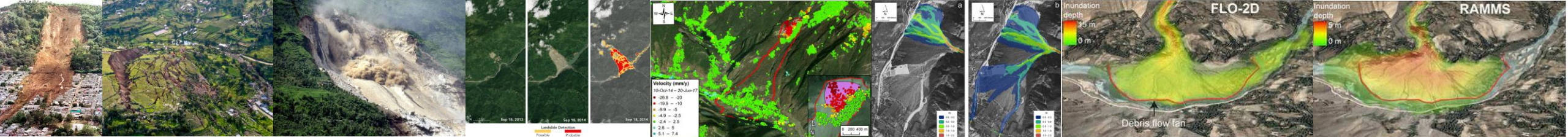
Existen varios otros sistemas para observar deslizamientos de tierra de forma remota:

- **La fotografía aérea** es a menudo una fuente principal de información, ya sea desde aeronaves tripuladas o sistemas de aeronaves no tripuladas (**UAS o drones**).
- El **LIDAR** (detección y medición por luz láser) se ha utilizado extensamente para mapear el paisaje y detectar deslizamientos, como señala la Asociación Geológica de Estados Unidos (**AGS**). La **textura irregular o "ondulada" (hummocky)** de los depósitos de deslizamiento es una firma típica que puede identificarse con LIDAR.
- Los nuevos análisis **hiperespectrales** también pueden aportar beneficios importantes al estudio de los deslizamientos, al identificar cambios sutiles en la composición del suelo y la vegetación.



Aerial image of the aftermath of the Mocoa debris flow in Colombia. Credit: [Fox6](#)

Parámetros Clave



Resolución:

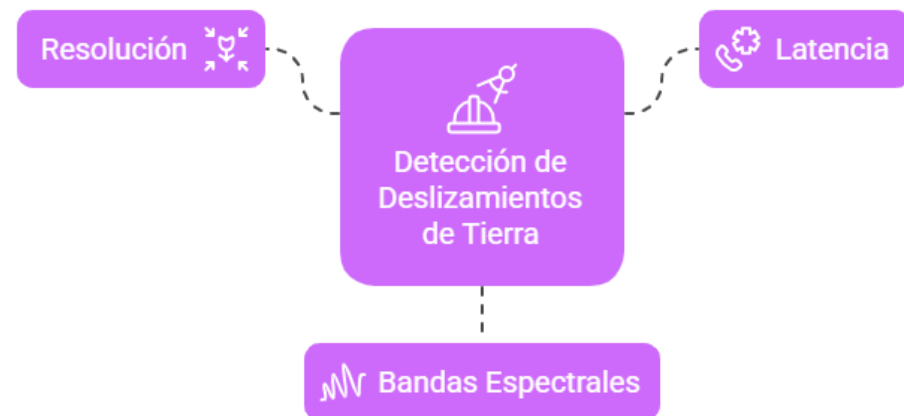
- Una mayor resolución espacial y temporal puede aumentar la precisión en la detección de deslizamientos de tierra.
- Reduce la posibilidad de amalgamación, es decir, de confundir múltiples deslizamientos como uno solo.
- Sin embargo, existe una compensación entre el tamaño de la imagen (cobertura espacial) y la resolución: a mayor resolución, generalmente menor es el área cubierta por imagen.

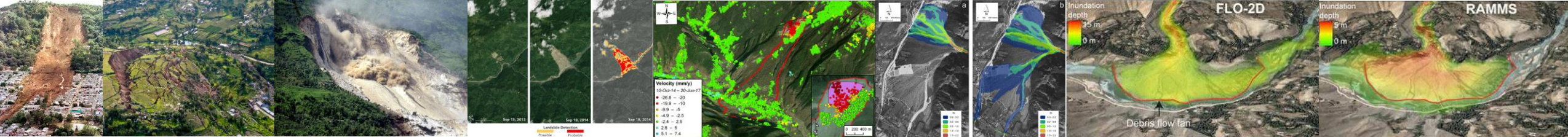
Latencia:

- Los datos de baja latencia (es decir, datos disponibles poco tiempo después de su adquisición) son extremadamente importantes para el análisis en respuesta a emergencias.
- En zonas con frecuente cobertura nubosa, la adquisición repetida de imágenes de baja latencia puede mejorar significativamente la cobertura y aumentar las probabilidades de obtener datos útiles tras un evento.

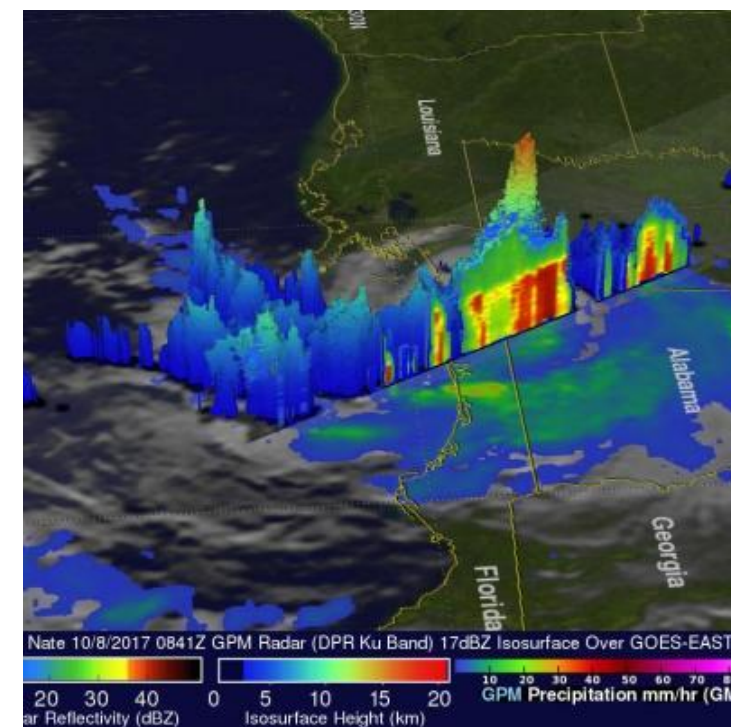
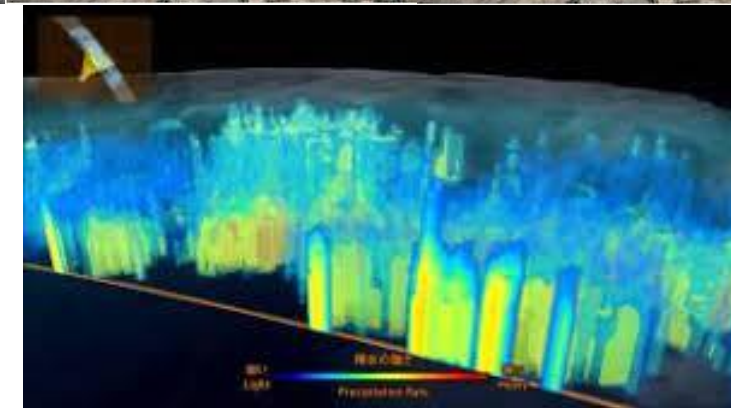
Bandas espectrales:

- El análisis antes y después de un evento se beneficia del uso de las mismas bandas espectrales, ya que esto permite una comparación directa y precisa.
- Los deslizamientos suelen remover o destruir la vegetación, por lo que las bandas sensibles a la biomasa (como el infrarrojo cercano) son especialmente útiles para su detección y monitoreo.





- Las observaciones satelitales de la **precipitación** pueden ser **críticas para evaluar las condiciones que detonan deslizamientos de tierra**.
- Los datos del satélite TRMM y **GPM** (Global Precipitation Measurement) de la NASA han demostrado ser **muy útiles para identificar condiciones detonantes**.
- La **humedad del suelo**, medida por sistemas como el satélite **SMAP** de la NASA, también contribuye al **análisis de condiciones precursoras**.
- La **caracterización de deslizamientos inducidos por sismos** suele realizarse con **sismómetros terrestres**, pero la **evaluación posterior al sismo** se apoya principalmente en datos **SAR** (radar) y **ópticos** satelitales.





Conjuntos de datos relevantes para caracterizar factores estáticos

- Existe una **amplia variedad de conjuntos de datos derivados de satélite** que pueden utilizarse para ayudar a caracterizar la ubicación de deslizamientos de tierra.
- El **uso del suelo** (por ejemplo, datos de **MODIS** o **Sentinel**) es un componente **crítico** en estos análisis.
- La **pérdida de vegetación**, detectada mediante datos derivados de **Landsat**, se ha incorporado ampliamente en estudios de deslizamientos.
- Los **Modelos Digitales de Elevación (DEM)** son una **herramienta fundamental** en la ciencia de los deslizamientos:
 - Desde los datos globales como el **SRTM**,
 - Hasta datos de mayor resolución generados a partir de **escaneo LIDAR** local.
- Existe una **gran variedad de imágenes que tienen diferente resolución y diferentes momento de observación**, lo que permite su aplicación en distintos tipos de análisis y escalas.



Forest Loss

Land Use

DEM

