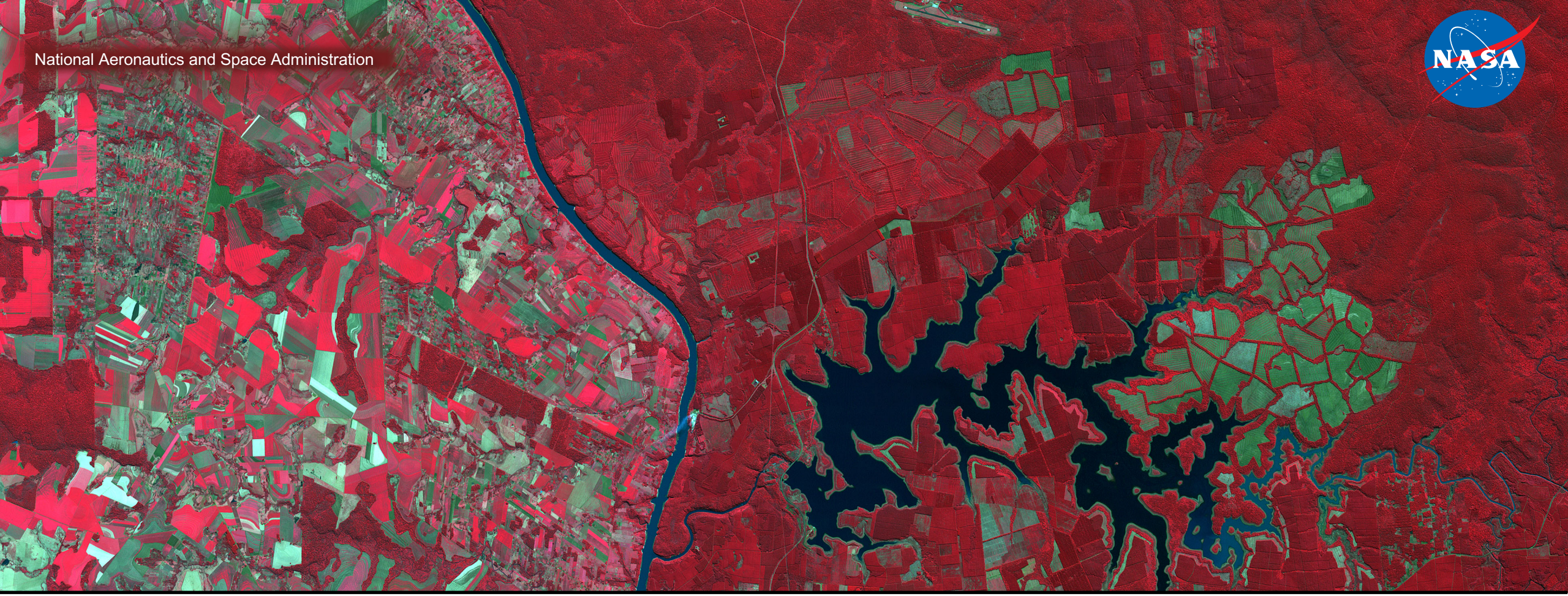


Conceptos Básicos del Radar de Apertura Sintética (Synthetic Aperture Radar o SAR)

Erika Podest

29 de Noviembre 2017

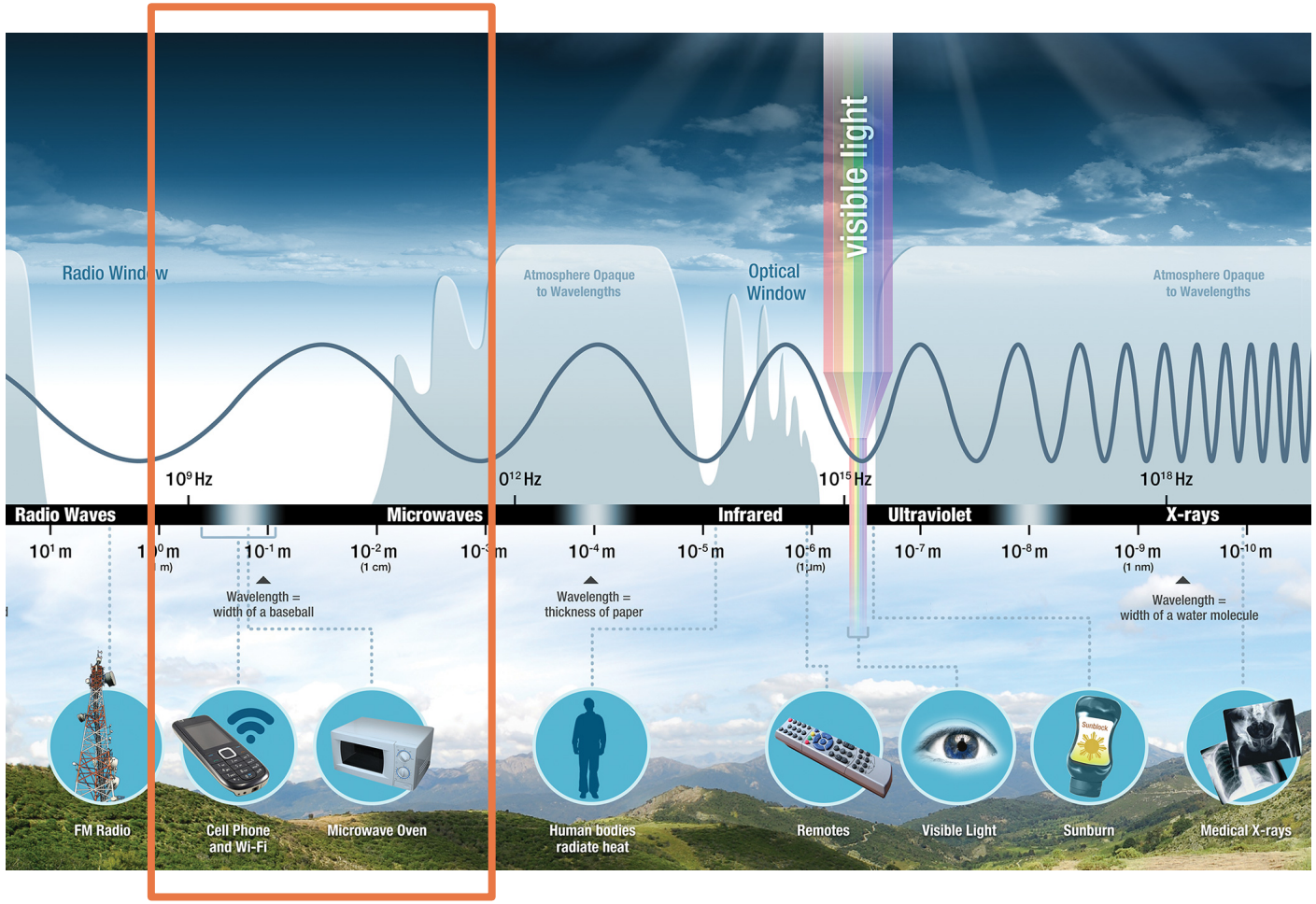
Objetivos de Aprendizaje

Al finalizar esta presentación los participantes podrán:

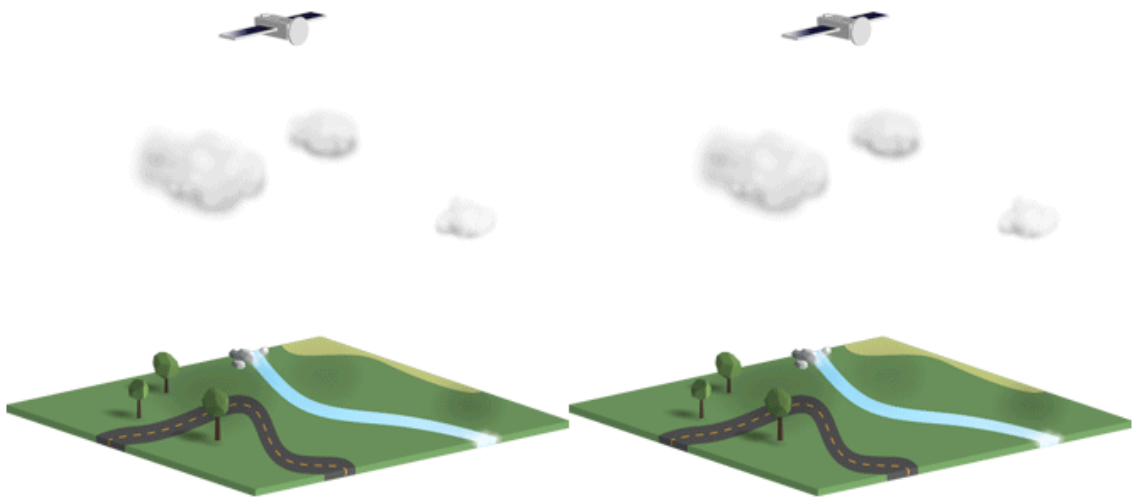
- Entender la física de la formación de imágenes de SAR
- Describir la interacción de la señal de SAR con la superficie terrestre
- Describir el preprocesamiento de datos necesario
- Entender la información contenida en las imágenes de SAR

El Espectro Electromagnético

- Los sensores ópticos miden la luz solar reflejada y sólo funcionan de día
- La superficie terrestre no es observable con sensores visibles o infrarrojos cuando hay nubes
- Las microondas pueden penetrar a través de las nubes y la vegetación (dependiendo de la frecuencia) y funcionan en condiciones de día o de noche



La Teledetección Activa y Pasiva



Pasiva Los sensores detectan sólo lo que es emitido por el paisaje o reflejado de alguna otra fuente (ej. luz solar reflejada)

Activa Los instrumentos emiten su propia señal y el sensor mide lo que se refleja de vuelta. Tanto el sonar como el radar son ejemplos de sensores activos.

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 su propia energía radiante artificial como fuente de iluminación
- Por ejemplo radar, radar de apertura sintética (SAR), LIDAR

Ventajas y Desventajas de la Teledetección con Radar sobre la Óptica

Ventajas

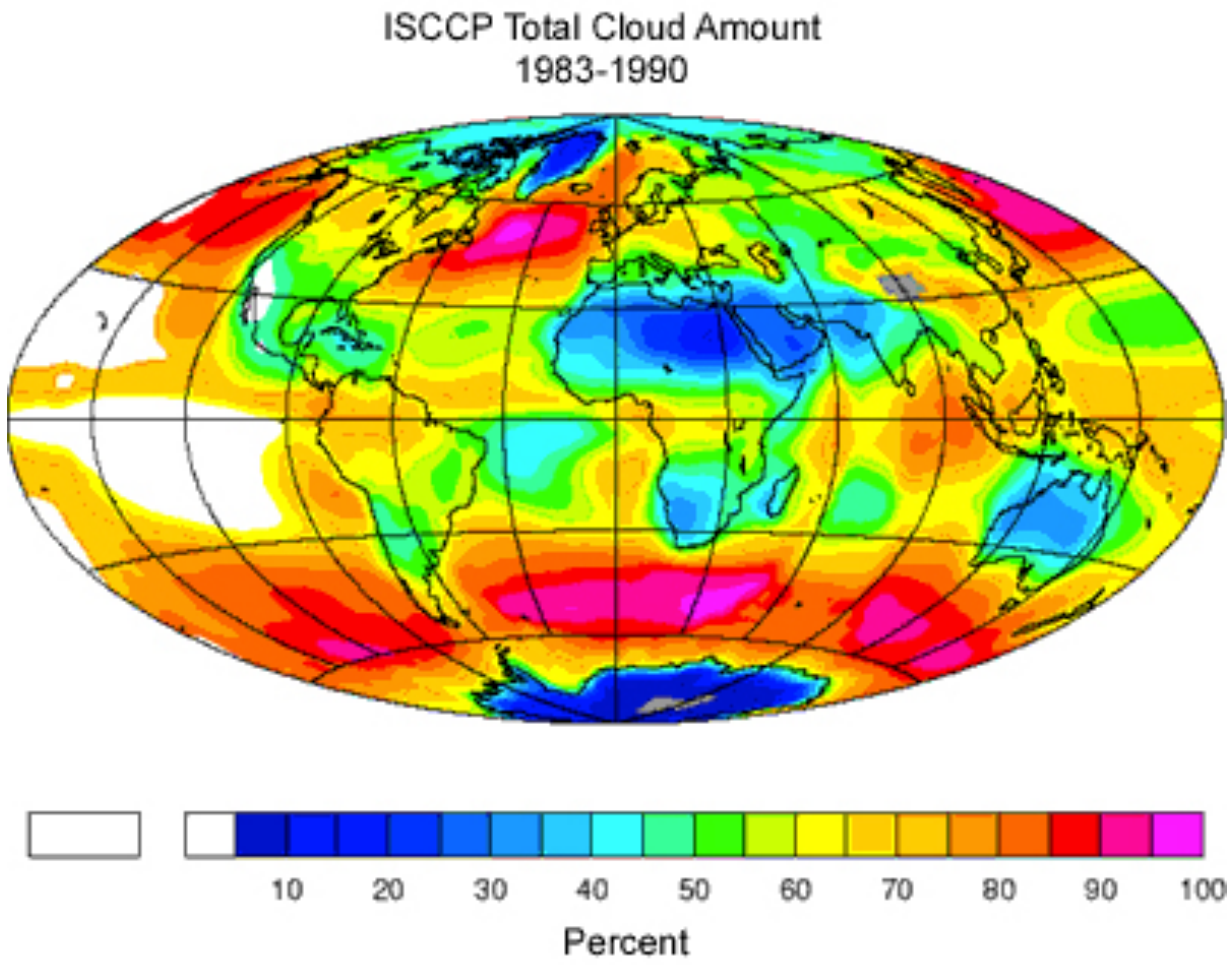
- Funcionan en casi cualquier condición meteorológica
- Capacidad de observación diurna o nocturna
- Penetran a través del dosel de vegetación (hasta cierto punto)
- Penetran a través del suelo (hasta cierto punto)
- Los efectos atmosféricos son mínimos
- Sensibilidad a las propiedades dieléctricas de la superficie (ej. agua congelada vs líquida)
- Sensibilidad 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 speckle (efecto sal y pimienta en las imágenes)
- Distorsiones en áreas donde hay topografía

Cobertura Global de Nubosidad

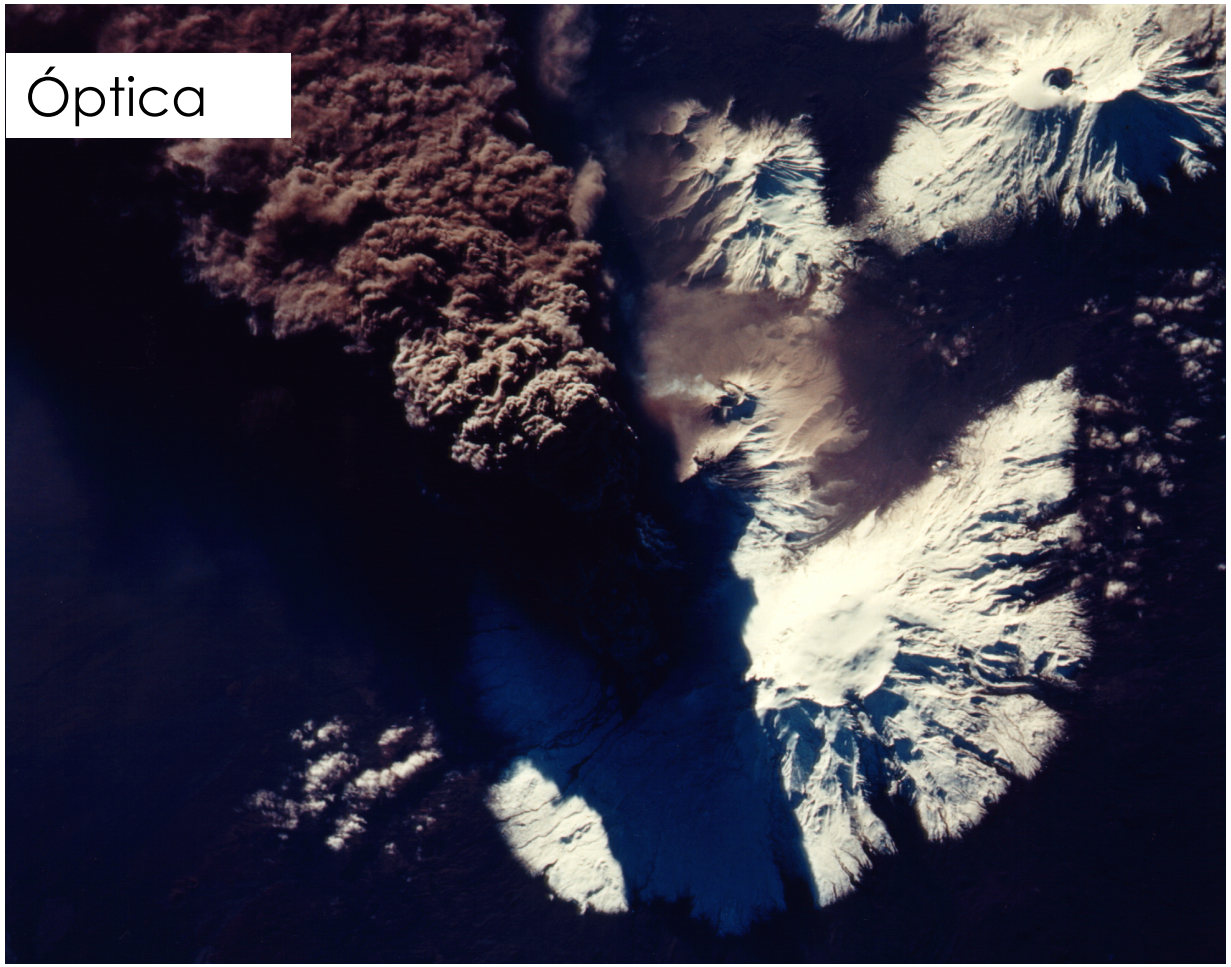
- La media de la fracción de cobertura de nubes anual desde 1983-1990 utilizando datos del International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP)



Source: ISCCP, NASA Earth Observatory

Imágenes Ópticas vs. Radar

Volcán en Kamchatka, Rusia, 5 oct. 1994



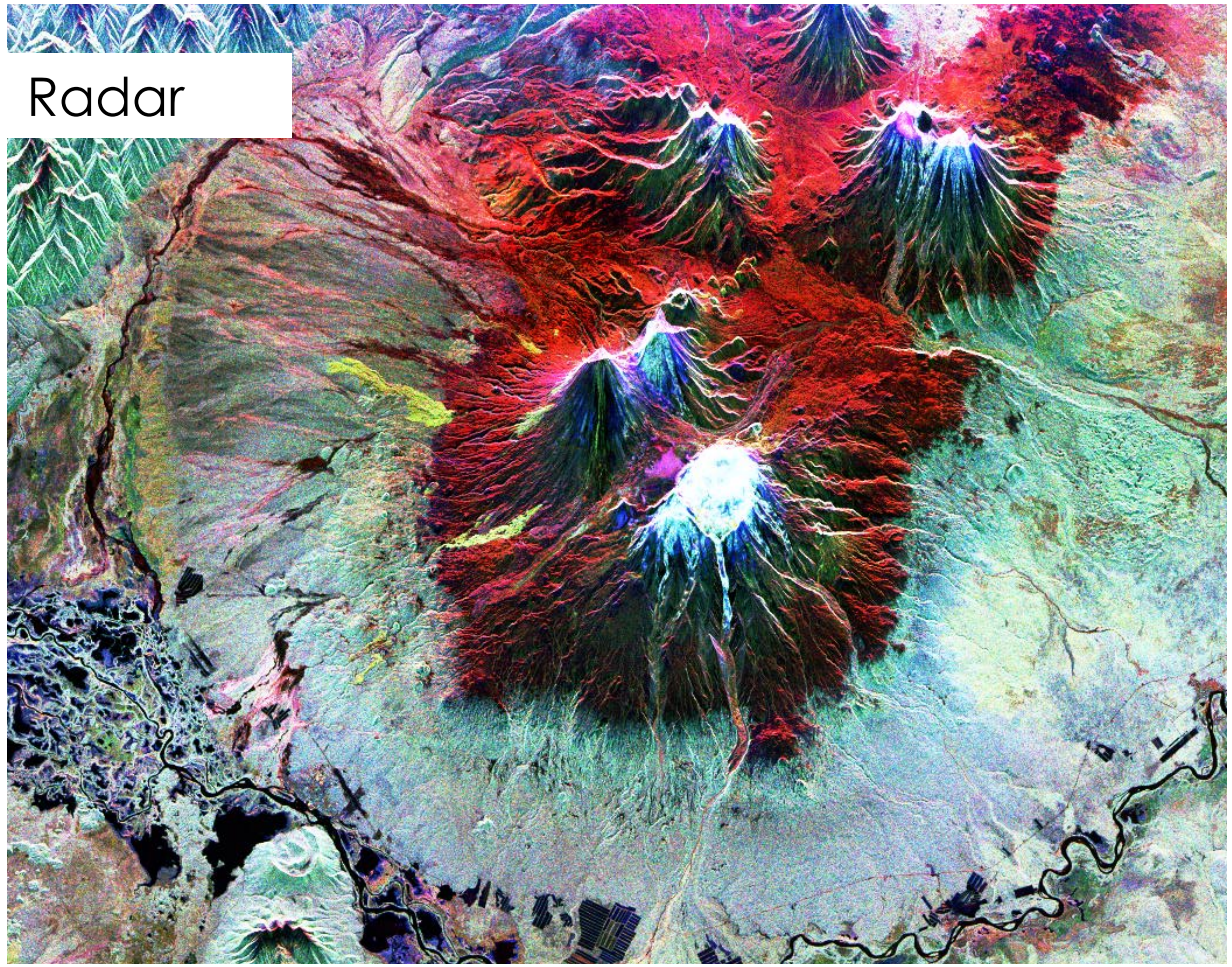
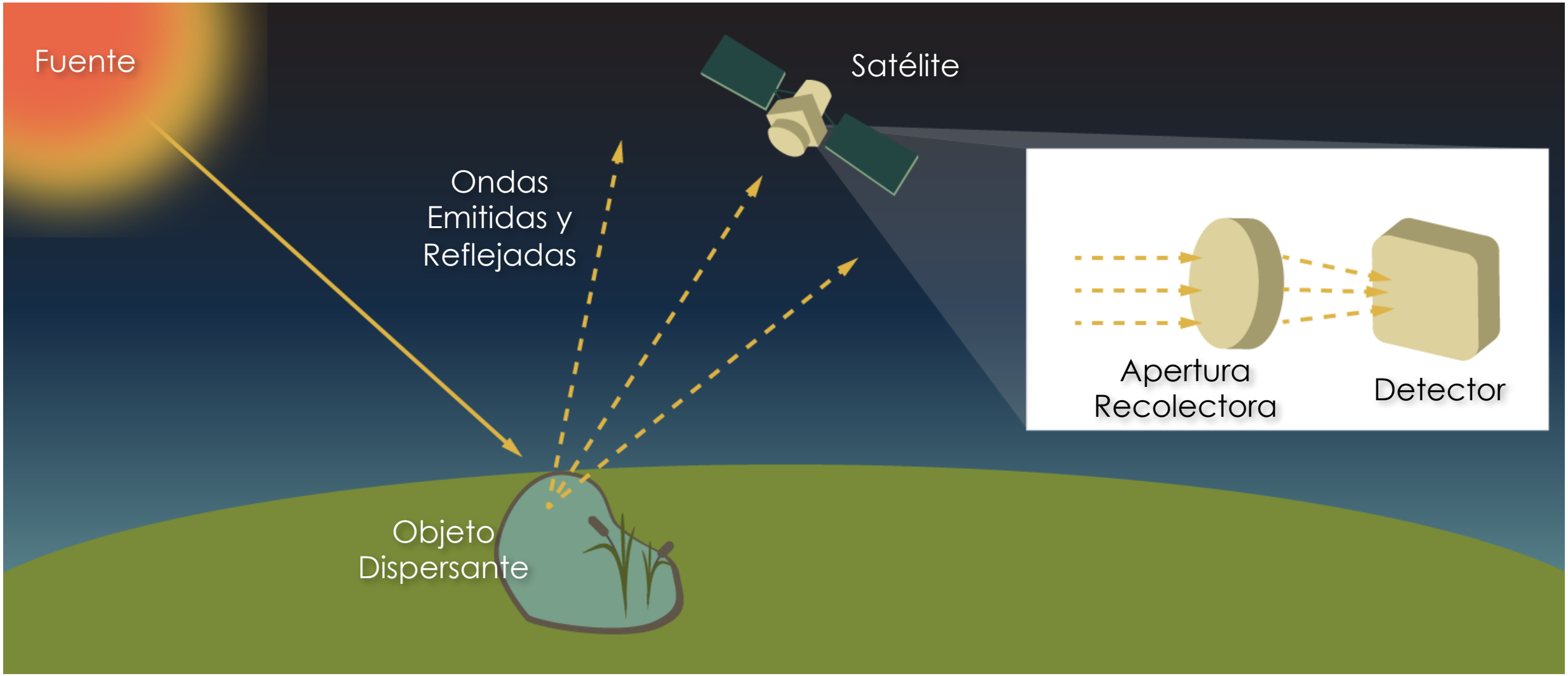


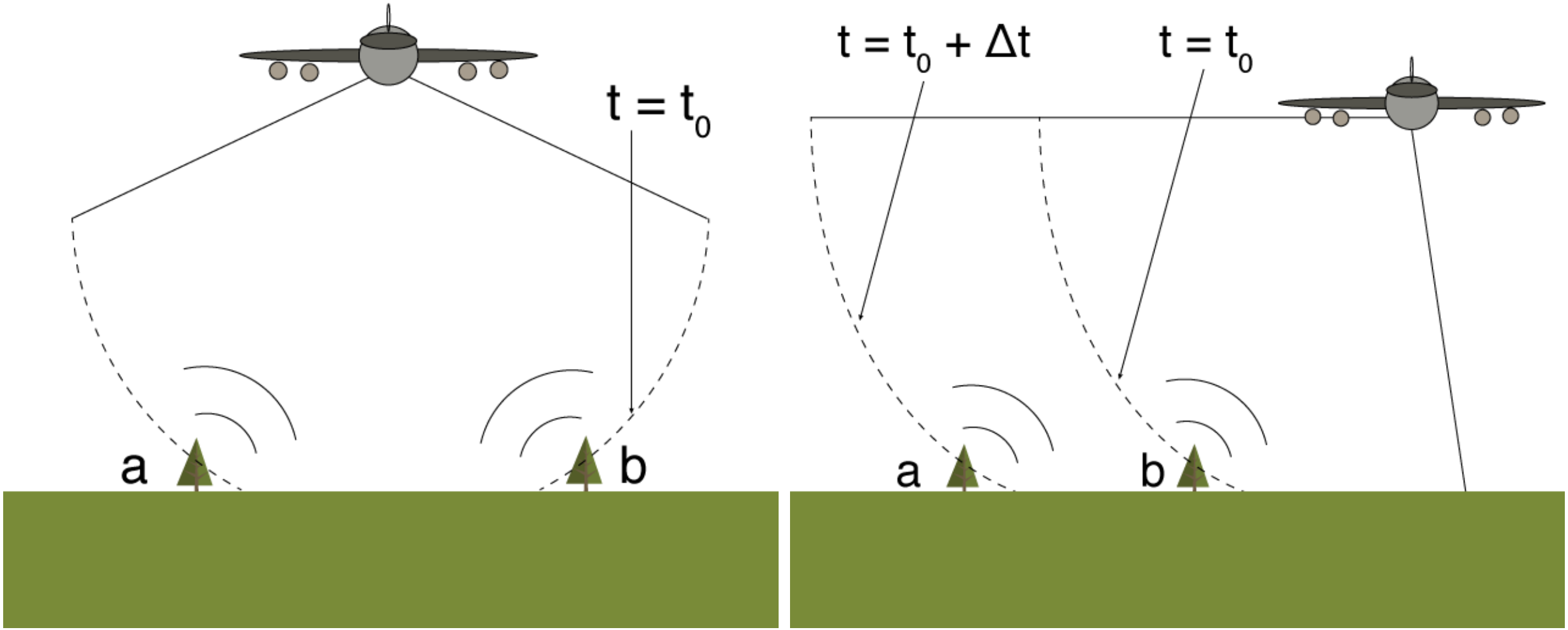
Image Credit: JPL/NASA

Image acquired by SIR-C/X-SAR aboard the Space Shuttle Endeavour Oct 5, 1994. Red (L-band HH), Green (L-band HV), Blue (C-band HV)

Un Sistema Básico de Teledetección

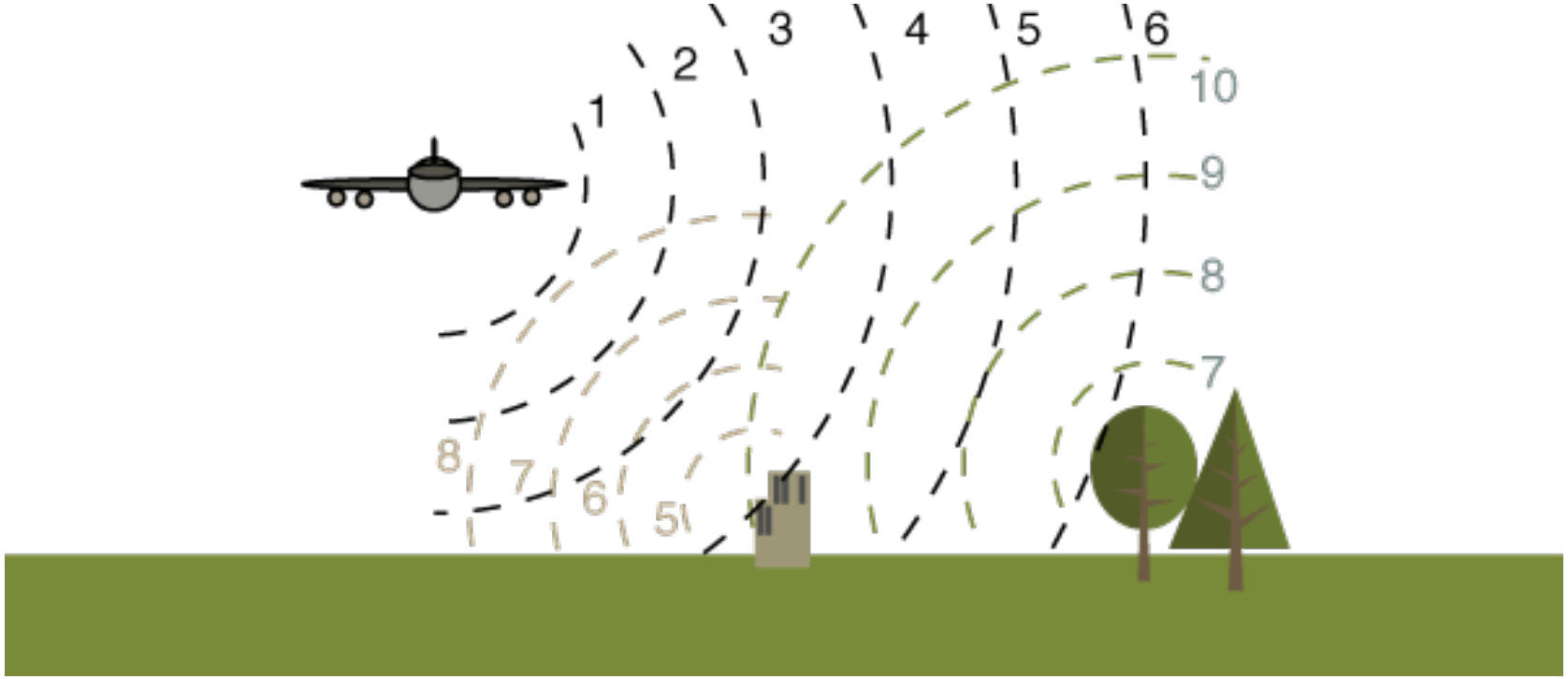


Conceptos Básicos: Radar de Visión Hacia Abajo vs. Radar de Visión Lateral



Conceptos Básicos: Radar de Visión Lateral

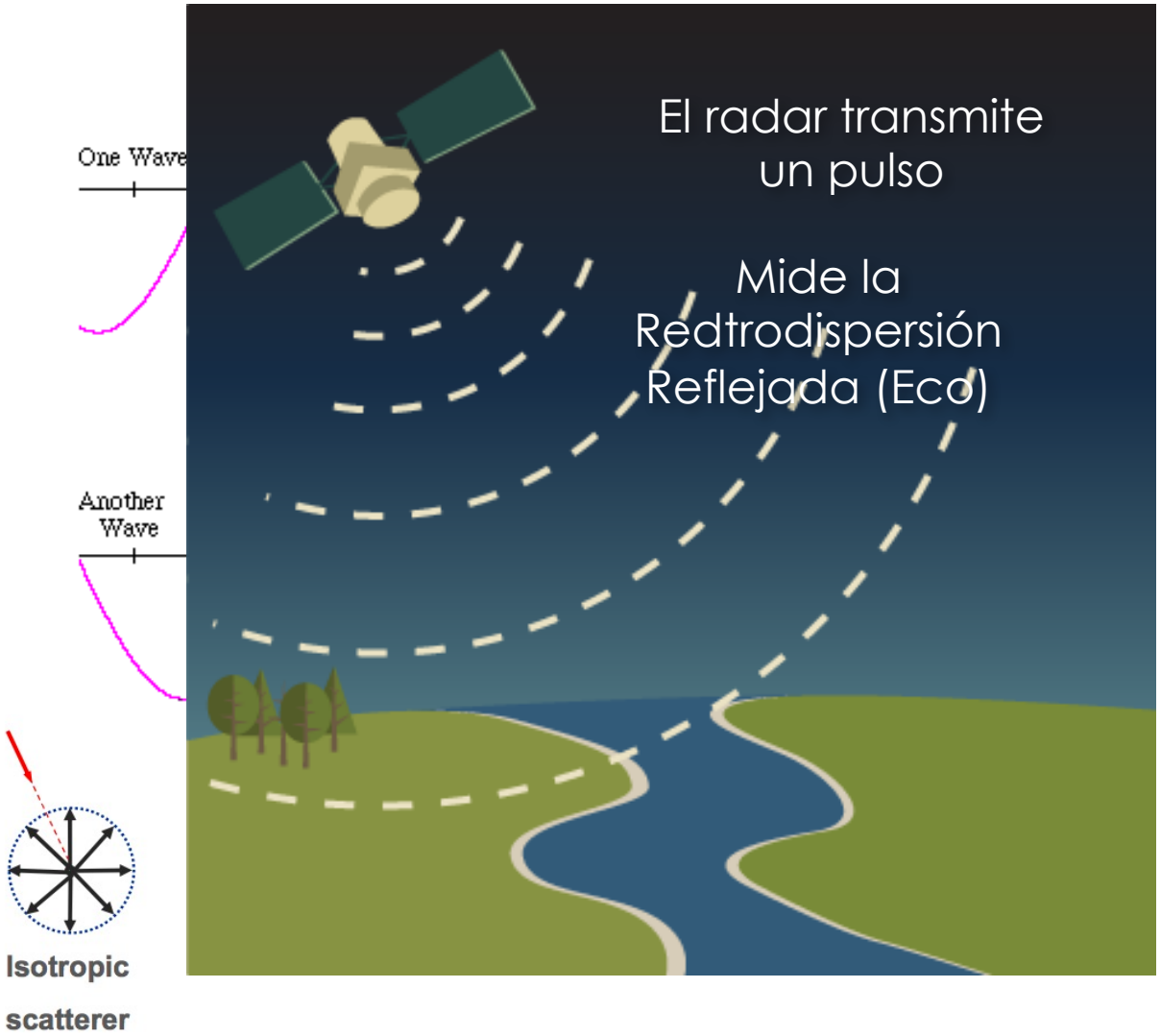
- Cada pixel en la imagen de radar representa una cantidad compleja de energía reflejada de vuelta al satélite
- La magnitud de cada pixel representa la intensidad de la señal reflejada



Credit: Paul Messina, CUNY NY, after Drury 1990, Lillesand and Kiefer, 1994

Repaso de la Formación de Imágenes de Radar

- El radar mide la amplitud (la magnitud del eco reflejado) y la fase (la posición de un punto en un momento especifico en el ciclo de la onda)
- El radar sólo puede medir la parte del eco reflejada en la dirección de la antena (retrodispersión)
- Los pulsos de radar viaja a la velocidad de la luz
- La intensidad del eco reflejado es el coeficiente de retrodispersión Σ_0 y se expresa en decibeles (dB)



Source: ESA- ASAR Handbook

Los Parámetros del Radar por Considerar en un Estudio

- Longitud de onda
- Polarización
- Ángulo de incidencia

Características de Radar: Longitud de Onda

$$\text{Longitud de onda} = \frac{\text{Velocidad de la luz}}{\text{Frecuencia}}$$

Mayor Frecuencia

Menor Longitud de Onda

Menor Frecuencia

Mayor Longitud de Onda

Band designation*	Wavelength (λ), cm	Frequency (ν), GH_z (10^9 cycles · 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 SAR se encuentran en paréntesis

Características de Radar: Longitud de Onda

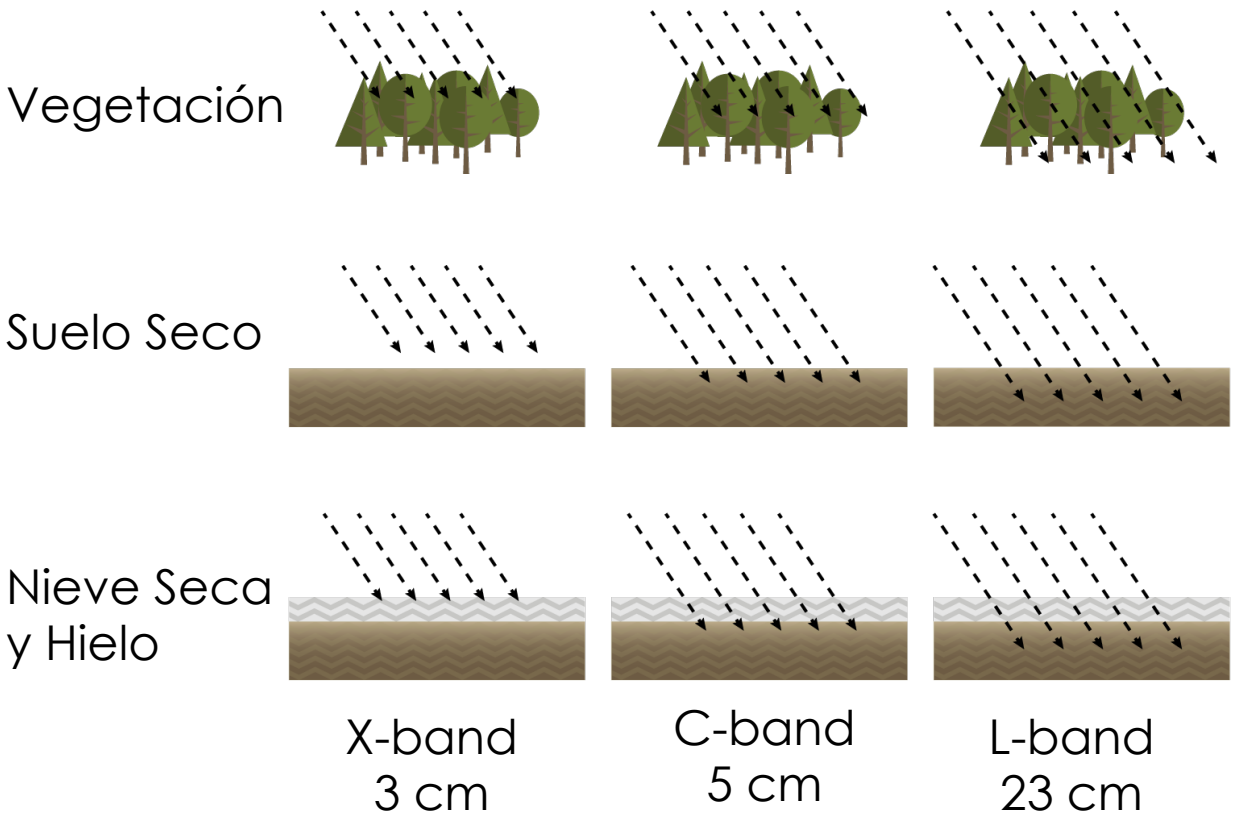
- La penetración de la señal es el **factor principal** en la selección de la longitud de onda
- La penetración a través de la vegetación o el suelo incrementa mientras mas larga es la longitud de onda

Las Bandas de Frecuencias mas Utilizadas

Banda	Gama de Frecuencias	Ejemplos de Aplicaciones
VHF	300 KHz – 300 MHz	Follaje, penetración del suelo, biomasa
P-Band	300 MHz – 1 GHz	biomasa, humedad del suelo, penetración
L-Band	1 GHz – 2 GHz	agricultura, gestión forestal, humedad del suelo
C-Band	4 GHz – 8 GHz	océano, agricultura
X-Band	8 GHz – 12 GHz	agricultura, océano, radar de alta resolución
Ku-Band	14 GHz – 18 GHz	glaciología (mapeo de la cubierta de nieve)
Ka-Band	27 GHz – 47 GHz	radares de alta resolución

Table Reference: DLR

La Penetración de la Señal en Función a la Longitud de Onda



- 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

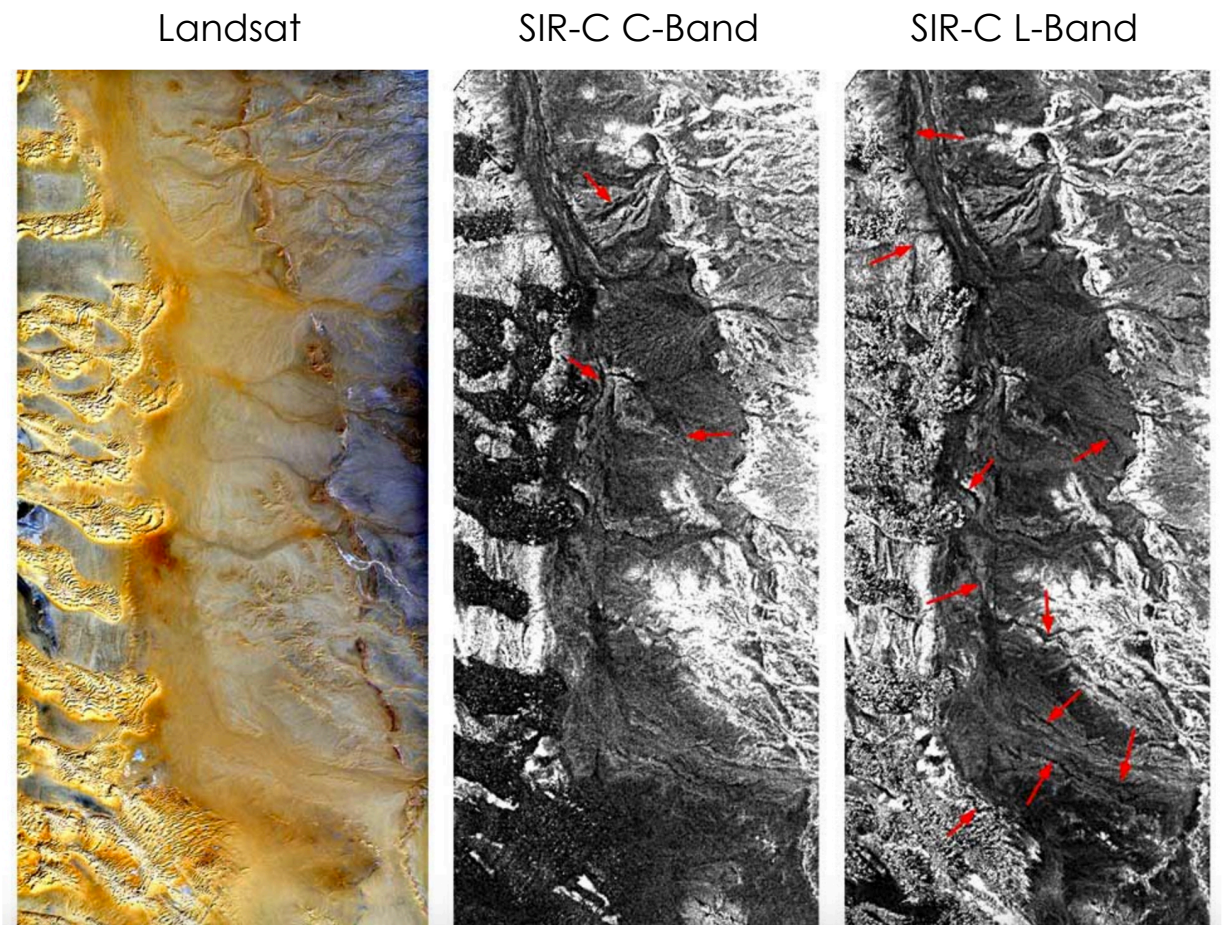
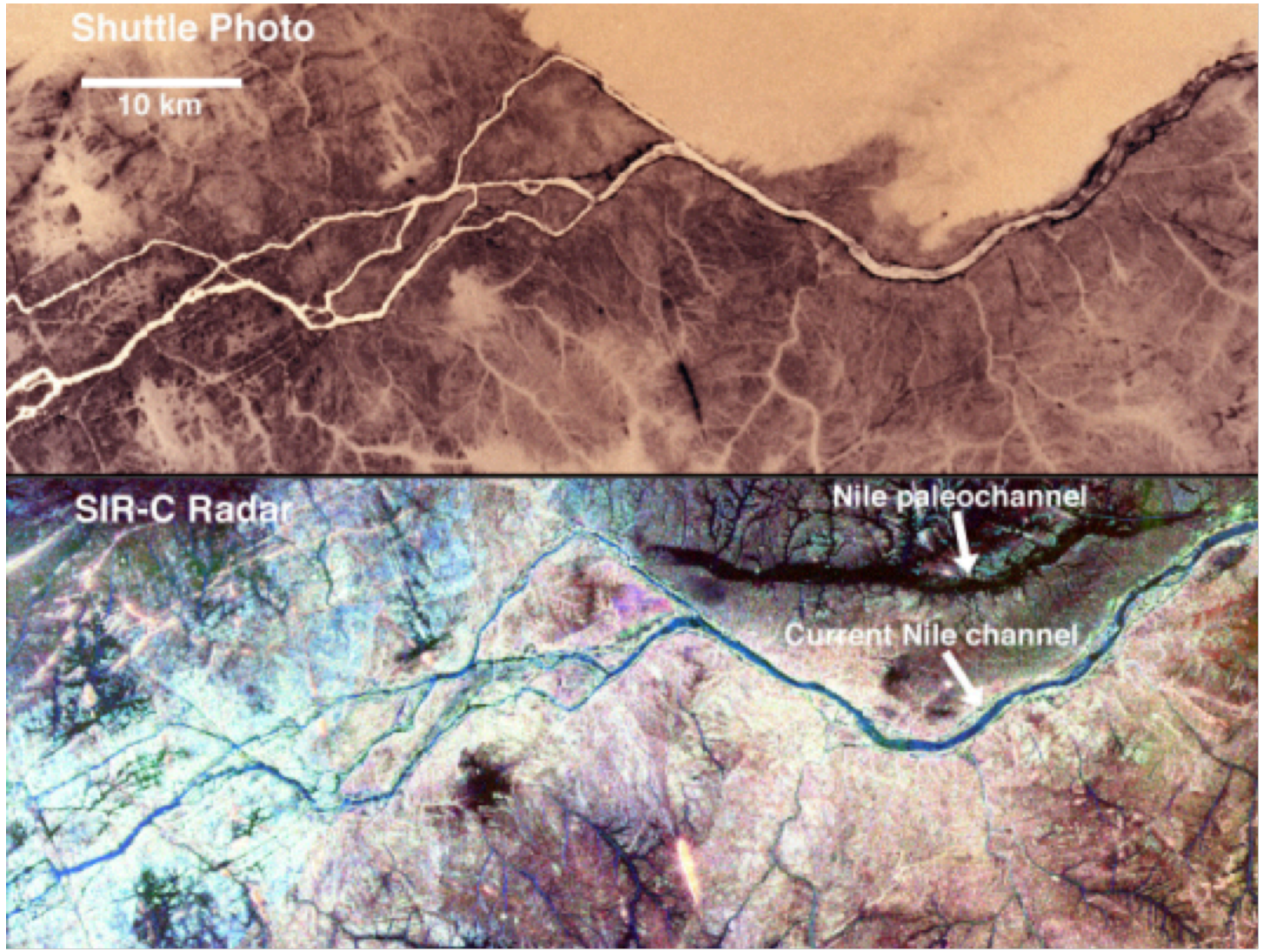


Image Credit: A Perego

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



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

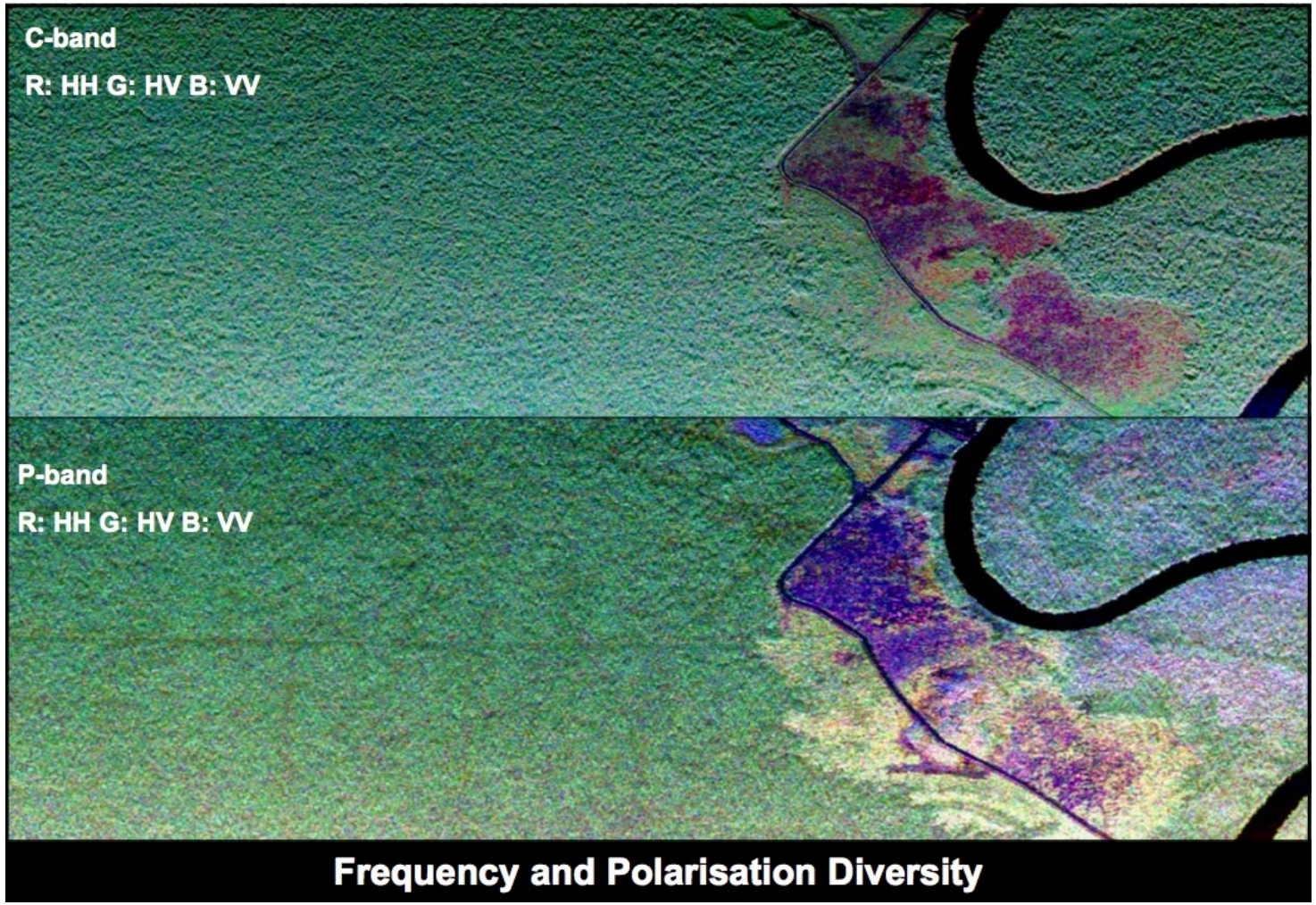
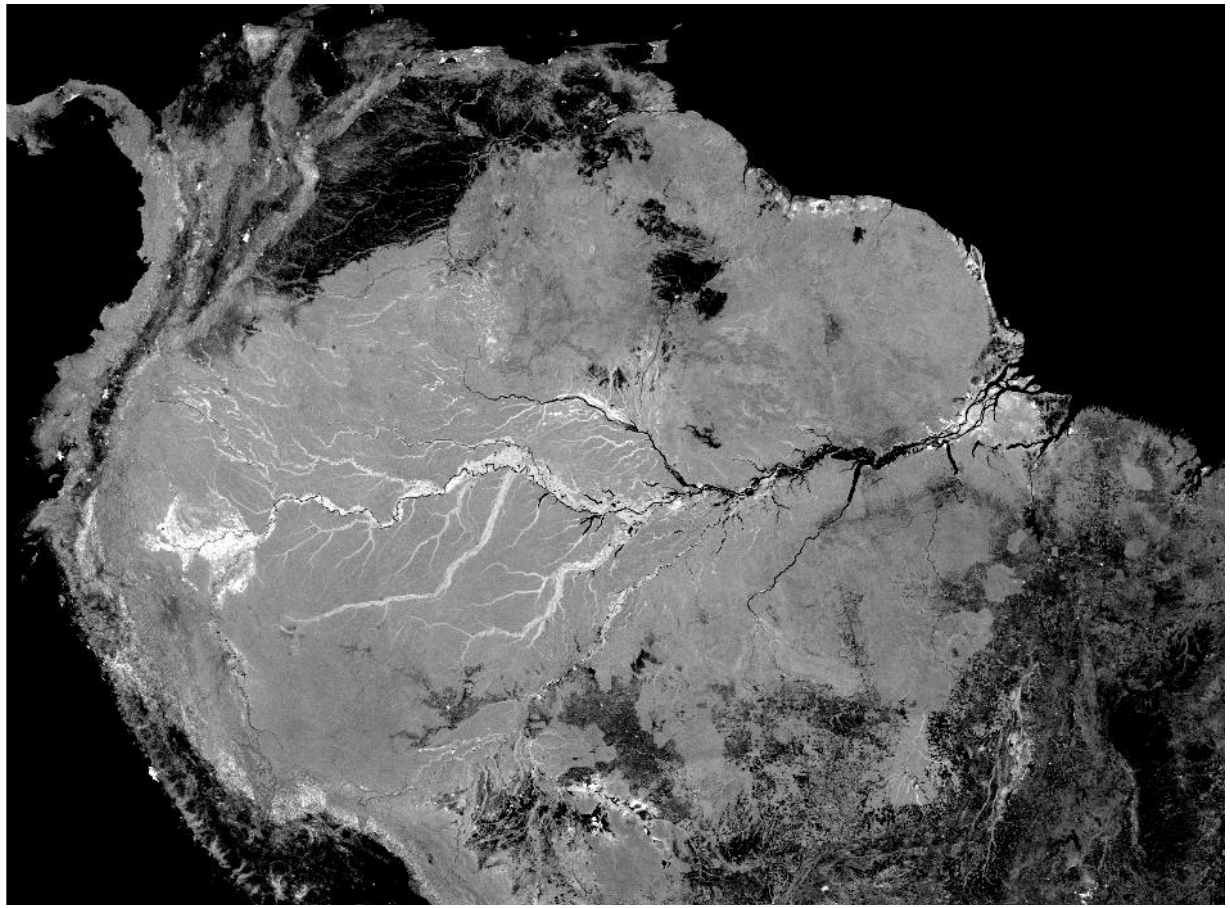


Image Credit: A Moreira - ESA

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 dosel y se puede "ver" áreas inundadas por debajo
- En la imagen a la derecha las áreas inundadas aparecen blancas

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



Características del Radar: Polarización

- La señal de radar es polarizada
- Las polarizaciones usualmente se controlan entre H y V:
  - HH: Transmitida Horizontalmente, Recibida Horizontalmente
  - HV: Transmitida Horizontalmente, Recibida Verticalmente
  - VH: Transmitida Verticalmente, Recibida Horizontalmente
  - VV: Transmitida Verticalmente, Recibida Verticalmente

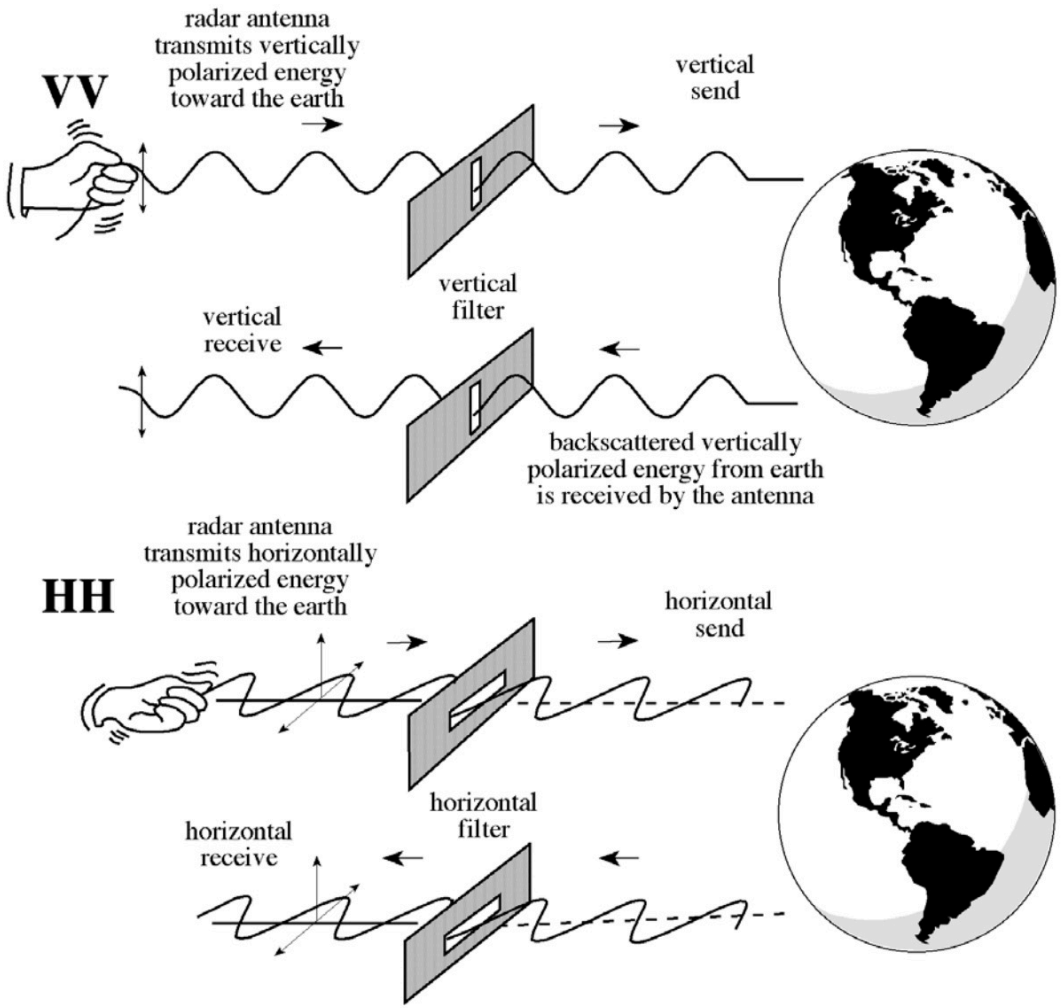


Image Credit: J.R. Jensen, 2000. Remote Sensing of the Environment

Características del Radar: Polarización

- Configuración Quad-Pol: Cuando las cuatro
  polarizaciones se miden
- Diferentes polarizaciones pueden ser utilizadas
  para determinar las propiedades físicas del objeto observado

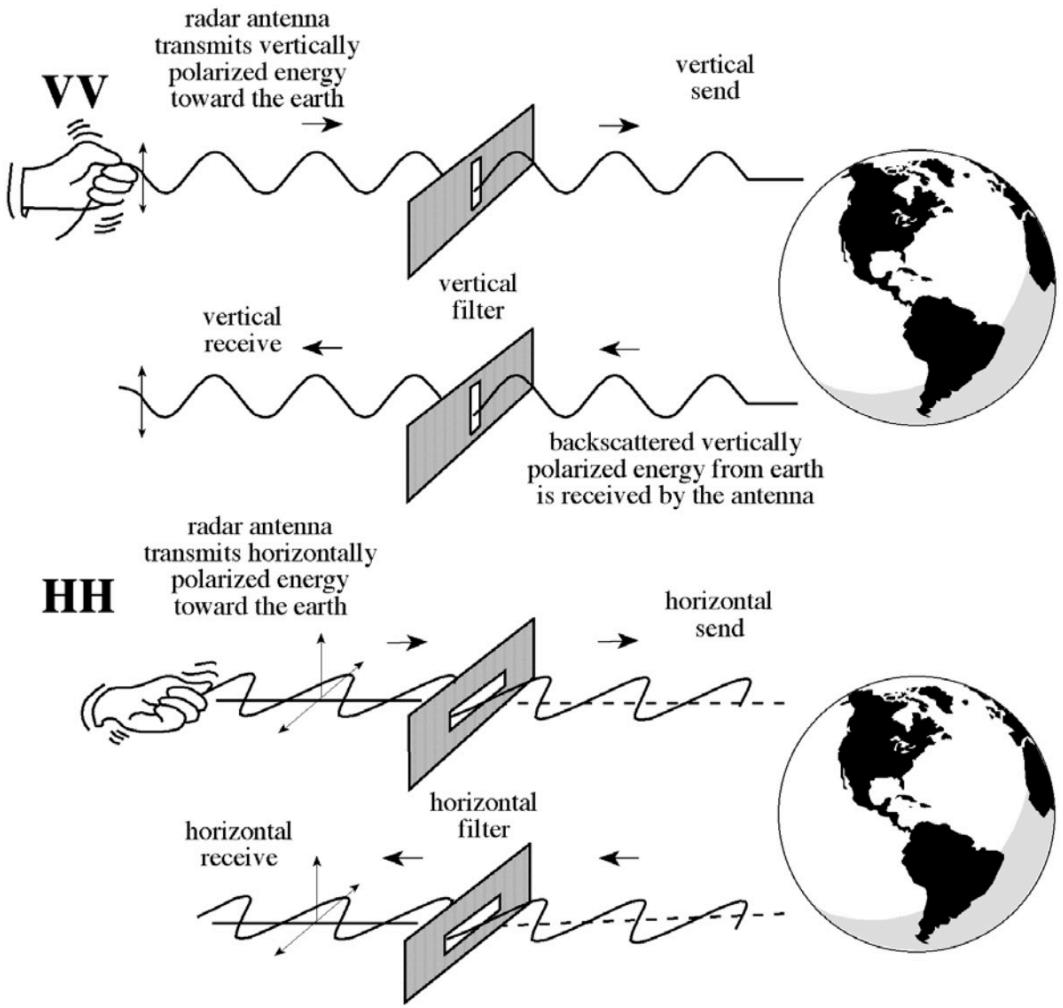
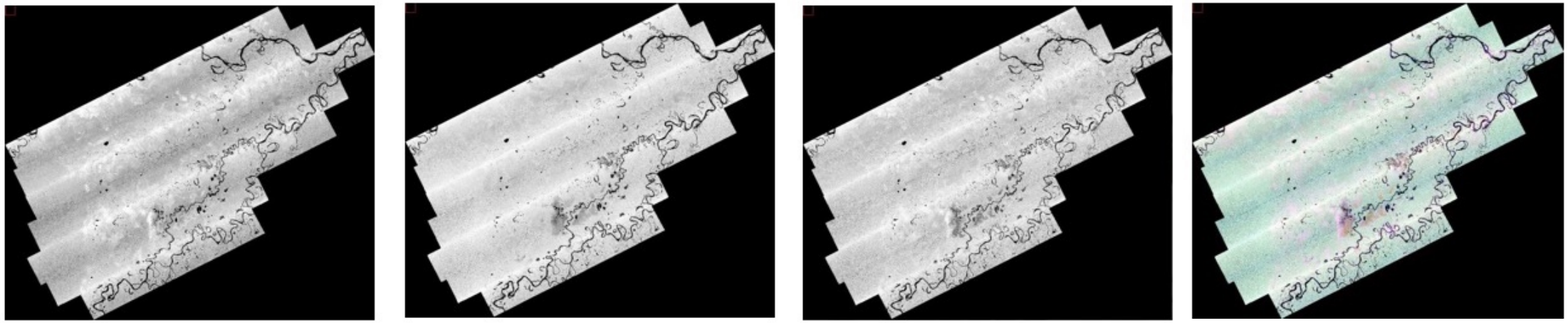


Image Credit: J.R. Jensen, 2000. Remote Sensing of the Environment

Ejemplo de Polarizaciones Múltiples en un Estudio de Vegetación

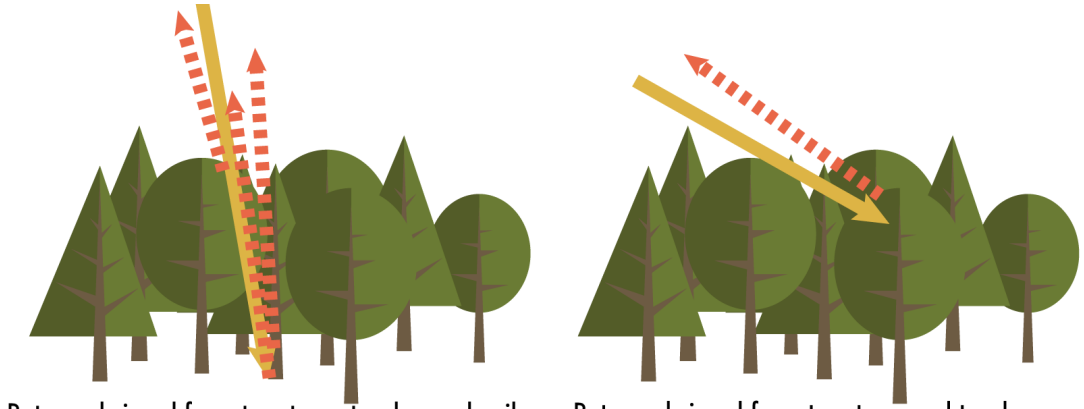
Reserva Forestal Pacaya-Samiria en el Perú

Imágenes de UAVSAR (HH, HV, VV)



Características del Radar: Ángulo 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

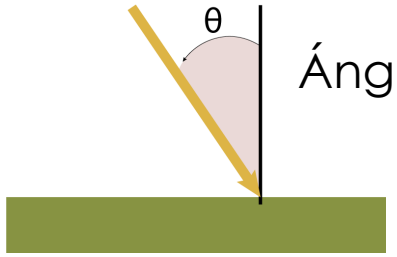


Returned signal from tree-tops, trunks, and soil

Returned signal from tree-tops and trunks

Returned signal from soil and subsoil

Returned signal from crops and soil

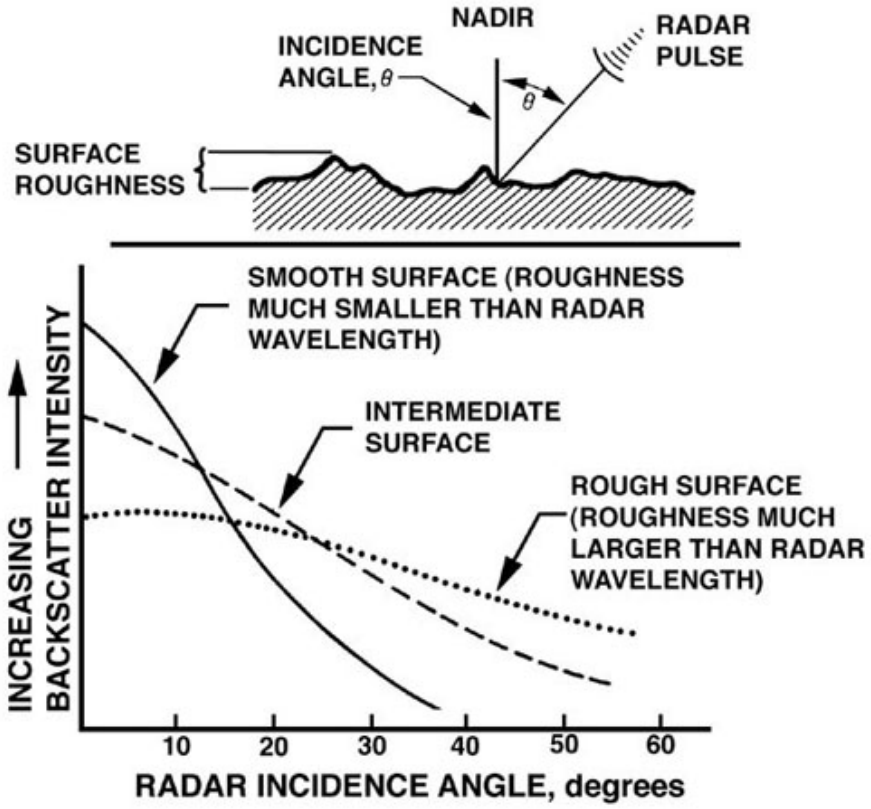


Ángulo de Incidencia(θ)

Images Based on:
(Above)Ulaby et al. (1981a), (Left) ESA

Características del Radar: Ángulo de Incidencia

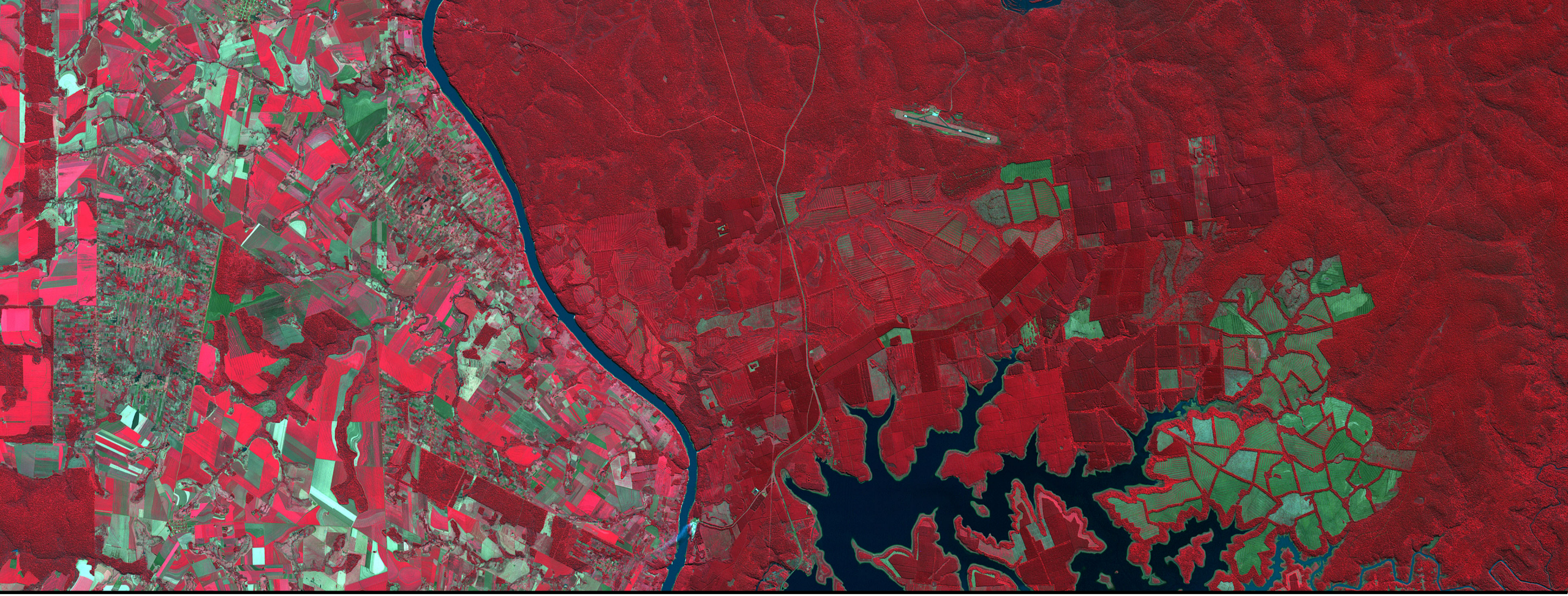
- Retorno de la dispersión superficial:
  - fuerte con un ángulo de incidencia bajo
  - se reduce con el incremento del ángulo de incidencia
  - cuanto más áspera la superficie más lenta la reducción
- Retornos debido a la dispersión por volumen (superficie áspera):
  - más uniforme para todo ángulo de incidencia
- La retrodispersión de radar depende del ángulo de incidencia
- Esto le permite elegir la mejor configuración para diferentes aplicaciones



Text Reference: ESA; Image Credit: Ulaby et al. (1982b)

Preguntas

1. ¿Cuáles son las ventajas de los sensores de radar?
2. ¿Cuáles son las tres características principales que hay que considerar para un estudio específico?
3. ¿Cuál es la relación entre longitud de onda y penetración?
4. ¿De qué sirve tener diferentes polarizaciones?
5. ¿Qué efecto tiene el variar el ángulo de incidencia?



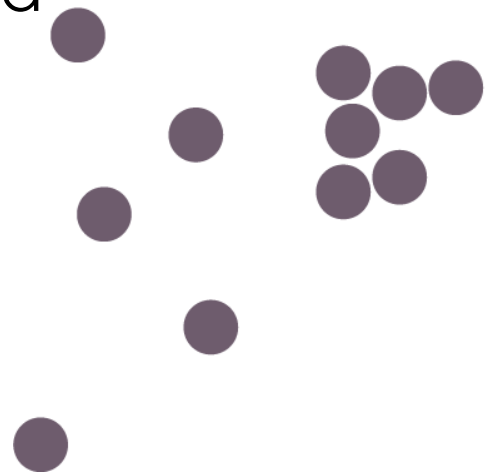
Retrodispersión de Radar

Retrodispersión de Radar

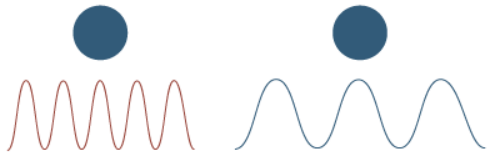
- El eco de radar contiene información sobre la superficie, la cual se caracteriza por la retrodispersión de la onda electromagnética incidente
- Esta dispersión depende de:
  - La frecuencia o longitud de la onda: característica del radar
  - Polarización de la onda: característica del radar
  - El ángulo de incidencia: 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

Mecanismos de Retrodispersión

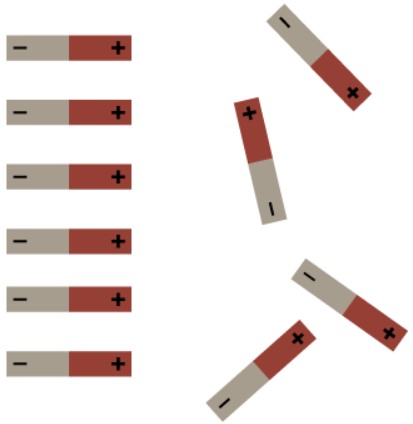
Densidad



Tamaño en relación a la onda de longitud



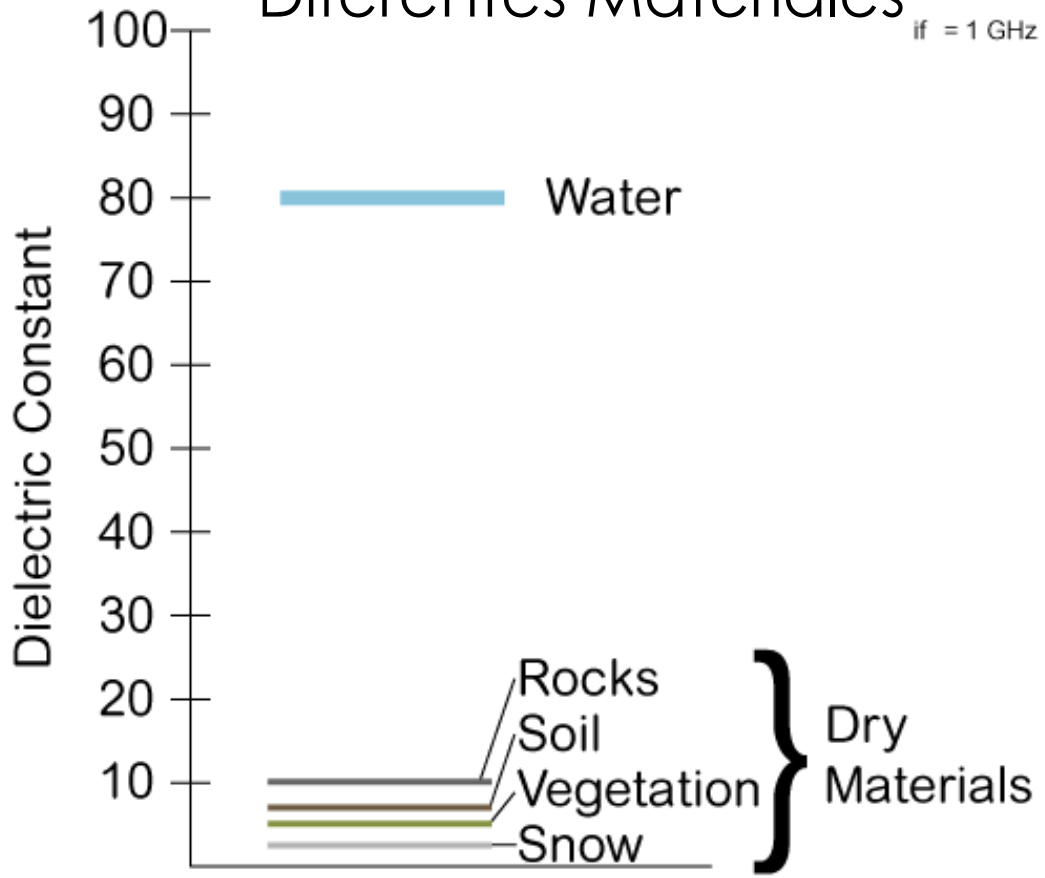
Constante Dieléctrica



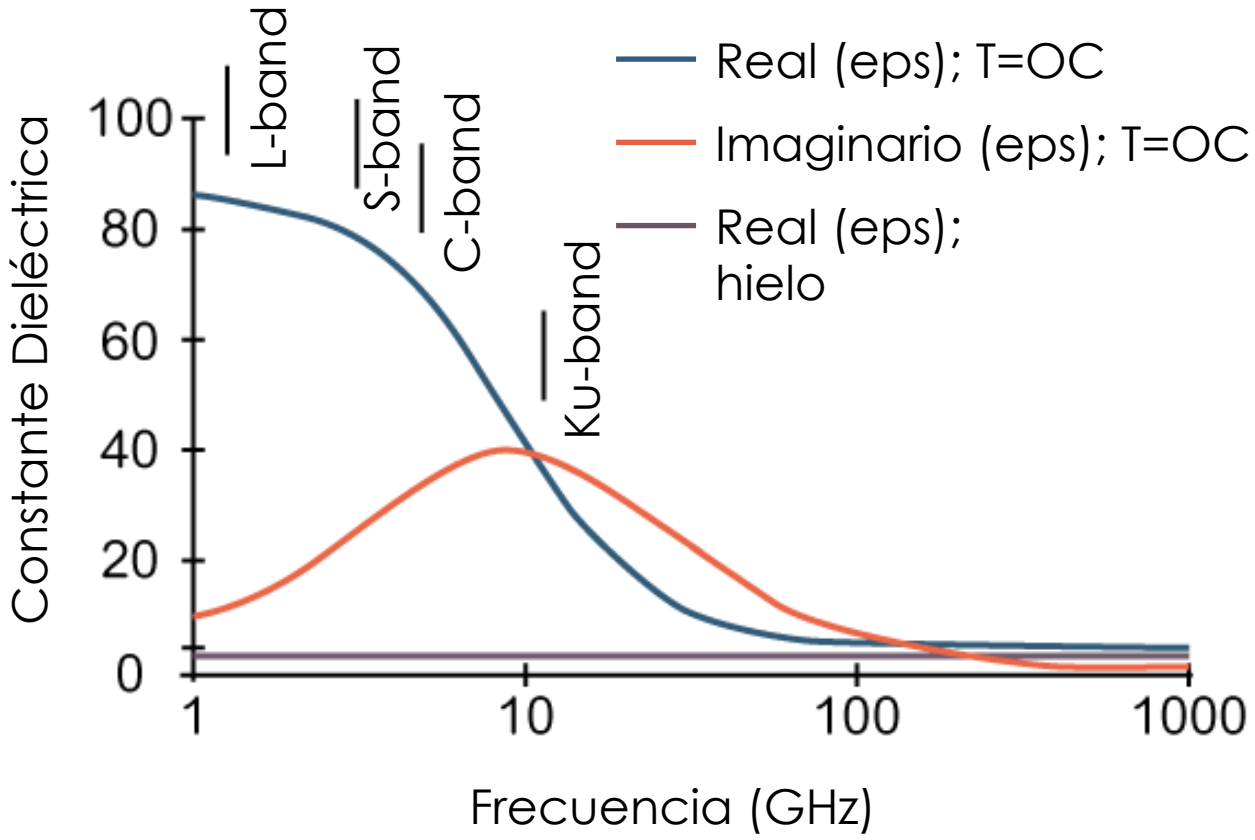
Tamaño y Orientación

Características de la Superficie: Constante Dieléctrica

Propiedades Dieléctricas de Diferentes Materiales



Constante Dieléctrica vs. Frecuencia



Propiedades Dieléctricas de la Superficie y el Estado Congelado o Descongelado

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

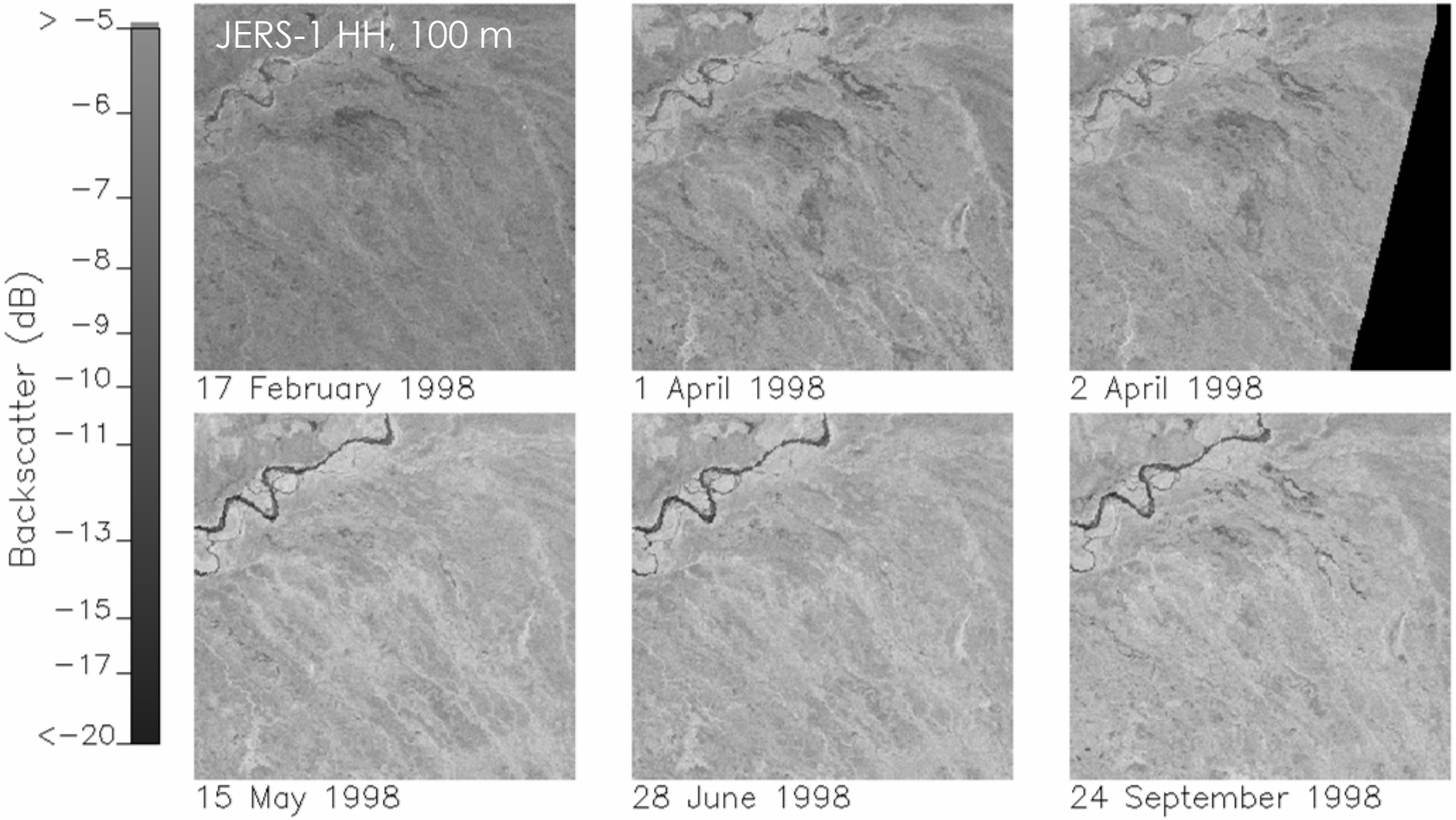
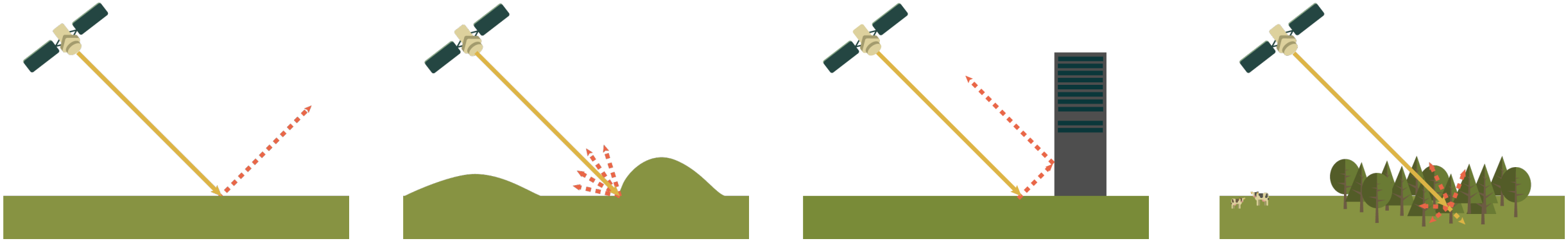


Image Credit: Erika Podest

Interacción de la Señal de Radar

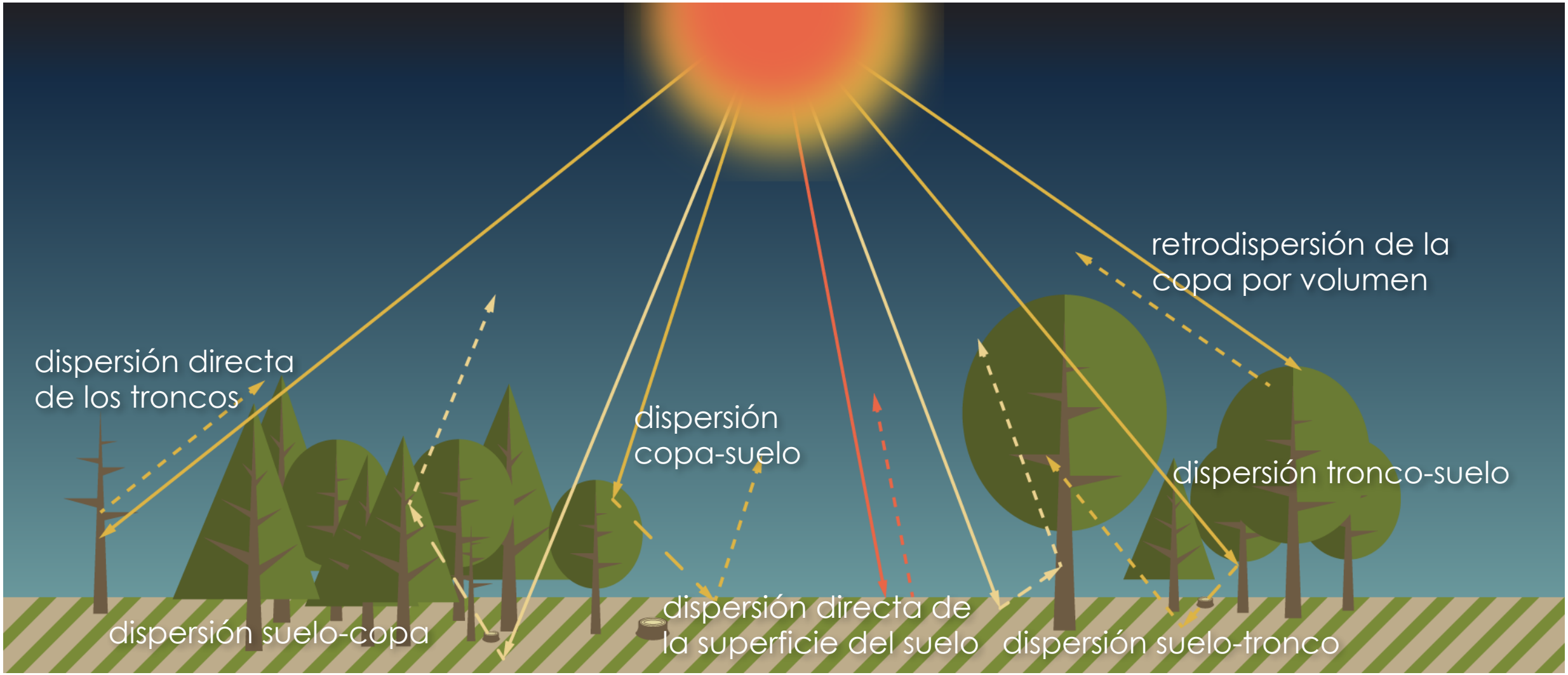
- La señal de radar es sensible principalmente a la estructura de la superficie
- Una superficie aparecerá áspera o lisa en relación a la escala de las variaciones de la superficie a la longitud de onda. Esto influirá cuán brillante (áspera) u oscura (lisa) la superficie aparecerá en la imagen

Mecanismos de Retrodispersión



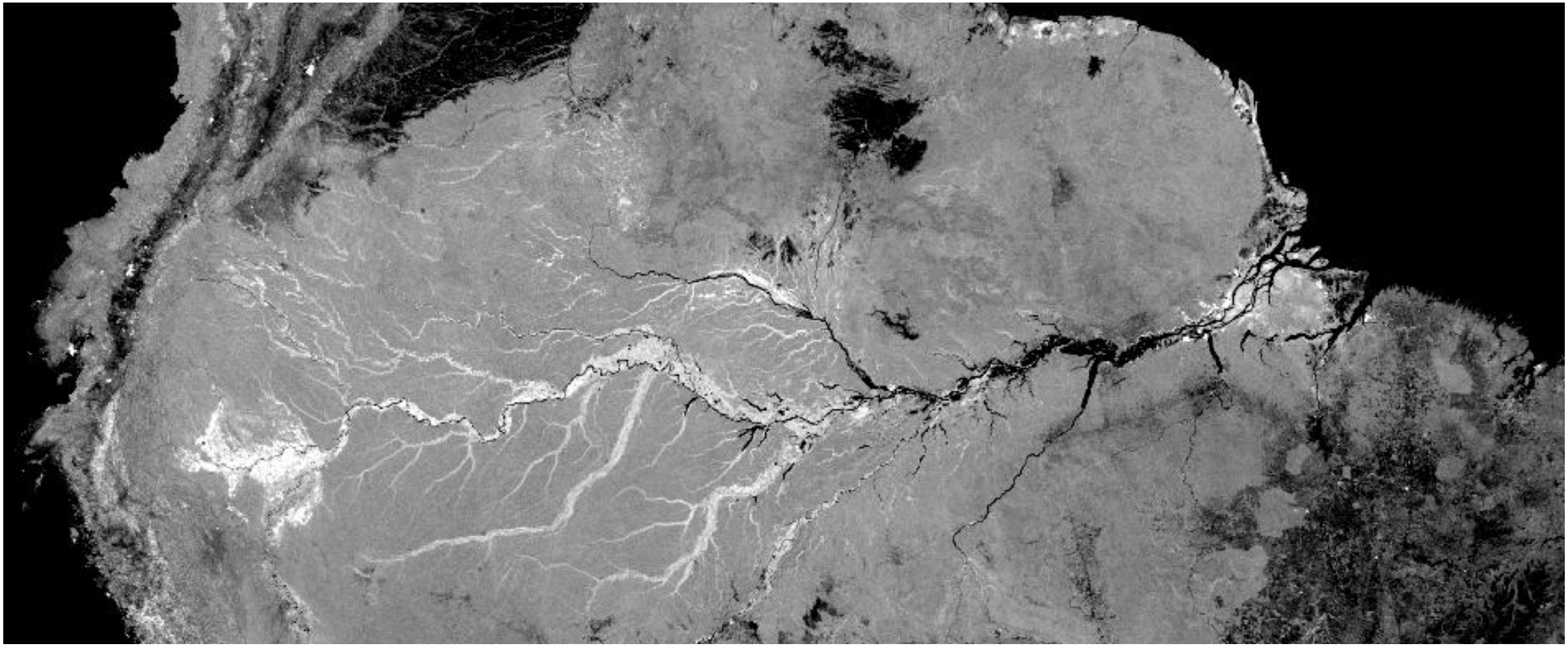
Superficie Lisa | Superficie Áspera | Doble Rebote | Capa de Vegetación

Dispersión de Radar en los Bosques



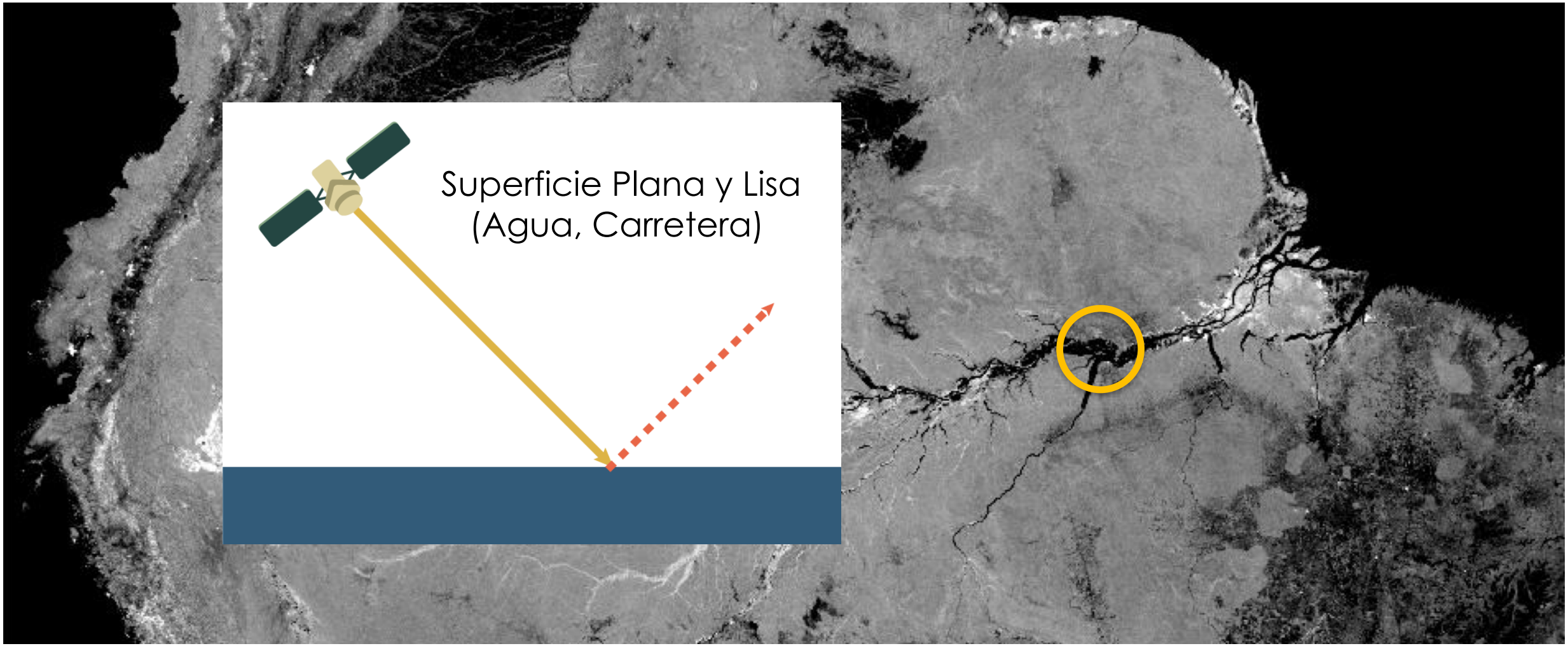
Ejemplos de la Interacción de la Señal de Radar

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



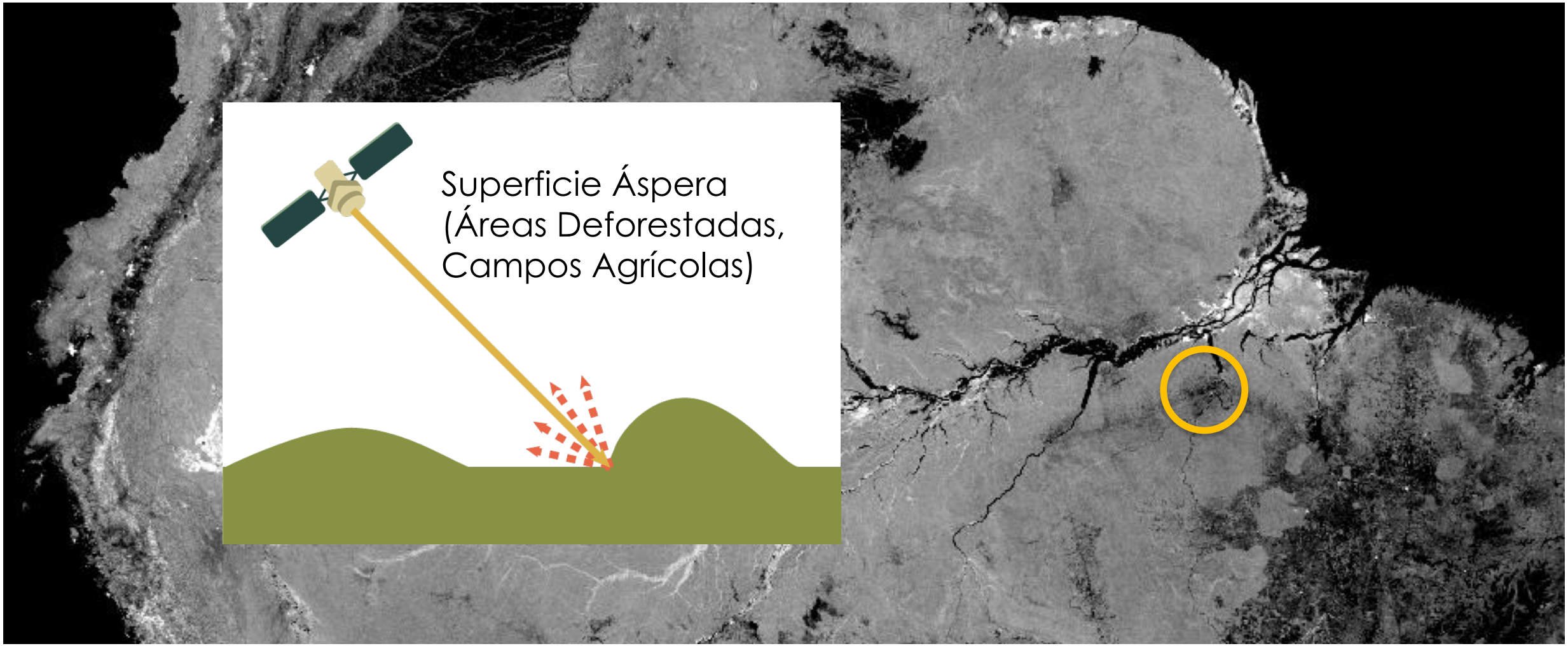
Ejemplos de la Interacción de la Señal de Radar

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



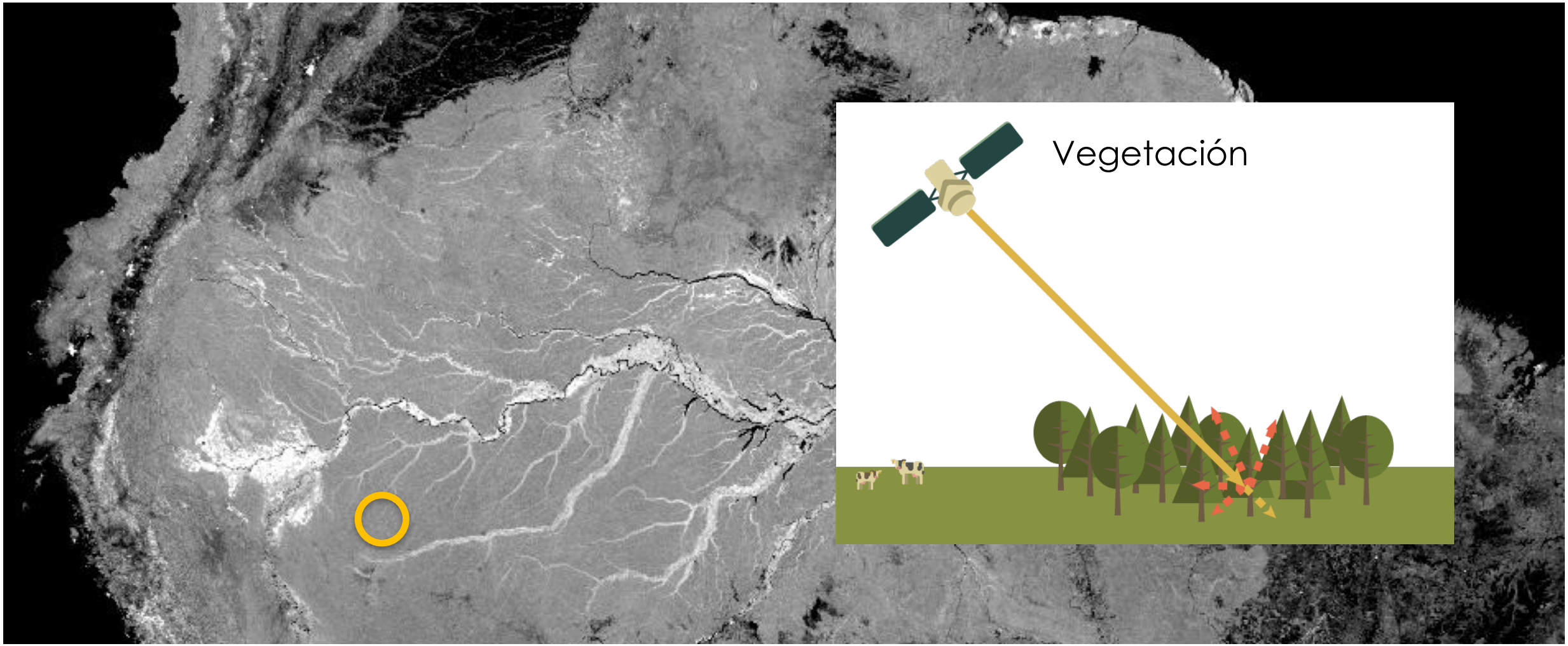
Ejemplos de la Interacción de la Señal de Radar

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



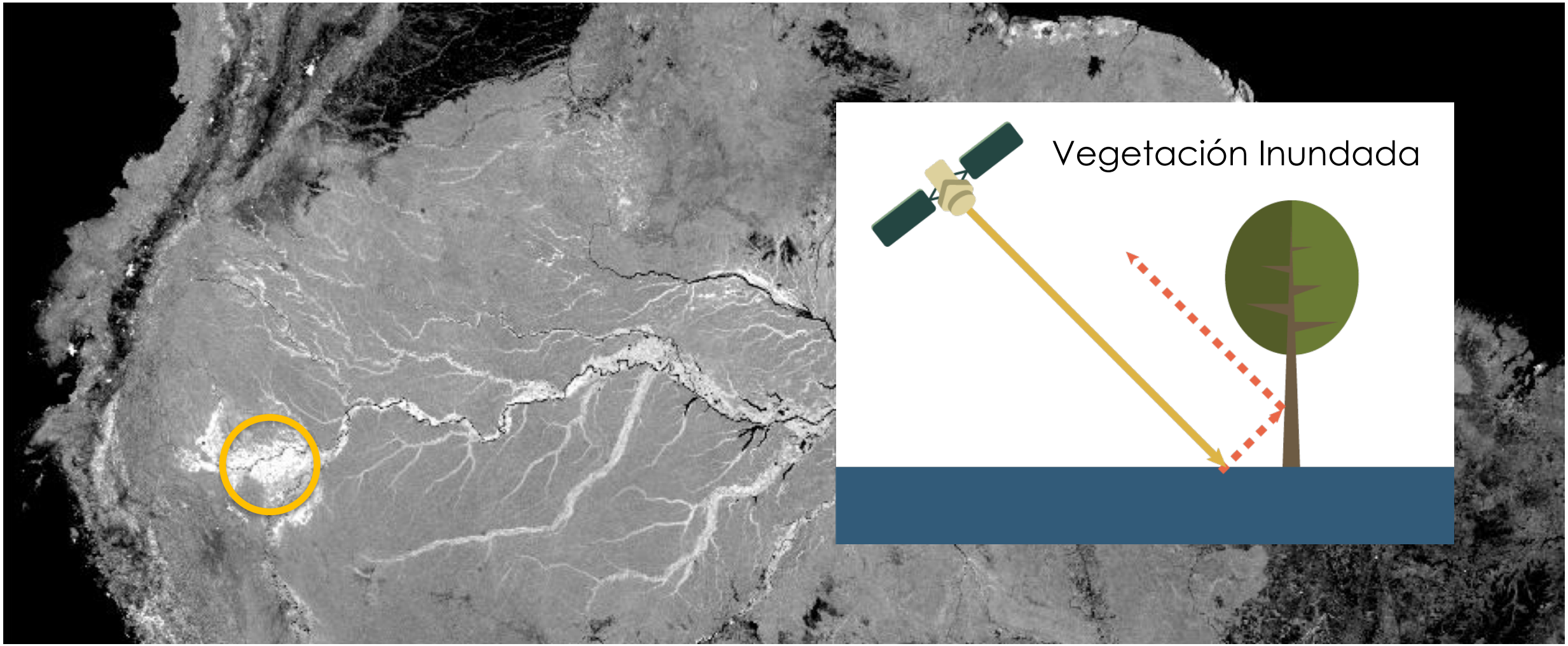
Ejemplos de la Interacción de la Señal de Radar

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



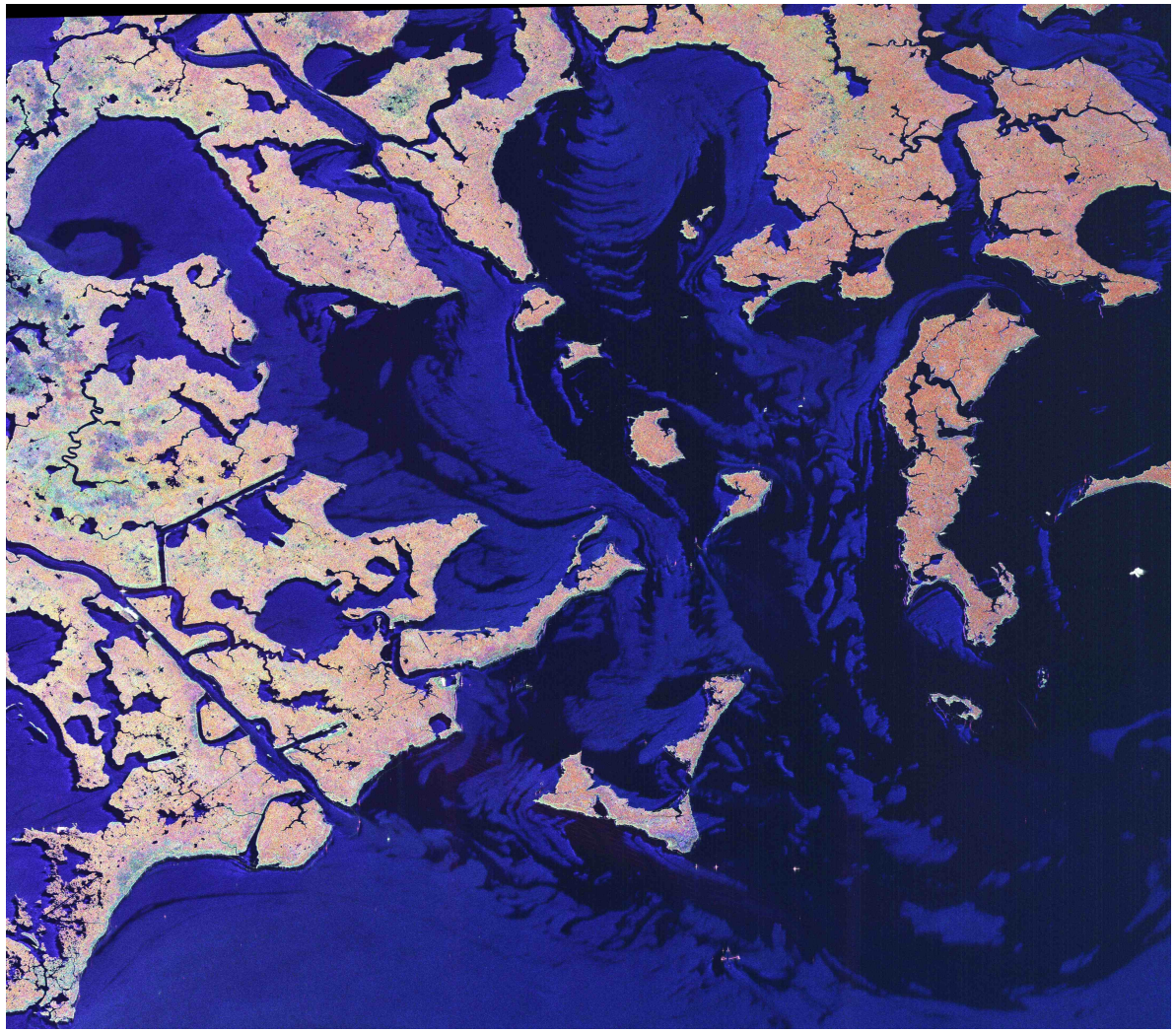
Ejemplos de la Interacción de la Señal de Radar

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

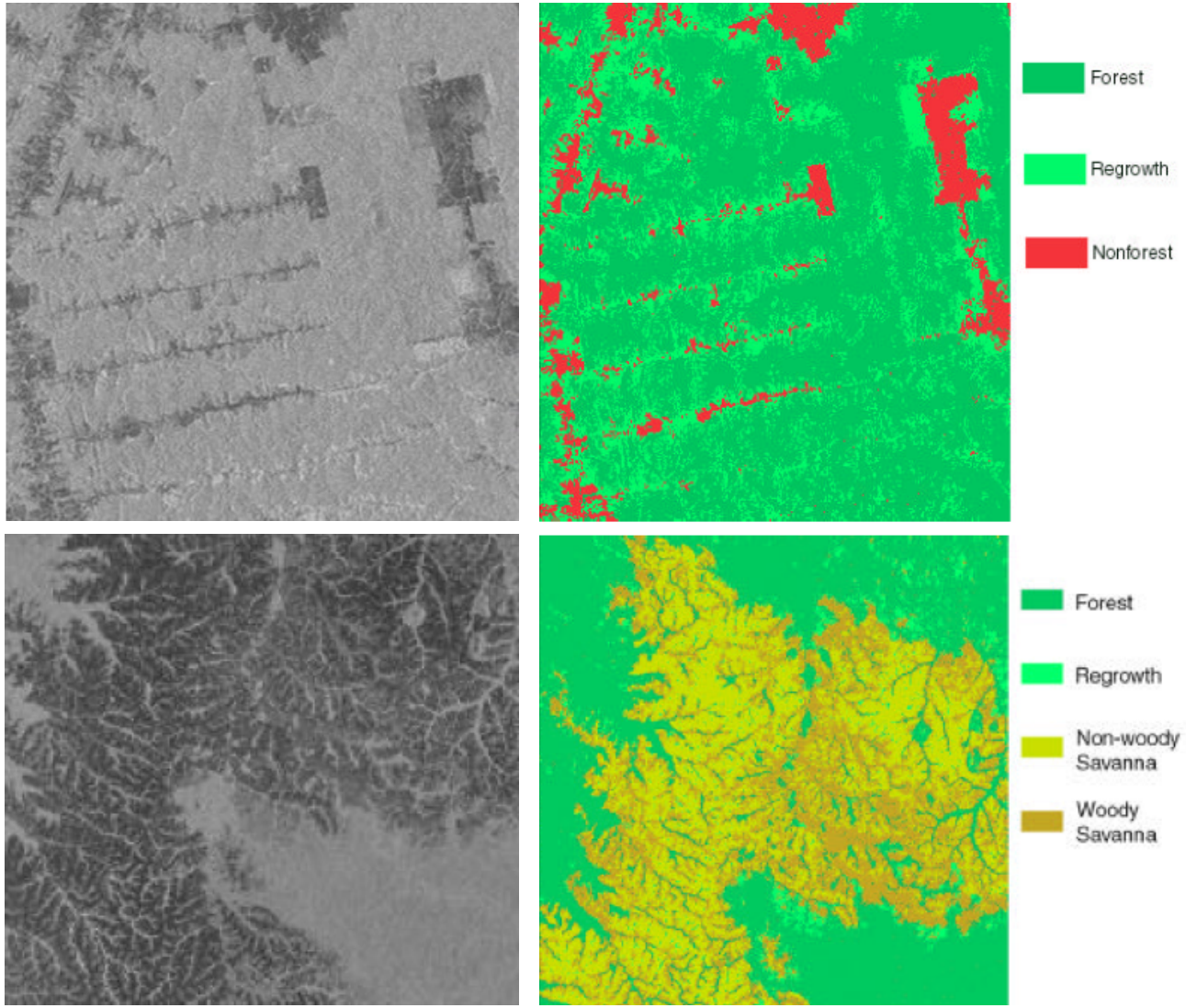


Ejemplo: Detección de Derramamientos de Petróleo en el Mar

UAVSAR (L-band, 2 metros): HH, HV, VV

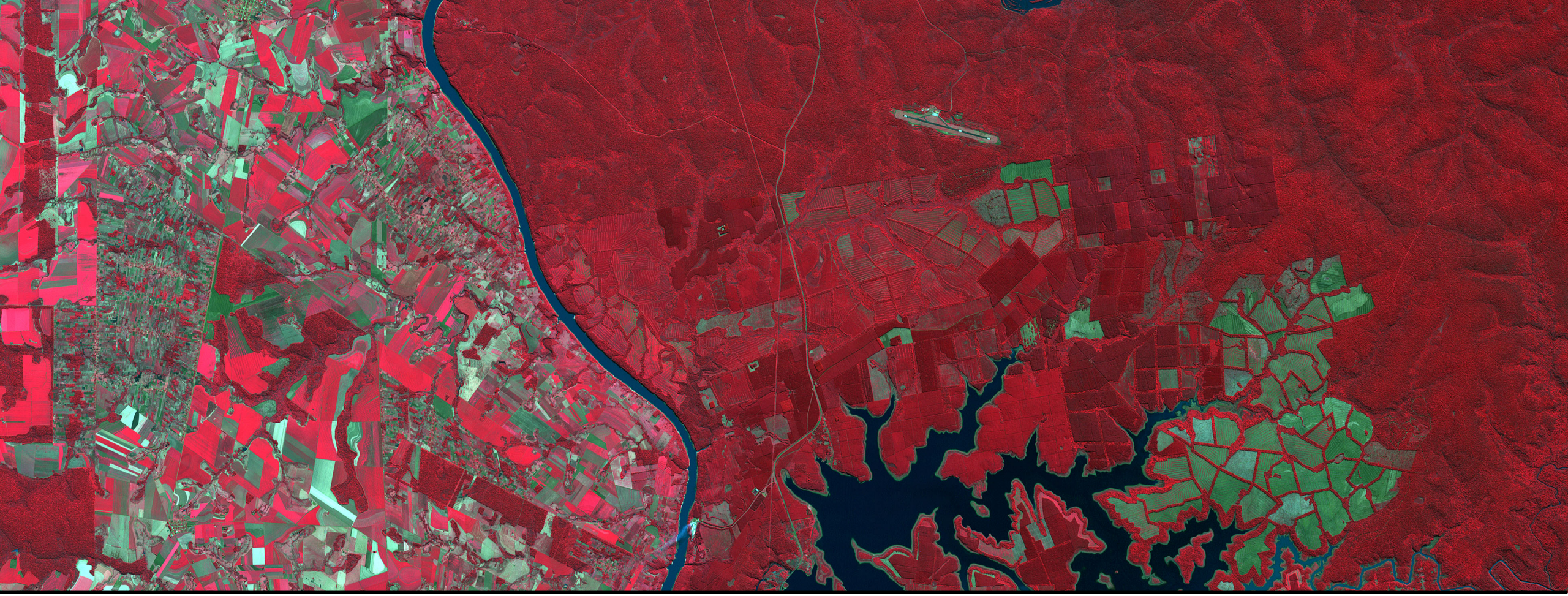


Ejemplo: Clasificación de Cobertura Terrestre



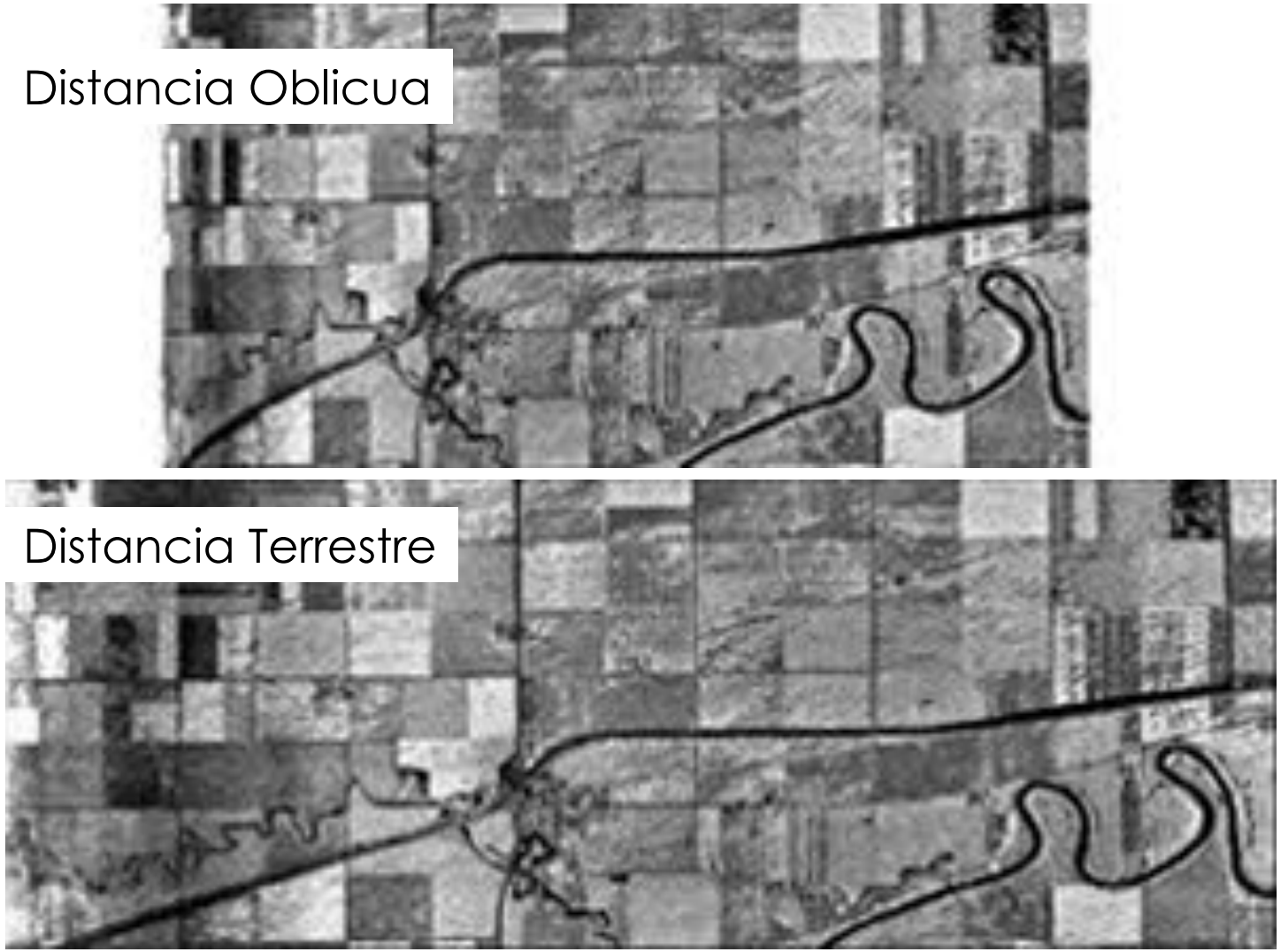
- Brasil
- JERS-1 L-band
- HH, 100 metros de resolución

Credit: Podest, et al. "Application of Multiscale Texture in Classifying JERS-1 Data over Tropical Vegetation", *Int. Jour. Rem. Sens.*, 2002.



Distorsiones Geométricas y Radiométricas de la Señal de Radar

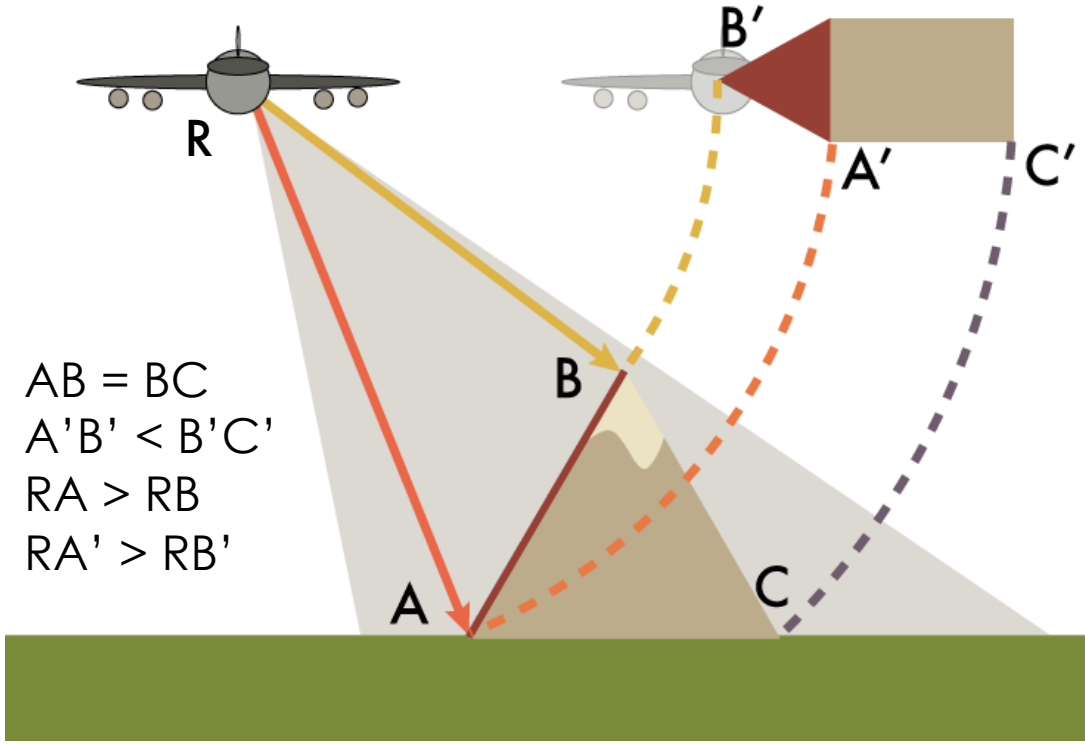
Distorsión por Distancia Oblicua (Slant Range Distortion)



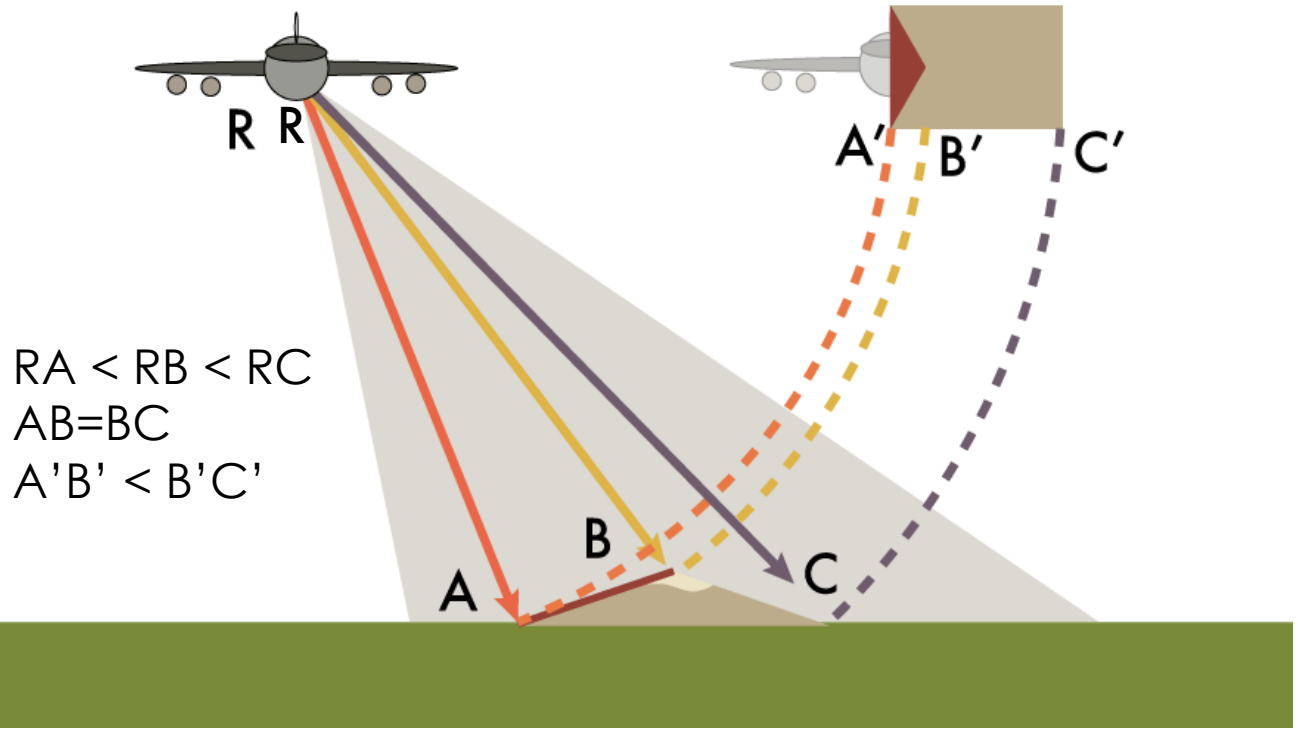
Source: Natural Resources Canada

Distorsiones Geométricas

Inversión por Relieve (Layover)

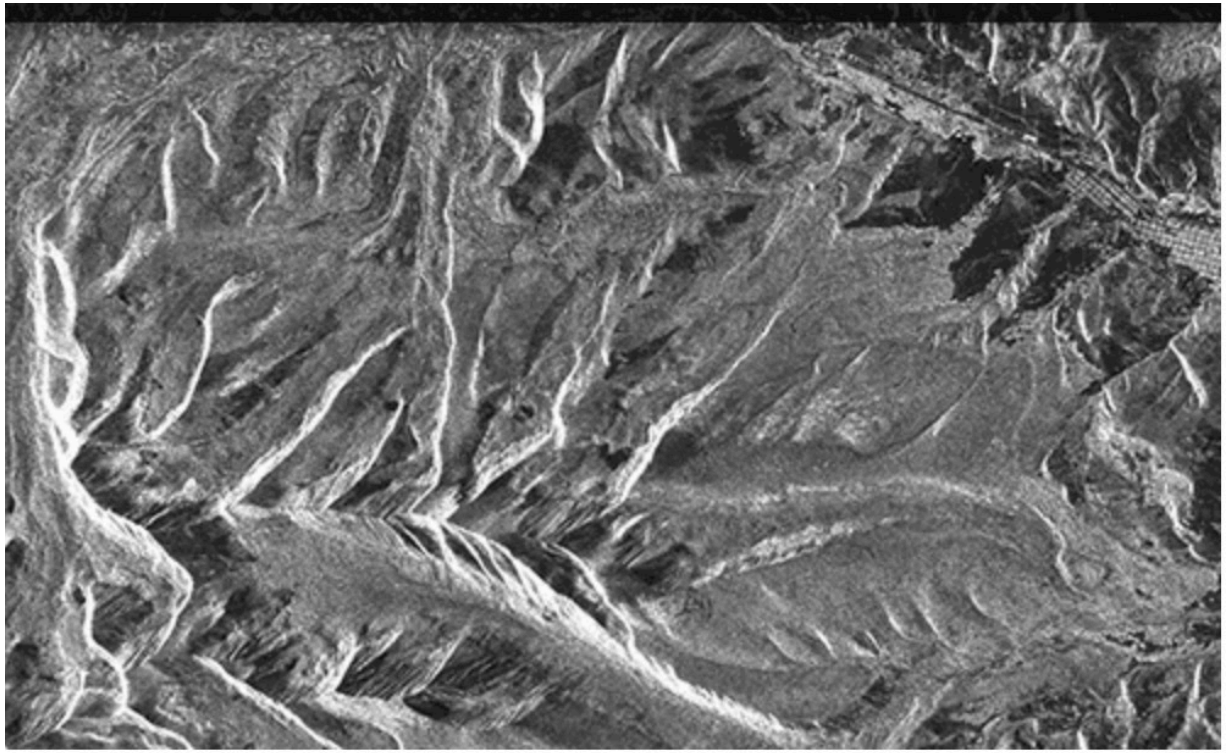


Desplazamiento de Estructuras (Foreshortening)

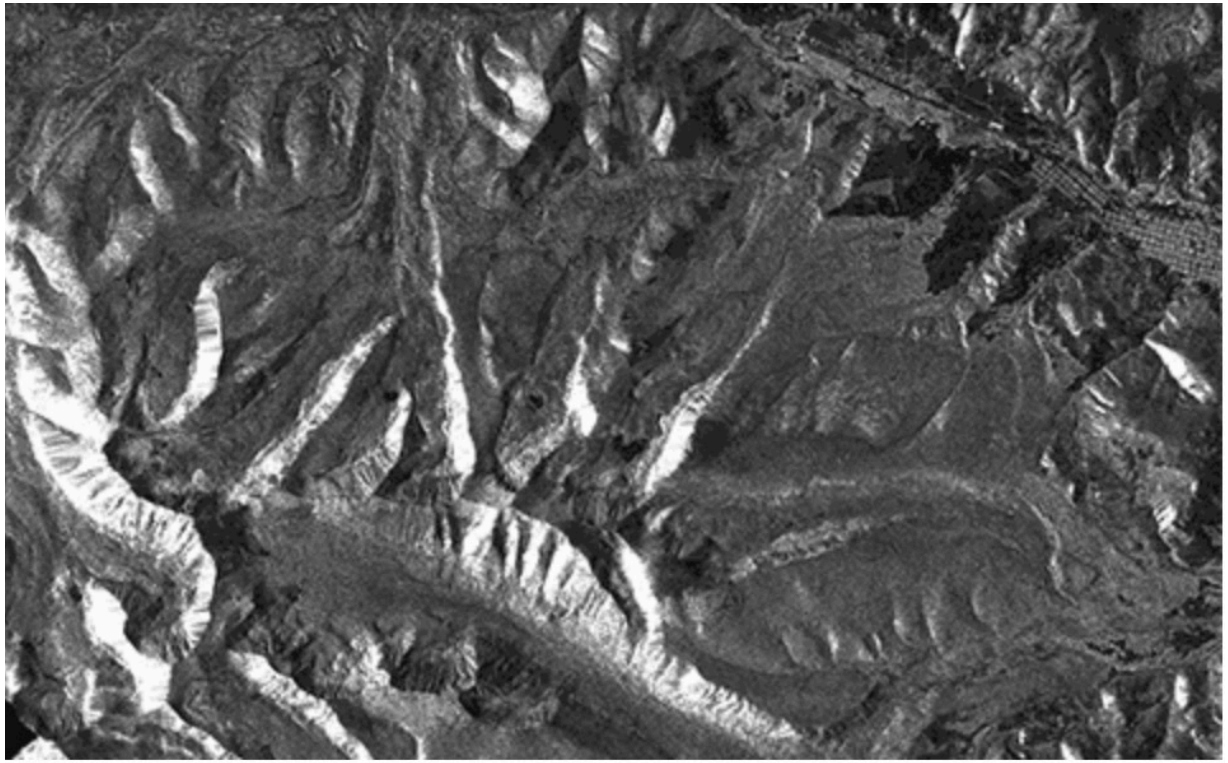


Desplazamiento de Estructuras (Foreshortening)

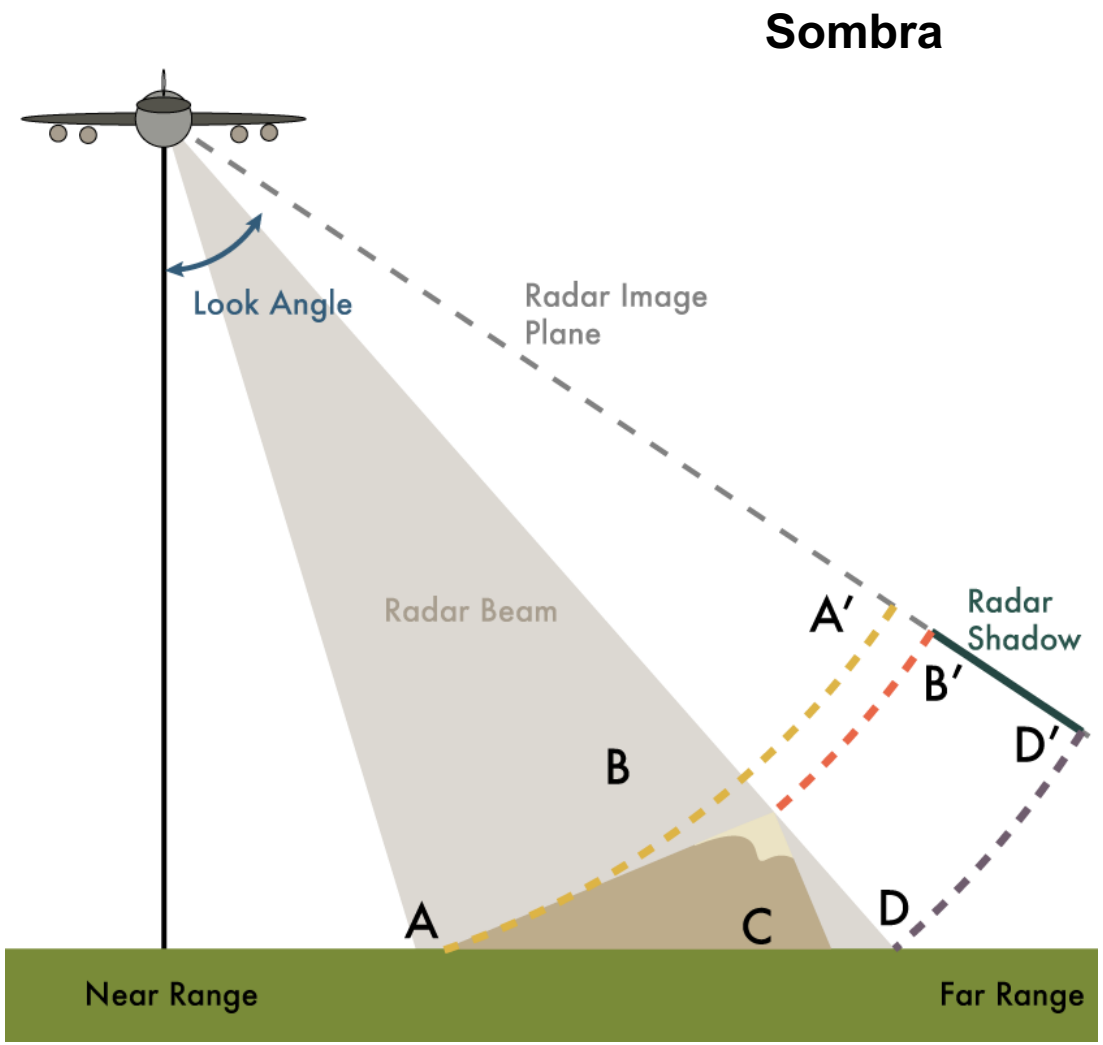
Antes de la Corrección



Después de la Corrección



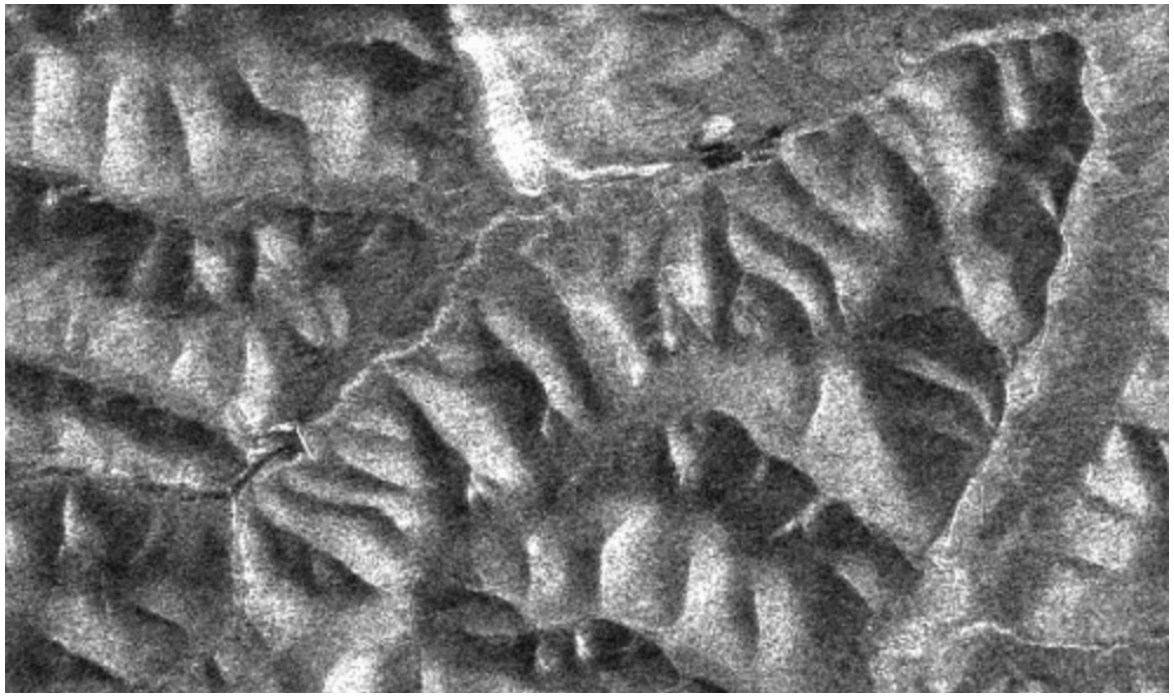
Sombra


Sombra
Look Angle
Radar Image Plane
Radar Beam
A′
Radar Shadow
B′
D′
B
A
C
D
Near Range
Far Range

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



Después de la Corrección

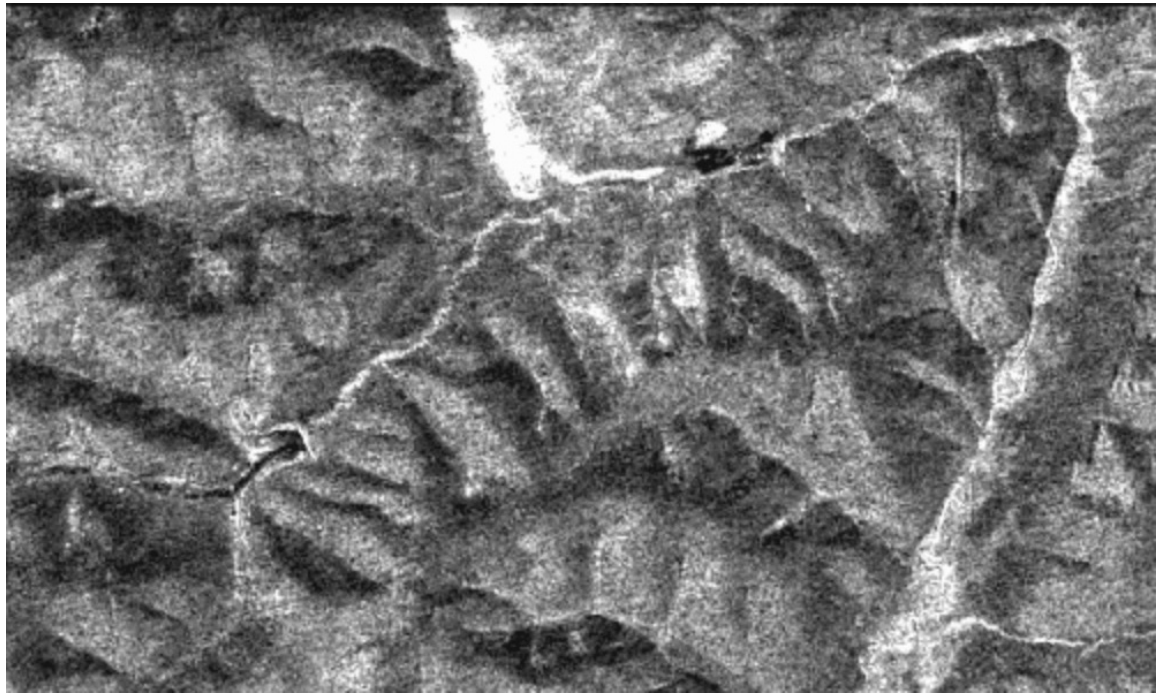
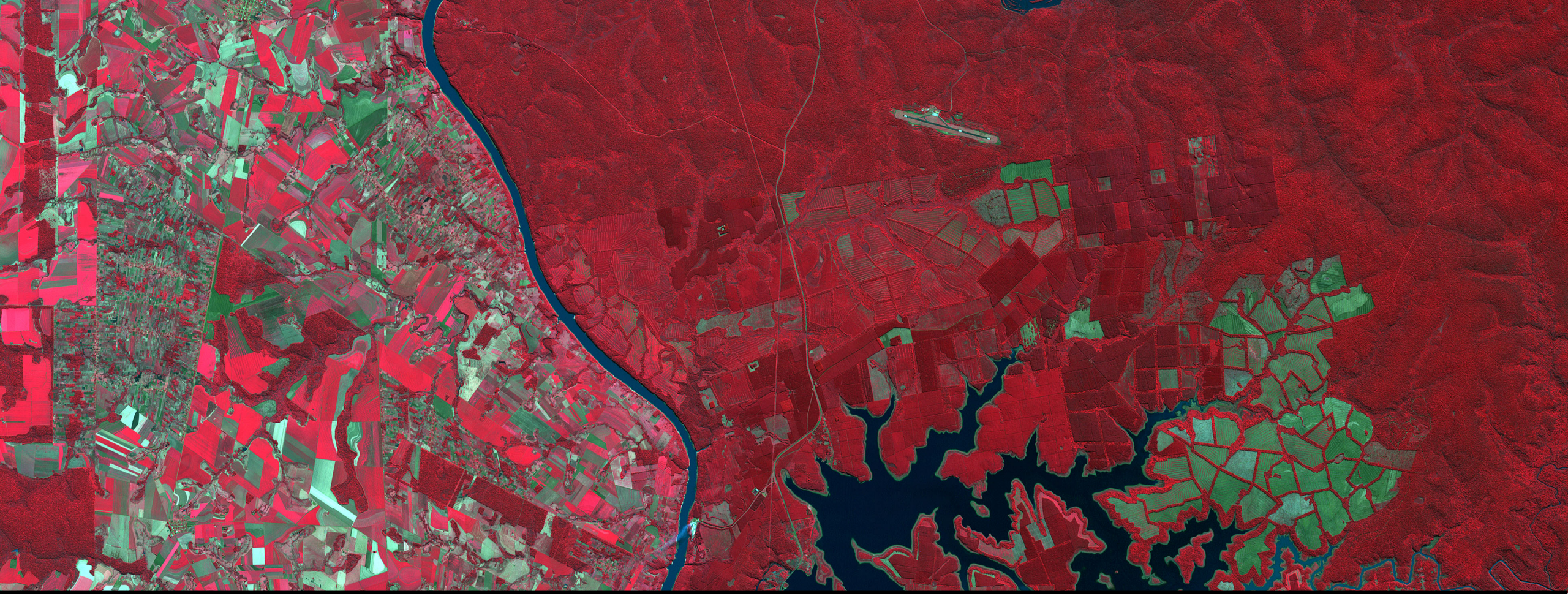


Image Credits: ASF



Speckle

Speckle

El **speckle** es un ‘ruido’ granular que existe inherentemente y degrada la calidad de las imágenes de SAR

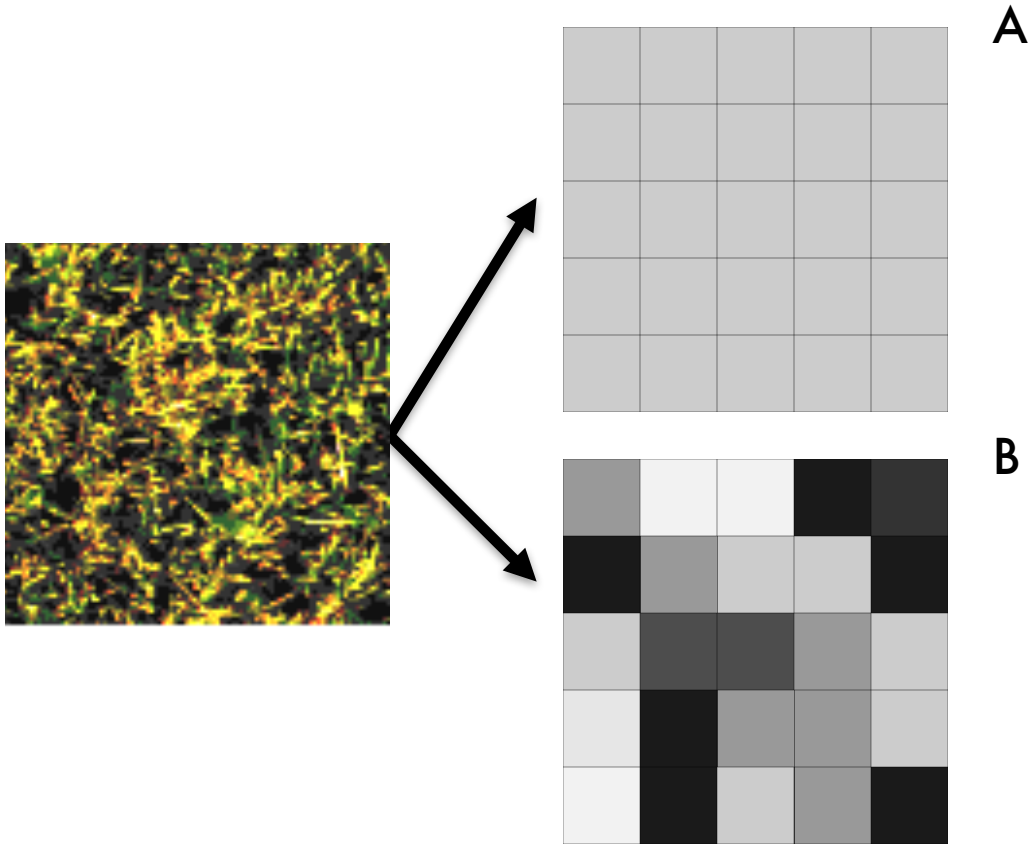
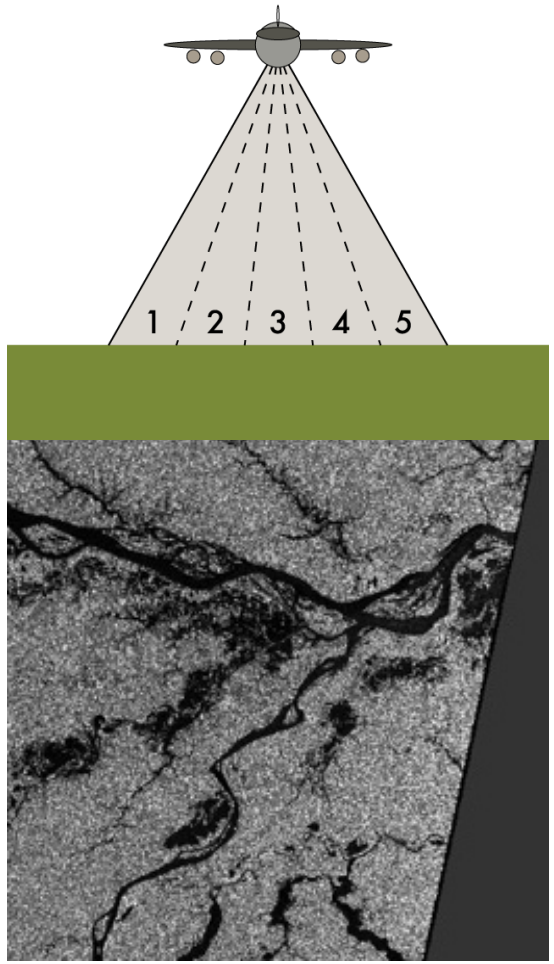


Image Credits: (Left) ESA, Right (Based on an image from Natural Resources Canada)

Reducir el Speckle: Procesamiento Multi-Look

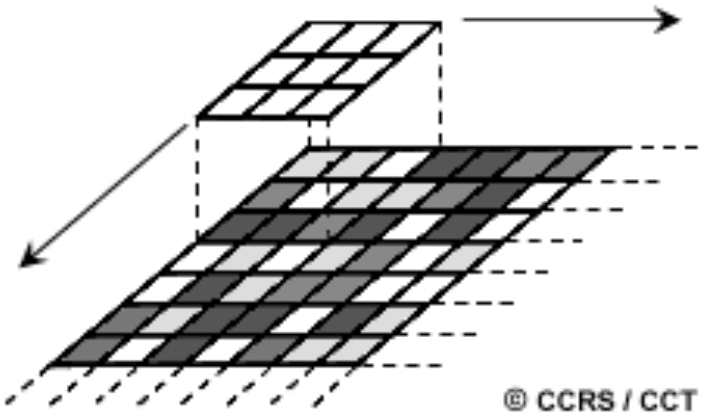
- Dividir el haz del radar en varios sub-haces que son más angostos
  - e.g. 5 sub-haces en la imagen a la derecha
- Cada sub-haz proporciona un "look" independiente al área iluminada
- Cada "look" contiene speckle
- Al sumar los diferentes "looks" y sacar el promedio, el speckle se reduce en la imagen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

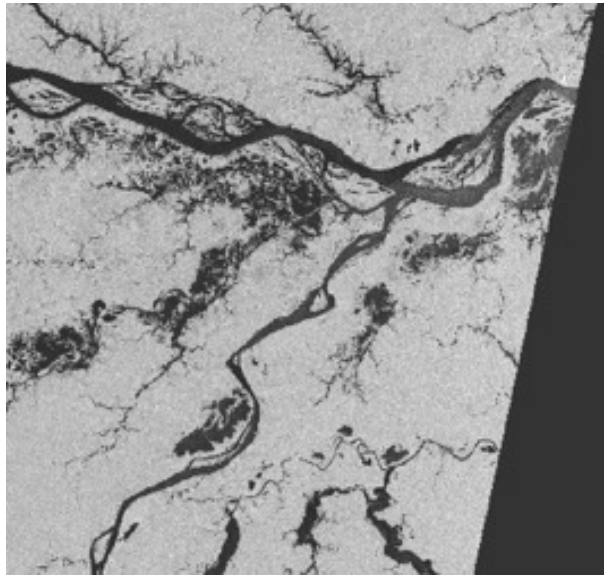


Source: Natural Resources Canada

Reducir el Speckle: 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 remplaza 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

de acceso libre

de acceso lilbre y con plan de adquisición confiablemente repetido

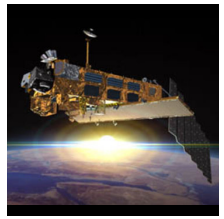
Lo Antiguo:

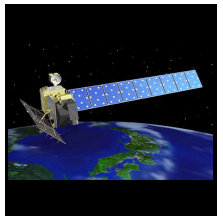
1978

SeaSAT

1991-2011

ERS 1/2

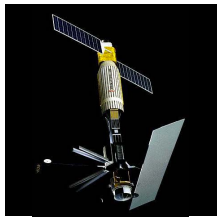
2002-2012

ENVISAT

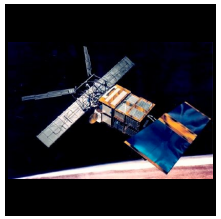
2002-2012

ALOS-1

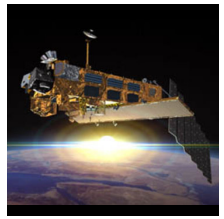
1995-2013

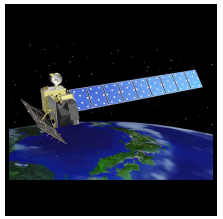
Radarsat-1

Lo Nuevo:

2007

TanDEM-X

2007

Radarsat-2

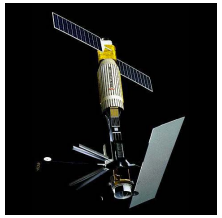
2007

COSMO-SkyMed

2014

ALOS-2

2014

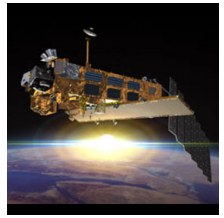
Sentinel-1

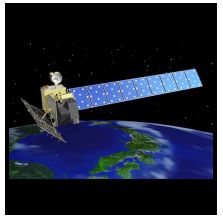
El Futuro:

2018

SAOCOM

2018

PAZ SAR

2018

RCM

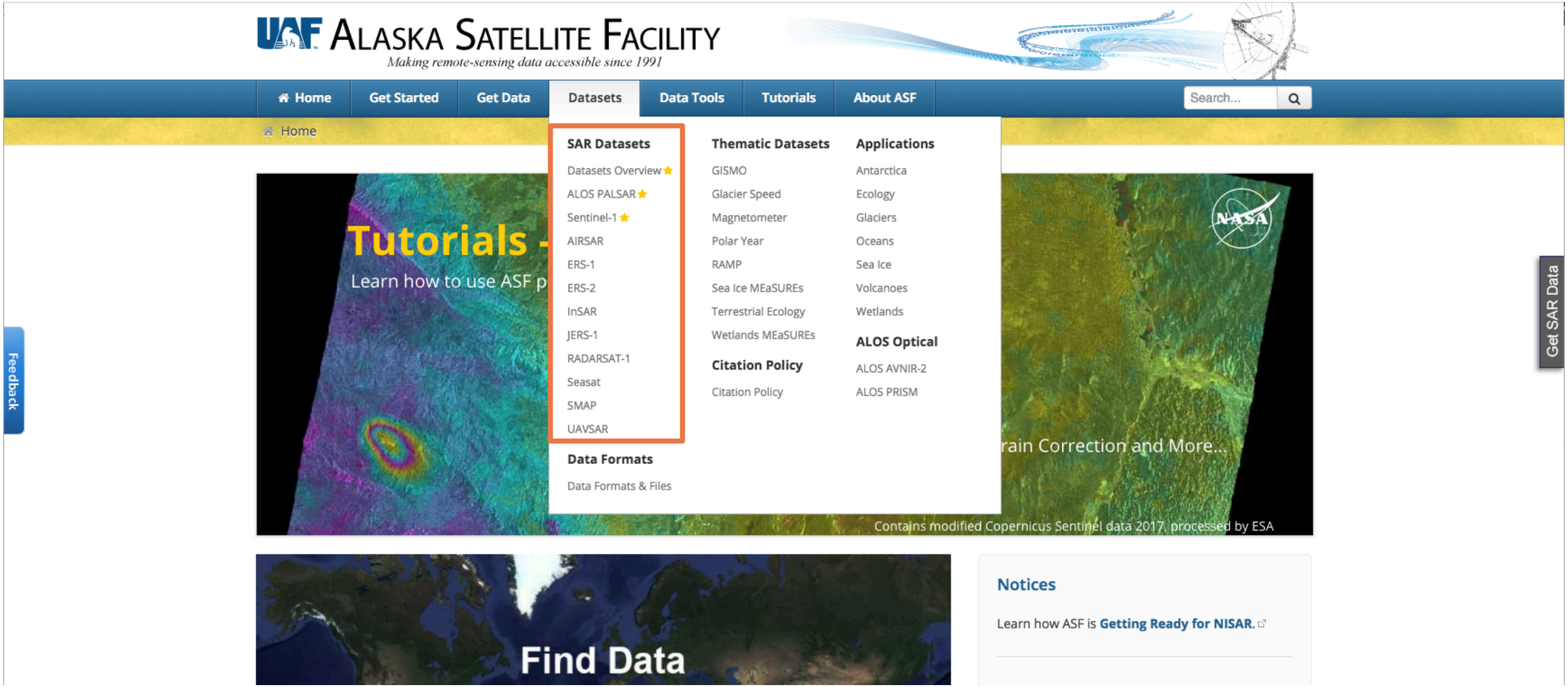
2021

NISAR

2021

Biomass

Credit: Franz Meyer, University of Alaska, Fairbanks

Fuentes de Imágenes SAR en el Alaska Satellite Facility



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	• Producto geocodificado y calibrado • SLC geocodificado/calibrado estaría bien • Imágenes de coherencia InSAR y corregistradas de pases repetidos	• 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)	• 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	• 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	• Deformación de series temporales • Deformación debido a fugas
	Retiro e inyección de fluidos	
Terremotos ocasionados por la producción acuífera	SLC InSAR	• 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	• Producto geocodificado y calibrado • InSAR y PolSAR	• Equivalente en agua de la nieve

Preguntas

1. ¿Cuáles son las dos características de la superficie a los que el radar es sensible?
2. ¿Cuáles son los tres mecanismos principales de retrodispersión?
3. ¿Cuáles son los tipos de distorsión que tienen las imágenes de radar?
4. ¿Qué son las distorsiones geométricas?
5. ¿Qué tipos de productos se pueden generar a partir de imágenes satelitales?
6. ¿Cómo puede Ud. utilizar imágenes de radar para su aplicación específica?