





Aplicaciones para Análisis de Riesgos (Incendios forestales, Inundaciones, Terremotos, Deforestación y Agricultura)

La misión SAOCOM: Introducción al uso de imágenes SAR para el desarrollo agrícola

> Danilo Dadamia ddadamia@conae.gov.ar

8 a 12 de Noviembre, 2021 Curso en el marco del XIX Simposio Internacional SELPER 2021

© 2020 CONAE Todos los derechos reservados / All rights reserved

Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: TopSAR-Pauli Córdoba-San Luis. Argentina





Radar Apertura Sintética



El Radar puede penetrar medios tales como nubes, nieve seca, humo, vegetacion y suelo.

El radar no require iluminacion solar. Es un sensor activos esto le permite enviar y recibir su propia luz



SAOCOM SATELLITE Synthetic Aperture Radar L-Band



Banda	Longitud de onda (cm)	Frecuencia (GHz)
Ka	0.8 - 1.1	40 - 26.5
к	1.1 – 1.7	26.5 - 18
Ku	1.7 – 2.4	18 – 12.5
х	2.4 - 3.8	1.2 - 8
С	3.8 - 7.5	8 - 4
S	7.5 - 15	4 - 2
L	15 - 30	2 - 1
P	30 - 100	1 - 0.3

SAOCOM f=1.275 Ghz, λ=23,4 cm

Sensible a los cambios de permitividad Cuerpos de Agua (WB) Humedad de suelo (SM) Agua en cultivos (VWC)

Sensibilidad a los cambios de estructura de un objeto y rugosidad Clasificacion de ambientes y vegetacion

Podemos determina la posicion, distancia, altura, movimiento y velocidad de los objetos iluminados.





La relacion entre la potrencia transmitida por la antena Pt y la potencia recibida por la misma Pr está relacionada con el coeficiente de retrodispersión o backscattering σ^0 (magnitud física que contiene las propiedades del blanco y del instrumento). Siguiendo la ecuación del Radar:

$$P_{R} = P_{T} \cdot \frac{G \cdot A \cdot \sigma}{\left(4 \cdot \pi \cdot R^{2}\right)^{2}}$$

 P_R = potencia recibida P_T = potencia transmitida G = ganancia de la antena R = distancia entre el radar y en blanco A = área efectiva de recepción de la apertura de la antena

 σ = sección eficaz del radar

- $\Sigma \sigma_i$ = suma de las secciones eficaces individuales
- A = área del blanco
- σ^0 = sección eficaz del radar por unidad de área (Coeficiente de backscattering)

Radar de Apetura Sintetica



Potencia σ ₀	Amplitud $\sqrt{\sigma}_0$	Decibeles σ_0
$q^2 + i^2$	$\sqrt{q^2+i^2}$	$10^*\log(q^2 + i^2)$
	Alos-Palsar-1	
Nave: 5g	Histograma	Nane: Sgnull, JM, JD Unio nonality de
Units miter Mer 3.40 Res. 2.400 Rough skal	RY Unit Here Dood Have L606 Have L609 Dough notable(r)	Mac +4-0,6 Mac +2-72 Mac +2-72 Boudh Ansence

Con respecto a la representación estadística del σ 0, cada uno de los datos representados en las imágenes tiene una función de distribución de probabilidad distinta.

En el caso de las imágenes en potencia el histograma de la imagen tiene una distribución Gamma, en amplitud una distribución de tipo Rayleigh y en decibeles la distribución tiende a ser Gaussiana (normal).





La respuesta que recibe un sensor radar luego de la interacción con el medio, es conocida como retrodispersión \mathbf{O} .

$$\begin{pmatrix} E_h^{s} \\ E_v^{s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_h^{i} \\ E_v^{i} \end{pmatrix}$$

Matriz de Retrodispersión O Backscattering $\sigma_{0} = \begin{pmatrix} |S_{hh}|^{2} & |S_{hv}|^{2} \\ |S_{vh}|^{2} & |S_{vm}|^{2} \end{pmatrix}$





Mecanismos de Retrodispersión





Mecanismos de interacción dominantes. a: especular y b: difuso (dispersión superficial), c: doble rebote, d: en volumen (Richards and Jia, 2006).





3. Retrodispersion Simple

 $\langle |S_{hh}| \rangle \ge \langle |S_{hv}| \rangle; \quad \langle |S_{vv}| \rangle \ge \langle |S_{hv}| \rangle; \quad \langle \Re(S_{hh}^* S_{vv}) \rangle \ge \langle |S_{hv}|^2 \rangle; \quad \text{Phase}(S_{hh}^* S_{vv}) \approx 0$

2. Doble rebote

$$\langle |S_{hh}| \rangle \ge \langle |S_{hv}| \rangle; \quad \langle |S_{vv}| \rangle \ge \langle |S_{hv}| \rangle; \quad \langle \Re(S_{hh}^* S_{vv}) \rangle \ge \langle |S_{hv}|^2 \rangle; \quad \text{Phase}(S_{hh}^* S_{vv}) \approx \pi$$

1. Difusion de Volumen

 $\langle |S_{hh}| \rangle \ge \langle |S_{hv}| \rangle; \quad \langle |S_{vv}| \rangle \ge \langle |S_{hv}| \rangle; \quad \langle \Re(S_{hh}^* S_{vv}) \rangle < \langle |S_{hv}|^2 \rangle; \quad \text{Phase}(S_{hh}^* S_{vv}) \approx \text{uniform}[0, 2\pi]$







El eco de radar contiene información sobre el blanco que estamos estudiando, la cual se caracteriza por la retrodispersión de la onda electromagnética incidente. Depende de:

- 1. La frecuencia o longitud de la onda: característica del radar
- 2. El ángulo de incidencia: característica del radar
- 3. Polarización de la onda: característica del radar

4. La rugosidad de la superficie en relación a la longitud de onda: característica del blanco y la longitud de onda

5. Área, estructura y orientación de los objetos en la superficie característica del blanco

6. La constante dieléctrica de la superficie: característica del blanco





1. Retrodispersión en función de la frecuencia o longitud de la onda



Mientras mas larga la longitud de onda, mayor es la penetración.

Se estima que la máxima penetración esta alrededor de 10 veces la longitud de onda.



Retrodispersión: Banda X (CSK)







Comisión Nacional de Actividades Espaciales Retrodispersión: Banda L (SAOCOM)









2. Retrodispersión en función del ángulo de incidencia







2. Retrodispersión en función del ángulo de incidencia



13 de 34





2. Retrodispersión en función del ángulo de incidencia







3. Retrodispersión en función de la Polarización de la onda

La respuesta que recibe un sensor radar luego de la interacción con el suelo de la onda electromagnética emitida,



Linealmente polarizada



Circularmente polarizada



HV+VH

HH+VV

Retrodispersión



RHV

RH+RV

16 de 34

3. Retrodispersión en función de la Polarización de la onda







3. Retrodispersión en función de la Polarización de la onda





PAULI Polarización Lineal

© 2020 CONAE



Teofilo Tabanera

Retrodispersión



3. Retrodispersión en función de la Polarización de la onda







3. Retrodispersión en función de la Polarización de la onda





Retrodispersión



3. Retrodispersión en función de la Polarización de la onda

Todo

ΗН Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: StripMap Quad-Pol 14/08/2008 CETT. Cordoba 2021-10-22





4. Retrodispersión en función de rugosidad del suelo

Una superficie es considerada rugosa **S** si la estructura, es decir como sus elementos están distribuidos espacialmente, tiene dimensiones comparables con la longitud de onda incidente.

La rugosidad superficial de la superficie y está definida como la desviación estándar de las alturas en la misma.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (z_i - \bar{z})^2}{n-1}}$$







4. Retrodispersión en función de rugosidad del suelo



La señal de radar es principalmente sensible a la estructura de la superficie

La escala de los objetos en la superficie esta relacionada a la longitud de onda que determinara que tan rugoso o liso es una superficie, lo que se traduce en áreas brillantes o oscuros en la imagen



Superficie Rugosa

TABLA 1. Criterios para establecer el grado de rugosidad (BEAULIEU et al., 1995).

Criterio de Rugosidad	Grado de Rugosidad
RAYLEIGH, citado por ELACHI (1988)	Ligeramente rugosa cuando RMS $< \lambda / 8 \cos \phi$ Para RMS $\geq \lambda / 8 \cos \phi$, la superficie es rugosa
FRAUNHOFFER, citado por ULABY et al. (1982)	Lisa cuando RMS $< \lambda / 32 \cos \phi$ Para RMS $\geq \lambda / 32 \cos \phi$, la superficie es rugosa
PEAKE & OLIVER (1971)	Lisa cuando RMS $< \lambda / 25 \cos \phi$ Para RMS $> \lambda / 4$. cos ϕ , la superficie es rugosa Intermedia en los demás casos
ULABY & DOBSON (1988)	Lisa cuando RMS < $0.2 \lambda / 2 \pi$ Para RMS > $\lambda / 2 \pi$, la superficie es rugosa





4. Retrodispersión en función de rugosidad del suelo



En realidad cuando uno habla de rugosidad los modelos la presentan como superficial, pero si la onda electromagnética penetra, en realidad estamos sensando la rugosidad dentro del suelo y no solo en su superficie.





VV

4. Retrodispersión en función de rugosidad del sueloUAVSAR –L Abril 2015VVCOSMO-X Abril 2015





Puede llega a haber 6 Dd de diferencia entre picos y valles en la imagen SAR





24 de 34



Retrodispersión



4. Retrodispersión en función de rugosidad del suelo

Rastrojo de Maíz



Rastrojo de Soja





Montson



Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: StripMap-Pauli Bell Ville. Córdoba. Argentina 2021-05-06

© 2020 CONAE Todos los derechos reservados / All rights reserved



Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

5. Área, estructura y orientación de los objetos en la superficie:







6. La constante dieléctrica de la superficie



La velocidad de propagación depende de las propiedades eléctricas y magnéticas del medio, para el vacío es máxima.

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 299\ 792\ 458\ \text{m/s}$$

E = Capacidad del campo eléctrico de propagarse en el medio

µ = Capacidad del campo magnético de propagarse en el medio La parte real de esta componente podemos asociarlo con agua libre del objeto a estudiar.

En el caso de aplicaciones agrícolas la susceptibilidad magnética no se considera

μ=1

27 de 34





6. La constante dieléctrica de la superficie

La permitividad es una medida del grado en que la carga eléctrica distribuida en un material puede ser polarizado por la aplicación de un campo eléctrico.

Dividiendo por la permitividad eléctrica del vacio ϵ_0 (ϵ_0 =8.854x10⁻¹² F/m) esta expresión se obtiene la permitividad relativa:





Sensibilidad a la detección de Agua libre







Detección Cuerpos de Agua







Detección Cuerpos de Agua







Aplicación Agrícola de Detección Cuerpos de Agua

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

El arroz se sigue cultivando bajo el agua para protegerlo de malezas que pueden robarle nutrientes, espacio y luz además de atraer plagas. Esto se debe a que los cultivos de arroz son capaces de resistir inundaciones gracias a que su tejido permite que llegue el aire hasta las raíces. Con sólo 5 cm de agua es más que suficiente aunque se suele crear una capa mucho mayor.





Cuerpos de Agua Arroz SAOCOM CONAE Modo: StripMap Corrientes. Argentina 20191001







Cuerpos de agua en campos arroz

LANDSAT 8 Color natural

Corrientes



Capacidad de proveer Imágenes para todo tipo de clima

28-09-2019

05/10/2019

Cubierta de nubes

30/10/2019

La vegetación crecida no permite detectar Cuerpos de agua



Capacidad de penetración en la vegetación

Sensible a los cambios de permitividad y estructura de un objeto







01-11-2019



23-11-2019





Gracias









Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

Aplicaciones para Análisis de Riesgos (Incendios forestales, Inundaciones, Terremotos, Deforestación y Agricultura)

La misión SAOCOM: Introducción al uso de imágenes SAR para el desarrollo agrícola

> Danilo Dadamia ddadamia@conae.gov.ar

8 a 12 de Noviembre, 2021 Curso en el marco del XIX Simposio Internacional SELPER 2021

© 2020 CONAE esetive dos derechos reservados / All rights reserved



Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: TopSAR-Pauli Córdoba-San Luis. Argentina





Aplicaciones Agrícolas Satélites Radar

- Determinación cuerpos de agua.
- Detección y prevención de Inundaciones.
- Clasificación de ambientes y vegetación
- Determinación de áreas cosechadas
- Identificación de zonas productivas
- Contenido de Agua en Planta (VWC).
- Índice de Vegetación Radar
- Seguimiento de cultivos
- Sensibilidad a la rugosidad
- Humedad de Suelo.
- Monitoreo de Sequias
- Estimación de ambientes para la propagación de plagas y enfermedades
- Marcas de Incendios.
- Deforestación.

Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: StripMap Dual-Pol Majes-Arequipa. Peru


Clasificación de ambientes y vegetación





Sentinel-2 ESA 2020-04-05 R: Banda 4 G: Banda 3

B: Banda 2



3 de 25



Clasificación de ambientes y vegetación





Sentinel-1 ESA 2020-04-06 R: Banda HH G: Banda HV B: Banda HH/HV



4 de 25

Clasificación de ambientes y vegetación





SAOCOM CONAE 2020-04-10

R: Banda HH-VV G: Banda HV+VH B: Banda HH+VV



5 de 25

Clasificación de ambientes y vegetación







Deforestación Santiago del Estero Argentina

2008-2011, Banda-L, ALOS-PALSAR, JAXA. 5

Monitoreo de Ambientes Agricolas

Clasificación Biomasa/Altura Estado Fenológico Agua en planta Humedad de suelo Rugosidad Plagas y Enfermedades Aquiferos/Subsidencias

Retrodispersión

Análisis Multifrecuencia

InSAR

PolSAR

Pol-InSAR

Modelos Electromagnéticos

Comisión Nacional de











Retrodispersión: Monitoreo de cultivos:



0.2

0.15

Retrodispersión: Monitoreo de cultivos: Ej. Sentinel 1

0.3

0.25

0.2

00





0.08 0.07





Rouhollah Nasirzadehdizaji 1,*, Fusun Balik Sanli 1,*, Saygin Abdikan 2, Ziyadin Cakir 3, Aliihsan Sekertekin 4 and Mustafa Ustuner. Sensitivity Analysis of Multi-Temporal Sentinel-1 SAR Parameters to Crop Height and Canopy Coverage. **MDPI.2019**



Retrodispersion: Monitoreo de cultivos: Sentinel-1: Papa





- R=HH
- G=HV
- B=VH/VV

Sentinel-1 Ground Range Detected (L-1 GRD), modo IW. Banda –C Sentinel. ESA



Monitoreo de cultivos: Sentinel-1: Papa





Retrodispersion: Monitoreo de cultivos: Sentinel-1: Arroz







Retrodispersión: Monitoreo de cultivos: Análisis Multifrecuencia: Arroz



Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación **Argentina**





© 2020 CON/ Todos los derechos reservados



Monitoreo de cultivos: Sentinel-1: Caña Azúcar







Retrodispersión: Monitoreo de cultivos: Análisis Multifrecuencia: Caña de azúcar





Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: StripMap-Pauli Jujuy. Argentina



Retrodispersión: Monitoreo de cultivos:





Retrodispersión: Monitoreo de cultivos:





CULTIVOS EN ETAPA DE CRECIMIENTO



Retrodispersión: Monitoreo de cultivos:







CULTIVOS EN ETAPA DE CRECIMIENTO



© 2020 CONAE Todos los derechos reservados / All rights reserved



Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

CONAE



¿Por qué tenemos tanta dispersión de valores?



Retrodispersión: Monitoreo de cultivos

Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

CONAE



¿Por qué tenemos tanta dispersión de valores?



Retrodispersión: Monitoreo de cultivos



¿Por qué tenemos tanta dispersión de valores?



Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

CON4E



ESTADO FENOLOGICO R5



Retrodispersión: Monitoreo de cultivos



¿Por qué tenemos tanta dispersión de valores?



Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

CONAE



ESTADO FENOLOGICO R4-R5





 σ



EFECTOS DE LA VEGETACIÓN

- pq_1 = contribución directa del canopeo al coeficiente de retrodispersión.
- $\sigma^0_{pq2}~$ = contribución combinada del suelo-canopeo y del canopeo-suelo.
- σ^0_{pq3} = contribución suelo-canopeo.
- σ_{pq4}^{0} = contribución directa del suelo.

La presencia de vegetación modifica las medidas del radar

Para altos valores de biomasa la retrodispersión de las plantas domina decayendo la sensibilidad del radar a la interaccion con el suelo

$$\sigma_{pq}^{0} = \sigma_{pq1}^{0} + \sigma_{pq2}^{0} + \sigma_{pq3}^{0} + \sigma_{pq4}^{0}$$



THE TANK PROPERTY OF



Retrodispersión: Humedad de suelo

Retrodispersión: Humedad de suelo



"Suelo Desnudo"

Rastrojo de Soja y Trigo



Suelo sin cultivos (Angulo incidencia 27-28)

Rastrojo de Maíz







Gracias









Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

Aplicaciones para Análisis de Riesgos (Incendios forestales, Inundaciones, Terremotos, Deforestación y Agricultura)

La misión SAOCOM: Introducción al uso de imágenes SAR para el desarrollo agrícola

> Danilo Dadamia ddadamia@conae.gov.ar

8 a 12 de Noviembre, 2021 Curso en el marco del XIX Simposio Internacional SELPER 2021

© 2020 CONAE esetive dos derechos reservados / All rights reserved



Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: TopSAR-Pauli Córdoba-San Luis. Argentina



Monitoreo de Ambientes Agricolas

- Clasificación
- Biomasa/Altura
- Estado Fenológico
- Agua en planta
- Humedad de suelo
- Rugosidad
- Plagas y Enfermedades
- **Aquiferos/Subsidencias**

Retrodispersión

Análisis Multifrecuencia

InSAR

PolSAR

Pol-InSAR

Modelos Electromagnéticos





Interferometría de radar de apertura sintética InSAR resulta por la observación de ambos puntos a partir de una geometría ligeramente diferente



El grado de coherencia es una medida directa de la similitud entre las dos observaciones

$$\gamma = \frac{E(s_1 s_2^*)}{\sqrt{E(|s_1|^2)E(|s_2|^2)}}$$



InSAR Análisis de Coherencia







InSAR Análisis de Coherencia





Vegetación crecimiento⁺

La coherencia puede usarse como un parámetro de clasificación de terreno coherencia muy baja → agua coherencia moderada→vegetación en crecimiento o en movimiento coherencia alta→ ciudades, es decir blancos de características estables en el tiempo



SAOCOM-Coherencia_HH_2020-02-02_2020-02-18





Campaña de campo 2017 Bell Ville Marzo – Abril 14 días entre imágenes



Red Telemetrica de sensores





Crops Measurement





LAI Biomass Campañas de campo





Alos-Palsar 2

Change Detection Using Interferometric and Polarimetric Signatures in Argentina

Danilo Dadamia^{ab}, Christian Barbier^c, and Anne Orban^c

a Institute for Advanced Space Studies Mario Gulich , bComision Nacional de Actvidades Espaciales (CONAE), Av. Paseo Colón 751 - 1063 Buenos Aires - Argentina Tel: +54-11-4331-0074

c Centre Spatial de Liège, Signal Processing Laboratory Avenue du Pré-Ally, B-4031 Angleur (Belgium) Phone +32 4 3824600

© 2020 CONAE Todos los derechos reservados / All rights reserved



Imagen

master

master

master

slave

slave

Fecha

20170322

20170308

20170322

20170405

20170308

Baseline

Temporal

días

14

14

28

InSAR Análisis de Coherencia

Baseline

Perpendicular

metros

396

368

368

Baseline

Paralelo

metros

205

239

239

Imágenes

Analizadas

4 HH, 4 HV, 4 VH, 4 VV

4 HH, 4 HV, 4 VH, 4 VV

4 HH, 4 HV, 4 VH, 4 VV



HH HV

VV VH

HH HV

VV VH

HH HV

Polarización

PLR

PLR

PLR





Alos-Palsar-2 StripMap Quad-Pol JAXA

5-7 de junio, 2019 © 2019 CONAE Todos los derechos reservados





La coherencia fue estimada usando imagenes Alos-2 full-polarimetricas con 14 dias de separacion entre ellas. (Marzo 8, Marzo 22 and Abril 5). Los mapas de coherencia fueron estimados cada 14 y 28 dias.



Coherence (HH) 03-08-2017-03-22-2017 (14days)



Coherence (VH) 03-08-2017-03-22-2017 (14days)



Coherence (HH) 03-22-2017-04-05-2017 (14days)



Coherence (HV) 03-08-2017-03-22-2017 (14days)



Coherence (VV) 03-08-2017-03-22-2017 (14days)



Coherence (HV) 03-22-2017-04-05-2017 (14days^{20;}res Coherence (VH) 03-08-2017-04-05-2017 (28 days)



Coherence (VH) 03-22-2017-04-05-2017 (14days)



Coherence (HH) 03-08-2017-04-05-2017 (28 days)





Coherence (VV) 03-22-2017-04-05-2017 (14days)



Coherence (HV) 03-08-2017-04-05-2017 (28 days)



Coherence (VV) 03-08-2017-04-05-2017 (28 days)



Comisión Nacional de

InSAR Análisis de Coherencia





© 2019 CONAE Todos los derechos reservados

© 2020 CONAE Todos los derechos reservados / All rights reserved

Cambio de coherencia 08 de marzo a 22 de marzo 22 de marzo a 05 de Abril **Alos-2 Bell Ville**



InSAR Análisis de Coherencia







InSAR Análisis de Coherencia







InSAR Análisis de Coherencia





Altura 1m

served

Altura 1m

Altura 1m


InSAR Análisis de Coherencia



Alfalfa

La coherencia en VV> al resto. Esto nos da una idea de cómo la estructura del cultivo responde a la interacción electromagnética





InSAR Análisis de Coherencia





R6

la

se



InSAR Análisis de Coherencia: SAOCOM





0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 Coherencia



InSAR Análisis de Coherencia: SAOCOM





0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 Coherencia





DInSAR (Interferometría Diferencial con Radar de Apertura Sintética). Se fundamenta en la detección de pequeñas variaciones de altitud a partir del cálculo de la diferencia de fase de pares de imágenes radar sobre un mismo área de estudio

Esta técnica mide el desplazamiento del suelo debido a la respuesta del acuífero a los cambios de presión de los fluidos



L. Karimi, M. Motagh, and I. Entezam, "Modeling groundwater level fluctuations in tehranaquifer: results from a 3d unconfined aquifer model,"Groundwater for Sustainable Development,vol. 8, pp. 439–449, 2019.



Comisión Nacional de Actividades Espaciales

InSAR Análisis de Coherencia





MONITOREO SATELITAL DE VOLCANES PRODUCTOS INTERFEROMÉTRICOS DE LA CALDERA CERRO BLANCO

IMAGEN DE COHERENCIA

La "coherencia" muestra cambios entre imágenes SAOCOM de dos fechas. Las zonas claras indican alta coherencia, es decir, que no hubo cambios. Se observan en la imagen la CALDERA CERRO BLANCO (CCB) en el centro y la CALDERA ROBLEDO (CR) en el extremo inferior derecho.

Par de imágenes SAO1A-SAO1B:

- "Master" (SAO1B): 13/04/2021
- "Slave" (SAO1A): 05/04/2021

INTERFEROGRAMA FLAT

La imagen del "interferograma flat" indica, en franjas de color, la topografía de la zona. Franjas menos separadas, o angostas, indican mayores pendientes altimétricas y franjas más separadas, o anchas, menores pendientes altimétricas.



Monitoreo de hundimiento del terreno por extracción de agua, tránsito pesado, explotación minera y petrolera





Gracias







Comisión Nacional de Actividades Espaciales



Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

Aplicaciones para Análisis de Riesgos (Incendios forestales, Inundaciones, Terremotos, Deforestación y Agricultura)

La misión SAOCOM: Introducción al uso de imágenes SAR para el desarrollo agrícola

> Danilo Dadamia ddadamia@conae.gov.ar

8 a 12 de Noviembre, 2021 Curso en el marco del XIX Simposio Internacional SELPER 2021

© 2020 CONAE esetive dos derechos reservados / All rights reserved



Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: TopSAR-Pauli Córdoba-San Luis. Argentina



Monitoreo de Ambientes Agricolas

- Clasificación Biomasa/Altura
- Estado Fenológico
- Agua en planta
- Humedad de suelo
- Rugosidad
- Plagas y Enfermedades
- **Aquiferos/Subsidencias**

Retrodispersión

Análisis Multifrecuencia

InSAR



Pol-InSAR

Modelos Electromagnéticos



Comisión Nacional de

Actividades Espaciales





Propiedades intrínsecas del dispersor como humedad, salinidad o densidad media.







Debido a la Reciprocidad de sistemas Monoestaticos

$$S_{HV} = S_{VH} = S_{XX}$$

Dispersor







Covarianza



Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

CON/AE

[**7**]Coherencia

S.R. Cloude-E.Pottier (1985-1997) R. Touzi (2007) A.J. Freeman-SL Durden (1992) Y.Yamagushi (2005-2012) G. Singh (2013),H. Aghababaee (2016) A. Bhattacharya-A. Frery (2015) F. XU-Y.Q.Jin (2015)

J.J. Van Zyl (1992-2008), M.ARII (2010)

Modelos basados en descomposición de las matrices de Coherencia y Covarianza Autovalores y Autovectores

J.R. Huynen (1970) R.M. Barnes (1988) D.LI. Y, Zhang

(2016)

 $K_{11} = \frac{1}{2} \left(\left| S_{xx} \right|^2 + \left| S_{yy} \right|^2 + \left| S_{yx} \right|^2 + \left| S_{yy} \right|^2 \right)$ $K_{\rm u} = \operatorname{Re}(S_{\rm u}S_{\rm u}^* + S_{\rm u}S_{\rm u}^*)$ $K_{12} = \frac{1}{2} \left(\left| S_{xx} \right|^2 - \left| S_{xy} \right|^2 + \left| S_{yx} \right|^2 - \left| S_{yy} \right|^2 \right)$ $K_{32} = \operatorname{Re}(S_{32}S_{32}^* - S_{32}S_{32}^*)$ $K_{13} = \text{Re} \left(S_{xx} S_{yy}^* + S_{yx} S_{yy}^* \right)$ $K_{33} = \text{Re}(S_{33}S_{33}^* + S_{33}^*S_{33})$ $K_{14} = \text{Im} \left(S_{xx} S_{xy}^* + S_{yx} S_{yy}^* \right)$ $K_{34} = \text{Im} \left(S_{xx} S_{yy}^* + S_{xy}^* S_{yx} \right)$ $K_{21} = \frac{1}{2} \left(\left| S_{xx} \right|^2 + \left| S_{xy} \right|^2 - \left| S_{yx} \right|^2 - \left| S_{yy} \right|^2 \right)$ $K_{41} = \operatorname{Im} \left(S_{xx} S_{yx}^* + S_{xy} S_{yy}^* \right)$ $K_{42} = \operatorname{Im} \left(S_{xx} S_{yx}^* - S_{xy} S_{yy}^* \right)$ $K_{22} = \frac{1}{2} \left(\left| S_{xx} \right|^2 - \left| S_{xy} \right|^2 - \left| S_{yx} \right|^2 + \left| S_{yy} \right|^2 \right)$ $K_{43} = \text{Im} \left(S_{xx} S_{yy}^* - S_{yx} S_{xy}^* \right)$ $K_{23} = \text{Re} \left(S_{22} S_{22}^* - S_{22} S_{22}^* \right)$ $K_{44} = -\text{Re}(S_{1x}S_{1y}^* - S_{1y}S_{1y}^*)$ $K_{24} = \text{Im} \left(S_{xx} S_{xy}^* - S_{yx} S_{yy}^* \right)$

$$T_{3} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} |S_{hh} + S_{vv}|^{2} & (S_{hh} + S_{vv})(S_{hh} - S_{vv})^{*} & 2(S_{hh} + S_{vv})S_{hv}^{*} \\ (S_{hh} - S_{vv})(S_{hh} + S_{vv})^{*} & |S_{hh} - S_{vv}|^{2} & 2(S_{hh} - S_{vv})S_{hv}^{*} \\ 2S_{hv}(S_{hh} + S_{vv})^{*} & 2S_{hv}(S_{hh} - S_{vv})^{*} & 4|S_{hv}|^{2} \end{bmatrix}$$

$$\langle C_{3} \rangle = \begin{pmatrix} \left\langle \left| S_{hh} \right|^{2} \right\rangle & \sqrt{2} \left\langle S_{hh} S_{h\nu}^{*} \right\rangle & \left\langle S_{hh} S_{\nu\nu}^{*} \right\rangle \\ \sqrt{2} \left\langle S_{h\nu} S_{hh}^{*} \right\rangle & 2 \left\langle \left| S_{h\nu} \right|^{2} \right\rangle & \sqrt{2} \left\langle S_{h\nu} S_{\nu\nu}^{*} \right\rangle \\ \left\langle S_{\nu\nu} S_{hh}^{*} \right\rangle & \sqrt{2} \left\langle S_{\nu\nu} S_{h\nu}^{*} \right\rangle & \left\langle \left| S_{\nu\nu} \right|^{2} \right\rangle \end{pmatrix}$$





S.R. CLOUDE - E. POTTIER (1995 - 1996)



$$\left\langle T_{3} \right\rangle \equiv \left\langle k_{T} k_{T}^{j} \right\rangle$$
 Matriz de

$$T_{3} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} |S_{hh} + S_{vv}|^{2} & (S_{hh} + S_{vv})(S_{hh} - S_{vv})^{*} & 2(S_{hh} + S_{vv})S_{hv}^{*} \\ (S_{hh} - S_{vv})(S_{hh} + S_{vv})^{*} & |S_{hh} - S_{vv}|^{2} & 2(S_{hh} - S_{vv})S_{hv}^{*} \\ 2S_{hv}(S_{hh} + S_{vv})^{*} & 2S_{hv}(S_{hh} - S_{vv})^{*} & 4|S_{hv}|^{2} \end{bmatrix}$$

Esta matriz es hermítica, por lo tanto existen matrices unitarias que la diagonalizan. Además sus autovalores son reales.

Está relacionado con las propiedades físicas y geométricas del proceso de dispersión, y por lo tanto permite una mejor y directa interpretación física

Clasificación de ambientes y vegetación



Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

|HV|_{dB}

Pauli

Combinando las bandas Polarimétricas (Matriz de Coherencia)

Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

CONAE



© 2020 C Todos los derechos reserva



Comisión Nacional de

H / A / a Polarimetric Target Descomposition





Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: StripMap-Pauli Córdoba-Bell Ville

© 2020 CONAE Todos los derechos reservados / All rights reserved

Comisión Nacional de H / A / a Polarimetric Target Descomposition Actividades Espaciales



Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina





© 2020

Todos los derechos reser



Entropía (H):

$$H = -\sum_{i=1}^{3} p_i \log_3(p_i) \quad \text{Donde:} \quad \begin{array}{c} \mathbf{P}_i = \frac{\lambda_i}{\sum\limits_{k=1}^{3} \lambda_k} \\ \sum\limits_{k=1}^{3} \lambda_k \end{array}$$

- Indica el grado de aleatoriedad o desorden estadístico.
- Para cuerpos de agua y superficies con baja rugosidad, la dispersión superficial domina y H es cerca de cero.
- Para superficies con vegetación, el valor de H es elevado debido a los múltiples procesos de dispersión.







Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

Entropía (H):

$$H = -\sum_{i=1}^{3} p_i \log_3(p_i) \quad \text{Donde:} \quad P_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^{3} \lambda_k}$$

- anisotropía La Α es un parámetro complementario a la entropía polarimétrica H.
- anisotropía mide la La importancia relativa de los autovalores secundo y tercero.
- Puede ser empleada como de discriminación fuente principalmente cuando H>0.7.









Comisión Nacional de

Actividades Espaciales







30

0 10 20

50

Alpha

60 70

40

80 90

Alpha (α):

$$\underline{\alpha} = \sum_{i=1}^{3} p_i \alpha_i$$



Retrodispersión Retrodispersión Retrodispersión Simple Volumétrico Múltiples rebotes

> Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: StripMap Alpha Córdoba-Bell Ville

© 2020 C

Todos los derechos reserva





Change Detection Using Interferometric and Polarimetric Signatures in Argentina

Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

CONAE

Alcantara Study Reference No.: 15/P13

Centre Spatial de Liège, Signal Processing Laboratory Comision Nacional de Actvidades Espaciales (CONAE),

Field Campaigns







Soil Moisture



Venado Tuerto March 2013 and April 2015: 4 UAVSAR images analyzed.

SAOCOM core site (Bell Ville) 2013, 2015, 2016 and 2017: More than 100 SARAT, 4 UAVSAR, 10 Alos-Palsar-1, 10 Alos-Palsar-2 images analyzed



SARAT 1.275 GHz.

full-polarimetric

Alos-Palsar-1 1.270 GHz



UAVSAR 1.250 GHz, full-polarimetric in L-Band



Alos-Palsar-2 1.275 GHz, fullpolarimetric

© 2020 CON. Todos los derechos reservados / All rights reserved





Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

CONAE

El plano entropía-alfa se subdivide en nueve zonas básicas características de clases de diferente comportamiento de dispersión, con el fin de separar los datos en mecanismos básicos de dispersión.



Alos-Palsar-2 StripMap Quad-Pol JAXA Comisión Nacional de Actividades Espaciales

H / A / a Polarimetric Target Descomposition









Entropía-Alpha







Entropía-Alpha: SOJA

Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

CONAE

En soja para el estado fenológico (V) y maduro (R8) los mecanismo de retrodispersion simples son los que prevalecen, mientras

que para el periodo reproductivo (R1-R7) los mecanismo de difusión de volumen son los mas importantes.





Entropía-Alpha: MAIZ

Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

CONAE

EL maíz en la etapa **(V)** pasa vegetativa de difusión mecanismos de simple a mecanismos de difusión de volumen, mientras que en la etapa reproductiva (R), la difusión de volumen V el doble rebote son los más mecanismos importante.







Entropía-Alpha: Alfalfa, Pasturas, Sorgo



Entropy-Alpha ALOS-2 ANI > 0 && ANI < 0.9

Comisión Nacional de Actividades Espaciales

CONAE

H / A / a Polarimetric Target Descomposition

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina





Entropy-Anisotrop



Absolute Correlation



Phase Correlation







Cultivos Analisis Angulo Incidencia





90

Bare Soil



Maize

90

Angulo de Incidencia



© 2020 CONAE Todos los derechos reservados / All rights reserved



Angulo de Incidencia

Comisión Nacional de

Actividades Espaciales



CONAE





Point 42 Mature Maize 1.7m <



Point 48 Maize Fallow



© 2020 CONAE Todos los derechos reservados / All rights reserved



Point 30 \Box **Growing Maize** 2.5 metros



Comisión Nacional de Actividades Espaciales

H / A / a Polarimetric Target Descomposition





Alpha



Angulo de Incidencia



Las mayores diferencia se producen cuando los angulos de incidencia son menores a 30 gados



Comisión Nacional de

Algoritmo de Clasificacion LCC





Comisión Nacional de Actividades Espaciales

Índices Polarimétricas Satélite SAOCOM



Indices		Polarimetria
Retrodispersion	HH o VV o HV o VH	Entropia
Retrodispersion	ну/нн	Anisotropia
Retrodispersion	VH/VV	Alfa
Correlaciones	fase y modulos	Beta
Canopy Structure Index	VV/VV+HH	Gamma
Volume Scatering Index	(HV+VH)/(HH+VV+VH+HV)	Delta
Biomass Index	(VV+HH)/2	Landa
Radar Vegation Index	8*HV/(HH+VV+2HV)	Pedestal Height











Se procesaron 16 imágenes SAOCOM entre abril y diciembre del 2020, en donde se estudio la evolución temporal del cultivo de caña de azúcar, viendo el cambio de biomasa y estructura del mismo.



Indice de Retrodispersión Volumétrico

$$\mathbf{VSI} = \frac{HV + VH}{HV + VH + HH + VV}$$





- Las zonas mas azuladas representan escasa vegetación.
- Las zonas verdosas son zonas de vegetación media y
- las amarilla a rojas representan zonas de abundante vegetación.


Monitoreo de cultivos: SAOCOM 1A : Arroz



lag





© 2020 CON/ Todos los derechos reservados

Índice de Vegetación Radar (IRV): SAOCOM 1A </u> Comisión Nacional de Actividades Espaciales





cambios de vegetación Índice de **Vegetación Radar**

CONAE

18//02/2020 Escala del Indice Cultiva en de GRADIENTE DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO

Comisión Nacional de Actividades Espaciales Índice de Vegetación Radar (IRV): SAOCOM 1A

IRV (SAOCOM) VS. NDMI (SentineI-2)

CONAE



El Indice Normalizado Diferencial de Humedad (NDMI – Normalized Difference Moisture Index) y compara la banda de infrarrojo cercano con la de infrarrojo de onda corta, sensible a la absorción de humedad foliar, por lo que **es un buen indicador de agua en planta**.

Ministerio de Ciencia.

Argentina

Tecnología e Innovación

Determinación de Marca de Incendios





Landsat 8 30/09/2021



Diferencia de Índice RADAR de Vegetación IRV en el delta de Entre Ríos (21-07-20 y 25-10-20)

Imagen IRV SAOCOM TNB-QuadPol INTERPRETACIÓN 21/07/2020

Escala del Índice

Imagen IRV SAOCOM TNB-QuadPol 04/10/2020





Gracias









Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

Aplicaciones para Análisis de Riesgos (Incendios forestales, Inundaciones, Terremotos, Deforestación y Agricultura)

La misión SAOCOM: Introducción al uso de imágenes SAR para el desarrollo agrícola

> Danilo Dadamia ddadamia@conae.gov.ar

8 a 12 de Noviembre, 2021 Curso en el marco del XIX Simposio Internacional SELPER 2021

© 2020 CONAE esetived os derechos reservados / All rights reserved



Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: TopSAR-Pauli Córdoba-San Luis. Argentina



Monitoreo de Ambientes Agricolas

- Clasificación
- Biomasa/Altura
- Estado Fenológico
- Agua en planta
- Humedad de suelo
- Rugosidad
- Plagas y Enfermedades
- **Aquiferos/Subsidencias**

Retrodispersión

Análisis Multifrecuencia

InSAR

PoISAR

Pol-InSAR

Modelos Electromagnéticos







La técnica Pol-InSAR se basa en la combinación de interferometría y polarimetría.

La interferometría SAR (InSAR) es sensible a la estructura vertical de los dispersores de volumen y permite estimar con precisión la posición vertical del centro de dispersión.

La polarimetría SAR (PolSAR) es capaz de identificar la forma, la orientación y las propiedades dieléctricas de las dispersiones, lo que permite comprender los mecanismos de dispersión.



Imagen

master

master

slave

slave

Fecha

20170322

20170308

20170322

20170405

Baseline

Temporal

días

14

14

POLINSAR Análisis de Coherencia

Baseline

Perpendicular

metros

396

368



HH HV

VV VH

HH HV

VV VH

Polarización

PLR

PLR





Baseline

Paralelo

metros

205

239

Imágenes Analizadas

4 HH, 4 HV, 4 VH, 4 VV

4 HH, 4 HV, 4 VH, 4 VV

Alos-Palsar-2 StripMap Quad-Pol JAXA



POLINSAR Análisis de Coherencia



$$\begin{bmatrix} T_6 \end{bmatrix} = \langle \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1^* & k_2^* \end{bmatrix} \rangle = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_{12} \end{bmatrix}$$

Matriz de 6x6 que combina la matriz de coherencia de cada imagen y la matriz de coherencia de la combinación de ambas

$$T_{11} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} |S_{hh} + S_{vv}|^2 & (S_{hh} + S_{vv})(S_{hh} - S_{vv})^* & 2(S_{hh} + S_{vv})S_{hv}^* \\ (S_{hh} - S_{vv})(S_{hh} + S_{vv})^* & |S_{hh} - S_{vv}|^2 & 2(S_{hh} - S_{vv})S_{hv}^* \\ 2S_{hv}(S_{hh} + S_{vv})^* & 2S_{hv}(S_{hh} - S_{vv})^* & 4|S_{hv}|^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T_{22}} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} |S_{hh} + S_{vv}|^2 & (S_{hh} + S_{vv})(S_{hh} - S_{vv})^* & 2(S_{hh} + S_{vv})S_{hv}^* \\ (S_{hh} - S_{vv})(S_{hh} + S_{vv})^* & |S_{hh} - S_{vv}|^2 & 2(S_{hh} - S_{vv})S_{hv}^* \\ 2S_{hv}(S_{hh} + S_{vv})^* & 2S_{hv}(S_{hh} - S_{vv})^* & 4|S_{hv}|^2 \end{bmatrix}$$

$$\Omega_{12} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \langle (S_{1HH} + S_{1VV})(S_{2HH} + S_{2VV})^* \rangle & \langle (S_{1HH} + S_{1VV})(S_{2HH} - S_{2VV})^* \rangle & \langle (S_{1HH} + S_{1VV})(S_{2HV} + S_{2VH})^* \rangle \\ \langle (S_{2HV} - S_{2VV})(S_{1HH} + S_{1VV})^* \rangle & \langle (S_{1HH} - S_{1VV})(S_{2HH} - S_{2VV})^* \rangle & \langle (S_{1HH} - S_{1VV})(S_{2HV} + S_{2VH})^* \rangle \\ \langle (S_{2HV} + S_{2VH})(S_{1HH} + S_{1VV})^* \rangle & \langle (S_{2HV} + S_{2VH})(S_{1HH} - S_{1VV})^* \rangle & \langle (S_{1HV} - S_{1VV})^* \rangle \\ \langle (S_{2HV} + S_{2VH})(S_{1HH} + S_{1VV})^* \rangle & \langle (S_{2HV} + S_{2VH})(S_{1HH} - S_{1VV})^* \rangle & \langle (S_{1HV} + S_{1VH})(S_{2HV} + S_{2VH})^* \rangle \end{bmatrix}$$





Podemos a partir de los parámetros construidos del conjunto de coherencia óptima PolInSAR determinar el grado de dispersión volumétrica que esta asociada a la perdida de coherencia temporal. Esta información puede combinarse con los resultados de PolSAR refinando el mapa de clasificación obtenido a primera instancia. Esta técnica se aplica en bosques.

Quisimos aplicar la misma metodología para campos agrícolas y ver si esto nos permitía refinar los parámetros de clasificación que obtuvimos del análisis previo PolSAR.





Dado que la coherencia interferométrica depende en gran medida de la polarización, se introducen dos vectores complejos de proyección normalizados ω 1 y ω 2 para optimizar la coherencia, en cada mecanismo de dispersión:

- Superficial
- Doble rebote
- volumetrico

$$\gamma_{opt} = \frac{\left\langle \overline{w_1}^T \Omega_{12} \overline{w_2} \right\rangle}{\sqrt{\left\langle \overline{w_1}^T C_{11} \overline{w_1} \right\rangle \left\langle \overline{w_2}^T C_{22} \overline{w_2} \right\rangle}}$$

$$[T_{22}]^{-1}[\Omega_{12}]^{T}[T_{11}]^{-1}[\Omega_{12}]\overline{w_{2}} = \lambda \overline{w_{2}}$$
$$[T_{11}]^{-1}[\Omega_{12}][T_{11}]^{-1}[\Omega_{12}]^{T}\overline{w_{1}} = \lambda \overline{w_{1}}$$

La solución utiliza la descomposición de autovalores y autovectores. Se pueden obtener tres magnitudes de coherencia óptimas.

 $0 \leq |\tilde{\gamma}_3| \leq |\tilde{\gamma}_2| \leq |\tilde{\gamma}_1| \leq 1$



POLINSAR Análisis de Coherencia



Coherencia Interferometrica Optimizada







El espectro de coherencia óptimo relativo puede estar completamente descrito por dos parámetros. Pottier propone definir A1 y A2 para describir la distribución de la coherencia en los diferentes canales optimizados, con el fin de aislar la parte dependiente de la polarización de las coherencias óptimas.





Este me permite individualizar 9 zonas, que van desde la parte inferior de máxima coherencia a perdida total de coherencia en la parte superior



POLINSAR Análisis de Coherencia





El conjunto de coherencia optimizado ofrece un alto grado de descripción de las propiedades coherentes de un medio con respecto a la polarización. Las coherencias combinadas en una imagen RGB (Rojo: yopt_2 Verde: yopt_1 y Azul: yopt_1) representan diferentes tipos de comportamientos del medio natural. Gráficamente, podemos representar un alto nivel de coherencia constante (zonas blancas en la imagen) y un bajo nivel de coherencia (zonas negras)



POLINSAR Análisis de Coherencia







POLINSAR Análisis de Coherencia



March 08-March 22





POLINSAR Análisis de Coherencia



March 08-April 05





PolinSAR Análisis de Coherencia





© 2020 CONAE Todos los derechos reservados / All rights reserved



PolinSAR Análisis de Coherencia









Gracias









Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina

Aplicaciones para Análisis de Riesgos (Incendios forestales, Inundaciones, Terremotos, Deforestación y Agricultura)

La misión SAOCOM: Introducción al uso de imágenes SAR para el desarrollo agrícola

> Danilo Dadamia ddadamia@conae.gov.ar

8 a 12 de Noviembre, 2021 Curso en el marco del XIX Simposio Internacional SELPER 2021

© 2020 CONAE esetive dos derechos reservados / All rights reserved



Imagen SAOCOM CONAE. Banda-L Modo: TopSAR-Pauli Córdoba-San Luis. Argentina



Monitoreo de Ambientes Agricolas

Clasificación Biomasa/Altura Estado Fenológico Agua en planta Humedad de suelo Rugosidad Plagas y Enfermedades Aquiferos/Subsidencias

Retrodispersión

Análisis Multifrecuencia

InSAR

PolSAR

Pol-InSAR

Modelos Electromagnéticos





TEÓRICOS:

Los modelos de retrodispersión teóricos tratan de simular como es la dispersión de ondas electromagnéticas se propaga en medios dieléctricos. Ej Modelos de tranferencia radiativa, IEM (Integral Equation Method), etc.

SEMI-EMPIRICOS/EMPIRICOS:

Se realizaron a partir de observaciones radar muy detalladas sobre diferentes condiciones de humedad, rugosidad y textura, tras los cuales se derivaron expresiones que relacionan tanto lo parámetros de superficie como la adquisición de imágenes con coeficiente de retrodispersión. Ej. Para humedad de suelo y rugosidad, Modelo de Oh, Dubois, etc. Para interacción con cultivos Water Cloude





En 1992, A. Fung y colaboradores publicaron el desarrollo de un modelo teórico de calculo de humedad de suelo a través de su relación con los coeficientes de retrodispersión.

$$\sigma_{pp} = \frac{k^2}{4\pi} e^{(-2k^2 s^2 \cos^2 \theta_{inc})} \sum_{n=1}^{\infty} \left| I_{pp}^n \right|^2 \frac{w^{(n)}(2k \cos \theta_{inc}, 0)}{n!}$$

fpp son coeficientes de campo de Kirchoff y Fpp son coeficientes de reflexión de Fresnel es el espectro de rugosidad de la superficie, que se calcula a partir
de la transformada de Fourier de la función de autocorrelación de la superficie

$$w^{n}(k,\varphi) = \int_{0}^{2\pi\infty} \int_{0}^{\infty} \rho^{n}(r,\phi) e^{jkr\cos(\varphi-\phi)} r dr d\phi$$

$$I_{pp}^{n} = (2ks\cos\theta_{inc})^{n} f_{pp} e^{(-k^{2}s^{2}\cos^{2}\theta_{inc})} + (ks\cos\theta_{inc})^{n} F_{pp}$$



4 de 12





El modelo semi-empirico de OH, fue sugerido en (1992) y modificado en el 2004. Este modelo relaciona los coeficientes de retrodispersión mediante dos parámetros p y q con la rugosidad y la reflectividad del suelo que principalmente depende de la humedad volumétrica (Mv).

$$p = \frac{\sigma_{HH}^{0}}{\sigma_{VV}^{0}} = 1 - \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.35 M_{v}^{-0.65}} e^{-0.4(ks)^{1.4}}$$
$$q = \frac{\sigma_{VH}^{0}}{\sigma_{VV}^{0}} = 0.1 \left(\frac{s}{l} + \sin(1.3(\theta))\right)^{1.2} (1 - e^{-0.9(ks)^{0.8}})$$
$$\sigma_{VH}^{0} = 0.11 M_{v}^{07} (\cos(\theta))^{2.2} [1 - e^{-0.32(ks)^{1.8}}]$$







CONAE

Ej calculo humedad de suelo Modelo Electromagnético de OH









MODELO WATER CLOUDE

El modelo semi-empírico propuesto por Attema y Ulaby (1978) denominado Water Cloud Model considera que la cubierta vegetal está formada por elementos dispersores idénticos, distribuidos de forma homogénea en todo su volumen a modo de una nube de partículas dieléctricas. El fundamento es similar a la solución de primer orden del modelo teórico de Transferencia Radiativa.

$$\sigma_{pp}^{0} = \sigma_{veg}^{0} + \tau^{2} \sigma_{soil}^{0}$$
$$\tau^{2} = \exp(-2Bm_{w} \sec(\theta_{inc}))$$

$$\sigma_{veg}^0 = Am_v \cos(\theta_{inc})(1-\tau^2)(1-\exp(-\alpha))$$



Mw: contenido de agua en el canopeo (kg/m²).

θ : Angulo de Incidencia.

Mv : Humedad del Suelo.

A, B : parámetros dependiente del tipo de canopeo. Se determinan experimentalmente por fiteo de datos.

 α = longitud de correlación. α = I_{veg} /l. Donde *l* es la longitud de correlación característica del campo. Este parámetro da cuenta de la distribución espacial, arquitectura y tamaño del canopeo.





Ba Métodos De estadísticos: Mi

Comisión Nacional de

Actividades Espaciales

Regresión lineal Bayesianos Detección de cambios Minado de datos Series de tiempo Red Neuronal

Métodos asimilación de datos:

dentro de modelos de cultivos, radar, precipitaciones, etc, y se deducen parámetros.

Se utilizan datos auxiliares Métodos iterativos: para minimizar una función de coste.

Métodos de cubo de datos: Estos métodos incluyen el cálculo de cubos de datos por cada componente que se quiere invertir, Ej Humedad, rugosidad, contenido de agua en planta







Desde el punto de vista eléctrico el suelo es un material Dieléctrico Para la mayoría de los materiales que podemos encontrar en el suelo la Permitividad dieléctrica relativa varía de 1 (aire), 5-10 (la mayoría de los minerales) a 80 para el agua libre a una temperatura de 20°C. Esta Permitividad es la que utilizamos para relacionar con la humedad del suelo.





En el caso particular de las aplicaciones agrícolas necesitamos encontrar una función, que nos permita relacionar los parámetros biofísicos que queremos estudiar con la retrodispersión.







Para extraer información contenido de agua en el suelo con técnicas SAR, es necesario relacionar la información que brinda el sensor con variables físicas.







Humedad de Suelo



Mapa Humedad de suelo SAOCOM 19/03/2019

Con esta resolución podemos ver variaciones de humedad intra-lote





Estimación Humedad de suelo.

Índices de sequias Pronostico metrológico. Crecimiento de cultivos. Alerta de Inundaciones. Propagación de plagas y enfermedades



cional de spaciales Ej. Aplicaciones: Cambios Humedad de Suelo







Humedad de Suelo SAOCOM











Satélite SAOCOM

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina




Comisión Nacional de Actividades Espaciales

Modelos Electromagnéticos





Detección de Estado Fenológico Relación Contenido Agua

no data V1-Vt R1 R3, R4 R5, > R6,



V1-Vt R1 R3, R4 R5, > R6, Rastrojo

no data

0-3 soja

0-5 maíz

Unidades en kg/m2

Rastrojo





Gracias

