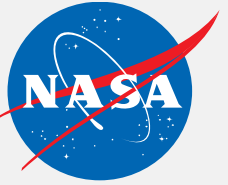


National Aeronautics and
Space Administration



ARSET

Applied Remote Sensing Training

<http://arset.gsfc.nasa.gov>

 @NASAARSET

Conceptos Básicos del Radar de Apertura Sintética

Erika Podest

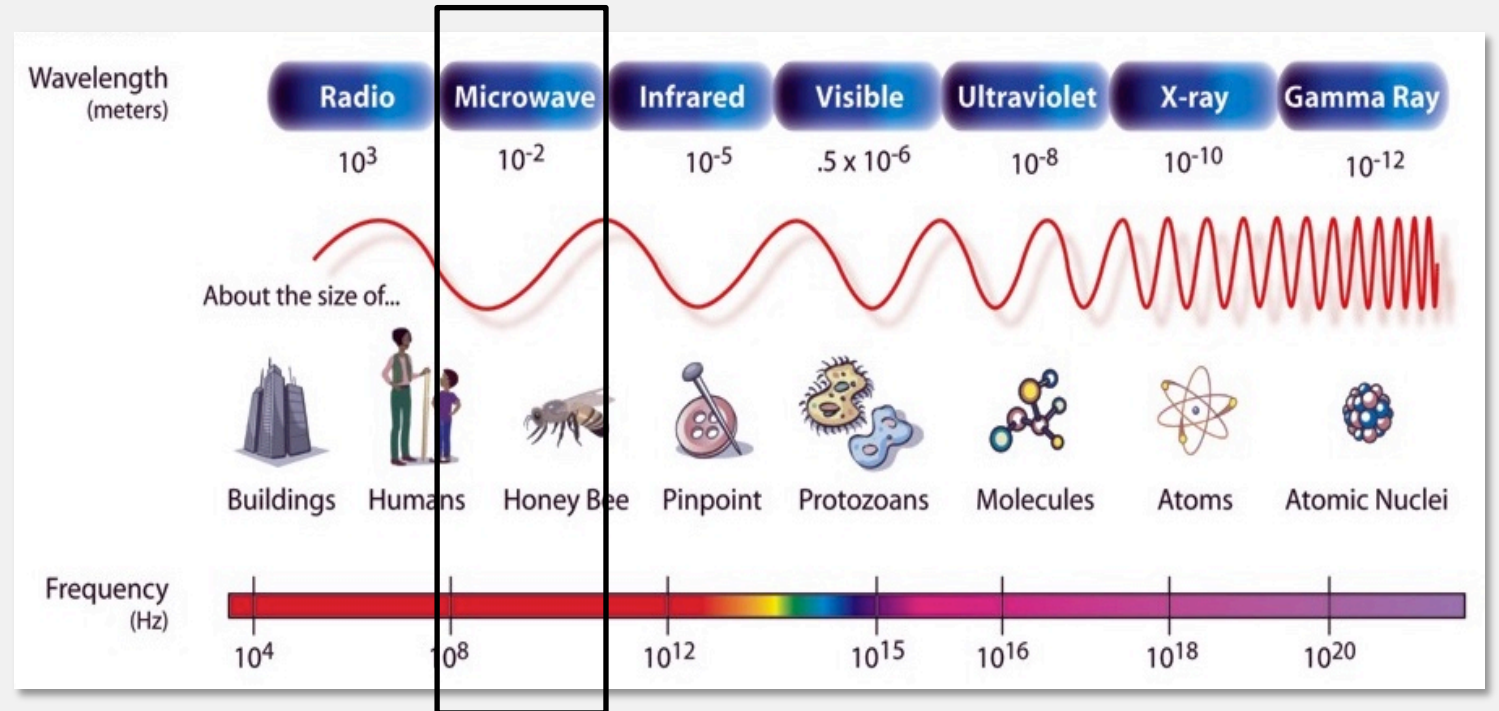
Objetivos de Aprendizaje

Al finalizar esta presentación los participantes podrán:

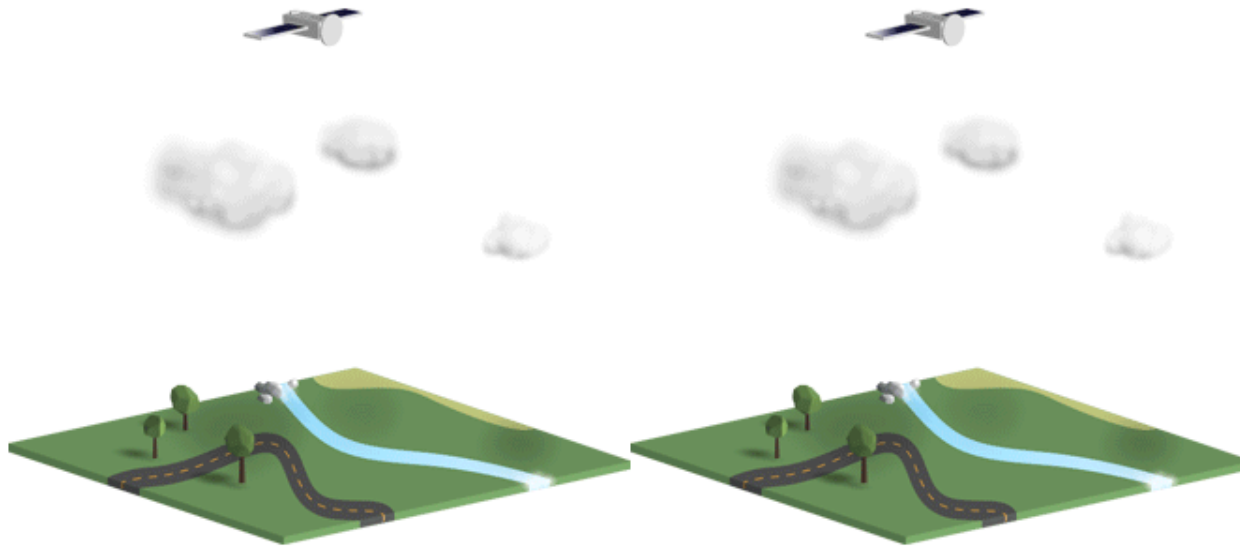
- Entender los parámetros físicos de las imágenes SAR
- Describir la interacción de la señal de SAR con la superficie terrestre
- Describir los pasos necesarios para pre procesar las imágenes
- Entender la información que se puede extraer de las imágenes SAR

El Espectro Electromagnético

- Los sensores ópticos miden la luz del sol dispersada y funcionan en el día nada mas.
- La superficie terrestre no es observable con sensores visibles o infrarrojos cuando hay nubes
- Las microondas pueden penetrar las nubes y vegetación y funcionar durante el día y la noche



Teledetección: Sistemas Pasivos y Activos



Passive | Sensors detect only what is emitted from the landscape, or reflected from another source (e.g., light reflected from the sun).

Active | Instruments emit their own signal and the sensor measures what is reflected back. Sonar and radar are examples of active sensors.

Sensores Pasivos:

- La fuente de energía radiante surge de fuentes naturales
- Por ejemplo: el sol, la Tierra, otros cuerpos calientes

Sensores Activos:

- Proporcionan de forma artificial su propia energía radiante como fuente de iluminación
- Por ejemplo (SAR, LIDAR)

Ventajas y Desventajas de la Teledetección con Radar en Comparación a la Óptica

Ventajas

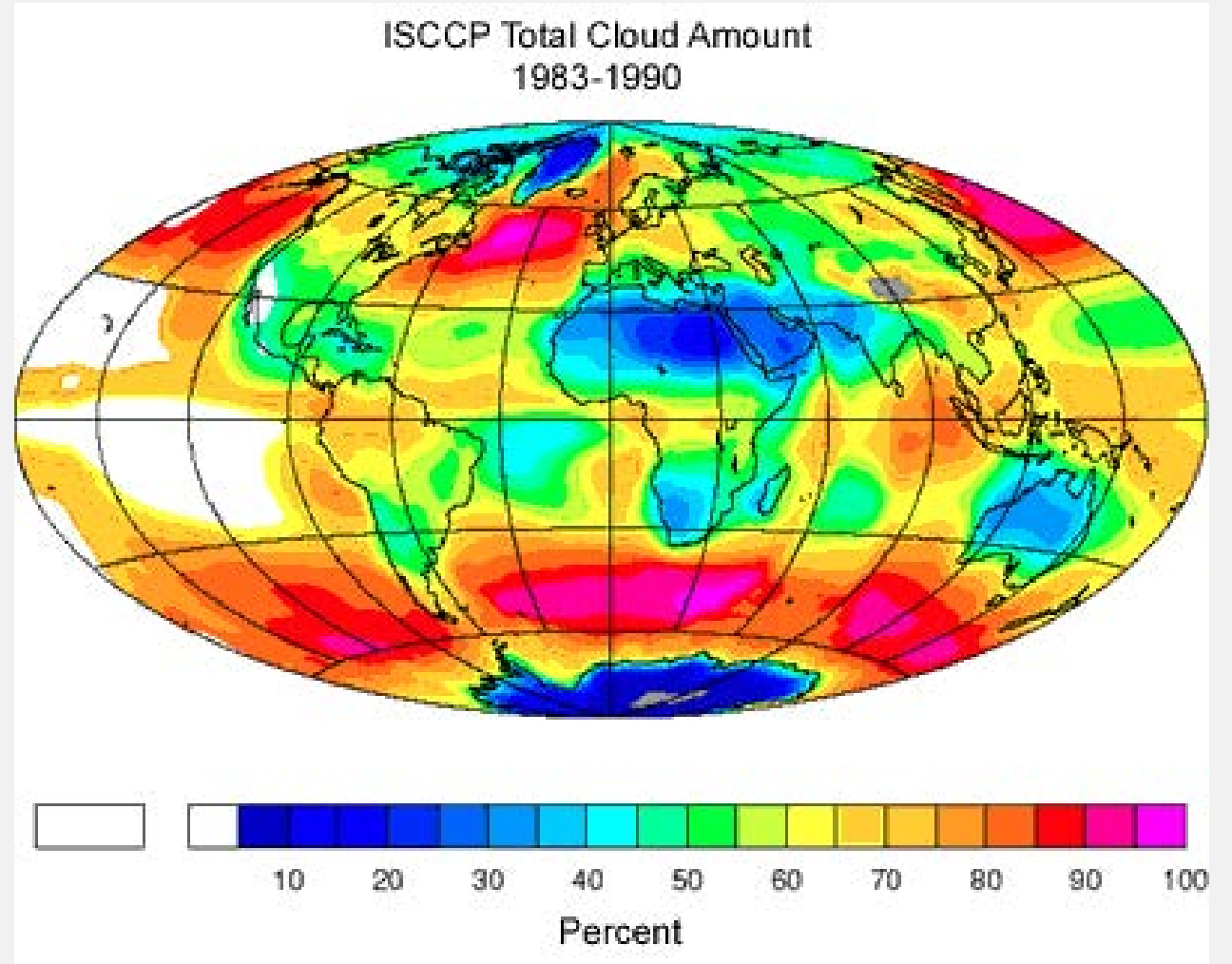
- Funcionan bajo casi cualquier condición meteorológica
- Observan la superficie terrestre en el día o la noche
- Penetran la vegetación
- Penetran los suelos
- Los efectos atmosféricos son mínimos
- Sensitivo a las propiedades dieléctricas de la superficie (ej. Agua congelada vs descongelada)
- Sensitivo a la estructura de los componentes de la superficie

Desventajas

- La información es diferente a las imágenes ópticas y algunas veces difícil de interpretar.
- Presencia de moteado (efecto sal y pimienta en las imágenes)
- Distorsiones en áreas donde hay topografía

Cobertura Global de Nubosidad

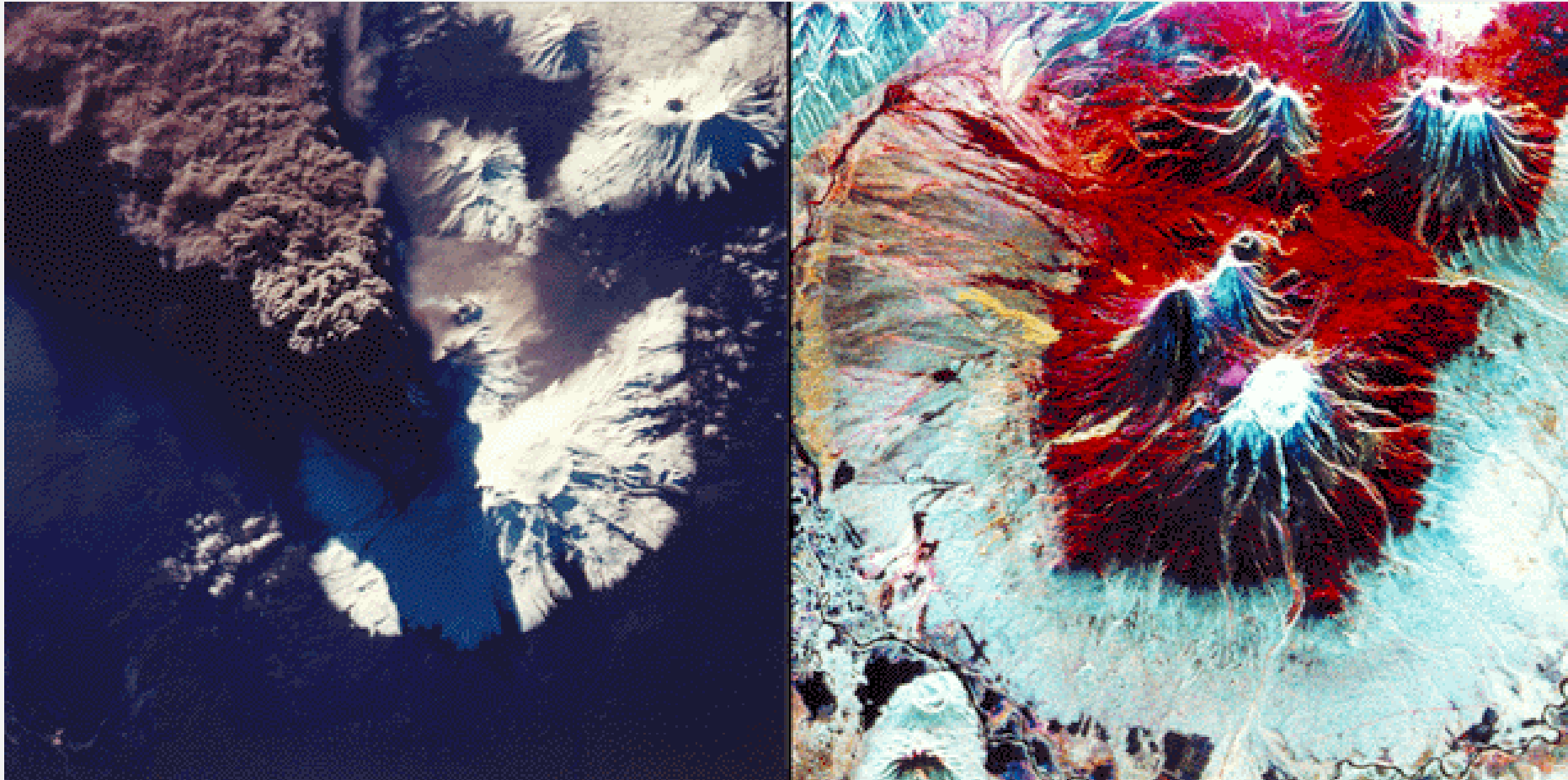
- La media de la fracción de cobertura de nubes anual desde 1983-1990 utilizando datos del International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP)



Fuente: ISCCP, NASA Earth Observatory

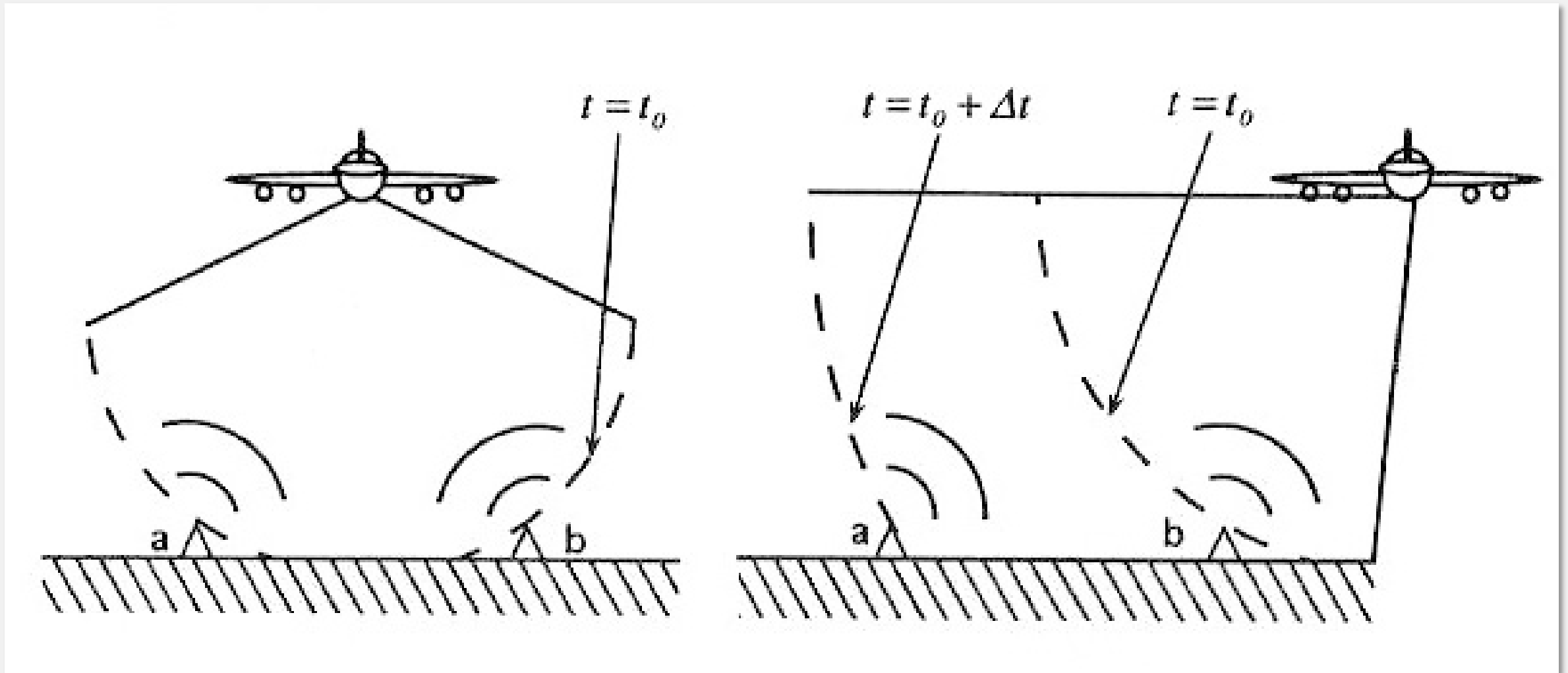
Imágenes Ópticas vs. Radar

Volcán en Kamchatka, Rusia, 5 oct. 1994



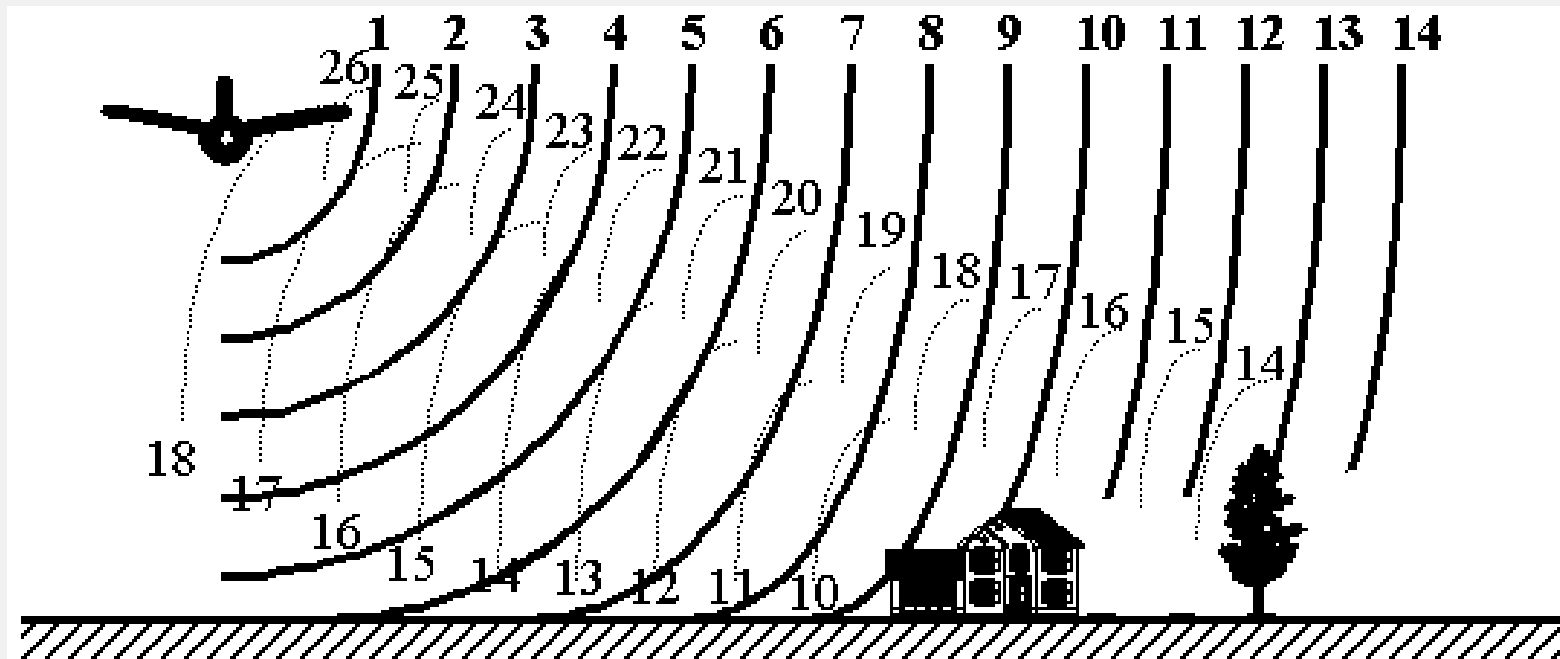
Fuente: [Michigan Tech Volcanology](#)

Conceptos Básicos de la Teledetección: Radar de Visión Hacia Abajo vs. Radar de Visión Lateral



Conceptos Básicos de la Teledetección: Radar de Visión Lateral

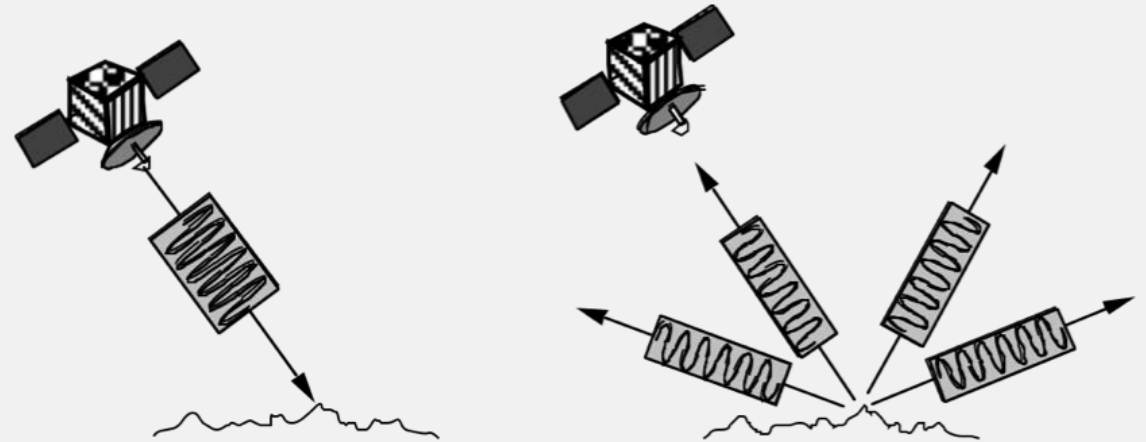
- Cada pixel en la imagen de radar representa una cantidad compleja de energía reflejada de vuelta al satélite
- La magnitud de cada pixel representa la intensidad de la señal reflejada



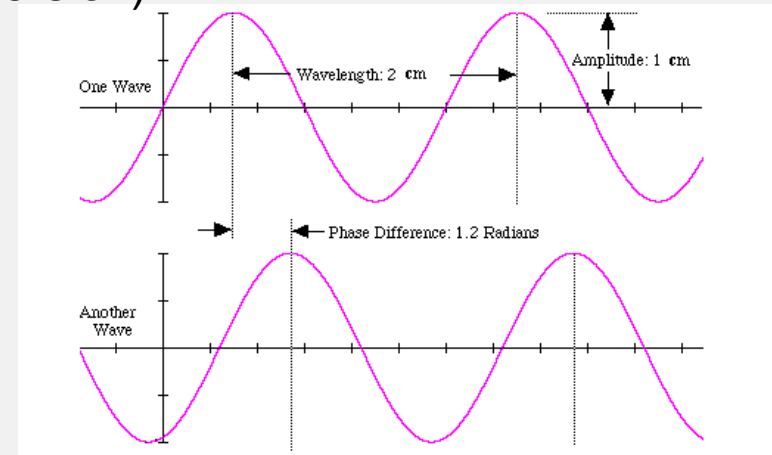
Fuente: [Paul Messina, CUNY NY](#), after Drury 1990, Lillesand and Kiefer, 1994

Formación de Imágenes de Radar

1. El radar mide la amplitud (la magnitud del eco reflejado) y la fase (la posición en la que se encuentra un punto en un momento específico en el ciclo de la onda)
2. El radar nada mas puede medir la parte del eco reflejado en la dirección de la antena (retro dispersión)
3. El pulso de radar viaja a la velocidad de la luz



El radar transmite un pulso y mide el eco que retorna (retrodispersión)



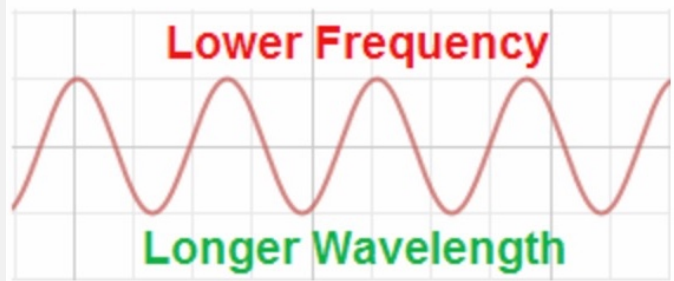
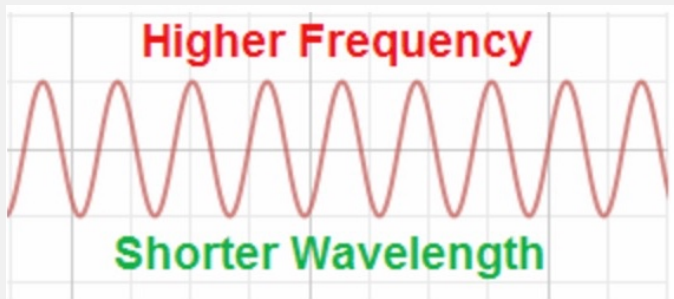
Fuente: ESA- ASAR Handbook

Los Parámetros del Radar por Considerar en un Estudio

- Longitud de onda
- Polarización
- Ángulo de incidencia

Banda, Frecuencia y Longitud de Onda

$$\text{Longitud de onda} = \frac{\text{velocidad de la luz}}{\text{frecuencia}}$$



Band designation*	Wavelength (λ), cm	Frequency (ν), GHz (10^9 cycles \cdot sec $^{-1}$)
Ka (0.86 cm)	0.8 to 1.1	40.0 to 26.5
K	1.1 to 1.7	26.5 to 18.0
Ku	1.7 to 2.4	18.0 to 12.5
X (3.0 cm, 3.2 cm)	2.4 to 3.8	12.5 to 8.0
C (6.0)	3.8 to 7.5	8.0 to 4.0
S	7.5 to 15.0	4.0 to 2.0
L (23.5 cm, 25 cm)	15.0 to 30.0	2.0 to 1.0
P (68 cm)	30.0 to 100.0	1.0 to 0.3


* Las longitudes de ondas mas frecuentemente usadas en radar se encuentran en paréntesis

Características de SAR: Longitud de Onda

- Penetración de la señal es el **factor principal** en la selección de la longitud de onda
- Penetración a través de la vegetación o el suelo incrementa mientras mas larga es la longitud de onda

Las Bandas de Frecuencias mas Utilizadas

<i>Frequency band</i>	<i>Frequency range</i>	<i>Application Example</i>
• VHF	300 KHz - 300 MHz	Foliage/Ground penetration, biomass
• P-Band	300 MHz - 1 GHz	biomass, soil moisture, penetration
• L-Band	1 GHz - 2 GHz	agriculture, forestry, soil moisture
• C-Band	4 GHz - 8 GHz	ocean, agriculture
• X-Band	8 GHz - 12 GHz	agriculture, ocean, high resolution radar
• Ku-Band	14 GHz - 18 GHz	glaciology (snow cover mapping)
• Ka-Band	27 GHz - 47 GHz	high resolution radars



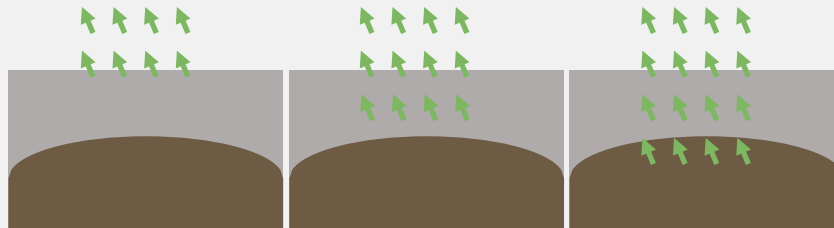
Fuente: DLR

Penetración de la Señal en Función a la Longitud de Onda

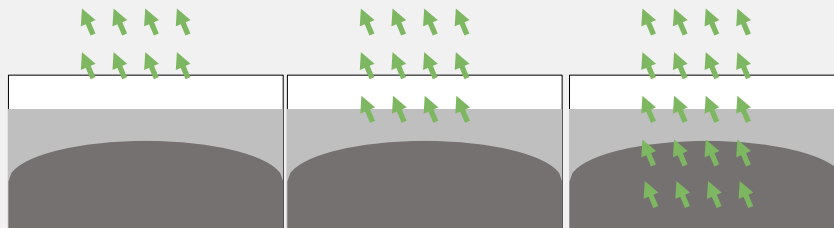
Vegetation



Dry Alluvium



Dry Snow Ice



X-band
3 cm

C-band
5 cm

L-band
23 cm

- Las ondas pueden penetrar la vegetación y también el suelo (en condiciones secas)
- Generalmente, mientras mas larga la longitud de onda mayor es la penetración.

Image based on ESA [Radar Course 2](#)

Ejemplo de la Penetración de la Señal de Radar en Suelos Secos

- Diferentes imágenes de satélite del suroeste de Libia
- Las flechas indican posibles sistemas fluviales

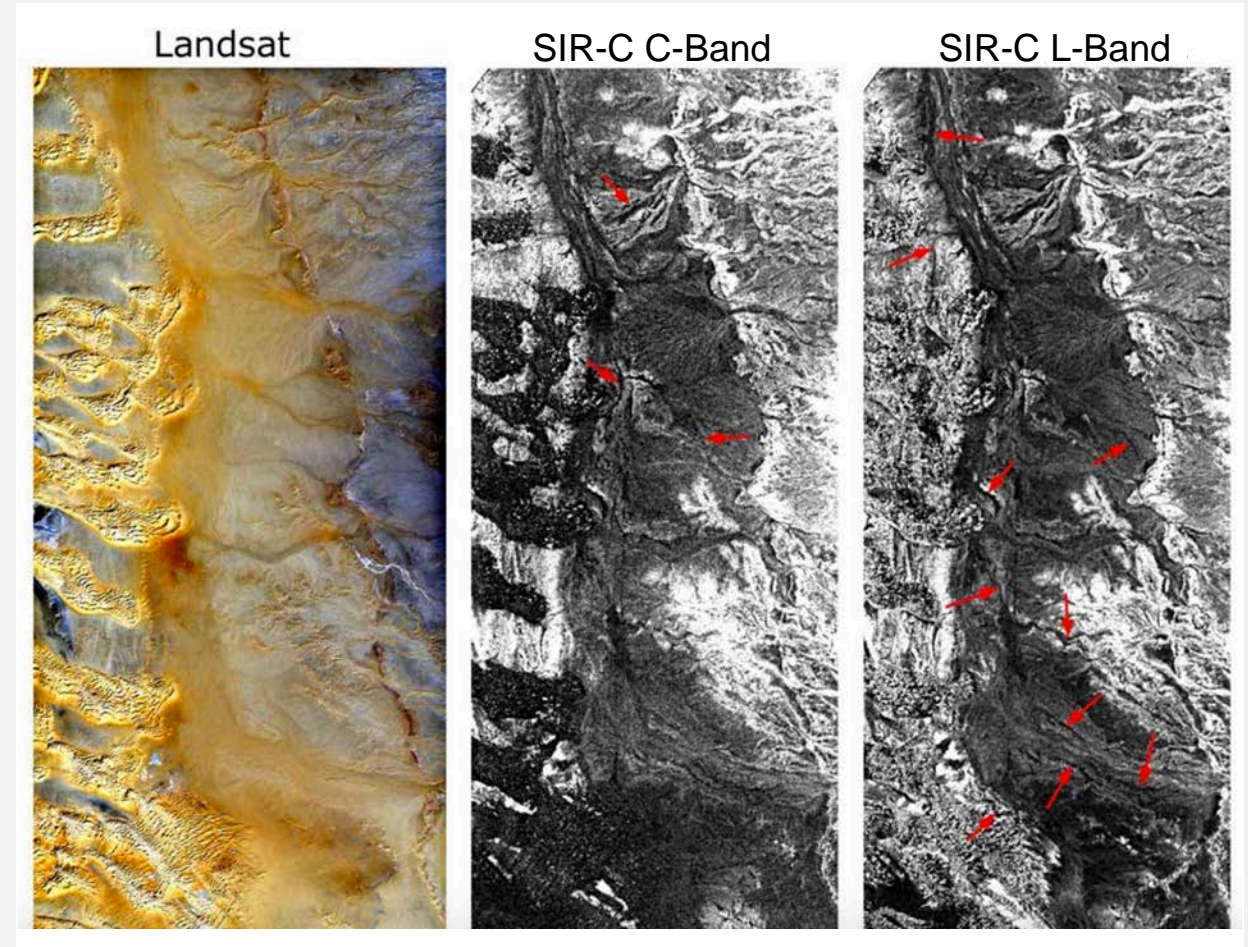
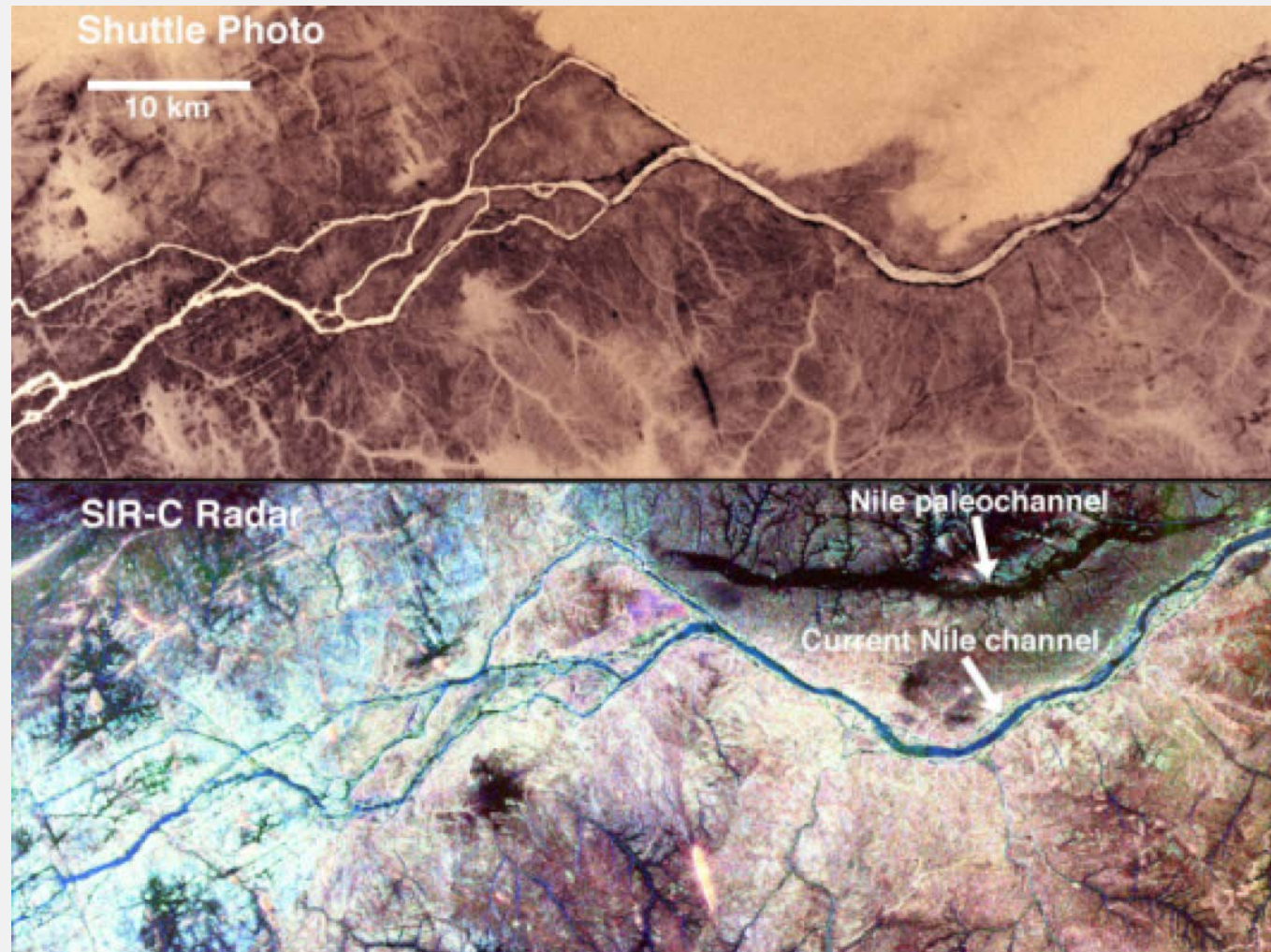
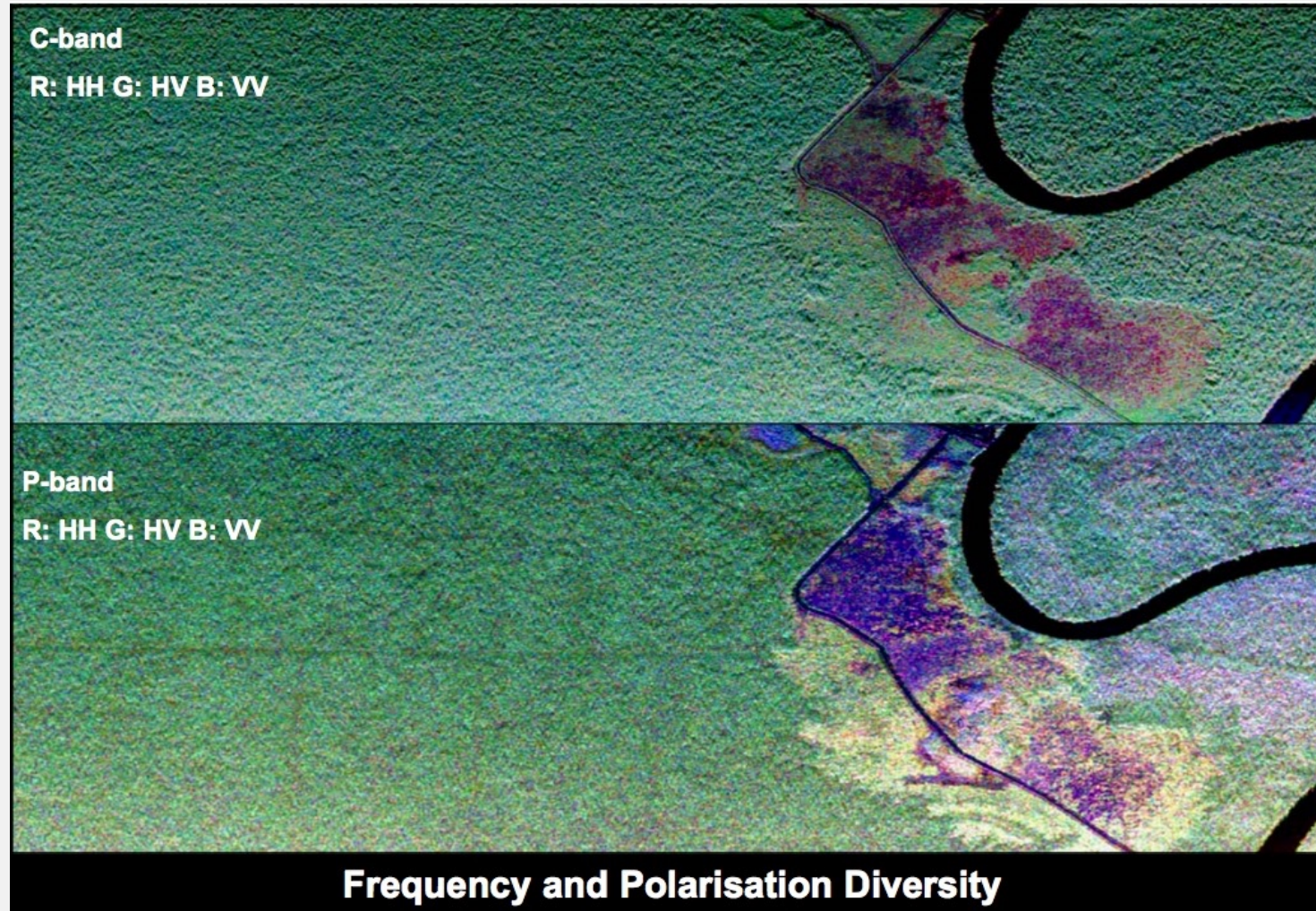


Image Credit: A Perego

Ejemplo de la Penetración de la Señal de Radar: El Río Nilo



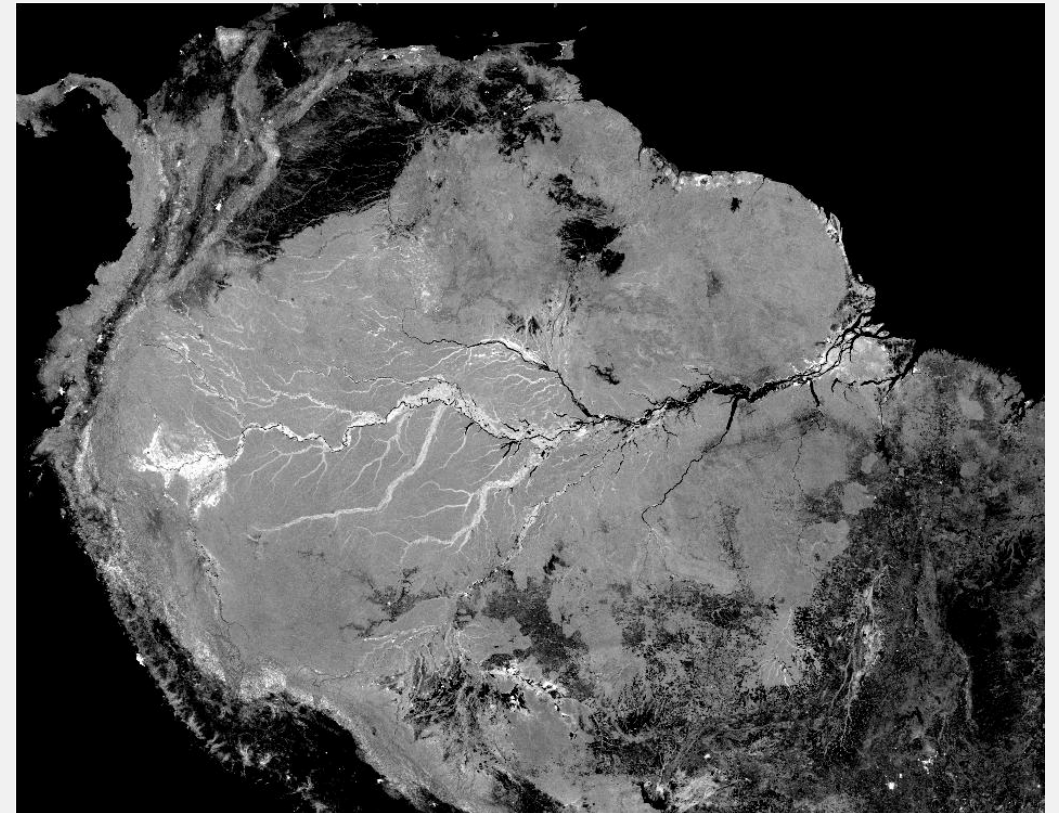
Ejemplo de la Penetración de la Señal de Radar en la Vegetación



Ejemplo de la Penetración de la Señal de Radar en los Humedales

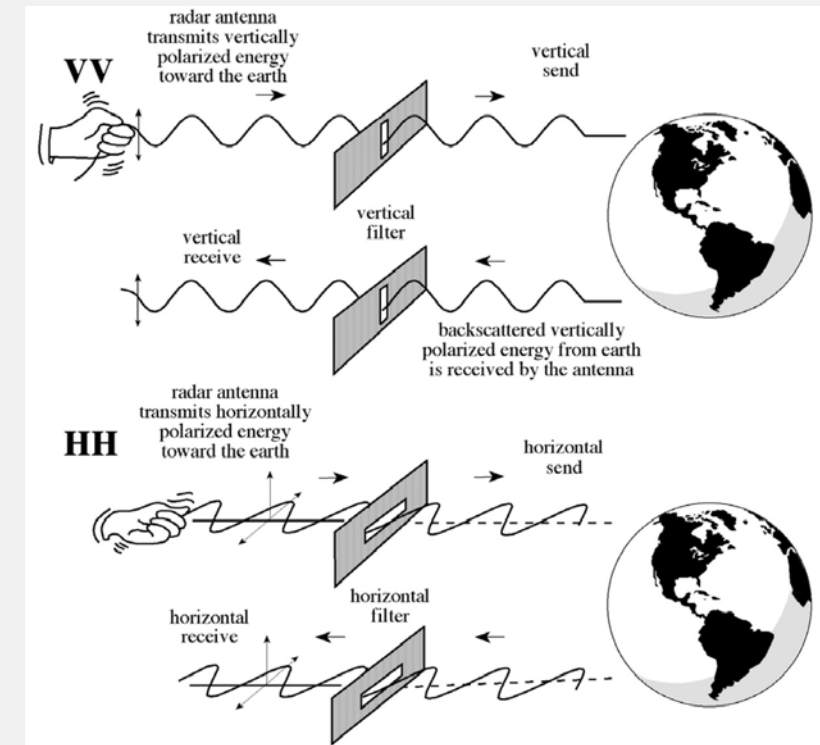
- La band-L es ideal para el estudio de humedales porque la señal penetra a través del dorsal y puede “ver” áreas inundadas
- En la imagen a la derecha las áreas inundadas aparecen blancas

Radar de **SMAP** de la Cuenca Amazónica



Características de SAR: Polarización

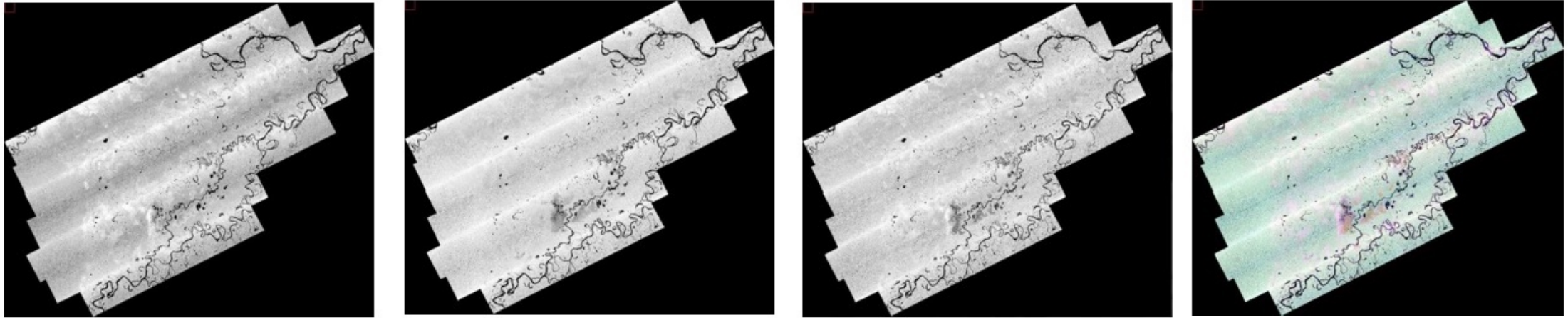
- Las mediciones de radar pueden ser polarizadas (usualmente horizontal y vertical)
 - HH: Transmitida Horizontalmente, Recibida Horizontalmente
 - HV: Transmitida Horizontalmente, Recibida Verticalmente
 - VH: Transmitida Verticalmente, Recibida Horizontalmente
 - VV: Transmitida Verticalmente, Recibida Verticalmente
- Configuración Quad-Pol: Cuando las cuatro polarizaciones se miden
- Diferentes polarizaciones pueden ser utilizadas para determinar las propiedades físicas del objeto observado



Ejemplo de Polarizaciones Múltiples en un Estudio de Vegetación

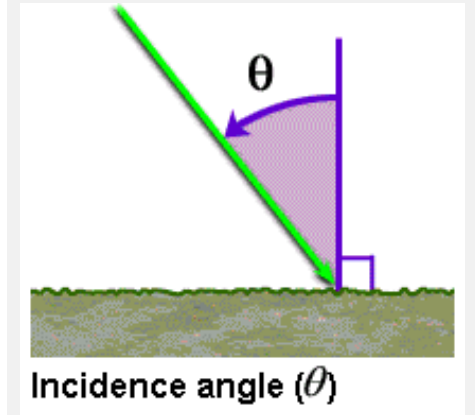
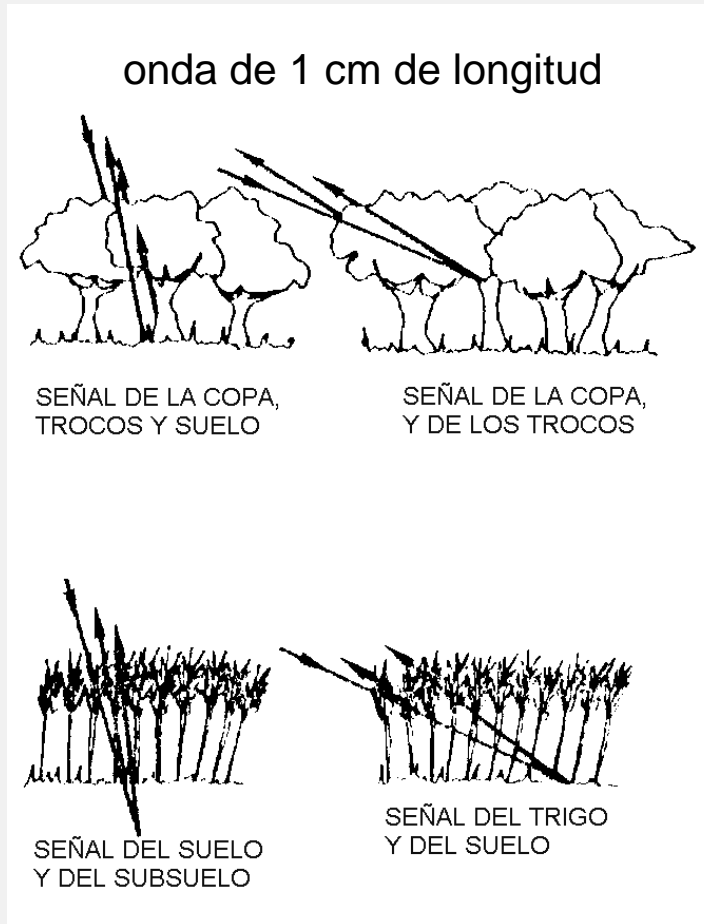
Reserva Forestal Pacaya-Samiria en el Perú

Imágenes de UAVSAR (HH, HV, VV)



Características de SAR: Angulo de Incidencia

- El ángulo entre la dirección de iluminación del radar y la vertical de la superficie del terreno
- El ángulo de incidencia cambia dependiendo de la altura del sensor
- Por ello la geometría de la imagen varia de punto a punto en la dirección de rango
- Angulo de incidencia local:
- toma en cuenta la inclinación local de la superficie
- influye la intensidad de la imagen



Fuente: Left: Ulaby et al. (1981a), Right: ESA

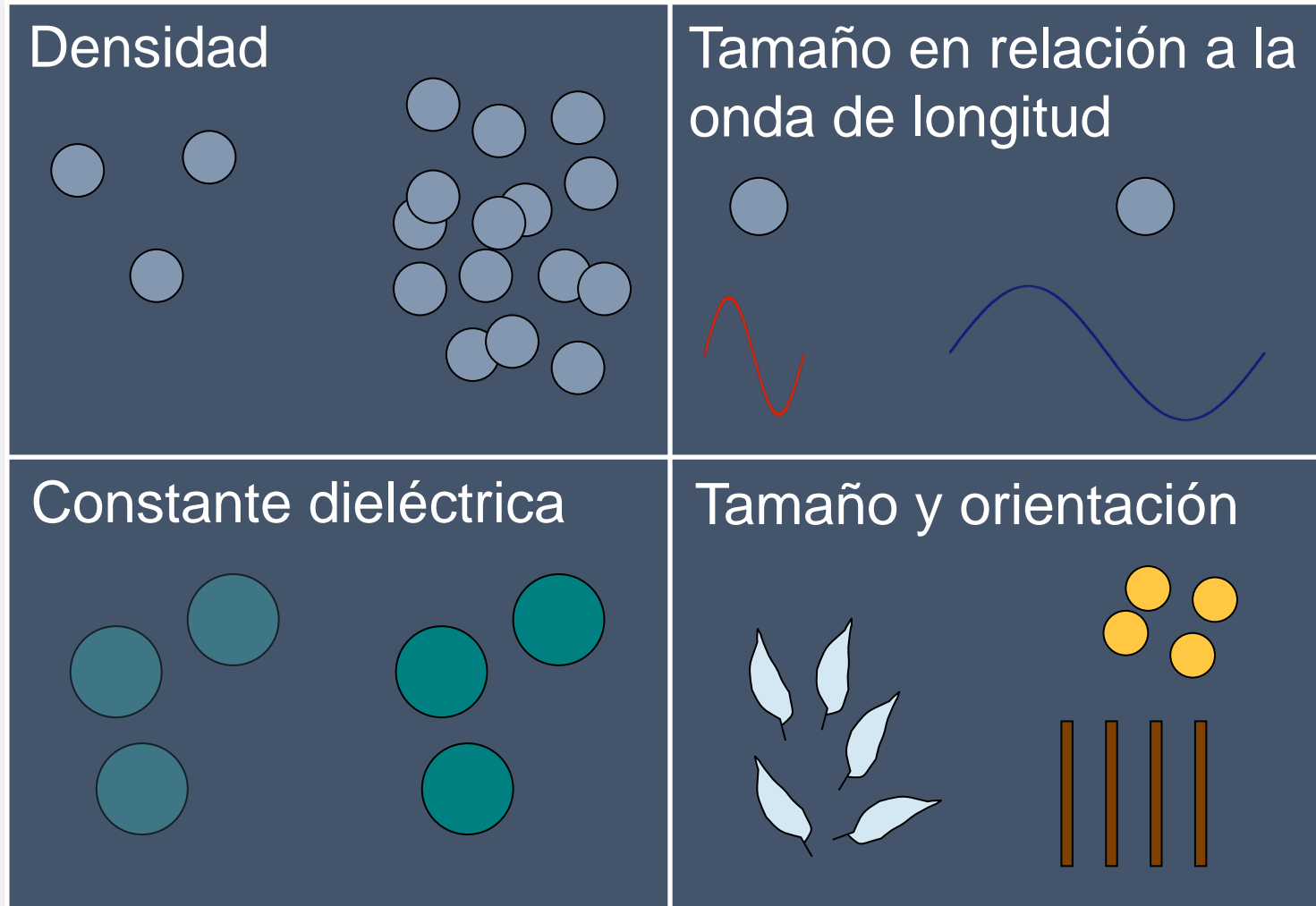
A grayscale satellite image of a river network, overlaid with a semi-transparent gray rectangle containing text. The background shows a complex, branching river system with varying channel widths and meanders. The text is centered within the gray rectangle.

Retrodispersión de la Señal de Radar

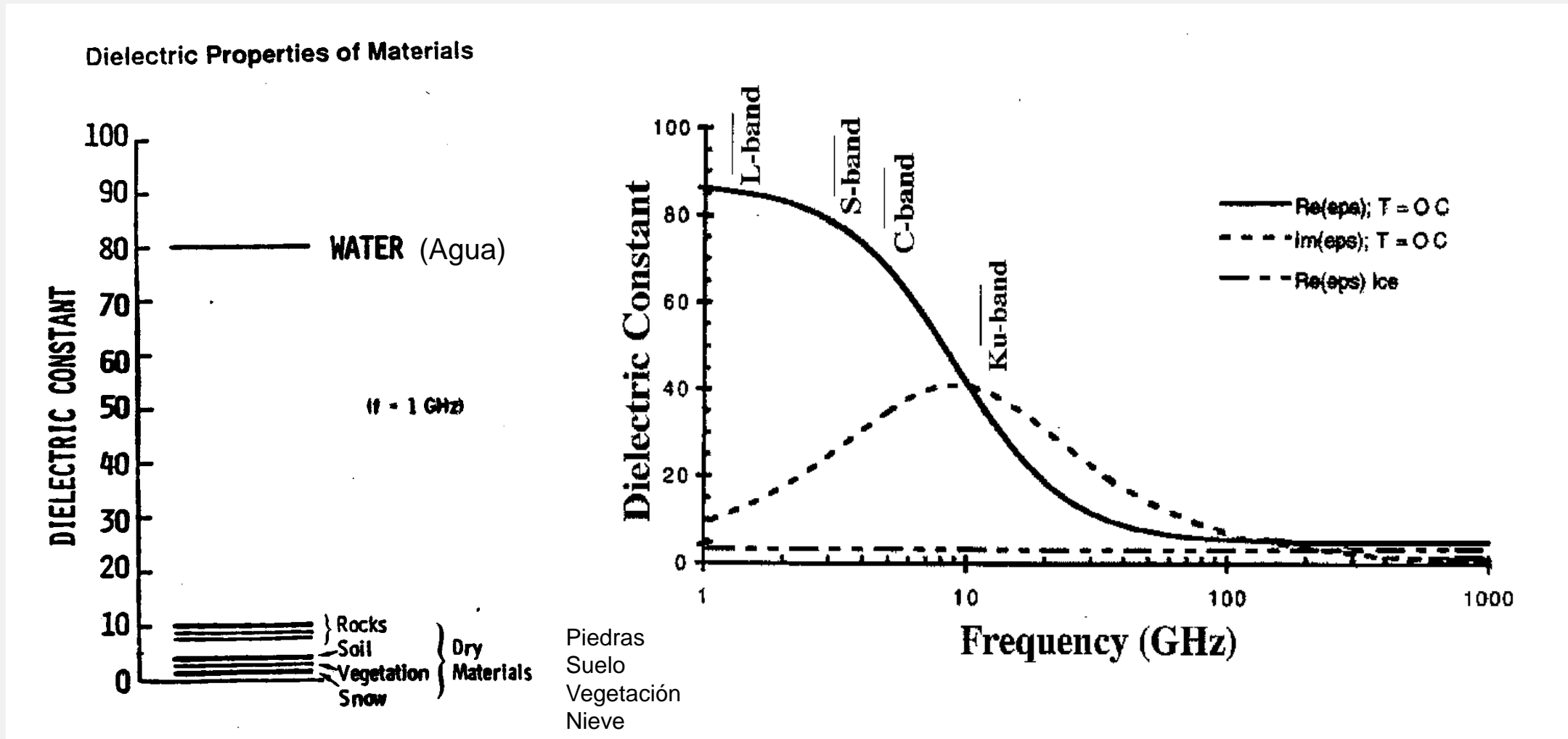
Retrodispersión de Radar

- El eco de radar contiene información sobre la superficie, la cual se caracteriza por la retrodispersión de la onda electromagnética incidente.
- Esta dispersión depende de:
 - el ángulo de la onda incidente - característica del radar
 - la frecuencia o longitud de la onda - característica del radar
 - polarización de la onda - característica del radar
 - la constante dieléctrica de la superficie- característica de la superficie
 - la aspereza de la superficie en relación a la longitud de onda- característica de la superficie
 - estructura y orientación de los objetos en la superficie- característica de la superficie

Fundamentos de la Retrodispersión de la Señal

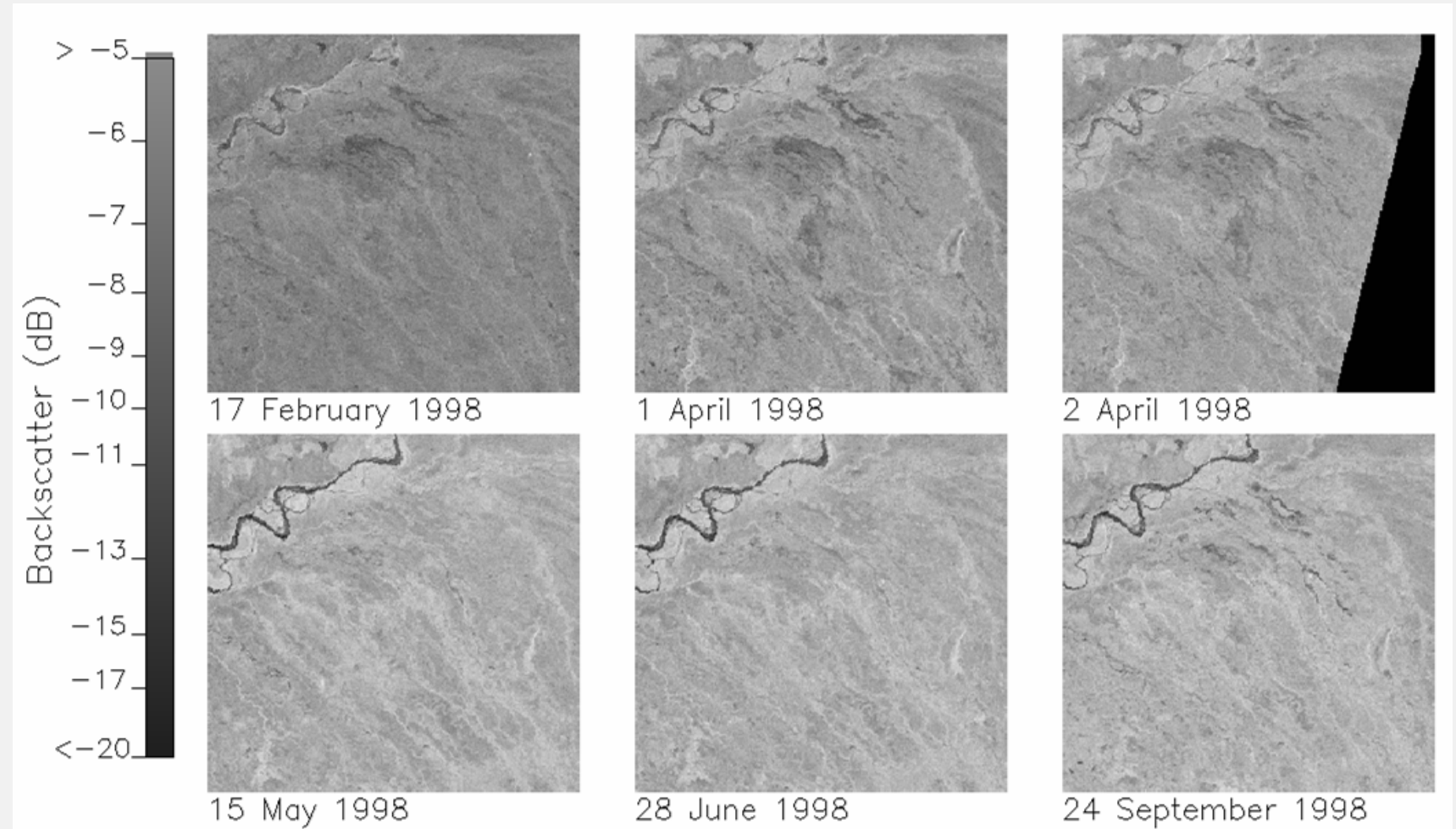


Características de la Superficie: Constante Dieléctrica



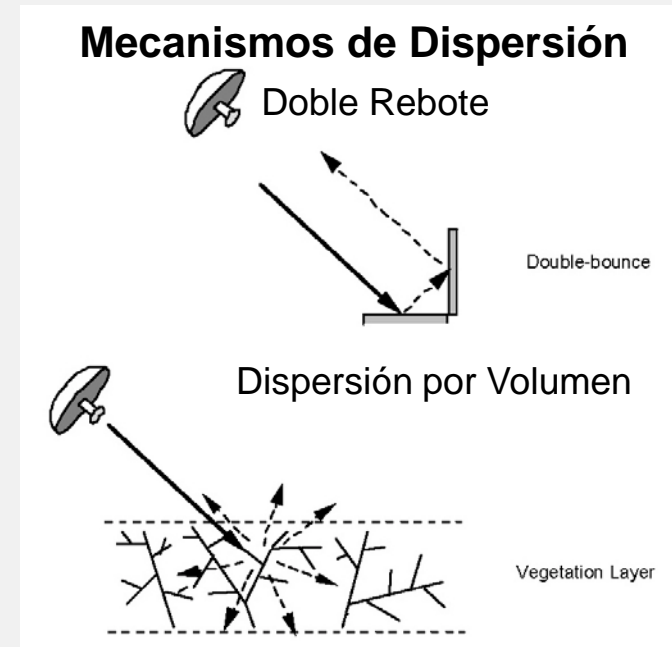
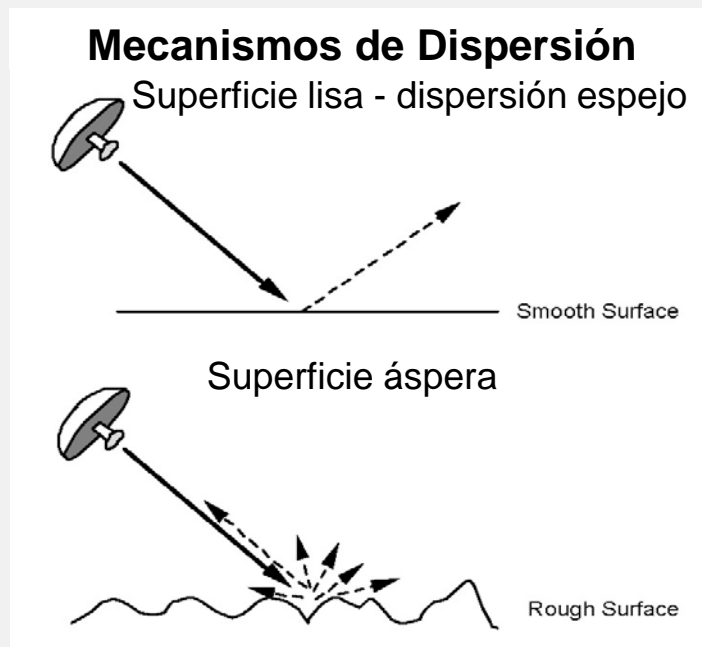
Propiedades Dieléctricas de la Superficie y el Estado Congelado o Descongelado

- Durante la transición de la superficie de congelado a descongelado hay un cambio en las propiedades dieléctricas lo cual causa un incremento notable en retrodispersión

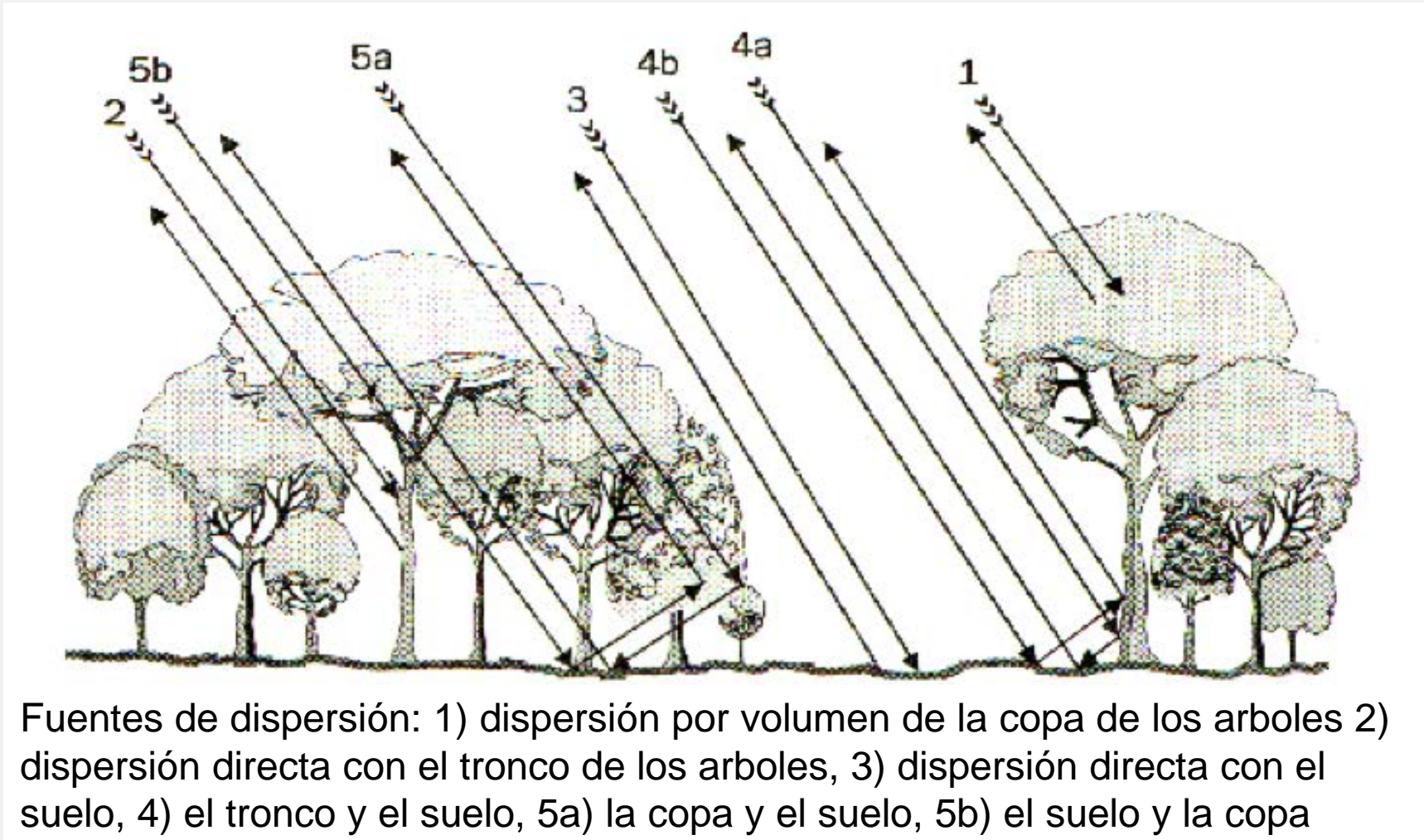


Mecanismos de Interacción de la Señal de Radar con la Superficie

- La señal de radar es principalmente sensitivo a la estructura de la superficie
- La escala de los objetos en la superficie relativo a la longitud de onda determina que tan áspero o liso aparecen al radar y que tan brillantes o oscuros aparecen en la imagen

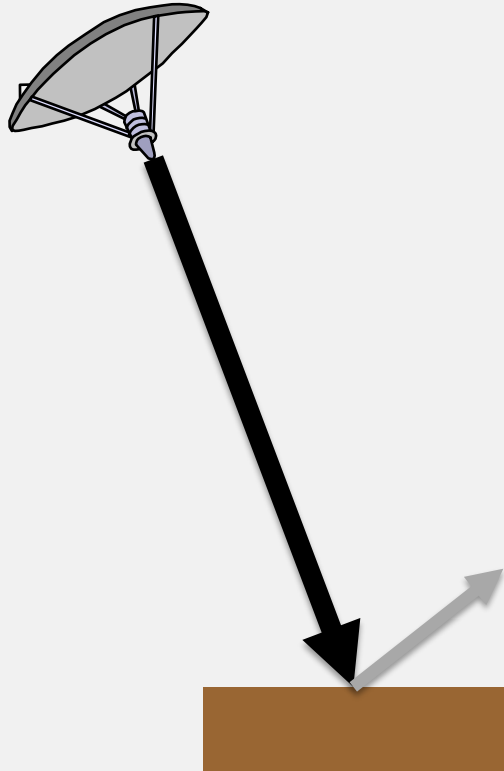


Mecanismos de Interacción de la Señal de Radar con la Vegetación



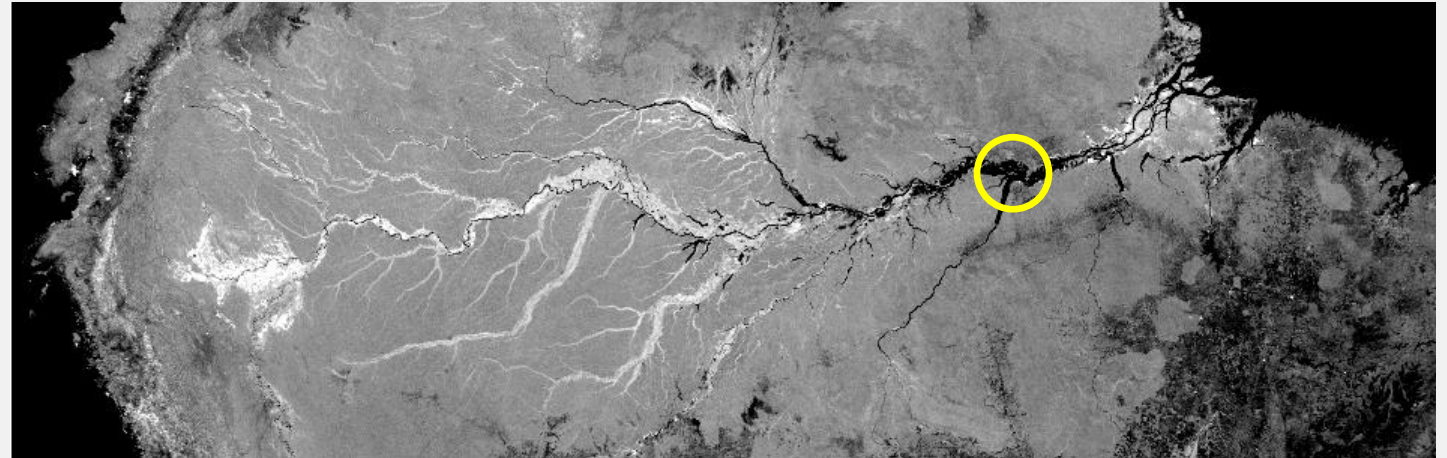
Ejemplo de la Interacción de la Señal de Radar- Dispersión Espejo

Dispersión Espejo (Specular Reflection)



Superficie plana y lisa
(agua, carretera)

Mosaico de Radar de SMAP de la Cuenca Amazónica Abr. 2015 (L-band, HH, 3 km)

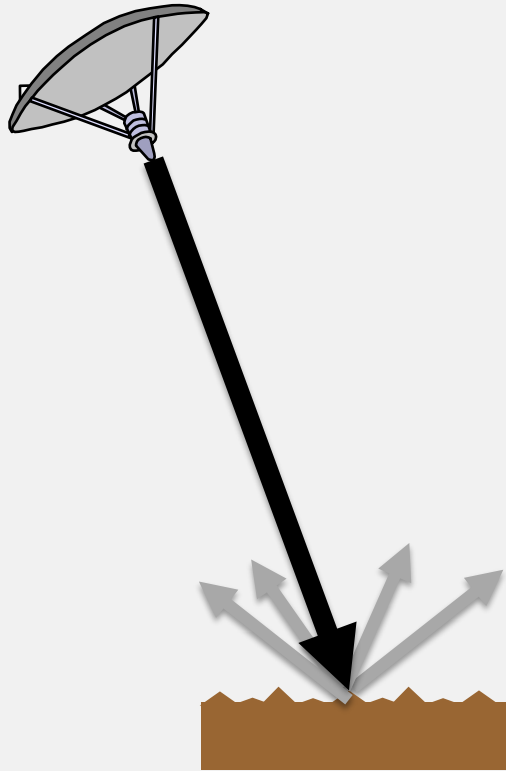


Color del Pixel



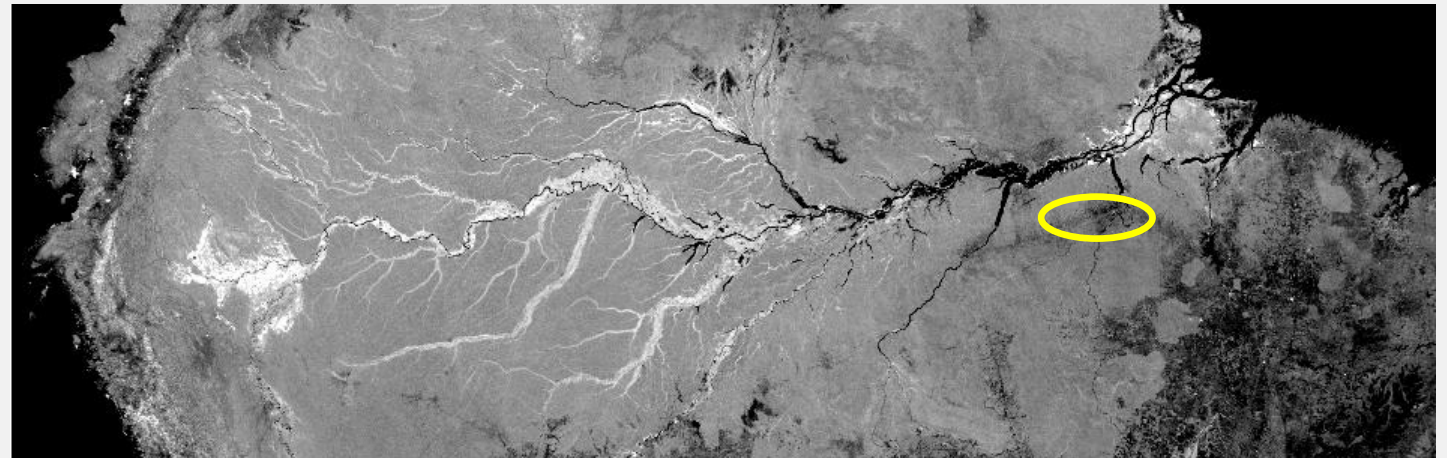
Ejemplo de la Interacción de la Señal de Radar

Dispersión de Superficie Áspera (Rough Surface Scattering)



Superficie áspera
(áreas deforestadas, campos agrícolas)

Mosaico de Radar de SMAP de la Cuenca Amazónica Abr. 2015 (L-band, HH, 3 km)

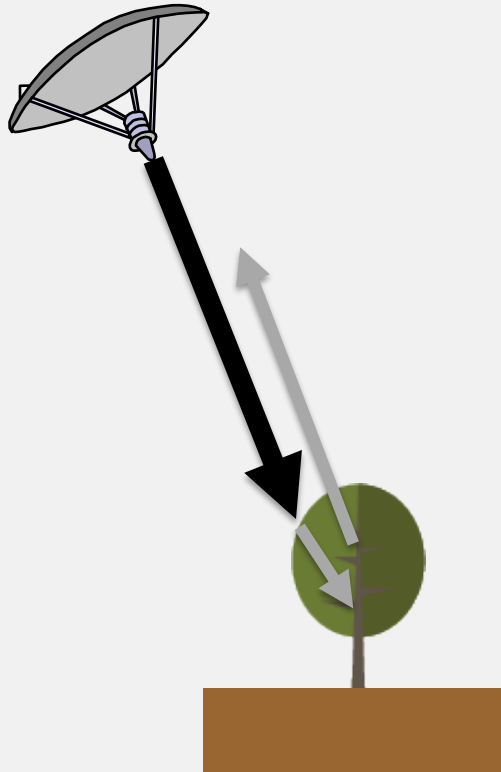


Color del Pixel



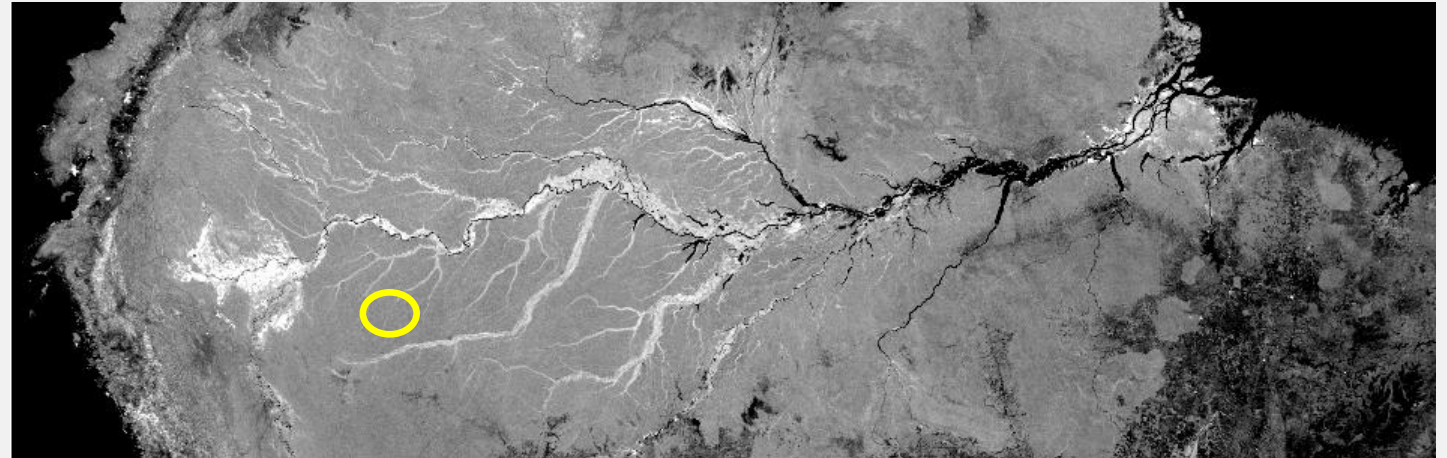
Ejemplo de la Interacción de la Señal de Radar

Dispersión por Volumen



Vegetación

Mosaico de Radar de SMAP de la Cuenca Amazónica Abr. 2015 (L-band, HH, 3 km)

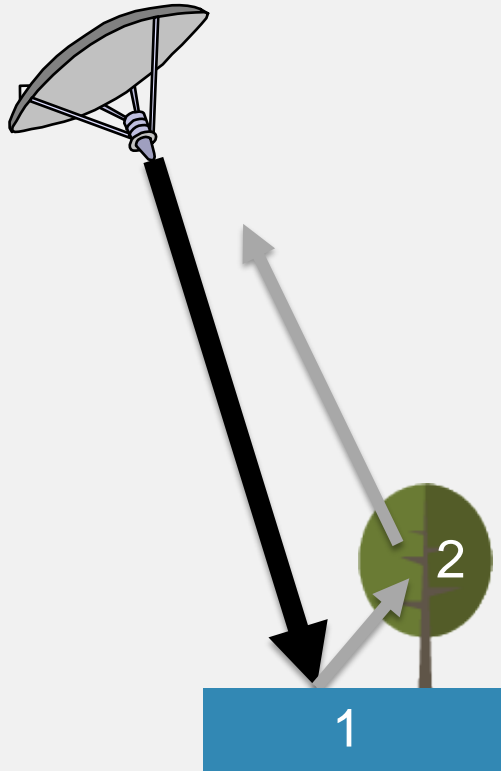


Color del Pixel



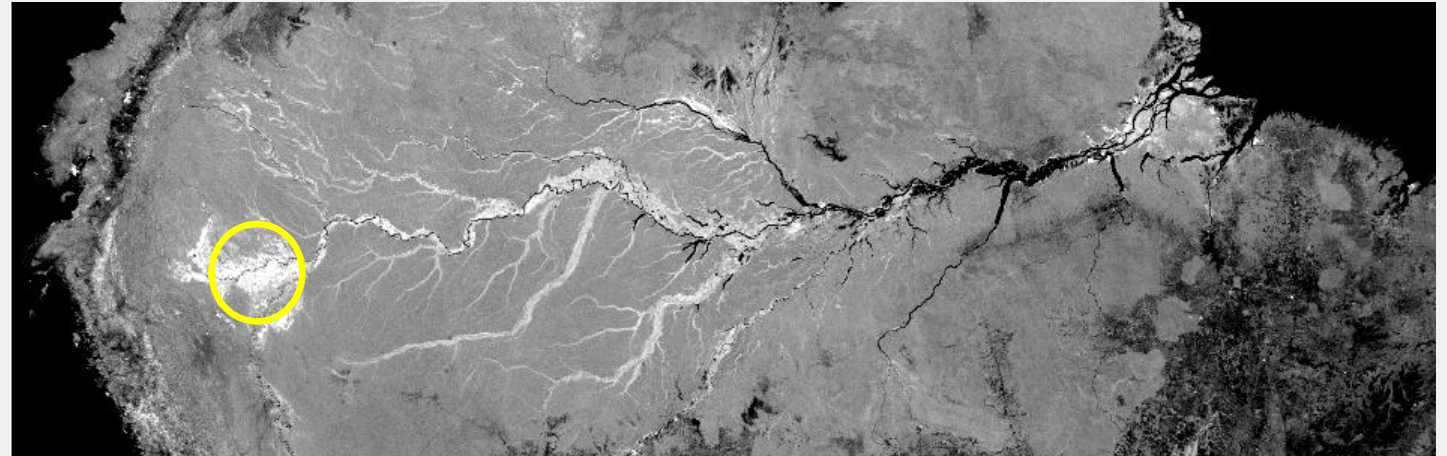
Ejemplo de la Interacción de la Señal de Radar

Dispersión por Doble Rebote



Vegetación Inundada

Mosaico de Radar de SMAP de la Cuenca Amazónica Abr. 2015 (L-band, HH, 3 km)



Color del Pixel

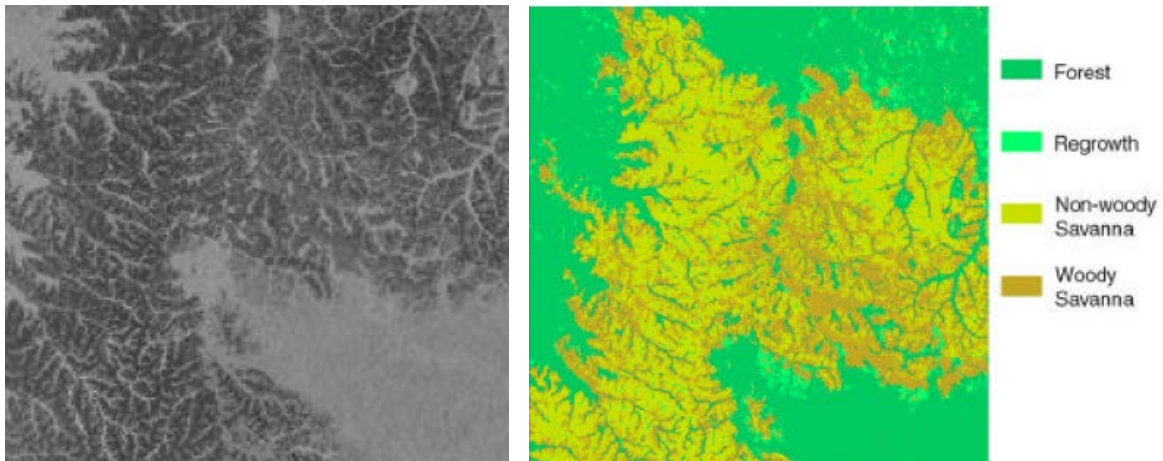
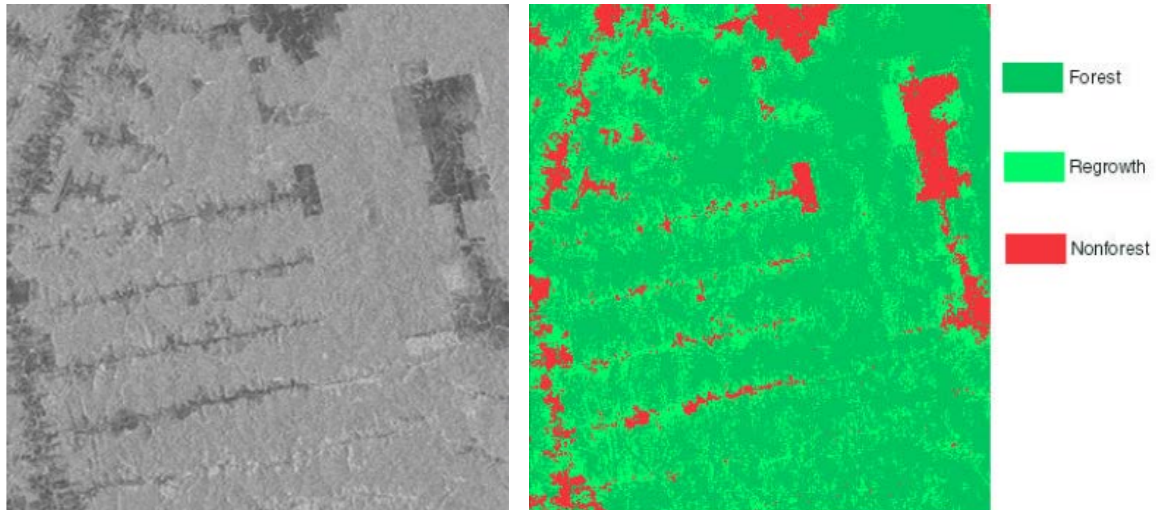


Ejemplo: Detección de Derramamientos de Petróleo en el Mar

UAVSAR (2 metros):
HH, HV, VV



Ejemplo: Clasificación de Cobertura Terrestre



- Brasil
- JERS-1 L-band
- 100 metros de resolución



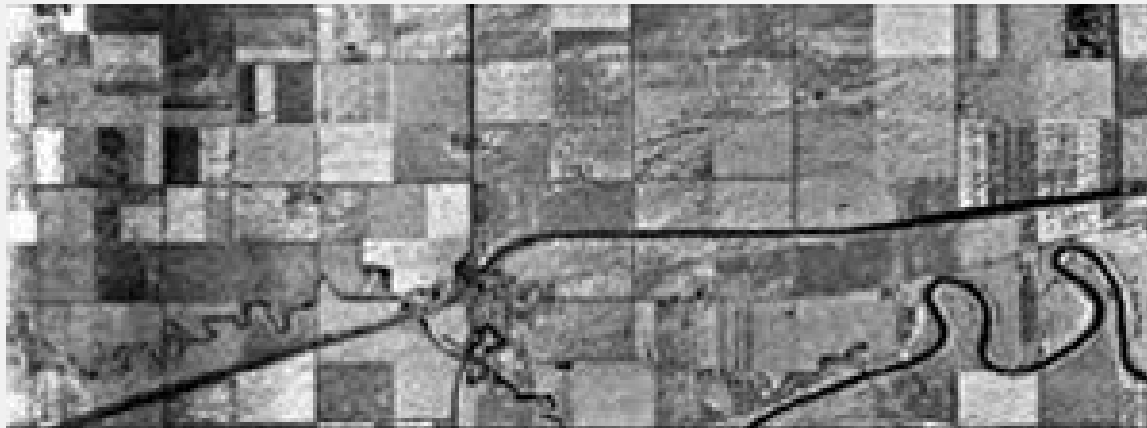
Distorsiones Geométricas y Radiométricas
de la Señal de Radar

Distorsión por Distancia Oblicua (Slant Range Distortion)

Distancia Oblicua



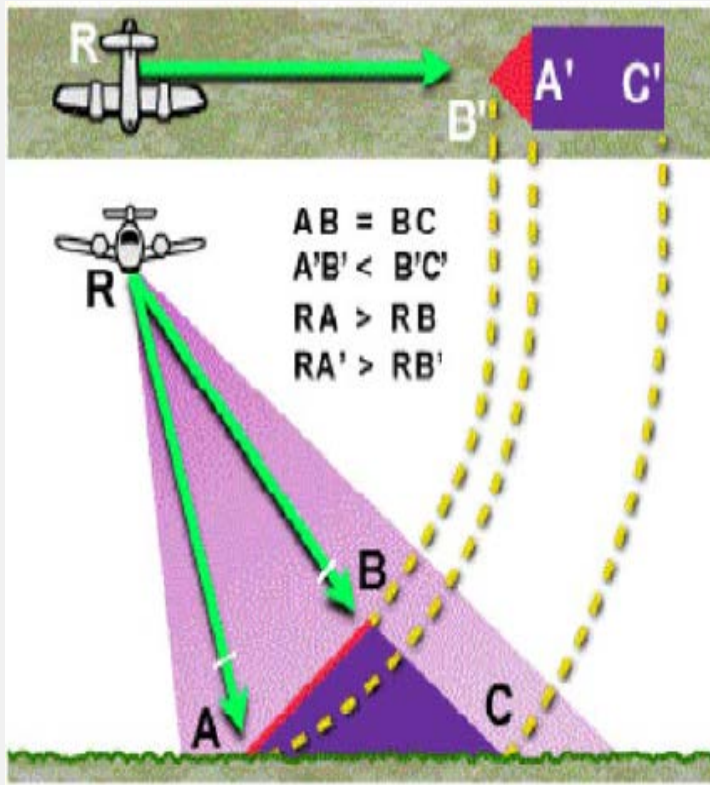
Distancia Terrestre



Fuente: Natural Resources Canada

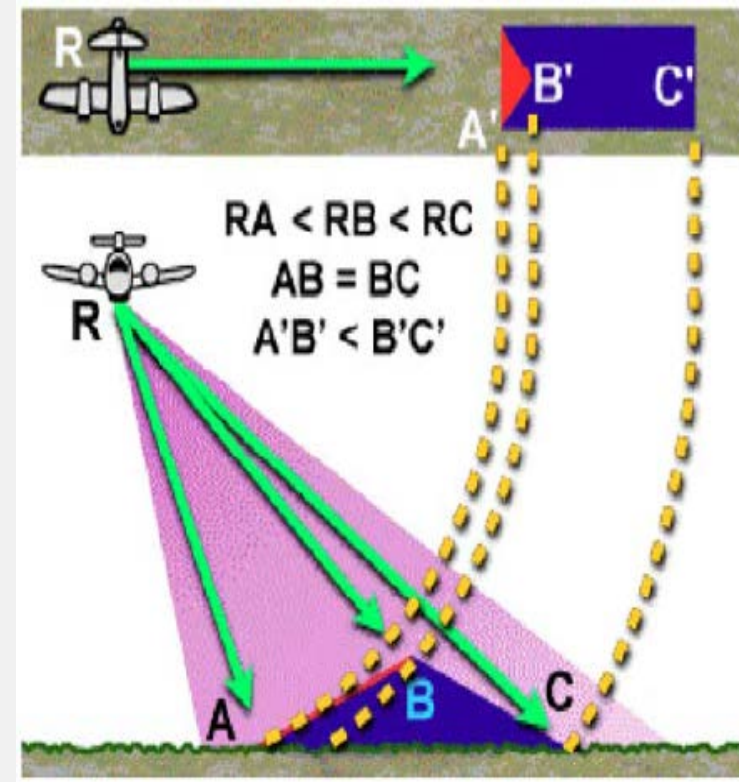
Distorsiones Geométricas

Inversión por Relieve (Layover)



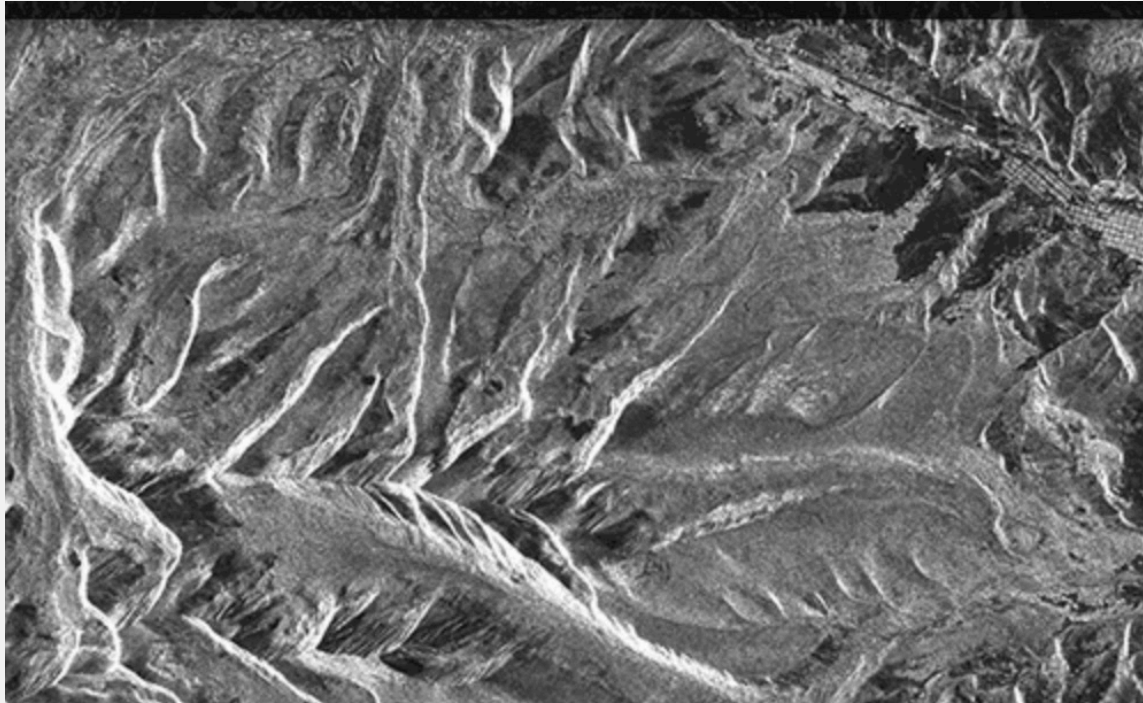
Fuente: Natural Resources Canada

Desplazamiento de Estructuras (Foreshortening)

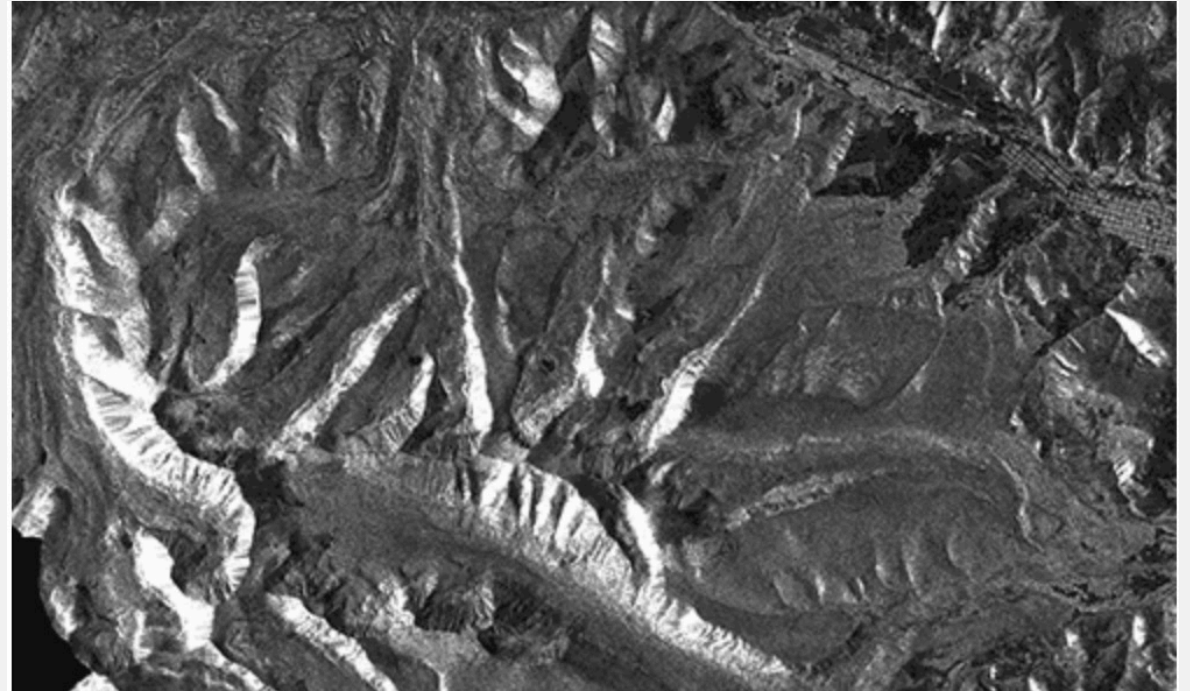


Desplazamiento de Estructuras (Foreshortening)

Antes de la Corrección

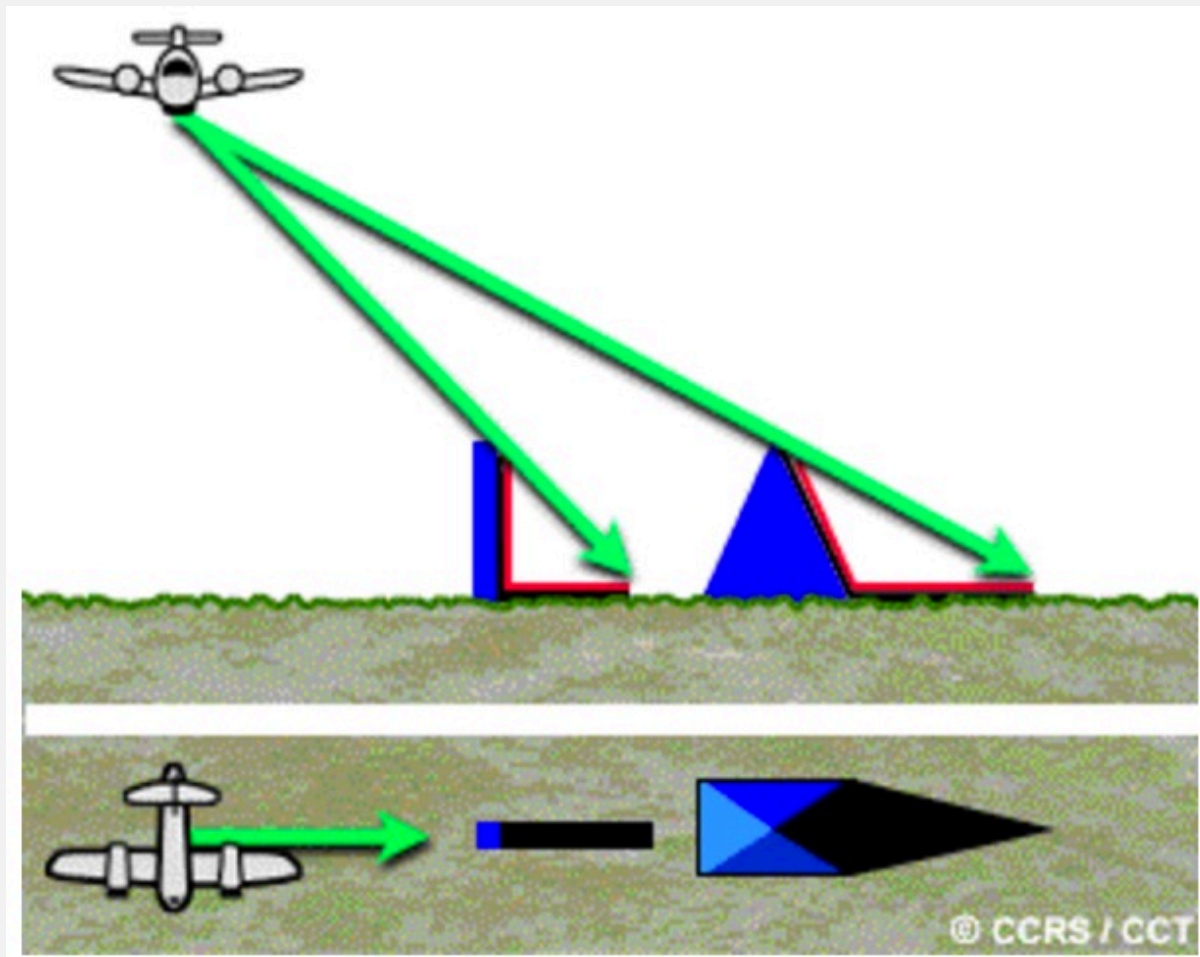


Después de la Corrección



Fuente: ASF

Sombra



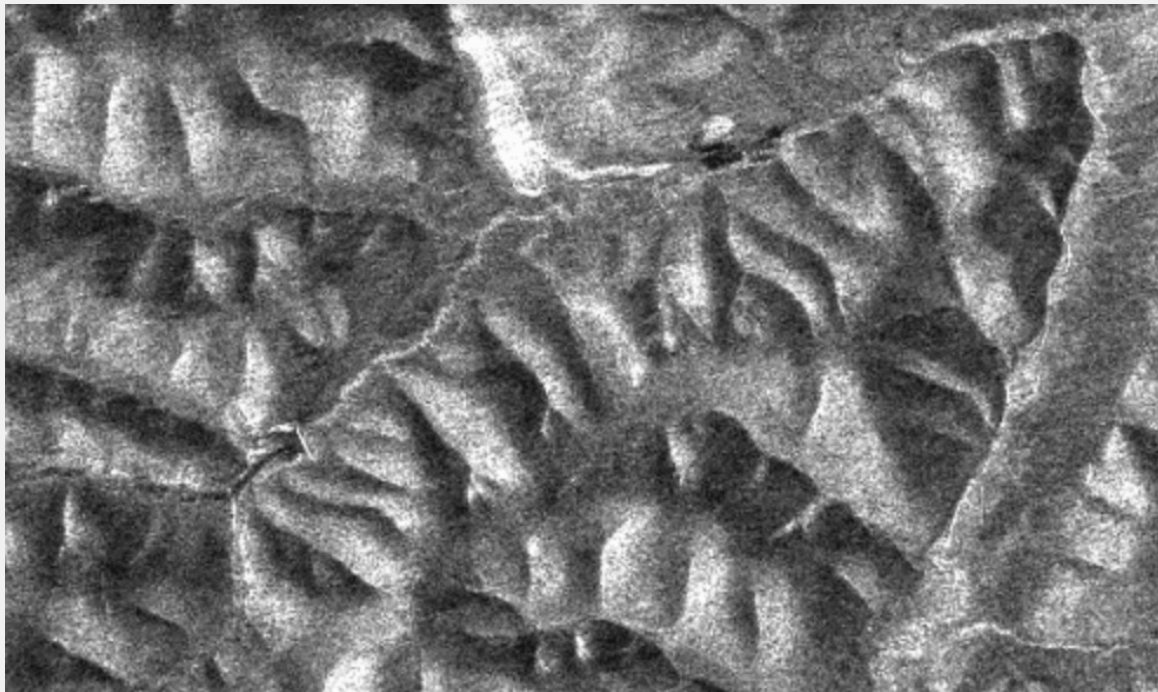
Fuente: Natural Resources Canada



Distorsión Radiométrica

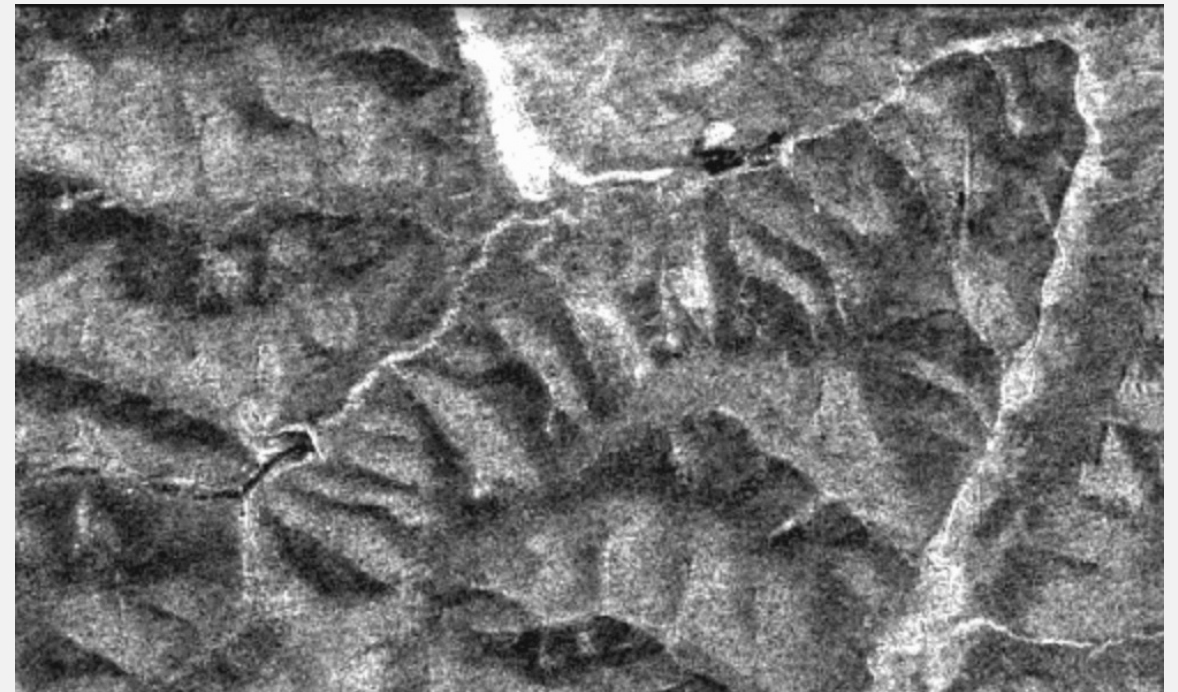
- El analista debe de corregir por la influencia de topografía en la retrodispersión
- Esta corrección elimina valores altos en áreas de topografía compleja


Antes de la Corrección



Fuente: ASF

Después de la Corrección

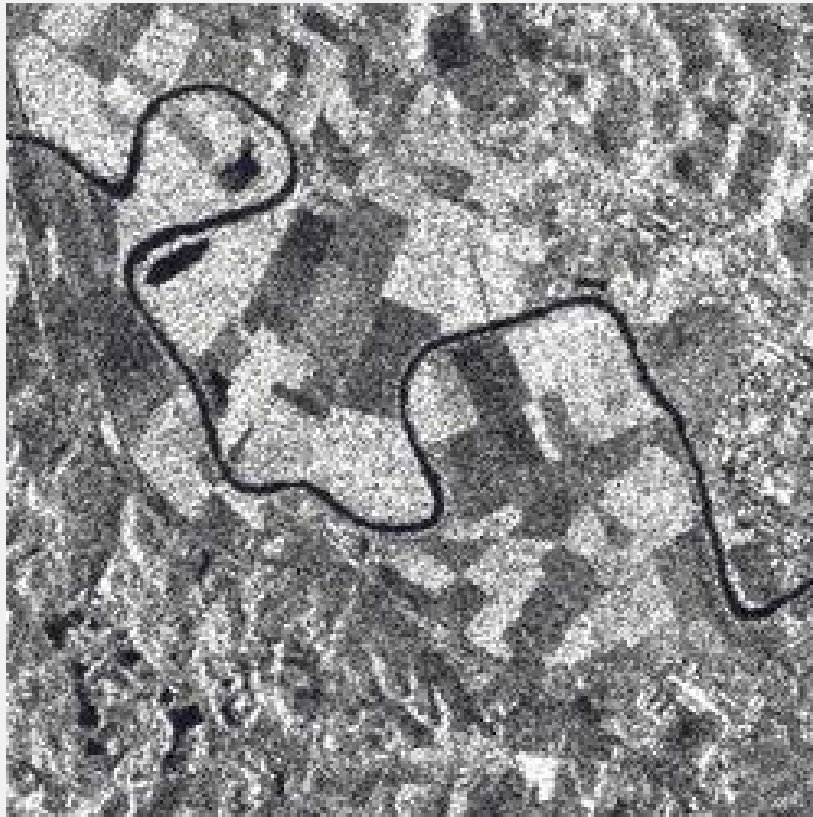




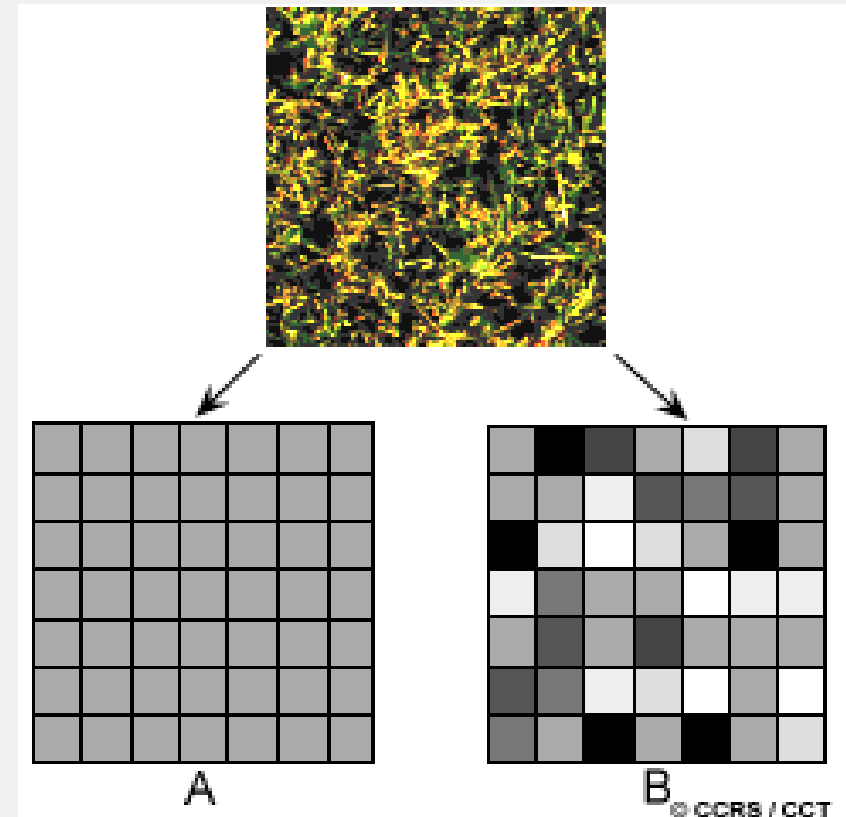
Moteado (Speckle)

Moteado (Speckle)

El moteado (speckle) es un 'ruido' granular que existe inherentemente y degrada la calidad de las imágenes de SAR



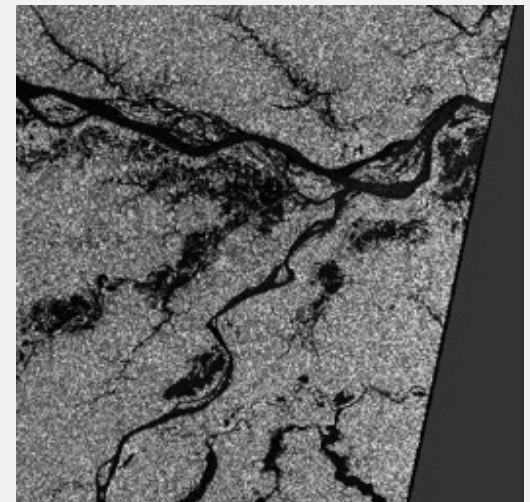
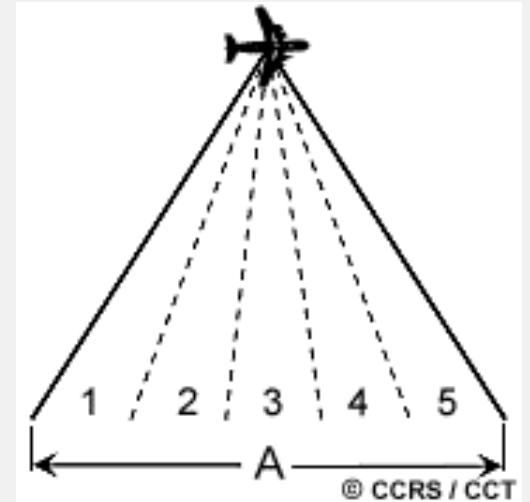
Fuente: ESA



Fuente: Natural Resources Canada

Reducir el Moteado: Procesamiento Multi-Look

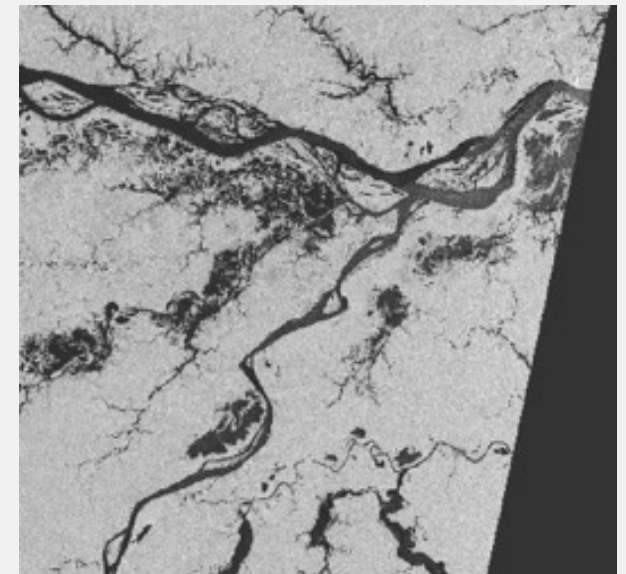
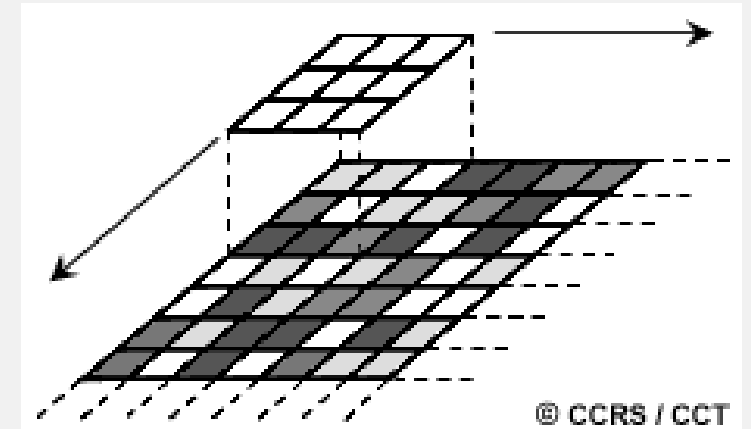
- Dividir el haz del radar en varios sub-haces que son más angostos
 - e.g. 5 sub-haces en la imagen a la derecha
- Cada sub-haz proporciona un “look” independiente al área iluminada
- Cada “looks” contiene speckle
- Al sumar los diferentes “looks” y sacar el promedio, el speckle se reduce en la imagen final



Source: Natural Resources Canada

Reducir el Moteado: Filtración Espacial

- Se coloca una ventana sobre cada pixel en la imagen
- Se aplican cálculos matemáticos a los valores de pixel dentro de la ventana
- El pixel central se reemplaza con el nuevo valor
- La ventana se mueve a lo largo de las dimensiones X e Y un pixel a la vez
- Reduce la apariencia visual del speckle y aplica un efecto alisador



Source: Natural Resources Canada

Datos de Radar de Diferentes Satélites

Nombre de Sensor	RADARSAT-2	Sentinel-1A	RISAT-1
Agencia	Canadian Space Program (CSP)	European Space Agency (ESA)	Indian Space Research Organization (ISRO)
Instrumento	C-band SAR (5.4 GHz)	C-band SAR (5.4 GHz)	C-band SAR (5.35 GHz)
Ángulo de Incidencia	Visión lateral, 15-45° desviado del nadir	Visión lateral, 15-45° desviado del nadir	36.85°
Polarización	HH, HV, VV, & VH	(VV & VH) or (HH & HV)	HH & HV
Altura del Sensor en la Línea Ecuatorial	798 km	693 km	542 km
Órbita	Heliosincrónica (anochecher/amanecer)	Heliosincrónica (anochecher/amanecer)	Heliosincrónica (anochecher/amanecer)
Tiempo de Revisita (Ciclo de Repetición Orbital)	24 días	12 días	25 días

Datos de Radar de Diferentes Satélites

Nombre de Sensor	RADARSAT-2	Sentinel-1A	RISAT-1
Resolución	100 m	5 m x 20 m	~25 m
Ancho de Barrido	500 km (modo ScanSAR)	250 km (IWS mode)	115 km (MRS)
Hora Local Media	6:00 a.m. descendiente	6:00 a.m. descendiente	6:00 a.m.
Lanzamiento	14 Dec 2007	3 April 2014	26 Apr 2012
Vida Útil Programada	7 años como mínimo	7 años	5 años

Fuentes de Imágenes SAR en el Alaska Satellite Facility

The screenshot shows the Alaska Satellite Facility (ASF) website. The header includes the UAF logo and the text "ALASKA SATELLITE FACILITY" with the tagline "Making remote-sensing data accessible since 1991". The navigation menu has tabs for Home, Get Data, Datasets, Data Tools, About SAR, News, and About ASF. The "Datasets" tab is active, displaying a list of SAR datasets. Two red boxes highlight the "Sentinel-1" and "InSAR" sections. The "Sentinel-1" section lists SMAP and Seasat. The "InSAR" section lists ALOS PALSAR, RADARSAT-1, ERS-1, ERS-2, JERS-1, UAVSAR, and AIRSAR. Other sections include "Other Data" (Magnetometer, Glacier Speed, Nenana River Ice, Polar Year 07-08, GISMO, RAMP), "Science Topics" (Antarctica, Ecology, Glaciers, Oceans, Sea Ice, Volcanoes, Wetlands), and "Satellite Optical" (ALOS AVNIR-2, ALOS PRISM). A "Citation Policy" section with "How to Cite Data" is also visible. A banner at the bottom reads "ASF Satellite Tracking Ground Station".

ALASKA SATELLITE FACILITY
Making remote-sensing data accessible since 1991

Home Get Data **Datasets** Data Tools About SAR News About ASF

Home

Due to scheduled maintenance

SAR Datasets

- Datasets Overview
- Sentinel-1
- SMAP
- Seasat
- Wetlands MEaSURES
- Sea Ice MEaSURES
- Terrestrial Ecology

Other Data

- Magnetometer
- Glacier Speed
- Nenana River Ice
- Polar Year 07-08
- GISMO
- RAMP

Citation Policy

- How to Cite Data

Science Topics

- Antarctica
- Ecology
- Glaciers
- Oceans
- Sea Ice
- Volcanoes
- Wetlands

Satellite Optical

- ALOS AVNIR-2
- ALOS PRISM

View Image
Showcasing remote sensing

ASF Satellite Tracking Ground Station

Misión “NISAR” (NASA-ISRO SAR):

- Resolución espacial alta con tiempo de revisita frecuente
- Fecha de lanzamiento más pronta: 2021
- Radar de Apertura Sintética (SAR) de frecuencia dual L- y S-band
 - SAR de L-band de la NASA y SAR de S-band de ISRO
- 3 años de operaciones científicas (+ de 5 años de consumibles)
- Todos los datos científicos se harán de disponibilidad libre y gratuita

NISAR Characteristic:	Would Enable:
L-band (24 cm wavelength)	Low temporal decorrelation and foliage penetration
S-band (12 cm wavelength)	Sensitivity to light vegetation
SweepSAR technique with Imaging Swath >240 km	Global data collection
Polarimetry (Single/Dual/Quad)	Surface characterization and biomass estimation
12-day exact repeat	Rapid Sampling
3-10 meters mode-dependent SAR resolution	Small-scale observations
3 years since operations (5 years consumables)	Time-series analysis
Pointing control < 273 arcseconds	Deformation interferometry
Orbit control < 500 meters	Deformation interferometry
>30% observation duty cycle	Complete land/ice coverage
Left/Right pointing capability	Polar coverage, North and South
Noise Equivalent Sigma Zero ≤ -23 db	Surface characterization of smooth surfaces

Slide Courtesy of Paul Rosen (JPL)

NISAR- Aplicaciones Hidrológicas y de Reservorios Subsuperficiales

Respuestas a las Inundaciones

Aplicaciones Específicas	Producto de datos NISAR (Nivel 1 o Nivel 2)	Producto informático necesario*
Dirección de la inundación	<ul style="list-style-type: none"> • Producto geocodificado y calibrado • SLC geocodificado/calibrado estaría bien • Imágenes de coherencia InSAR y corregistradas de pases repetidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de extensión de aguas abiertas • Extensión forestal inundada
Cambios en Niveles de Agua en Áreas Forestales y Urbanas	Fase y coherencia InSAR	Medir cambios en el nivel del agua en lugares donde áreas forestales y urbanas están inundadas
Inundación causada por huracanes y tifones (precipitación y marea tormentosa)	Mapa de coherencia geocodificado	Mapa aéreo de inundación
Inundación causada por escorrentía y deshielo	Mapa de coherencia geocodificado	Mapa aéreo de inundación

NISAR- Aplicaciones Hidrológicas y de Reservorios Subsuperficiales

Deformación Superficial Causada por Cambios Volumétricos en Reservorios Subsuperficiales

Aplicaciones Específicas	Producto de datos NISAR (Nivel 1 o Nivel 2)	Producto informático necesario*
Agotamiento y recarga de acuíferos (tanto natural como antrópico)	<ul style="list-style-type: none">• Interferogramas geocodificados desenvueltos• Mapas de coherencia geocodificados• Mapas de vectores LOS geocodificados	Tasas y series temporales de desplazamiento vertical superficial
Extracción de petróleo y de gas natural de yacimientos terrestres		Tasas de desplazamiento vertical superficial
Extensión y grado de severidad de colapso de mina	<ul style="list-style-type: none">• Datos brutos de (respuesta rápida)• Interferogramas geocodificados desenvueltos• Mapas de coherencia geocodificados• Mapas de vectores LOS geocodificados	Desplazamiento vertical superficial para el período temporal que define el evento

NISAR Aplicaciones Hidrológicas y de Reservorios Subsuperficiales

Aplicaciones Específicas	Producto de datos NISAR (Nivel 1 o Nivel 2)	Producto informático necesario*
Yacimientos de gas y de fluidos		
Secuestro de CO ₂	SLC InSAR	Deformación de series temporales
Almacenamiento de gas subterráneo (UGS)	SLC InSAR	<ul style="list-style-type: none"> • Deformación de series temporales • Deformación debido a fugas
Retiro e inyección de fluidos		
Terremotos ocasionados por la producción acuífera	SLC InSAR	<ul style="list-style-type: none"> • Deformación de series temporales • Deformación debido a fugas
Equivalente en agua de la nieve		
Estimación del equivalente en agua de la nieve según la cuenca de aguas subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> • Producto geocodificado y calibrado • InSAR y PolSAR 	<ul style="list-style-type: none"> • Equivalente en agua de la nieve