

# Evaluación de Daños Producidos por Sismos en Vías de Transportes a través de Información Satelital



Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y  
Mitigación de Desastres (CISMID)  
Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad Nacional de Ingeniería

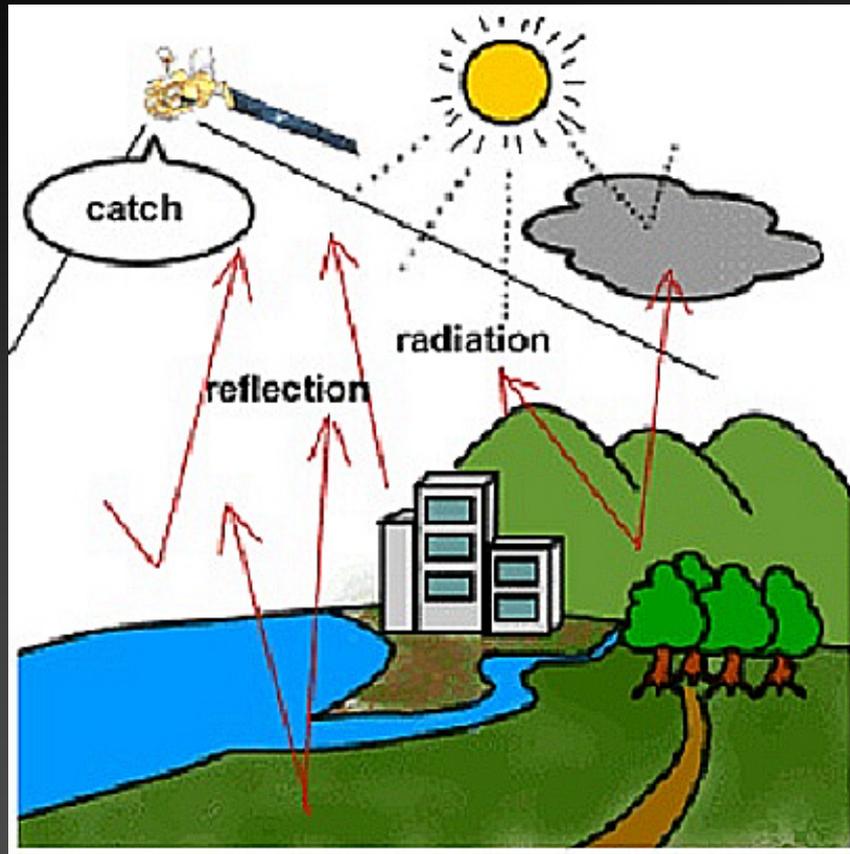


# Qué son los sensores remotos

---

- Los sensores remotos (también llamado teledetección) son definidos como la ciencia y tecnología por medio de la cual las características de los objetos de interés pueden ser identificadas, medidas o analizadas sin contacto directo.
  - Esto se hace por medio de la adquisición y registro de energía reflejada o emitida para luego traducirla a archivos de computadora o imágenes impresas para su posterior interpretación.
-

# Observación remota desde el espacio o el aire

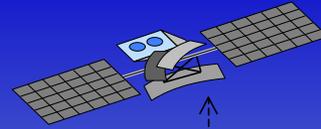


- La energía reflejada o emitida en forma de ondas electromagnéticas (EM) es recibida por un sensor que se encuentra en alguna plataforma.
- Las características de las ondas EM dependen del tipo o condición de los objetos que las emiten o reflejan.
- Entendiendo las características de las ondas EM y comparando con la información observada, podremos saber el tamaño, forma y algunas características de los objetos.

# Las Plataformas

**Satélites**

Sensor óptico/SAR



700-900km



185-575km

Trasbordador espacial

**Aeronave de gran altitud**

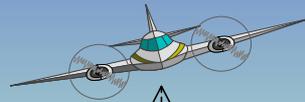
Air SAR



10-12km

**Naves ligeras**

Fotografía Aérea



1.2-3.5km

**Helicóptero**

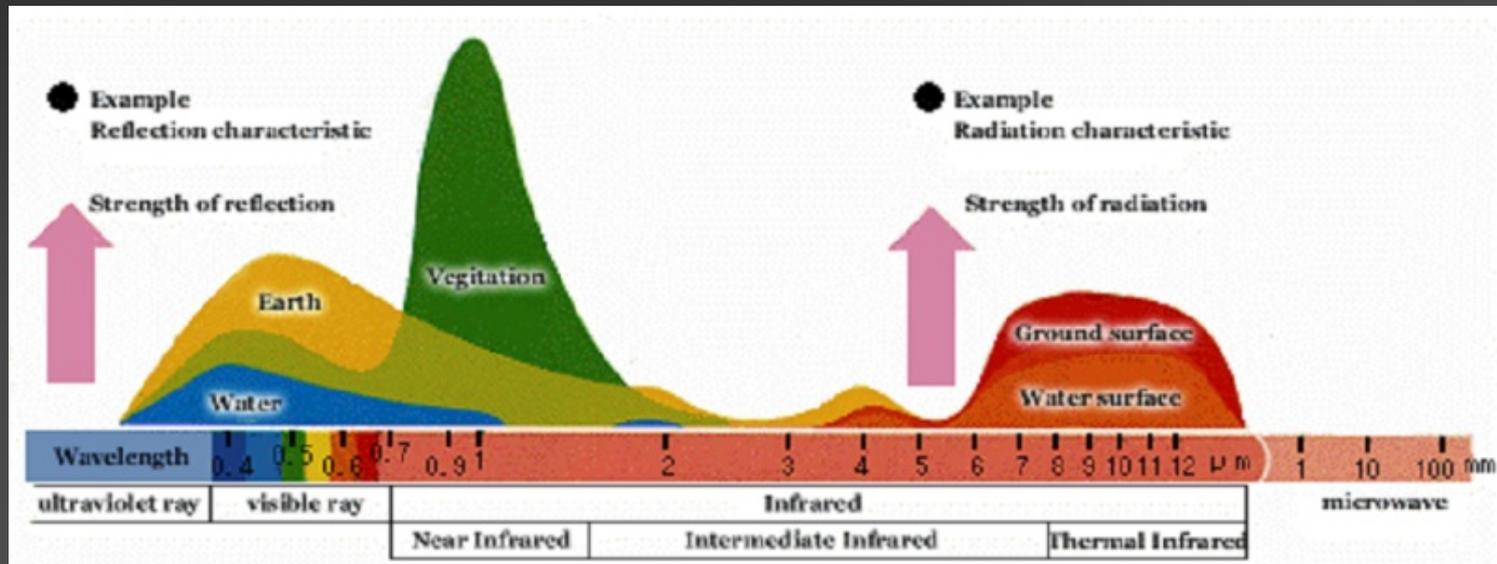


0.3km-



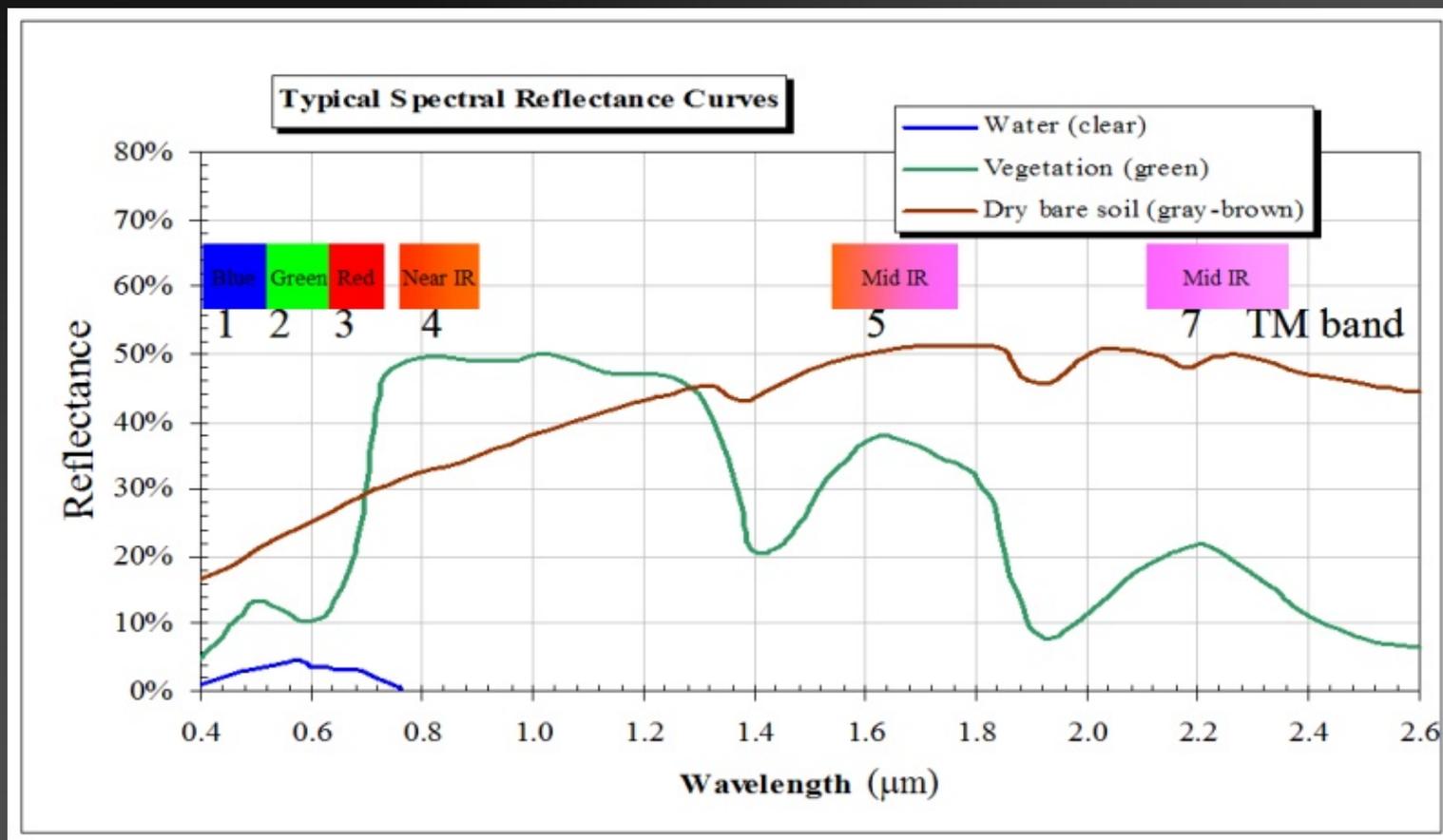
# El Espectro Electromagnético

- Cada material sobre la tierra muestra una fuerza de reflexión en cada longitud de onda cuando es expuesto a energía electromagnética.
- Los sensores a bordo de las plataformas son capaces de “sentir” la fuerza de reflexión y radiación en cada longitud de onda.



# Reflexión espectral de los materiales en la superficie terrestre

- Cada material responde de manera diferente a la energía electromagnética que recibe.

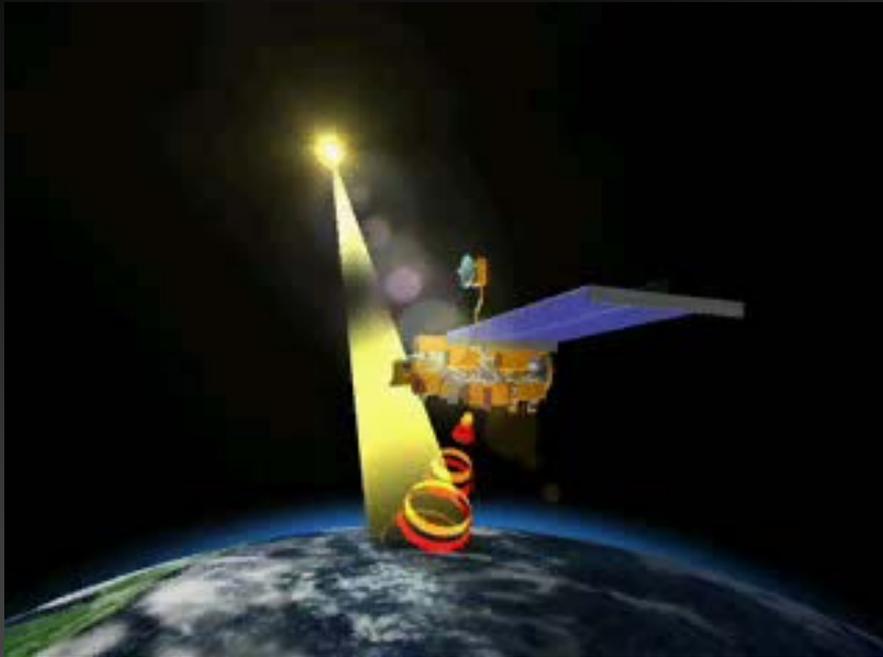


# Orbita Polar Cercana - Satélite TERRA



- Volando a una altura de 705 km, TERRA orbita la tierra cada 98 minutos en una órbita polar cercana. La nave desciende y cruza el ecuador a las 10:30 a.m., que es cuando la obstrucción debido a las nubes es mínima y la visión de la superficie terrestre es la mejor. A la par que TERRA orbita, la tierra también está girando, de tal manera que órbitas adyacentes tienen un cierto desplazamiento en el ecuador. Esto hace que le tome más de un día para llenar estas zonas, de tal manera que el sensor MODIS proveerá una visión general de la tierra cada dos días.

# Adquisición de la Energía (Sensor Remoto Pasivo)



- TERRA observa a la tierra no activamente midiendo la superficie con rayos láser o radares, sino que recibe (remotamente sensa) los fotones reflejados y emitidos hacia el espacio. La luz solar visible que es reflejada por la tierra y el calor que es emitido pasa a través de los sensores de TERRA, donde los fotones son enfocados en detectores especiales para luego transmitir esa información a las estaciones terrenas.

# Cómo un satélite adquiere la información terrestre



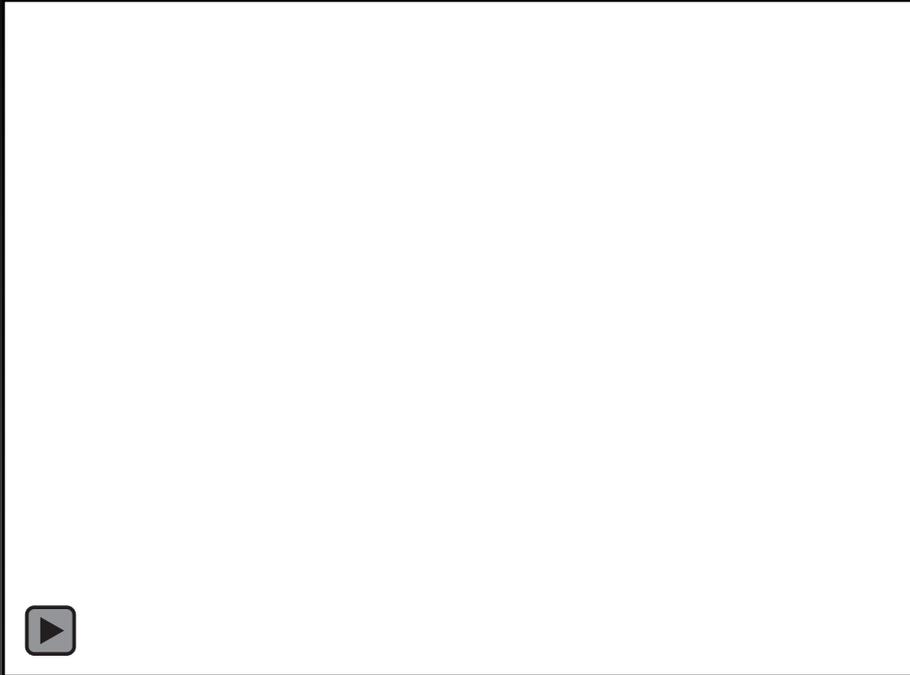
- El satélite TERRA cruza de polo a polo en 98 minutos. Esta animación muestra el sensor MODIS con un ancho de visualización de 2,300 km. Una vez cada dos días estas tomas pueden ser “cosidas” digitalmente y así construir una imagen completa del planeta. El sensor CERES también hará una imagen global cada día, mientras que el sensor MOPITT tiene una cobertura global cada 5 días, MISR producirá una imagen global cada 9 días, y ASTER construirá una imagen detallada de la tierra en un periodo de 5 años.

# Satélite con Órbita Polar

- Satélites con órbitas polares orbitan la tierra de polo a polo pasando a 8 grados de los polos en cada órbita. El plano orbital permanece fijo con respecto al sol, por lo tanto, a este tipo de órbita se le conoce como órbita sol-sincronizada.

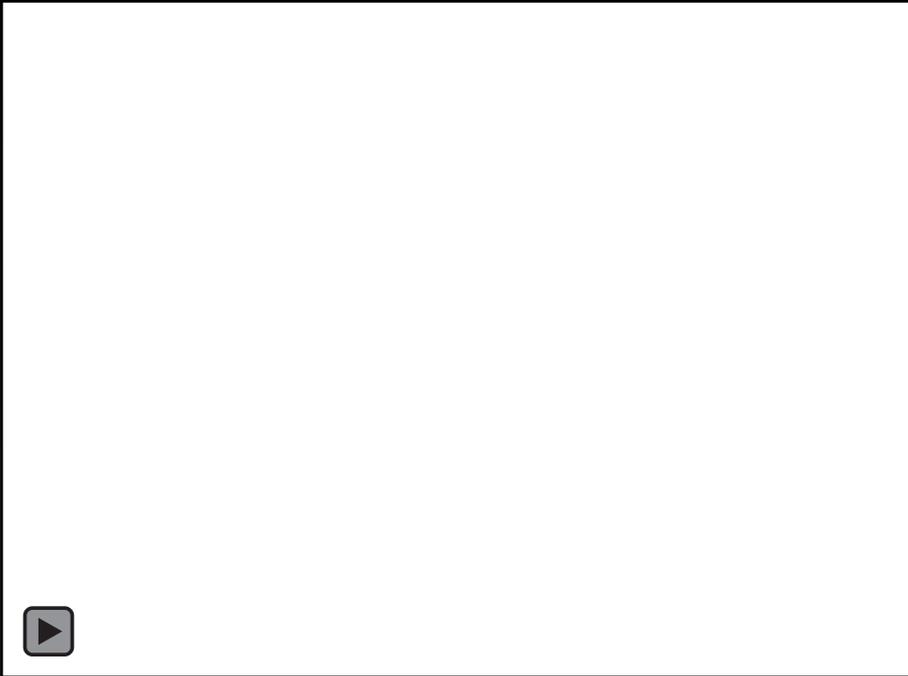


# Construyendo una imagen de la tierra en falso-color



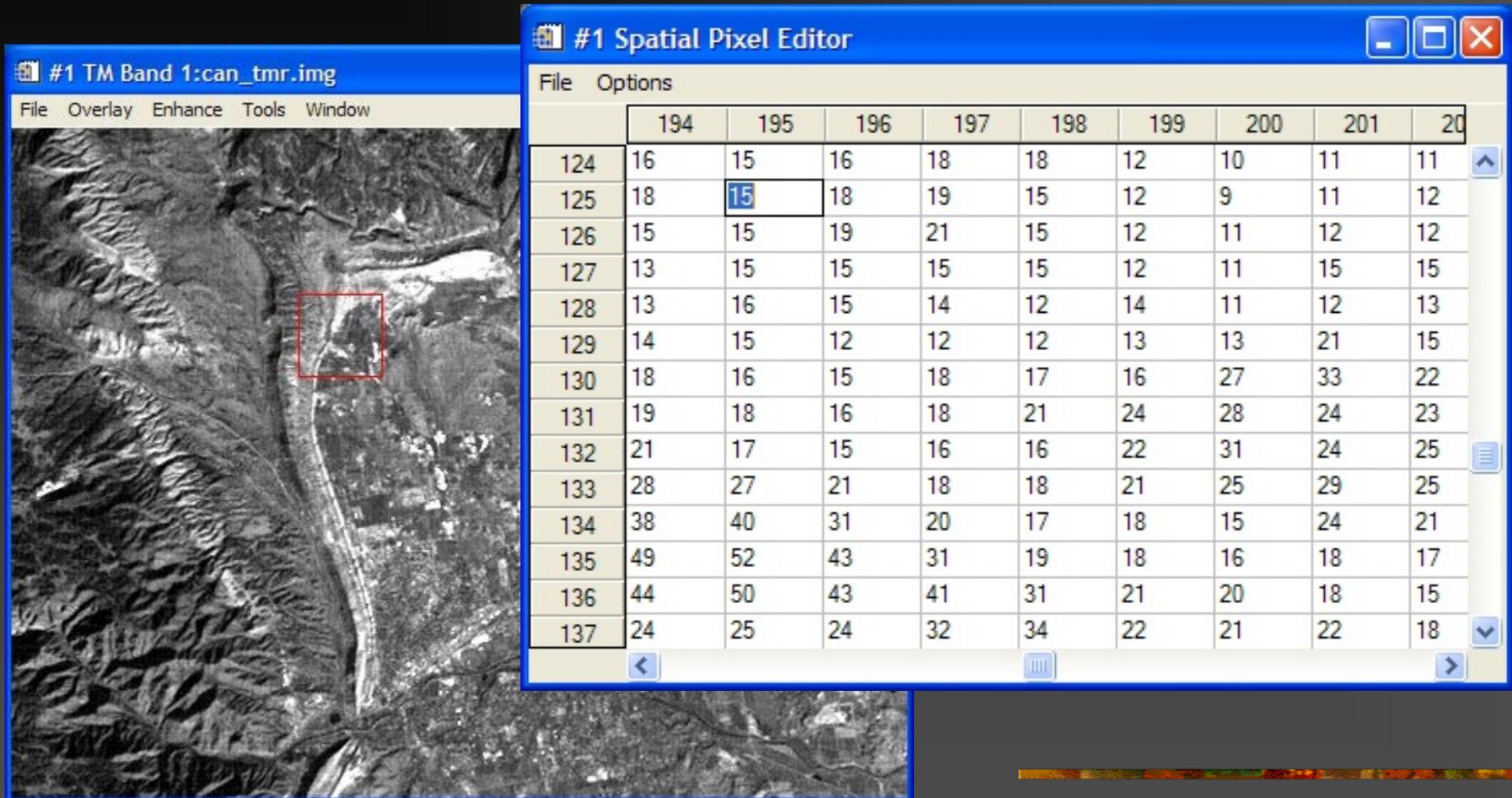
- Los satélites ópticos o pasivos trabajan como una cámara que recibe y detecta la luz solar que es reflejada y el calor emitido desde la superficie terrestre. Pero los sensores tienen la capacidad de “ver” luz infrarroja y calor que los humanos no podemos ver. Para poder interpretar la información satelital se deben asignar colores (rojo, verde y azul) a esas longitudes de onda, de otra manera no podrían ser vistas. A estas imágenes se les llama “imagen en falso-color”. Estas imágenes permiten interpretar parámetros de cambio en la superficie terrestre tales como temperatura de los océanos (imagen superior), cambios en la cobertura terrestre (imagen central) o cambios en la productividad vegetativa (imagen inferior).

# El Satélite ASTER



- Descripción: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) provee imágenes de mediana resolución de la superficie terrestre, cuerpos de agua, hielo y nubes en varias longitudes de onda (visible, onda-corta infrarroja y termal infrarroja)

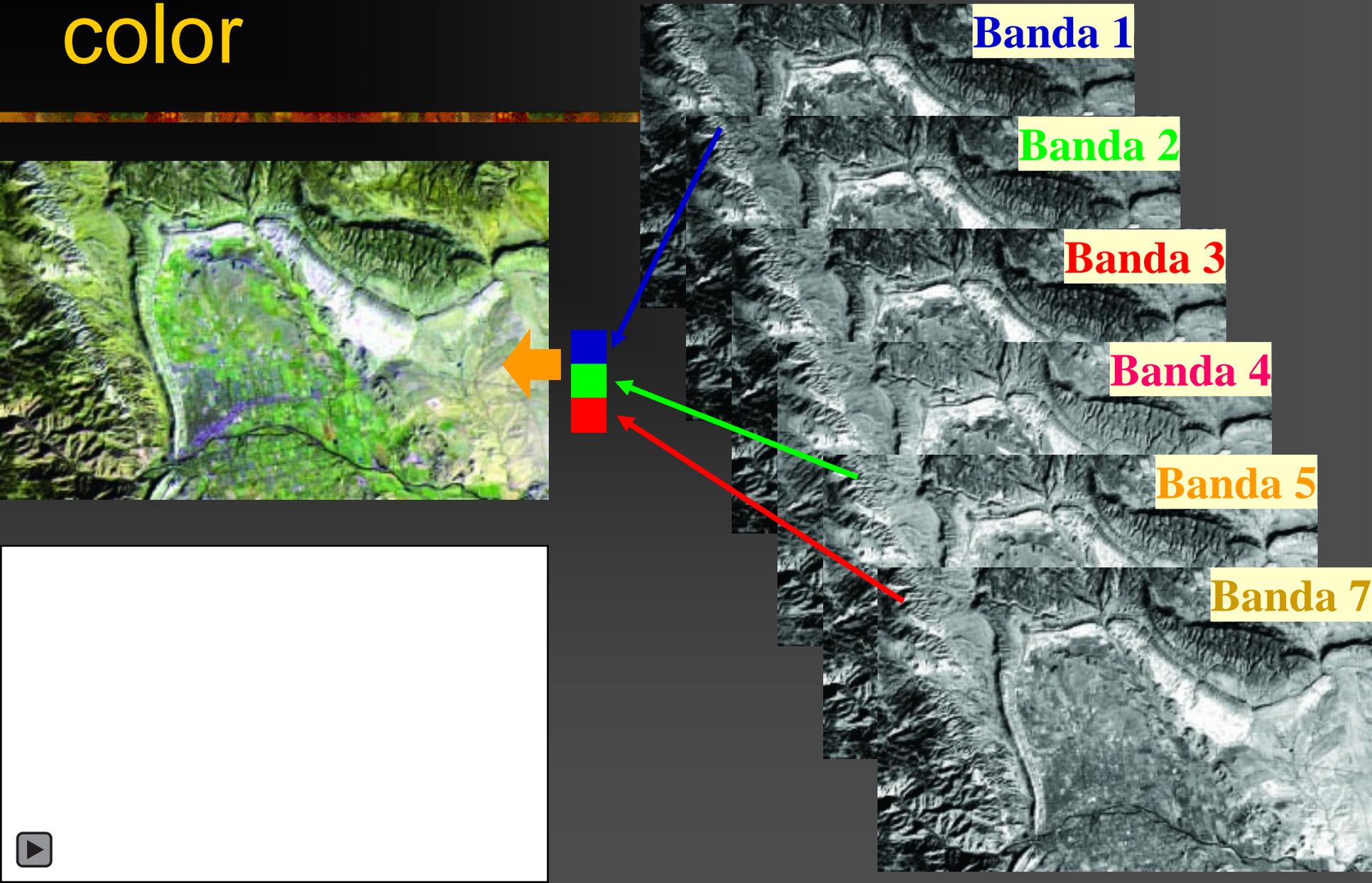
# Información digital de las imágenes satelitales



The screenshot displays a software interface for editing satellite data. On the left, a grayscale satellite image of a river valley is shown with a red rectangular selection box. On the right, a window titled "#1 Spatial Pixel Editor" contains a data table. The table has columns labeled 194 through 201 and rows labeled 124 through 137. The value in the cell at row 125, column 195 is highlighted with a blue border and contains the number 15.

	194	195	196	197	198	199	200	201	202
124	16	15	16	18	18	12	10	11	11
125	18	15	18	19	15	12	9	11	12
126	15	15	19	21	15	12	11	12	12
127	13	15	15	15	15	12	11	15	15
128	13	16	15	14	12	14	11	12	13
129	14	15	12	12	12	13	13	21	15
130	18	16	15	18	17	16	27	33	22
131	19	18	16	18	21	24	28	24	23
132	21	17	15	16	16	22	31	24	25
133	28	27	21	18	18	21	25	29	25
134	38	40	31	20	17	18	15	24	21
135	49	52	43	31	19	18	16	18	17
136	44	50	43	41	31	21	20	18	15
137	24	25	24	32	34	22	21	22	18

# Cómo se forman las imágenes a color

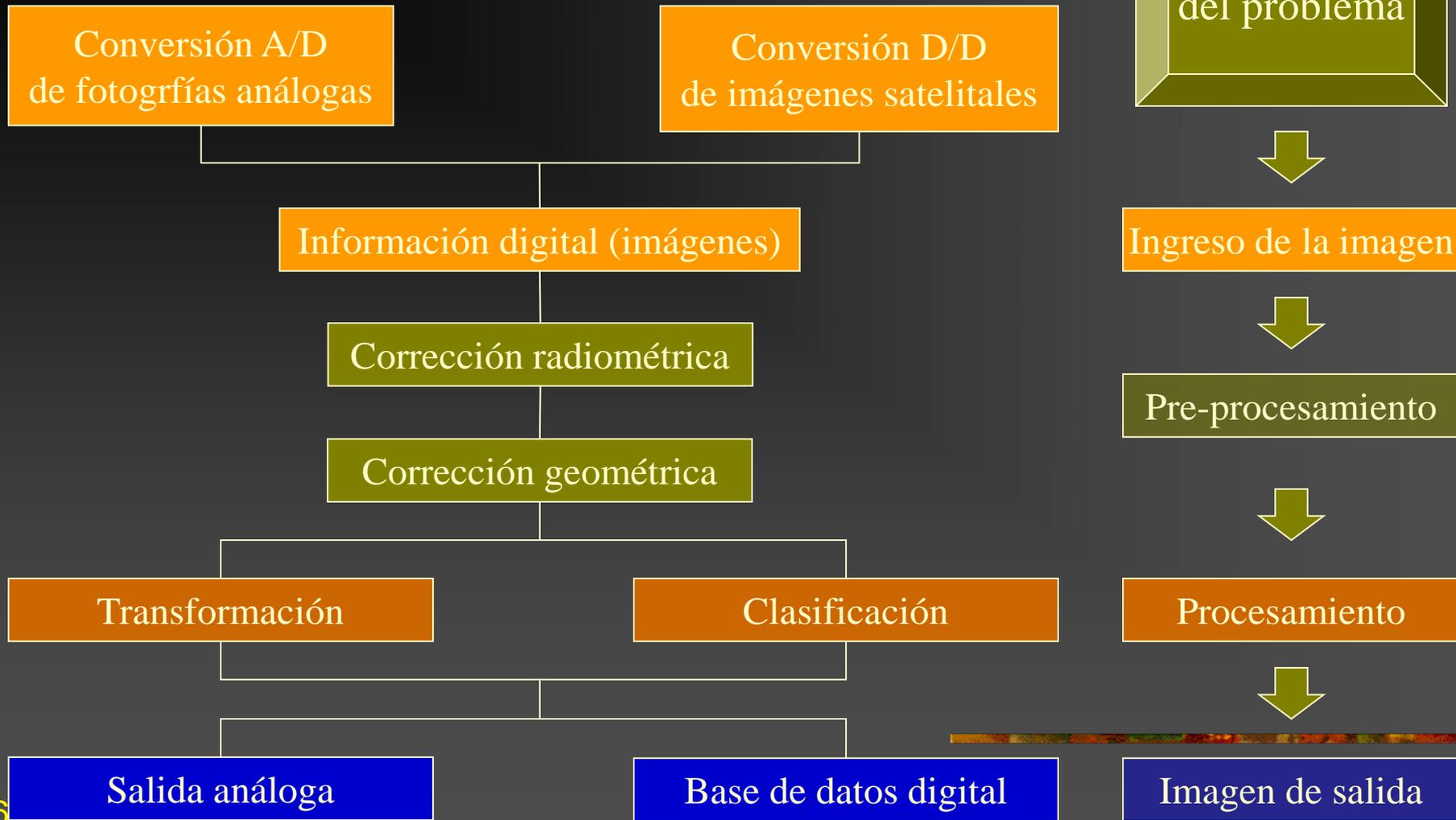


# Extracción de Información

---

- Clasificación (categorización)
  - Detección de cambios (múltiples fechas)
  - Extracción de cantidades físicas (temperatura, elevación)
  - Extracción de índices (vegetación)
  - Identificación de características específicas (caminos, fuentes de agua, zonas de refugio)
-

# Flujo en el procesamiento de imágenes digitales

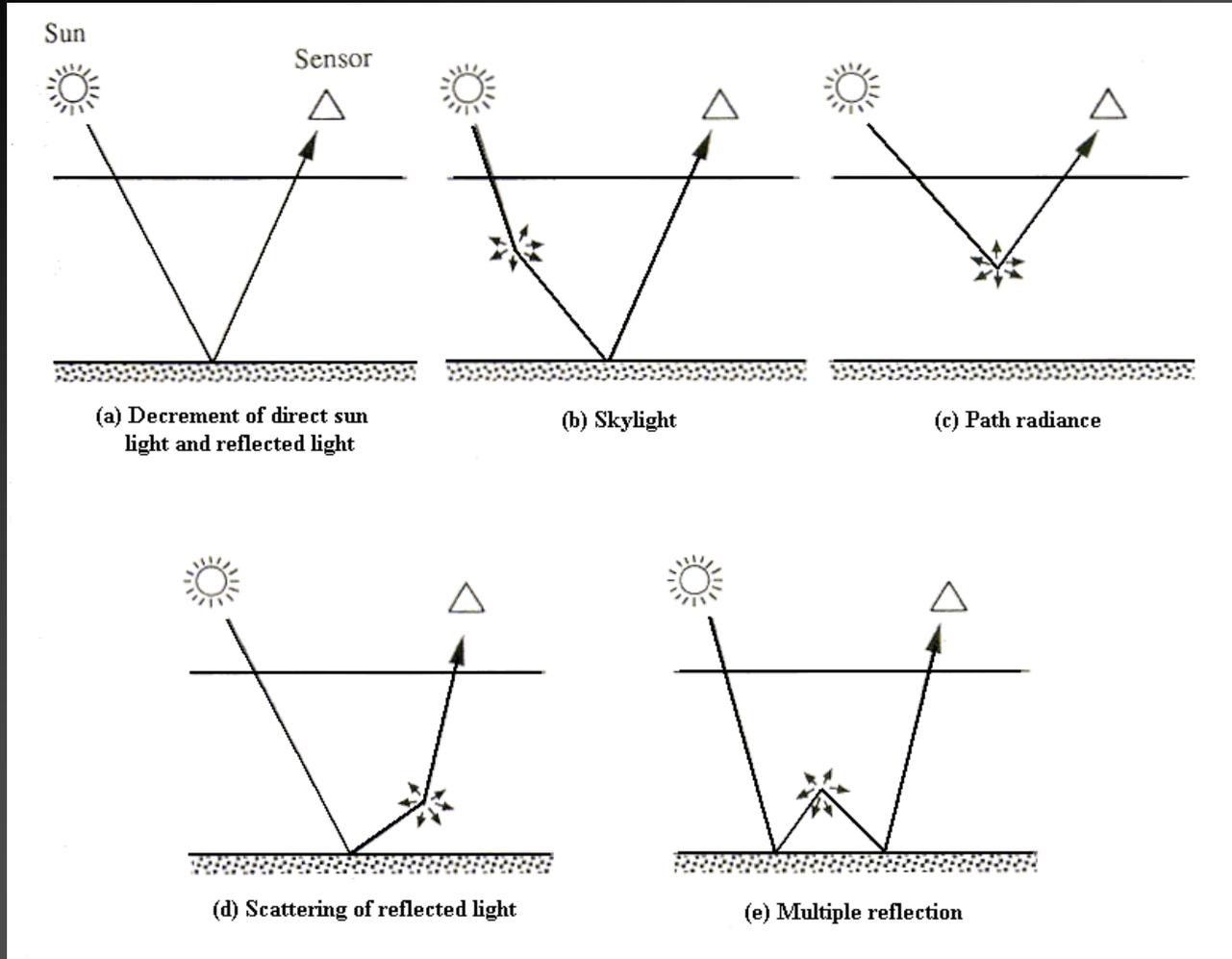


# Correcciones

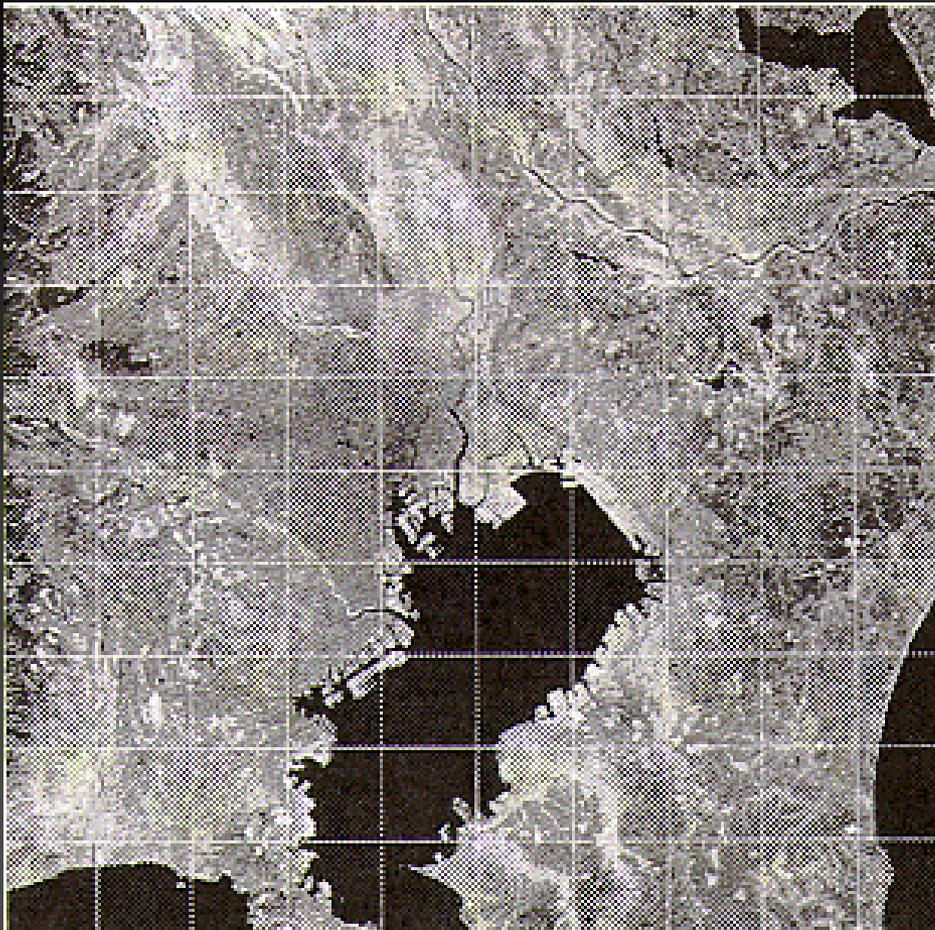
---

- Radiométricas (ángulo de visualización, características del sensor)
- Atmosféricas (ángulo del sol, condiciones atmosféricas)
- Geométricas (puntos de control terrestre, mapas, GIS)

# Correcciones (Efectos atmosféricos)



# Correcciones (geométrica)



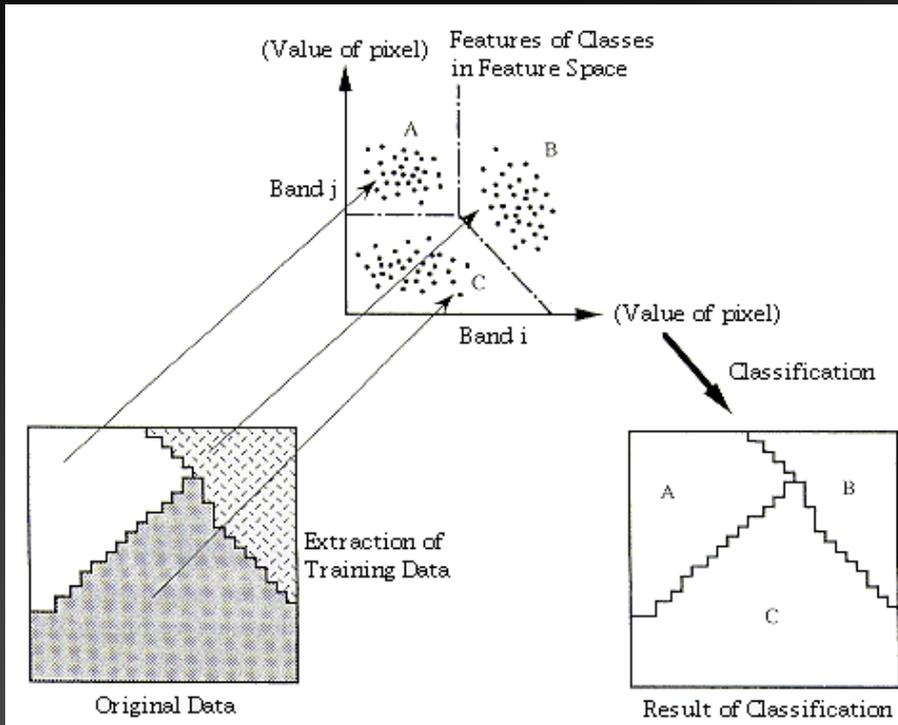
Esta imagen del satélite Landsat ha sido corregida geoméricamente y llevada a un sistema de coordenadas

# Procesamiento de imágenes (1)

---

- Mejoramiento (mejoras de calidad de imagen, color, fusión con alta resolución)
- Extracción de elementos (humanos, no humanos)
- Operaciones entre imágenes (Operaciones aritméticas, ratios, índices, operaciones lógicas)
- Análisis de componentes principales
- Correlación de imágenes

# Procesamiento de imágenes (2)



- Clasificación, es el asignar clases correspondientes a grupos de píxeles con características homogéneas, con el objetivo de discriminar los objetos unos de otros en una imagen.
- La clasificación se basa en las características espectrales de las objetos y en cálculos estadísticos.

# Los Sensores Remotos y los SIG

---

- Los resultados de un análisis de una imagen en la mayoría de los casos deberían estar sobrepuestos en mapas digitales.
  - Hay una integración entre la imagen satelital y la información geográfica
  - Permite hacer preguntas, análisis y evaluación.
  - Actualización de mapas
  - Crear modelos digitales de elevación
-



# Aplicaciones

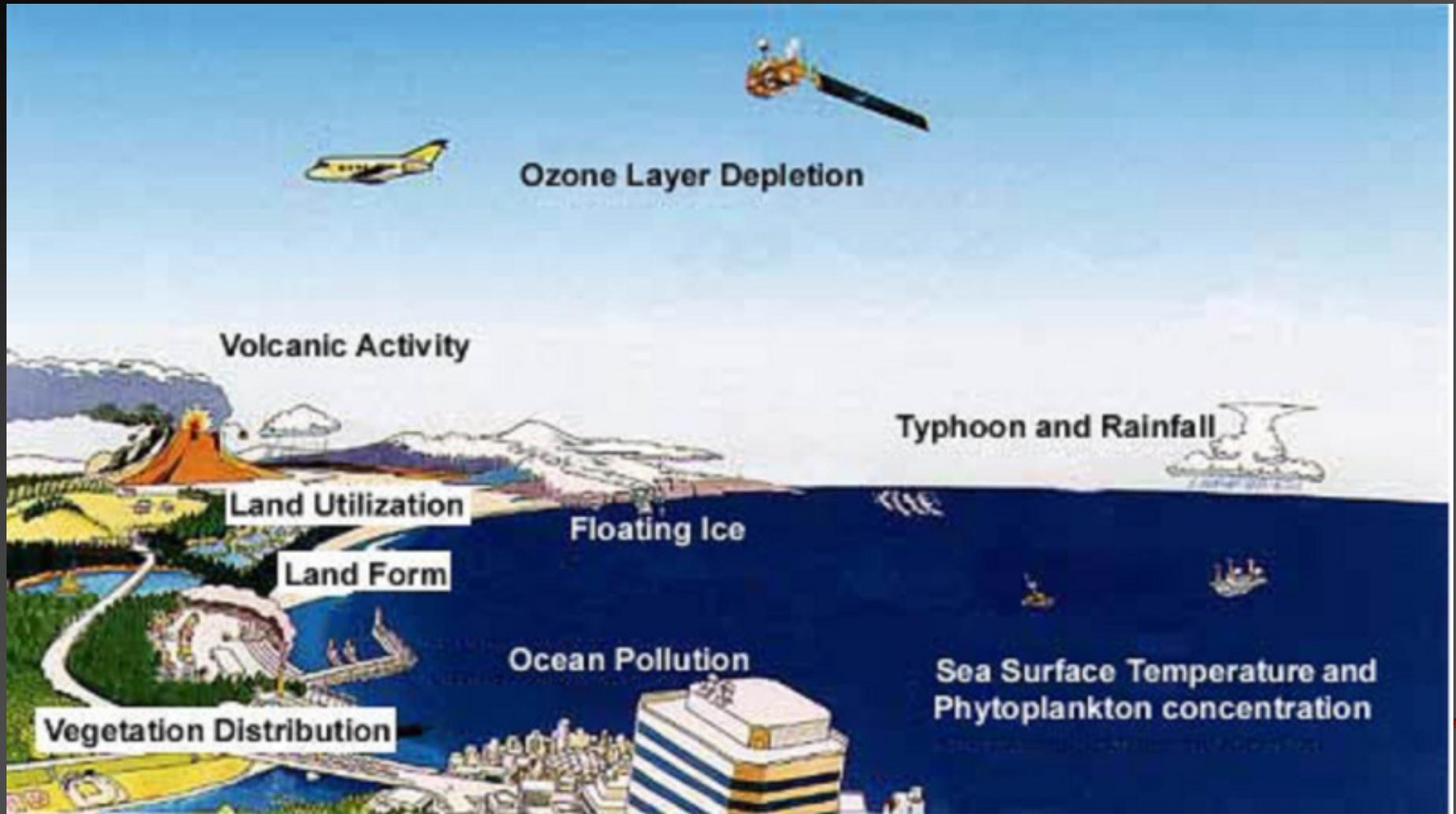
---

# Ventajas del uso de imágenes satelitales

---

- Cubren una gran área de superficie terrestre
  - Se cuenta con información histórica (imágenes pre-evento)
  - Adquisición Periódica (cuarta dimensión)
  - Información espectral (quinta dimensión)
  - Varios satélites (Landsat, ASTER, Spot, etc.)
  - Precio razonable de la información
-

# ¿Qué se puede “ver” con los sensores remotos?



# Diferentes Resoluciones



**Moquegua  
Landsat, 30m**

# Diferentes Resoluciones



**Moquegua**  
**Landsat, 15m**

# Diferentes Resoluciones



**Moquegua  
Ikonos, 1m**

# Diferentes Resoluciones



**Moquegua  
Ikonos, 1m**

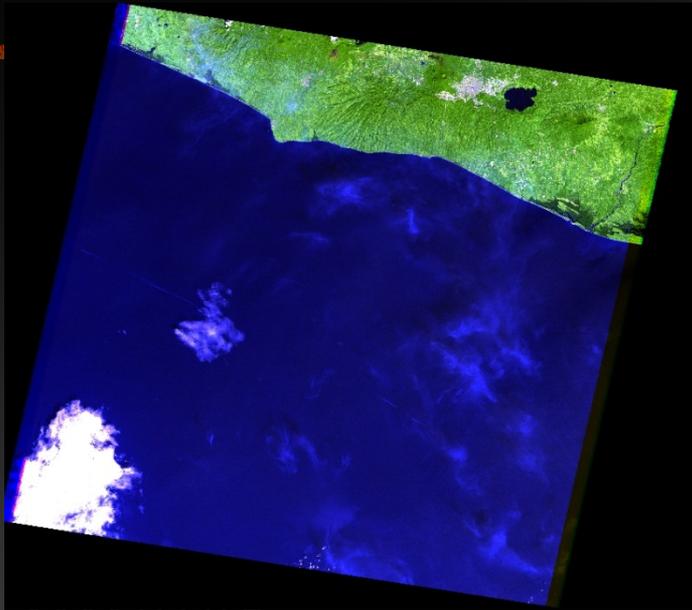
# Detección de Obstrucciones en Carreteras producidas por el Terremoto de El Salvador



- Fecha: Enero 13, 2001 a las 11:33 AM (tiempo local)
- $M_w = 7.6$
- Epicentro: 12.83oN, 88.79oW
- Fatalidades: 944 muertos y 5,565 heridos
- Daño: 1,155 edificios públicos y 169,692 casas dañadas
- 108,261 casas destruidas
- Deslizamientos: 445 (688 casas enterradas)

# Datos analizados

Antes



2000/11/15

Después

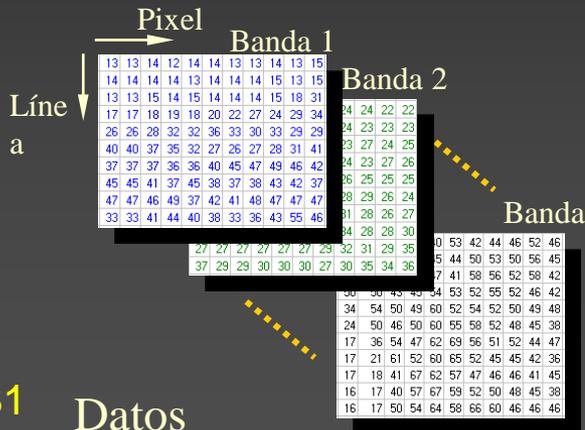


2001/02/19



2001/01/13

Evento: Terremoto de El Salvador del 13 de enero, 2001

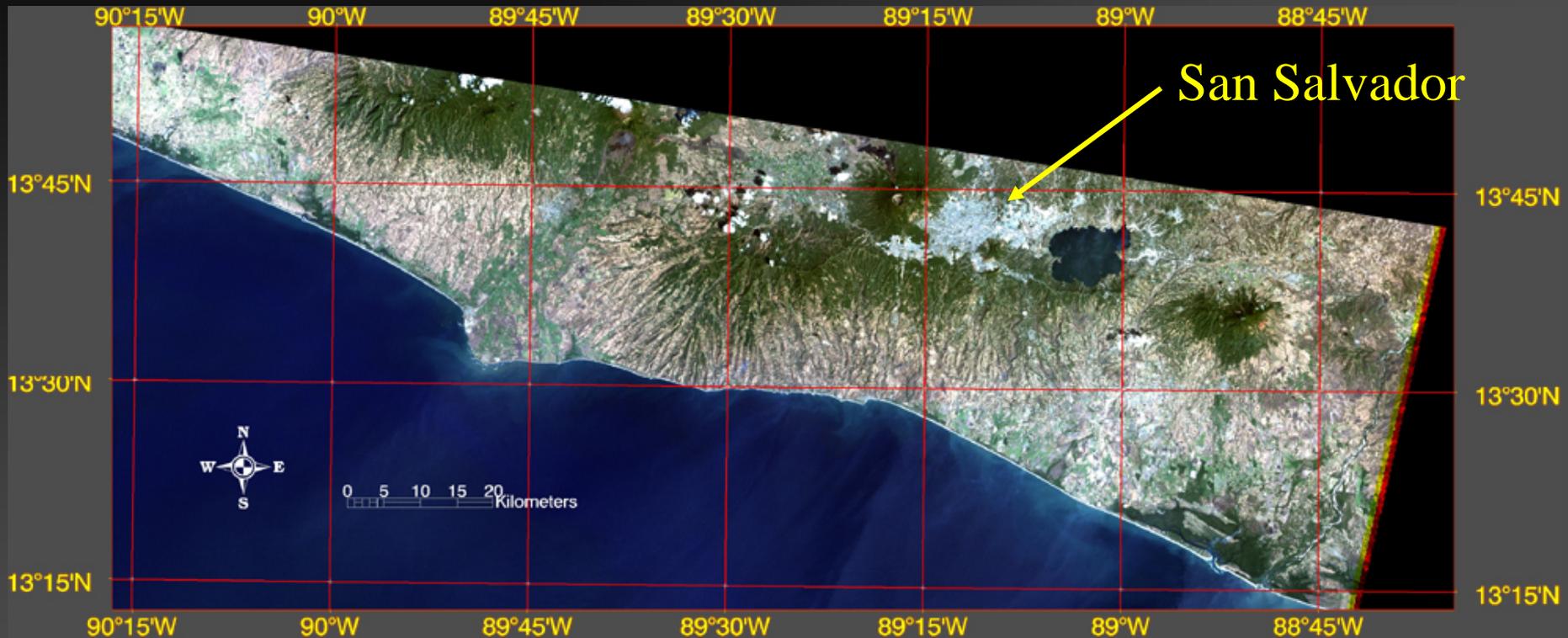


- Dos juegos de imágenes: pre y post-evento.
- Tamaño de la imagen: 185 Km. x 170 Km.

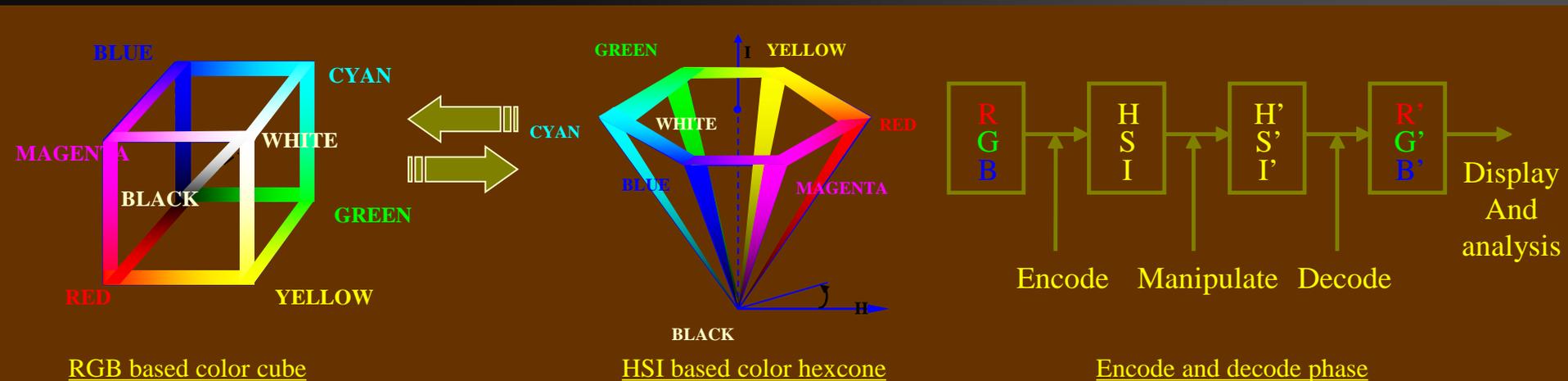
# Bandas del Satélite Landsat/7 ETM+

Número de Banda	Rango Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolución terrestre (m)
1	0.450 a 0.515	30
2	0.525 a 0.605	30
3	0.630 a 0.690	30
4	0.750 a 0.900	30
5	1.550 a 1.750	30
6	10.40 a 12.50	30
7	2.090 a 2.350	30
8 (Pancro.)	0.520 a 0.900	15

# Imagen pre-evento (3 – 2 – 1)



# Mejoramiento de la imagen



- La banda pancromática es usada en lugar de la intensidad para el mejoramiento de la imagen (mejoramiento de la resolución).

# Mejoramiento de la imagen



Imagen sin procesar (bands: 3, 2, 1)



Imagen mejorada

# Identificación de deslizamientos



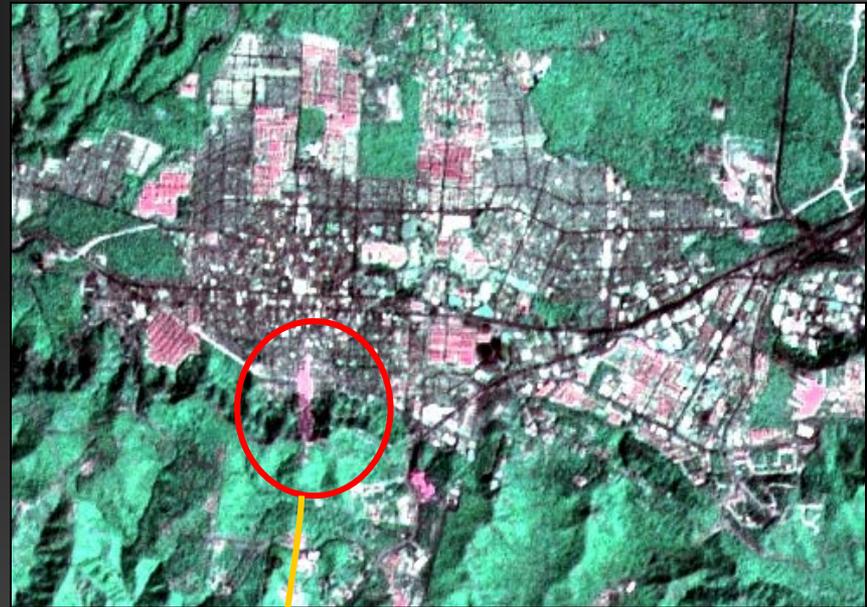
Las Colinas en Nueva San Salvador

# Identificación de deslizamientos

Las Colinas at Nueva San Salvador



Pre-evento



Post-evento

- Emparejamiento de los Histogramas
- Imágenes Pre- y Post-evento son unidas



# Estimación de pérdidas



Al sobreponer un mapa de la ciudad de Santa Tecla sobre la imagen satelital, donde aparece el deslizamiento, es posible estimar la extensión del daño en las vías de transporte o en los bloques o manzanas de casas que han sido afectados (enterrados) y así establecer un plan de reconstrucción, habilitación de vías principales y ayuda.

# Identificación de deslizamientos

La Leona – Pan American Highway

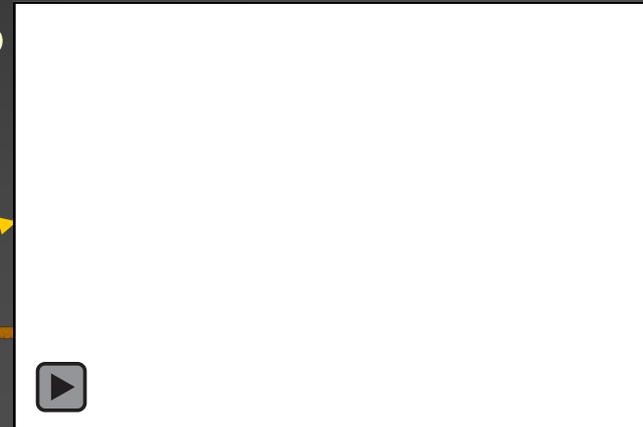


Pre-evento



Post-evento

- Emparejamiento de los Histogramas
- Imágenes Pre- y Post-evento son unidas



# Trabajos de Reparación



# Detección Automática de Deslizamientos

- Uso de imágenes del sensor ASTER
- Metodología:
  - Corrección atmosférica (DOS)
  - Corrección geográfica (registro imagen-a-imagen)
  - Cálculo del índice NDVI
  - Diferencia de las nuevas imágenes
  - Determinación de límites
  - Detección de deslizamientos

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

# Nueva San Salvador

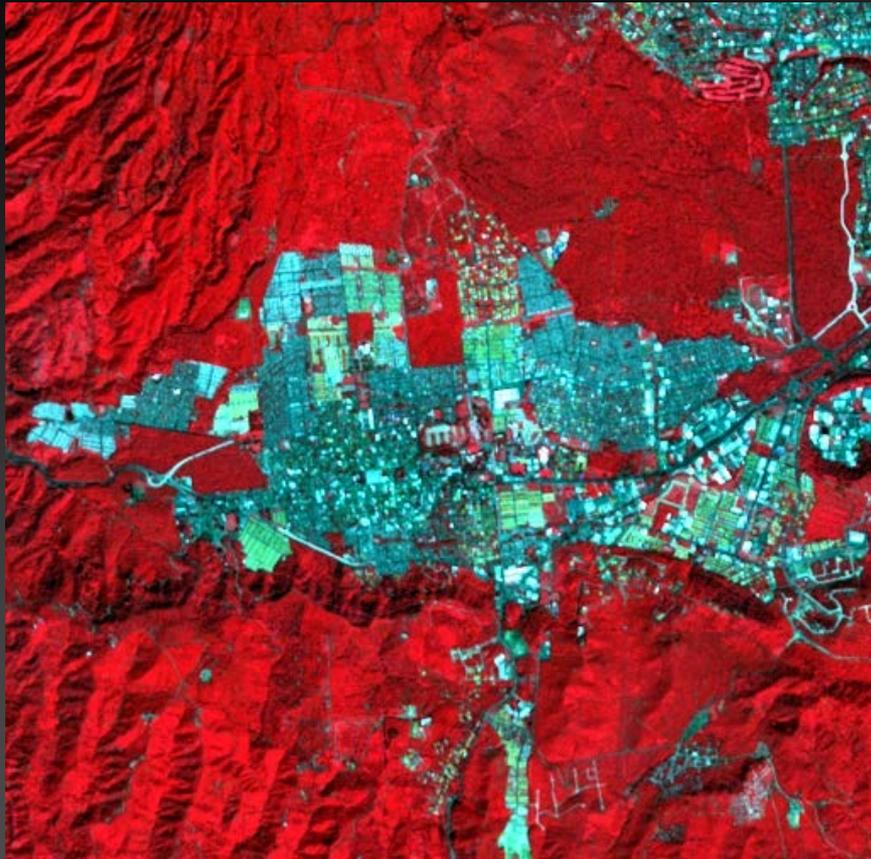
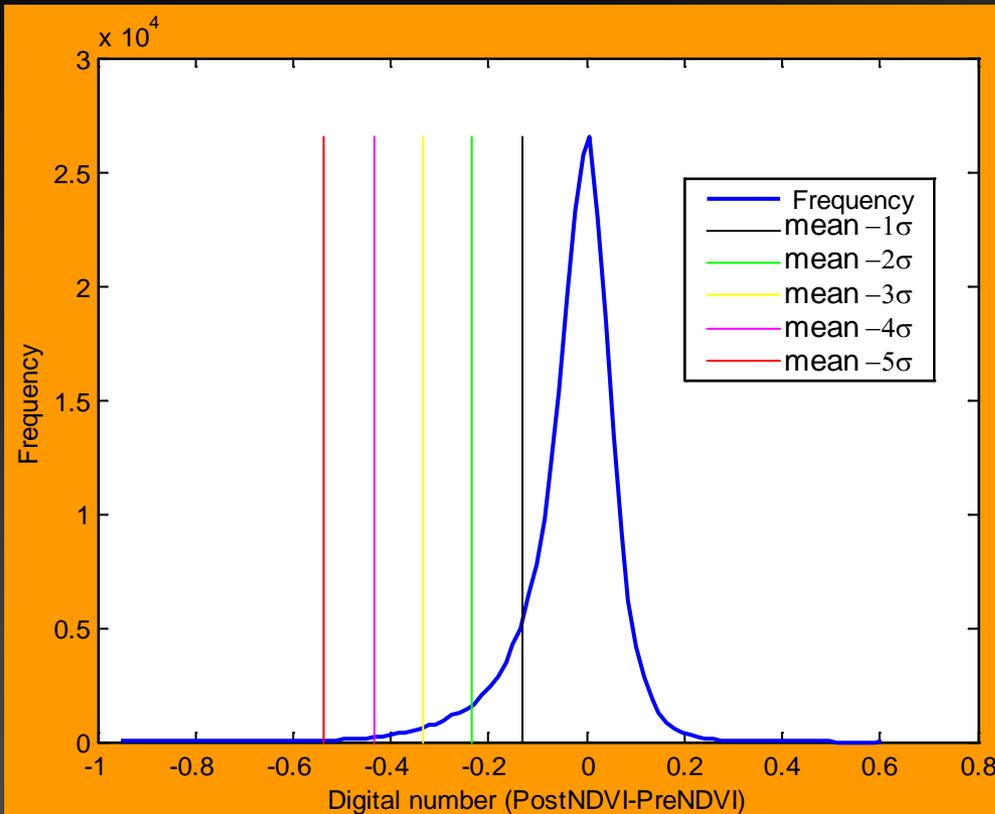


Imagen pre-evento

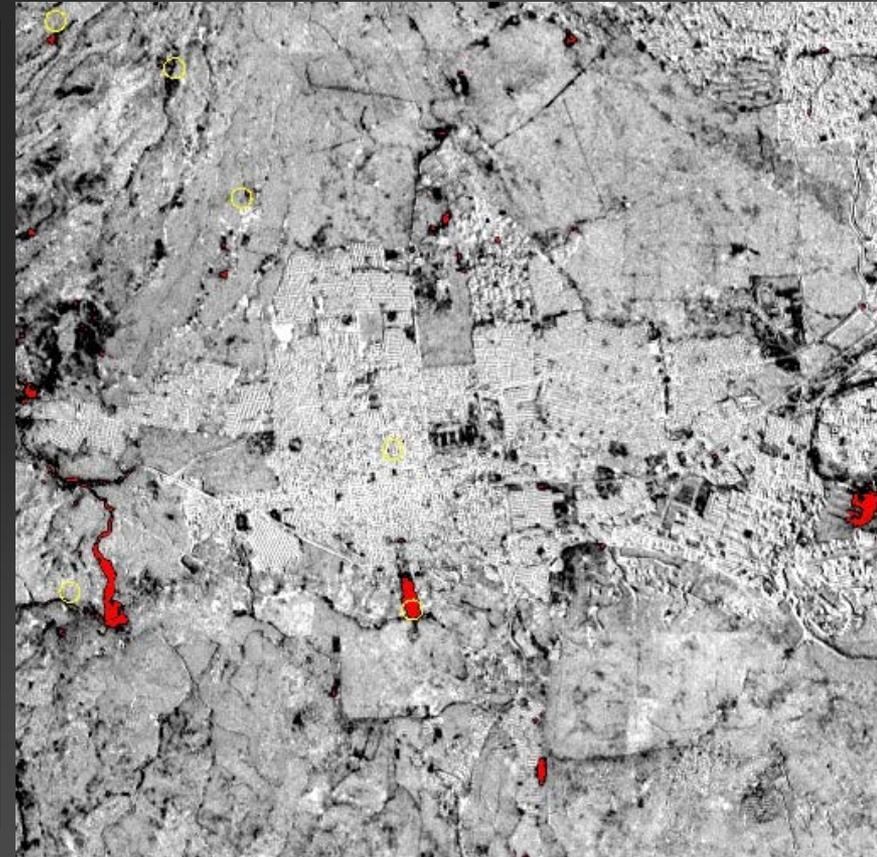


Imagen post-evento

# Identificación de deslizamientos



Histograma de la diferencia de NDVI



Ubicación de los deslizamientos identificados, nivel de diferencia  $\mu-5\sigma$ .

# Identificación de deslizamientos (uso del diagrama de dispersión)

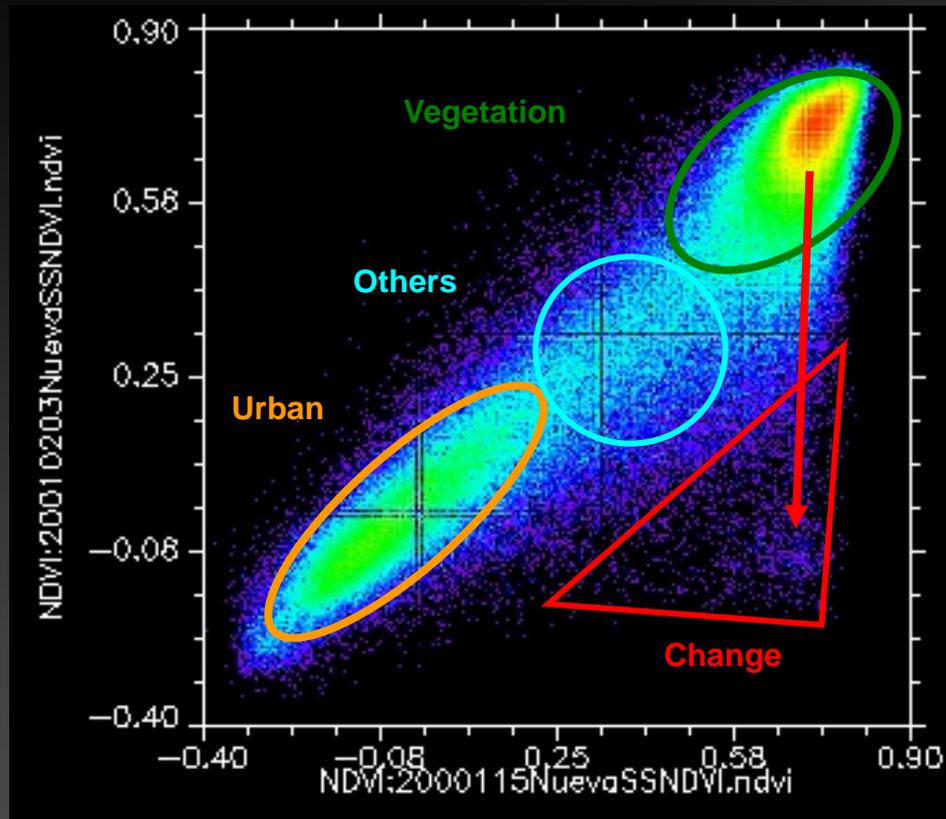


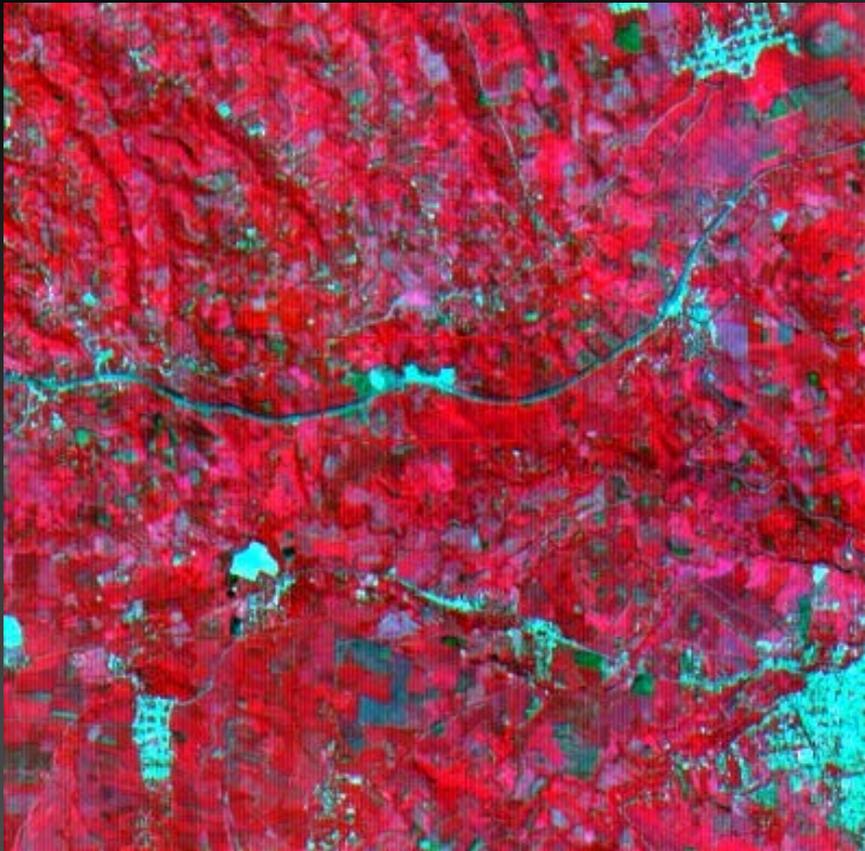
Diagrama de dispersión de las imágenes  
NDVI antes y después del terremoto

Identificación de deslizamientos, píxeles  
correspondientes al triángulo rojo.

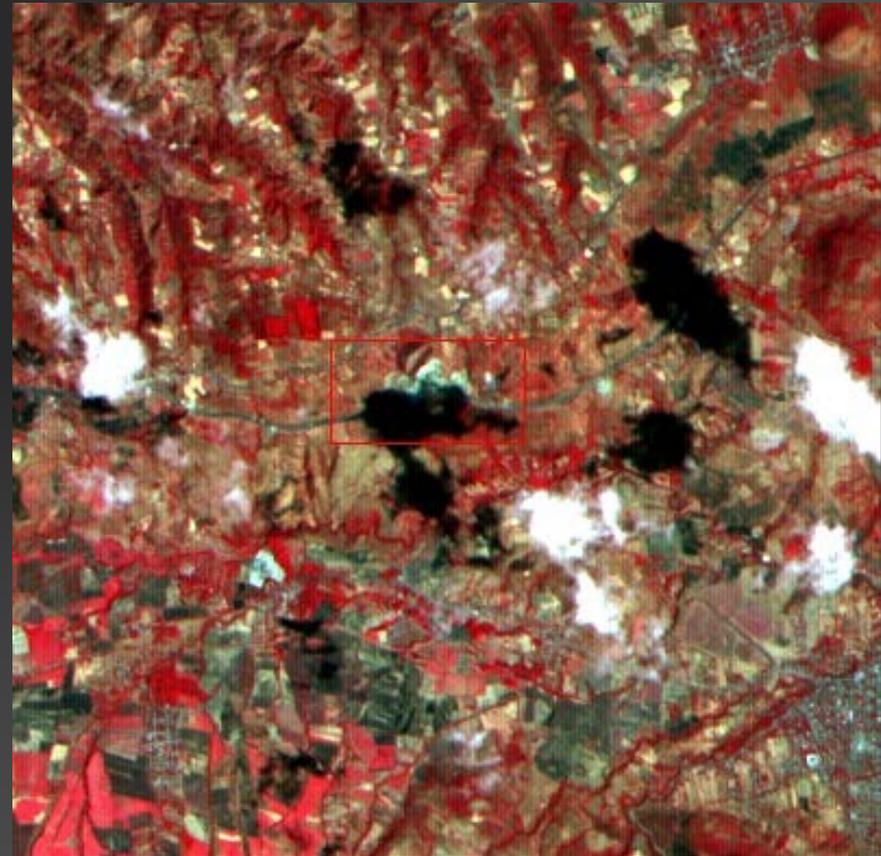
# Deslizamientos Detectados



# Problemas de Obstrucción



2000-07-19



2001-02-19

# Conclusiones

---

- Gracias a la capacidad de cubrir un gran área, las imágenes satelitales son una muy buena fuente de información para los estudios de detección de cambios sobre la superficie terrestre.
  - La información espectral contenida en estas imágenes dan una dimensionalidad adicional para esta clase de estudios.
  - La periodicidad en la adquisición de datos asegura una comparación en el tiempo.
-