



Monitoreo de los procesos de desertificación con el uso de imágenes de radar

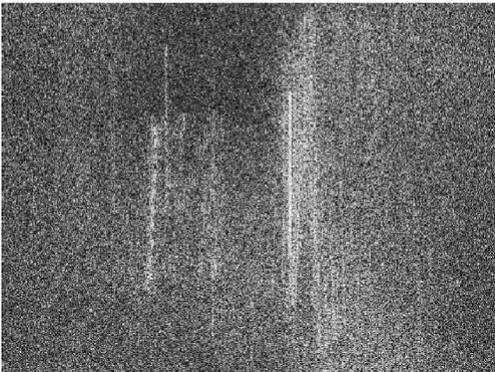
Héctor F. del Valle

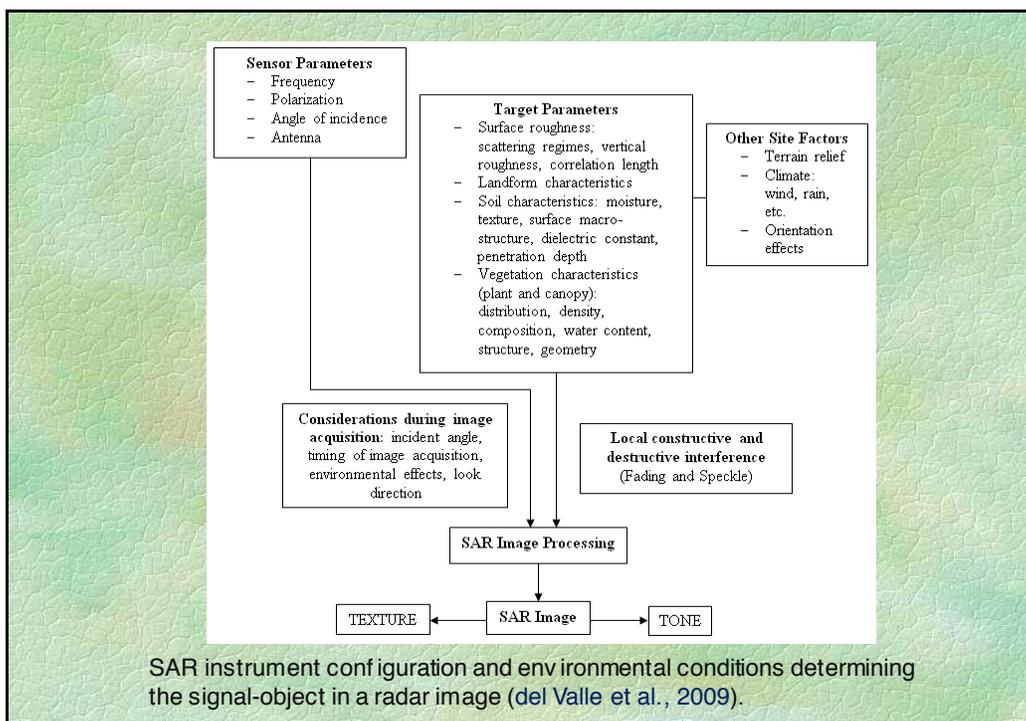


Rosario, Argentina, 19 al 23 de Abril de 2010



NECESIDAD DE PROCESADO

SEÑAL OBTENIDA DEL RADAR	IMAGEN PROCESADA
	



Variaciones e interpretación de la brillantez de la imagen

Se pueden observar dos tipos principales de variaciones en la brillantez de una imagen de radar:

- variaciones del tono
- variaciones de la textura

Aunque es poco común, algunos efectos indirectos asociados al sistema de radar, también son una fuente potencial de variaciones no deseadas en la brillantez.

Es posible usar procesamiento digital para complementar y/o ampliar nuestra interpretación visual de dichas variaciones.

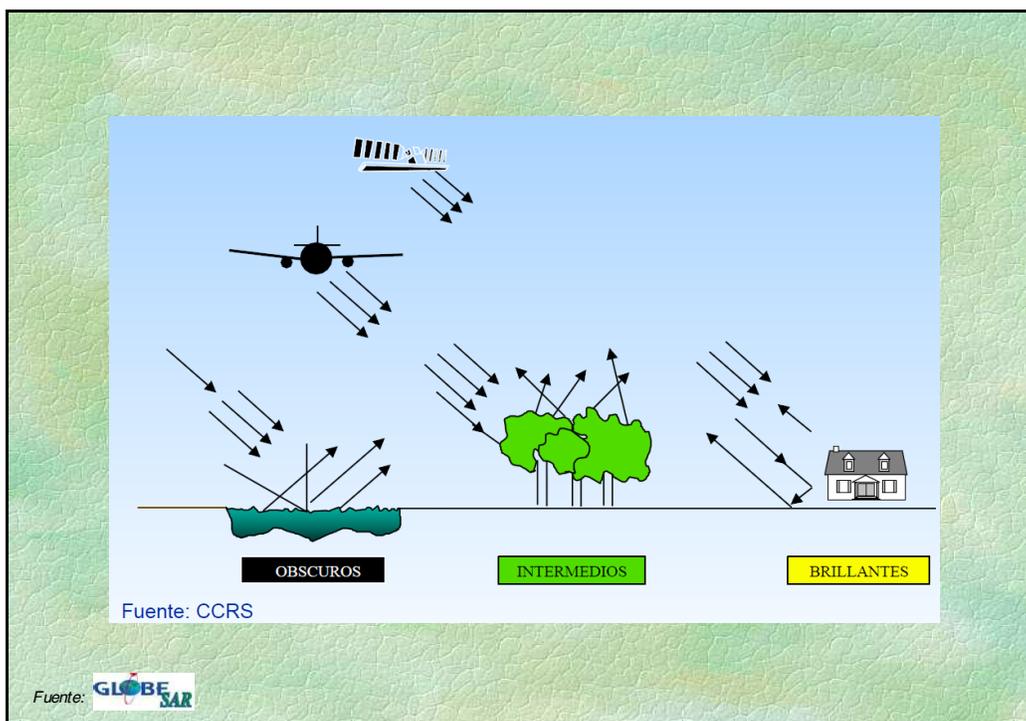
Elementos de interpretación

	Tono	→	Intervalos de densidad
	Color	→	Clasificación multiespectral
	Textura	→	Análisis de textura
	Patrón	→	Clasificación/Transformación espacial
	Tamaño	→	Clasificación por tamaño de rasgos
	Forma	→	Clasificación sintáctica
	Asociación	→	Clasificación contextual

Fuente: *Manual of Remote Sensing*, 1983.

Tonos de la imagen

-  Se refiere a los niveles de gris que pueden distinguirse entre el negro y el blanco.
-  Proporcional a la intensidad de la reflexión de las microondas que recibe el radar.
-  Las regiones o áreas relativamente lisas, como las aguas tranquilas, aparecen como tonos oscuros.
-  Las superficies con rugosidades (terreno "difuso") como cierta vegetación, aparecen como tonos intermedios.
-  Las estructuras artificiales, como los edificios o los barcos, pueden producir tonos brillantes dependiendo de su forma, orientación y/o constitución.



Textura de la imagen

-  Se refiere al patrón de la variación espacial del tono.
-  Es función de la uniformidad espacial de los reflectores o blancos en una escena.
-  La textura de una imagen de radar, consiste en la textura original de la escena multiplicada por el moteado.
-  La textura puede ser fina, media o gruesa.

Efectos artificiales o indirectos en las imágenes SAR

Problemas asociados a la **plataforma, al sensor y/o al procesamiento**:



Ambigüedades:

- Asociadas a la dirección del azimut.
- Asociadas a la dirección del alcance.
- Asociadas al nadir.



Festoneo.



Efectos del control automático de la ganancia del radar.



Algunos aspectos radiométricos y geométricos de la imagen pueden ser afectados.



En algunas ocasiones, el reprocesamiento puede disminuir los efectos. En otras, son incorregibles.

Ambigüedades



Aparece una copia a un lado de un objeto. La copia puede estar desplazada en la dirección del alcance y/o del azimut (**efecto fantasma**).



Este efecto indirecto puede ser visible si el fondo de la imagen es oscuro e invariable (ej. aguas tranquilas), pero es difícil detectarlos sobre un fondo variable (ej. terreno boscoso).



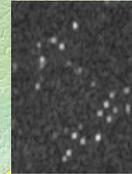
La señal de interés está contaminada por las señales asociadas a objetos reflectores adyacentes.

Ambigüedades

Asociadas a la dirección del azimut:

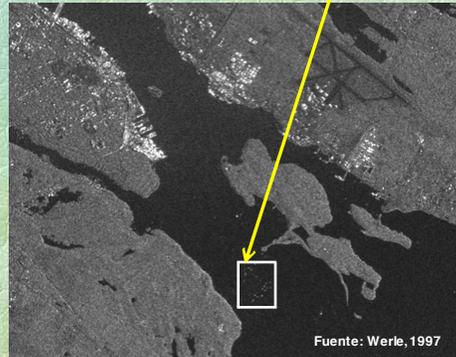
- El muestreo de las señales es **demasiado lento**.
- **Parámetros incorrectos** durante el procesamiento

Puerto de Halifax, Nueva Escocia. Efecto fantasma de un grupo de barcos en una imagen del haz S7 del RADARSAT-1.



Asociadas a la dirección del alcance:

- La señal de una región de interés se recibe simultáneamente con la señal asociada a otro pulso transmitido inmediatamente (antes o después). Ej.: señal que proviene del nadir.
- La señal que proviene de "abajo del satélite" acompaña a esa que proviene del terreno iluminado

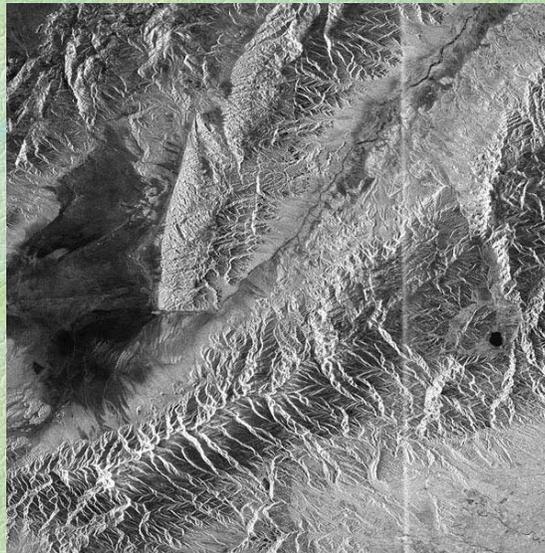


Fuente: GLOBE SAR

Fuente: Werle, 1997

Ambigüedades del Nadir

- Aparecen como **rasgos lineales brillantes** a una distancia aproximadamente constante en la dirección del alcance.
- La señal que proviene del nadir es intensa debido a la reflexión casi especular emitida por objetos reflectores ubicados dentro de un intervalo (de distancia) estrecho en la dirección del alcance → **tonos brillantes**.
- Debido a la compresión del pulso, la recepción de señal brillante se limita a esa que proviene de una distancia equivalente a unas pocas células de resolución en la dirección del alcance → **formas agudas y lineales**.



Fuente: GLOBE SAR

Festoneo

Causado por el cálculo erróneo del centroide Doppler.

Se observa en forma de bandas radiométricas tipo pana a través de la escena (en la dirección del alcance).

Se presenta ocasionalmente en determinados productos adquiridos en el modo *ScanSAR*.

La imagen puede ser reprocesada usando mejores cálculos del centroide Doppler.

Chile
March 23, 1997

RADARSAT-1 ScanSAR Narrow A

Descending Orbit

©1996 Canadian Space Agency
Agence spatiale canadienne

Fuente:

Efectos del control automático de la ganancia

En el sensor se aplica una ganancia a los datos de la señal recibida, antes de enviarlos al convertidor de analógico - digital (ADC).

Si la escena es brillante en las regiones más cercanas y es oscura en las regiones más alejadas, la ganancia puede haberse establecido demasiado baja, causando que los reflectores lejanos aparezcan más oscuros de lo debido.

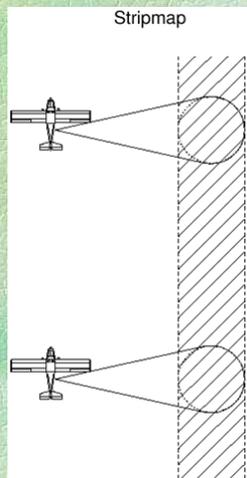
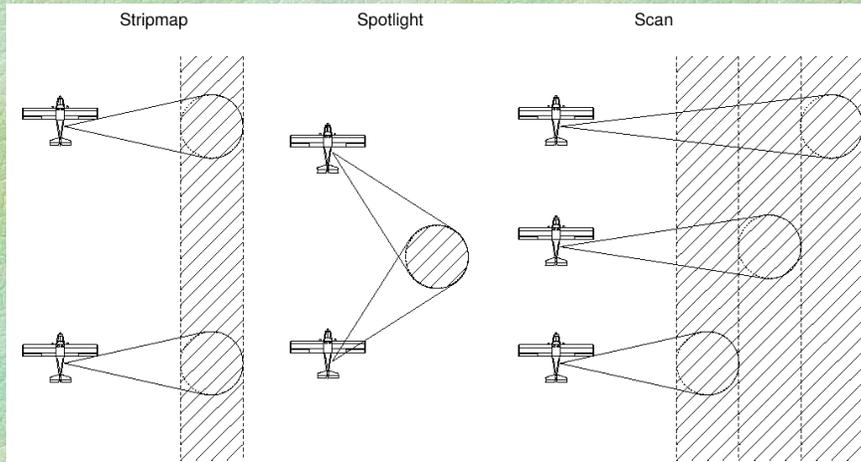
Con el fin de mantener una cierta calidad, las bandas causadas por el AGC podrían llegar a eliminarse con una ganancia constante.

ADC Saturation

Power Loss Corrected

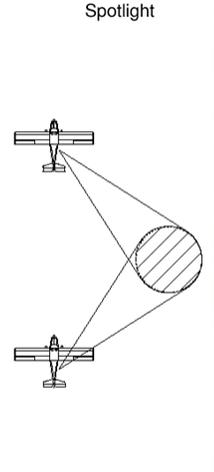
Fuente:

Modos de funcionamiento del SAR



El modo **Stripmap** es el más común de los usados por los sistemas aerotransportados. Su ventaja está dada por la facilidad de procesamiento y las principales desventajas son los límites impuesta a la anchura del swath (de barrido) y a la resolución en azimut.

Spotlight

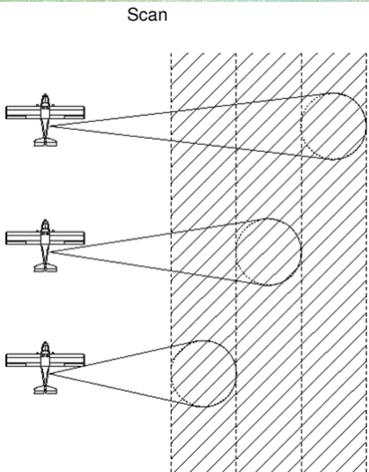


En el modo **Spotlight** el SAR dirige el haz de la antena para iluminar continuamente cierta región en la tierra varias veces. Consecuentemente, el ancho de banda del azimut llega a ser más grande, que por lo tanto se puede explotar para aumentar la resolución del azimut.

Sin embargo esta capacidad es limitada en superficies con cambios rápidos en ella que pueden reducir el tiempo de coherencia y por ende en la longitud del tiempo de integración del SAR, por ejemplo sobre los océanos.

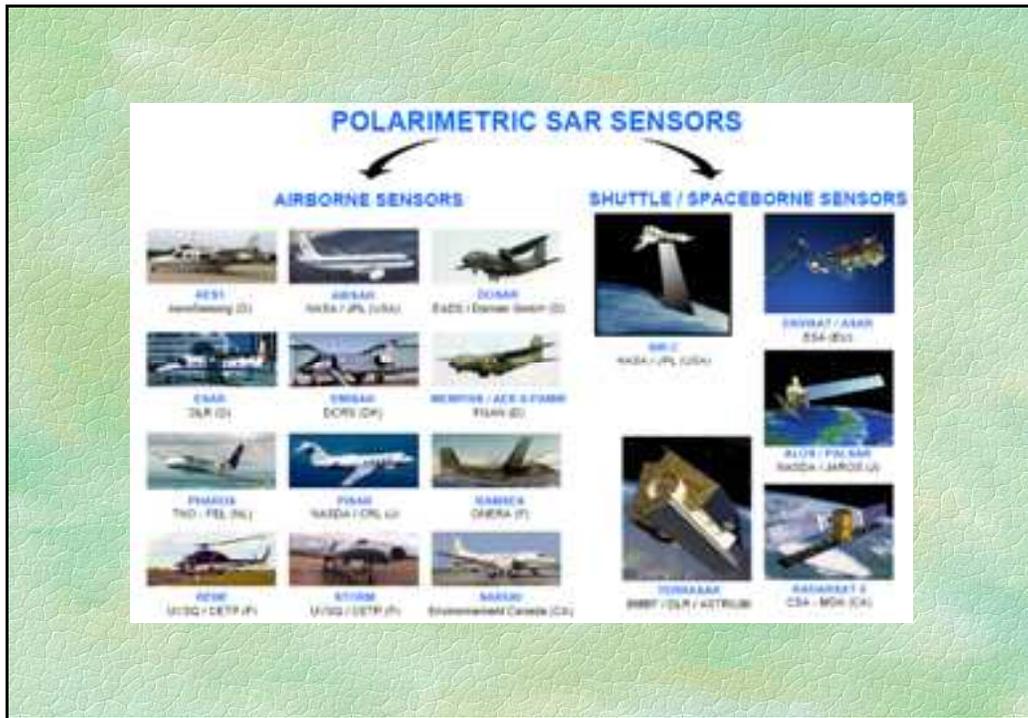
Otra característica de este modo es el hecho de que los objetos están observados bajo una gama más amplia de ángulos y se puede utilizar especialmente para interferometría a lo largo del track (ATI).

Scan



El modo **Scan** es una forma de aumentar el ancho del swath para los SAR, sin modificar el tamaño de la antena. Este modo es muy importante para todo aquello que necesite monitoreo de áreas extensas que no requieran alta resolución. Además, para la detección de blancos muy brillantes las particularidades de las imágenes SAR en general permiten que los mismos puedan ser detectados aunque sean muy pequeños en relación a la resolución espacial.

En este modo se toman imágenes de varios subswaths (del ancho de una Stripmap) paralelos a la dirección avance del SAR seleccionando los distintos ángulos de elevación para cubrir toda la escena.



Sensors(*)	Band	Polarization	Incidence angle	Resolution (m)	Swath Width (km)	Country
ERS-1&2	C	VV	23°	26	100	
RADARSAT-1	C	HH	10-59°	10-100	50-500	
JERS-1	L	HH	38°	18	75	
ALMAZ(*)	S	HH	30-60°	15-30	20-45	
SEASAT(*)	L	HH	20-26°	25	100	
ENVISAT ASAR	C	HH VV HH+HV VV+VH HH+VV	15-45°	30-1000	50-500	
SIR-C/X SAR(*)	X	VV	15-50°	30	15-60	
SIR-C/X SAR(*)	L, C	HH+VV+HV+VH	15-50°	30	15-60	
ALOS-PALSAR	L	HH VV HH+HV VV+VH HH+VV+HV+VH	8-60°	10-100	20-350	

SAOCOM	L	HH VV HV VH HH+HV VV+VH HH+VV+HV+VH	15-45°	7-100	50-400	
RADARSAT-2	C	HH VV HH+HV VV+VH HH+VV+HV+VH	10-60°	3-100	10-500	
TerraSAR-X	X	HH VV HV VH HH+HV VV+VH HH+VV+HV+VH	20-55°	≥ 1	5-100	
TerraSAR-L	L	HH VV HH+HV VV+VH HH+VV+HV+VH	20-45°	5	20->200	

SIASGE: Sistema operativamente integrado por las misiones satelitales COSMO SkyMed (Italia) y SAOCOM (Argentina), las cuales comparten específicas órbitas para obtener casi simultáneamente observaciones terrestres en bandas SAR X y L, respectivamente.




Towards SAOCOM_(4/16)


SAR *AeroTransportado* (Airborne SAR)

Two L-band airborne SAR:

- **SARAT 1**: SAOCOM SAR **uses tests & applications developments**
- **SARAT 2**: SAOCOM SAR **hardware concept test & system functionality**

construction objectives:

- Technological validations
- Applications development
- Antenna concept test
- Data archiving & processing methods evaluation



main requirements:

- **Same frequency** band of SAOCOM
- **Similar bandwidth**
- Equivalent available **power**
- Extended signal **dynamic range**
- **Scaled** SAOCOM antenna (same design)

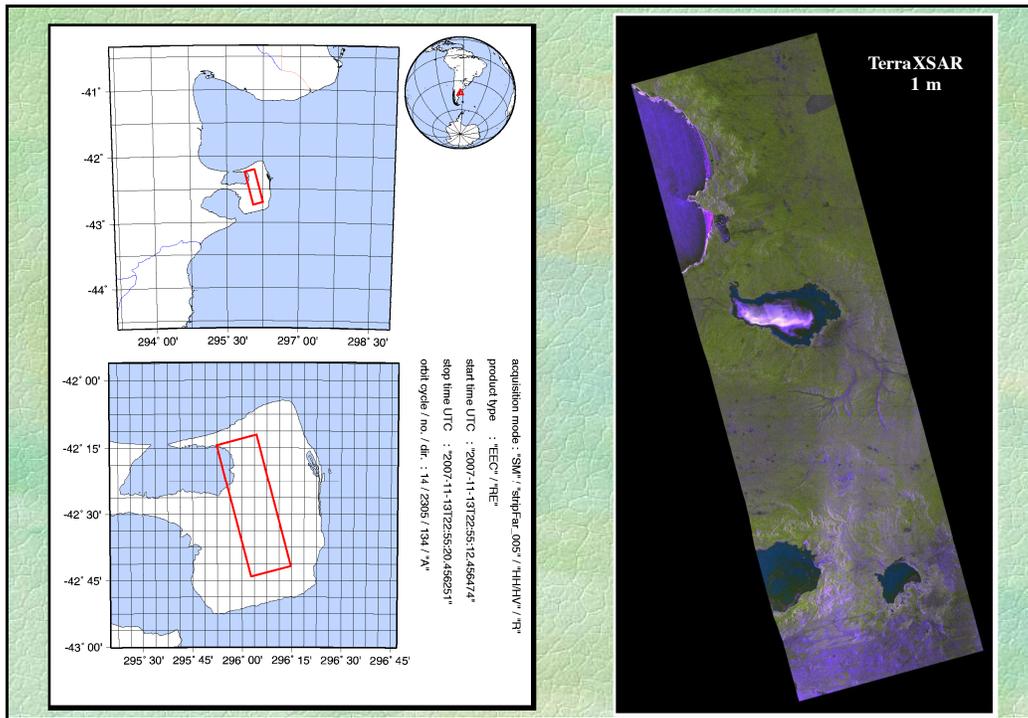
SARAT 2 → under development

TerraSAR-X

Imaging Mode Characteristics

	StripMap		Scan SAR
Swath width (ground range)	30 km / 15 - 30 km for polarimetric mode	Number of sub-swaths	4
Acquisition length	max. ca. 1650 km	Swath width (ground range)	100 km
Incidence angle range	20° - 45°	Acquisition length	max. ca. 1650 km
Azimuth resolution	3 m	Incidence angle range	20° - 45°
Ground range resolution	1.7 m - 3.5 m (@45° .. 20° incidence angle)	Azimuth resolution	16 m
		Ground range resolution	1.7 m - 3.5 m (@ 45° .. 20° incidence angle)

	Spotlight		High Resolution
Scene extension	10 km (azimuth) x 10 km (ground range)	Scene extension	5 km (azimuth) x 10 km (ground range)
Incidence angle range (full performance)	20° - 55°	Incidence angle range	20° - 55°
Maximum azimuth steering angle range	± 0.75°	Maximum azimuth steering angle range	± 0.75°
Azimuth resolution	2 m	Azimuth resolution	1 m
Ground range resolution	1.5 m - 3.5 m (@ 55° .. 20° incidence angle)	Ground range resolution	1.5 m - 3.5 m (@ 55° .. 20° incidence angle)



Advanced Land Observing Satellite (ALOS)

<http://www.asf.alaska.edu/alos/>

AVNIR-2
Advanced Visible and Near Infrared Radiometer - 2

Observation Band:	1: 0.42-0.50 microns 2: 0.52-0.60 microns 3: 0.61-0.69 microns 4: 0.76-0.89 microns
S/N:	>200
MTF:	0.2 or more
Special Resolution:	10 m (at NADIR)
Swath Width:	70 km (at NADIR)
Pointing Angle:	+ or -44°

PRISM
Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping

Observation Band:	0.52 - 0.77 mm
Number of Optics:	3 (Nadir/Forward/Backward)
Base Height Ratio:	1.0 (Forward to Backward)
S/N:	> 70
MTF:	> 0.2
Special Resolution:	2.5 m (at NADIR)
Swath Width:	35 km (Triplet mode) 70 km (Nadir Only, wide swath mode)
Pointing Angle:	+ 1.2 deg

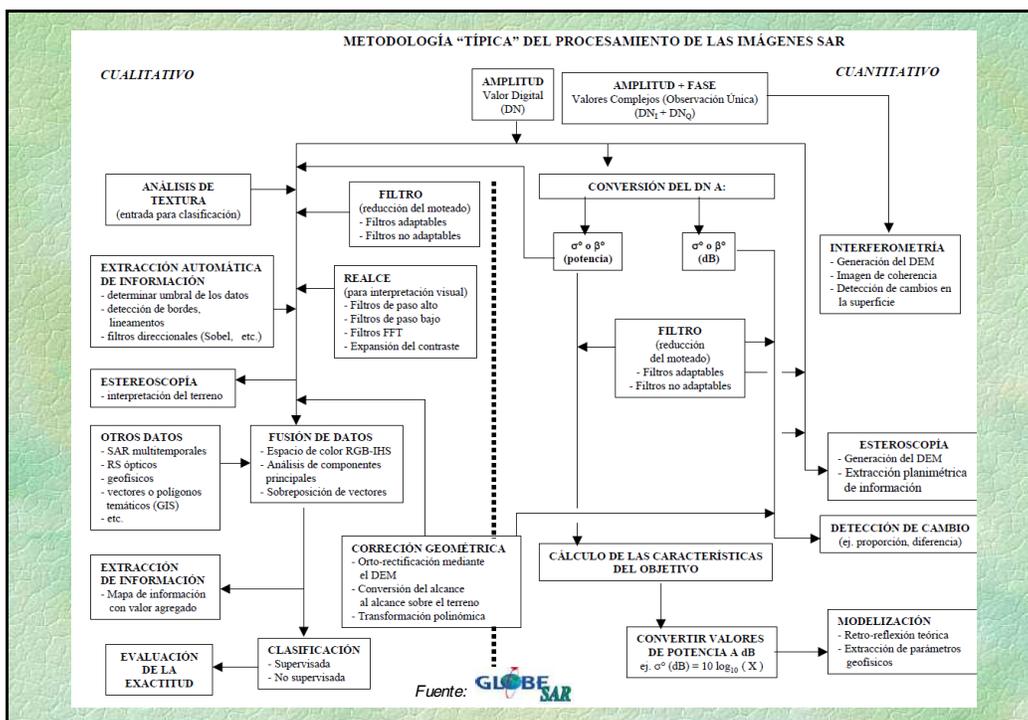
PALSAR
Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar

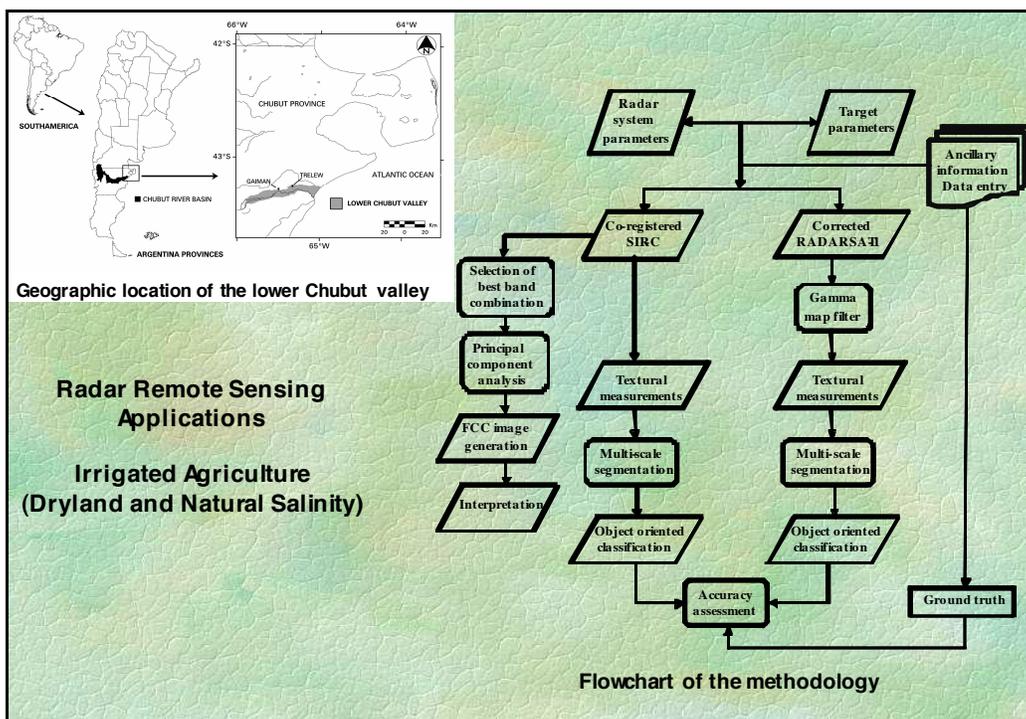
	High Resolution	ScanSAR
Polarization	HH, VV, HH&HV, VV&VH	HH, VV
Special Resolution	10 m	100 m
Number of Looks	2	8
Swath Width	70 km	250-350 km
Frequency	L-Band (1.27 GHz)	
Off-nadir Angle	41.5° (default)	
NE Sigma 0	Approximately -23 dB	

Characteristics of Earth orbital SAR systems

Characteristics	SIR-C SAR †	ERS 1-2 SAR ‡	ENVISAT ††	RADARSAT-1 †††	ALOS/PALSAR #
Acquisition Date (dd-mm-yy)	05-10-94	09-07-92 22-02-98 28-07-01 02-05-02	11-04-04 14-07-06	01-01-05	14-02-07 17-02-08
Product Type	Multi-Look Complex (MLC)	Precision Image (PRI)	ASAR Alternating Polarization Mode Precision Image (ASA_APP_1P)	SAR Georeferenced Fine Resolution (SGF)	Level 1 Multi-look Data (HI_5-UA)
Orbit Direction	Ascending (east looking)	Descending (west looking)	Descending (west looking)	Descending (west looking)	Ascending (east looking)
SAR Band	C, L	C	C	C	L
Wavelength (cm)	5.8, 23.9	5.6	5.8	5.7	24
Polarization	HH, HV	VV	VV, HH VV, VH	HH	HH
Incidence Angle (degree)	55.8	23	23	35	34.3
Frequency (GHz)	5.3, 1.25	5.25	5.25	5.3	1.27
Pulse Bandwidth (MHz)	10-20	15.5	9	11.6-17.3	28-14
Number of Looks	4	1, 2	1	1	2
Nominal Ground Range Resolution (m)	25	25	30	9	10
Nominal Azimuth Resolution (m)	30	30	30	8	10
Line/Pixel Spacing (m)	12.5	12.5	12.5	6.25	6.25
Noise Equivalent σ_n (dB)	-34 (C-band) -50 (L-band)	-24.8	-20.4	-20	-31.1
Wind direction, Wind speed ($m s^{-1}$)	SW, 1.8	SE, 3.1 SW, 2.1	NE, 5.8 W, 8.1	NE, 2.1 W, 0.5	SW, 7.0 NE, 1.3 SW, 2.9

† Freeman (1995). ‡ Laur et al. (2004). †† Desnos et al. (2000). ††† CSA, 2000. # JAXA (2008).





Realce Radiométrico

Contenido

- Filtrado
- Reducción del moteado
- Definición
- ¿Por qué se necesita filtrar el moteado?
- ¿Cuál es el filtro ideal para la reducción del moteado?
- Filtros no adaptables (filtro FFT)
- Filtros adaptables (filtros de Frost, Lee, Gamma MAP, etc.)
- Filtrado para Realce Espacial
- Baja Frecuencia (filtros promedio, Gaussiano y mediana)
- Alta Frecuencia (filtros Gradiente, Sobel, Detector de Bordes, de textura y FFT)

 El **objetivo** de la **calibración radiométrica** es **tomar en cuenta todas las contribuciones a los valores radiométricos que no se deban a las características del objetivo o blanco**, de forma que los valores de retrodispersión puedan compararse entre sí, o con otros valores de referencia.

 Los datos y los cálculos no son “perfectos”. La incertidumbre en los valores radiométricos puede **aumentar** por el procesamiento posterior por parte del usuario.

 Al relacionar los valores radiométricos con mediciones en el terreno, se deben tomar en cuenta las **incertidumbres** de ambas evaluaciones

CALIBRACIÓN - calibration

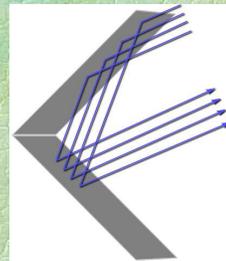
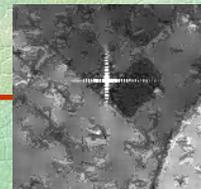
El acto o proceso de comparar con un estándar ciertas medidas específicas de un instrumento.

CALIBRADOR ACTIVO DE RADAR (ARC) - active radar calibrator

Instrumento de microondas en una estación terrena que genera en la imagen final un respuesta puntual de potencia (**sección transversal de radar**) y posición conocidas. **Cuando es iluminado por el pulso de un SAR, el ARC amplifica y retransmite ese pulso de regreso hacia el radar. Un ARC puede imponer en la señal retransmitida desplazamientos de tiempo controlados, desplazamientos Doppler o rotación de la polarización, con el fin de favorecer ciertos objetivos específicos de la calibración.**

Calibration of SAR

- 🌐 Emphasis is on radiometric calibration to determine the radar cross section.
- 🌐 Calibration is done in the field, using test sites with transponders.



Retro-dispersión difusa



BETA CERO (β^o) - beta nought

Coeficiente de la brillantez del terreno o un objeto, determinada por el radar. Se asocia a la reflectividad por unidad de superficie en función de la dirección del alcance.

- if β_{ij}^o is expressed in decibels, by:
$$\beta_{ij}^o = 10 * \log_{10} \left[\frac{DNI_{ij}^2 + DNQ_{ij}^2}{A_j^2} \right]$$
- if β_{ij}^o is expressed in amplitude values, by:
$$\beta_{ij}^o = \sqrt{\frac{DNI_{ij}^2 + DNQ_{ij}^2}{A_j^2}}$$
- if β_{ij}^o is expressed in power values, by:
$$\beta_{ij}^o = \frac{DNI_{ij}^2 + DNQ_{ij}^2}{A_j^2}$$

- β_{ij}^o = radar brightness for the j^{th} pixel in the i^{th} line
- $DN_{i,j}$ = digital number recorded for the j^{th} pixel in the i^{th} line
- A_j = scaling gain value for the j^{th} pixel which is obtained by linear interpolation of the gain values. It corresponds to the expanded gain scaling table value for column j (see details in *Shepherd 2000*)
- A_o = fixed offset from the first member of A0SEG. It is obtained directly from the image data
- $DN_{i,j}$ = digital number of the I image for the j^{th} pixel in the i^{th} line
- $DNQ_{i,j}$ = digital number of the Q image for the j^{th} pixel in the i^{th} line



SIGMA CERO (σ^o) - sigma nought

Coeficiente de reflexión de la intensidad de las señales reflejadas por un objeto distribuido. Es un número normalizado que compara la intensidad de la señal observada con la intensidad esperada que proviene de un área de un metro cuadrado. **Sigma Cero es definido con respecto al plano nominalmente horizontal y en general tiene una variación significativa con el ángulo de incidencia, con la longitud de onda y con la polarización, así como con las propiedades de la superficie misma.**

$$\sigma = A * \sigma^o$$

- σ = radar cross section (m^2)
- A = antenna surface (m^2)
- σ^o = backscatter coefficient = radar backscatter = **sigma-naught**

- if σ_{ij}^o is expressed in decibels:
$$\sigma_{ij}^o = \beta_{ij}^o + 10 * \log_{10} [\sin(\theta_j)] = 10 * \log_{10} \left[\frac{(A_o + DN_{ij}^2)}{A_j} \right] + 10 * \log_{10} [\sin(\theta_j)]$$
- if σ_{ij}^o is expressed in amplitude values:
$$\sigma_{ij}^o = \beta_{ij}^o * \sqrt{\sin(\theta_j)} = \sqrt{\frac{DN_{ij}^2 + A_o}{A_j}} * \sin(\theta_j)$$
- if σ_{ij}^o is expressed in power values:
$$\sigma_{ij}^o = \beta_{ij}^o * \sin(\theta_j) = \frac{(A_o + DN_{ij}^2)}{A_j} * \sin(\theta_j)$$



GAMMA CERO (γ^0)

Coeficiente obtenido cuando la superficie de la Antena (**A**) es reemplazada por su proyección (**A_g**) en la dirección de la transmisión, y es computada como una función del alcance del terreno.

$$\gamma^0 = \sigma / A_g = \sigma / A * \sin(\gamma) = \sigma / A * \cos(\theta_i)$$

Conversiones de valores digitales a β^0 y σ^0



Se realizan mediante programas pertenecientes a terceros.



Requieren de aproximaciones:

- para los algoritmos en el procesador.
- para la geometría de la adquisición de la imagen.

Referencia: Shepherd, N., ALTRIX Systems, "Extraction of Beta-Nought and Sigma-Nought from RADARSAT CDPF Products," CSA Document AS97-5001, Rev. 4, 28 de Abril 2000. Publicación bajo contrato de la CSA a S. Srivastava.

-  Existen métodos para mejorar las características radiométricas de una imagen usando **filtros de reducción del moteado, filtros de realce espacial y mejoras visuales.**
-  Entender el proceso de moteado en una imagen de radar es un elemento clave para la comprensión del SAR y su realce radiométrico. Frecuentemente se desea la reducción del moteado para perfeccionar la clasificación y/o para el realce.
-  **Para reducir el moteado, se prefieren usar los filtros adaptables** (ej. filtro gamma map) en lugar de los filtros no adaptables (ej. filtros FFT).
-  **Los filtros adaptables toman en cuenta las propiedades locales de la retrodispersión del terreno o la naturaleza del sensor,** mientras que los filtros no adaptables no lo hacen.

Supresión (reducción) del moteado

-  El moteado es el resultado de un **proceso coherente** (en el que se incluye la **fase**). Se puede **reducir** el moteado por medio de **procesos incoherentes** (al considerar la **amplitud** o la **potencia**).
-  La **reducción del moteado (o suavizado)** disminuye la resolución (**incrementa el tamaño de las células de resolución**) de los datos SAR de **un solo canal**.
-  Existen dos procesos lineales de supresión:
 1. Mediante observación múltiple se divide la señal en bandas de frecuencia con un cierto mínimo de sobre-posición; se procesa cada banda para generar una imagen de resolución reducida. Se registran las imágenes, se detectan y se suman esas imágenes detectadas.
 2. Al promediar, a partir de una imagen de resolución completa, se obtiene el promedio local y se sub-muestrea para generar una imagen con resolución y moteado reducidos.

¿Por qué filtrar el moteado?

-  La presencia del **ruido** del moteado tiene que ser considerada cuando se hace la selección de las metodologías para el análisis.
-  Al filtrar el moteado se permitirá lo siguiente:
 - **una mejor identificación de los objetivos o blancos en una escena.**
 - **una segmentación automática de la imagen más fácil.**
 - **la aplicación de las herramientas clásicas para el realce desarrolladas para imágenes de sensores ópticos, tales como: detectores de bordes, clasificadores de texturas y clasificadores en base a los píxeles.**

¿Cuál es el filtro ideal para reducir el moteado?

-  **Aquel que reduce el moteado con una pérdida mínima de información.**
-  En las **áreas homogéneas**, el filtro debe preservar:
 - **la información radiométrica.**
 - **los bordes entre distintas áreas.**
-  En las áreas con cierta **textura**, el filtro debe preservar:
 - **la información radiométrica.**
 - **la variabilidad de la señal espacial: información de textura.**

Filtros No Adaptables:

- Se consideran los **parámetros de la señal de la imagen completa**.
- **No toman en consideración las propiedades locales de la retrodispersión del terreno ni la naturaleza del sensor.**
- No son apropiados para filtrar la señal de escenas no estacionarias: por ejemplo los filtros FFT.

Filtros Adaptables:

- Consideran los cambios en las **propiedades locales de la retrodispersión del terreno**.
- **El ruido del moteado se modela como proceso no estacionario.** Filtros Frost, Lee, Map Gamma, de promedio local y de mediana local.

Tamaño de las matrices para el filtrado

El grado de suavizado está en función del tamaño de la matriz para el filtrado. Al aumentar el tamaño de la matriz, el suavizado aumenta.

PROMEDIO

5	7	4
9	8	6
5	5	8

$5+7+4+9+8+6+5+5+8 = 57$
 $57 \div 9 =$
PROMEDIO = 6

MEDIANA

5	7	4
9	8	6
5	5	8

4,5,5,5,6,7,8,8,9
MEDIANA = 6

MODA

5	7	4
9	8	6
5	5	8

4
 555
 6
 7
 88
 9

MODA = 5

3 x 3 5 x 5 7 x 7

Fuente: Centro Canadiense de Percepción Remota Fuente: GLOBE SAR

Filtros promedio y mediana



Promedio

La intensidad en cada intervalo de muestreo en la imagen, se reemplaza por el promedio de los valores de los píxeles localizados dentro de una ventana móvil que rodea la muestra.

El filtro caja o promedio conserva bien las características radiométricas, pero **induce un efecto borroso en las áreas con una cierta textura.**



Mediana

El filtro mediana asigna el valor de la mediana de la ventana a cada muestra.

Conserva de mejor manera la información de **textura.**

Modifica la información radiométrica de áreas homogéneas y **no conserva** la señal característica de los reflectores puntuales

No se recomienda para las imágenes de radar.

Filtrado adaptable



Los filtros adaptables (ej. Map Gamma) **reducen el moteado al mismo tiempo que conservan los bordes (variación intensa del contraste).**



Los filtros adaptables **modifican la imagen basándose en estadísticas extraídas del entorno local de cada píxel.**



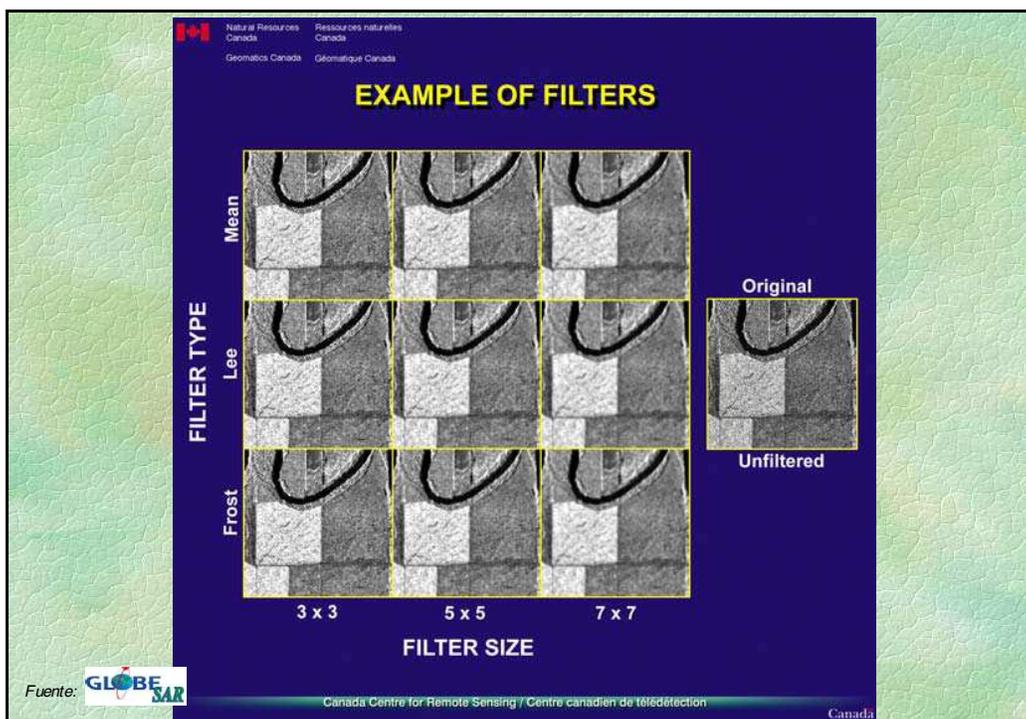
Las ventanas de mayor tamaño producen un aumento considerable en el efecto de suavizado en la imagen resultante.

Ventajas de los filtros adaptables

-  La mayoría de los filtros adaptables mejor conocidos requieren de los cálculos del promedio local observado y de la desviación estándar normalizada (**coeficiente de variación**).
-  El filtro adaptable proporciona una estimación precisa del coeficiente de retrodispersión de áreas homogéneas (estacionarias). Además, conserva la estructura de los bordes y de la textura en escenas no estacionarias.

El filtro Frost

-  El valor del píxel sin moteado se estima mediante una sub-ventana de la ventana de procesamiento.
-  El tamaño de la sub-ventana varía en función de la **heterogeneidad local del terreno** medida en términos del **coeficiente de variación**: mientras mayor sea el coeficiente de variación, más estrecha es la sub-ventana de procesamiento.
-  El filtro **Frost mejorado** (Lopes, Touzi y Nezri, IEEE, 1990) **minimiza la pérdida de información radiométrica y textural**.

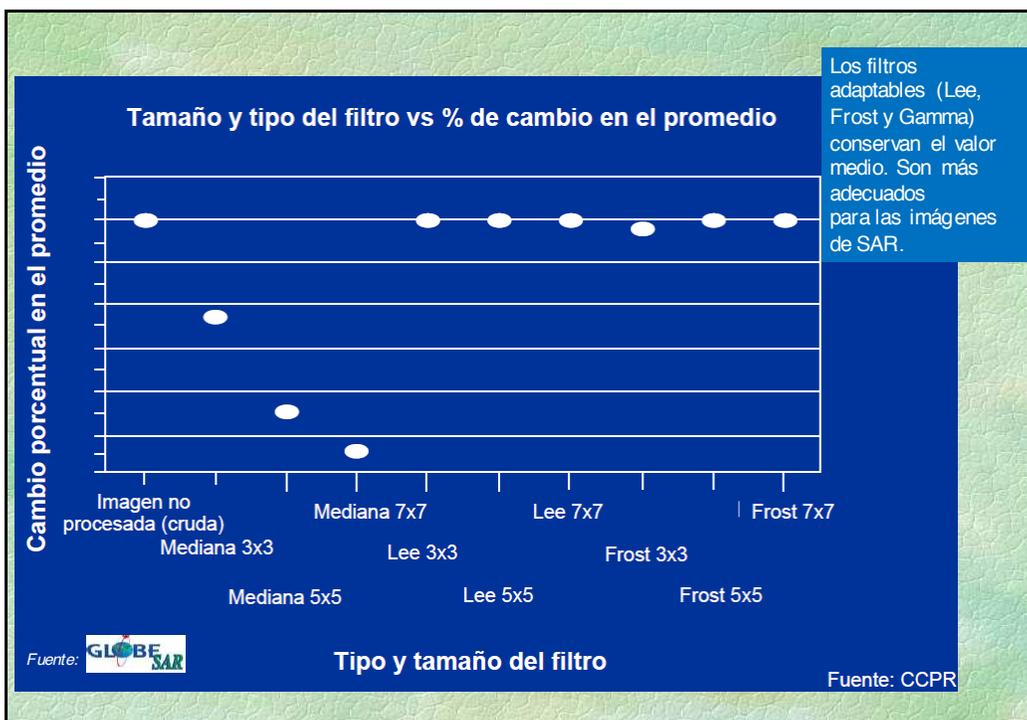


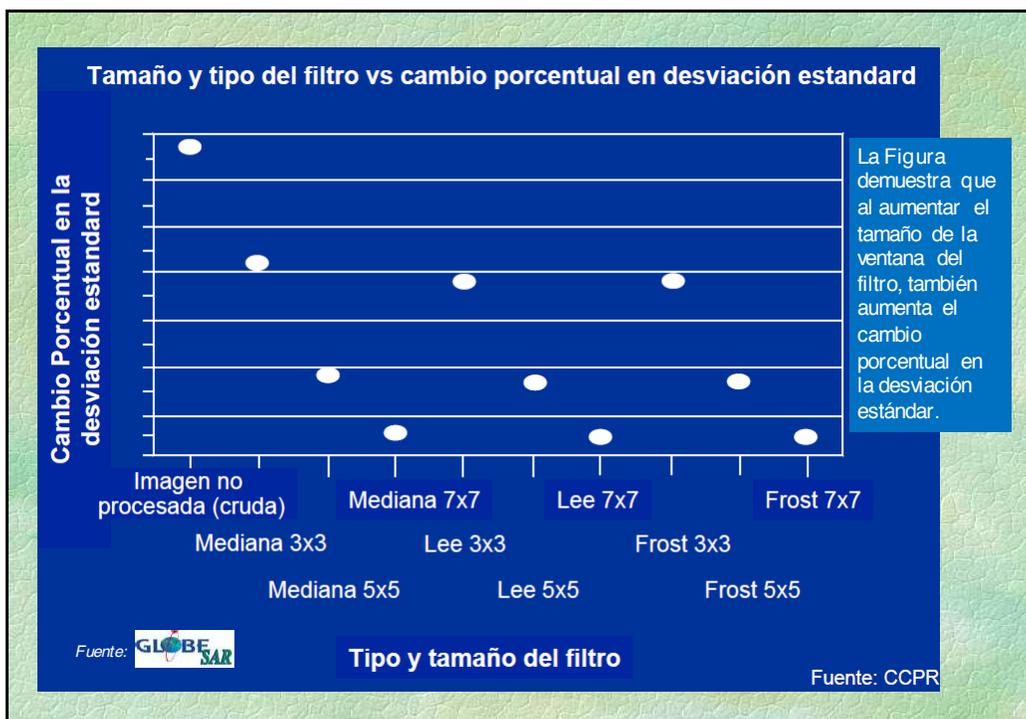
El filtro Lee

-  El valor del píxel sin moteado es la suma ponderada del valor del píxel observado (central) y del valor promedio.
-  El coeficiente ponderado es una función de la heterogeneidad local del terreno medida en términos del coeficiente de variación.
-  El filtro Lee mejorado (Lopes, Touzi y Nezri, IEEE, 1990) **minimiza la pérdida de información radiométrica y textural.**
-  **Los filtros mejorados de Lee y Frost funcionan de manera similar.**

El filtro MAP Gamma

- Este filtro está basado en la suposición de que la intensidad (**sin moteado**) de la escena tiene una **distribución Gamma**.
- Este filtro **minimiza la pérdida de información textural aún mejor que los filtros Frost y Lee, en casos de escenas con distribución Gamma**.
- El filtro MAP Gamma es apropiado para una gran variedad de escenas con distribución Gamma, tales como las **áreas arboladas, áreas agrícolas y océanos**.
- El filtro **conserva el valor observado del píxel en las escenas que no tienen distribución Gamma**.





Detección de bordes en las imágenes SAR



Aplicación: Segmentación de la imagen en partes individuales, clasificación.

Tipos de filtros para la detección de bordes: **Direccional, Gradiente, Laplaciano, Sobel, Prewitt, Detector de Proporción de Bordes.**



Advertencias:

1. Los detectores de bordes clásicos, (ej.: **Gradiente y Sobel**) desarrollados para las imágenes de los sensores ópticos, **no son adecuados para las imágenes SAR.**
2. Debido a la tendencia multiplicativa del moteado, **estos filtros detectan más bordes falsos dentro de las áreas más brillantes.**
3. **Antes de usar los detectores clásicos de bordes las imágenes deben ser filtradas (Gamma).**

 El Detector de Proporción de Bordes (R. Touzi et al., 1988) es apropiado para las imágenes de SAR y no requiere pre-filtrado.

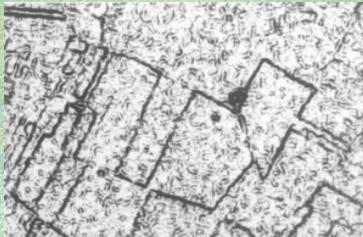
 El rendimiento del Detector de Proporción de Bordes es mejor porque no se pierde información durante la fase de pre-filtrado como con los detectores clásicos.

El filtro detector de proporción de bordes

Fuente: 



Imagen Original de SAR



Detector de Proporción de Bordes (5x5)

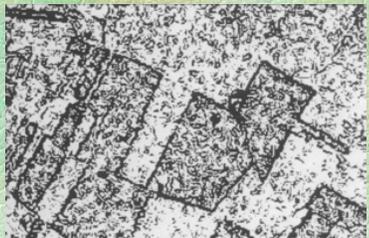


Imagen Gradiente (5x5)

Para el detector gradiente, la probabilidad de que un píxel de un área homogénea sea asignado a los bordes (P_f) depende de la potencia media. Esto se debe a la naturaleza multiplicativa del ruido.

El operador detecta una mayor cantidad de bordes falsos en las áreas más brillantes.

El detector de proporción de bordes es la proporción del promedio de los valores del píxel en dos vecindades que no se superponen, situadas en los lados opuestos del punto.

El P_f no depende de la potencia media.

El rendimiento del detector de proporción de bordes está en función del **tamaño de las vecindades**, la **cantidad de observaciones** y la **proporción de las potencias medias**.

El filtro Touzi con multiresolución para el moteado

-  Los filtros adaptivos más conocidos se desarrollaron suponiendo que la señal es estacionaria dentro de una ventana de tamaño fijo, que se mueve para el procesamiento (ejemplo: **el promedio y la variancia de la señal no varían durante el tiempo de observación**).
-  Los filtros **no son efectivos cuando se aplican a estructuras finas, tales como caminos o veredas, que generalmente se suavizan y se eliminan de la imagen.**
-  El tamaño y la forma de la ventana para el procesamiento de filtrado se adaptan a la no estacionariedad de la señal.
-  El filtro Touzi (con multi-resolución) detector de la razón de márgenes se usa para el mejor filtrado de contornos y de márgenes (Touzi et al., IEEE TGRS 1988). Esto permite una **reducción más efectiva del moteado y mejor preservación de las variaciones espaciales de la escena (textura, márgenes, objetos puntuales).**

Fuente: R. Touzi, CEOS workshop 1999.

Textura

-  **Textura es la variación espacial de los tonos de una imagen.**
-  La textura puede describir cualitativamente propiedades de una imagen, tales como **finura, aspereza, suavidad, carácter granular, aleatoriedad, presencia de líneas, moteado, irregularidades, etc.**
-  En una imagen SAR, la textura tiene dos componentes: (1) variabilidad espacial en las propiedades de reflexión difusa de la escena y (2) moteado.

Análisis de textura

 Los rasgos texturales contienen información sobre la distribución espacial de las variaciones de los tonos.

 Los métodos disponibles para analizar la textura son los siguientes:

1. Matriz de coincidencias en el nivel de gris (**GLCM**).
2. Vector de diferencias en el nivel de gris (**GLDV**).
3. Lacunaridad (**análisis de huecos**).
4. Matriz de dependencia en el nivel de gris vecino (**NGLDM**).
5. Función de **correlación espacial**.
6. Enfoques basados en **modelos**.

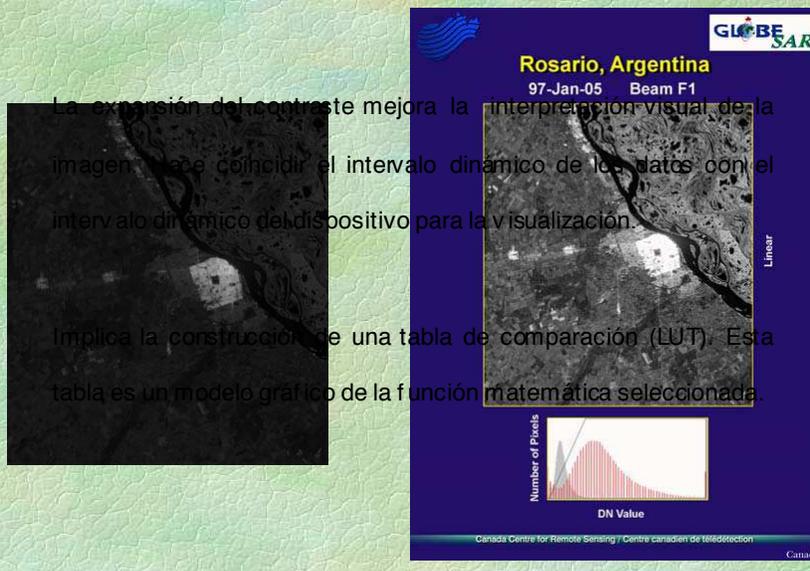
 La estadística de las características texturales pueden extraerse usando una matriz de coincidencias en el nivel de gris (**GLMC**).

 Los parámetros de la vecindad son especificados por el usuario.

 Las características del GLCM comprenden los siguientes algoritmos: **Homogeneidad, Promedio, Contraste, Desviación estándar, Disimilitud, Entropía, Segundo momento angular, Correlación**.

 Las técnicas para eliminar el moteado pueden no preservar todos los detalles de la textura de la escena.

Expansión del contraste



Expansión lineal

-  Se establecen valores efectivos para los límites máximo y mínimo.
-  Los valores superiores e inferiores del histograma son asignados a los límites máximos y mínimos respectivamente.
-  Se puede realizar expansión completa o por segmentos.
-  El balance de datos se estira en forma lineal para llenar el intervalo de visualización ampliado.

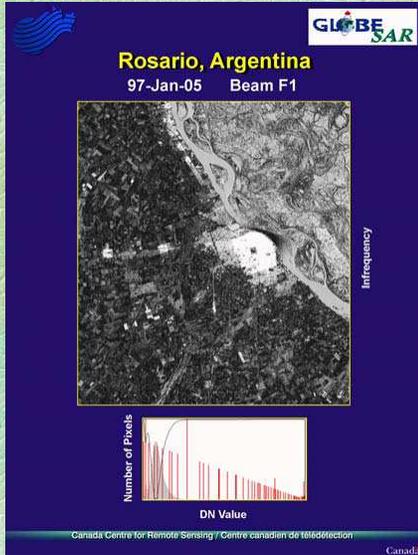
Realce no lineal

-  El realce no lineal distorsiona las características radiométricas de la imagen.
-  Es útil sólo para la interpretación visual.
-  Se puede perder información radiométrica cuantitativa.
-  La información espacial se conserva.
-  Es posible que los resultados no sean reproducibles de una escena a otra.

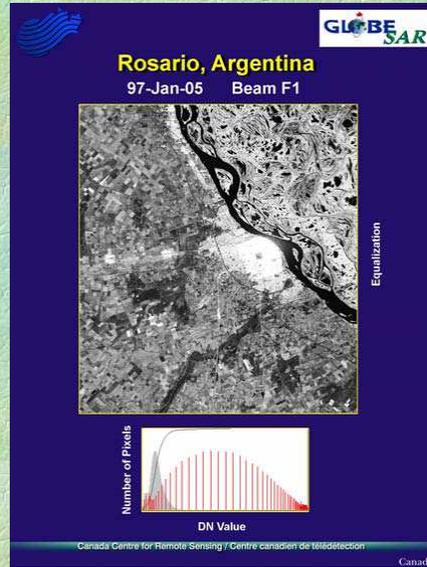
Expansión del histograma

-  Es posible que no se utilice completamente el intervalo dinámico del dispositivo para la visualización.
-  En los datos resultantes, se utiliza completamente el intervalo dinámico del dispositivo para visualización.
-  La expansión del histograma realza el contraste donde la frecuencia de ocurrencia es más alta.
-  Existen las siguientes opciones:
 - Frecuencia inversa.
 - Ecuilización de frecuencia.
 - Normalización Gaussiana.
 - Histograma equivalente.

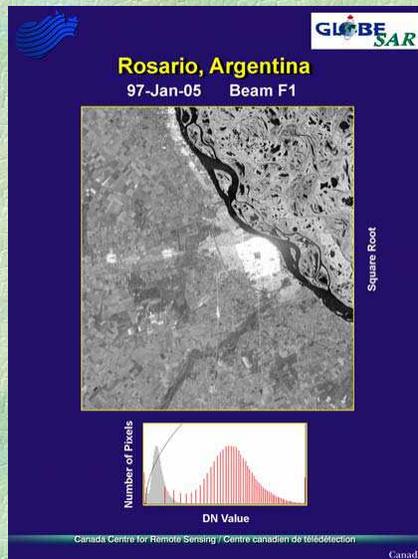
Realce mediante frecuencia inversa



Ecuación de frecuencia



Expansión logarítmica



Características geométricas



Etapas

1. Revisión de la geometría de la relación Terreno/Plataforma.
2. Adquisición de la imagen.
3. Desplazamiento del relieve (escorzo, inversión por relieve, sombra).
4. Distorsión radiométrica (ángulo de incidencia local, brillantez de la imagen).
5. Corrección Geométrica.
6. Principio de geocodificación del SAR.
7. Métodos disponibles (alcance a alcance sobre el terreno, método polinomial, método radargramétrico).
8. Propagación del error del modelo de elevación digital en la ortoimagen.
9. Fuentes de error y propagación.
10. Remuestreo de la imagen.

Tener en cuenta que



Las características geométricas del radar son muy diferentes a las de percepción remota óptica.

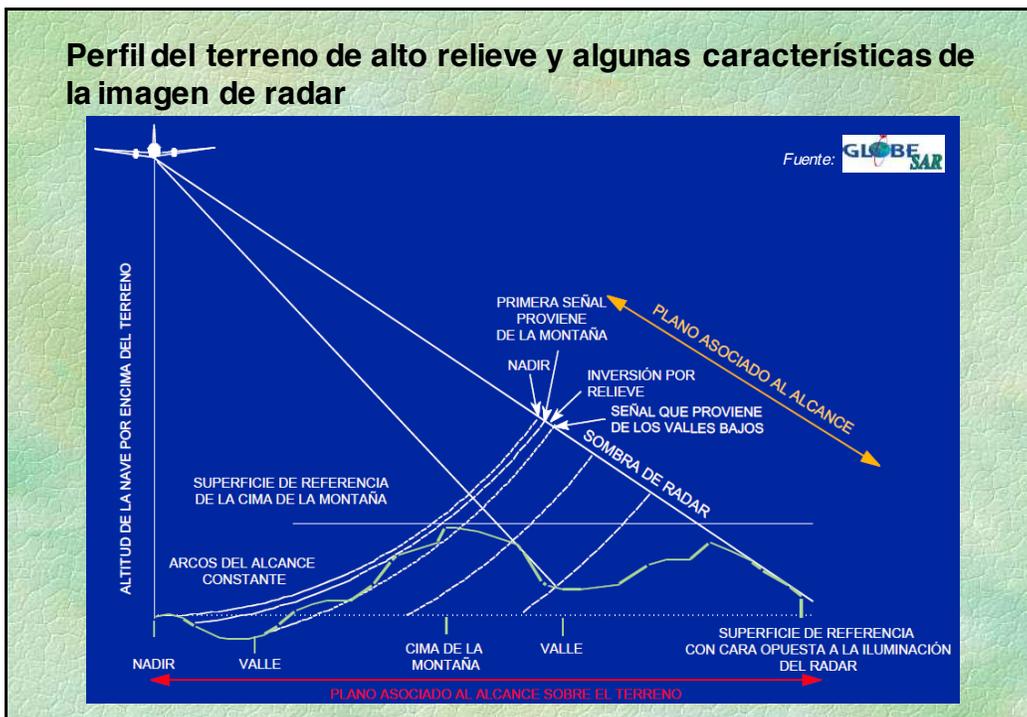


Los sistemas de radar son sistemas de medición de distancias de observación lateral, por lo tanto, el ángulo de incidencia, el ángulo de incidencia local y la dirección de iluminación son parámetros geométricos de gran importancia.



Debido a la geometría de la iluminación lateral del radar se producen algunas distorsiones geométricas, como las distorsiones de la escala a lo largo del alcance y las distorsiones del relieve.

Perfil del terreno de alto relieve y algunas características de la imagen de radar

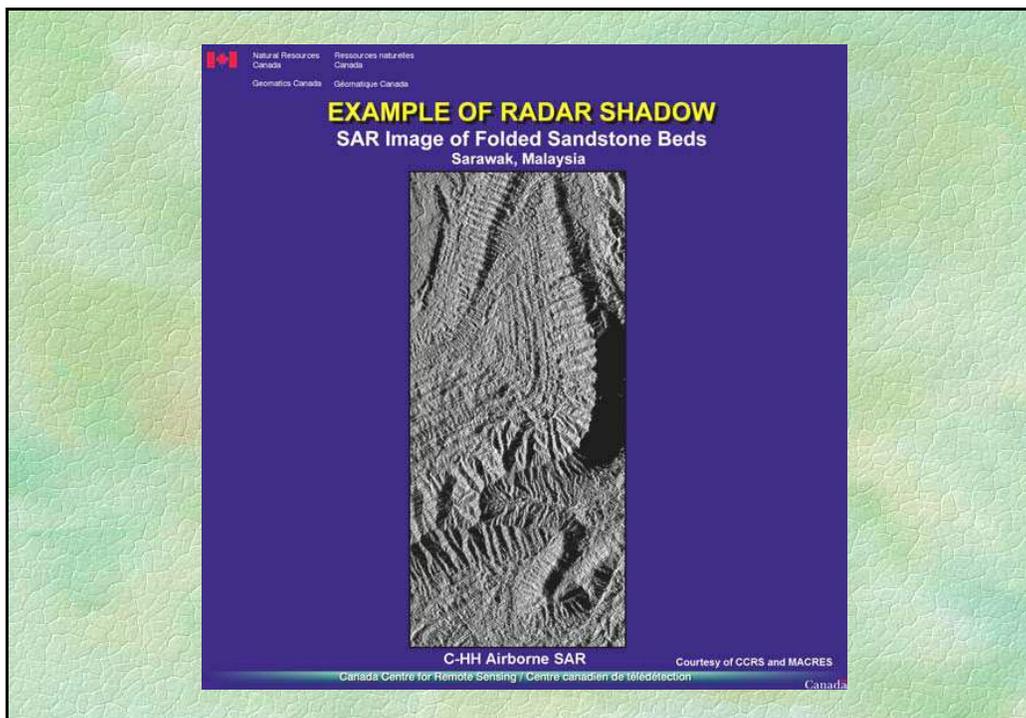


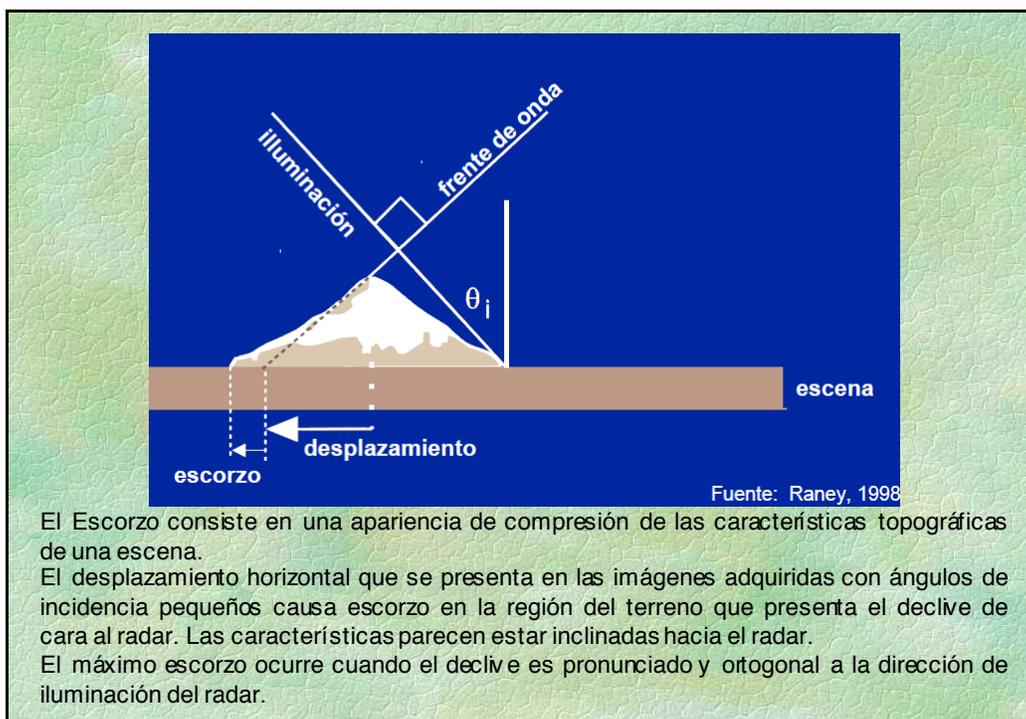
Efecto de la topografía / ángulo de incidencia local en la brillantez de la imagen

-  El declive topográfico local puede tener un efecto significativo en la brillantez de la imagen.
-  El declive topográfico local causa cambios en el ángulo de incidencia local.
 - Si el ángulo de incidencia local es pequeño, la señal que recibe el radar es más brillante (más intensa).
 - Si el ángulo de incidencia local es mayor, la señal que recibe el radar es más oscura (menos intensa).
-  Los efectos radiométricos inducidos por el declive topográfico local pueden ser útiles para algunas aplicaciones, como la geomorfología y la geología.

Desplazamiento de la topografía

-  El desplazamiento horizontal que se presenta en una imagen de radar es mayor cerca del nadir, y se reduce con el ángulo de incidencia.
-  El desplazamiento horizontal puede ser severo cuando se presentan ángulos de incidencia pequeños.
-  En contraste, el desplazamiento topográfico en imágenes de sistemas ópticos aumenta con el ángulo de incidencia.





Inversión por Relieve

-  La **inversión por relieve** es un **caso extremo de escorzo** y ocurre cuando el **ángulo de incidencia es menor que el declive topográfico local**.
-  El **desplazamiento horizontal extremo** causa que la **cima de una montaña se represente sobre el declive de cara al radar**.
-  En el caso de la inversión por relieve **no se presenta sombra** en la imagen de radar, pero sí se da un **desplazamiento severo en la elevación del terreno e inversión** de la región con declive de cara al radar.
-  Es difícil de interpretar ya que cada píxel puede contener **reflexión procedente de más de un área**.

Corrección geométrica

-  La corrección geométrica incluye pasar del alcance (slant range) al alcance sobre el terreno (ground range), el registro y las correcciones del ángulo de incidencia local (**si se cuenta con información topográfica**).
-  Permite una correspondencia entre la posición de los puntos en la imagen final y su ubicación en una proyección cartográfica dada.
-  **Consiste en introducir desplazamientos espaciales en la imagen original.**

Corrección geométrica

-  Los algoritmos se clasifican de acuerdo a tres métodos:
 1. Método de conversión del alcance a alcance sobre el terreno (cero relieve).
 2. Método polinomial (aproximación con el mejor ajuste).
 3. Método radargramétrico (se conoce la geometría del sensor): utiliza información relativa a la elevación del terreno.
-  Se requiere la información de la elevación (DEM) para corregir las distorsiones causadas por los desplazamientos topográficos.
-  Todos los métodos emplean un operador de remuestreo durante la rectificación de las imágenes.

Conversión del alcance / alcance sobre el terreno

-  La conversión del alcance a alcance sobre el terreno puede realizarse, ya sea durante el procesamiento de la señal o durante el procesamiento de la imagen.
-  Generalmente se aplica después de la corrección radiométrica.
-  El enfoque y los algoritmos utilizados dependen de los objetivos del análisis.
-  En general, los radares en función del alcance sobre el terreno, suponen un modelo elipsoidal de la tierra a nivel del mar, con cero relieve.

Interpolación bilineal

-  Calcula niveles de gris como un promedio ponderado de los cuatro píxeles más cercanos en la imagen sin corregir, en donde el más cercano de los cuatro tendrá la mayor ponderación y el más lejano tendrá la menor.
-  **No es muy apropiado para imágenes de radar con ruido por moteado.**
-  Puede suavizar la apariencia de la imagen final.
-  **Altera los valores de gris.**
-  **Atenúa los márgenes y bordes en la imagen y disminuye la resolución.**

Convolución cúbica

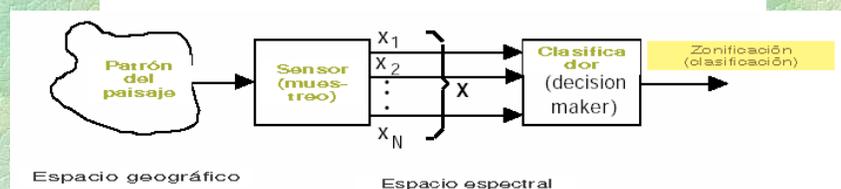
Utiliza el promedio ponderado de dieciséis píxeles circundantes para estimar el valor digital para la imagen final corregida.

Buen registro y apariencia del producto.

Requerimientos

Antes de clasificar es necesario contar con:

1. Un **modelo cuantitativo del sistema**, que consta de:
 - El modelo de la escena (cómo se distribuye estadísticamente en el espacio el fenómeno a estudiar)
 - El modelo del sensor (muestra con cierto tamaño de píxel y en determinadas regiones espectrales)
 - El modelo de procesamiento (ej. clasificador de patrones)
2. Un **criterio de optimización** que se expresa objetivamente (precisión en la clasificación)

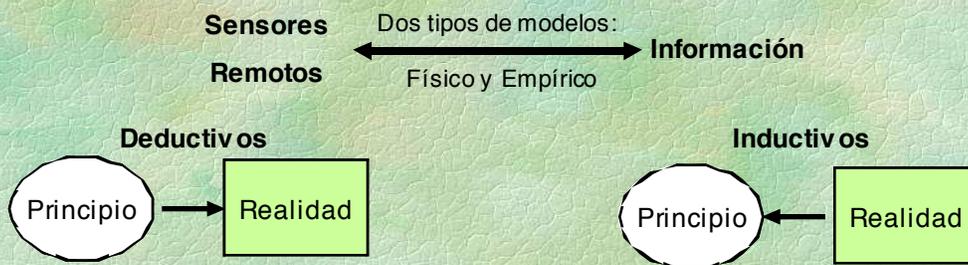


Etapas de extracción de información temática

1. Naturaleza del problema de la clasificación
2. Adquisición adecuada del tipo de Sensor Remoto y de geodatos de referencia
3. Procesamiento digital para la extracción de información temática
4. Evaluación de la verosimilitud

1. Naturaleza del problema de la clasificación

- Especificar el sitio, área o región de interés
- Definir las clases de interés
- Decidir si elegimos una clasificación dura o blanda
- Decidir si clasificamos a nivel de píxel o orientado al objeto



- **Deductivos**

- De validez general
- No requiere control del intérprete (aplicación automática)
- Muy complejos
- Aproximados (no se conoce exactitud)

- **Inductivos**

- De validez local
- Requieren ajuste por el intérprete
- Sencillos de calibrar
- De precisión conocida

2. Adquisición adecuada del tipo de Sensor Remoto y de geodatos de referencia

- Selección de los datos de Percepción Remota basado en los siguientes criterios:
 - a. Consideraciones del sistema Sensor Remoto (resolución espacial, espectral, temporal, radiométrica y angular)
 - b. Consideraciones ambientales (atmosféricas, humedad del suelo, ciclo fenológico, etc.)
- Obtener antecedentes de geodatos basados sobre un conocimiento a priori del sitio, área o región de estudio

3. Procesamiento digital para la extracción de información temática

- Corrección radiométrica (o normalización)
- Corrección geométrica y coregistro (multitemporal)
- Selección de una clasificación lógica:
 - a) Paramétrica: Máxima verosimilitud, agrupamiento, etc.
 - b) No paramétrica: Vecino más cercano, redes neuronales, etc.
 - c) No métrica: clasificador de árbol, etc.

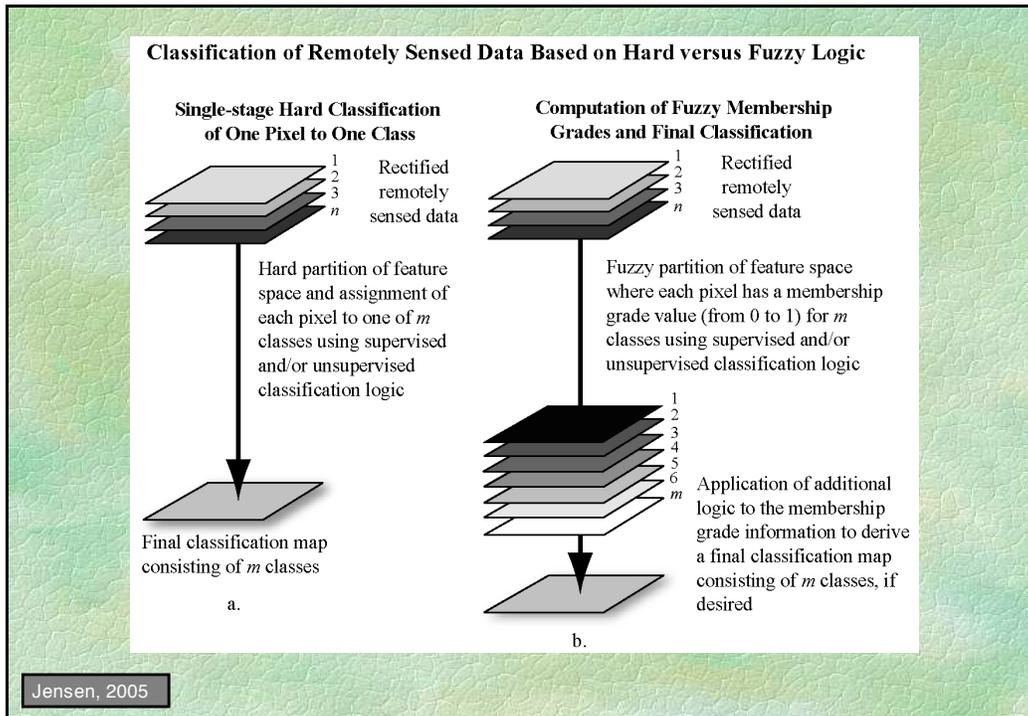
- Selección del algoritmo de clasificación adecuado:
 - a. Supervisado: Paralelepípedo, mínima distancia, máxima verosimilitud, técnicas hiperespectrales (codificación binaria de espectros, análisis de las diferencias frente a la tendencia, clasificación angular, análisis de mezclas espectrales)
 - b. No supervisado: Método en cadena, múltiple paso ISODATA, clasificación borrosa
 - c. Híbrido: Sistema experto de decisión en árbol, redes neuronales

Procesamiento digital.....

- Extracción inicial de datos de sitios de entrenamiento digital (opcional)
- Selección de las bandas más apropiadas usando indicadores basados en métodos gráficos y estadísticos
- Extracción de estadísticas de entrenamiento y reglas de decisión basadas en la selección final de bandas y/o el aprendizaje interactivo
- Extracción de información temática para cada píxel o para cada objeto segmentado de la imagen (supervisado y no supervisado)

4. Evaluación de la verosimilitud

- Selección de métodos: Cualitativo de construcción de confianza y/o de medida estadística
- Determinación de muestras requerido por clase
- Selección del diseño y método de muestreo
- Obtención de la información de referencia
- Creación y análisis de la matriz del error: análisis estadísticos univariados y multivariados



Fundamental Image Analysis Tasks

- Detect, Identify, Measure
- Solve Problems

|

Application of the *Multi* concept

- Multispectral - Multifrequency - Multipolarization
- Multitemporal - Multiscale - Multidisciplinary

|

Use of *Collateral Information*

- Literature - Laboratory spectra - Dichotomous keys - Prior probabilities
- Field training sites - Field test sites - Soil maps - Surficial geology maps

Analog and Digital Image Analysis Tasks

Analog (Visual) Image Processing	Digital Image Processing
<i>Elements of Image Interpretation</i>	<i>How the Elements of Image Interpretation Are Extracted or Used in Digital Image Processing</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Grayscale tone (black to white) • Color (red, green, blue = RGB) • Height (elevation) and depth • Size (length, area, perimeter, volume) • Shape • Texture • Pattern • Shadow • Site, using convergence of evidence • Association, using convergence of evidence • Arrangement, using convergence of evidence 	<ul style="list-style-type: none"> • 8- to 12-bit brightness values, or more appropriately scaled surface reflectance or emittance • 24-bit color look-up table display <ul style="list-style-type: none"> - Multiband RGB color composites - Transforms (e.g., intensity, hue, saturation) • Soft-copy photogrammetry, LIDAR, radargrammetry, RADAR interferometry, SONAR • Soft-copy photogrammetry, radargrammetry, RADAR interferometry, measurement from rectified images • Soft-copy photogrammetry, radargrammetry, RADAR interferometry, landscape ecology spatial statistics (metrics), object-oriented image segmentation • Texture transforms, geostatistical analysis (e.g., kriging), landscape ecology metrics, fractal analysis • Autocorrelation, geostatistical analysis, landscape ecology metrics, fractal analysis • Soft-copy photogrammetry, radargrammetry, measurement from rectified images • Contextual, expert system, neural network analysis • Contextual, expert system, neural network analysis • Contextual, expert system, neural network analysis

Jensen, 2005

En general, **la información necesaria para el análisis de las imágenes de radar no se encuentra en los píxeles en los que se divide la imagen, sino en los objetos significativos de la misma y en sus relaciones mutuas.**

Una **inmensa mayoría** de las aplicaciones basadas en datos procedentes de **teledetección óptica** todavía **utiliza los conceptos básicos de procesamiento** de las imágenes desarrollados a **principios de los años setenta**, realizándose la clasificación de los píxeles de manera individual en un espacio multi-dimensional. Es decir, el contexto espacial juega un papel modesto en los análisis basados en píxeles individuales.

Los algoritmos clásicos basados en píxeles no son demasiado adecuados para la clasificación de imágenes de alta resolución. A pesar de que las técnicas están bien desarrolladas y se han producido avances sofisticados como el clasificador bayesiano, la regla de decisión de incertidumbre y la evaluación multi-criterio, estos algoritmos no hacen uso de conceptos espaciales.

La clasificación orientada a objetos tiene en cuenta, entre otros aspectos, las formas, las texturas y la información espectral presentes en la imagen. Su principio esencial es hacer uso de información importante (forma, textura, información contextual...) que sólo está presente en los objetos significativos de la imagen y en sus relaciones mutuas.

En definitiva, dividir las imágenes en toda una serie de objetos es un procedimiento fundamental para llevar a cabo con éxito un análisis de la imagen o para realizar una interpretación automática de la misma .

En este sentido, la segmentación de la imagen es un paso crítico para su posterior análisis y uno de los principales motivos para llevarla a cabo es que **la mayor parte de los datos de la imagen presentan una textura característica, que es siempre obviada en las clasificaciones tradicionales realizadas píxel a píxel.**

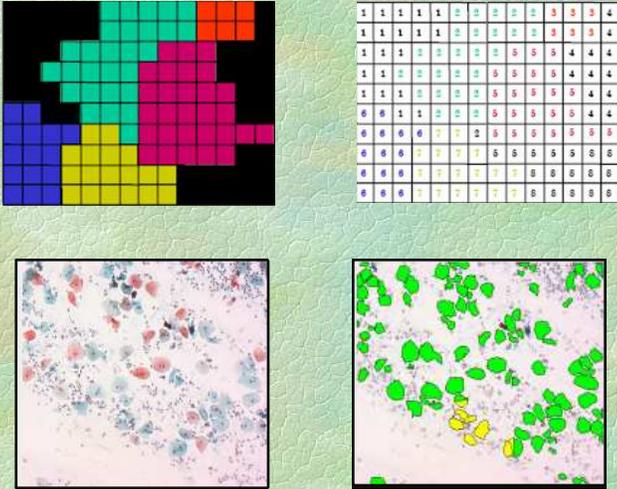
¿Qué es la segmentación?

La segmentación es el proceso que divide una imagen en regiones cuyos píxeles poseen atributos similares, por ejemplo, intensidad, textura, movimiento.

Idealmente cada región segmentada corresponde a un objeto que se encuentra en la escena.

La Segmentación se basa en el estudio de tres propiedades sobre las imágenes:

- **Similitud:** Cada uno de los píxeles de un elemento de la imagen tiene valores parecidos para alguna propiedad
- **Discontinuidad:** Los objetos destacan del entorno y tienen, por tanto, unos bordes definidos
- **Conectividad:** Los píxeles pertenecientes al mismo objeto tienen que ser contiguos, es decir, deben estar agrupados



Cada píxel de la imagen de entrada se la etiqueta con un valor numérico que indica su pertenencia a un grupo de píxeles que comparten una propiedad común

El Problema de la Segmentación

Dada una imagen digital encontrar una partición en regiones homogéneas y sus fronteras

Se supone que las regiones homogéneas son objetos perceptualmente significativos y los bordes sus límites

Algoritmos de Segmentación

- **Basados en el histograma:** Agrupa píxeles que tienen las mismas propiedades
- **Basado en la detección de bordes:** Objetos destacan de su entorno y tienen bordes definidos
- **Segmentación basada en regiones:** Combina información de ubicación espacial y Similitud de los píxeles

Al estar la imagen formada por píxeles, el primer paso en el análisis orientado a objetos es agrupar los píxeles adyacentes mediante técnicas de regiones crecientes, para posteriormente clasificar los objetos extraídos

Con ello el número de parámetros que se pueden valorar aumenta notablemente, permitiendo considerar criterios como el tamaño, la forma, medias de color, máximos y mínimos, proximidad a otros objetos, textura, etc.

Al mismo tiempo, la segmentación reduce el número de objetos a clasificar, con lo que el tiempo de procesamiento también disminuye

La segmentación se inicia con un píxel que forma un objeto o una región en la imagen y continúa hasta que el criterio especificado por el usuario se alcanza.

La primera decisión se basa en el criterio de homogeneidad local.

El algoritmo garantiza una distribución espacial regular de los objetos de la imagen.

La propia heterogeneidad no sólo está basada en la desviación típica de los objetos de la imagen sino también en su forma. La relación entre heterogeneidad espectral y forma hace que se logre un ajuste en los resultados de la segmentación.

El criterio de la fusión de regiones se produce gracias al parámetro denominado "escala" y puede definirse por el usuario.

Determina el máximo permitido en la heterogeneidad global de los segmentos. Cuanto más grandes son los parámetros de la escala para una base de datos, más grandes son los objetos de la imagen, y puesto que el parámetro de la escala puede modificarse, podemos obtener diferentes tipos de imágenes segmentadas. Así, los objetos generados en una segmentación más grosera heredarán la información de los objetos más pequeños generados con unos parámetros de escala más finos.

