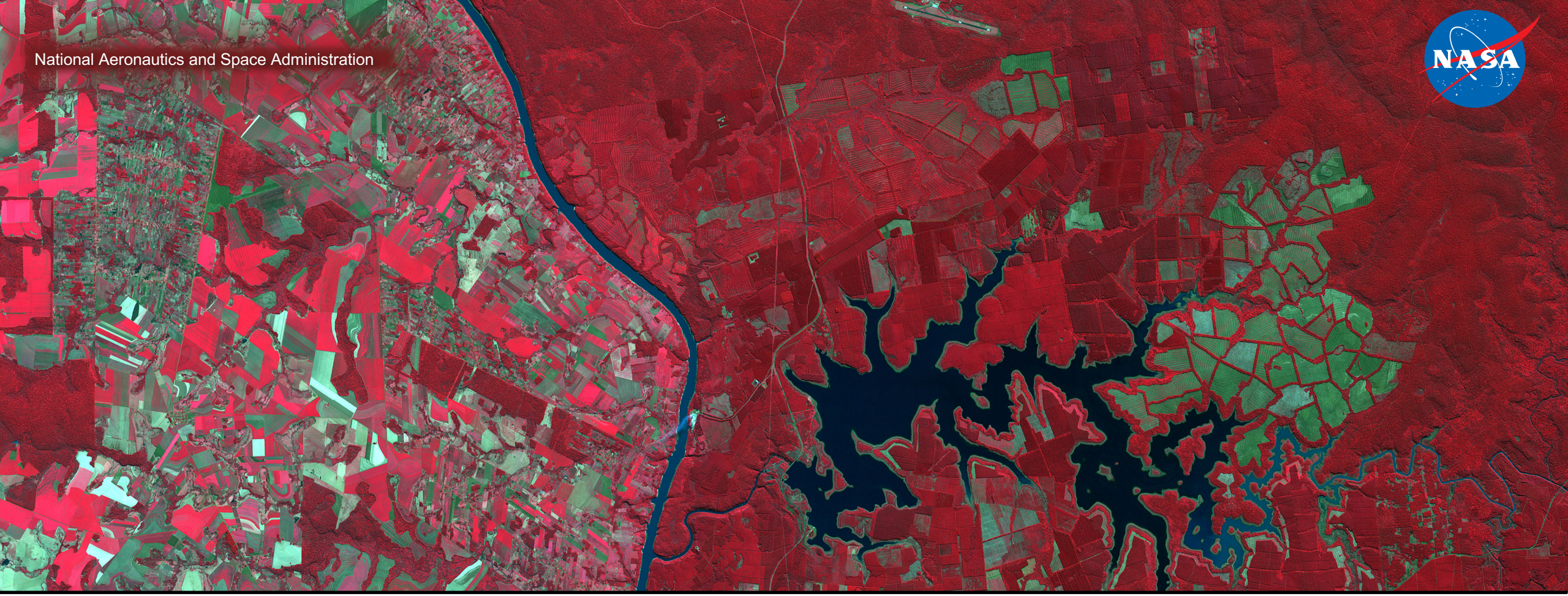


Introducción a la Polarimetría de SAR

Erika Podest

29 de Noviembre 2017

Reconocimientos

De NASA:

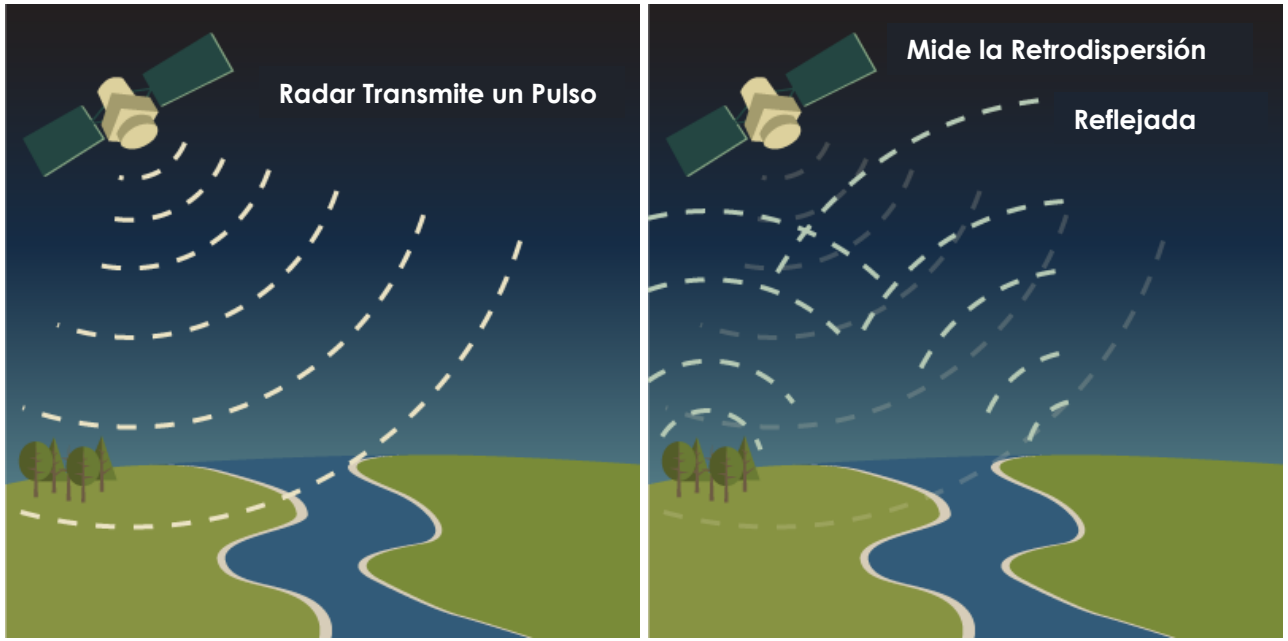
- Bruce Chapman
- Michael Denbina
- Scott Hensley
- Marco Lavalle
- Yunling Lou
- Marc Simard
- UAVSAR team
- Armstrong Flight Research Center

Del Alaska Satellite Facility:

- Brian Huberty

Objetivos de Aprendizaje

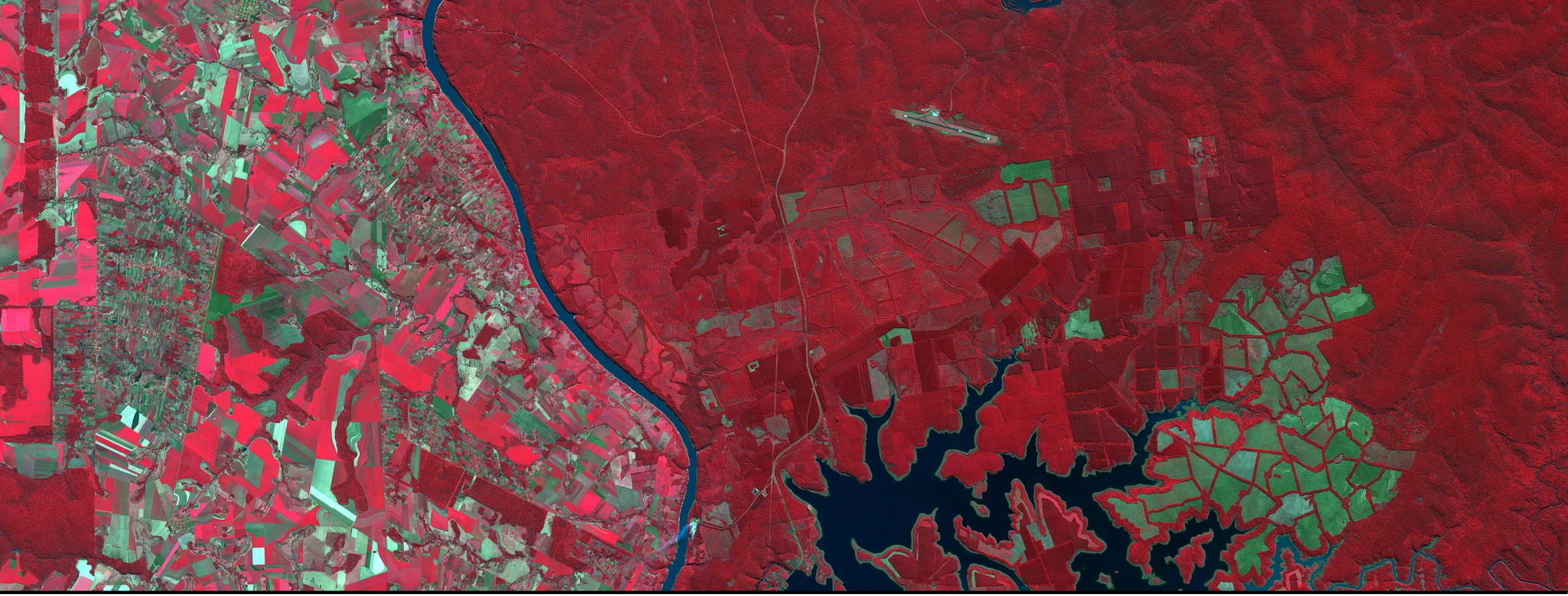
- La señal de radar recibida contiene información sobre los dispersantes en el suelo
- Se obtiene más información al estudiar las diferentes polarizaciones
- Nuestro objetivo es ofrecer una breve introducción a la polarimetría y familiarizarles con:
  - Representación matemática
  - Formato de datos
  - Procesamiento de datos para el mapeo de la cubierta terrestre



Source: ESA- ASAR Handbook

Reseña

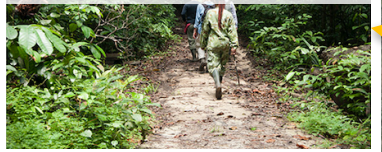
1. ¿Por qué la polarimetría?
2. Polarización
3. Mecanismos de dispersión
4. Datos y software
5. Procesamiento de imágenes Sentinel-1 dual-pol
6. Procesamiento de imágenes UAVSAR quad-pol
7. Visualización de los resultados



¿Por Qué la Polarimetría?

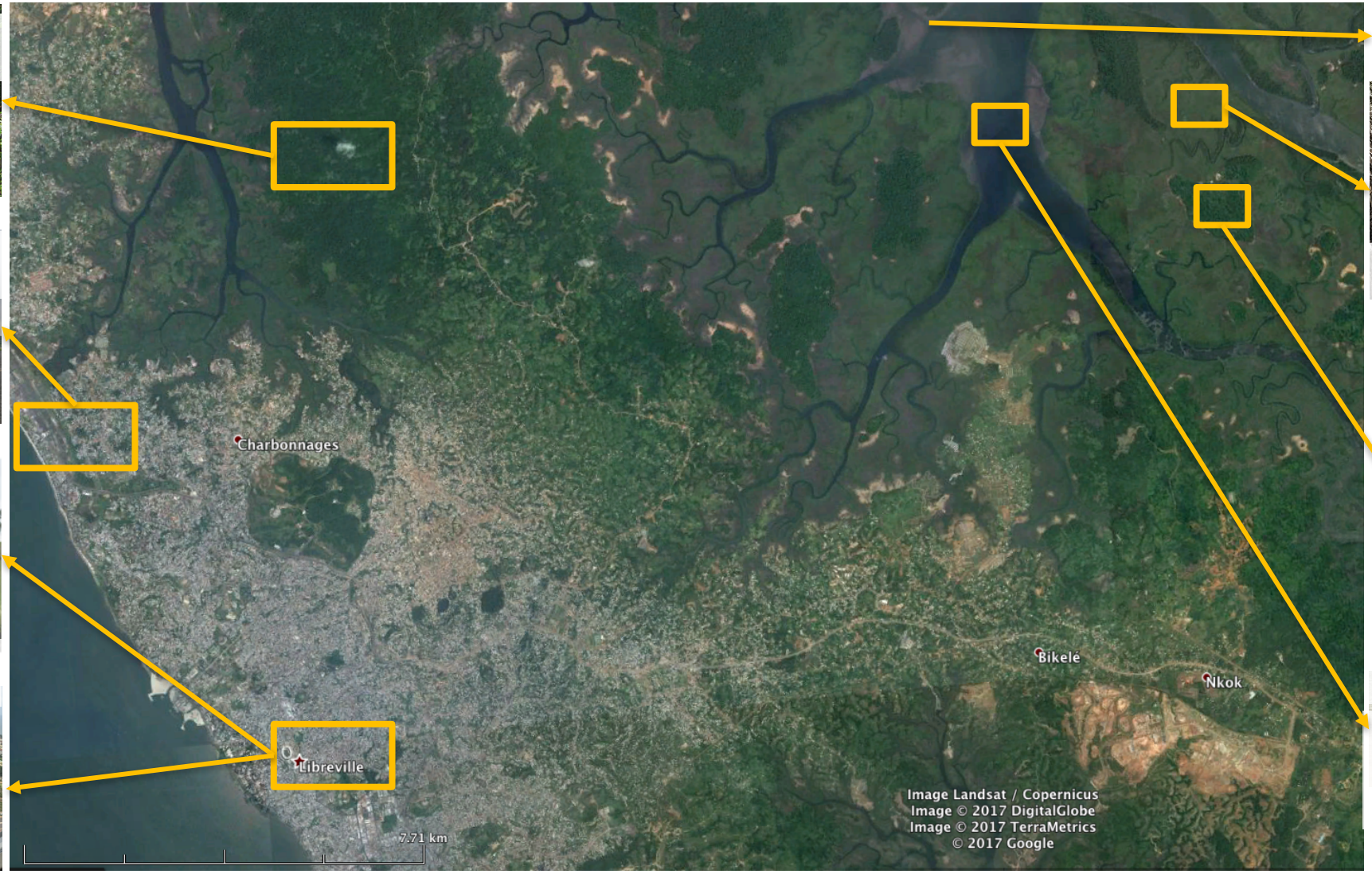
Imágenes Ópticas: Libreville, Gabón

bosque



pista aérea

edificios



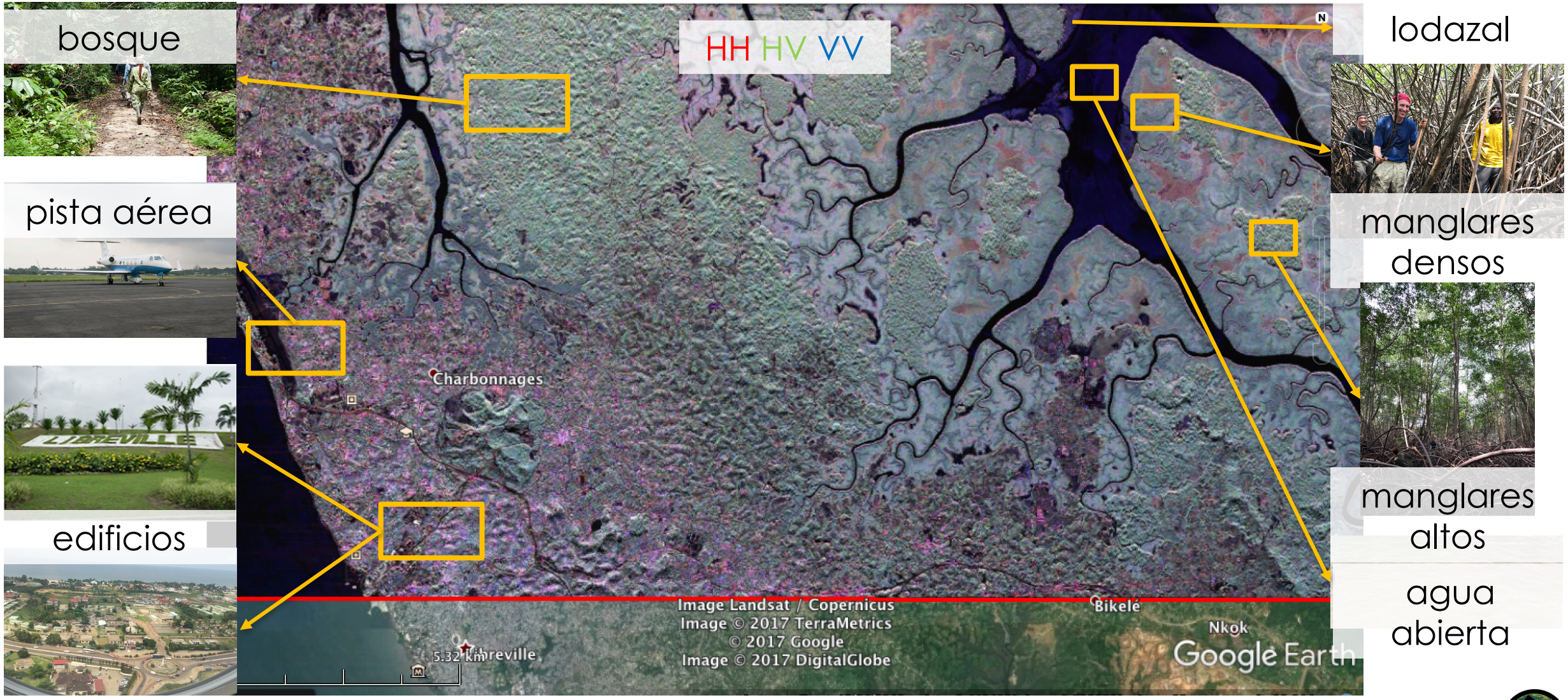
lodazales

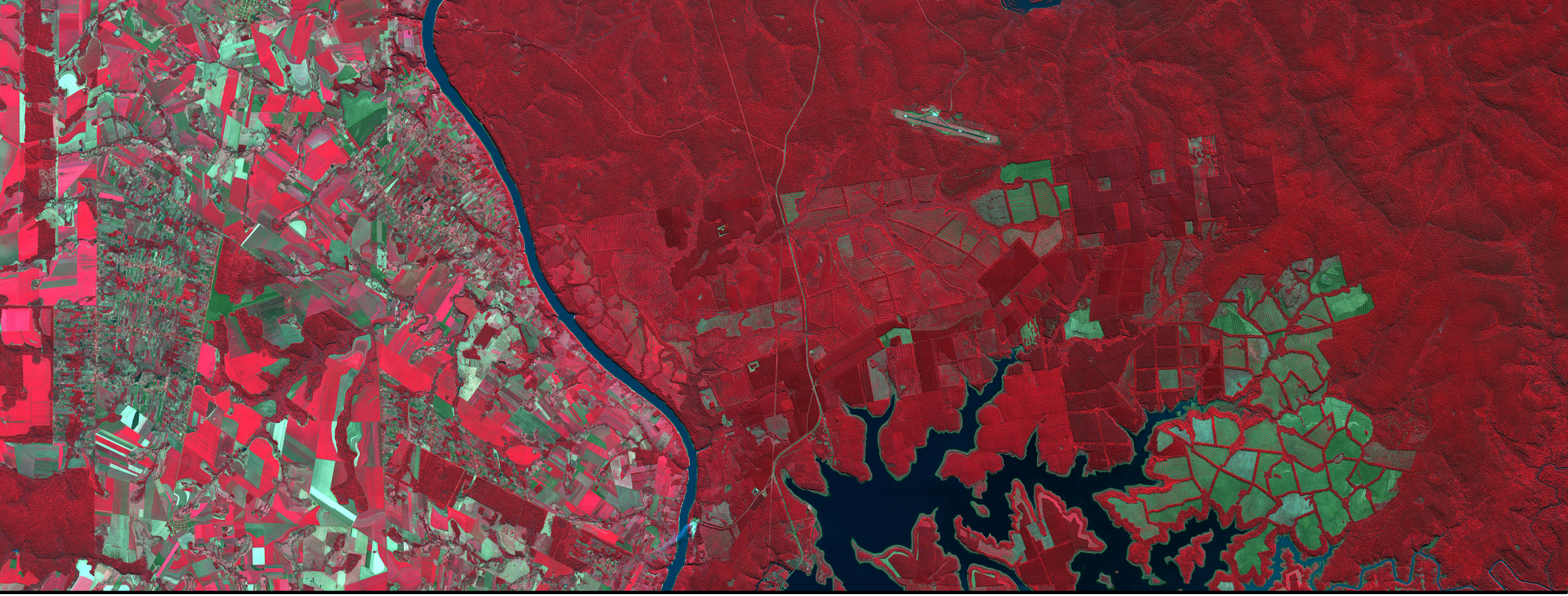
manglares densos

manglares altos

agua abierta

Imágenes de SAR L-Band SAR: Libreville, Gabón

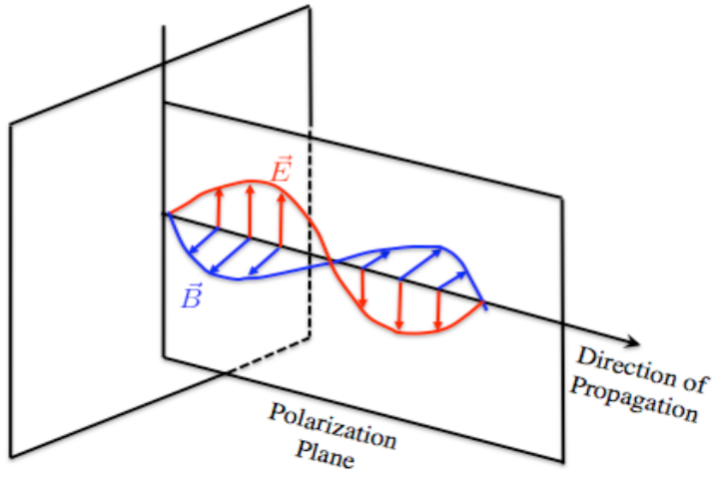




Polarización

Polarización

- Los radares producen ondas electromagnéticas. La dirección del campo eléctrico está en el plano perpendicular a la dirección de propagación y define la polarización de la onda.
- Instrumentos de polaridad doble (dual-pol):
  - Transmiten H o V, reciben H y V simultáneamente
- Instrumentos de polaridad cuádruple (quad-pol):
  - Transmite H y V en pulsos alternados, reciben H y V simultáneamente
- La cantidad de señal retornada para diferentes polarizaciones depende de la física de la interacción de las microondas con la superficie

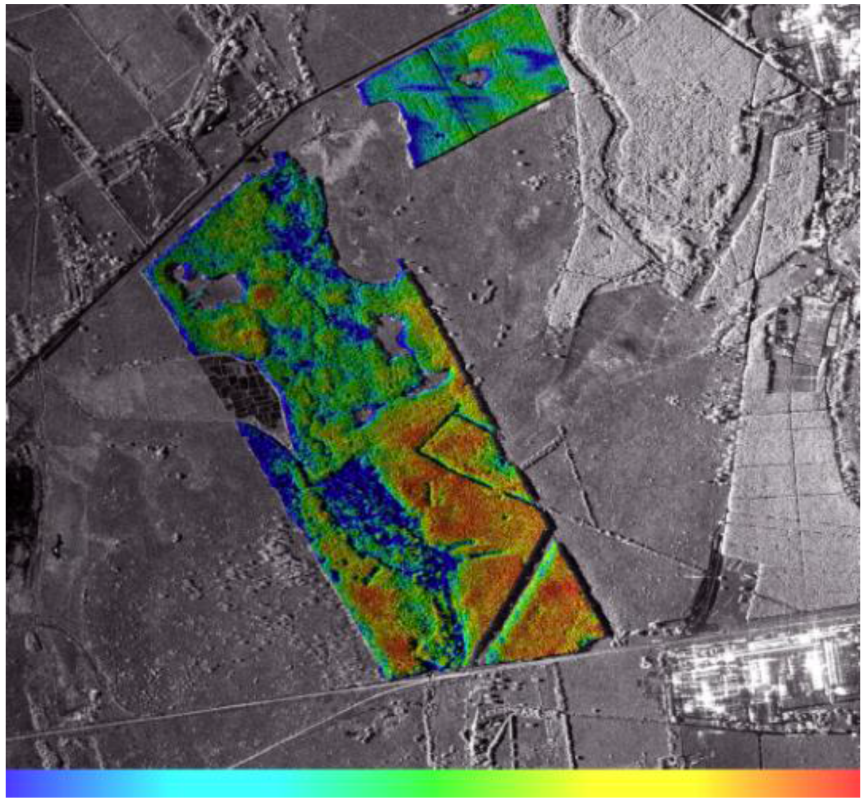


recibe \ transmite	H	V
H	HH	VH
V	HV	VV

Polarimetría

- El estudio sobre el uso de múltiples retornos polarimétricos para inferir información sobre una superficie
- Aplicaciones incluyen:
  - Criósfera
  - Vegetación
  - Hidrología

Volumen de Vegetación en el Sudeste del Brasil



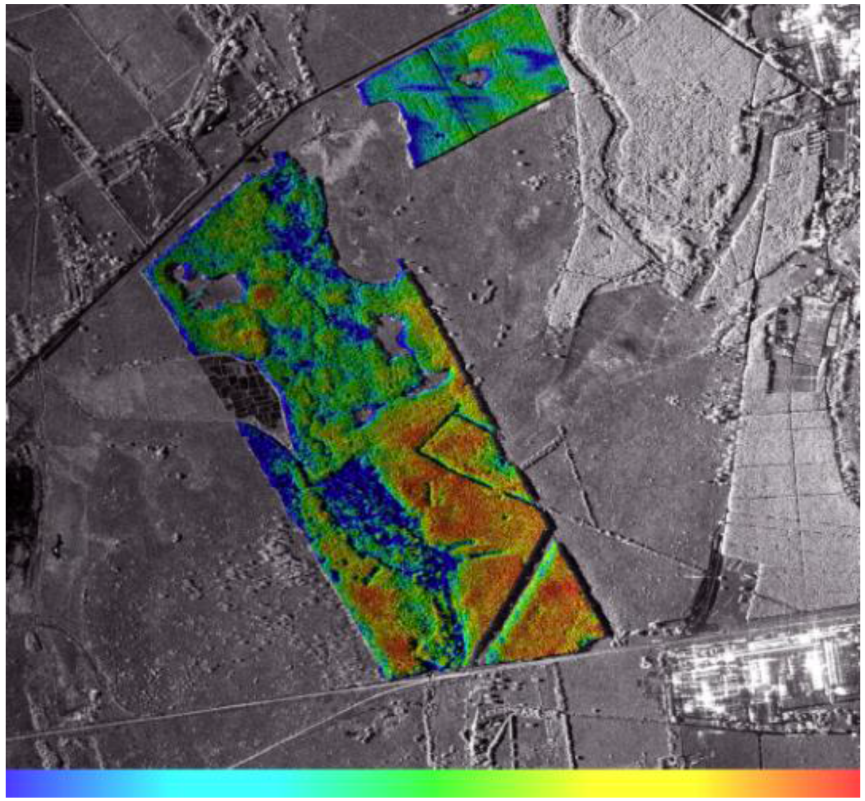
0 m^3/ha **325 m^3/ha**

Gama, F. F., Santos, J. R., & Mura, J. C. (2010). Eucalyptus Biomass and Volume Estimation Using Interferometric and Polarimetric SAR Data. *Remote Sensing*, 2(4), 939-956. doi:10.3390/rs2040939

Polarimetría

- Dos métodos complementarios para el estudio de la polarimetría:
  - Modelos teóricos predicen como la señal polarizada interactúa con diferentes medios
  - Observaciones hechas con instrumentos de teledetección revelan firmas de polarización de una variedad de tipos de cubierta terrestre

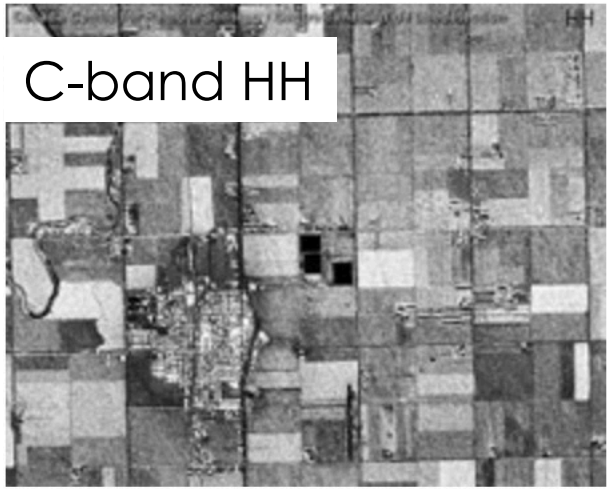
Volumen de Vegetación en el Sudeste del Brasil

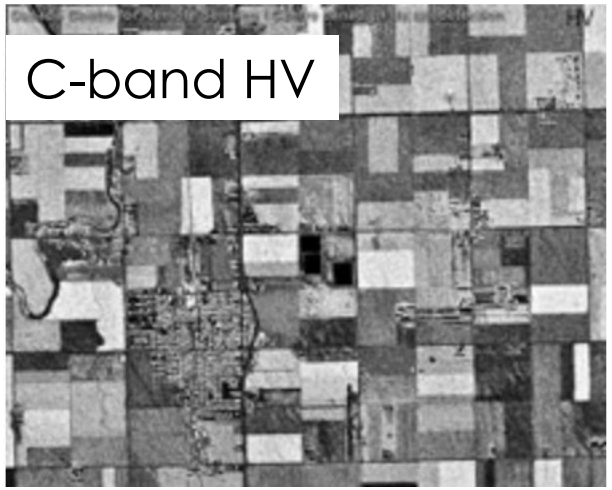


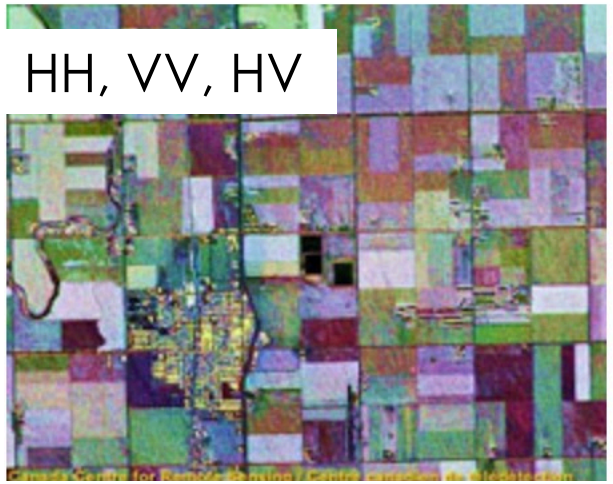
0 m^3/ha **325 m^3/ha**

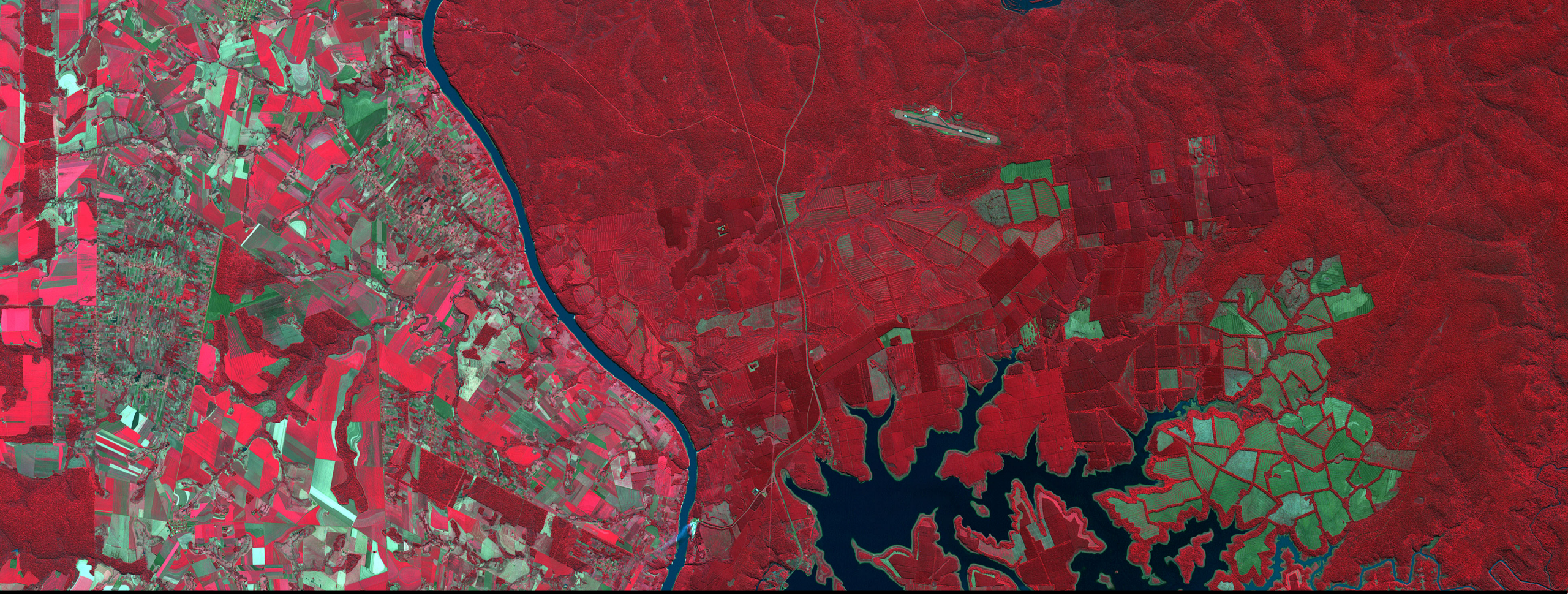
Gama, F. F., Santos, J. R., & Mura, J. C. (2010). Eucalyptus Biomass and Volume Estimation Using Interferometric and Polarimetric SAR Data. *Remote Sensing*, 2(4), 939-956. doi:10.3390/rs2040939

Polarizaciones Múltiples









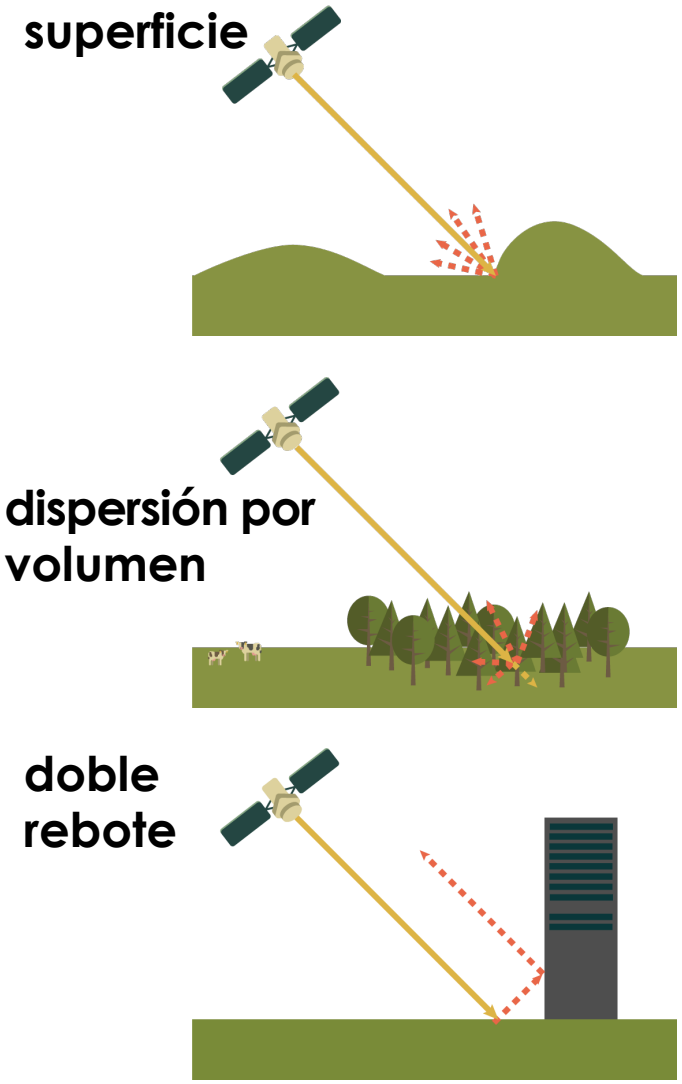
Mecanismos de Dispersión

Mecanismos de Dispersión

- La cuantificación de mecanismos de dispersión comienza con codificar la señal de radar recibida en una <u>matriz de dispersión</u>
- En el ejemplo quad-pol, podemos representar la señal recibida con una matriz de coherencia 3x3 T3:

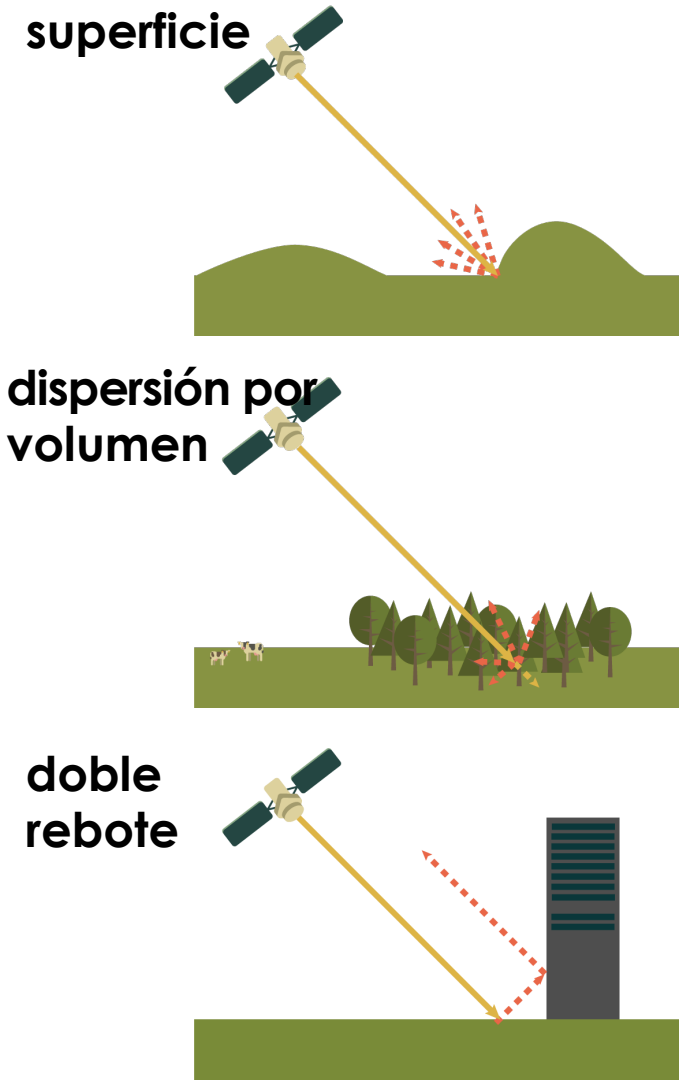
- $$[T] = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} \langle |S_{HH}+S_{VV}|^2 \rangle & \langle (S_{HH}+S_{VV})(S_{HH}-S_{VV})^* \rangle & 2\langle (S_{HH}+S_{VV})S_{HV}^* \rangle \\ \langle (S_{HH}-S_{VV})(S_{HH}+S_{VV})^* \rangle & \langle |S_{HH}-S_{VV}|^2 \rangle & 2\langle (S_{HH}-S_{VV})S_{HV}^* \rangle \\ 2\langle S_{HV}(S_{HH}+S_{VV})^* \rangle & 2\langle S_{HV}(S_{HH}-S_{VV})^* \rangle & 4\langle |S_{HV}|^2 \rangle \end{bmatrix}$$

  – * denota conjugación and < > denota promediación



Mecanismos de Dispersión

- Todos los 9 elementos en la matriz T se calcula para cada pixel en su imagen.
- Emplearemos descomposiciones polarimétricas para obtener un pequeño conjunto de parámetros para clasificar los mecanismos de dispersión



Descomposición H-α

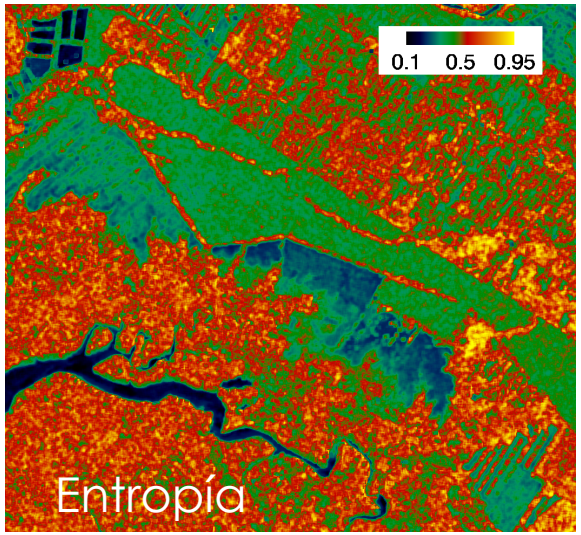
- Basada en valor propio/ vector propio (eigenvalue/eigenvector) de la descomposición de la matriz T3

$$[T] = [U_3]\begin{bmatrix}\lambda_1 & 0 & 0\\ 0 & \lambda_2 & 0\\ 0 & 0 & \lambda_3\end{bmatrix}[U_3]^{*T}$$

$$[U_3] = \begin{bmatrix}\cos\alpha_1 & \cos\alpha_2 & \cos\alpha_3\\ \sin\alpha_1\cos\beta_1 e^{i\delta_1} & \sin\alpha_2\cos\beta_2 e^{i\delta_2} & \sin\alpha_3\cos\beta_3 e^{i\delta_3}\\ \sin\alpha_1\sin\beta_1 e^{i\gamma_1} & \sin\alpha_2\sin\beta_2 e^{i\gamma_2} & \sin\alpha_3\sin\beta_3 e^{i\gamma_3}\end{bmatrix}$$

- Los valores propios l son usados para calcular entropía, (H) la cual es una función del ruido debido a la despolarización.

$$\text{entropy:}\quad H = \sum_{i=1}^{3} p_i \log_3 p_i \quad 0 \le H \le 1 \qquad p_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{q=1}^{3}\lambda_q}$$



Descomposición H-a

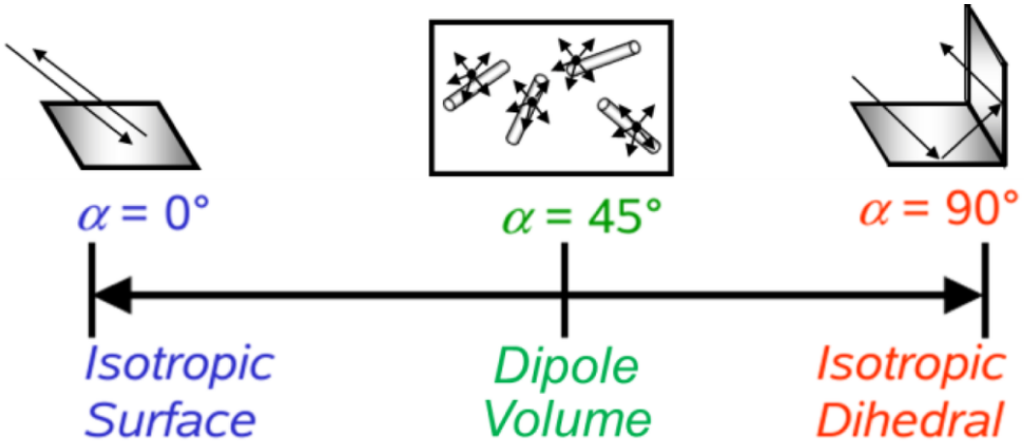
- Basada en valor propio/ vector propio (eigenvalue/eigenvector) de la descomposición de la matriz T3

$$[T] = [U_3]\begin{bmatrix}\lambda_1 & 0 & 0\\ 0 & \lambda_2 & 0\\ 0 & 0 & \lambda_3\end{bmatrix}[U_3]^{*T}$$

$$[U_3] = \begin{bmatrix}\cos\alpha_1 & \cos\alpha_2 & \cos\alpha_3\\ \sin\alpha_1\cos\beta_1 e^{i\delta_1} & \sin\alpha_2\cos\beta_2 e^{i\delta_2} & \sin\alpha_3\cos\beta_3 e^{i\delta_3}\\ \sin\alpha_1\sin\beta_1 e^{i\gamma_1} & \sin\alpha_2\sin\beta_2 e^{i\gamma_2} & \sin\alpha_3\sin\beta_3 e^{i\gamma_3}\end{bmatrix}$$

- Los valores propios l son usados para calcular entropía, (H) la cual es una función del ruido debido a la despolarización

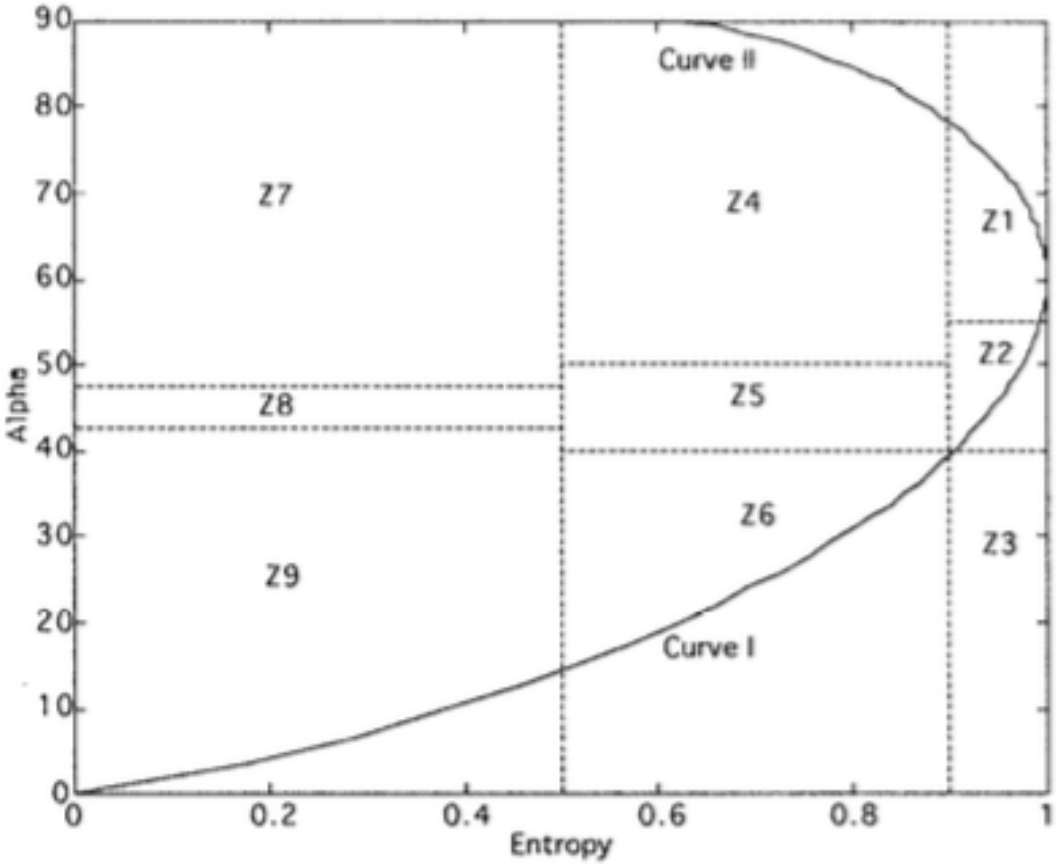
$$\text{entropy:}\quad H = \sum_{i=1}^{3} p_i \log_3 p_i \quad 0 \le H \le 1 \qquad p_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{q=1}^{3}\lambda_q}$$



$$\text{alpha:}\quad \alpha = \sum_{i=1}^{3} p_i \alpha_i \quad 0 \le \alpha \le \frac{\pi}{2}$$

Figure from Jagdhuber, Thomas, et al. "Identification of soil freezing and thawing states using SAR polarimetry at C-Band." *Remote Sensing* 6.3 (2014): 2008-2023.

Clasificación H-α

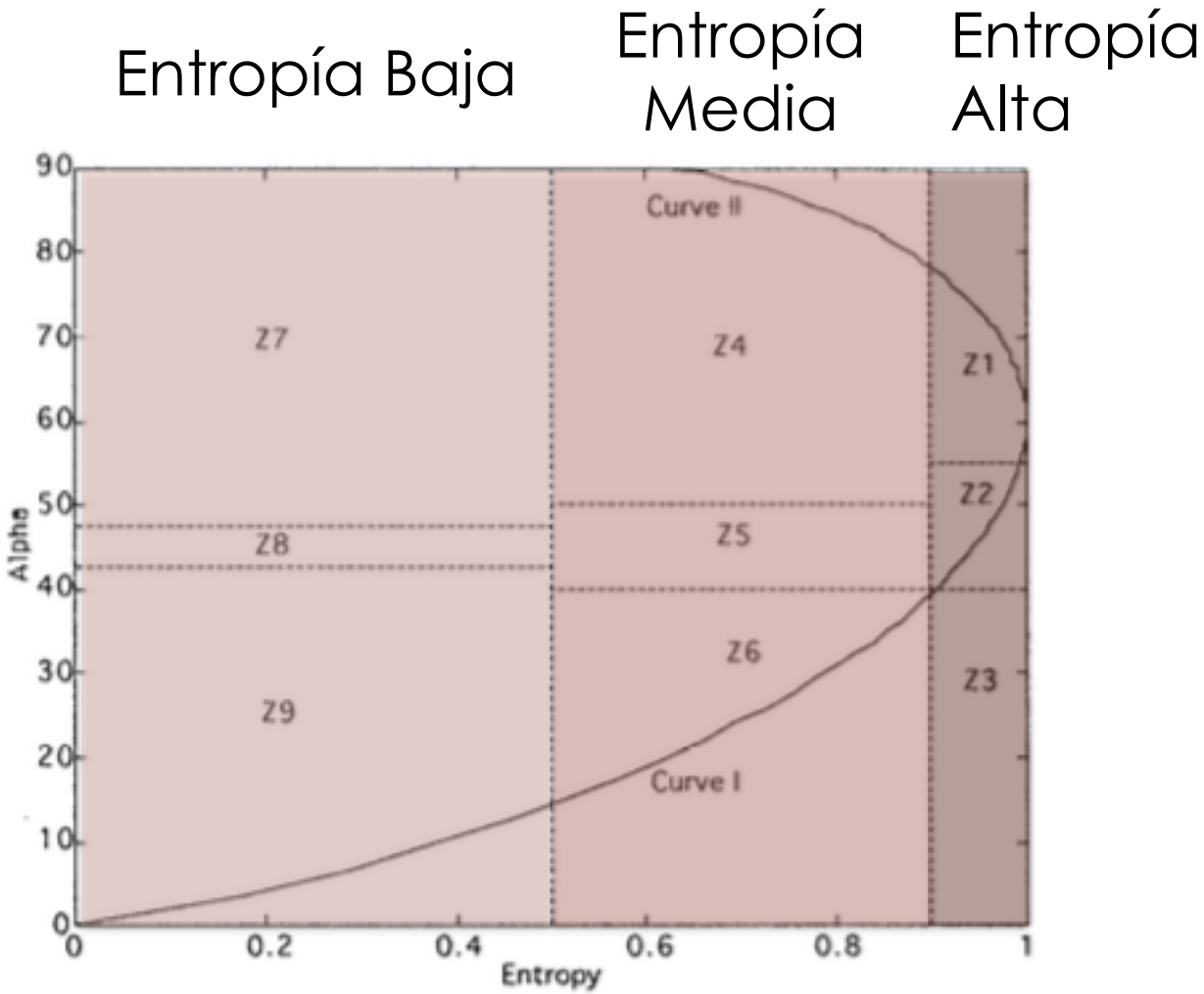


Región factible en un plano α-H para problemas de dispersion por medios aleatorois.

- Un sistema de dos parámetros es utilizado para clasificar diferentes tipos de dispersión.
- 9 zonas
- Los resultados de esta clasificación no-supervisada pueden ser combinados con otros datos y ser utilizados en una clasificación supervisada.
- Por ejemplo: Qi, Zhixin, et al. "A novel algorithm for land use and land cover classification using RADARSAT-2 polarimetric SAR data." *Remote Sensing of Environment*118 (2012): 21-39.

Cloude, Shane R., and Eric Pottier. "An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 35.1 (1997): 68-78.

Clasificación H-α



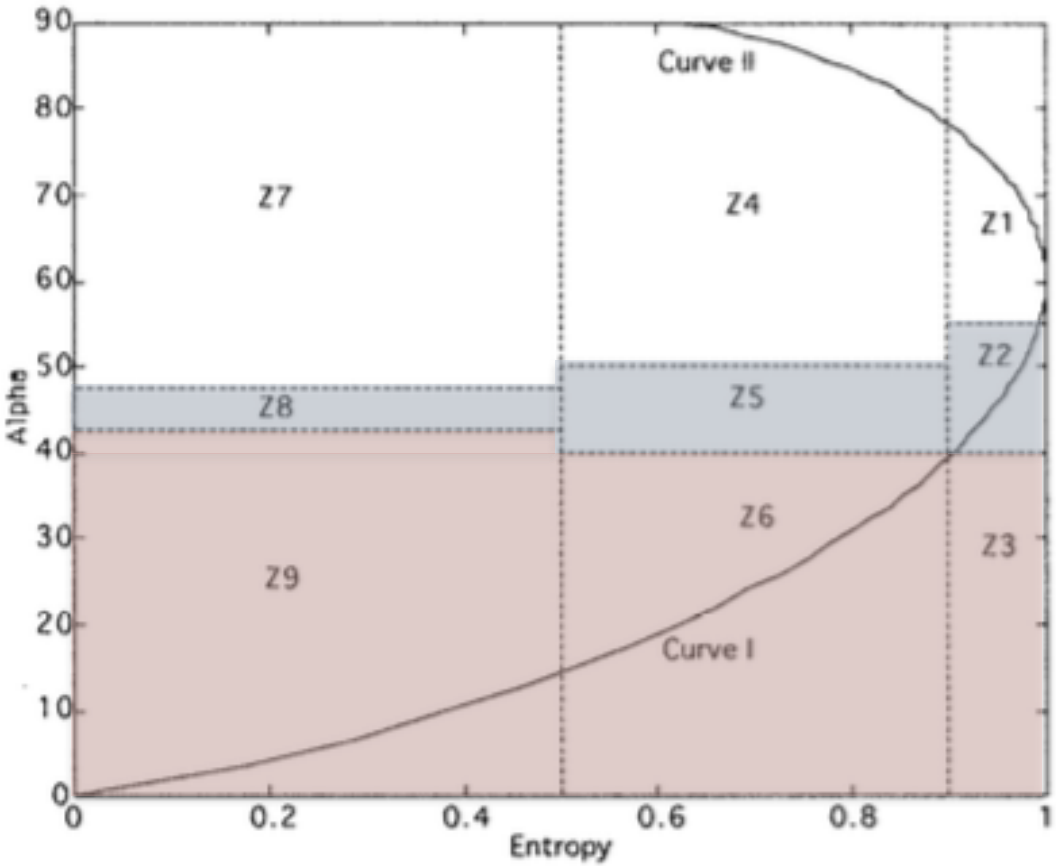
Cloude, Shane R., and Eric Pottier. "An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 35.1 (1997): 68-78.

Clasificación H-α

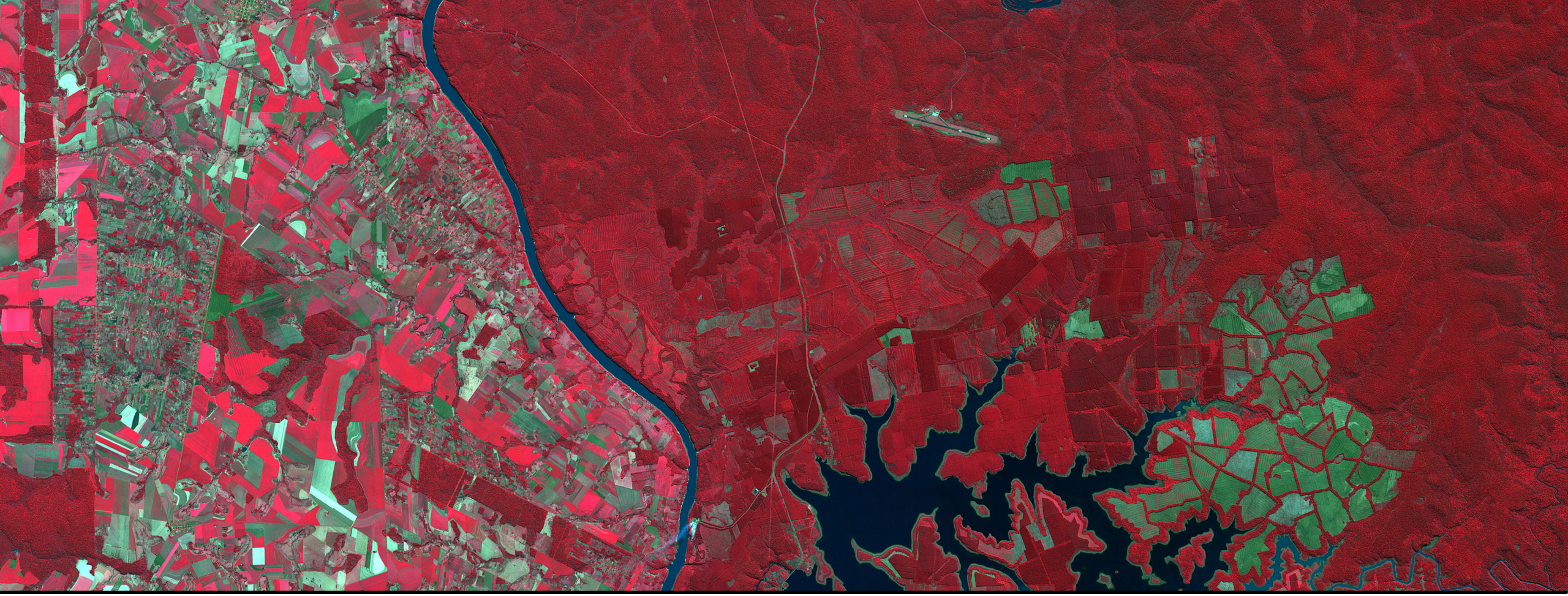
Múltiple

Dipolo / Vegetación

Superficie



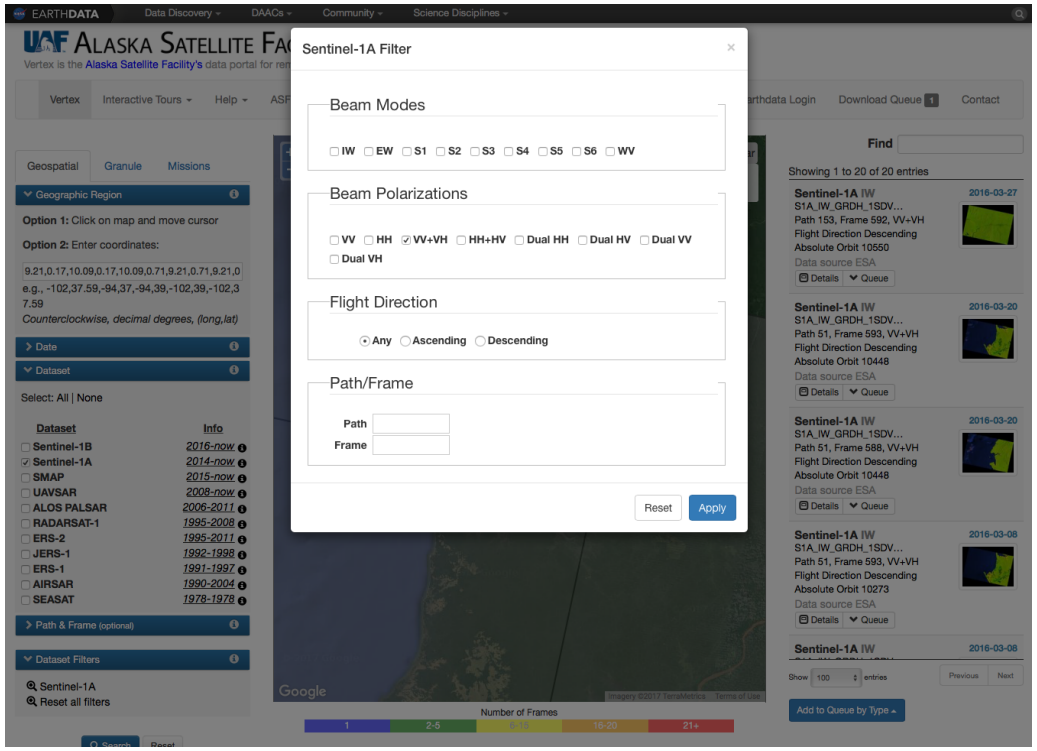
Cloude, Shane R., and Eric Pottier. "An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 35.1 (1997): 68-78.



Procesamiento de Datos de Sentinel-1

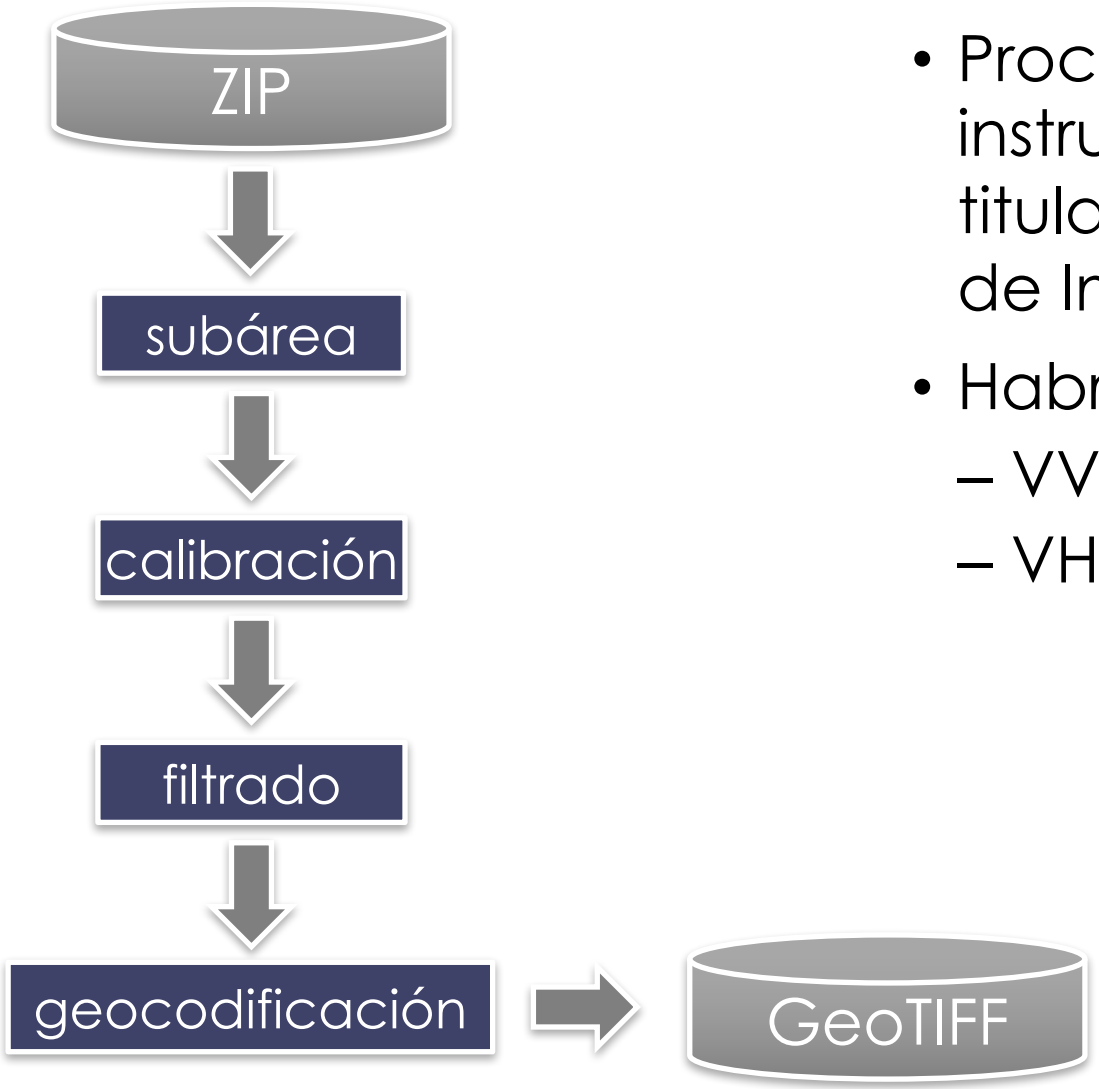
Como Descargar Imágenes de Sentinel-1 del Alaska Satellite Facility

https://vertex.daac.asf.alaska.edu/

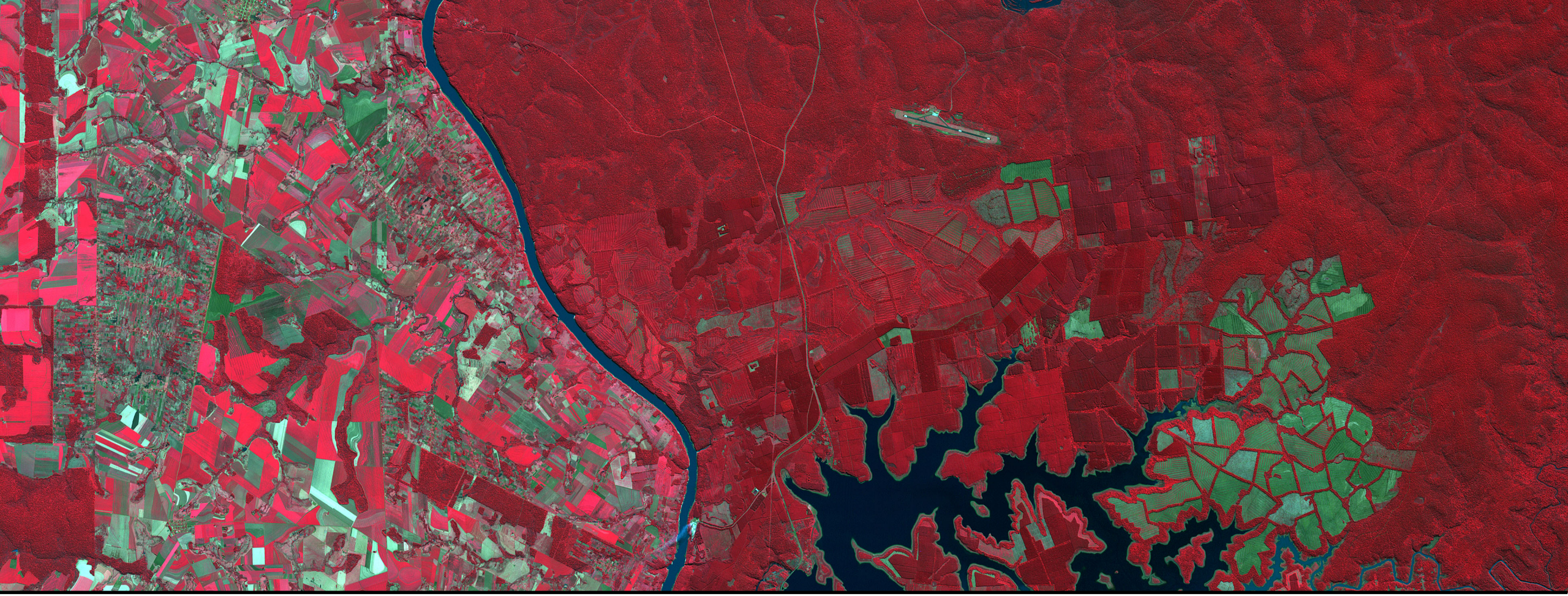


- Radar satelital operado por la Agencia Espacial Europea (ESA)
- Banda-C (5-cm de longitud de onda)
- Dos polarizaciones:
  - VH
  - VV
- Producto GRD (Ground Range Detected)
- 10 metros resolución espacial
- ID del Producto: S1A_IW_GRDH_1SDV_20160320T050613_20160320T050638_010448_00F805_14D5
- Adquirido el 20 de marzo del 2016
- Descargue el archivo .zip

Procesamiento de Imágenes de Sentinel-1 en SNAP



- Procese la imagen siguiendo las instrucciones en el curso ARSET titulado "Procesamiento y Análisis de Imágenes SAR"
- Habrá dos archivos:
  - VV
  - VH

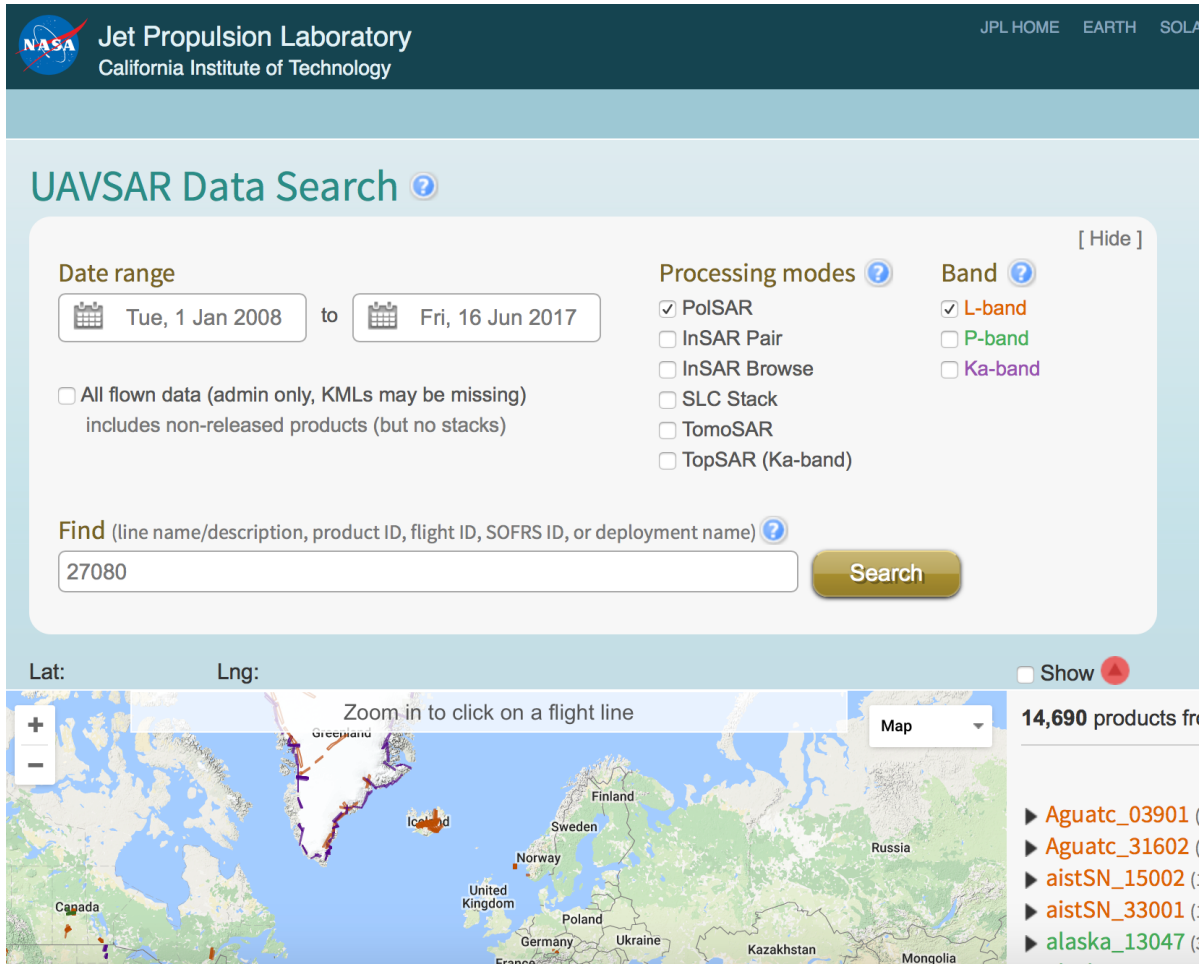


Procesamiento de Imágenes de UAVSAR

Uninhabited Aerial Synthetic Aperture Radar (UAVSAR)

(Radar de Apertura Sintética en una Plataforma Aérea Deshabitada)

https://uavsar.jpl.nasa.gov



- Instrumento Aéreo operado por la NASA
- Banda-L (24-cm longitud de onda)
- Cuatro polarizaciones
- Producto GRD (Ground Range Detected)
- 6 metros - resolución espacial

Uninhabited Aerial Synthetic Aperture Radar (UAVSAR)

(Radar de Apertura Sintética en una Plataforma Aérea Deshabitada)

https://uavsar.jpl.nasa.gov

Precision Data

The NASA data archive at ASF now requires login. If you do not have an account, any user c

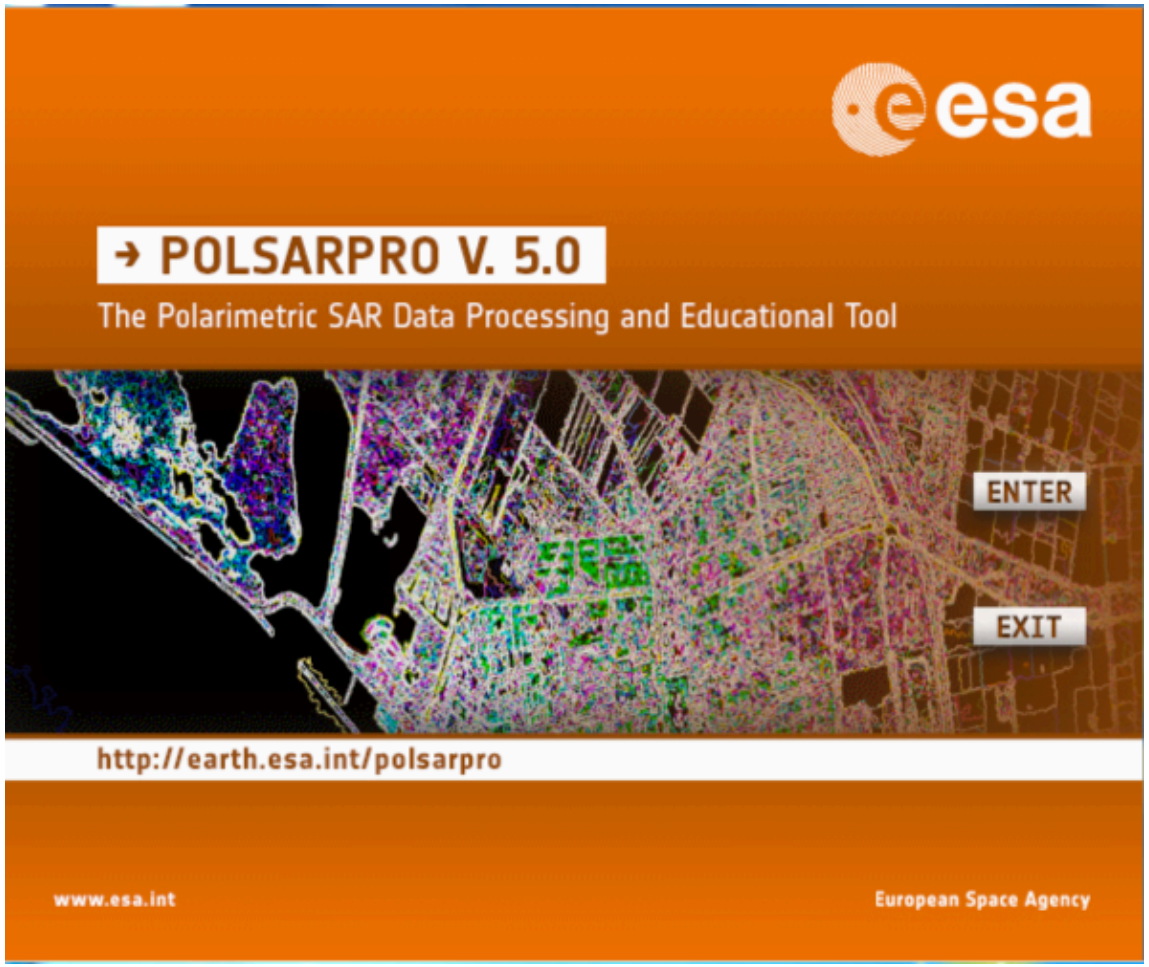
Metadata	Text Annotation File
Slant Range Products	ShhShh* (0.1431 Gbytes) ShvShv* (0.1431 Gbytes) SvvSvv* (0.1431 Gbytes) ShhShv* (0.2861 Gbytes) ShhSvv* (0.2861 Gbytes) ShvSvv* (0.2861 Gbytes) Compressed Stokes Matrix (AIRSAR format) (0.3578 Gbytes)
Orthorectified Products (geographic projection)	ShhShh* (0.1893 Gbytes) ShvShv* (0.1893 Gbytes) SvvSvv* (0.1893 Gbytes) ShhShv* (0.3785 Gbytes) ShhSvv* (0.3785 Gbytes) ShvSvv* (0.3785 Gbytes) High Resolution KMZ file (0.1800 Gbytes)
SRTM DEM	Incidence Angle File (0.1893 Gbytes) SLOPE File (0.3785 Gbytes) DEM used in projection (0.1893 Gbytes)

Data Format Documentation

- ID del producto:
  - Mondah_27080_16015_000_160308_L090_CX_02
- Adquirido el 3 de marzo del 2016
- Descargue los 6 archivos *GRD y los archivos de anotación *ANN

PolSARpro

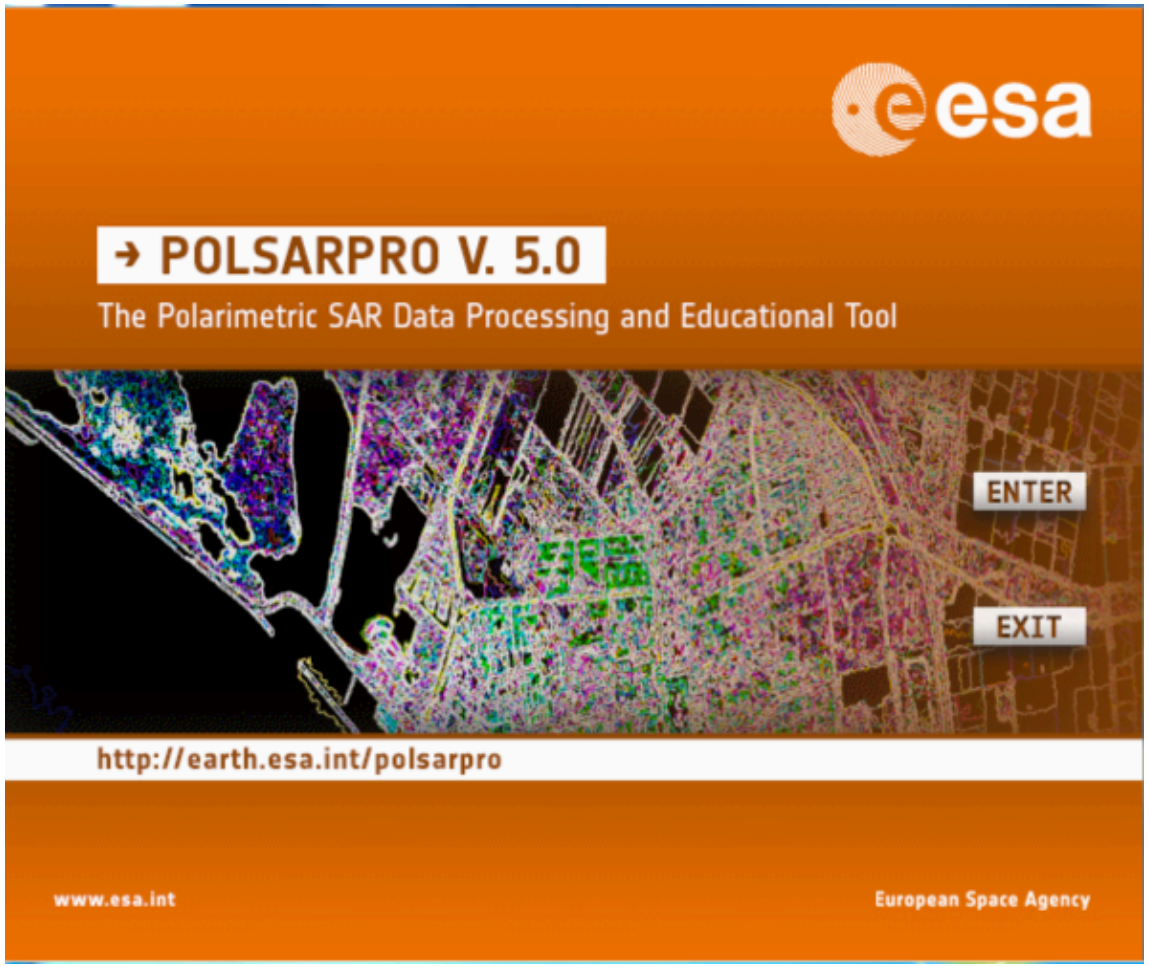
https://earth.esa.int/web/polsarpro/download/version-5.0



- PolSARpro fue desarrollado bajo un contrato con ESA desde el 2003. El IETR (Instituto de Electrónica y Telecomunicaciones de Rennes-UMR CNRS 6164) de la Universidad de Rennes en Francia esta encargado de desarrollar PolSARpro
- El software funciona en Windows y Linux. También, se puede configurar en una Mac utilizando archivos de origen Linux

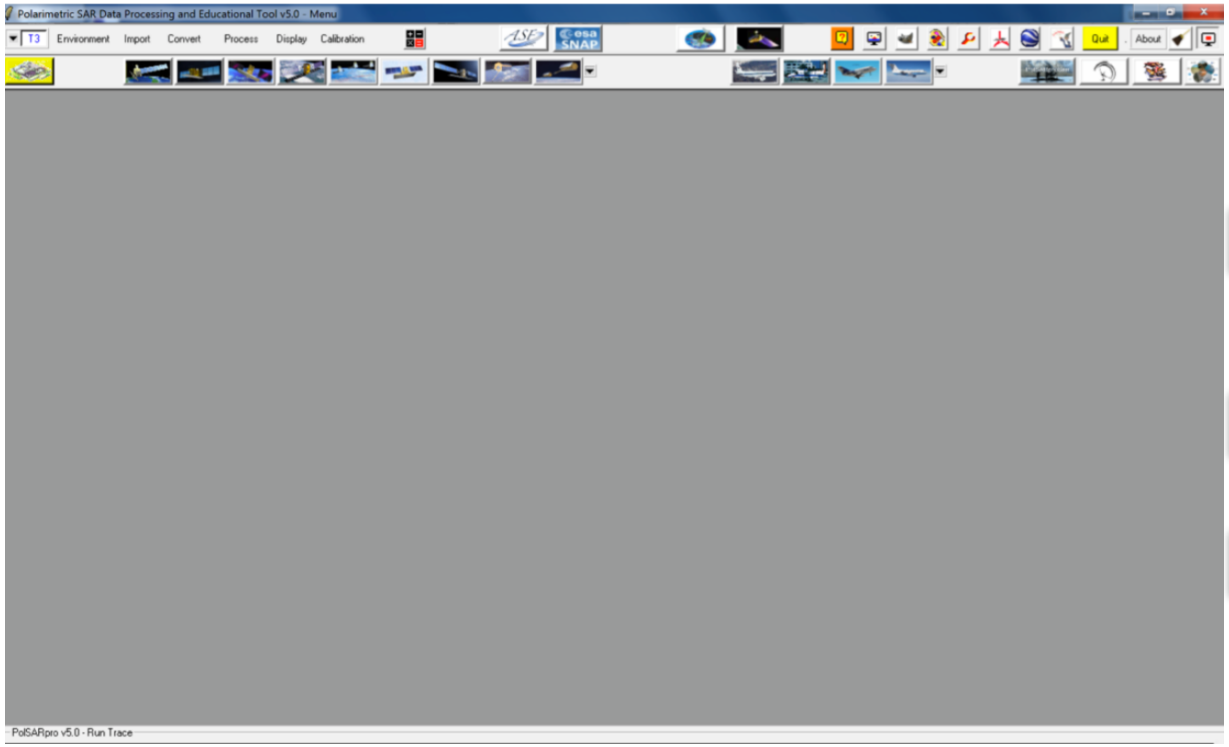
PolSARpro

https://earth.esa.int/web/polsarpro/download/version-5.0



- GUI o línea de comando
- Software de código abierto
- Demostraremos rutinas utilizando línea de comando pero pueden acceder un ejemplo practico con GUI por medio de este link: https://uavsar.jpl.nasa.gov/science/workshops/presentations2015/UAVSAR_Workshop2015_Polarimetry_Tutorial_(Chapman).pdf

PolSARpro




```
PolSARap
PolSARproSIM
PolSARproSIMgr
PolSARproSIMsv
SVM
basis_change
bmp_process
calculator
calibration
data_convert
data_import
data_process_dual
data_process_mult
data_process_sngl
lib
speckle_filter
tools
```

crea quicklooks

importa archivos de UAVSAR, ALOS etc.

descomposición polarimétrica, clasificación

PolSARpro

- Puede llamar cualquiera función sin argumentos para ver los resultados esperados

```
#cd to directory
Soft/data_process_sngl./wishart_h_a_
alpha_classifier.exe
```

PolSARPro le advertirá sobre la falta de argumentos y después le indicara su uso

```
 A processing error occured !
 Not enough input arguments
 Usage:

wishart_h_a_alpha_classifier.exe

Parameters:
 (string)       -id     input directory
 (string)       -od     output directory
 (string)       -iodf   input-output data format
 (int)          -nwr    Nwin Row
 (int)          -nwc    Nwin Col
 (int)          -ofr    Offset Row
 (int)          -ofc    Offset Col
 (int)          -fnr    Final Number of Row
 (int)          -fnc    Final Number of Col
 (string)       -hf     input entropy file
 (string)       -af     input anisotropy file
 (string)       -alf    input alpha file
 (int)          -nit    maximum interation number
 (float)        -pct    maximum of pixel switching classes
 (int)          -bmp    BMP flag (0/1)
 (string)       -co8    input colormap8 file (valid if BMP flag = 1)
 (string)       -co16   input colormap16 file (valid if BMP flag = 1)

Optional Parameters:
 (string)       -mask   mask file (valid pixels)
 (int)          -mem    Allocated memory for blocksize determination (in Mb)
 (string)       -errf   memory error file
 (noarg)        -help   displays this message
 (noarg)        -data   displays the help concerning Data Format parameter
```

Ingerir datos de UAVSAR y Crear una Matriz T3

```
uavsar_convert_MLC.exe –hf Mondah_27080_16015_000_160308_L090_CX_02.ann\
-if1 Mondah_27080_16015_000_160308_L090HHHH_CX_02.grd \
-if2 Mondah_27080_16015_000_160308_L090HHHV_CX_02.grd \
-if3 Mondah_27080_16015_000_160308_L090HHVV_CX_02.grd \
-if4 Mondah_27080_16015_000_160308_L090HVHV_CX_02.grd \
-if5 Mondah_27080_16015_000_160308_L090HVVV_CX_02.grd \
-if6 Mondah_27080_16015_000_160308_L090VVVV_CX_02.grd \
-od T3 -odf T3 -inr 3750 -inc 12618 -ofr 0 -ofc 0 -fnr 3750 -fnc 12618
-nlr 2 -nlc 2 -ssr 1 -ssc 1
```

Insertar líneas y columnas

El número de looks

El directorio de salida lo he llamado 'T3'

Descomposición y Clasificación H-a

```
h_a_alpha_decomposition.exe -id T3 -od decomposition -iodf T3 \
-nwr 7 -nwc 7 -ofr 0 -ofc 0 -fnr 1875 -fnc 6309 \
-fl1 0 -fl2 1 -fl3 1 -fl4 1 -fl5 0 -fl6 0 -fl7 0 -fl8 0 -fl9 0
```

-od es el directorio de salida, lo he llamado "descomposición"

-id es el directorio de entrada con elementos T3, lo he llamado T3

-nwr y nwc es el tamaño de la ventana para calcular coherencia (7x7)

-fnr y fnc se refiere al numero de líneas (row) y columnas (cols) del archivo config.txt

-Marcadores que indican el numero deseado de archivos de salida (alpha, entropy, lambda)

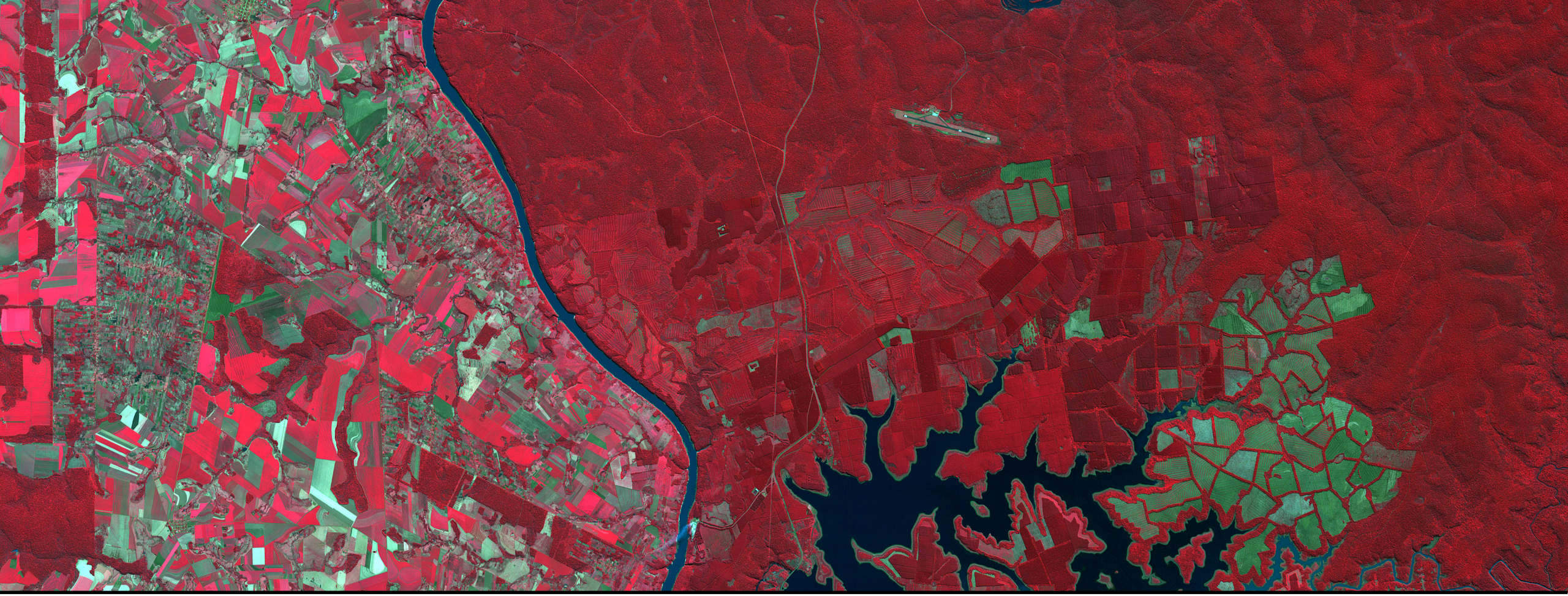
```
h_a_alpha_planes_classifier.exe -id decomposition -od
classification -ofr 0 -ofc 0 -fnr 1875 -fnc 6309 -hal 1 -han 0
-anal 0 -clm Planes_H_A_Alpha_ColorMap9.pal
```

-od es el directorio de salida, lo he llamado 'classification'

Cómo Crear una Cabecera ENVI

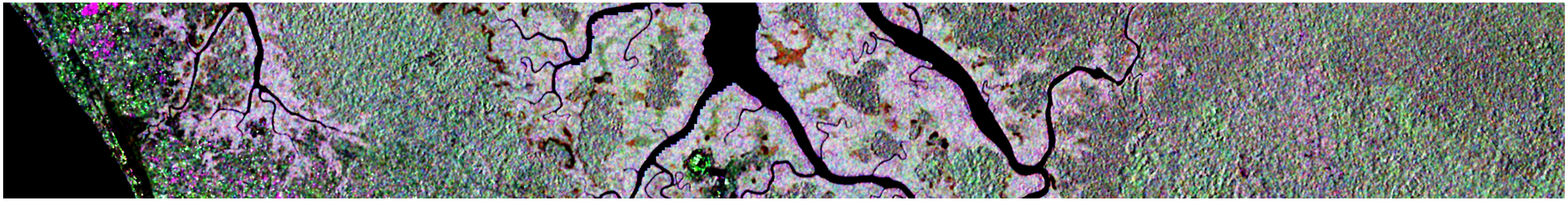
```
ENVIdescription = {  File Imported into ENVI.}
samples = 6309
lines   = 1875
bands   = 1
header offset = 0
file type = ENVI Standard
data type = 4
interleave = bsq
sensor type = Unknown
byte order = 0
map info = {Geographic Lat/Lon, 1.5000, 1.5000,
9.17956764, 0.60482616, 1.1112000000e-04,
1.1112000000e-04, WGS-84,
units=Degrees}coordinate system string
={GEOGCS["GCS_WGS_1984",DATUM["D_WGS_1984",SPHE
ROID["WGS_1984",6378137.0,298.257223563]],PRIME
M["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.017453292519
9433]]}
wavelength units = Unknown
```

- Del archivo config.txt de PolSARPro:
  - Nrow
  - Ncol
- Del archivo de anotación de UAVSAR :
  - Latitud centro del pixel superior izquierdo de la imagen
  - Longitud centro del pixel superior izquierdo de la imagen
  - Multiplique el distanciamiento entre pixeles de Latitud GRD por 2 (ya que hicimos 2 looks): 0.00005556 *2 = 0.0011112

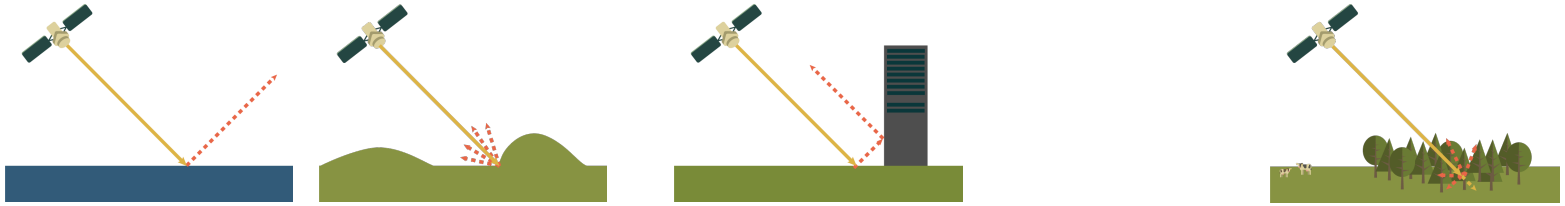


Presentación de los Resultados

Razones de Polarizaciones de Sentinel-1

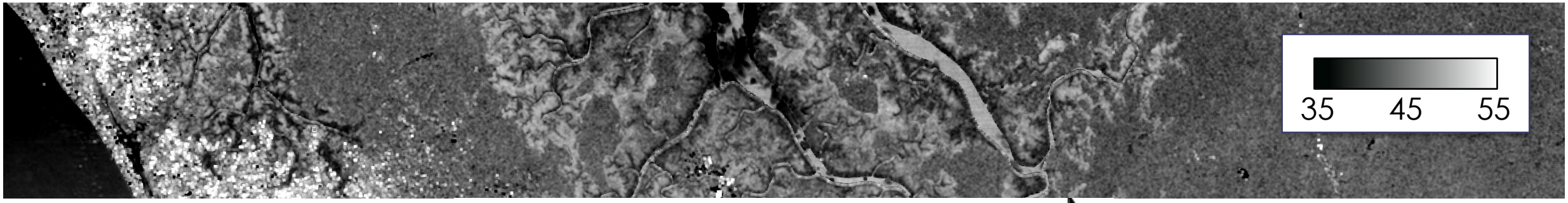


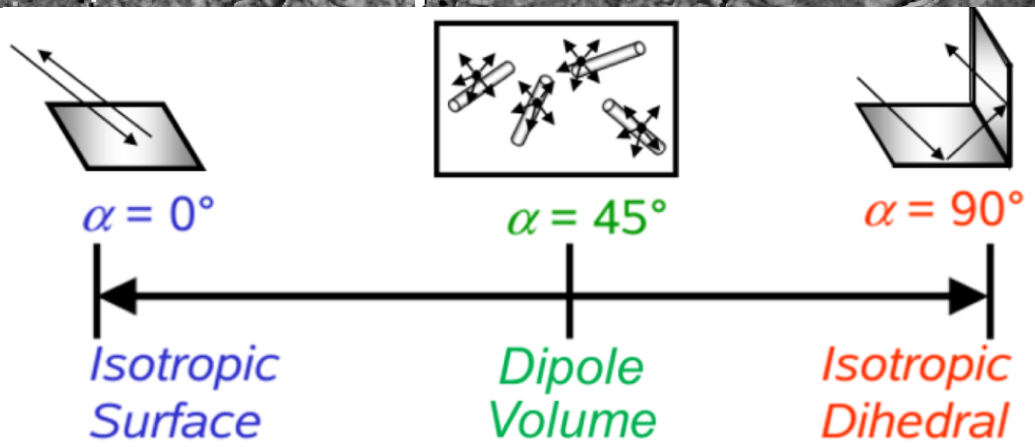
VV VH VV



	Especular	Superficie	Doble Rebote	Volumen	
dB	Agua Abierta	Pista Aérea	Edificios	Bosques	Manglar Alto
VV Mar 20	-16.0	-11.7	-0.5	-4.5	-4.2
VH Promedio (Mar 20, 08)	-19.5	-16.5	-13	-10.9	-11.9
VV Mar 08	-17.0	-12.6	-0.5	-5.6	-4.3

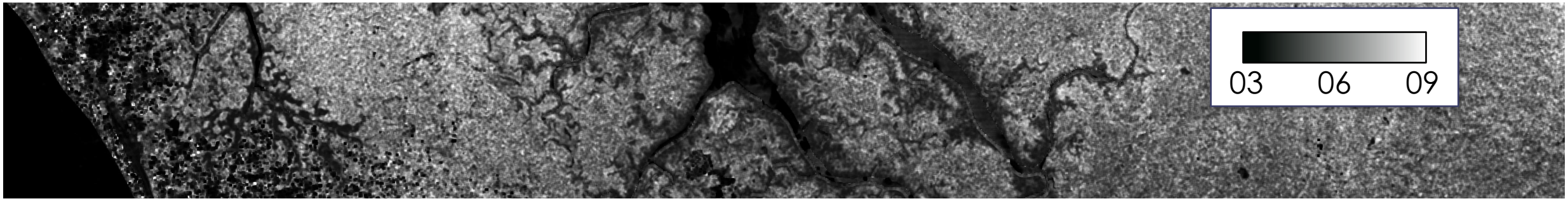
Resultados de la Descomposición Alfa de UAV-SAR





	Agua Abierta	Pista Áerea	Edificios	Bosques	Manglar Alto
Alpha (α)	36	29	55	42	46
Entropía (H)					
Lambda					

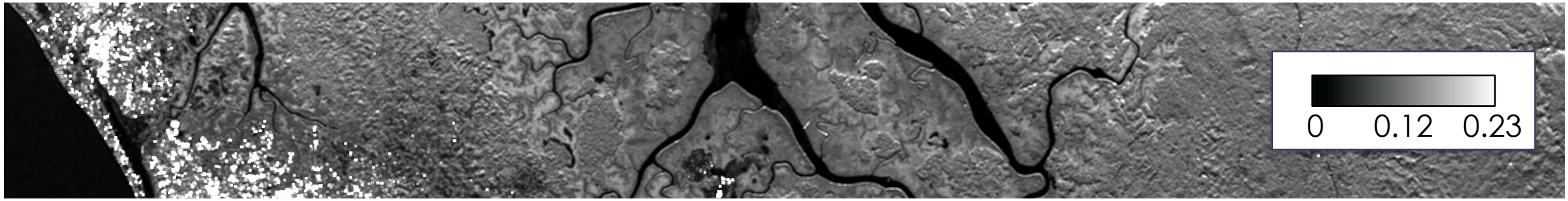
UAVSAR- Resultados de la Descomposición de Entropía, diapositiva 38 Resultados de la Descomposición UAVSAR-Lambda



Entropía Baja $0 < H < 1$ Entropía Alta

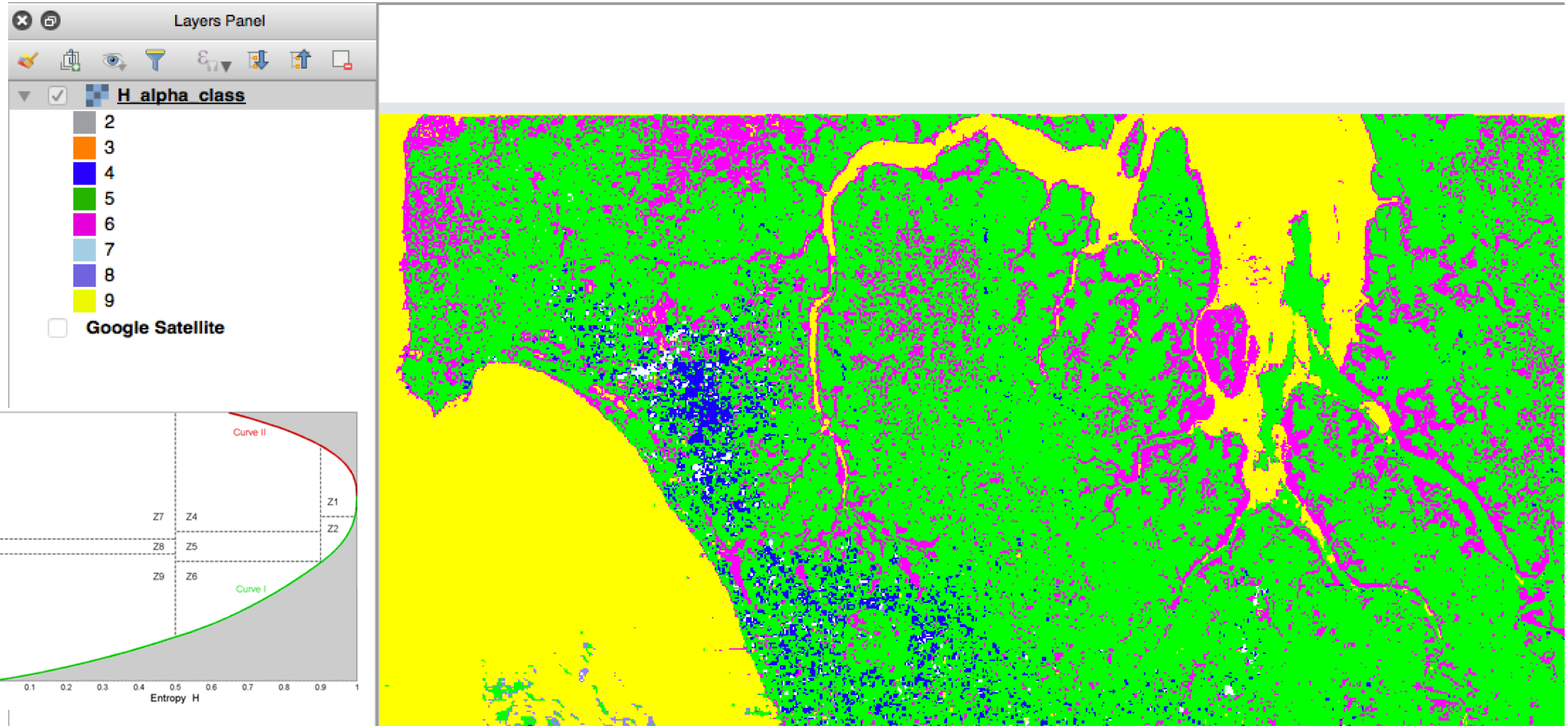
	Agua Abierta	Pista Áerea	Edificios	Bosques	Manglar Alto
Alpha (α)	36	29	55	42	46
Entropía (H)	0.15	0.67	0.45	0.89	0.79
Lambda					

Resultados de Clasificaciones de Descomposiciones Alfa y de Entropía



	Agua Abierta	Pista Áerea	Edificios	Bosques	Manglar Alto
Alpha (α)	36	29	55	42	46
Entropía (H)	0.15	0.67	0.45	0.89	0.79
Lambda	0.009	0.007	0.55	0.085	0.067

Entropía + Alpha

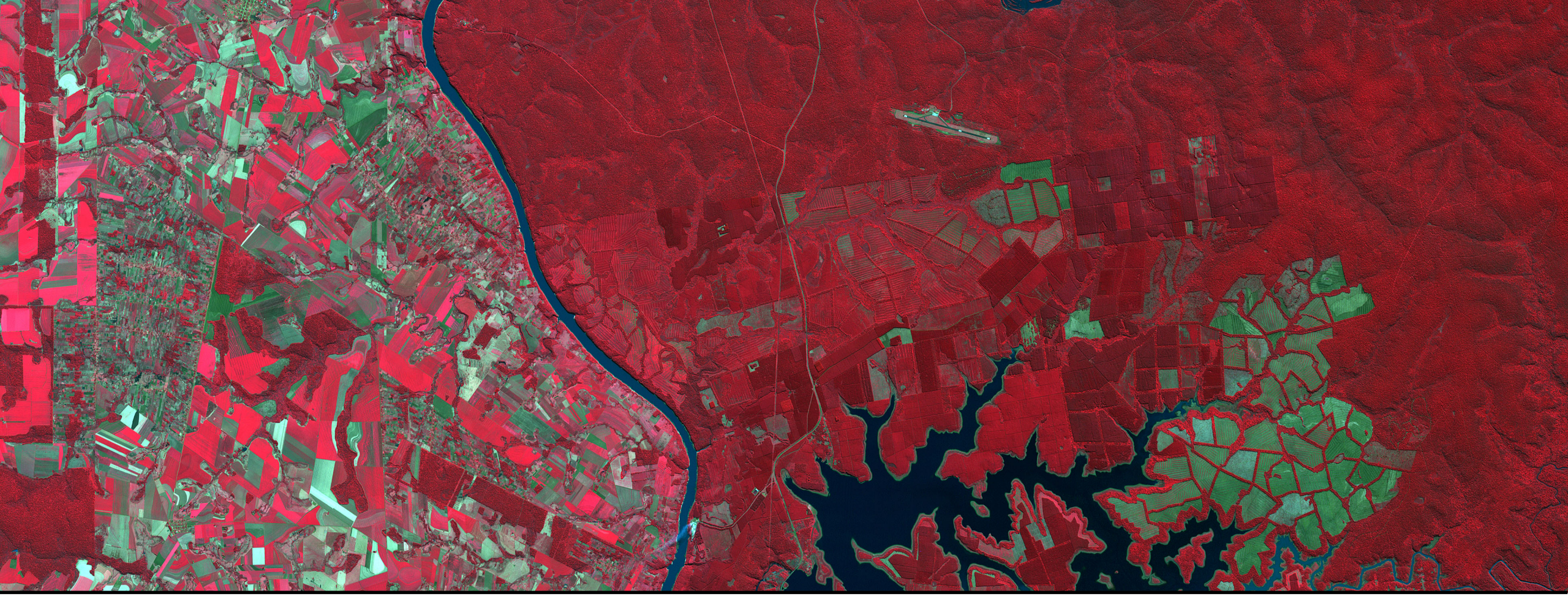


Recursos Adicionales

- Curso de la Agencia Espacial Europea (ESA) sobre la teledetección para estudios de cobertura terrestre:
  - http://seom.esa.int/landtraining2014/files/LTC2014_Programme_Materials.pdf

- Cursos de polarimetría en conjunto con PolSARPro:
  - https://earth.esa.int/web/polsarpro/polarimetry-tutorial

- Curso de la Agencia de Recursos Naturales de Canadá:
  - http://www.nrcan.gc.ca/node/9579



¡Gracias!