

Percepción Remota y Procesamiento de Imágenes

Se entiende como el o los procesos para extraer información a partir de una imagen generada por sensores. Cuando los sensores están alejados considerablemente del objeto, hablamos de percepción remota.

Una **IMAGEN** es una representación digital de un objeto.

El SENSOREAMIENTO REMOTO o Percepción Remota es la adquisición de datos sobre un objeto o escena por medio de un sensor que está alejado del mismo. Las fotografías aéreas, imágenes satelitales y radar son ejemplos de datos provenientes de sensores remotos.

Las imágenes provenientes de sensores remotos son representaciones digitales de la tierra.

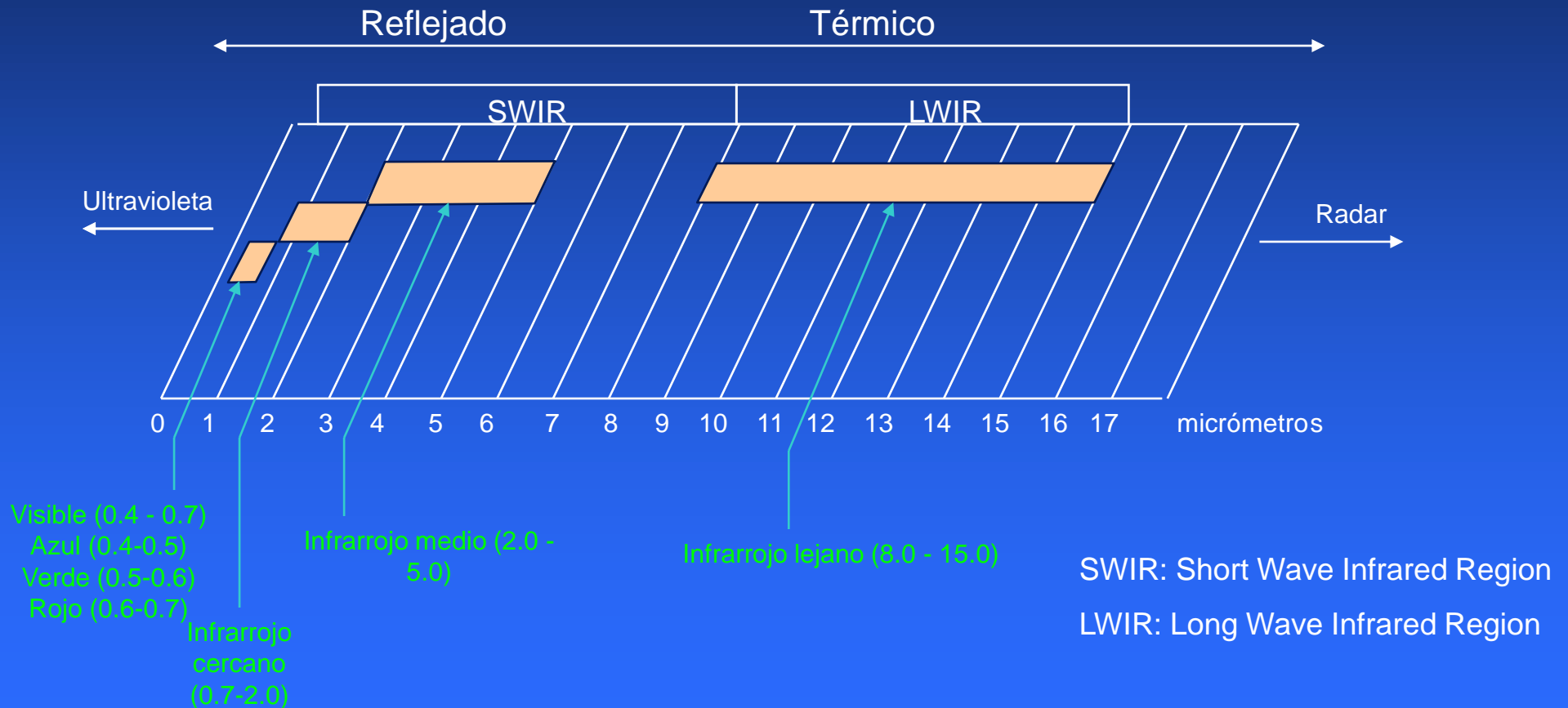
La mayoría de los sensores remotos usualmente registran **Radiación Electromagnética (EMR)**, que es energía transmitida a través del espacio en forma de ondas eléctricas o magnéticas.

Estos sensores detectan longitudes de onda específicas del **Espectro Electromagnético**.

Cada elemento del terreno absorbe ciertas ondas del espectro electromagnético, dando así una señal (o firma - **SIGNATURE**) específica de radiación electromagnética.

Otros sensores registran microondas

Espectro Electromagnético



Cuando la radiación interactúa con los elementos del terreno, algunas longitudes de ondas son absorbidas y otras reflejadas, según el tipo de elemento.

Por esta razón, para poder mejorar e interpretar la imagen es necesario conocer cómo dichos elementos reflejan y absorben la radiación.

Al estudio de esta interacción de las ondas EMR se le llama ***Espectroscopia***

Selección de canales o bandas según propiedades físicas - Ejemplo LANDSAT TM

Banda 1 (azul)

Estudio de aguas, discriminación entre suelos y cuerpos de agua.

Banda 2 (verde)

Vegetación

Banda 3 (rojo)

Medición de absorción de clorofila, buena discriminación ente coberturas vegetales.

Banda 4 (NIR - infrarrojo cercano)

Biomasa

Selección de canales o bandas según propiedades físicas - Ejemplo LANDSAT TM

Banda 5 (MIR - infrarrojo medio)

Indicador de cantidad de agua en la vegetación

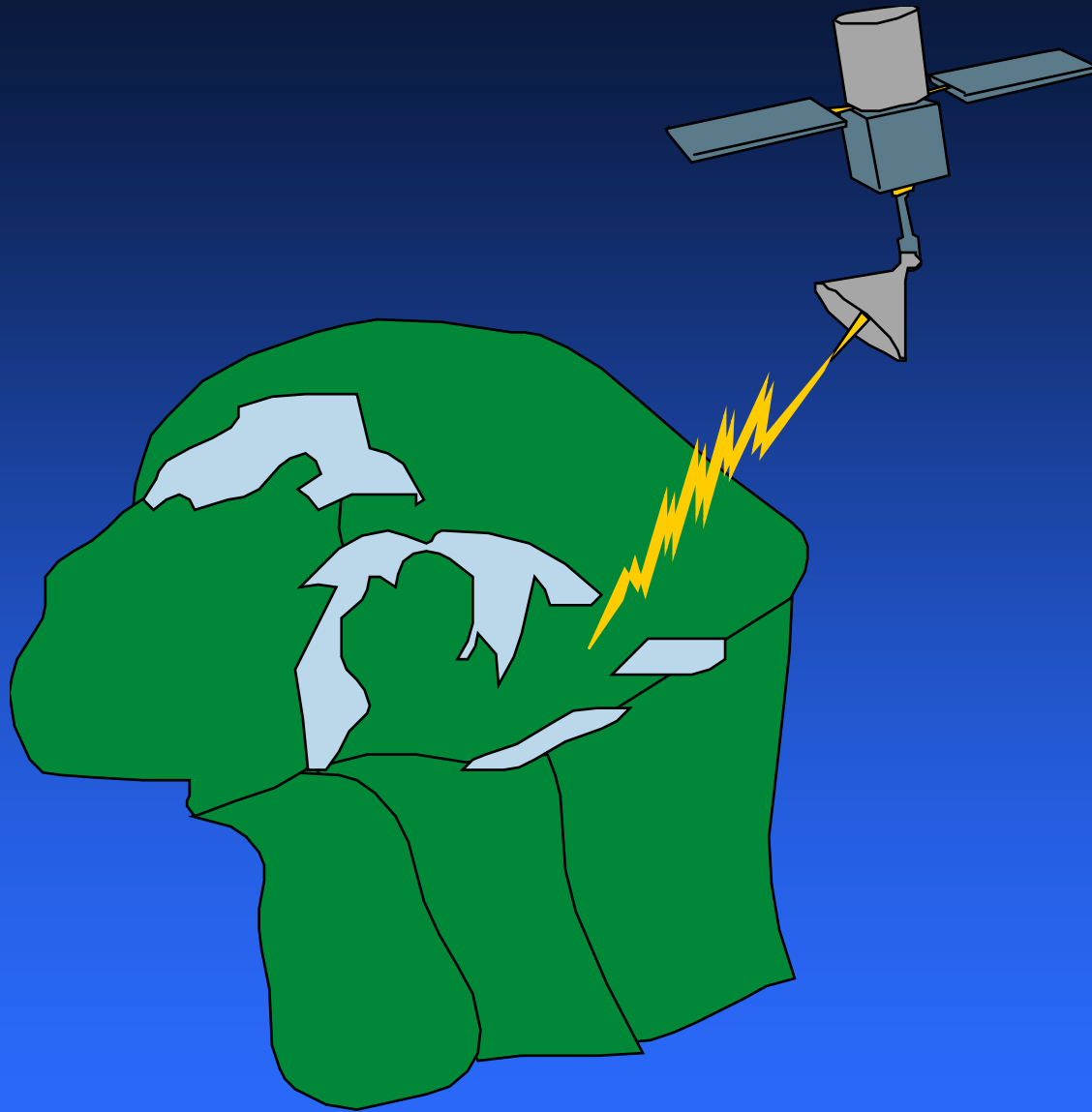
Indicador de humedad de suelos

Banda 6 (infrarrojo lejano)

Incidencia hídrica, humedad de suelos, mapas térmicos.

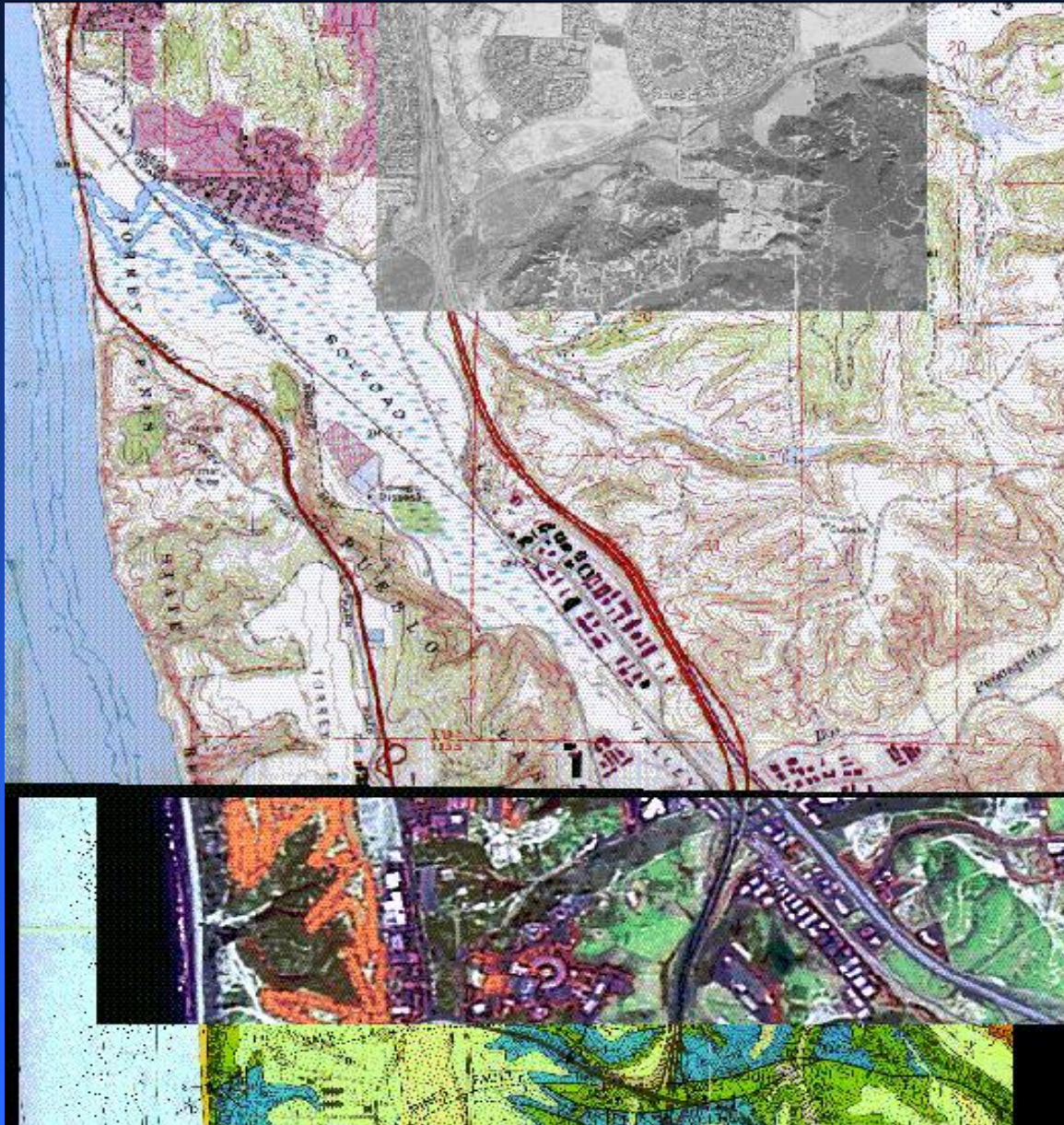
Banda 7(MIR)

Discriminación entre tipos de rocas, geología

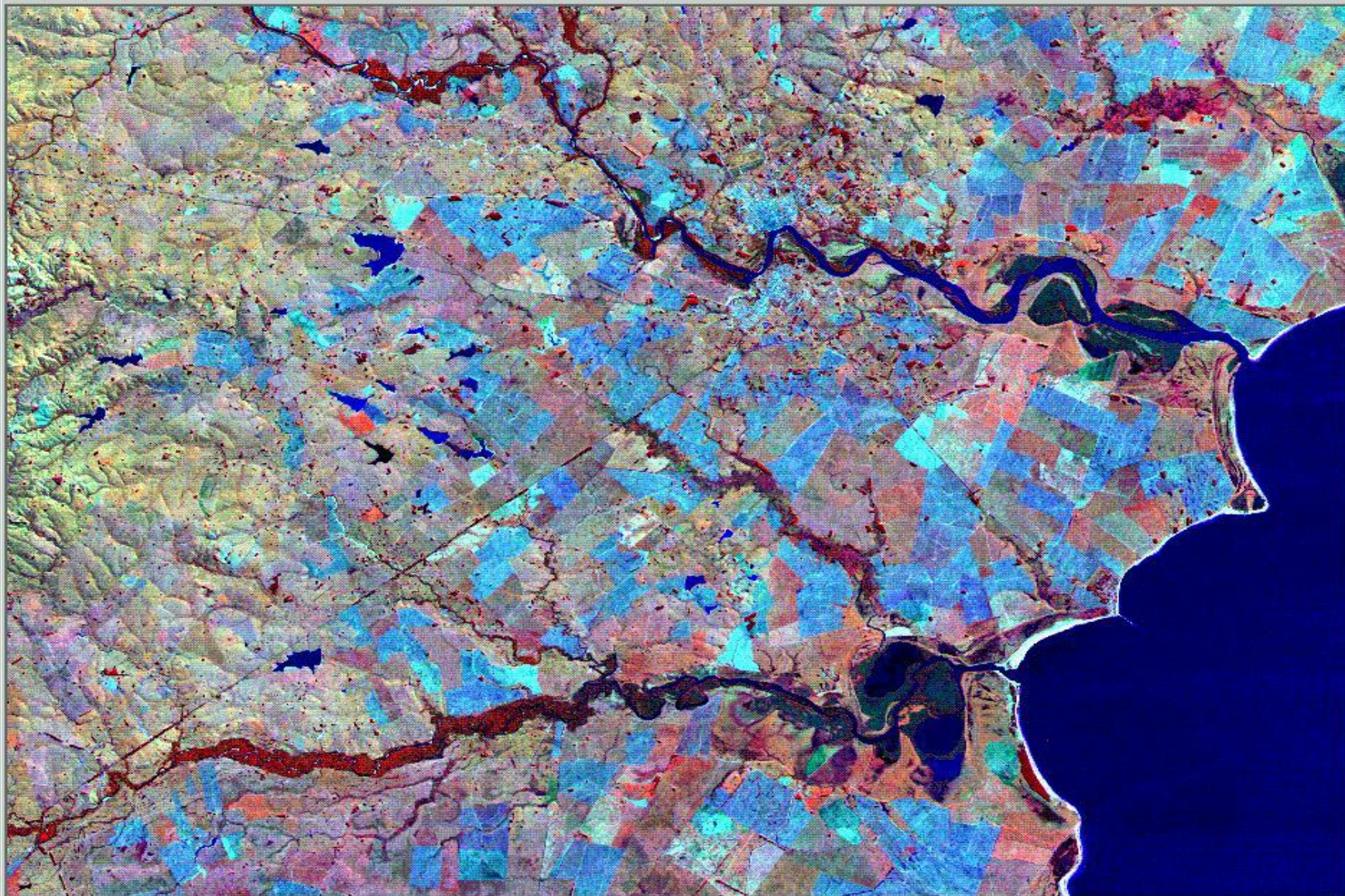
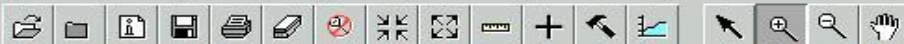


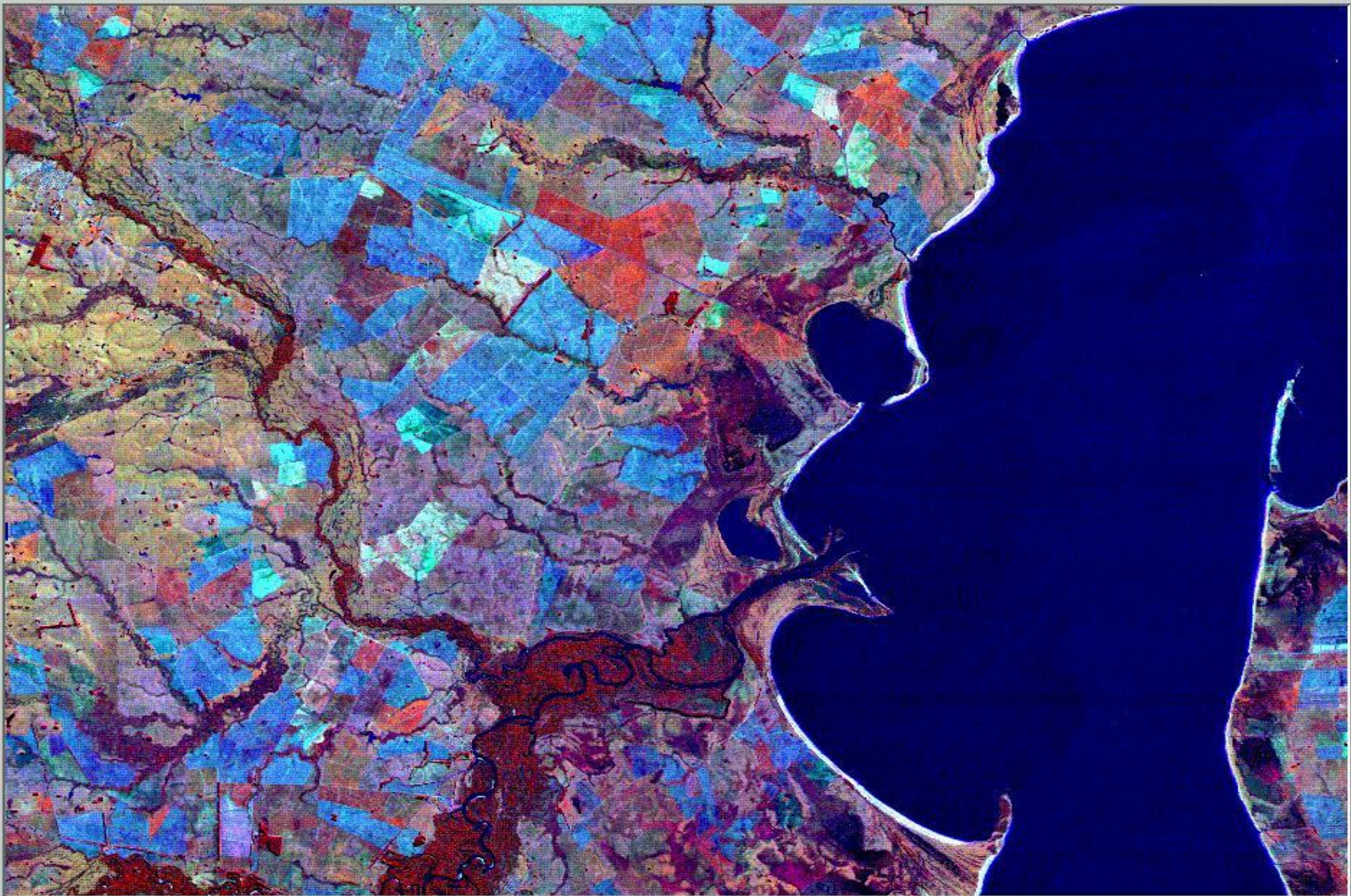
- Tormentas
- Variación Rendimientos
- Humedad Suelos
- Infecciones
- Daños por Vientos
- Variaciones Suelos
- Resultados Aplicaciones
- Imágenes Referencia
- Aparición Enfermedades
- Respuesta Cultivos
- Efectos Riego

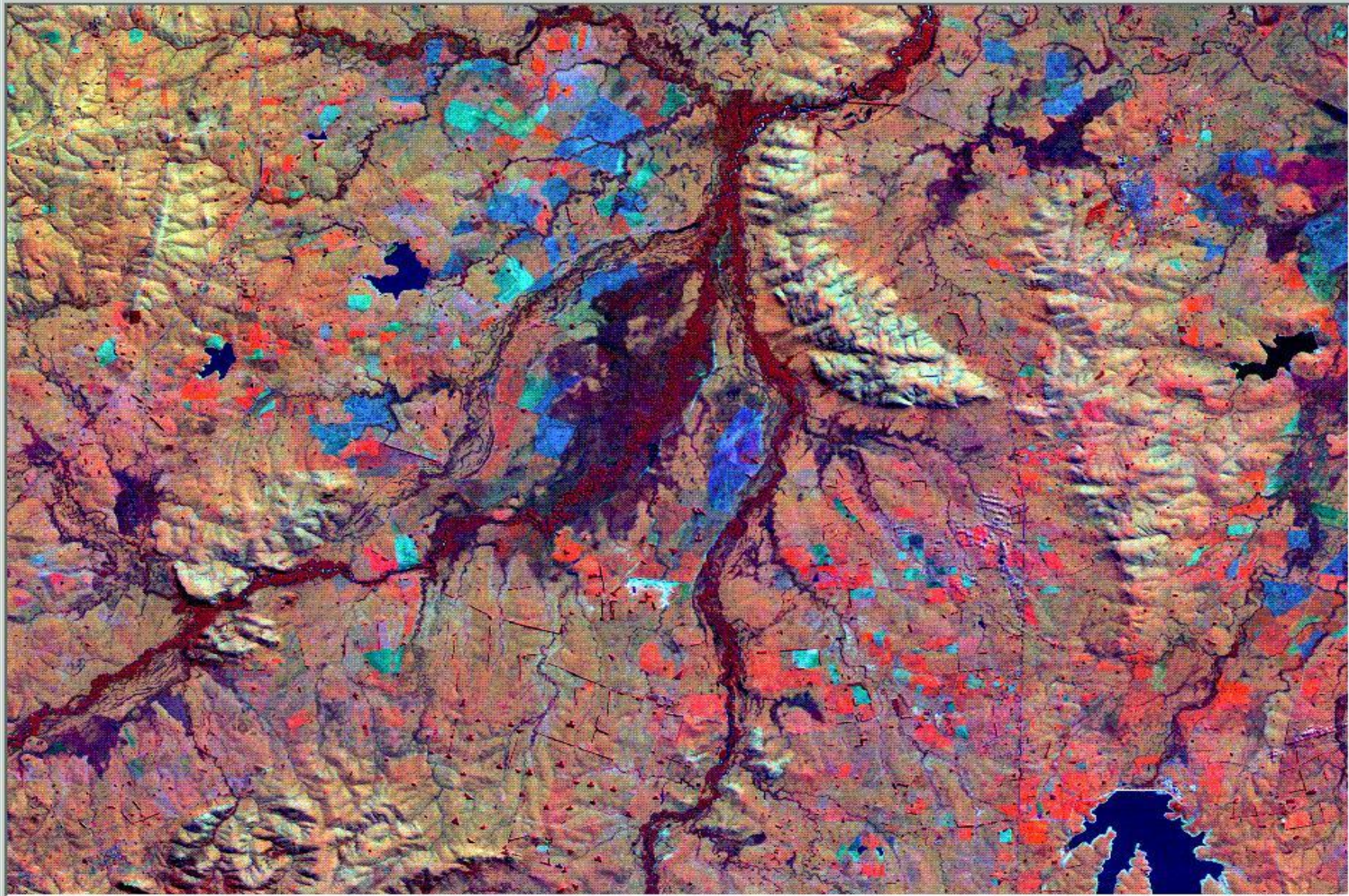
Hasta 1 metro resolución

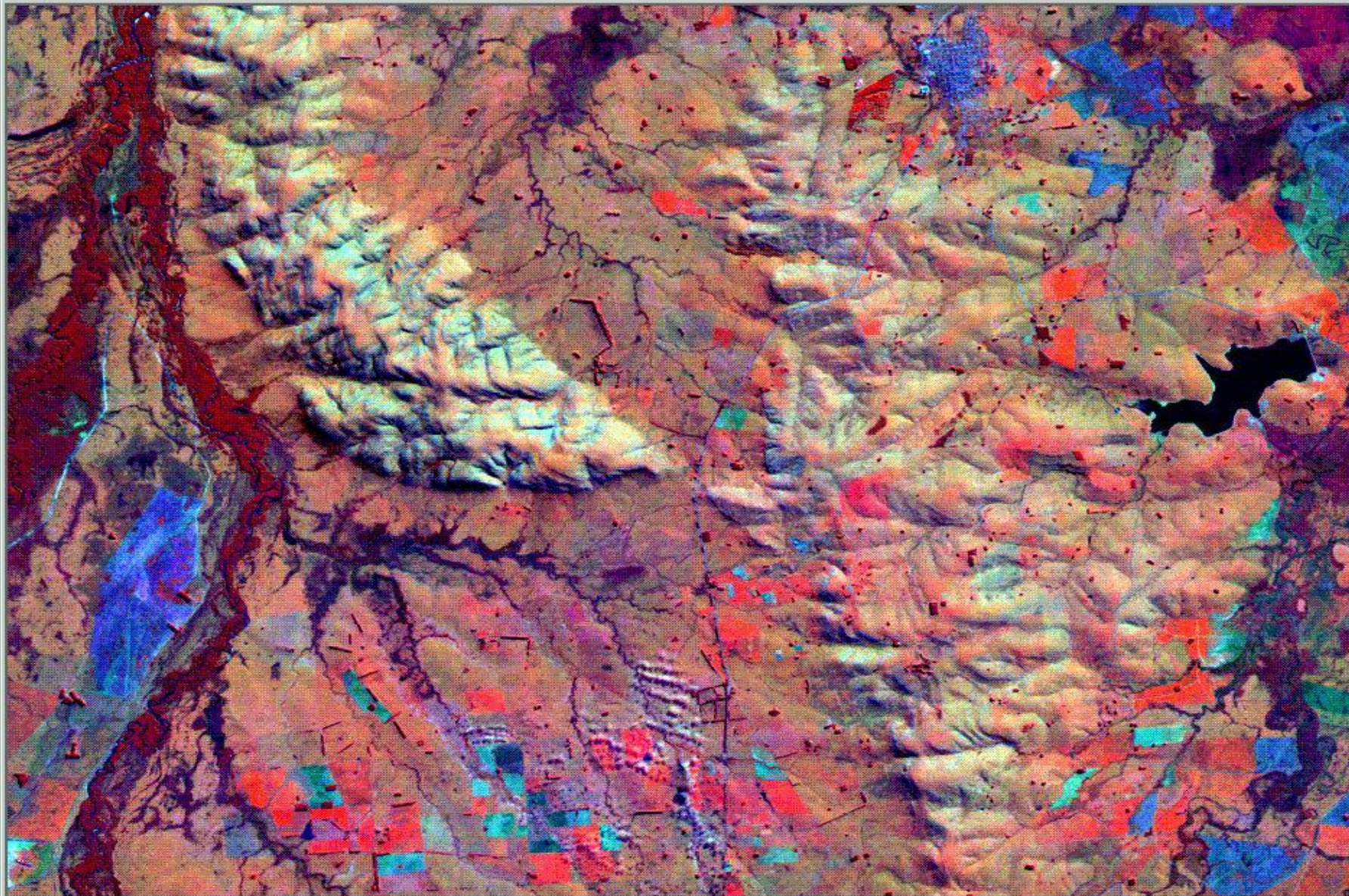


**Ejemplos de
Aplicaciones
de SIG y
Percepción
Remota**



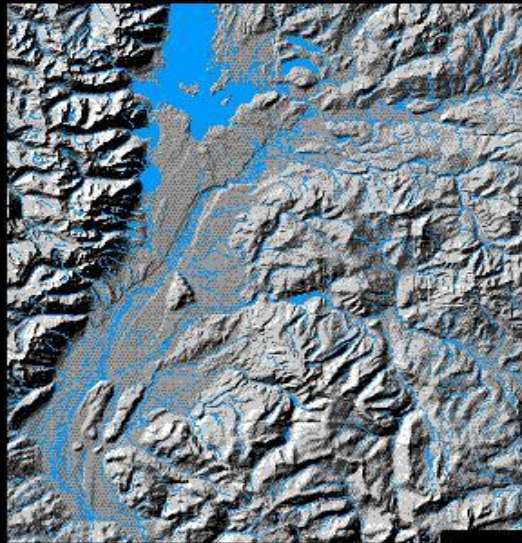




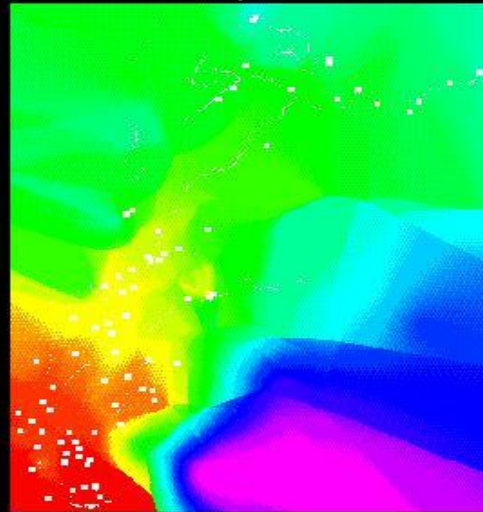




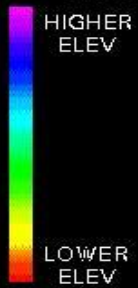
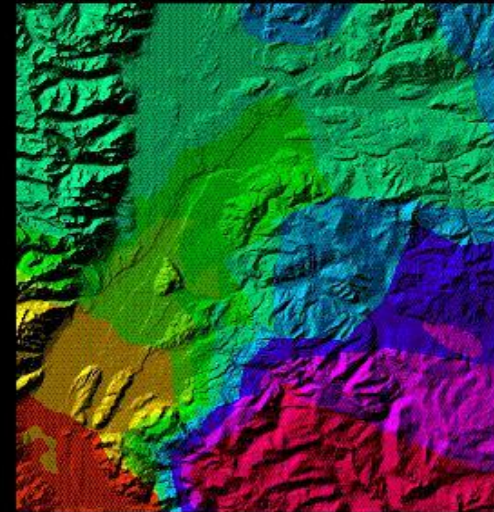
Hillshade



Interpolated Aquifer Surface with Sample Points

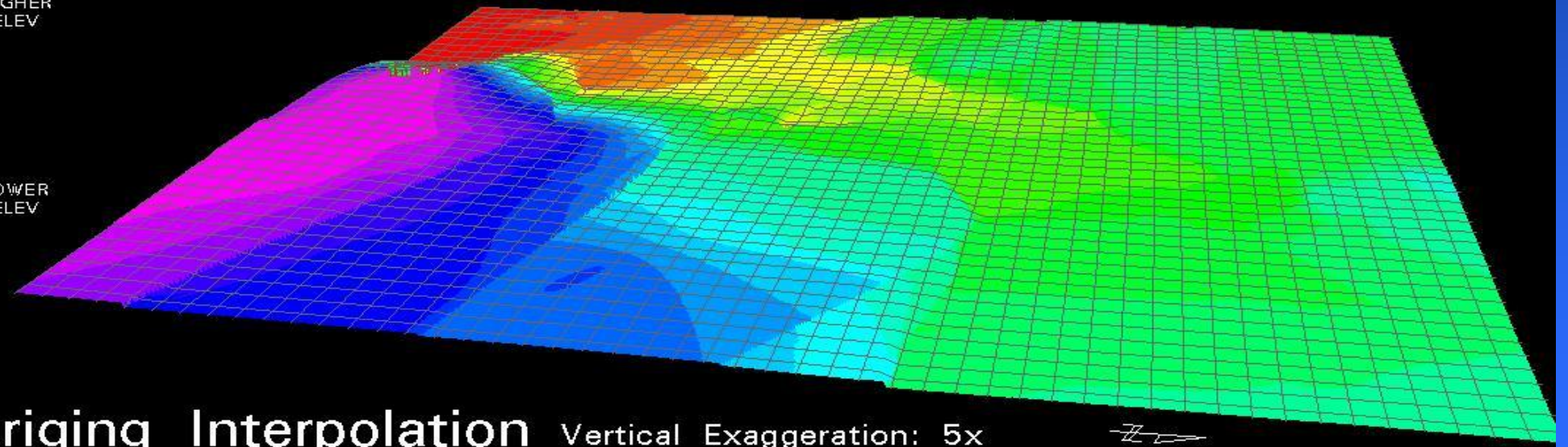


Gridcomposite of Hillshade and Aquifer



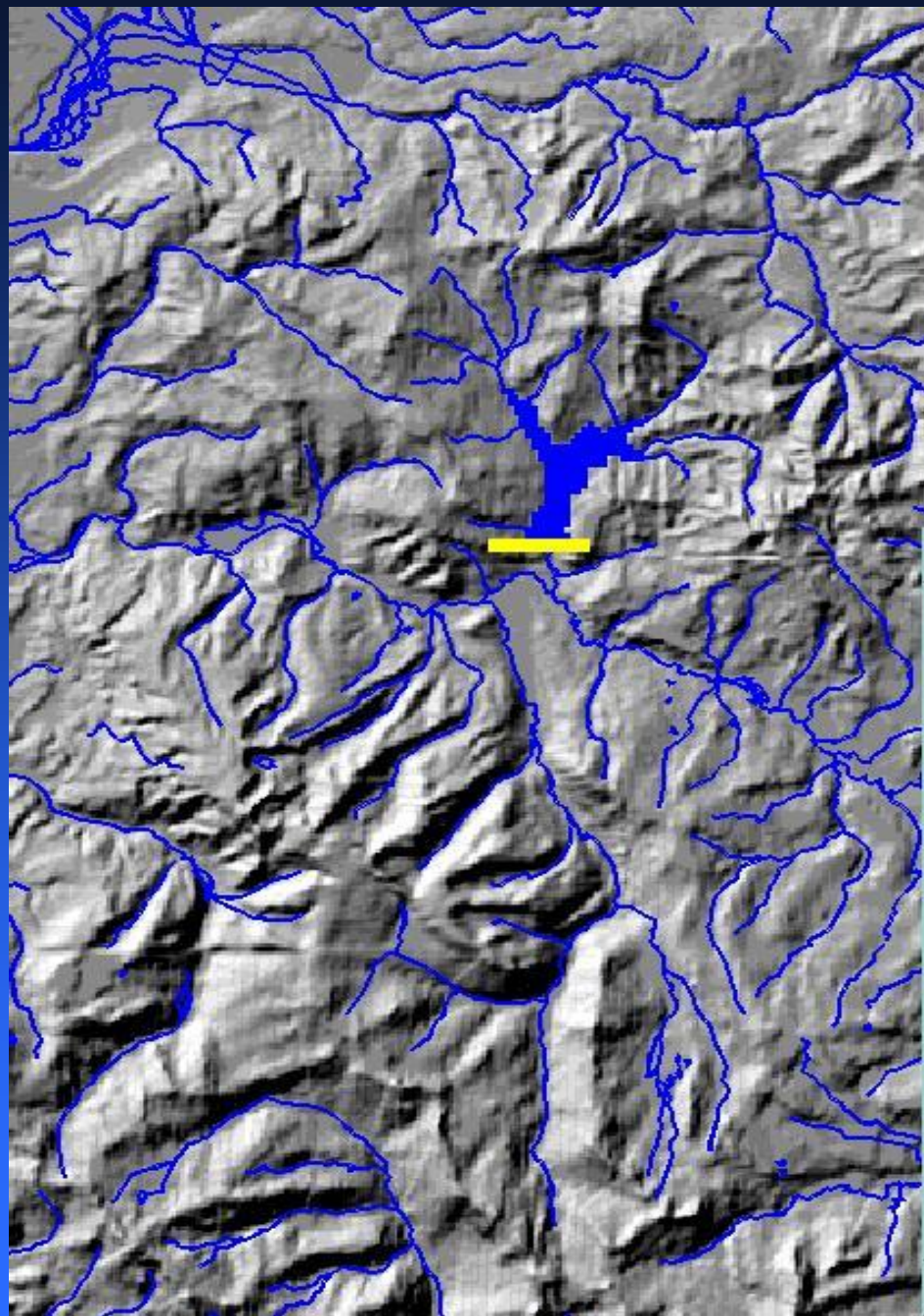
HIGHER
ELEV

LOWER
ELEV



Kriging Interpolation Vertical Exaggeration: 5x

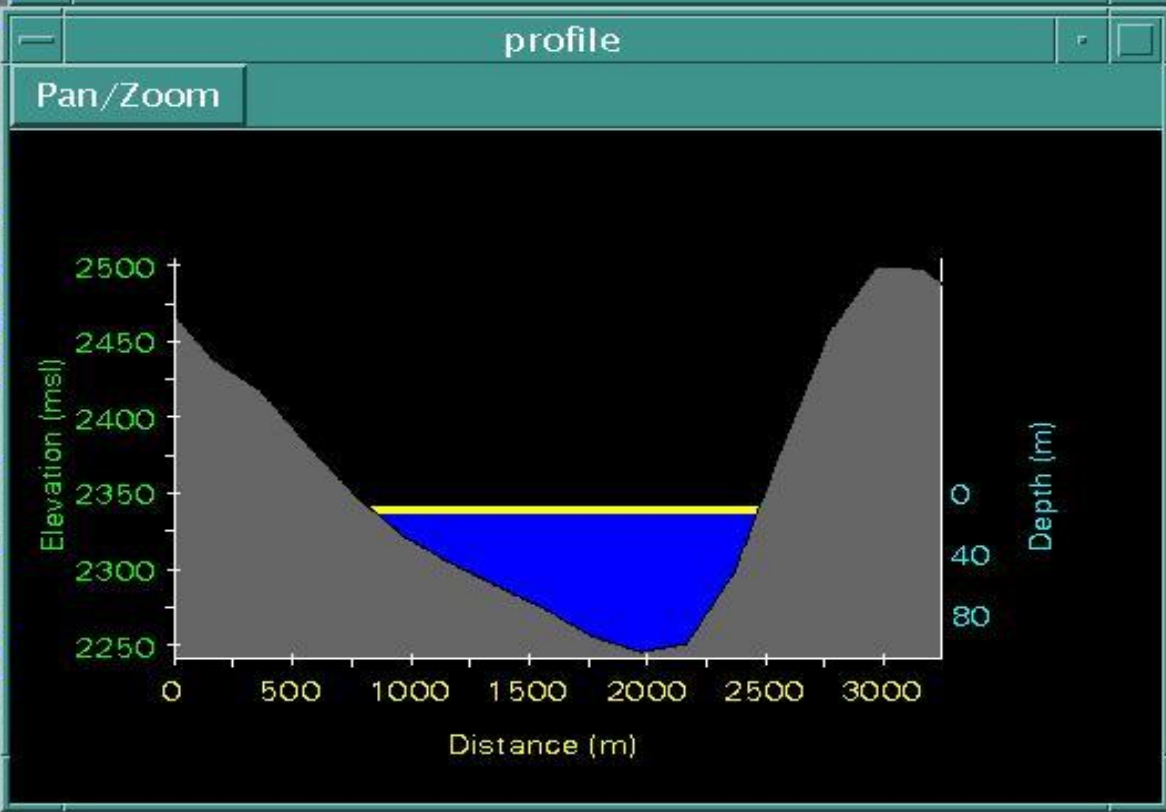


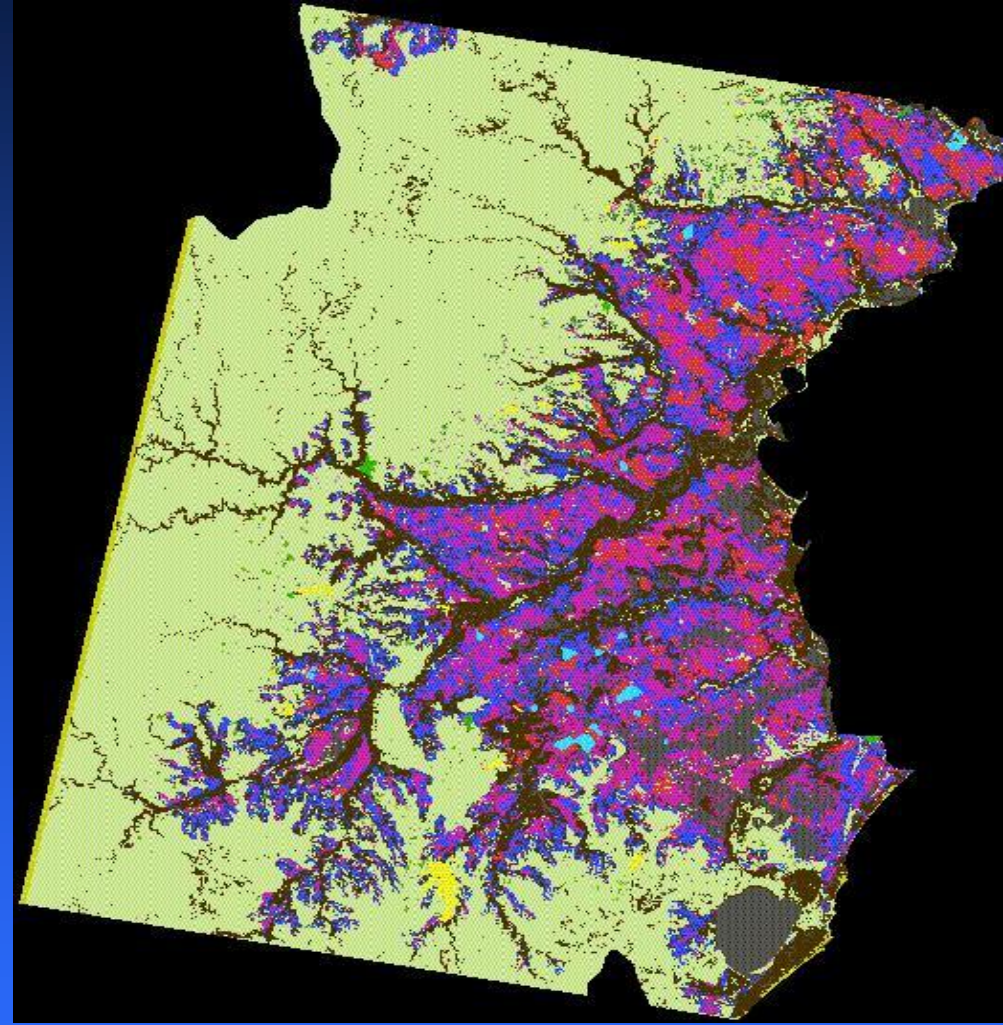
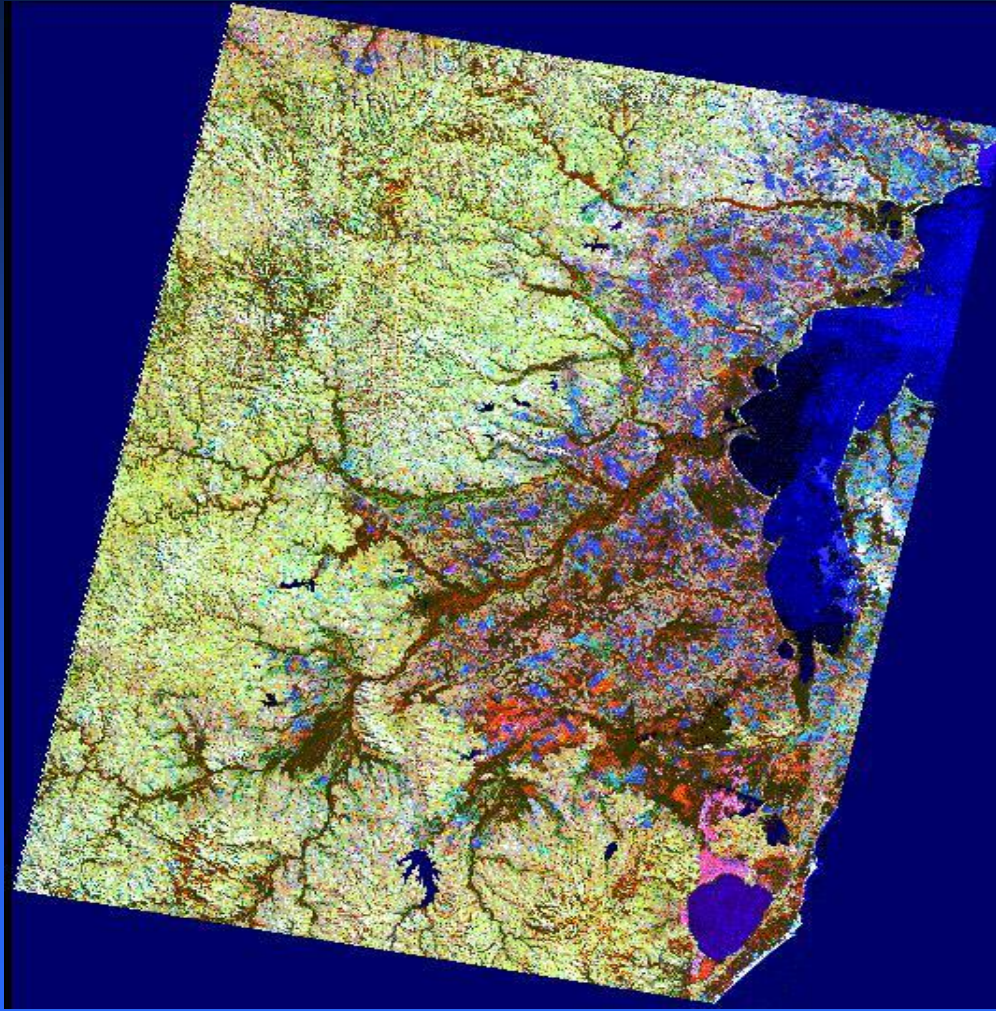


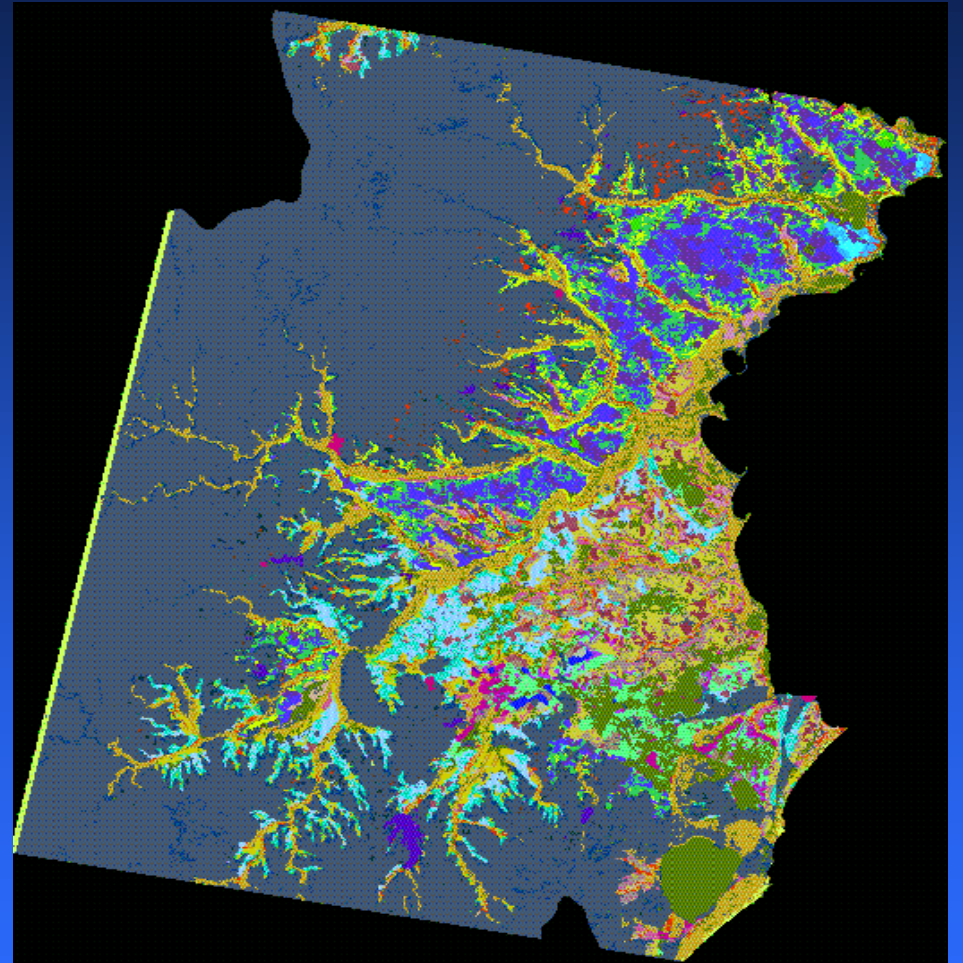
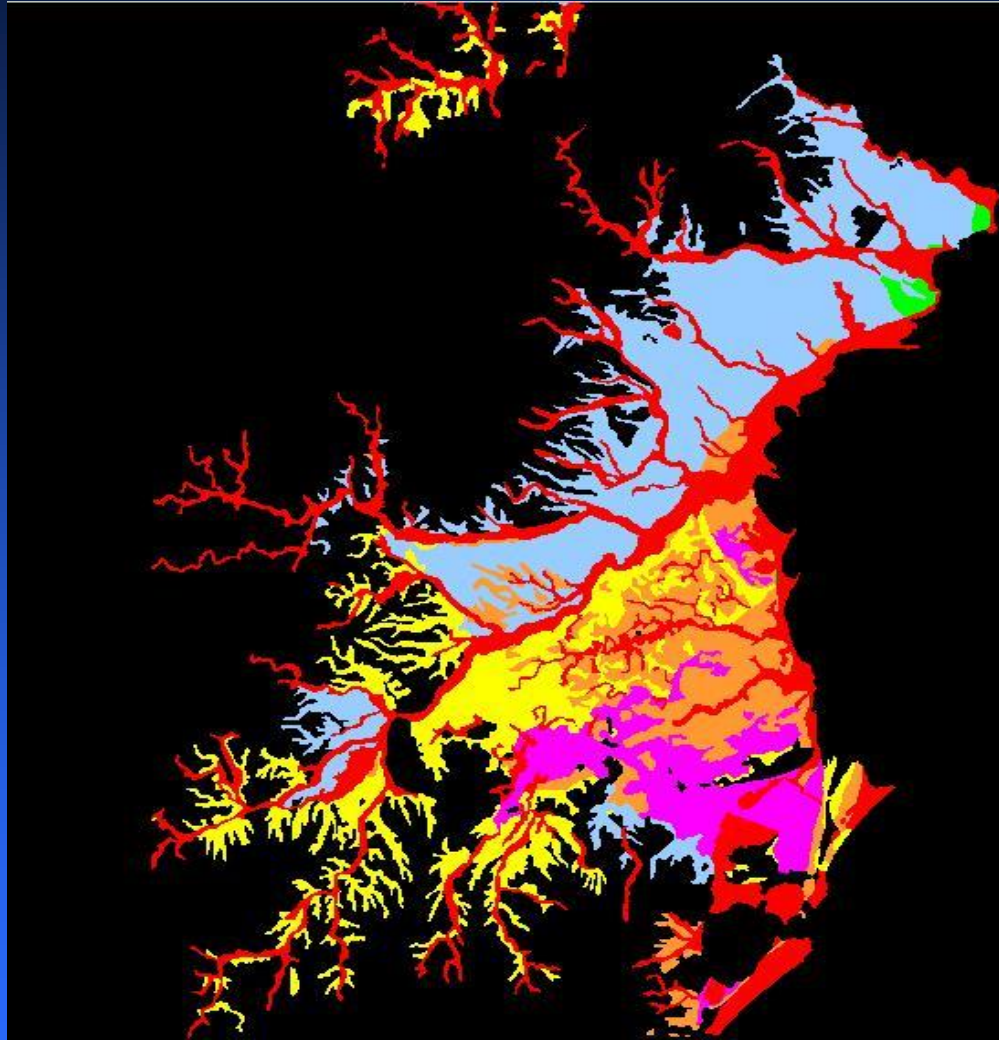
Reservoir Statistics

Maximum Depth(m):	95
Average Depth(m):	34
Surface Area(sq. km):	8520
Water Volume(acre-ft.):	234839

Exit





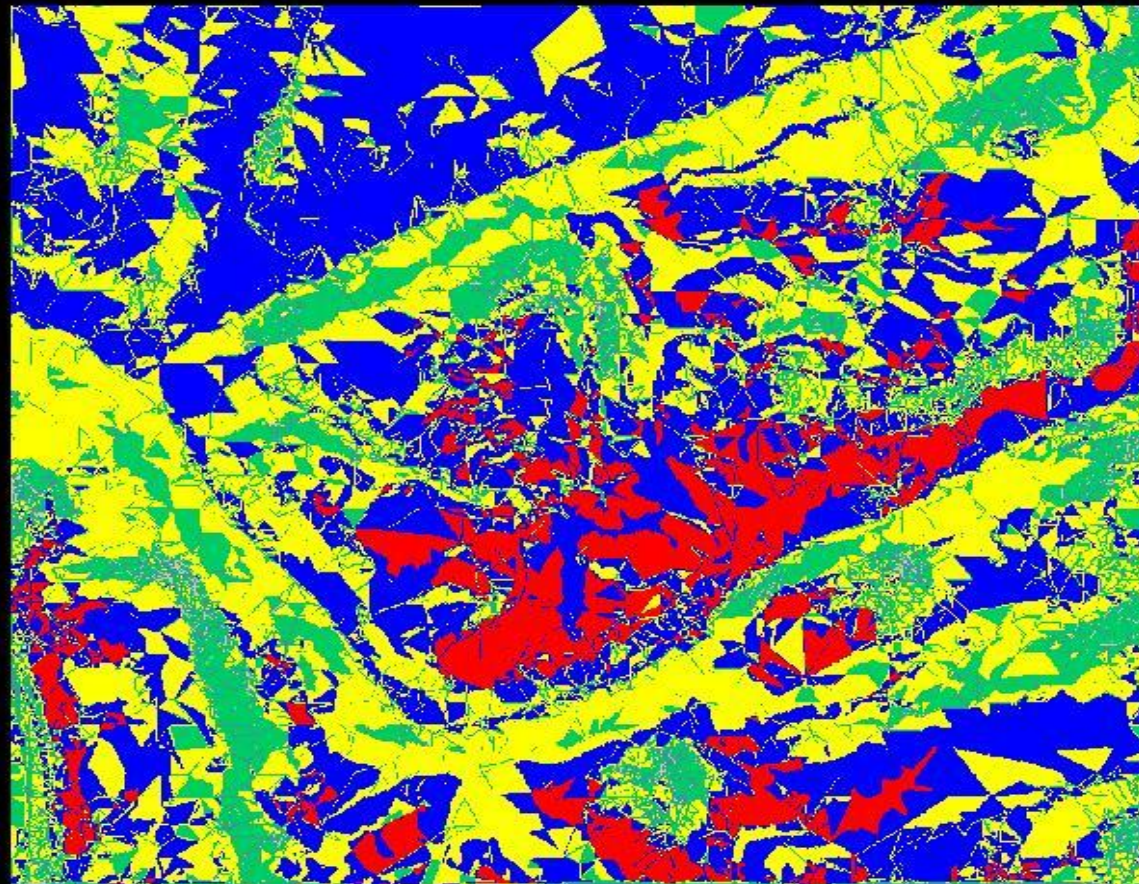


Determine areas with similar characteristics

	GRID	MEAN	STD	SEARCH TOL.
Gradient:	slope1	4.3682	3.95	3.95
Aspect:	aspect1	192.1942	88.24	88.24
Down-slope Curvature:	cross1	0.0061	0.08	0.08
Cross-slope Curvature:	down1	-0.0443	0.17	0.17

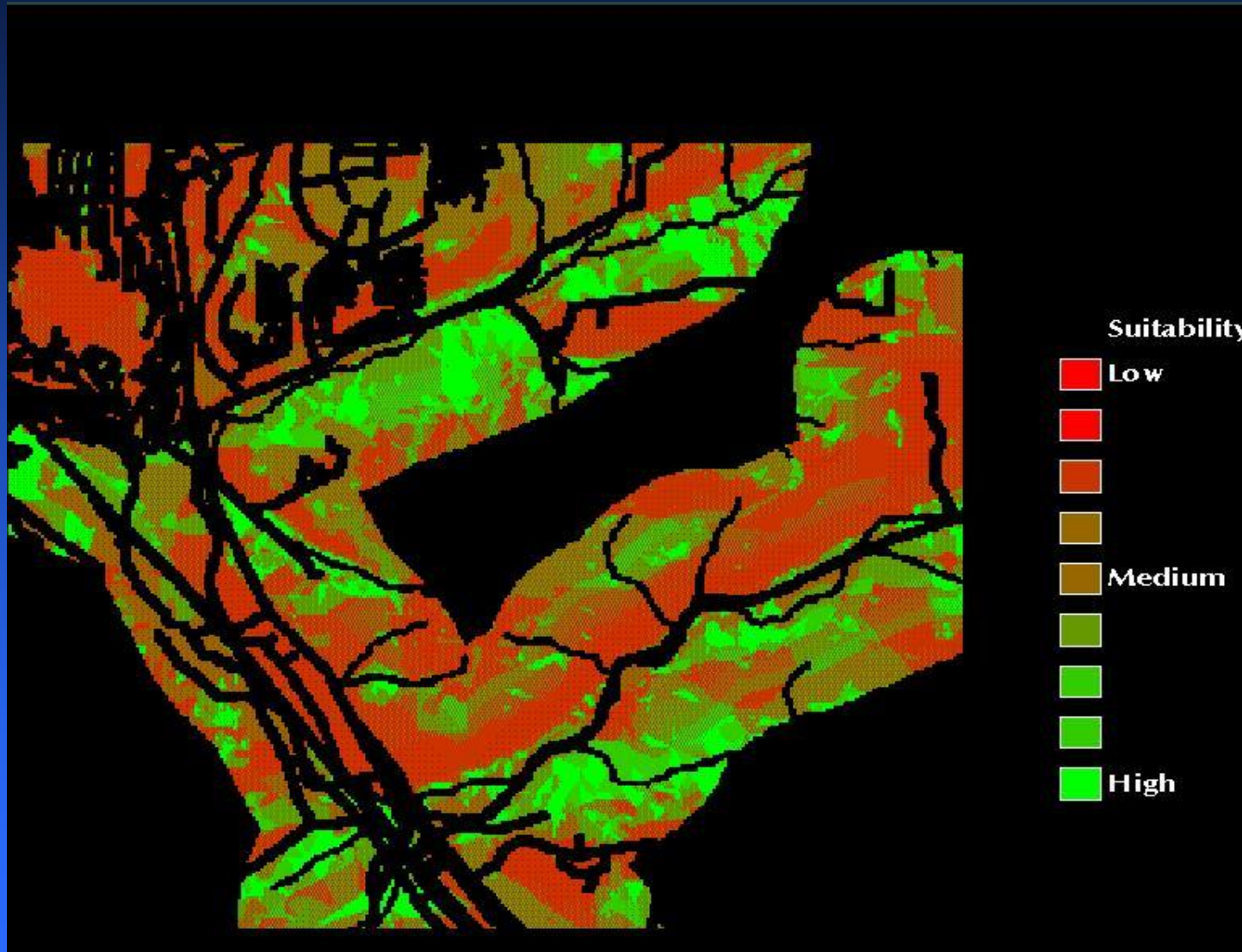
APPLY

RETURN



Similar Conditions





Grid Modeling Menu

Suitability Parameters

Parameter	Weight	
Slope	1	1
Aspect	5	1
Road Prox.	1	1
Zoning	1	1

Disallow Landslides

Number of Matches:
 1

Base Mask

Grid Resolution (meters)
 32

Procedimiento usual en la detección de elementos en una imagen satelital multiespectral.

- Adquisición de una o varias imágenes
- Corrección de errores
- Visualización
- Muestreo o relevamiento de campo (rectificación o no).
- Clasificación
- Evaluación de la clasificación.
- Cálculo sobre la clasificación.
- Rectificación

Adquisición de imágenes

Se debe tomar ciertas consideraciones:

- Area de trabajo
- Tamaño y tipo de los elementos a discriminar
- Resultado esperado
- Fechas - multitemporal
- Ciclos de pasada - nubosidad

Es posible combinar imágenes multispectrales con imágenes de radar obteniendo mejores resultados

Corrección de errores

Extracción del ruido en una o varias bandas.

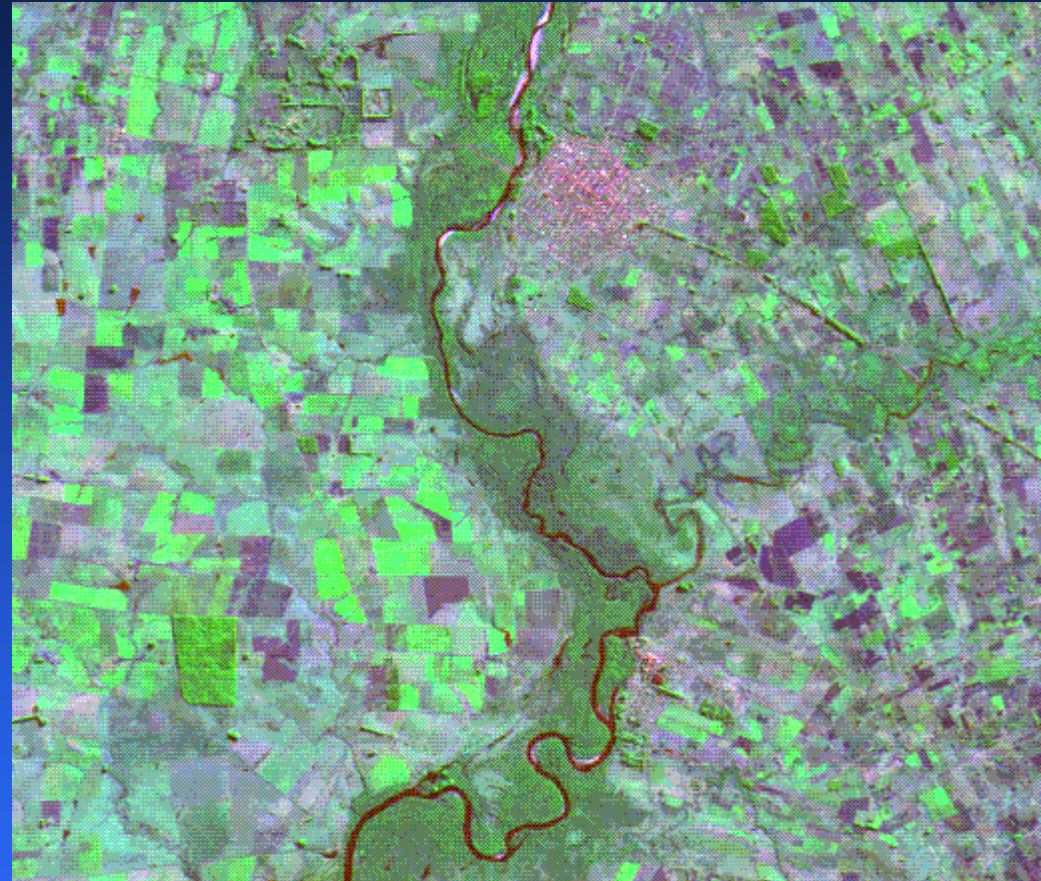
Visualización

Interpretación visual de elementos de la imagen combinando bandas según formato RGB.

Visualización de bandas individuales.



Landsat TM 5, bandas 4 3 5 (RGB)



Landsat TM 5, bandas 3 4 5 (RGB)



Landsat TM 5, bandas 4 3 5 (RGB)



Landsat TM 5, bandas 3 2 1 (RGB)

Muestreo de Campo

Se determinan las zonas o puntos de visita en el campo mediante:

- visualización de la imagen con una combinación de bandas conveniente, eligiendo varias zonas con respuesta espectral distintas pero que correspondan al mismo elemento.
- otras referencias.

Para ubicar los puntos en el campo se dispone de:

- coordenadas geográficas (imagen rectificadas), GPS
- planos
- imagen impresa

Clasificación

Se genera un muestreo automático o con apoyo de campo en función de los elementos a discriminar.

Se realiza la clasificación (supervisada o no supervisada, o mezclas de las dos) sobre la imagen sin rectificar.

Se mejora la clasificación mediante técnicas estadísticas y geométricas (reagrupar, media)

Evaluación de la clasificación

Se realiza a partir del trabajo de campo.

Rectificación

Se rectifica la clasificación a los efectos de que contenga coordenadas geográficas para superponerla con cartografía vectorial.

Cálculos sobre la clasificación

Sobre la clasificación rectificada o no.

- Cálculo de áreas.
- Consultas espaciales que involucren la clasificación e información vectorial.

Sensores

Sensores solares pasivos

Solo pueden recibir ondas de radiación solar.

No pueden transmitir radiación.

Son la mayoría de los sensores comerciales.

Sensores Activos

Son los de radar, reciben el reflejo de su propia emisión de micro-ondas.

Espectroscopia

EL uso de sensores solares pasivos para caracterizar o identificar materiales se basa en los principios de la espectroscopia.

La espectroscopia revela la absorción y reflexión espectral.

Espectroscopia

Espectro de absorción

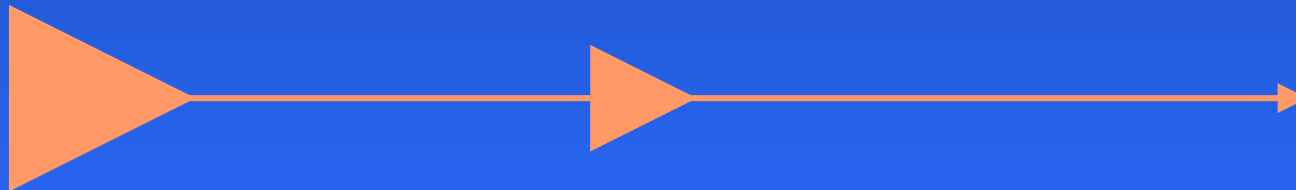
- Ondas EMR absorbidas por un material específico.
- Se basa en la estructura molecular de la parte externa del material. Las ondas son absorbidas según la composición química y la estructura cristalina del material.
- La atmósfera afecta la radiación solar, haciendo que la emisión no sea la misma en todas las longitudes de onda. Tenemos aquí un fenómeno de ***absorción atmosférica***.

Espectroscopia

Absorción Atmosférica

La radiación solar al viajar a través de la atmósfera se ve afectada por cuatro fenómenos:

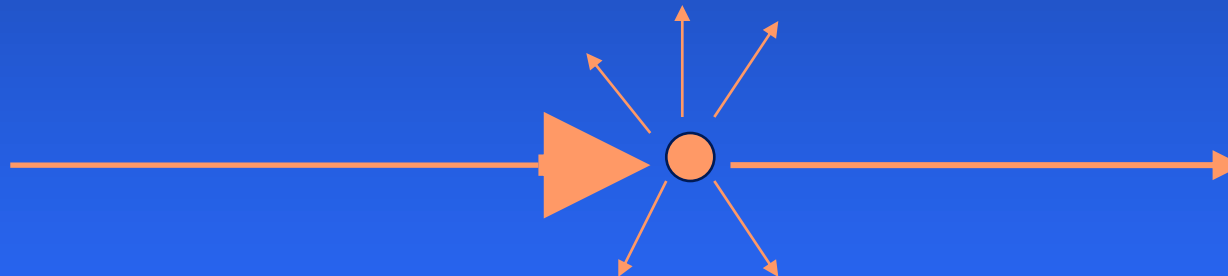
- *absorción* - cantidad de radiación absorbida por la atmósfera



Espectroscopia

Absorción Atmosférica

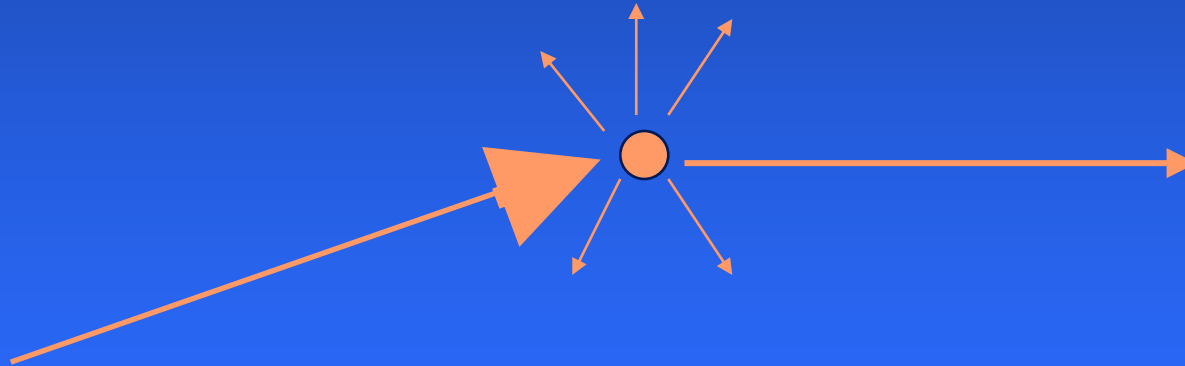
- *dispersión* - cantidad de radiación dispersa por la atmósfera en una dirección distinta al campo de interés.



Espectroscopia

Absorción Atmosférica

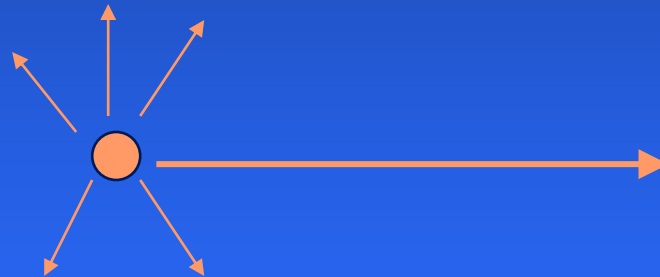
- *fente de dispersión* - irradiaciones solares divergentes dispersas en dirección al campo de interés.



Espectroscopia

Absorción Atmosférica

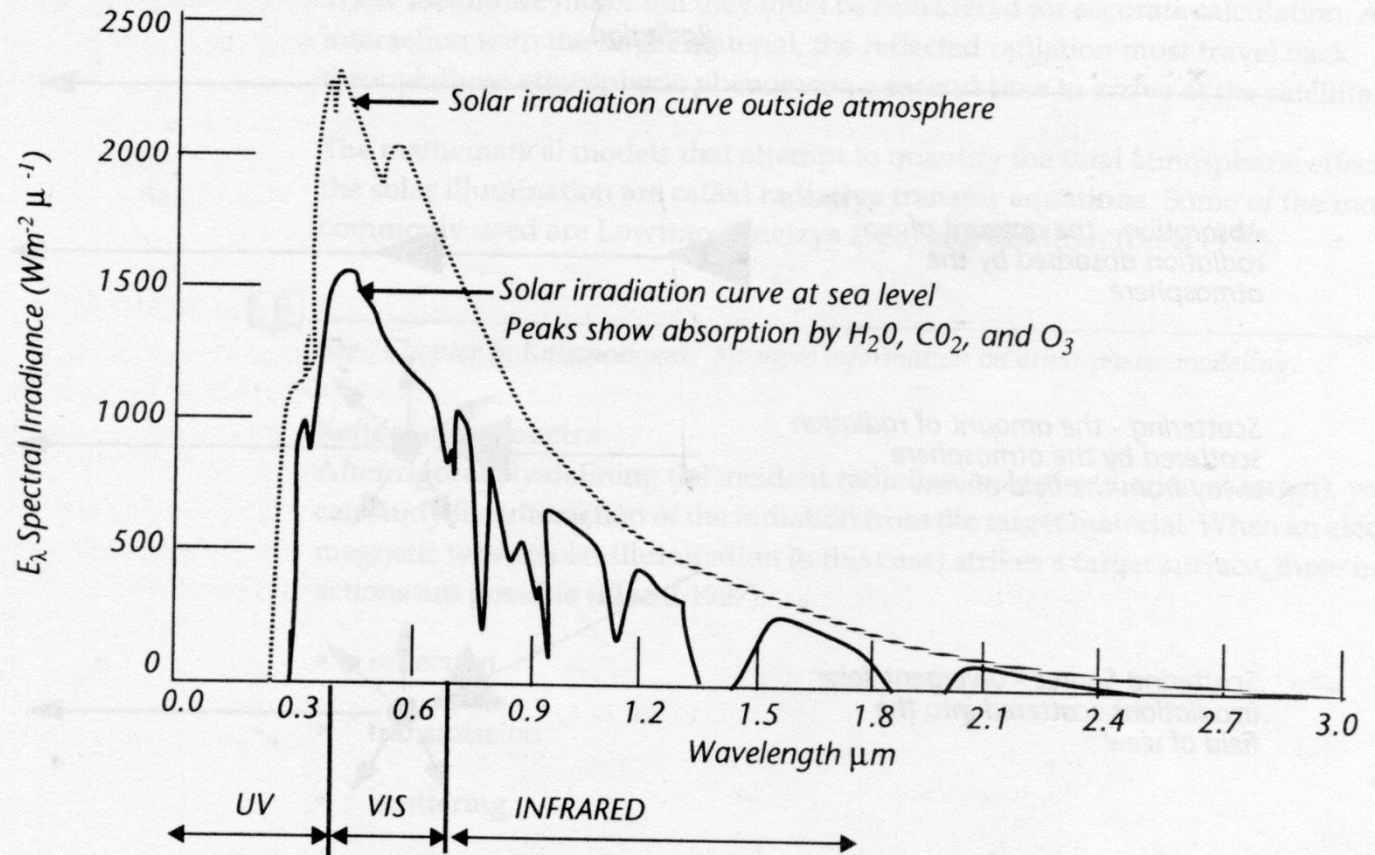
- *fente de emisión* - radiación re-emitida después de la absorción.



Espectroscopia

Absorción Atmosférica

La absorción no es un fenómeno lineal sino que logarítmico (con variaciones o concentraciones).



Modified from Chahine, et al 1983

Figure 4: Sun Illumination Spectral Irradiance at the Earth's Surface

Espectroscopia

Absorción Atmosférica

- Las concentración de gases atmosféricos es variable, especialmente el de vapor de agua.
- Los gases de mayor importancia son dióxido de carbono y oxígeno , los cuales varían alrededor de área urbanas.
- La absorción atmosférica va a variar con la humedad, elevación y proximidad a la contaminación del aire urbano, y a otros factores.
- Ozono - produce dispersión
- Las afecciones producidas por fuentes de dispersión y emisión influyen solo un 5% de la variancia.

*Los modelos matemáticos que tratan de estimar el total de estos efectos atmosféricos en la iluminación solar son llamados **Ecuaciones de transferencia radiativa***

Espectroscopia

Espectro de reflexión

Ondas EMR reflejadas por un material específico.

Cuando una onda electromagnética alcanza una superficie, tres eventos son posibles:

- reflexión
- transmisión
- dispersión

Espectroscopia

Espectro de reflexión

La energía reflejada y absorbida por el sensor es transformada en valores digitales grabados.

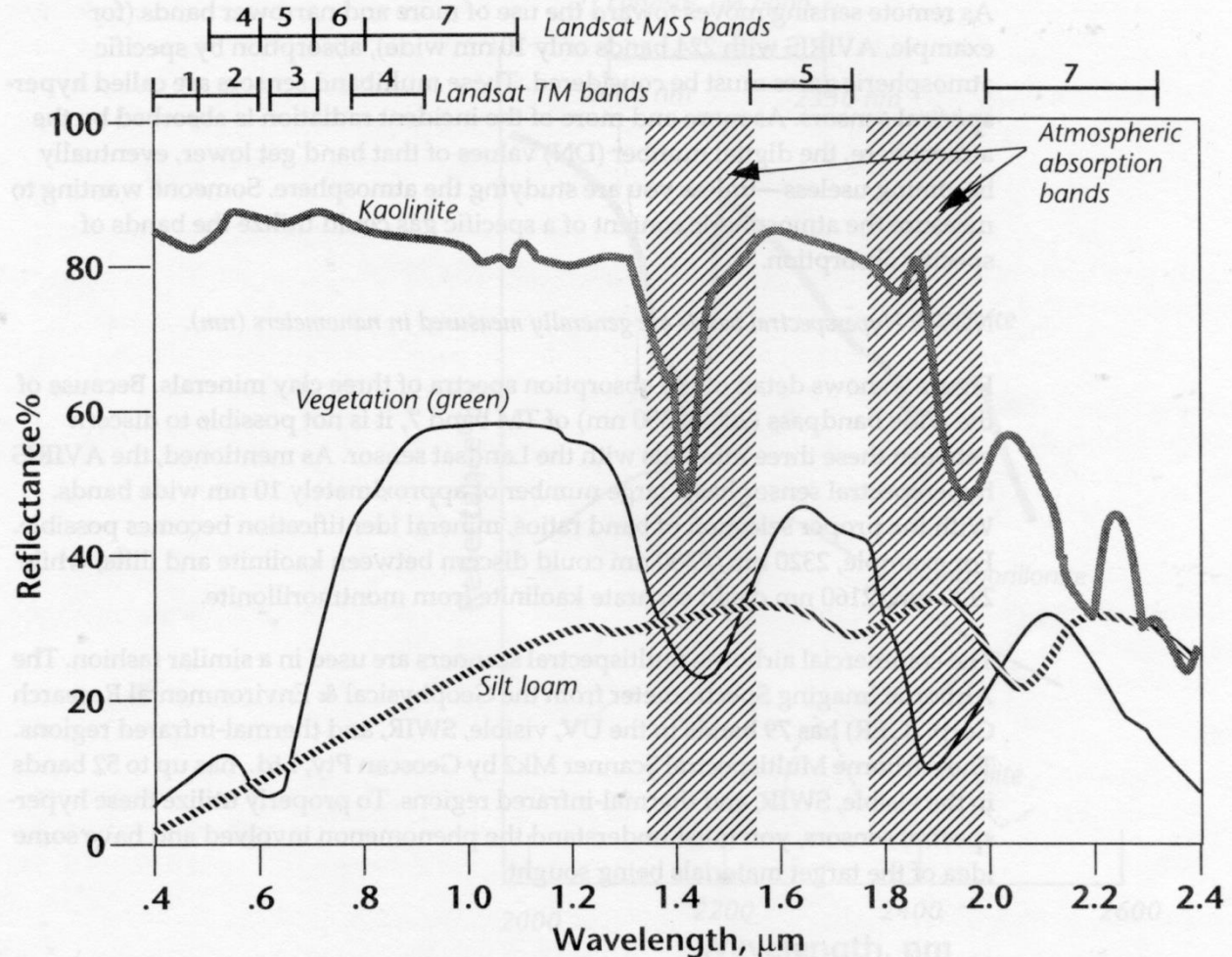
Estos valores de escalas de grises están dentro de cierto rango (0-255 si son de 8 bits) dependiendo en las características del sensor.

Cada sensor del satélite registra una porción específica del espectro electromagnético (Banda 1 de Landsat TM abarca 0.45 - 0.52 micrones)

Espectroscopia

Espectro de reflexión

Cada elemento del terreno responde diferente en cada longitud de onda. Los valores almacenados en los sensores componen una “firma espectral” del elemento.



NOTE: Spectra are offset for clarity and scale.

Modified from Fraser 1986, Crist 1986, Sabins 1987

Figure 6: Reflectance Spectra

Espectroscopia

Datos Hiperespectrales

Algunos satélites usan muchas bandas de absorción (por ejemplo VIRIS de 224 bandas). Los sensores multibandas son llamados **sensores hiperespectrales**, y las longitudes de onda se miden en nanómetros.

El uso frecuente esta dado en el estudio de gases atmosféricos y en casos donde se tiene una idea del área de interés como para poder determinar entre que elementos discriminar (por ejemplo al determinar elementos geológicos).

Algunos ejemplos de estos satélites:

- VIRIS con 224 bandas
- Airbone Imaging Spectrometer de Geophysical & Environmental Research Corp. Con 79 bandas en UV, visible, SWIR, y regiones infrarrojas térmicas.
- Airbone Multispectral Scanner Mk2 de Geoscan Pty tiene 52 bandas en el visible, SWIR y regiones infrarrojas térmicas.

Resolución

Comúnmente se utiliza este termino para describir:

- cantidad de pixeles que se pueden desplegar en una pantalla.
- el área de terreno representada por un pixel.

Resolución

En el caso de sensores remotos estas definiciones no son adecuadas y deben ser considerados cuatro tipos de resoluciones:

- **espectral** - rangos específicos de longitud de onda que abarca un sensor.
- **espacial** - el área del terreno que representa un pixel.
- **radiométrica** - cantidad de valores posibles que puede almacenar o registrar un sensor (indicado por la cantidad de bits disponibles para representar o digitalizar la energía captada).
- **temporal** - que tan seguido un sensor capta valores de una misma área (ciclos o tiempo de pasada).

Resolución

Espectral

Se refiere a los rangos o intervalos específicos de longitudes de onda

Ejemplo: banda 3 Landsat TM 5 0.63 - 0.69 micrones

Resolución espectral gruesa

Ejemplo: Spot Pancromático 0.51 - 0.73 micrones

Resolución espectral fina

Ejemplo: Landsat TM 5 banda 2 0.52 - 0.60 micrones

Resolución

Espacial

La *resolución espacial* se refiere al objeto de menor tamaño capaz de ser medido o captado por el sensor, o el área de terreno representada por cada pixel.

Ejemplo: una resolución espacial de 10 metros es más fina que una de 79m

Resolución

Escala

El término de escala responde a la relación entre la distancia en el mapa con la distancia real en el terreno.

Una imagen tiene ***escala grande*** si cada pixel representa un pequeña área del terreno (SPOT resolución espacial de 10m o 20m)

Escala chica se refiere a pixeles que representan grandes áreas (AVHRR con 1.1 km. por pixel)

Caida meteorite 20 de octubre 2021 captada por satélite GOES-16



Resolución

Escala

Este término también puede ser visto de la forma convencional, en función de la fracción que lo representa.

Ejemplo: escala 1:50.000 es más grande que escala 1:250.000

La resolución espacial y la escala no se refieren siempre a lo mismo. Una imagen siempre tiene la misma resolución espacial pero puede ser presentada a diferentes escalas.

Resolución

IFOV

La resolución espacial también se describe como el *campo de visión instantánea (Instantaneous Field Of View)* del sensor, aunque el IFOV no es siempre lo mismo que el área representada por el pixel.

Representa la medida del área captada por un solo detector en un tiempo determinado y en forma instantánea.

Ejemplo: Landsat MSS tiene un IFOV de 79x79 metros, pero hay una superposición de 11.5 metros en cada pasada del escáner, por lo que el área real representada por cada pixel es de 56.5x79 metros (usualmente redondeada a 57x79 metros)

Resolución

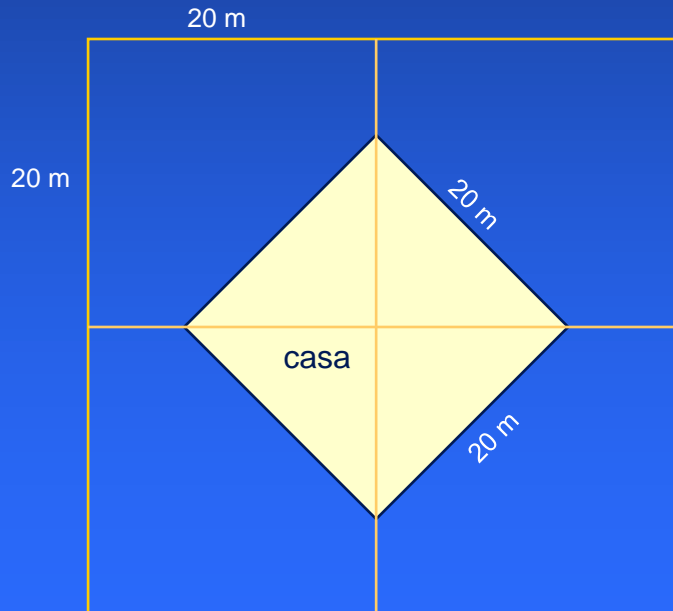
IFOV

Aunque IFOV no es lo mismo que resolución espacial, es importante conocer el número de píxeles en que es dividido el campo instantáneo de visión.

Resolución

IFOV

- Objetos más chicos que el tamaño del pixel pueden ser detectados en la imagen si contrasta lo suficiente con los objetos que lo rodean.
- Por otro lado, objetos de igual o mayor tamaño que el pixel pueden ser NO detectados si existen objetos más brillantes o dominantes cerca.



En este caso una casa está ubicada en el medio de 4 píxeles. Si la casa tiene una reflectancia similar a su alrededor, el valor de cada píxel representará el área que rodea la casa, no la casa en sí misma, ya que la casa no es dominante en ninguno de los 4 píxeles. Si por el contrario, la casa tuviera una reflectancia claramente diferente a lo que la rodea, entonces podría ser detectada.

Resolución

Radiométrica

Se refiere al rango dinámico, o número posible de valores que pueden ser representados dentro de una banda. Esto es el número de bits disponibles para almacenar una señal o nivel de energía o radiación captada por el sensor.

Resolución

Radiométrica

Ejemplo: datos de 8 bits pueden almacenar valores entre 0-255 por cada pixel, pero en 7 bits el rango sería de 0-128. O sea si estoy frente a 8 bits, el valor mínimo y máximo de energía que un sensor puede captar debe ser traducido o escalado a un rango de valores de 0 a 255.

Banda 3 Landsat TM 5, rango 0.63 - 0.69 micrones, con 8 bits de datos.



Resolución

Temporal

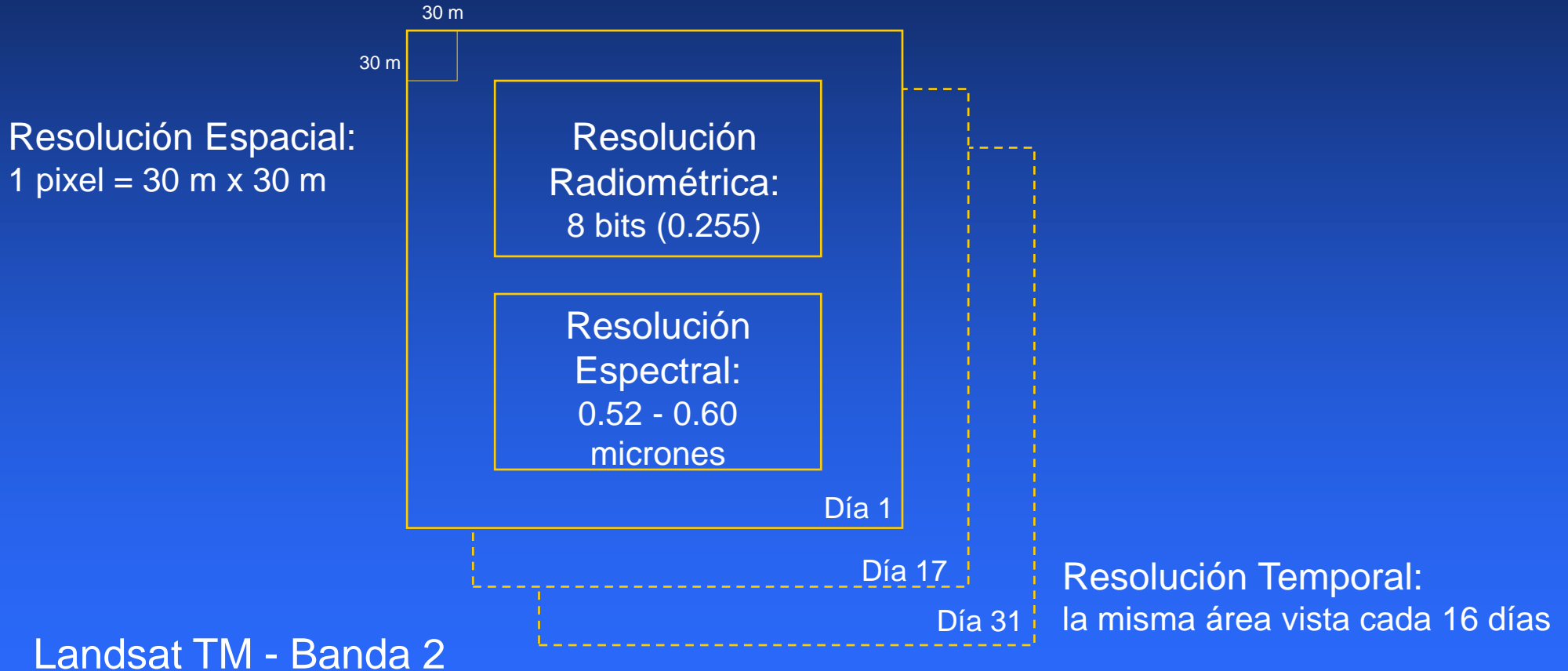
Se refiere a que tan seguido un sensor obtiene un valor de la misma área (ciclo).

Ejemplo: El satélite Landsat puede ver la misma área del planeta una vez cada 16 días. SPOT cada tres días

La resolución temporal es un factor importante a considerar al realizar estudios para detección de cambios.

Resolución

Ilustración de los cuatro tipo de resolución



Corrección de datos

Existen muchos errores implícitos en las imágenes satelitales que deben ser corregidos antes de procesarlas con fines de interpretación.

Alguno de estos errores son los llamados ***LINE DROPOUT*** y ***STRIPING***, los cuales pueden ser corregidos con funciones radiométricas y geométricas.

Las *radiométricas* ya vienen corregidas en el caso de los satélites EOSAT y SPOT, y otros.

Corrección de datos

Line dropout

Este tipo de error ocurre cuando un detector falla o queda temporalmente saturado durante el escaneo (como sería el efecto de un flash de una cámara en la retina).

El resultado es una línea total o parcial con valores altos, creando una distorsión horizontal hasta que el detector vuelve a funcionar bien, si lo hace.

Este tipo de errores se corrige comúnmente sustituyendo las líneas incorrectas por líneas estimadas en función de líneas de abajo o de arriba (usando un filtro medio de 5x5 o con funciones de convolución y análisis focal).

Corrección de datos

Striping o Banding

Este tipo de error ocurre cuando un detector se desajusta, eso es, registra valores bastante menores o mayores que los otros detectores para esa misma banda sobre la misma cobertura de terreno.

Datos de Satélites

El sistema del satélite

El sistema del satélite está compuesto por un *escáner* con *sensores* y una *plataforma*. Los sensores están compuestos por *detectores*.

- El escáner es la totalidad del sistema de adquisición de datos, como ser el escáner del satélite Landsat Thematic Mapper.
- Un sensor es un dispositivo que capta energía, la cual convierte a una señal y presentandola en una forma adecuada para transmitir información.

Datos de Satélites

El sistema del satélite

- Un detector es un dispositivo en un sistema de sensores que registra o graba la radiación electromagnética. Por ejemplo, en el sistema de sensores del escáner del Landsat TM hay 16 detectores para cada banda de longitud de onda dada (excepto la banda 6 que tiene 4 detectores).

Datos de Satélites

Sistema del satélite

Al ancho total del área del terreno cubierta por un escáner se le llama **swath width**, o ancho del total del campo de vista (FOV).

FOV difiere de IFOV en la medida que IFOV mide el campo de vista de cada detector.

FOV mide el campo de vista de todos los detectores combinados

Datos de Satélites

Landsat y SPOT

Tienen muchas características en común:

- Orbitas sincrónicas con el sol (siempre obtienen los datos a la misma hora sobre una región dada, siempre cruza el ecuador aproximadamente a la misma hora local en cada órbita)
- Captan radiación electromagnética en una o más bandas (muchas bandas - multiespectral, una sola banda - pancromática)
- Producen vistas de NADIR (nadir es el área del terreno que es captada directamente abajo de los detectores, SPOT también obtiene imágenes estéreo off-nadir , así como el Landsat 7).

Satellite Resolution Comparison Chart

	Landsat MSS (1,2,3,4,5)	Landsat TM (4,5)	SPOT Pan	SPOT XS	NOAA AVHRR
Operation dates	1972-1983 (1,2,3) 1982 - present (4,5)	1982-present	1986-present	1986-present	1979-present
Spatial Resolution	79 m (1,2,3) 82 m (4,5)	28.5 m	10 m	20 m	1.1 km
Temporal Resolution (revisit time)	18 days (1,2,3) 16 days (4,5)	16 days	26 days*	26 days*	twice daily
Spectral Resolution (microns)	0.5-0.6 0.6-0.7 0.7-0.8 0.8-1.1 10.4-12.6	0.45-0.52 0.52-0.60 0.63-0.69 0.76-0.90 1.55-1.75 10.4-12.5 2.08-2.35	0.51-0.73	0.50-0.59 0.61-0.68 0.79-0.89	0.58-0.68 0.72-1.10 3.55-3.93 10.3-11.20 11.5-12.50
Radiometric Resolution (bits per pixel)	6-bit (scaled to 7 or 8-bit during ground processing)	8-bit	8-bit	8-bit	10-bit
Scene Area	185×170 km	185×170 km	60 km ²	60 km ²	2,700 km ²
Sensor Altitude	900 km (1,2,3) 705 km (4,5)	705 km	832 km	832 km	833 km

Source: Lillesand & Kiefer 1987

Datos de Satélites

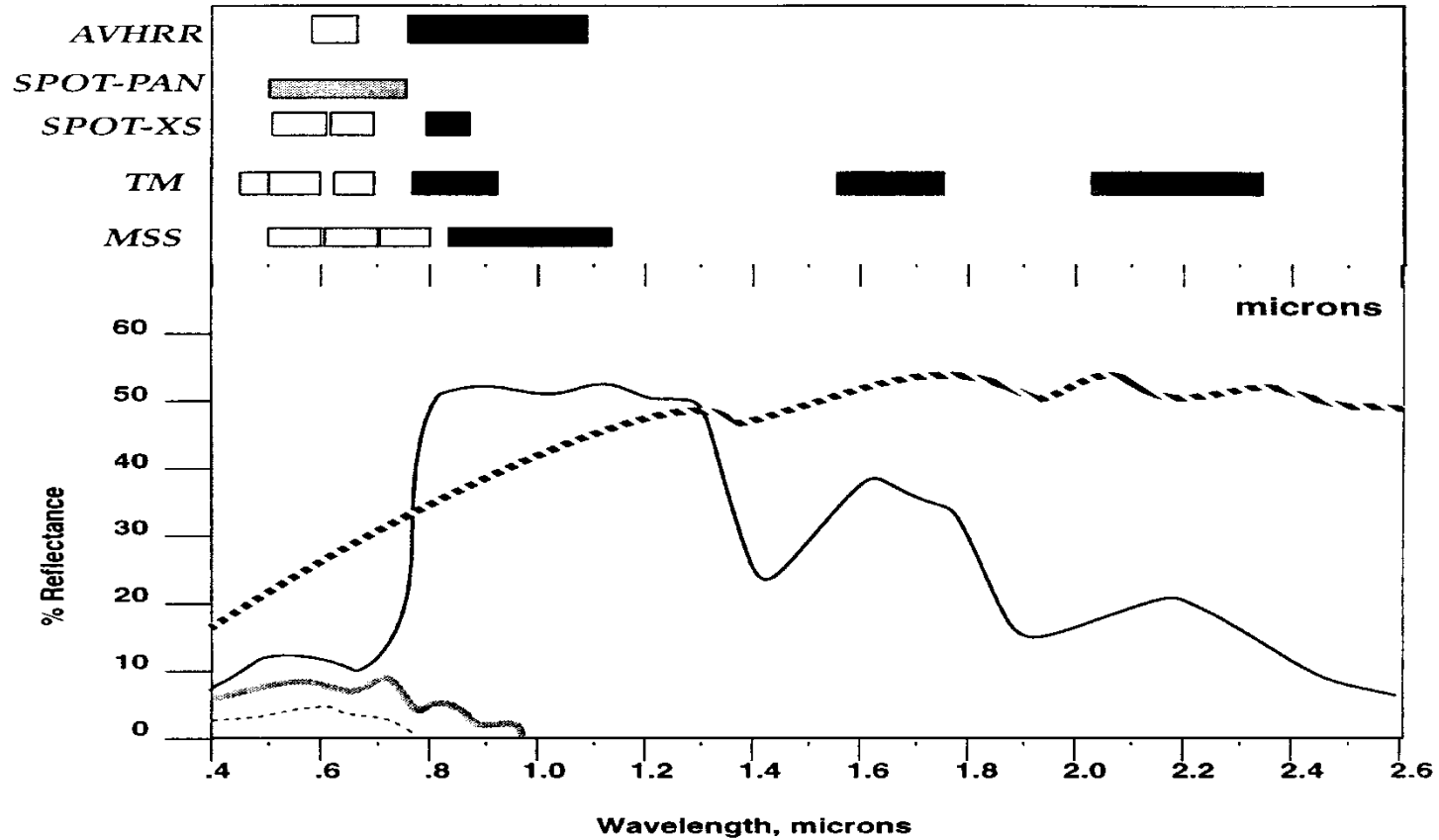
Equivalencia entre la resolución espacial y la escala

	<i>Landsat MSS (1,2,3,4,5)</i>	<i>Landsat TM (4,5)</i>	<i>SPOT Pan</i>	<i>SPOT XS</i>	<i>NOAA AVHRR</i>
<i>Resolución espacial</i>	79 m (1,2,3) 82 m(4,5)	28.5 m	10 m	20 m	1.1 Km
<i>Escala</i>	250.000	50.000	25.000	50.000	1.000.000

Satellite Imagery Comparison

	Landsat MSS	Landsat TM	SPOT XS	SPOT Pan	NOAA AVHRR
.5		Band 1			
.6	Band 1	Band 2	Band 1	Band 1	Band 1
.7	Band 2	Band 3	Band 2		
.8	Band 3				
.9		Band 4	Band 3		
1.0	Band 4				Band 2
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					
1.6		Band 5			
1.7					
1.8					
1.9					
2.0					
2.1					
2.2		Band 7			
2.3					
2.4					
2.5					
2.6					
3.0					
3.5					Band 3
4.0					
5.0					
6.0					
7.0					
8.0					
9.0					
10.0					
11.0		Band 6			Band 4
12.0					Band 5
13.0					
14.0					

Spectral Reflectance



- Vegetation (Green)
- Dry Bare Soil (Gray/Brown)
- Water (Turbid)
- - - Water (Clear)

Sentinel 2

<https://eos.com/find-satellite/sentinel-2/>

Launched as part of the European Commission's Copernicus program on June 23, 2015, was designed specifically to deliver a wealth of data and imagery. The satellite is equipped with an opto-electronic multispectral sensor for surveying with a sentinel-2 resolution of 10 to 60 m in the visible, near infrared (VNIR), and short-wave infrared (SWIR) spectral zones, including 13 spectral channels, which ensures the capture of differences in vegetation state, including temporal changes, and also minimizes impact on the quality of atmospheric photography.

The orbit is an average height of 785 km and the presence of two satellites in the mission allow repeated surveys every 5 days at the equator and every 2-3 days at middle latitudes.

Sentinel 2

Resolución

10, 20, 60 mts

Longitud de onda

443.9 - 2202.4 (nm)

Ancho de banda

15 – 180 nm

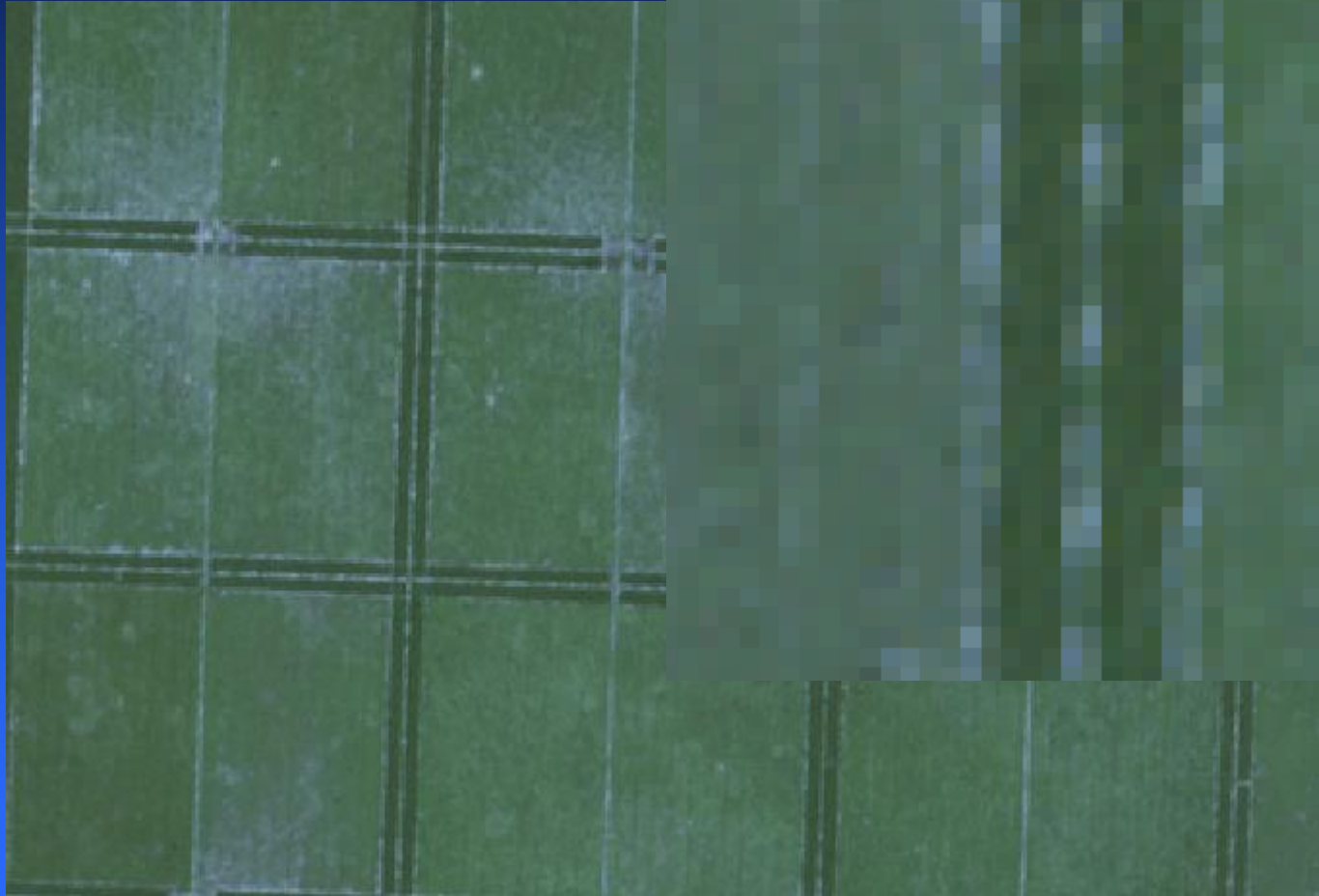
Hasta 13 bandas

Vegetación, SWIR, NIR, Vapor de Agua, Espectro visible, Coastal Aerosol

Find images

https://eos.com/landviewer/?lat=36.75649&lng=135.85693&z=5&s=Sentinel2&id=S2A_tile_20170923_51SXC_0&b=Red,Green,Blue

Sentinel 2



Pleiades 1 (0.5 mts)

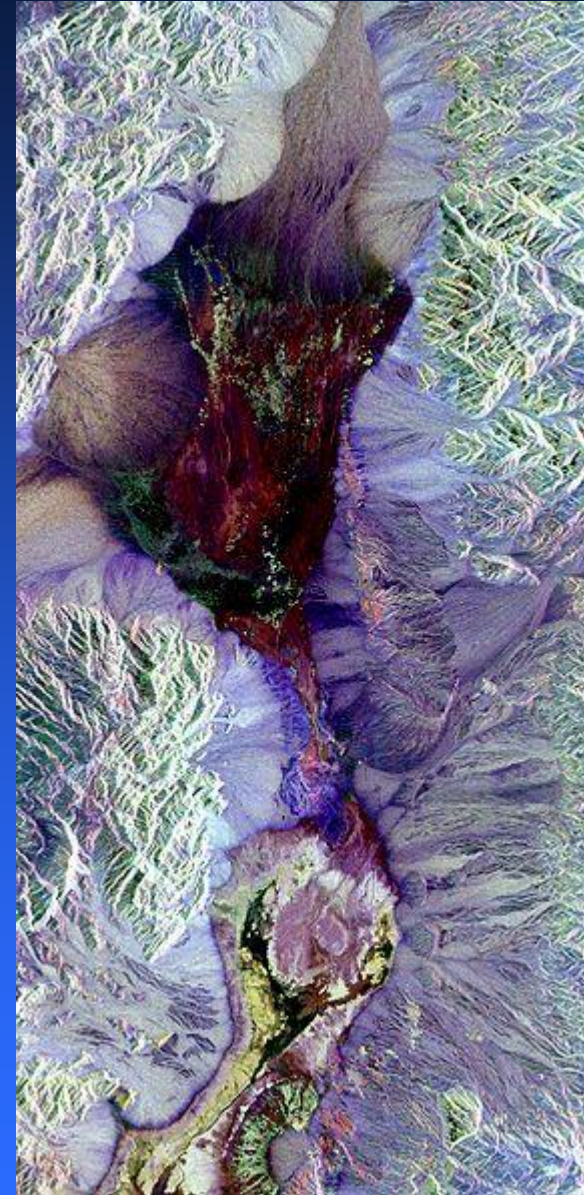


Satélites Radar

- Un radar emite un haz de rayos de micro-ondas
- las ondas son reflejadas por la superficie
- la radiación reflejada es detectada por la antena del sistema de radar la cual se sintoniza a la frecuencia de las ondas transmitidas.

Estos datos resultantes del radar producen las imágenes radar.

Un sistema de radar puede actuar en el aire (AIRBORNE), en el espacio (SPACEBORNE), o basado en instalaciones en el terreno.



Satélites Radar

Ventajas al usar datos RADAR

- Las micro-ondas del radar penetran la atmósfera durante el día o la noche y bajo casi cualquier condición meteorológica.
- En ciertas circunstancias, el radar puede penetrar parcialmente superficies áridas o muy áridas, revelando elementos ocultos bajo tierra.
- No penetra el agua, pero revela la forma de la superficie de los océanos, lagos y otros cuerpos de agua, como ser remolinos, ondas, y otros elementos que pueden dar detalles sobre el fondo.

Satélites Radar

Sensores de RADAR

Son sensores **activos** ya que reciben el reflejo de la radiación emitida por el propio satélite.

- SLAR (Side-looking Airbone Radar) - antena fija debajo de la nave apuntando hacia el lado de emisión y recepción de la señal de radar.
- SAR (Synthetic Aperture Radar) - antena fija que crea una abertura sintética. Sensores SAR van montados en satélites. El sensor transmite y recibe a medida que se va moviendo. Las señales recibidas en un intervalo de tiempo son combinadas para crear la imagen.

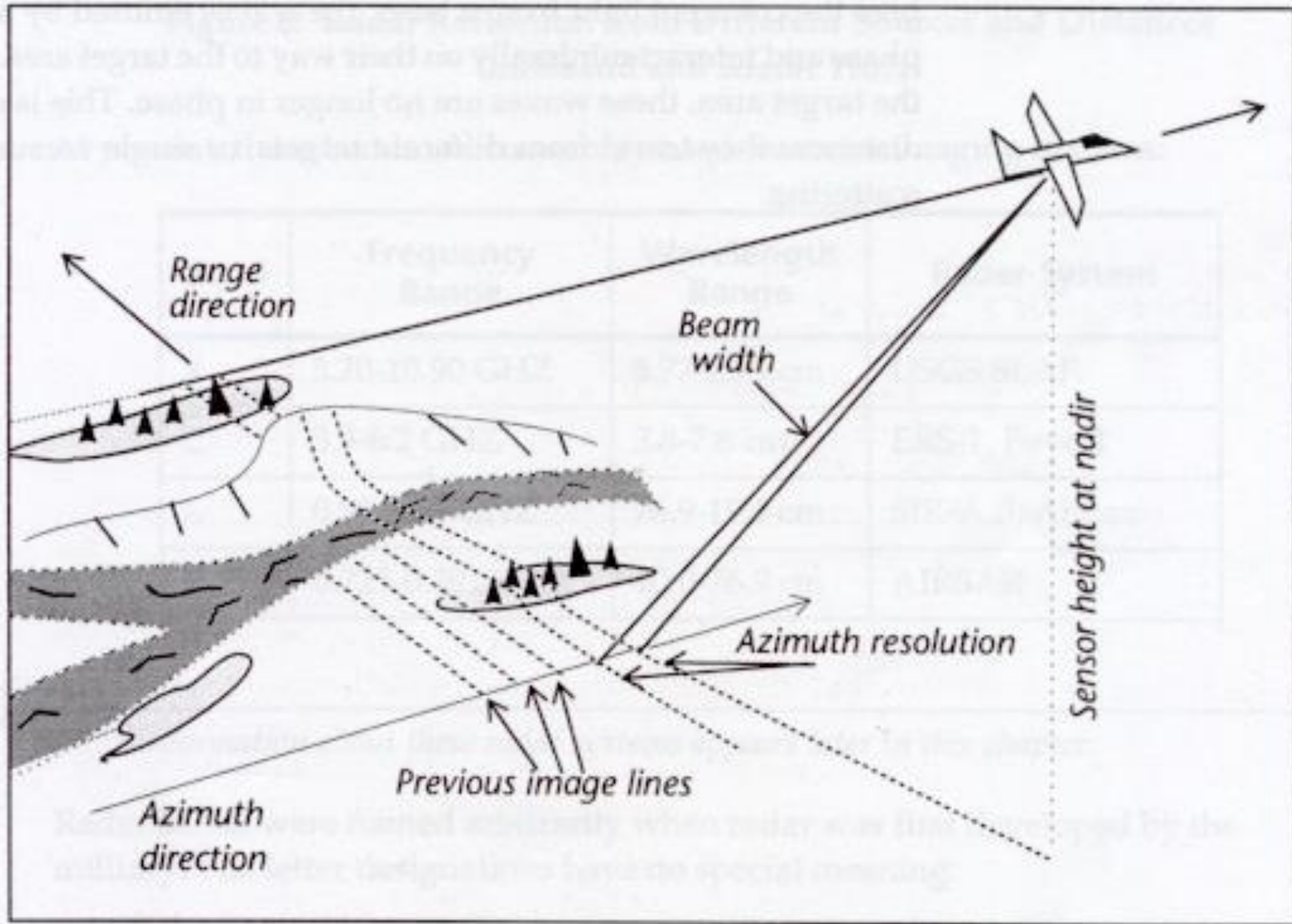
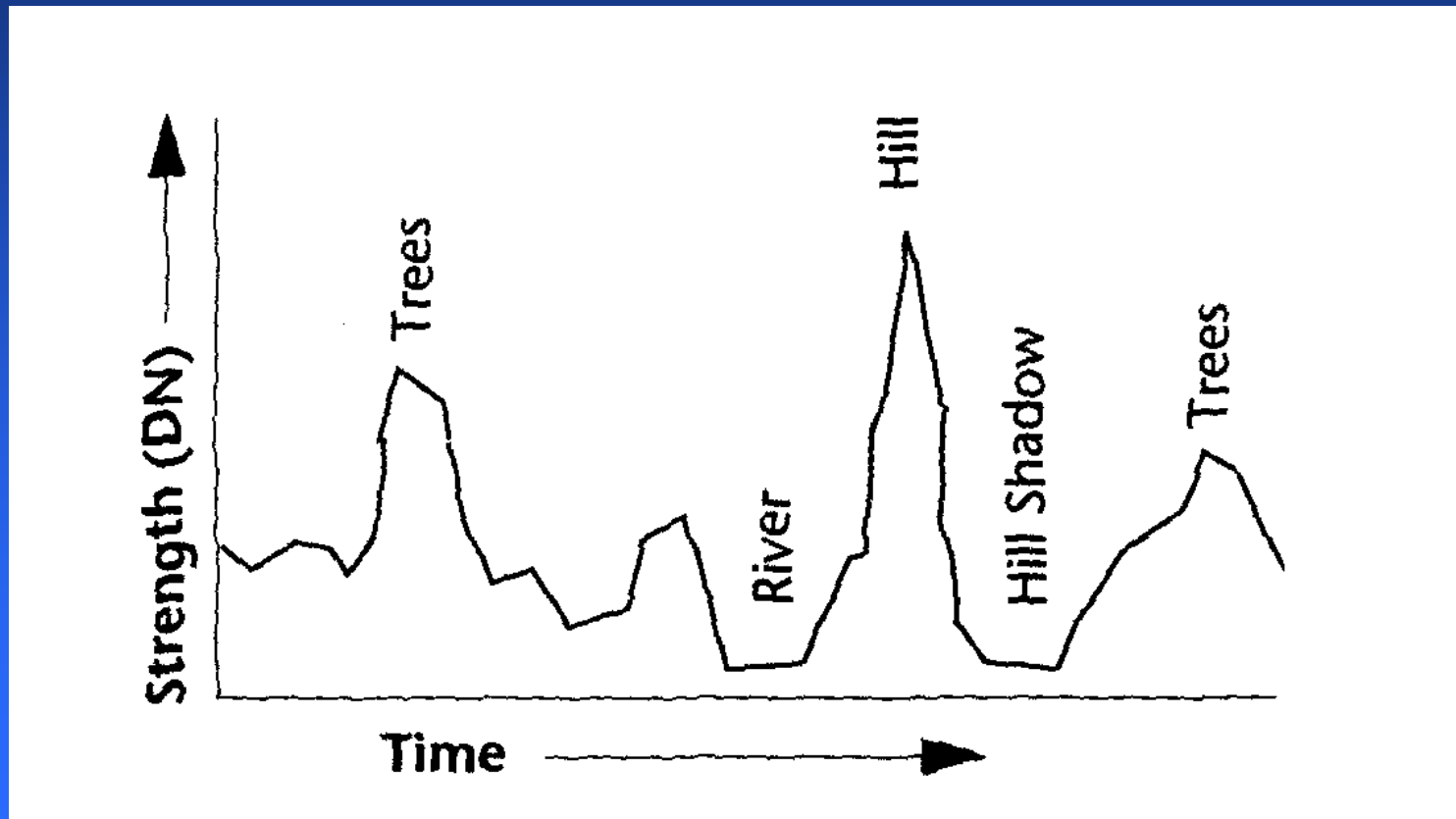


Figure 4: SLAR Radar (Lillesand and Kiefer 1987)

Satélites Radar

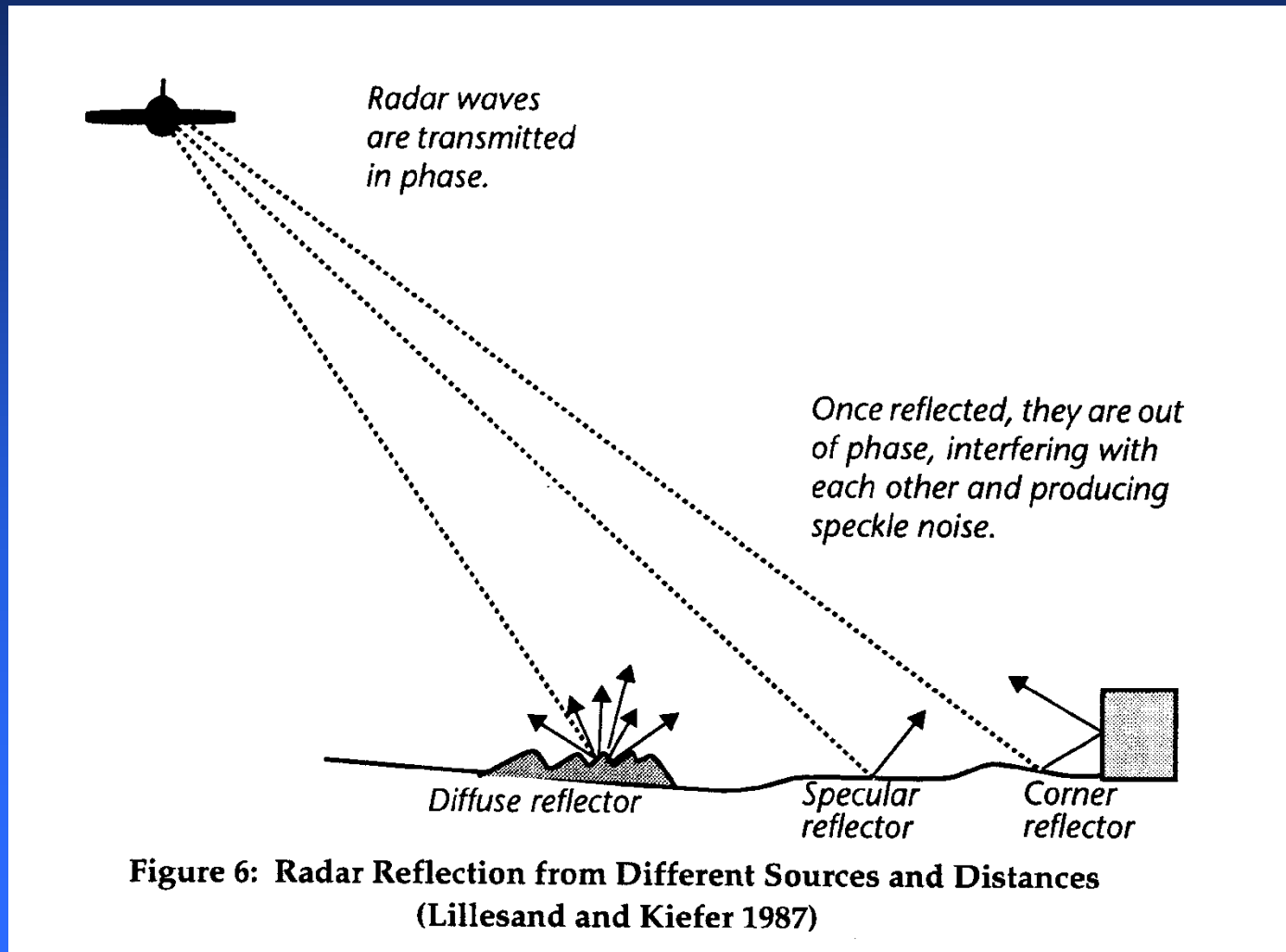
Radar SLAR

Gráfico con los datos recibidos de la radiación transmitida en el caso de la figura anterior



Satélites Radar

Reflejo de ondas de radar de diferentes fuentes y distancias



Satélites Radar

Banda	Rango de Frecuencia	Rango de longitud de onda	Sistema de Radar
X	5.20-10.90 GHZ	5.77-2.75 cm	USGS SLAR
C	3.9-6.2 GHZ	3.8-7.6 cm	ERS-1,Fuyo 1
L	0.39-1.55 GHZ	76.9-19.3 cm	SIR-A,B,Almaz
P	0.225-0.391 GHZ	40.0-76.9 cm	AIRSAR

Bandas comunmente usadas por los sistemas de radar

Satélites Radar

Speckle Noise

Cuando las ondas no están en fase pueden interferir constructivamente o destructivamente para producir pixeles oscuros o luminosos que conocidos como *speckle noise*.

Esta distorsión o ruido debe ser reducido antes de empezar a procesar la imagen ya que sino será propagado en el resto de los procesos.

Sin embargo los procesos de reducción de este ruido producen cambios en la imagen.

Diferentes sensores requieren de diferentes procesos de reducción de este ruido.

Satélites Radar

Algunas Aplicaciones

Los datos de Radar pueden ser utilizados independientemente o combinado con datos de otros satélites tales como Landsat, SPOT, etc.

- *Geología* - penetración parcialmente en el terreno y la sensibilidad al micro relieve lo hacen utilizable en mapeo geológico, exploración minera y arqueología.
- *Clasificación* - una escena de radar combinada con información de datos visible/infrarrojo para clasificar la vegetación.
- *Hidrogeología* - mediciones de niveles de humedad de los suelos y de contenidos de agua.

Satélites Radar

Algunas Aplicaciones

Oceanografía - mediciones de el viento y las olas, estado de las aguas e reportes del clima, así como monitoreo de las corrientes en los océanos y situación de hielos en mares u océanos de regiones polares.

- *Polución* - detección de petróleo o similares en superficies de agua para monitorear derrames.

Satélites Radar

	ERS-1	JERS-1	SIR-A,B	SIR-C	RADARSAT	Almaz
Disponibilidad	operacional	operacional	1981, 1994	1994	1995	1991-1992
Resolución	30 m	18 m	40 m	30 m	25 m	15 m
Tiempo de visita	35 días	44 días	ND	ND	3 días	ND
Area de la escena	100 x 100	75 x 75	50 x 50	variable	100 x 100	40 x 40
Bandas	C	L	L	L, C, X	C	C

Satélites Radar

ESA ERS-1: <http://earth.esa.int/ers/satconc/>

ESA ERS-2:

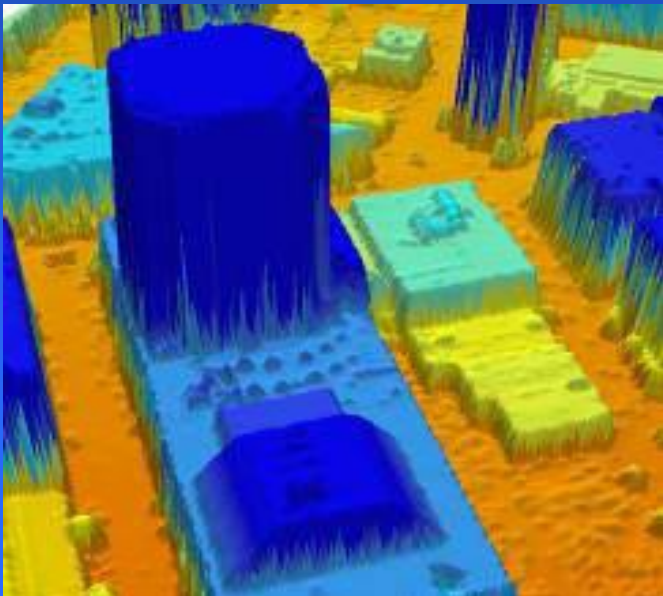
http://earth.esa.int/ers/status/status_20080728.html

<http://earth.esa.int/services/pg/samples/pgerssarpri.html>

Otras fuentes de imágenes

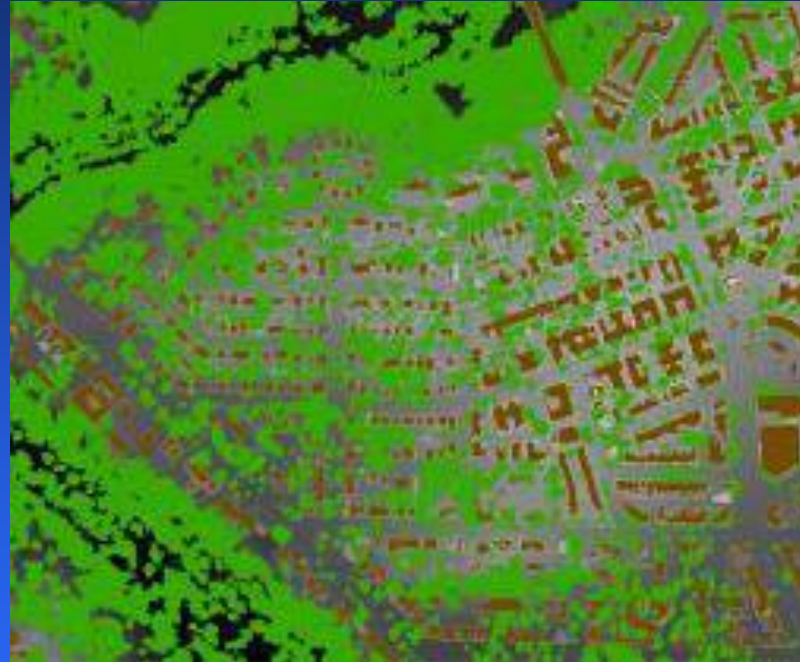
Existen muchos tipos de imágenes que se pueden obtener a partir de instrumentos ubicados en Aviones.

- **LIDAR (Light Detection and Ranging)** - sistema laser de medición de puntos sobre la superficie del terreno, alta precisión para DTM (modelo digital de terreno).



Otras fuentes de imágenes

LIDAR (Light Detection and Ranging) -



The image on the left is a LIDAR DEM. The image on the right shows the extraction of trees (green) and buildings (brown).

Otras fuentes de imágenes

LIDAR (Light Detection and Ranging) -



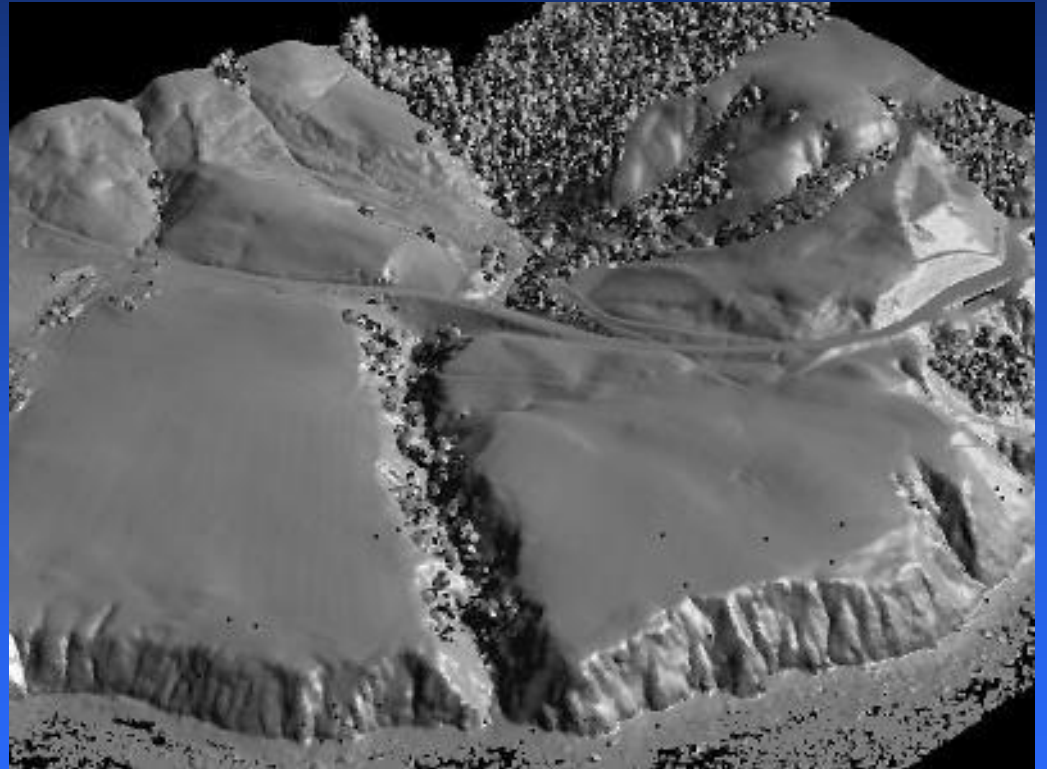
LIDAR Analyst automatically extracts 3D terrain, buildings, trees, and forest features from airborne LIDAR. The top image shows the raw LIDAR data. The bottom image shows 3D building Shapefiles on top of the Bare earth surface. All of these features are extracted with 100% automation.

Otras fuentes de imágenes

LIDAR (Light Detection and Ranging) -

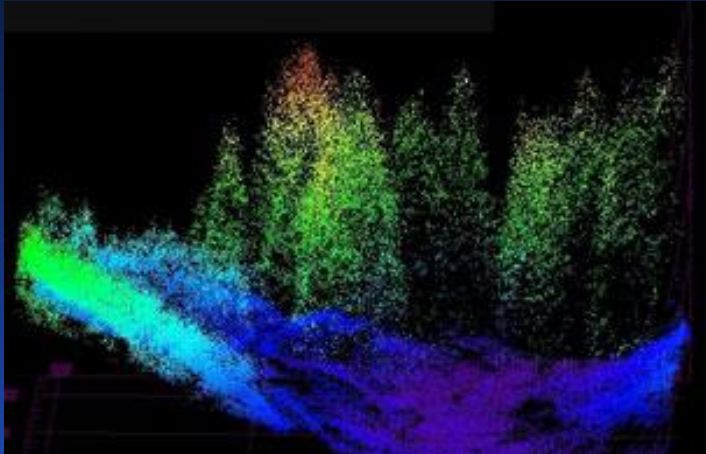


World Trade Centre -
Ground Zero Airborne LiDAR
Survey

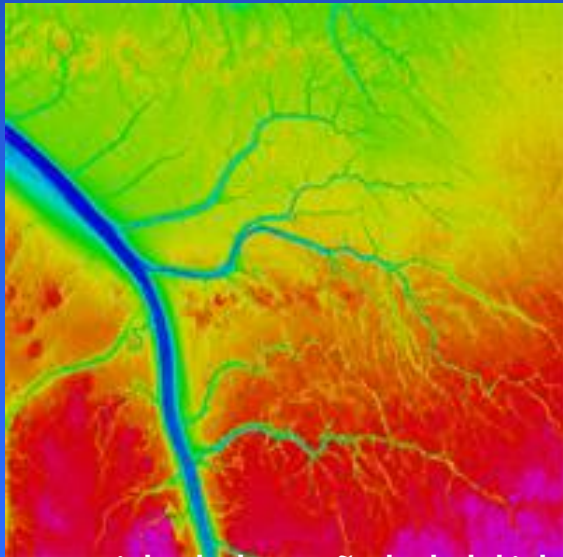


LiDAR image of part of the northern California
coast.

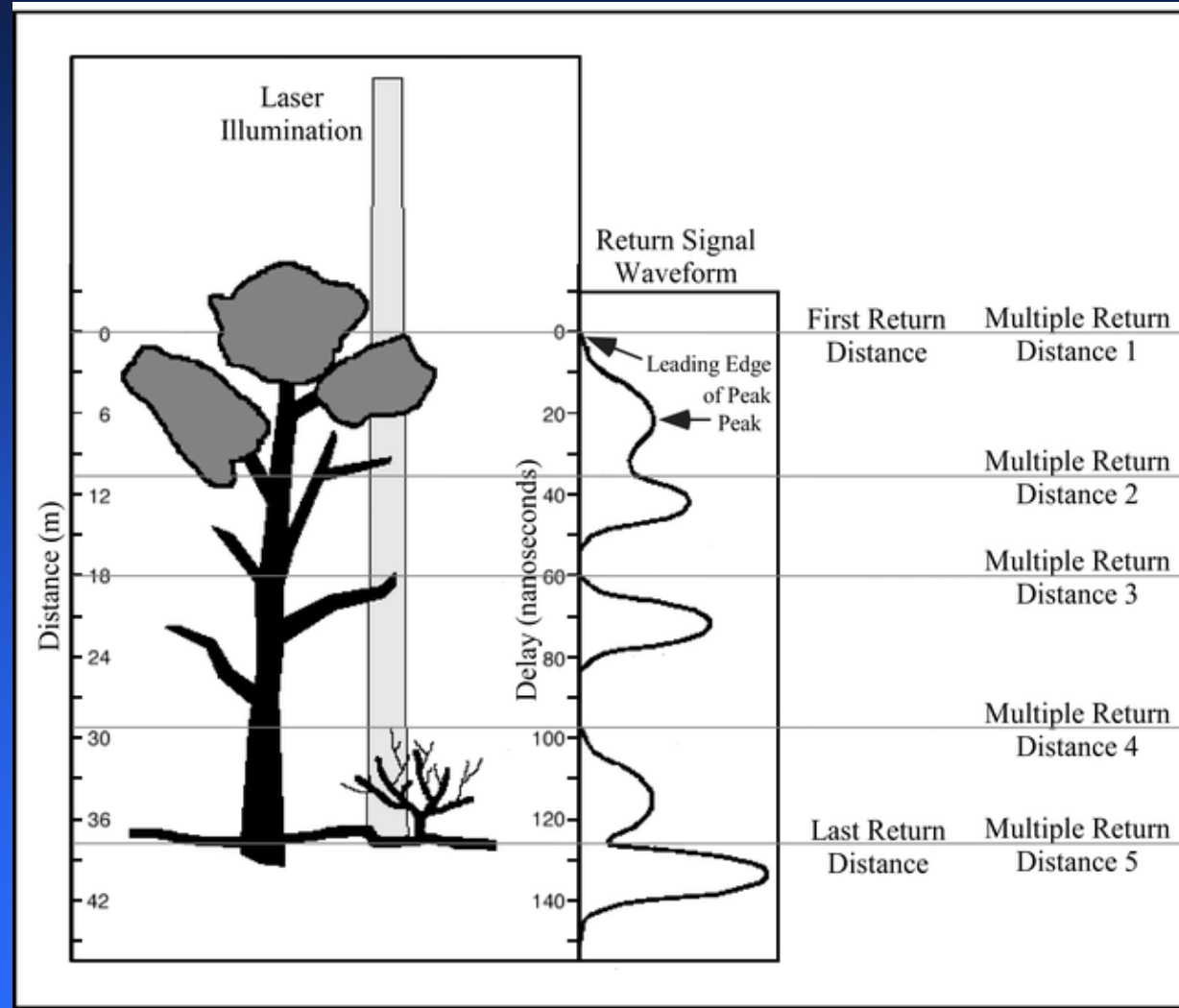
LIDAR (Light Detection and Ranging) -



Visualización 3D a partir de la señal de retorno de lidar



Intensidad de señal del lidar



Fuentes:

<http://welcome.warnercnr.colostate.edu/~lefsky/biosci/index.html#s2>

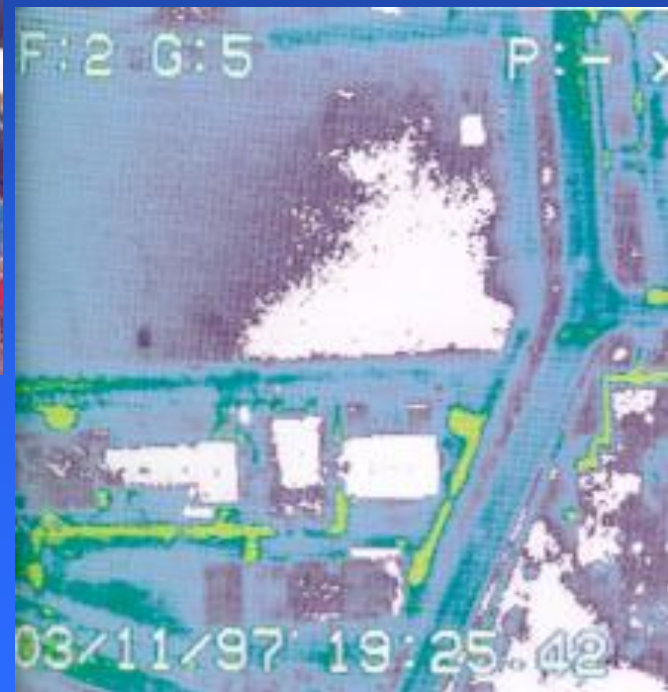
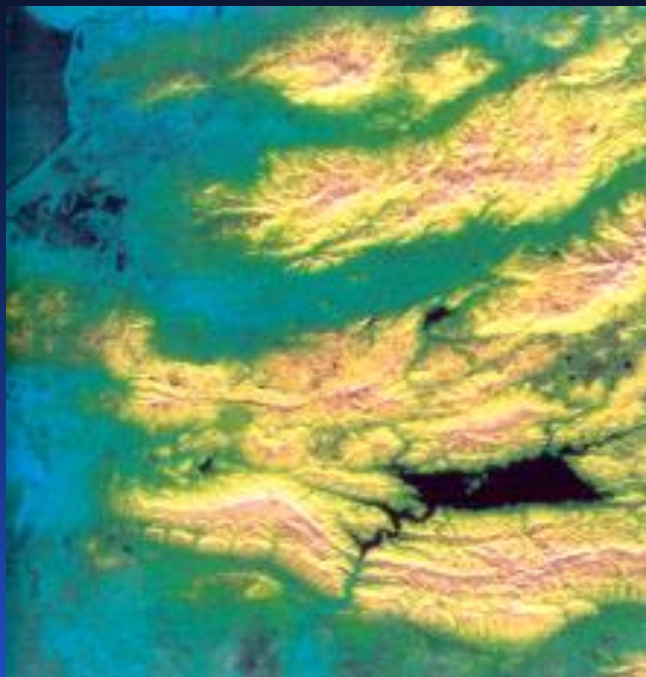
Otras fuentes de imágenes

IFSAR (InterFerometric Synthetic Aperture Radar) - sistema de radar de alta precisión para generación de DTM.

- ***Cámara digital*** - fija y de barrido que permite utilizar las imágenes inmediatamente.
- ***Cámara multispectral digital.***

Otras fuentes de imágenes

- **Radiómetro de microondas** - monitoreo de medio ambiente y desastres ecológicos, medición directa de humedad del suelo, salinidad, existencia de mapas superficiales y detección de objetos bajo tierra cercanos a la superficie (roturas de cañerías por cambio de humedad)
- **Cámara termográfica** - medición directa de cambios de temperatura de superficies, ubicación de cañerías de vapor bajo tierra, pérdida de temperatura de edificios.





Procesos sobre la imagen

- Corrección o mejora de la imagen
- Clasificación
- Rectificación

Corrección o mejora de la imagen

Algunos de los procesos son:

- *Corrección de datos* - corrección radiométrica y geométrica, efectos atmosféricos.
- *Mejoras radiométricas* - cambios de histograma y de contraste.
- *Mejoras espaciales* - filtros de convolución, filtros adaptativos.
- *Mejoras espectrales* - análisis de componentes principales, conversión de formatos de color.
- *Análisis de Fourier* - fast Fourier, fast Fourier inversa, magnitud de Fourier.
- *Mejoras de imágenes de radar* - Speckle noise, detección de bordes, textura, corrección radiométrica, corrección slant-to-ground, combinación con imágenes VIS/IR.

Corrección o mejora de la imagen

Corrección radiométrica

Se refiere a variaciones en la intensidad de los píxeles no causadas por el objeto o la escena que está siendo escaneada.

Causas:

- Mal funcionamiento de los detectores
- Efectos topográficos
- Efectos atmosféricos

Ejemplos:

- Striping
- Line dropout

Corrección o mejora de la imagen

Corrección geométrica

Se aplica a sensores de barrido para corregir errores debidos a la curvatura de la tierra y al movimiento del sensor.

En los satélites actuales algunos de estos errores son corregidos antes de entregar la imagen al usuario.

Aquellos sensores que no tienen una vista del nadir, sino que apuntan hacia un costado, son de gran utilidad para generar vistas estéreo o DEM.

Por otro lado independientemente de que tengan vista del nadir o no, se produce un error en los pixeles de la periferia de imágenes o escenas que abarcan grandes áreas (como ser AVHRR)

Estos errores se solucionan mayormente rectificando la imagen con un mapa.

Corrección o mejora de la imagen

Mejoras radiométricas

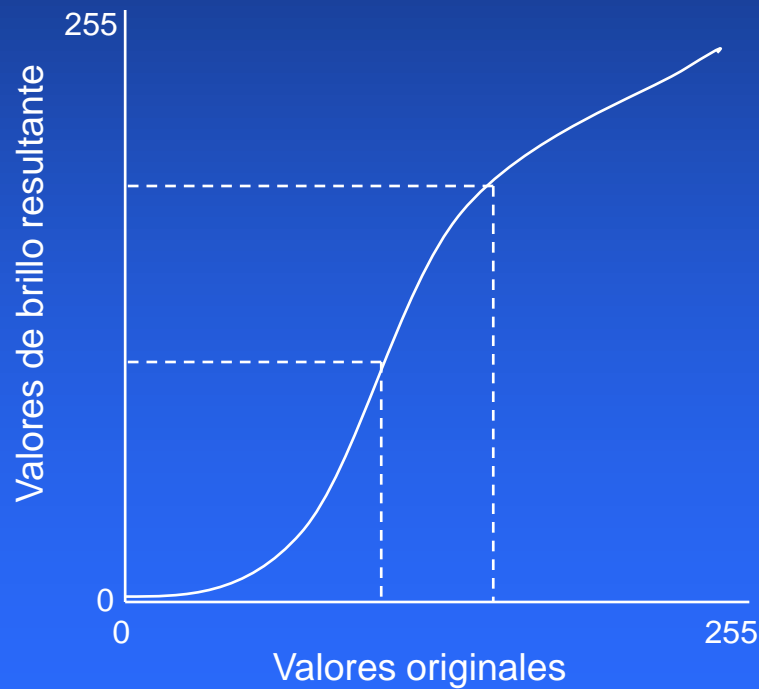
Se aplican sobre cada pixel en forma individual sin considerar los pixeles vecinos, y deben ser aplicados por cada banda en forma independiente.

Algunas de las técnicas son:

- Modificación del contraste (Contrast Stretching)
- Modificación del histograma (Histogram Equalization)

Corrección o mejora de la imagen

Contrast Stretching



Lineal

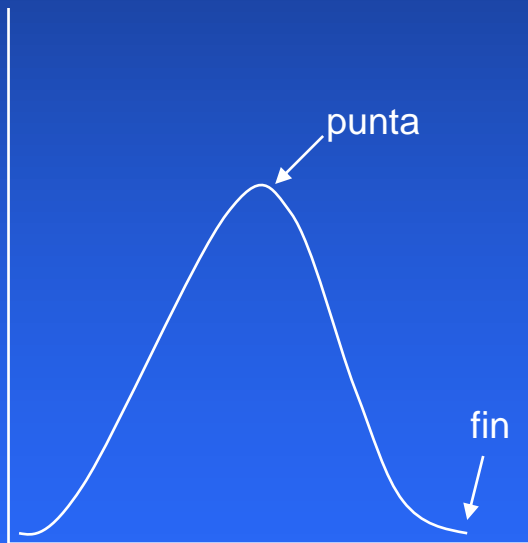
No lineal

De a trozos

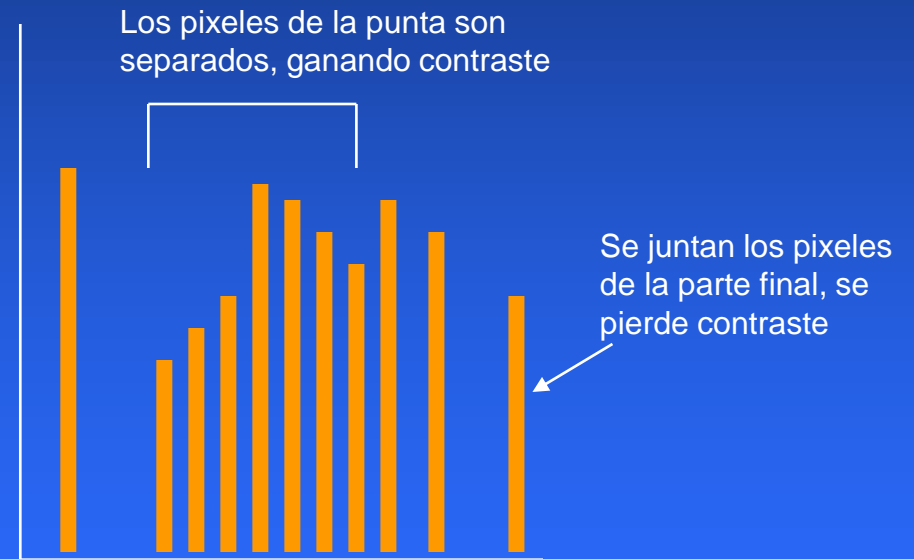
Corrección o mejora de la imagen

Histogram Equalization

Es una redistribución no lineal de los valores de los píxeles tal que se mantenga aproximadamente la misma cantidad de píxeles para cada valor dentro del rango.



Histograma original



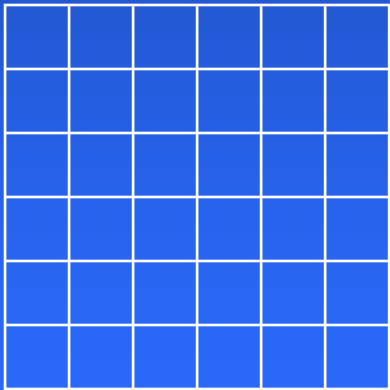
Histograma procesado

Corrección o mejora de la imagen

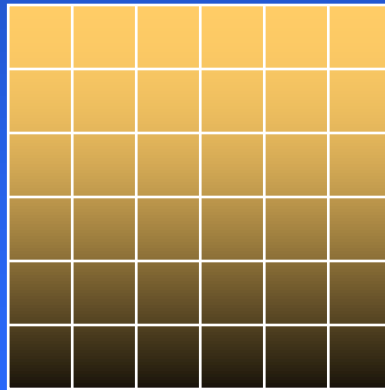
Mejoras Espaciales

Se modifica el valor de un pixel teniendo en cuenta los pixeles que lo rodean.

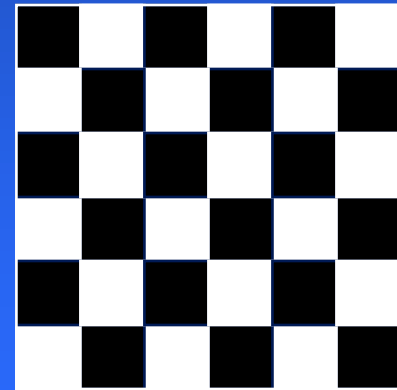
Se considera la **frecuencia espacial**, que es la cantidad de cambios de brillo por unidad de distancia, basado en las diferencias entre los valores de mayor y menor brillo para un conjunto continuo de pixeles.



Frecuencia espacial nula



Frecuencia espacial baja



Frecuencia espacial alta

Corrección o mejora de la imagen

Mejoras Espaciales

Filtros de convolución

Es un proceso que promedia un conjunto pequeño de píxeles en toda la imagen, mediante una matriz o núcleo de convolución, modificando la frecuencia espacial de la imagen.

2	8	8	6	9	7
2	5	6	2	6	6
2	3	3	3	3	2
2	2	6	6	6	8
8	2	8	6	6	2
2	2	2	3	2	2

-1	-1	-1
-1	16	-1
-1	-1	-1

Matriz o kernel de convolución
(ejemplo de high-pass kernel)

Valor del píxel a cambiar = 3

Nuevo valor = $(-1 \cdot 5) + (-1 \cdot 6) + (-1 \cdot 2) + (-1 \cdot 3) + (16 \cdot 3) + (-1 \cdot 3) + (-1 \cdot 2) + (-1 \cdot 6) + (-1 \cdot 6) / (-1 + -1 + -1 + -1 + 16 + -1 + -1 + -1 + -1)$

Corrección o mejora de la imagen

Mejoras Espaciales

Filtros de convolución

- *Zero-sum Kernel* - la suma de todos los coeficientes es cero por lo tanto no se debe dividir. Devuelve cero en casos donde todos los pixeles son iguales, y los valores bajos los transforma en más bajos y los altos en más altos. Por lo tanto es usado en *detección de bordes*.
- *High-Frequency Kernel* - o high-pass kernel, incrementa la frecuencia espacial, resaltando los bordes sin eliminar otros elementos.
- *Low-Frequency Kernel* - promedia los valores de los pixeles, haciendo la imagen más homogénea

Corrección o mejora de la imagen

Mejoras Espaciales

Filtros adaptativos

Existen situaciones donde no es conveniente aplicar filtros que afecten globalmente a la imagen por presentar ciertas particularidades. Por ejemplo, en imágenes donde se incluye una costa con gran cantidad de agua representada por valores bajos y el terreno con valores altos. En estos casos es conveniente un *filtro que se adapte a las distintas áreas de interés dentro de la imagen.*

Corrección o mejora de la imagen

Mejoras Espectrales

Estas técnicas requieren de más de una banda y se utilizan para:

- comprimir bandas
- extraer nuevas bandas más fáciles de interpretar
- aplicar algoritmos y transformaciones matemáticas.
- desplegar una gran variedad de información basados en colores de tres componentes (R, G, B)

Corrección o mejora de la imagen

Mejoras Espectrales

Algunas técnicas:

- *Análisis de componentes principales* - comprime datos redundantes, produciendo bandas que son más fáciles de interpretar que las originales.
- *Algebra* - ecuaciones lineales que utilizan valores de dos o más bandas.
- *Transformaciones de colores* - conversión de RGB a IHS y viceversa.

Corrección o mejora de la imagen

Análisis de Fourier

La premisa básica atrás de la *Transformada de Fourier* es que cualquier función $f(x)$ de una dimensión (puede ser una fila de píxeles), puede ser representada por series de Fourier que consistan en cierta combinación de términos de cosenos y senos y coeficientes asociados.

La *Transformada de Fourier (FT)* es una transformación lineal que permite el cálculo de los coeficientes necesarios para que la imagen pueda ser representada adecuadamente en términos de seno y coseno.

DFT (Discrete Fourier Transform) - FT para señales discretas.

FFT (Fast Fourier Transform) - versión eficiente de DFT

FFT de dos dimensiones - FFT para imágenes con varias filas de píxeles de una dimensión (uso incremental de FFT en cada dirección, combinando el resultado).

Corrección o mejora de la imagen

Análisis de Fourier

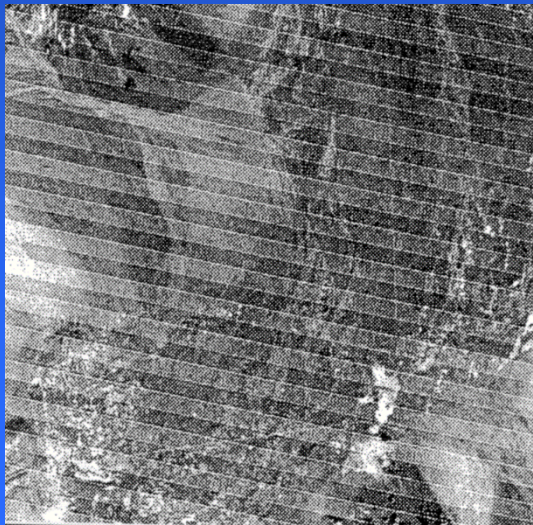
FT es muy usada en reducción del ruido tales como striping, manchas, o vibraciones en la imagen identificando periodicidad.

La *inversa de FFT* es la inversa de la FFT de dos dimensiones.

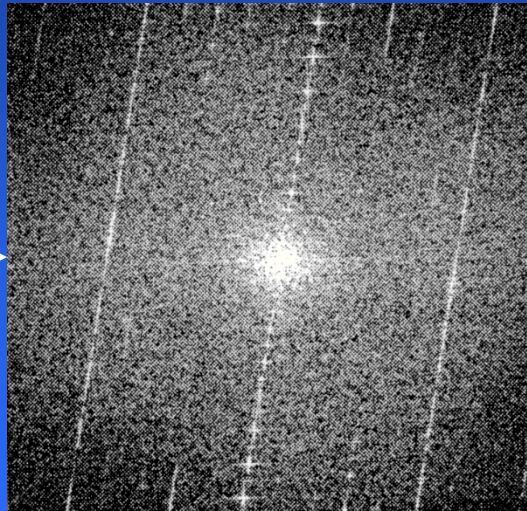
Corrección o mejora de la imagen

Análisis de Fourier

Imagen original
con errores
(striping)



FFT



FFT editada

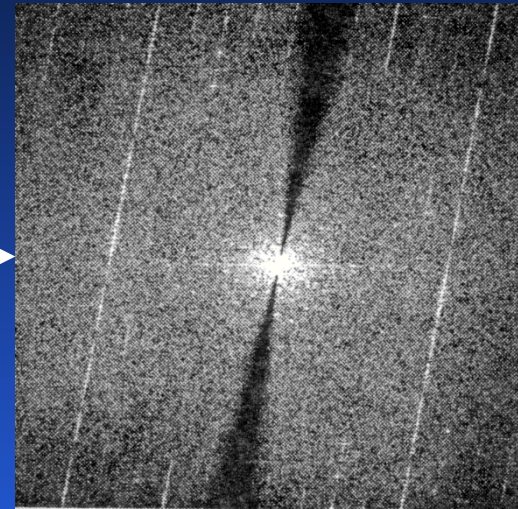
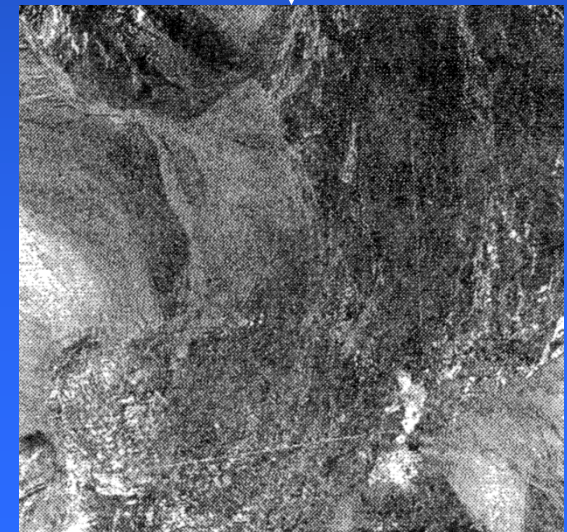


Imagen final
corregida
Inversa de FFT
editada



Corrección o mejora de la imagen

Combinación de imágenes de radar con imágenes VIS /IR

Imagen resultante brinda información química (VIS/IR) y física (RADAR).

Algunos de los métodos de combinación son:

- *Co-despliegue* - usando RGB, la banda de radar se ubica en R, y dos bandas de VIS/IR en G y B.
- *RGB a IHS* - bandas de VIS/IR se integran en RGB, se transforman a IHS, la componente I se sustituye por el RADAR, y finalmente se transforma a RGB.

Corrección o mejora de la imagen

Combinación de imágenes de radar con imágenes VIS /IR

- *Componentes principales* - se generan las componentes principales (PC) a partir de las bandas de VIS/IR (pueden ser más de tres PC), la primera PC (PC-1), se sustituye por la imagen RADAR, luego se aplica la transformación inversa.
- *Multiplicativo* - requiere de muchos componentes cromáticos y un componente multiplicativo asociado a la intensidad de la imagen. En la práctica los componentes cromáticos son los radios de bandas o las PCs, la imagen de radar es la entrada multiplicativa como intensidad. No se puede asumir que la intensidad del radar es equivalente a la intensidad de VIS/IR, la aceptación de esto depende de cada caso, resultando en el éxito o no de aplicar este método.

Clasificación

La *clasificación multispectral* es el proceso de ordenar píxeles en una cantidad finita de clases o categorías.

Si un píxel satisface cierto criterio, es asignado a la clase correspondiente a ese criterio. Este proceso también es llamado *segmentación*.

Las clases pueden representar elementos tales como vegetación, urbes, caminos, hidrografía, etc.

Clasificación

Proceso de clasificación

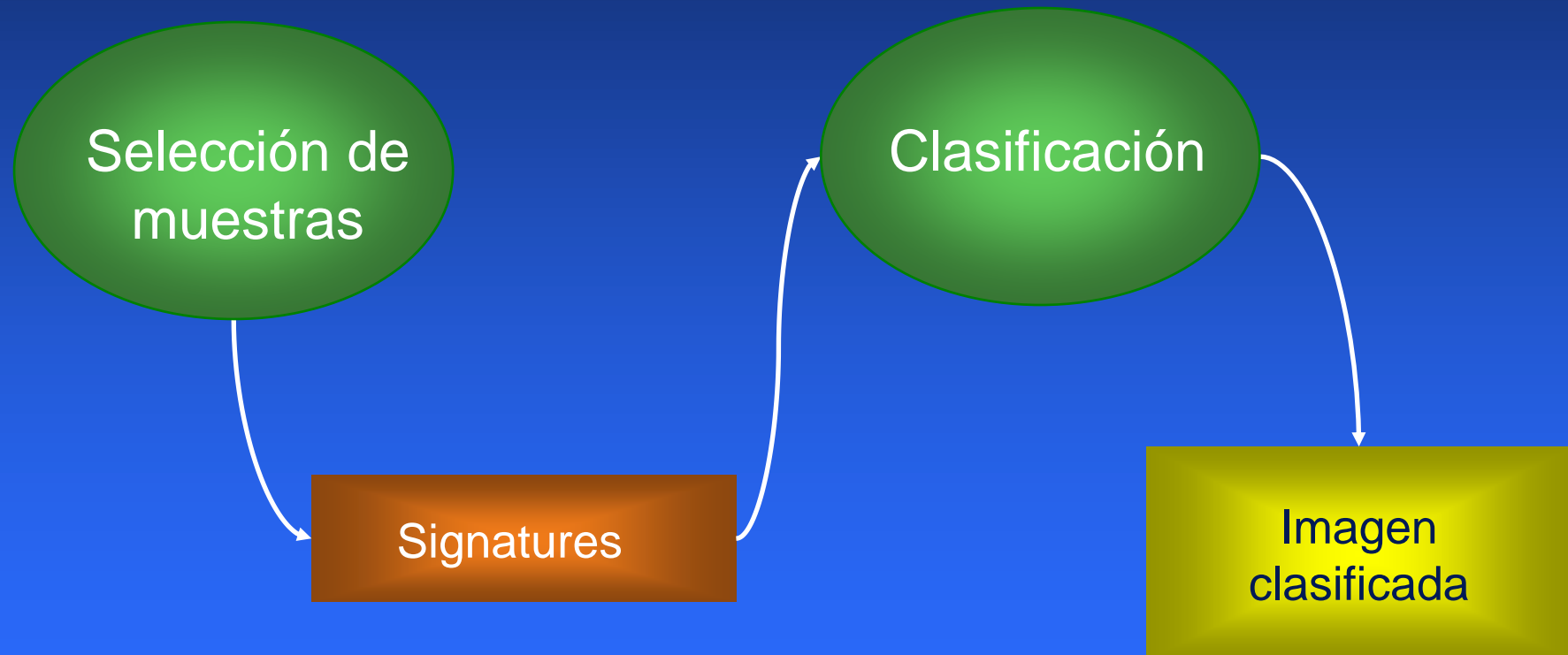
A cada pixel de la imagen se le asigna un valor o clase según un criterio matemático, basado en información estadística derivada de las características espectrales de los píxeles de la imagen.

Dos formas frecuentes de clasificación

- Clasificación Supervisada
- Clasificación No Supervisada o Clustering

Clasificación

Clasificación Supervisada



Clasificación

Clasificación Supervisada

Selección de muestras

- Se marcan en la imagen las zonas o áreas con píxeles pertenecientes a un elemento conocido (ej. especie de árbol). Esta información puede ser el resultado de un relevamiento de campo, de alguien que conoce mucho la zona, u otras fuentes.
- Se debe evaluar cada muestra para confirmar su inclusión o no (histograma por banda con distribución normal, gráficos de banda contra banda)
- Las muestras deben abarcar un número mínimo de píxeles (ej. 100), y deben ser representativas del elemento que representan.
- La cantidad de muestras debe ser tal que abarque distintas situaciones para un mismo elemento.

Clasificación

Clasificación Supervisada

Signatures

- Las muestras seleccionadas están confirmadas.
- Aportan información estadística para la clasificación.
- Cada muestra seleccionada es un ejemplo de la respuesta espectral (o firma espectral) en cada banda del elemento que representa.
- Las muestras son usadas como reglas de decisión para asignar píxeles a clases en el proceso de clasificación posterior.

Clasificación

Clasificación Supervisada

Clasificación

El objetivo es asignar cada pixel del área de estudio a una clase conocida.

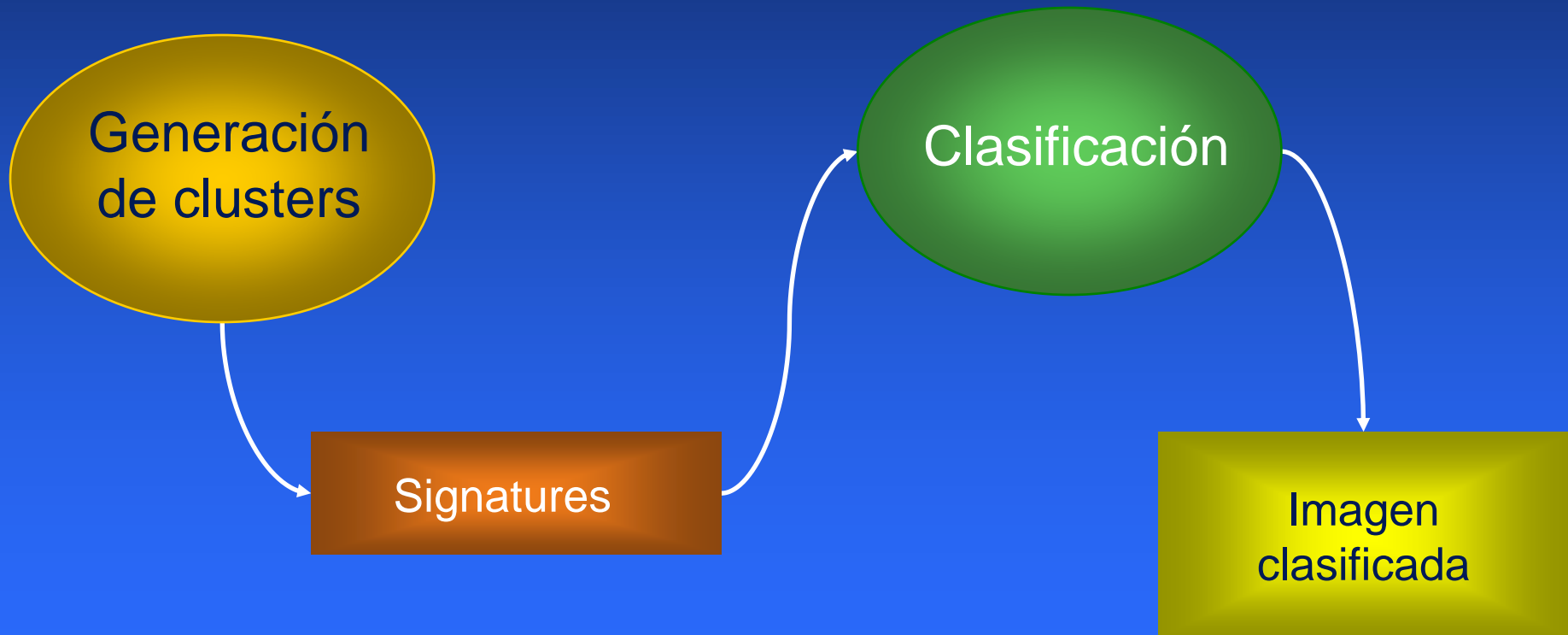
El resultado es una imagen con el área de estudio partida en clases conocidas (derivadas de las muestras).

Comunmente se utilizan dos algoritmos de clasificación que valen tanto como para la supervisada como para la no supervisada:

- Maximum likelihood
- Class probability

Clasificación

Clasificación No Supervisada (unsupervised classification o clustering)



Clasificación

Clasificación No Supervisada

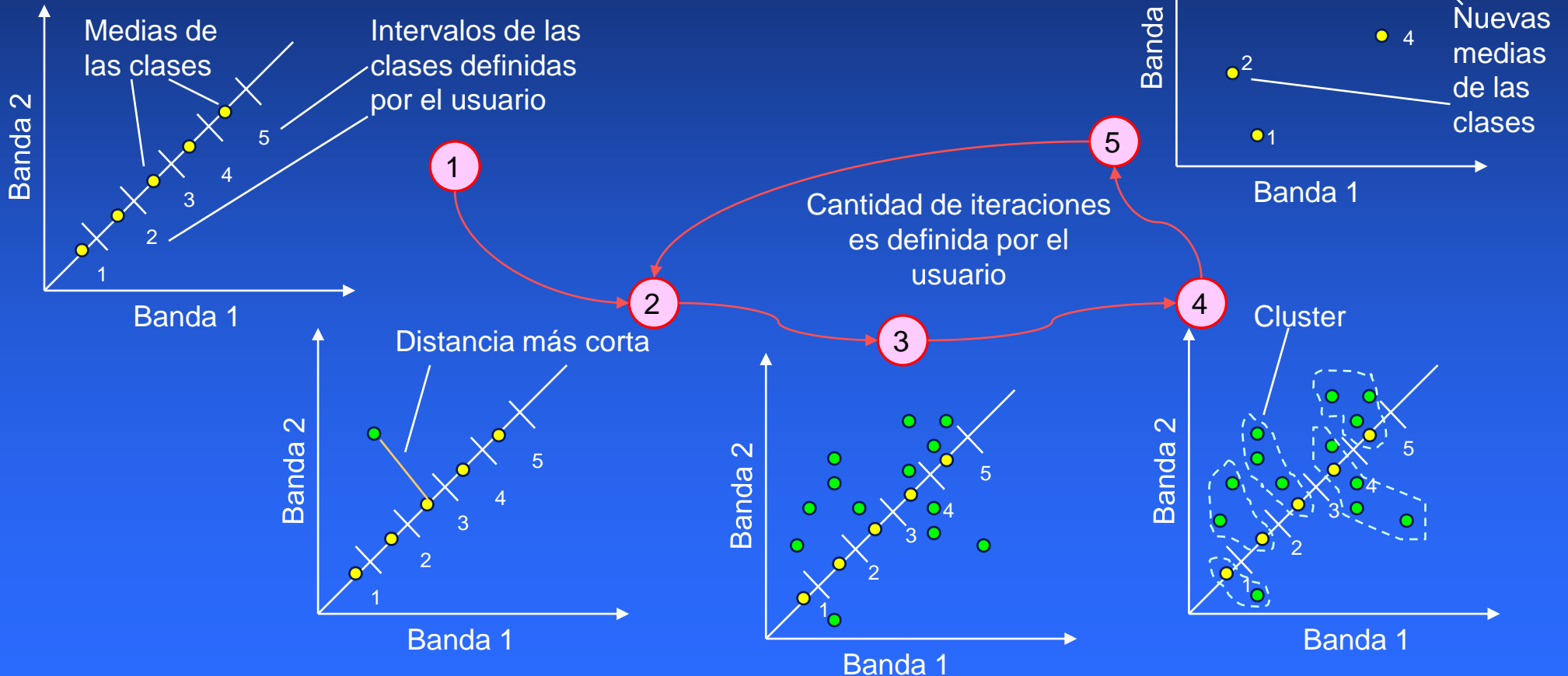
Generación de Clusters

Comprende la identificación de clusters naturales determinados en la imagen.

El método usado es el algoritmo llamado Iterative Self Organizing (ISO). Los clusters son calculados usando un subconjunto de píxeles del área de estudio. Todos los cálculos son realizados sobre los valores de los píxeles basado en las características espectrales en cada banda y no las espaciales. Lo que significa que la media es derivada de los distintos valores almacenados en las bandas. La covarianza y varianza son calculados a partir de la variación dentro y entre las bandas.

Clasificación

Clasificación No Supervisada Generación de Clusters - Algoritmo ISO



Clasificación

Clasificación

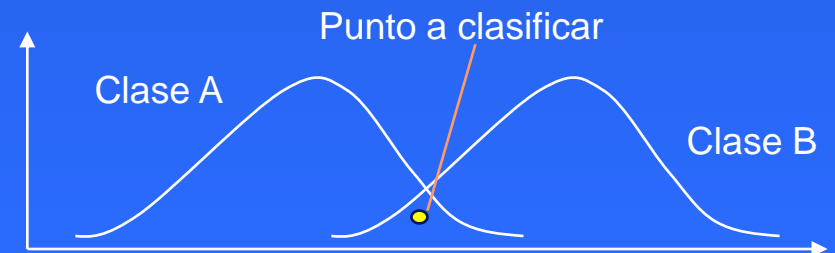
Maximum Likelihood (ML)

Cómo se clasifica un punto que cae entre dos clases A y B? A o B?

Por cada clase calcula la probabilidad de que un punto pertenezca a ella en función de sus características espectrales. El punto es asignado a la clase con mayor probabilidad.

Para que ML funcione correctamente se parte de ciertas hipótesis:

- los datos en cada banda deben tener distribución normal (histogramas)
- cada clase debe tener distribución normal en el espacio dado por las bandas.
- todas las clases deben ser igualmente probables.



Clasificación

Clasificación

Class Probability

Genera un layer (o imagen) por cada clase, conteniendo la probabilidad de cada pixel de pertenecer a esa clase.

Permite crear nuevas clases manualmente teniendo en cuenta las probabilidades por cada clase.

Ejemplo:

Un pixel tiene 60% en clase forestación y 30% en clase de terreno inundable. Tal vez en lugar de clasificarlo como forestación se podría crear una nueva clase que fuera forestación inundable.

Clasificación

Es posible combinar una clasificación *supervisada* con una *no supervisada*, usando **máscaras** para extraer información en cada paso e ir simplificando la imagen.

Clasificación

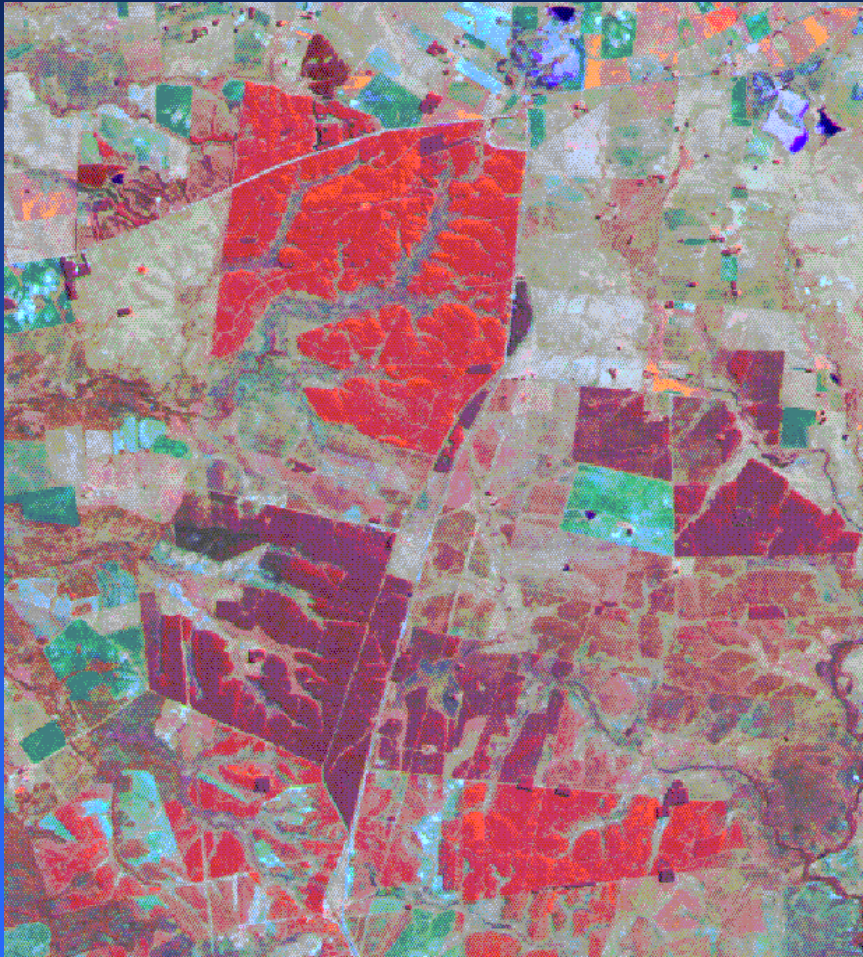


Imagen original



Imagen clasificada

Otras técnicas

Maximum likelihood classification

- The cells in each class sample in the multidimensional space being normally distributed
- Bayes' theorem of decision making)

Svm (Support Vector Machine – supervised classification method)

- The SVM classifier needs fewer samples and does not require the samples to be normally distributed.
- It is less susceptible to noise, correlated bands, and an unbalanced number or size of training sites within each class.

RF (Random Forest)

Redes Neuronales

- Unet Classifier
- PSPNet Classifier
- DeepLab
- *BDCN Edge Detector*
- *HED Edge Detector*

Rectificación

Algunos ejemplos de rectificación:

- Imagen satelital rectificada usando un mapa vectorial ya rectificado y georreferenciado.
- Imagen satelital rectificada usando puntos de control (GPS o no).
- Imagen satelital rectificada usando una imagen rectificada.
- Mapa vectorial rectificado usando otro mapa vectorial o puntos de control.

Rectificación

Rectificación de una imagen tomando puntos de control

- Se seleccionan puntos notables en la imagen fáciles de ubicar (cruces de caminos, caminos con cursos de agua)
- La cantidad de puntos debe elegirse acorde al orden de la transformación.
- Se determinan las coordenadas de los puntos elegidos - con apoyo de campo mediante GPS, o con coordenadas extraídas a partir de cartas geográficas.
- Se rectifica la imagen haciendo posteriormente resampling.

Rectificación

Es un proceso que involucra varios conceptos:

- Rectificación
- Resample
- Registration
- Georreferenciación
- Geocodificación
- Latitud y Longitud
- Ortorectificación

Rectificación

Rectificación

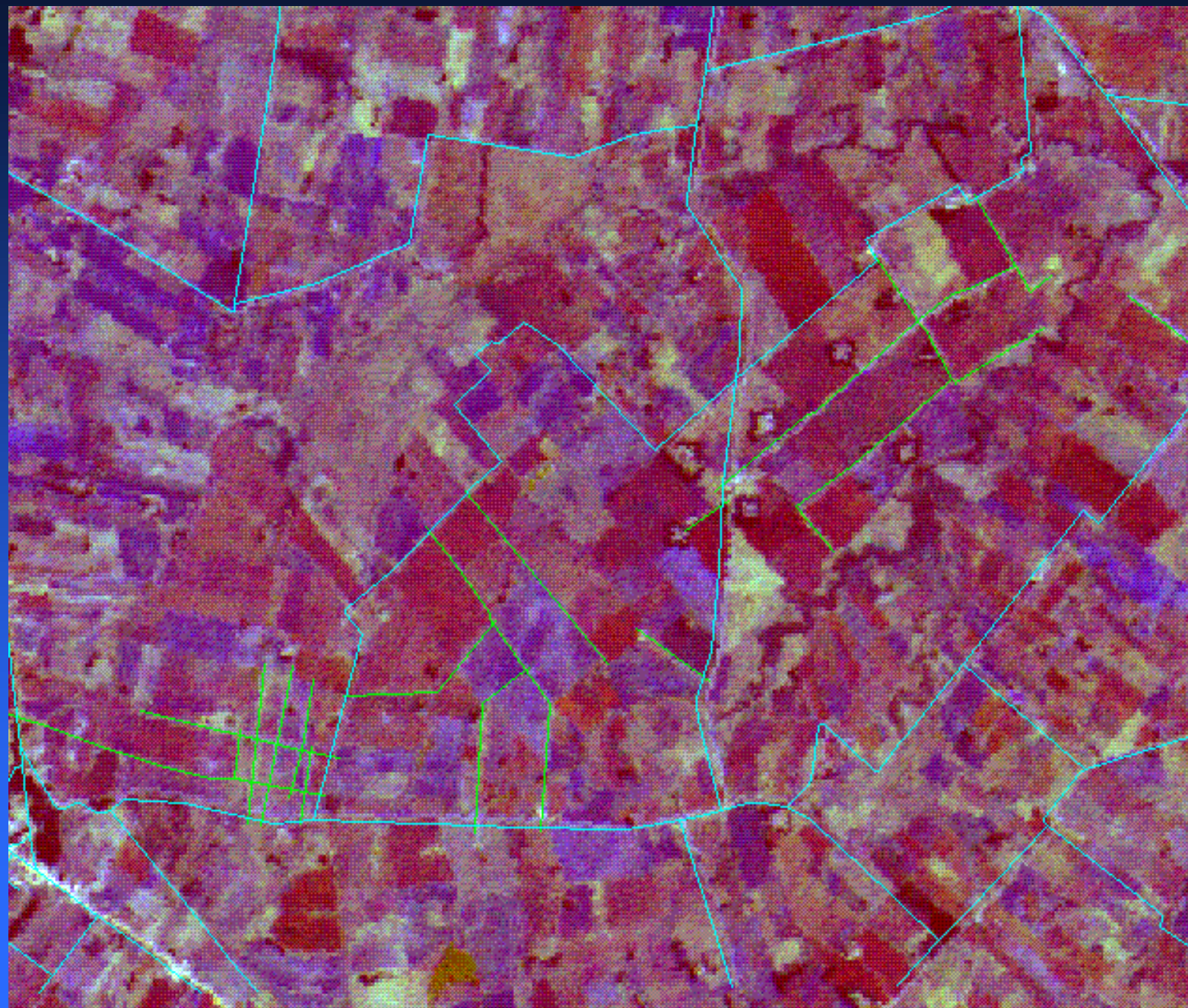
Es el proceso para transformar los datos de una grilla en un sistema a otro sistema usando un polígono de orden n .

Es necesaria en casos en que se necesita cambiar los pixeles de una grilla o imagen, a otro sistema de proyección o para que encajen con otra imagen de referencia.

Rectificación

Rectificación

- Identificar zonas o puntos para relevamiento de campo
- superposición de una imagen con una cobertura de vectores
- medir distancias y áreas
- mosaicos de imágenes
- análisis que requieran precisión geográfica.



Rectificación

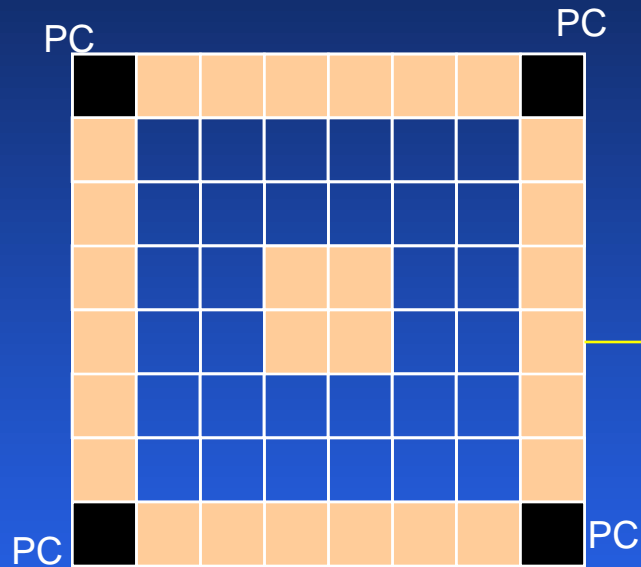
Resampling

Cuando se transforma una grilla de un sistema a otro, los píxeles de la nueva grilla podrían no estar alineados correctamente respecto a los de la grilla original, en ese caso los píxeles deben ser reasignados.

Es el proceso de extrapolar los píxeles de la nueva malla a partir de los píxeles de la malla original.

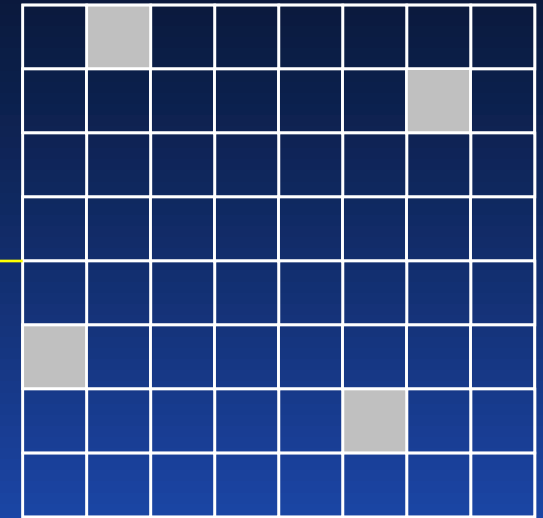
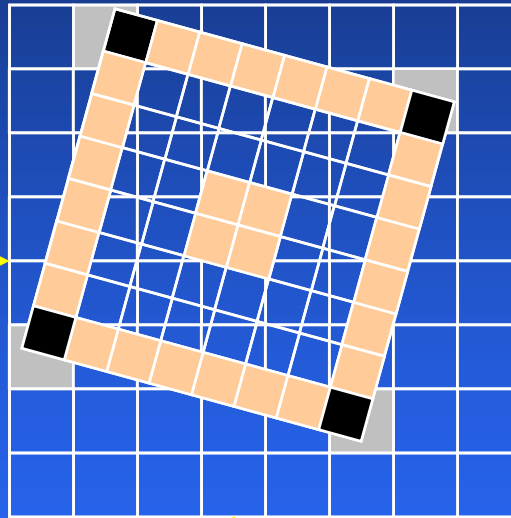
Rectificación

Resampling



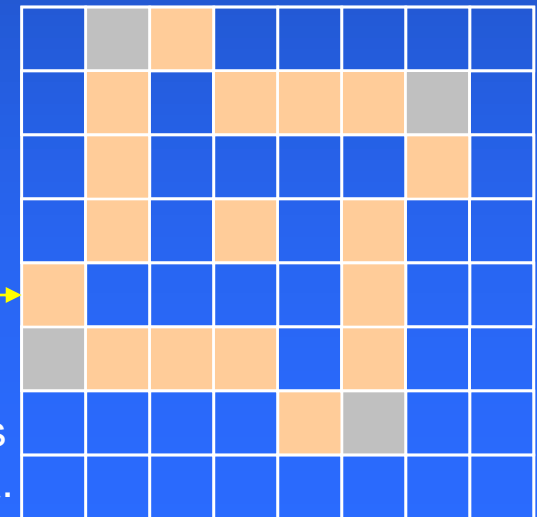
1. Imagen original con los puntos de control determinados

3. Comparación de las dos grillas, los PC de las dos grillas coinciden.



2. Grilla de salida con PC de referencia.

4. Píxeles de la imagen original son asignados a los píxeles de la grilla de salida.



Rectificación

Registration

Cuando se está en el caso de trabajar con imágenes de una misma área pero provenientes de distintas fuentes, las imágenes deben ajustarse exactamente para poder relacionar la información a un mismo elemento.

Es el proceso para que los elementos de dos imágenes se ajusten.

No es necesario ningún sistema de coordenadas geográficas ni de proyección.

Rectificación

Georreferenciación

Es el proceso de asignar coordenadas geográficas a una imagen o datos vectoriales.

Una imagen puede estar proyectada en un plano dado, pero no necesariamente en un sistema de coordenadas apropiado.

La información de georreferenciación se almacena en los cabecales de las imágenes.

Rectificación

Geocodificación

Datos geocodificados son imágenes que han sido rectificadas a un sistema de proyección particular y tamaño de pixel dado.

Usualmente también incluyen correcciones radiométricas.

Los datos geocodificados deben ser rectificadas solamente si se quiere utilizar otro sistema de proyección.

Rectificación

Latitud y Longitud

Es un sistema de coordenadas esférico que no está asociado a ninguna proyección.

Expresan coordenadas en términos de un esferoide y no un plano.

Usualmente una imagen no es rectificadas a Latitud/Longitud.

Rectificación

Ortorectificación

Es una forma de rectificación para correcciones de desplazamiento por relieve o inclinación y puede ser usado en casos como:

- Modelos de elevación del terreno (DEM)
- Regiones montañosas (no regiones planas)
- Fotografías aéreas con edificios.

Rectificación

Quando Georreferenciar solamente

Rectificación no es necesaria en casos donde no hay distorsión en la imagen (escaneo o digitalización de un mapa de papel que está en el sistema de proyección deseado), es decir la imagen ya es plana y no requiere rectificación a menos que se gire o deforme.

Estas imágenes solo necesitan georreferenciarse (a veces alcanza con actualizar el cabezal o header).

Alcanza con dar las coordenadas del vértice superior izquierdo y el tamaño de cada celda o pixel.

Rectificación

Desventajas de la Rectificación

Durante la rectificación, los píxeles deben ser reasignados (resampling). Perdiendo integridad espectral.

- Clasificar antes.
- Si no se necesitan coordenadas ni unidades geográficas, entonces es mejor no rectificar la imagen y hacerlo luego de la clasificación.
- Un imagen no rectificada es más correcta espectralmente.

Rectificación

Procedimiento

Conversión de datos de un sistema de coordenadas a otro, llamado sistema de referencia.

- Ubicar puntos de control.
- Calcular la matriz de transformación y evaluarla.
- Crear la imagen resultado. Los pixeles deben ser reasignados.

Rectificación

Puntos de control

Son puntos conocidos en la imagen original para los cuales se conoce las coordenadas en el sistema de referencia.

- Se ubica en la imagen los puntos fáciles de ubicar en el terreno - puntos de referencia o notables, cruce de caminos, alambrados.
- Se obtienen las coordenadas de dichos puntos en el sistema de referencia (GPS, cartas).

Rectificación

Ordenes de transformación

- El orden del polinomio de transformación que se elija determina el mínimo de puntos a considerar.
- Con los puntos elegidos se calcula la matriz de transformación que consta de los coeficientes de los polinomios de transformación.
- El método elegido para calcular numéricamente la matriz de transformación es el de *MINIMOS CUADRADOS*.

Transformación LINEAL

Transformación NO LINEAL

Rectificación

Ordenes de transformación

Orden de Transformación	Cantidad mínima de puntos de control
1	3
2	6
3	10
4	15
5	21
6	28
7	36
8	45
9	55
10	66

Algunos satélites

GEOEYE

- El satélite GeoEye-1 fue lanzado el 6 de Septiembre de 2008, recoge simultáneamente imágenes pancromáticas (blanco y negro) de 0,41 cm (remuestreados a 50cm) de resolución e imágenes multiespectral (color) de 1,65 metros.
- Precisión en la altura de 1m o mejor usando GCPs.
- Los AOIs pueden ser bastante flexibles en forma (no hacen falta rectángulos) por lo que se pueden cubrir áreas específicas.
- Tiene mucha versatilidad de captura por lo que si las condiciones meteorológicas son buenas (no siempre es así) se pueden hacer capturas en tiempos más breves del estándar.

Algunos satélites

IKONOS

- tipo comercial que posibilita la captación de imágenes con un metro de resolución espacial.
- Tiempo de revista: 1 a 3 días
- Resolución en el terreno de cada banda
 - Pancromática: 1m (considerando posición nominal de 26° para el nadir)
 - Multiespectral: 4m (considerando posición nominal de 26° para el nadir)
- Bandas espectrales
 - Pan: 0.45 - 0.90 μm | Azul: 0.45 - 0.52 μm | Verde: 0.52 - 0.60 μm
 - Rojo: 0.63 - 0.69 μm | Infrarrojo próximo: 0.76 - 0.90 μm
- Rango Dinámico
- posibilita que la información sea almacenada en 11 bits por píxel, con lo cual redundando en un mayor rango dinámico que facilita el contraste y discriminación de la información.

Algunos satélites

PLEIADES

0.5mC + Std Mode + Usuarios 1-5 + Nubes < 10%

Mínimo 100 km² - Resolución: 0.5m

50cm color en 4 bandas (RGB+NIR)

SPOT 6

Pancromático (P): 1,5 m 1 banda (blanco y negro)

Multiespectral (MS): 6 m 4 bandas (A, V, R, IRC)

Bundle (P+MS): 1,5 m y 6 m separados Pan: ,5 m 1 banda (blanco y negro)

Multiespectral : 6 m 4 bandas (A,V,R,IRC)

Pansharpened (PMS): 1,5 m en color (fusionado)

- Pansharpened 4 bandas (A, V, R, IRC)

- Pansharpened 3 bandas

- Color natural (A, V, R)
- Falso color (V, R, IRC)