



Mapeo de Cultivos Usando Radar de Apertura Sintética (SAR) y Teledetección Óptica

11 de abril de 2023

Esquema de la Capacitación

4 de abril de 2023

Clasificación de Cultivos
con Series Temporales
de Datos de SAR
Polarimétrico

6 de abril de 2023

Clasificación de Cultivos
con Datos Ópticos y de
Radar de Series
Temporales

11 de abril de 2023

**Monitoreo del Crecimiento
de los Cultivos a través de
Parámetros Estructurales
Derivados de SAR**



Tarea y Certificados

- Tarea:
 - Debe enviar sus respuestas a través de Formularios de Google
 - Fecha límite: 25 de abril de 2022
- Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes:
 - Asistan a todas las presentaciones en vivo
 - Completen la tarea asignada dentro del plazo estipulado (acceso desde la página web)
 - Recibirán sus certificados aproximadamente dos meses después de la conclusión del curso de: marines.martins@ssaihq.com



Objetivos de Aprendizaje

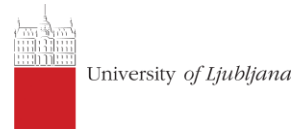
Después de haber participado en esta capacitación en tres partes, quienes asistieron podrán:

- Explicar cómo se utilizan los parámetros polarimétricos para la evaluación de la condición de los cultivos
- Demostrar cómo realizar el preprocesamiento con SAR de Sentinel-1 para derivar parámetros casi polarimétricos
- Realizar una calibración de un índice de vegetación basado en SAR con el NDVI
- Monitorear el crecimiento de cultivos con datos de SAR Polarimétrico (PolSAR) de Sentinel-1
- Examinar el crecimiento de cultivos usando un modelo dinámico de la estructura del dosel y series temporales de imágenes de Sentinel-1
- Clasificar tipos de cultivos usando una serie temporal de imágenes de radar y ópticos (Sentinel-1 y Sentinel-2)





Agriculture et Agroalimentaire Canada



Monitoreo del Crecimiento de los Cultivos a Través de Parámetros Estructurales Derivados por SAR

Emily Lindsay, Heather McNairn y Xianfeng Jiao – Agricultura y Agroalimentación de Canadá

11 de abril de 2023

Esquema

Introducción (Heather McNairn)

- Razón Fundamental por la cual desarrollar el SAR Vegetation Index (SAR VI)
- Parámetros SAR de Sentinel-1 para el monitoreo de la condición de los cultivos
- Calibración del SAR VI con el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- Modelo de la Dinámica de la Estructura de los Cultivos

Ejercicio Práctico (Emily Lindsay)

- Preprocesamiento Sentinel-1 SAR
- Derivar parámetros casi polarimétricos de datos Sentinel-1 Single Look Complex (SLC)
- Calibración de SAR VI con el NDVI



Objetivos de Aprendizaje

Después de participar en esta capacitación, quienes asistieron podrán:

- Nombrar los beneficios de incorporar datos de radar con imágenes ópticas para el monitoreo operativo y la evaluación de la condición de los cultivos.
- Explicar cómo se utilizan los parámetros polarimétricos para la evaluación de la condición de los cultivos.
- Resumir el flujo de trabajo para crear un índice de vegetación “SAR VI” que se puede calibrar comparándolo con el NDVI óptico para crear un intervalo de tiempo diario de condiciones de cultivos específicas.
- Demostrar cómo realizar el preprocesamiento con SAR de Sentinel-1 para derivar parámetros casi polarimétricos.
- Realizar una calibración de un SAR VI con el NDVI.



Cambio Climático y la Agricultura

- Aún hay incertidumbre sobre cómo el cambio climático impactará la agricultura.
- Es importante entender qué ha sido “típico o normal” para una geografía específica para poder desarrollar estrategias de adaptación.

Oportunidades

- Expansión de la agricultura en ciertas regiones
- Los cambios de temperatura y precipitación pueden alentar la siembra de nuevos cultivos en nuevas regiones



Desafíos

- El aumento de la intensidad y frecuencia de las sequías y tormentas violentas y su impacto en los rendimientos y campos sin sembrar
- Mayor prevalencia de pestes y patógenos; mayor rango, frecuencia y severidad de insectos y enfermedades

<https://agriculture.canada.ca/en/environment/climate-scenarios-agriculture>



Monitoreo de la Condición de los Cultivos Desde el Espacio

- El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index o NDVI) es ampliamente utilizado por el sector agrícola como indicador de la condición y productividad de los cultivos.
- El NDVI es la relación normalizada de la reflectancia óptica roja e infrarroja y está correlacionado con indicadores de productividad (p.ej., Índice de Área Foliar, clorofila y biomasa).
- A nivel mundial, se han desarrollado **sistemas de monitoreo operativo** basándose en el NDVI de series temporales (ejemplos incluyen VegScape del Departamento de Agricultura de EE.UU. (<https://nassgeo.csiss.gmu.edu/VegScape/>), el Global Agricultural Monitoring System (GLAM; <https://cropmonitor.org/>) del Grupo de Observaciones de la Tierra (GEO), y el Sistema Mundial de Información y Alerta Temprana (Global Information and Early Warning System o GIEWS; <https://www.fao.org/giews>) de las Naciones Unidas.
- Normalmente, estas operaciones brindan una métrica de la condición actual de los cultivos **respecto a las condiciones “normales”** para una ubicación geográfica específica y un momento determinado en la temporada de crecimiento.



The Canadian Crop Condition Assessment Program* (CCAP)

- Como un ejemplo, Estadísticas Canadá mantiene un sistema de monitoreo operativo de la condición de los cultivos a nivel nacional con la ayuda de Agricultura y Agroalimentación de Canadá.
- El Programa Canadiense para la Evaluación de la Condición de los Cultivos (Canadian Crop Condition Assessment Program o CCAP) es un servicio muy importante consultado por agencias gubernamentales provinciales y federales, agencias de mercadeo de granos, empresas aseguradoras de cultivos, investigadores y productores.
- El CCAP brinda información confiable, objetiva y oportuna sobre las condiciones de los cultivos y pastizales en tierras agrícolas canadienses y la parte septentrional de EE.UU..

<https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvey&SDDS=5177#a1>

*El Programa Canadiense para la Evaluación de la Condición de los Cultivos



The Canadian Crop Condition Assessment Program* (CCAP)

- Se crea un NDVI basado en estimados del CCAP usando un compuesto de 7 días de imágenes de NOAA AVHRR o MODIS.
- Los productos de imágenes se crean **semanalmente** y son presentados con una resolución espacial de **250 m**; productos de valor agregado incluyen tablas, datos tabulares y productos cartográficos de la condición promedio de los cultivos por región administrativa.
- El CCAP compara las condiciones actuales con la **norma histórica** (hasta 1987 para AVHRR y 2000 para MODIS).
- El CCAP funciona a partir de la semana juliana 15 (la que empieza entre el 6 y el 12 de abril) hasta la semana juliana 41 (la que empieza entre el 11 y el 17 de octubre).

<https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvey&SDDS=5177#a1>

Crop Condition Assessment Program (CCAP)

For adaptive technology users, please go here to [create your customized data table](#) instead of accessing the dynamic mapping application below.

Source

250-meter resolution Refresh

Locality Search

Search a locality ✕ 🔍

Context

Content Layers

Map type: Satellite map ▼

Year: 2022 ▼

Week: July 11 to 17 ▼

Cover type: Crop and pasture ▼

Method: Compared to normal ▼

Refresh

Map

Legend

- Much higher
- Higher
- Similar
- Lower
- Much lower

Crop and pasture NDVI. Identify result for: CAR Region Census Agricultural Region 2 / Région agricole de recensement 2 (CAR4702), Saskatchewan

Values acquired from July 11 to 17, 2022 compared:

To the normal: ▲ 0.048

To the previous year: ▲ 0.0613

To the previous week: ▲ 0.0397

To the maximum normal values: ▲ 0.0357

Crop and pasture NDVI. Graph result for: CAR Region Census Agricultural Region 2 / Région agricole de recensement 2 (CAR4702), Saskatchewan

Crop and pasture NDVI. Details result for: CAR Region Census Agricultural Region 2 / Région agricole de recensement 2 (CAR4702), Saskatchewan Export

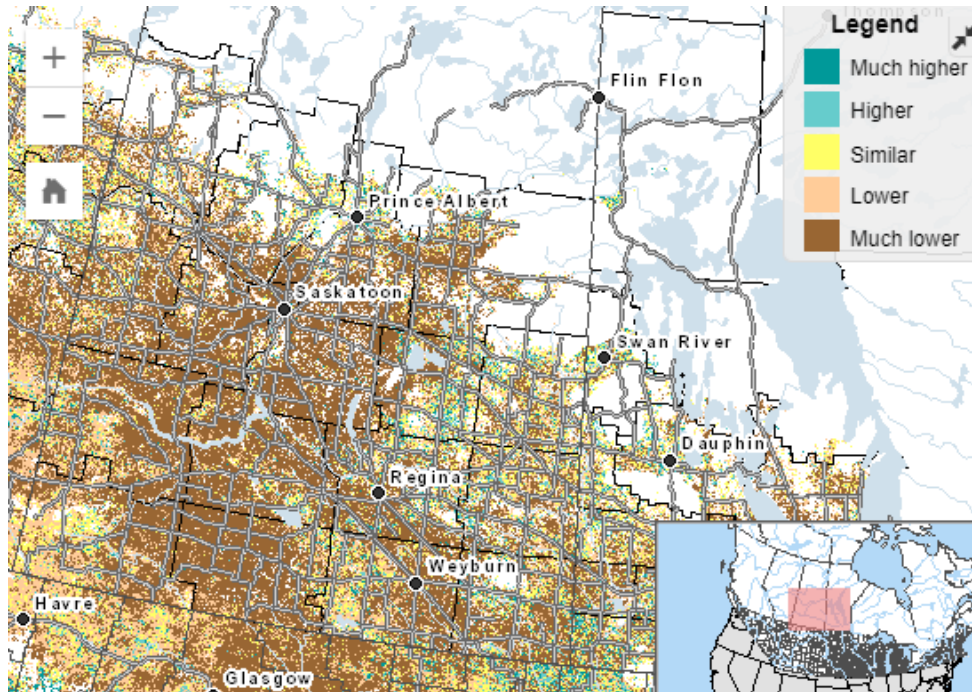
Julian Weeks	2022	2022 Dates	Normal	2022 - Normal
15	0.0102	April 11 to 17	0.1799	-0.1697
16	0.0901	April 18 to 24	0.2189	-0.1288

*El Programa Canadiense para la Evaluación de la Condición de los Cultivos



The Canadian Crop Condition Assessment Program* (CCAP)

NDVI Óptico (2 al 8 de agosto de 2021)
comparado con lo normal



<https://www35.statcan.gc.ca/CCAP/en/index#tbDetails>

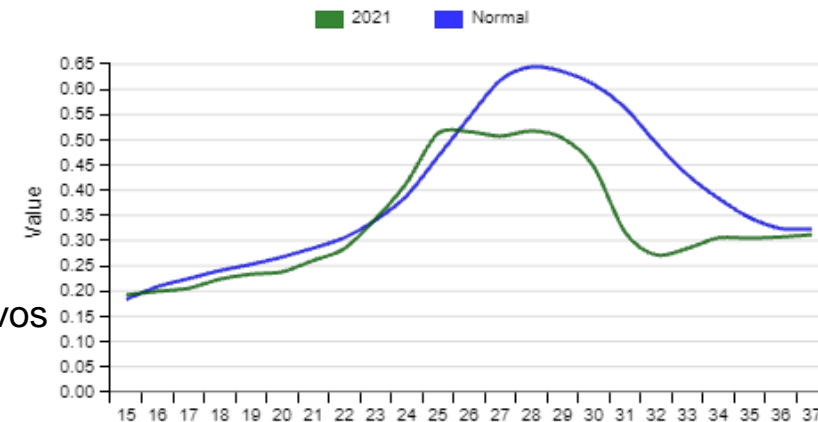
*El Programa Canadiense para la Evaluación de la Condición de los Cultivos

OTTAWA, 30 ago (Reuters)

"La producción de colza en Canadá se desplomó un 24,3 % en 2021 en comparación con 2020 en medio de una grave sequía, mientras que la producción general de trigo cayó un 34,8 %..."

"Los agricultores de todo el oeste de Canadá han tenido que lidiar con la falta de lluvia y temperaturas por encima de la media durante la temporada de crecimiento. Esto ha empeorado las condiciones de humedad del suelo, que ya eran bajas a principios de año", dijo Statscan. La encuesta se basó en parte en datos satelitales y agroclimáticos.

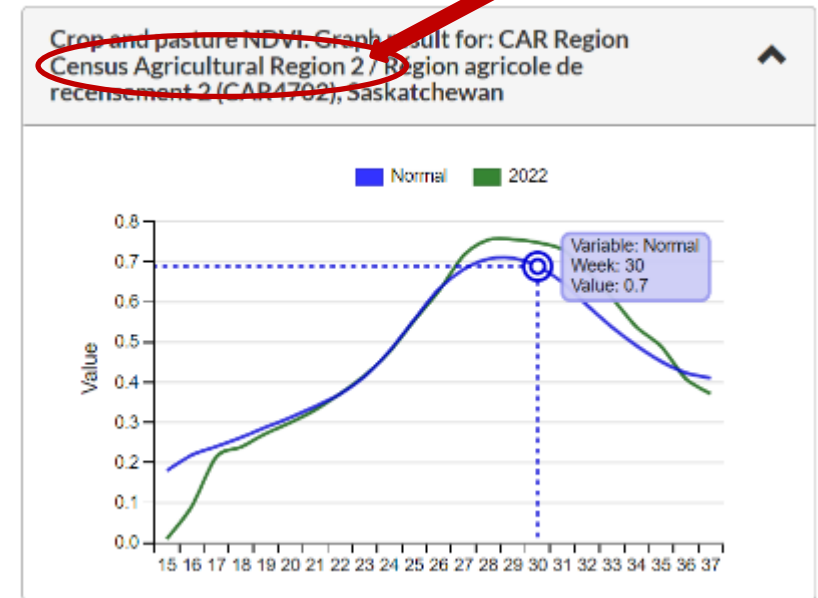
Crop NDVI. Graph result for: CCS Region Wood River No. 74 (CCS4703042), Saskatchewan



Limitaciones del Monitoreo de la Condición de los Cultivos Basado en Imágenes Ópticas

- Cada semana se proporciona un punto de datos del NDVI (por píxel/unidad administrativa).
- Se utilizan pilas de 7 días para mitigar la cobertura nubosa (suponga que al menos un píxel AVHRR o MODIS durante 7 días estará libre de nubes).
- Estas pilas aprovechan los satélites ópticos que proporcionan una imagen diaria, pero con resoluciones espaciales gruesas (250 m o más grandes).
- Con esta resolución, es difícil evaluar la condición de los cultivos a nivel de campo y un solo píxel puede contener múltiples campos y tipos de cultivos.

<https://geoprod.statcan.gc.ca/ccap/en/index>



Crop and pasture NDVI. Identify result for: CAR Region
Census Agricultural Region 2 / Région agricole de recensement 2 (CAR4702), Saskatchewan

Values acquired from July 11 to 17, 2022 compared:

To the normal:	▲	0.048
To the previous year:	▲	0.0613
To the previous week:	▲	0.0397
To the maximum normal	▲	0.0357



Monitoreo de la Condición de los Cultivos Usando Radar de Apertura Sintética (SAR)

- El proceso de investigación para desarrollar un índice de vegetación basado en SAR (SAR VI) es continuo. El Radar Vegetation Index (RVI) desarrollado por Kim y van Zyl (2009) es un ejemplo.
- Agricultura y Agroalimentación de Canadá ha desarrollado un enfoque alternativo. Es **crítico** que las estimaciones de SAR de la condición de los cultivos se puedan integrar en las operaciones basadas en el NDVI que se han ejecutado durante décadas.
 - Promueve la aceptación por parte de la comunidad; no es una opción para reemplazar el sistema actual.
 - La condición de los cultivos debe evaluarse con respecto a la norma histórica (basada en el NDVI óptico).
 - Cuando MODIS reemplazó a AVHRR, se realizó una calibración para que se pudiera seguir aprovechando la norma histórica. Para CCAP, la medida de lo normal (para una semana y geografía específicas) usa datos de los últimos 35 años
- El objetivo es crear un SAR VI que se puede calibrar con el NDVI óptico y así ser integrado al sistema operativo de Canadá.



SAR para Estimar la Condición de los Cultivos

- Sensores ópticos
 - La reflectancia visible-infrarroja responde a la pigmentación de las hojas y a la estructura a nivel de hoja y de dosel; la **estructura del dosel** (área foliar y orientación de las hojas) también afecta la reflectancia medida a escala satelital.
- Sensores SAR
 - La geometría del objetivo no solo dicta la intensidad de la retrodispersión de la señal de radar, sino también las características angulares de la dispersión. El tamaño, la forma y la orientación y de los componentes del dosel tienen un impacto muy significativo en las respuestas de SAR.
 - La retrodispersión de SAR se ha utilizado para estimar parámetros biofísicos de los cultivos vinculados con la **estructura del dosel** (área foliar y biomasa).
- Polarimetría
 - Ofrece una caracterización más completa de la respuesta de SAR (no solo la intensidad de la retrodispersión sino también información sobre cómo la estructura del dosel dispersa las ondas).
 - La estructura del dosel está estrechamente vinculada con el desarrollo de los cultivos (fenología) y la acumulación de biomasa.



Flujo de Procesamiento para SAR

Completamente polarimétrico (Quad Pol)

- Se transmiten dos ondas polarizadas ortogonalmente (por ejemplo H y V); se reciben dos ondas polarizadas ortogonalmente (por ejemplo H y V); **miden y retienen la fase**
- Los datos “Single Look Complex” (SLC) se pueden almacenar como una matriz de covarianza 3x3 con 9 elementos para capturar la totalidad de las características de la dispersión
- Ejemplos: RADARSAT-2 o la misión RADARSAT Constellation Mission (RCM) modos QP

“Cuasi-” polarimétrico (o “pseudo” pol)

- Transmite una polarización (por ejemplo V lineal o circular) y recibe dos ondas polarizadas ortogonalmente (por ejemplo V y H); **miden y retienen la fase**
- Los datos SLC se pueden almacenar como una matriz de covarianza 2x2 con 4 elementos para capturar algunas características de la dispersión
- Ejemplos: Sentinel-1 dual-pol SLC o RCM modo Compact Polarimetric

Preprocesar imágenes SAR y generar parámetros completamente polarimétricos (p.ej. RADARSAT) o cuasi-polarimétricos (p.ej. Sentinel-1)



Selección de Características (Opcional)



Desarrollar NDVI Calibrado con SAR (SAR_{cal} -NDVI)



Ajustar Modelo de la Dinámica de la Estructura de los Cultivos (CSDM) al SAR_{cal} -NDVI



Crear perfil temporal y productos cartográficos del SAR_{cal} -NDVI



Datos Sentinel-1 Single Look Complex (SLC)

- AAFC ha completado la modelación tanto para RADARSAT-2 como Sentinel-1. El enfoque de esta capacitación será Sentinel-1 dada la cobertura consistente con esa constelación.
- Se puede almacenar datos Sentinel-1 dual-pol (VV, VH) SLC en una matriz de covarianza 2x2 [C2].
 - utiliza todo el ancho de banda de la señal disponible, y
 - se preserva la fase y cada píxel está compuesto de un componente real y uno imaginario
- Usando la matriz de covarianza 2x2 [C2] podemos derivar parámetros de dispersión que son **similares** a parámetros completamente polarimétricos.

$$C_2 = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |S_{vv}|^2 & S_{vv}S_{vh}^* \\ S_{vh}S_{vv}^* & |S_{vh}|^2 \end{bmatrix}$$

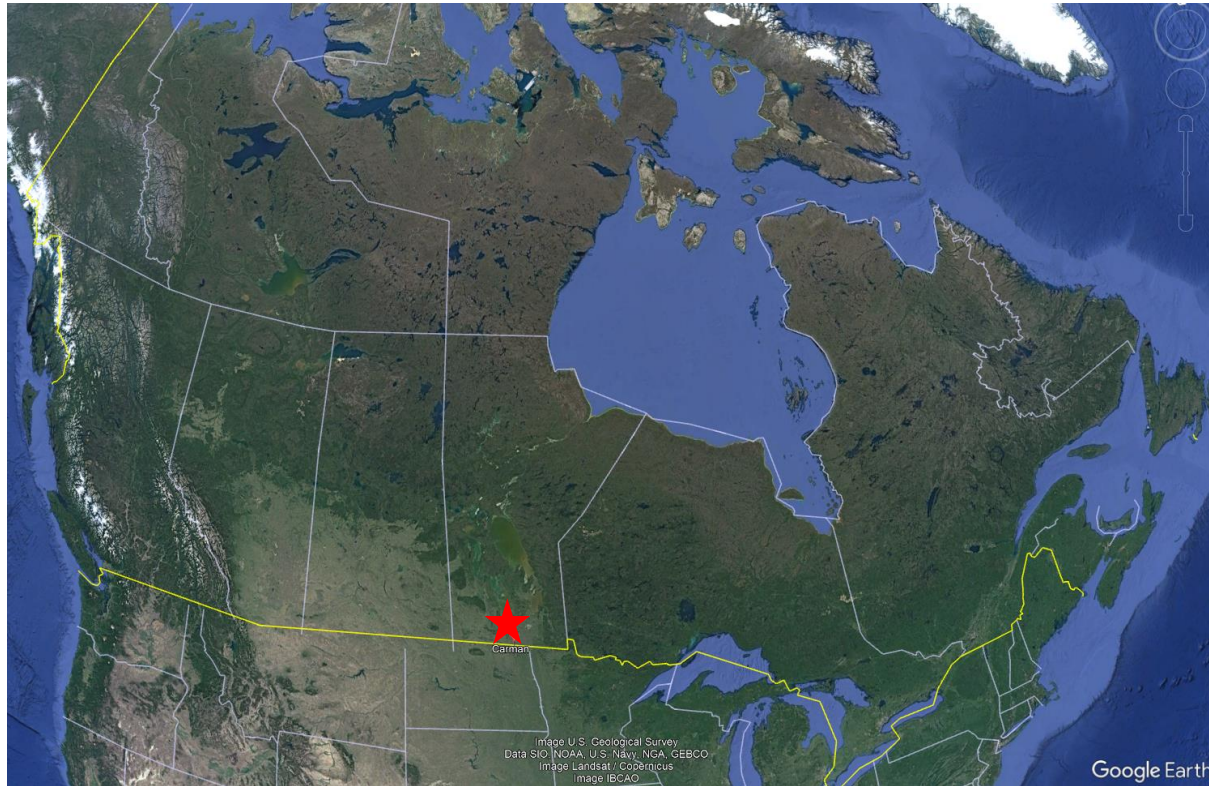


Parámetros Polarimétricos Selectos

Linear polarization ratio (LPR)	La relación entre las intensidades VV y VH	
Span (I)	La intensidad total (VV+VH), expresada como potencia	
Stokes parameters (S₀, S₁, S₂, S₃)	Un conjunto de valores que describe el estado de polarización parcial de una onda electromagnética	$S_0 = E_H ^2 + E_V ^2 = C_{11} + C_{22}$ $S_1 = E_H ^2 - E_V ^2 = C_{11} - C_{22}$ $S_2 = 2 E_H E_V \cos \phi_{HV} = 2\text{Re}(C_{12})$ $S_3 = 2 E_H E_V \sin \phi_{HV} = 2\text{Im}(C_{12})$
Orientation angle (ψ)	La orientación de la polarización lineal con la retrodispersión más fuerte	$\psi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{S_2}{S_1}$
Ellipticity angle (χ)	La elipticidad de la onda dispersada	$\chi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{S_3}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}$
Degree of polarization (DoP)	La relación entre la dispersión polarizada y la dispersión total	$DoP = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0}$
Degree of linear polarization (DoLP)	El grado de componentes de polarización lineal en la dispersión polarizada	$DoLP = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}$
Eigenvalues (I₁)	Eigenvalores de la matriz de coherencia	$I_1 = \frac{1}{2} (S_0 + mS_0)$
Eigenvalues (I₂)	Eigenvalores de la matriz de coherencia	$I_2 = \frac{1}{2} (S_0 - mS_0)$
Entropy (H)	El grado de aleatoriedad de dispersión	Ver Cloude, et al. 2012 https://www.researchgate.net/publication/260622729_Compact_Decomposition_Theory
Alpha (α)	El mecanismo de dispersión dominante (en grados)	Ver Cloude, et al. 2012 https://www.researchgate.net/publication/260622729_Compact_Decomposition_Theory
Normalized Shannon Entropy (SE)	La suma de la potencia total de la retrodispersión y el grado de polarización de Barakat, normalizada entre 0 y 1	Ver Réfrégier y Morio 2006 https://www.researchgate.net/publication/6692148_Shannon_entropy_of_partially_polarized_and_partially_coherent_light_with_Gaussian_fluctuations



Sitio de Estudio – Carman/Elm Creek Manitoba (Canadá)



Carman, Manitoba (Canadá)



soya



trigo



colza



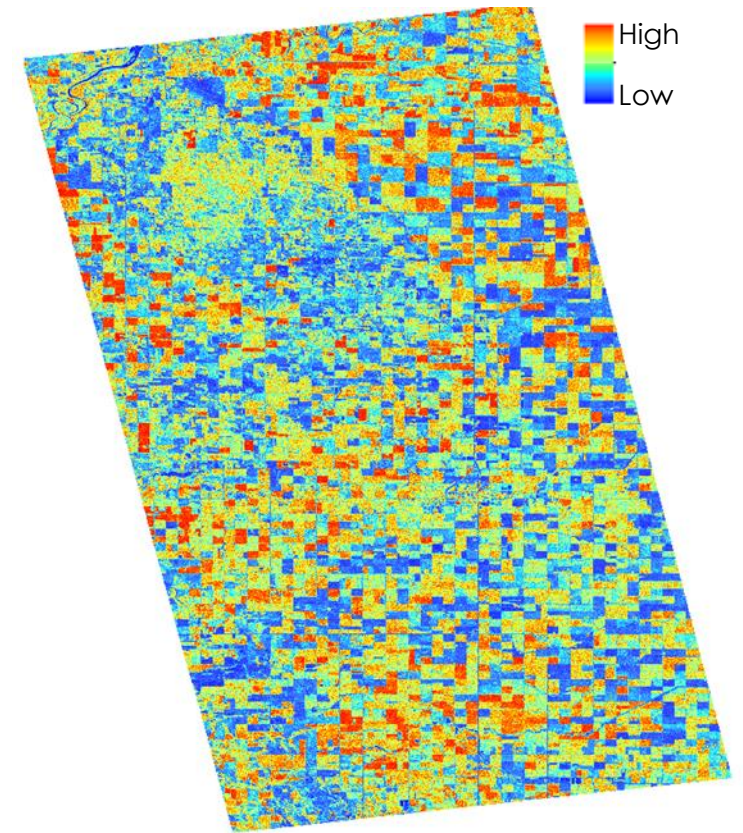
maíz

Estructuras de dosel sumamente diferentes



Parámetros de Intensidad

- Intensidad de retrodispersión (VV y VH) y relación de polarización (VV/VH)
- Potencia total (Span)
 - La potencia total (intensidad) recibida por los cuatro canales de un sistema de radar completamente polarimétrico o dos canales para cuasi-polarimétrico.
 - Totalmente polarimétrico: $HH + HV + VH + VV$
 - Cuasi polarimétrico (suponiendo V en transmisión y V+H en recepción): $VV+VH$
- Span bajo para suelos descubiertos debido al reflejo casi especular de las ondas de SAR waves
- Span alto para coberturas terrestres con más vegetación debido al alto retorno de radar vinculado con la dispersión de volumen.
- Sentinel-1: no se registra la intensidad HH, pero esta intensidad por lo general es menos importante considerando la cobertura terrestre agrícola.



Carman, Manitoba, Canadá
 S_0 o Span (VV+VH)
Sentinel-1 (8 de agosto de 2019)



Grado de Polarización (DoP)

- Una onda propagada está completamente polarizada.
- Si el objetivo está compuesto de elementos con distintas orientaciones (hojas, tallos, flores etc.), las ondas dispersadas por estos elementos individuales variarán en fase y polarización.
- Estos múltiples eventos de dispersión dan como resultado una onda dispersada que está parcialmente polarizada y parcialmente no polarizada, lo que se mide como el grado de polarización o **DoP**.
- La relación varía entre tipos de cultivos y cambia según los cultivos van creciendo (fenología y condiciones del dosel diferentes).
- El DoP es alto a principios de estación y después de la cosecha cuando hay poca cobertura vegetal. El DoP va bajando según crecen los cultivos.

desarrollan hojas



forman yemas



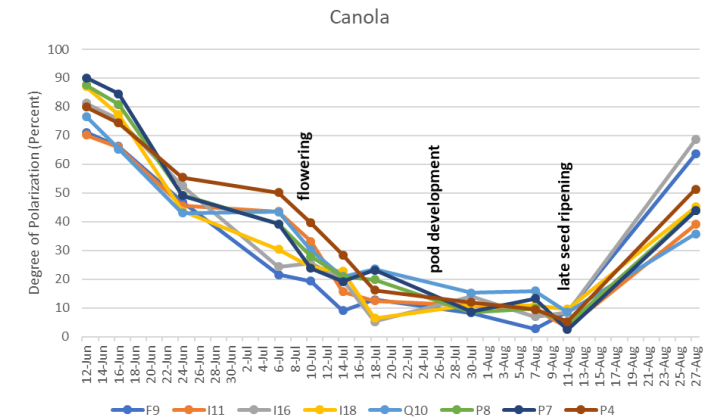
espigado



floración



maduración



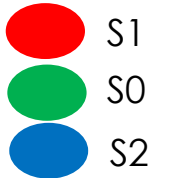
Cambios en el DoP a medida que los cultivos van creciendo

Datos RCM Compact Polarimetric (Dingle Robertson et al., 2022)



Parámetros de Stokes

- El primer parámetro del vector Stokes (S_1 , ROJO) indica la intensidad total de la retrodispersión del radar (polarizada y no polarizada), que es la suma de las potencias de las dos ondas recibidas con polarización ortogonal.
- Los otros tres parámetros (S_1 , S_2 y S_3) describen las propiedades de la porción **polarizada** del campo electromagnético

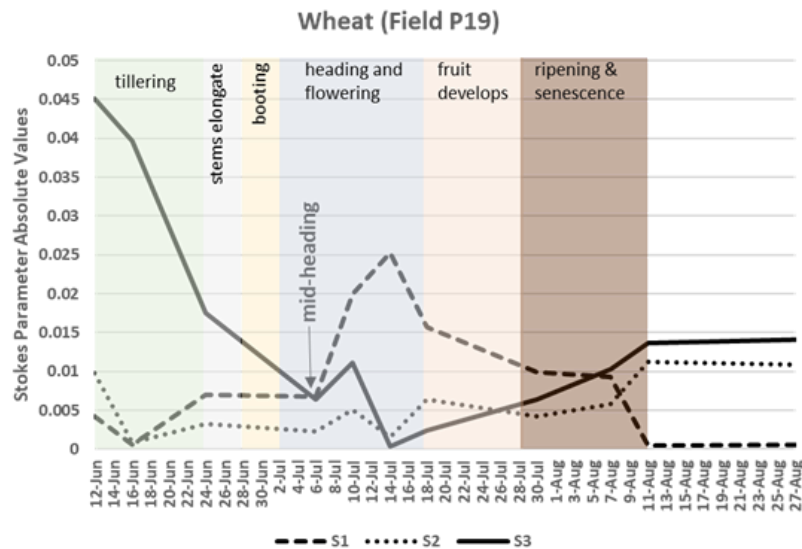


9 de julio de 2020, Stokes Sentinel 1
Carman, Manitoba, Canadá



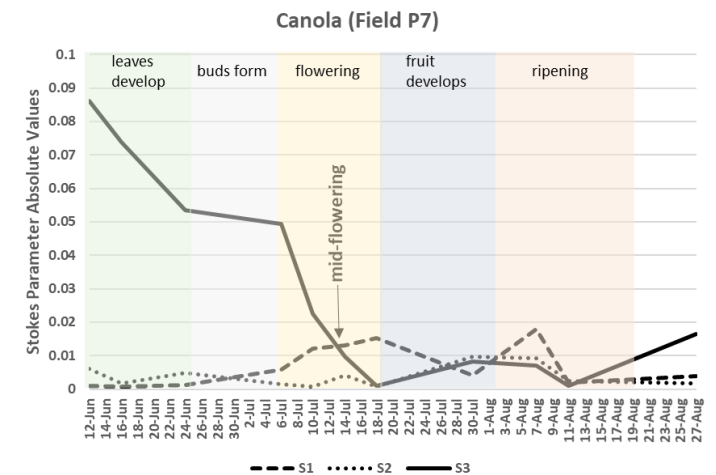
Parámetros de Stokes

- S1, S2, y S3 deben interpretarse juntos.
 - S1 – diferencia entre las potencias de los canales recibidos (H y V)
 - S2 – dominancia de lineal +45° sobre lineal -45°
 - S3 – dominancia de la polarización circular (derecha) sobre la circular (izquierda)
- El comportamiento de los parámetros de Stokes cambia a medida que cambia la estructura de los cultivos (acumulación de hojas y tallos, desarrollo de flores, frutas y semillas).



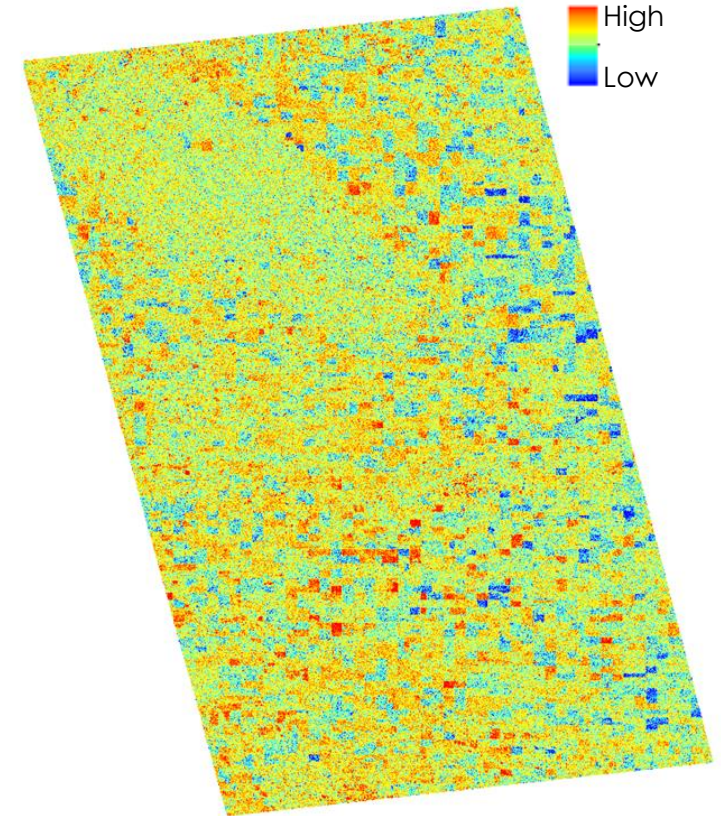
Cambios en los Parámetros de Stokes
Según el Desarrollo de los Cultivos

Datos RCM Compact Polarimetric
(Dingle Robertson et al., 2022)



Grado de Polarización Lineal (DoLP)

- A diferencia del DoP, el grado de polarización lineal (**DoLP**) referencia solo la dispersión polarizada y mide el porcentaje de esta energía polarizada que está polarizada de manera lineal (sin importar el ángulo de orientación de estas ondas lineales).
- Si hay características lineales en el dosel, puede que la polarización lineal domine la dispersión (DoLP alto).
- Las diferencias en la estructura (entre diferentes cultivos; a medida que van creciendo) cambiarán el DoLP.

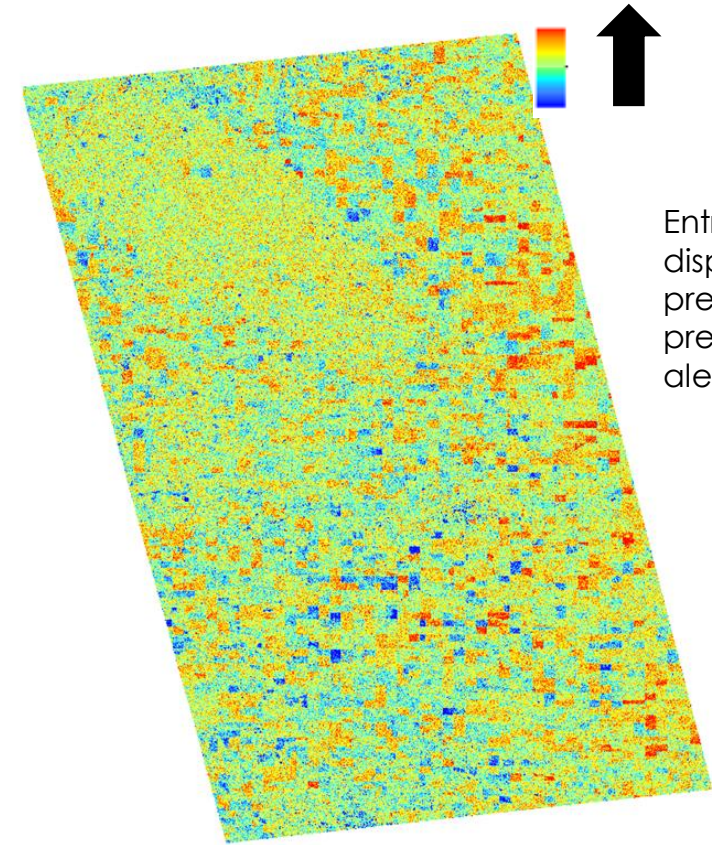


Carman, Manitoba, Canadá
Grado de Polarización Lineal (DoLP)
Sentinel-1 (8 de agosto de 2019)



Entropía

- Cloude et al. (2012) y Cloude (2007) desarrollaron una versión de polarización dual del método de descomposición completamente polarimétrico H/α/A que solo incluye entropía (H) y alfa (α).
- La entropía es una medida de la aleatoriedad de la dispersión de punto en punto dentro del objetivo, con **la predictibilidad de las características de la dispersión en disminución según los doseles se desarrollan.**
- La entropía de Shannon (SE) fue introducida por (Réfrégier y Morio, 2006; Morio et al., 2007). La SE es la suma de dos contribuciones relacionadas con la intensidad (SE_i) y el grado de polarización (SE_p).



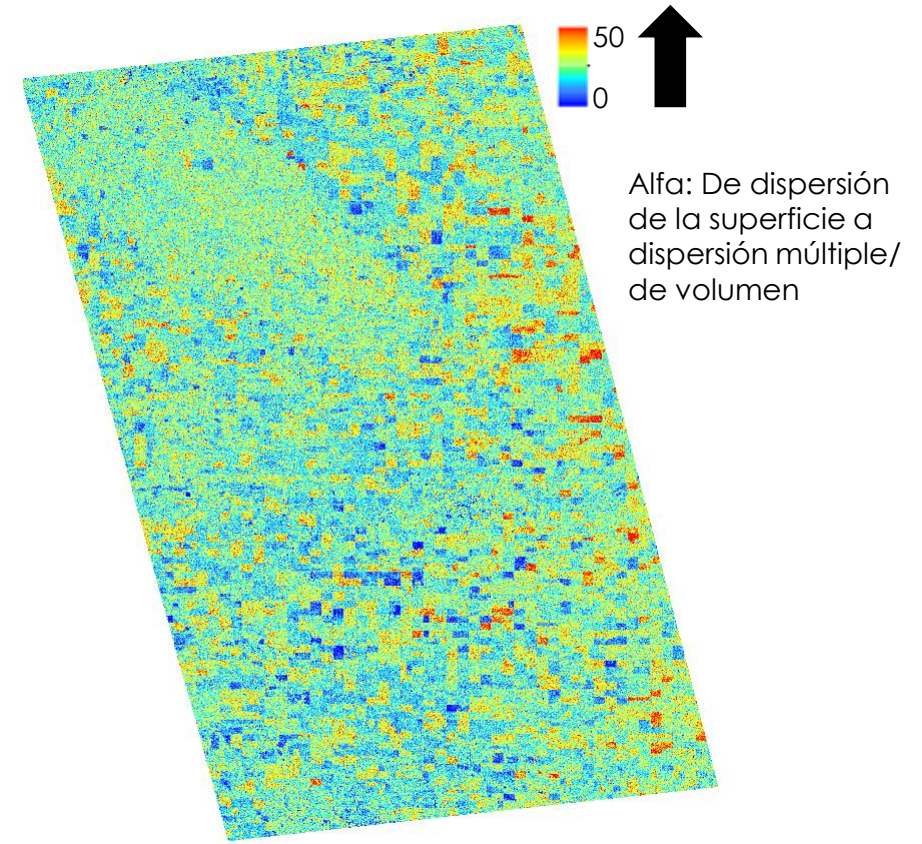
Entropía: De dispersión más predecible a menos predecible (más aleatoria).

Carman, Manitoba, Canadá
Sentinel-1 (8 de agosto de 2019)



Alfa

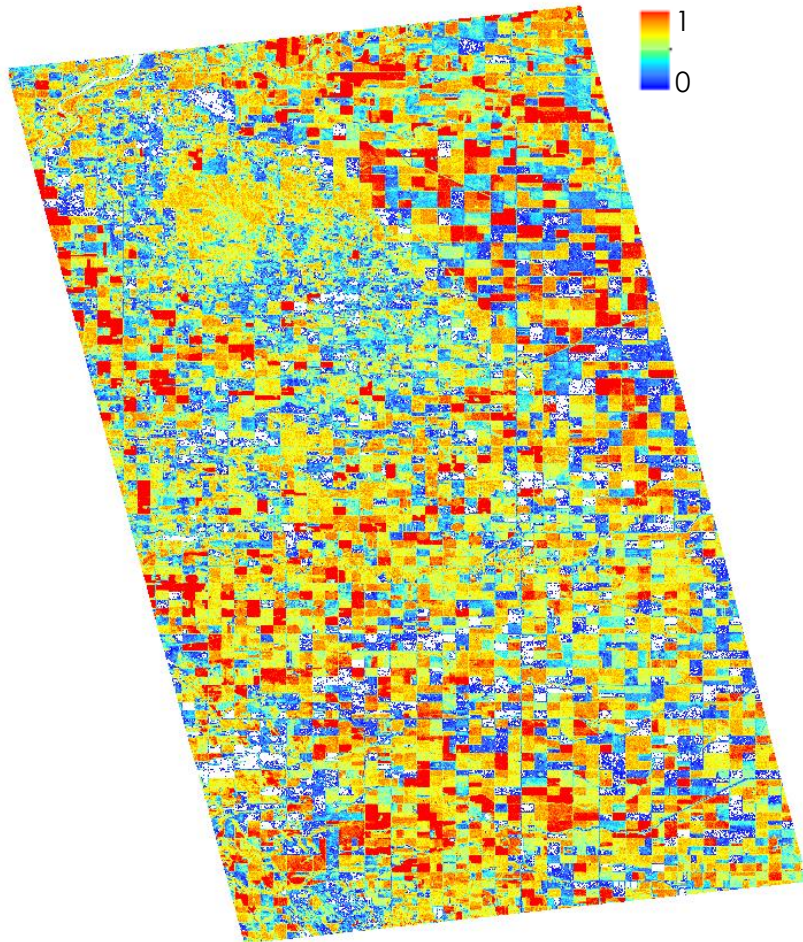
- Los doseles de los cultivos crean una mezcla de mecanismos de dispersión (singular, doble, múltiple), aunque un tipo de dispersión normalmente predomina.
- El ángulo Alfa indica cuál de estos mecanismos de dispersión es el dominante; a medida que los doseles se desenvuelven, las contribuciones del rebote múltiple y doble aumentan, por lo general.



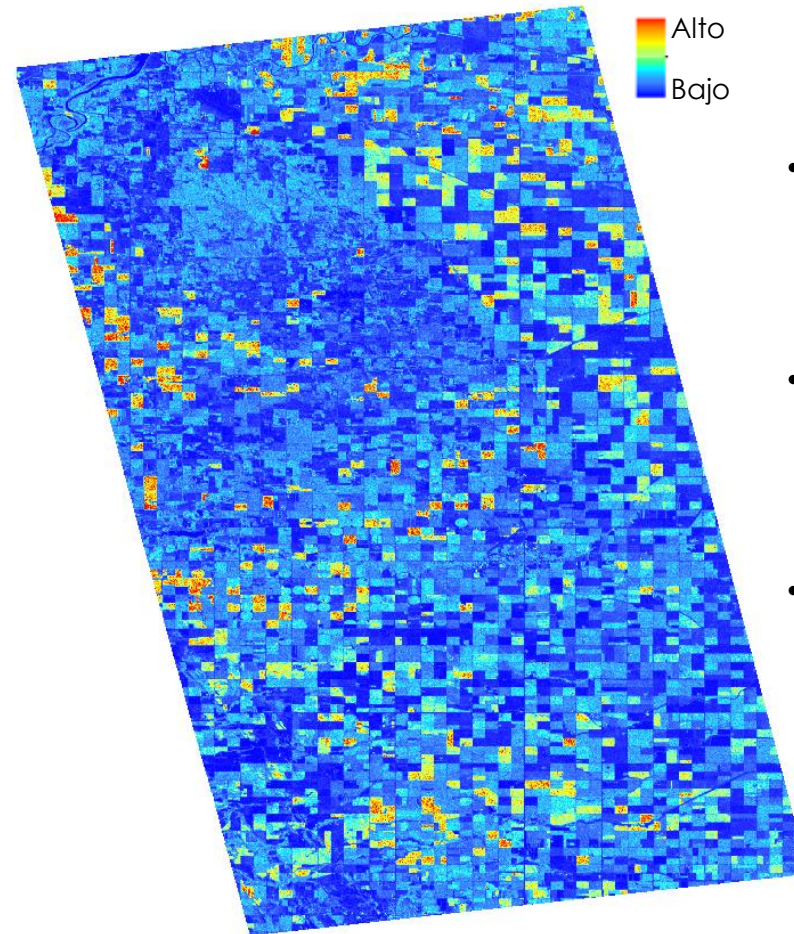
Carman, Manitoba, Canadá
Sentinel-1 (8 de agosto de 2019)



Seleccionados Como Importantes para la Modelación de la Condición de los Cultivos



Carman, Manitoba, Canadá
Entropía de Shannon Normalizada
Sentinel-1 (8 de agosto de 2019)



Carman, Manitoba, Canadá
Segundo Eigenvalor (I2)
Sentinel-1 (8 de agosto de 2019)

- La suma de los eigenvalores primero y segundo (I_1 y I_2) es igual a la intensidad de retrodispersión total.
- El segundo eigenvalor expresa la mitad de la intensidad del componente no polarizado de la onda dispersa.
- Mientras que DoLP describe la linealidad de la dispersión polarizada, I_2 captura la cantidad de dispersión no polarizada.



Selección de Características de Parámetros

- Todos los parámetros de SAR Sentinel-1 se derivan de una matriz de covarianza 2×2 .
- Los parámetros pueden ser correlacionados y así ofrecer información redundante.
- El uso de un “gran” número de variables puede ocasionar sobreajustes.
- La selección de características de parámetros de SAR es opcional (preseleccionar características o dejar que los modelos de aprendizaje automático seleccionen las mejores).
- Hay muchas opciones para la selección de características (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator [LASSO] es un ejemplo).



Desarrollo del NDVI Calibrado con SAR (SAR_{cal} -NDVI)

Fuentes de datos: Sentinel-1 SLC y Sentinel-2 (AAFC también ha hecho pruebas con RADARSAT-2 QP)

Tipos de cultivos: maíz, colza, trigo, soya, cebada y avena

Preprocesamiento

- Derivar parámetros polarimétricos SAR (Sentinel-1) y NDVI (Sentinel-2).
- La selección de características es opcional.
- Crear segmentos de imágenes (a partir del producto Sentinel-2 NDVI).
- Calcular la respuesta SAR media y el NDVI medio por segmento de imagen (cultivo por cultivo; también, todos los cultivos).
- Usar segmentos (no píxeles) para reducir el ruido SAR residual

Crear función de calibración (múltiples parámetros de SAR al NDVI) usando algoritmos de aprendizaje automático.

- Modelos de aprendizaje automático:
 - Feed Forward Artificial Neural Network (ANN)
 - Least Square Boost Regression (LSBoost)
 - Random Forest Regression (RFR)
- Considerando su implementación fácil y exitosa, **se va a demostrar RFR en esta capacitación.**

Coefficientes de Determinación (R^2)
Parámetros de Sentinel-1 y
Resultados de Validación con el
NDVI Sentinel-2

Colza	0,782
Maíz	0,808
Soya	0,883
Trigo	0,859
Todos	0,663



Cuadrar el SAR_{cal}-NDVI con un Modelo de la Dinámica de la Estructura de los Cultivos

- Se utiliza un Modelo de la Dinámica de la Estructura de los Cultivos (Crop Structure Dynamics Model o CSDM) para ajustar estimaciones del SAR VI para crear un intervalo diario de la condición de los cultivos.
- Este enfoque mejora las estimaciones temporales (diarias) y espaciales (subcampo) de la condición de los cultivos.

$$D = D_{max} \left[\frac{1}{1 + e^{-b(T-T_i)}} - e^{-a(T-T_s)} \right]$$

D: descriptor estructural del dosel con un valor máximo lograble D_{max} . D se fija como SAR_{cal}-NDVI

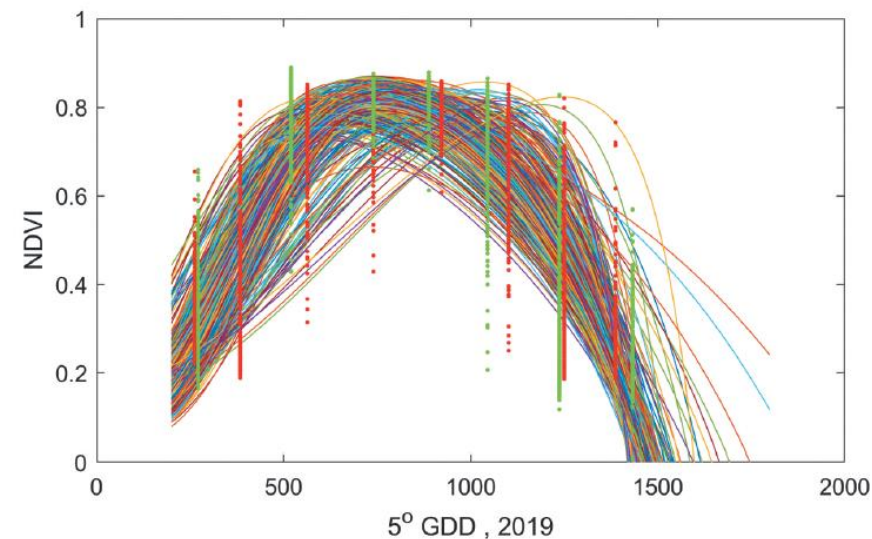
T: los días grado de crecimiento acumulativos (GDD; para Canadá, fijar como el 1^o de mayo)

Este modelo describe la estructura del dosel en dos partes: crecimiento y senescencia.

El período de crecimiento está definido por una ecuación logística con parámetros b y T_i . El coeficiente b es la tasa de crecimiento relativa en el punto de inflexión T_i .

La senescencia está definida por una ecuación exponencial con un parámetro a y T_s . a es la tasa de senescencia. T_s representa el GDD acumulativo en el cual D baja a 0 debido a la senescencia.

- Programado en MATLAB
- Cinco coeficientes (D_{max} , a , b , T_i y T_s) optimizados usando el método Levenberg-Marquardt de mínimos cuadrados.



— CSDM of each Segment • Sentinel-2 NDVI
• SARcal - NDVI

Puntos verdes: NDVI de Sentinel-2
Puntos rojos: SAR_{cal}-NDVI de Sentinel-1

Líneas: Ajuste CSDM para cada objeto subcampo
(Jiao et al., 2022)



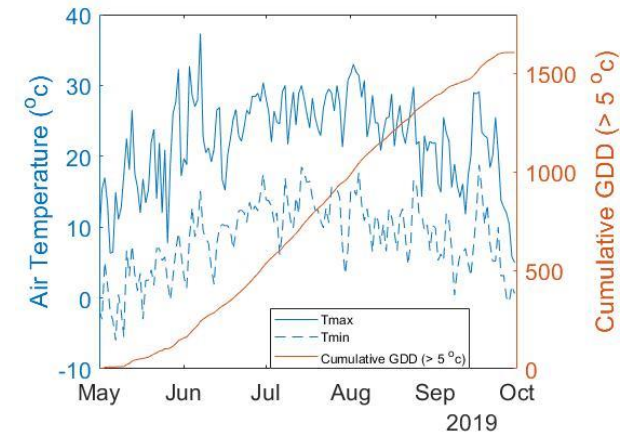
Días Grado de Crecimiento (Growing Degree Days o GDD)

- Los GDDs son las temperaturas máxima diaria (T_{max}) promedio y mínima diaria (T_{min}) promedio menos la temperatura de base (T_{base}).
- La temperatura de base es un umbral debajo del cual ocurre poco crecimiento y varía según el tipo de cultivo.
- Fijamos la temperatura base para esta región de Canadá como 5°C .
- Las temperaturas máxima y mínima diarias se descargan de una estación meteorológica cercana.

$$\text{GDD} = (T_{max} + T_{min})/2 - T_{base}$$

Donde si $[(T_{max} + T_{min})/2 < T_{base}]$, entonces $\text{GDD} = 0$

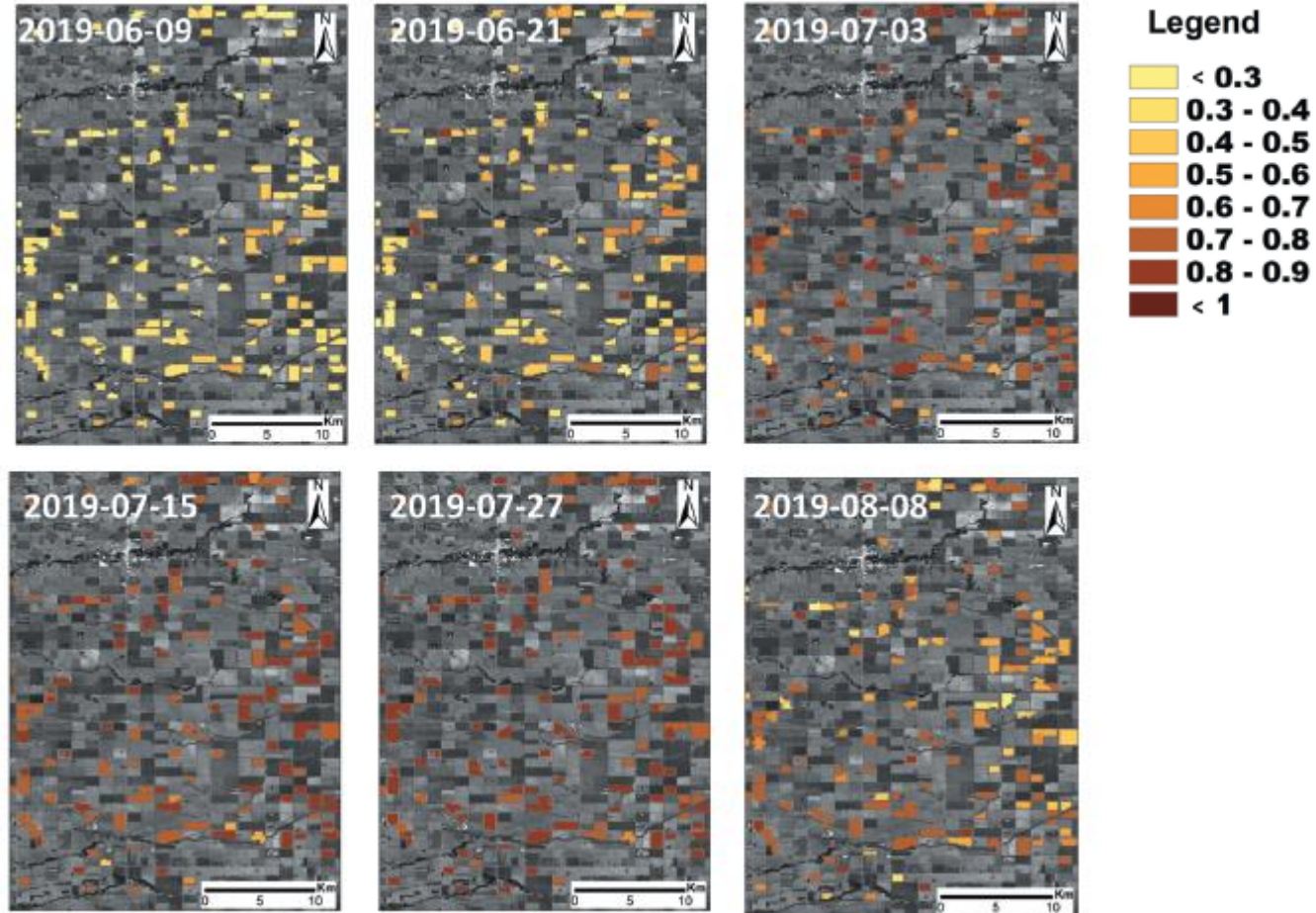
- GDD acumulado se calcula sumando los GDDs para cada día durante la temporada de crecimiento.



Ejemplo de acumulación de GDD a lo largo de la temporada de crecimiento canadiense (Jiao et al., 2021)



Creación de la Serie Temporal SAR_{cal}-NDVI



Seguimiento del desarrollo del cultivo de colza a lo largo de la temporada de crecimiento de 2019 usando Sentinel-1 (Jiao et al., 2022)

- Es importante validar las estimaciones de la condición de los cultivos basadas en SAR con mediciones biofísicas.
- Esto es algo continuo, pero para la colza, la correlación (R^2) entre el SAR_{cal}-NDVI basado en Sentinel-1 y la biomasa medida en el campo ha sido completada.
- Desde el principio hasta mediados de la temporada (período acumulación rápida de biomasa) R^2 es 0,88.
- Desde mediados hasta finales de la temporada (período de senescencia) R^2 es 0,42. La correlación más baja se debe al hecho que la biomasa sea estable pero el contenido húmedo de los cultivos se disminuya.



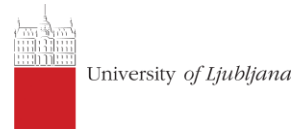
Referencias

- Cloude, S. (2007). "The Dual Polarisation Entropy/Alpha Decomposition." In Proceedings of the 3rd International Workshop on Science and Applications of SAR Polarimetry and Polarimetric Interferometry, edited by H. Ouwehand Lacoste, L. Noordwijk, and Noordwijk. Frascati, Italy. Collett, E. 2005. Field Guide to Polarization. Bellingham, WA: SPIE Press.
- Cloude, S.R., Goodenough, D.G., y Chen, H. (2012). "Compact decomposition theory," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 9, no. 1, pp. 28–32. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2011.2158983>.
- Dingle Robertson, L., McNairn, H., Jiao, X., McNairn, C., y Ihuoma, S.O. (2022). Monitoring crops using compact polarimetry and the RADARSAT Constellation Mission, Canadian Journal of Remote Sensing, doi: 10.1080/07038992.2022.2121271.
- Jiao, X., McNairn, H., y Dingle Robertson, L. (2021). Monitoring crop growth using a canopy structure dynamic model and time series of Synthetic Aperture Radar (SAR) data, International Journal of Remote Sensing, 42:6437-6464, doi: 10.1080/01431161.2021.1938739.
- Jiao, X., McNairn, H., Yekkehkhany, B., Dingle Robertson, L., y Ihuoma, S. (2022). Integrating Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 optical imagery with a crop structure dynamics model to track crop condition, International Journal of Remote Sensing, 43:6509-6537, doi: 10.1080/01431161.2022.2142077.
- Kim, Y. y van Zyl, J.J. (2009). "A Time-Series Approach to Estimate Soil Moisture Using Polarimetric Radar Data," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 47 (8): 2519–2527.
- Réfrégier, P., y Morio, J. (2006). "Shannon Entropy of Partially Polarized and Partially Coherent Light with Gaussian Fluctuations." Journal of the Optical Society of America 23 (12): 8. doi:10.1364/ JOSAA.23.003036.





Agriculture et Agroalimentaire Canada



Monitoreo del Crecimiento de los Cultivos a Través de Parámetros Estructurales Derivados de SAR

Emily Lindsay, Heather McNairn y Xianfeng Jiao – Agricultura y Agroalimentación de Canadá

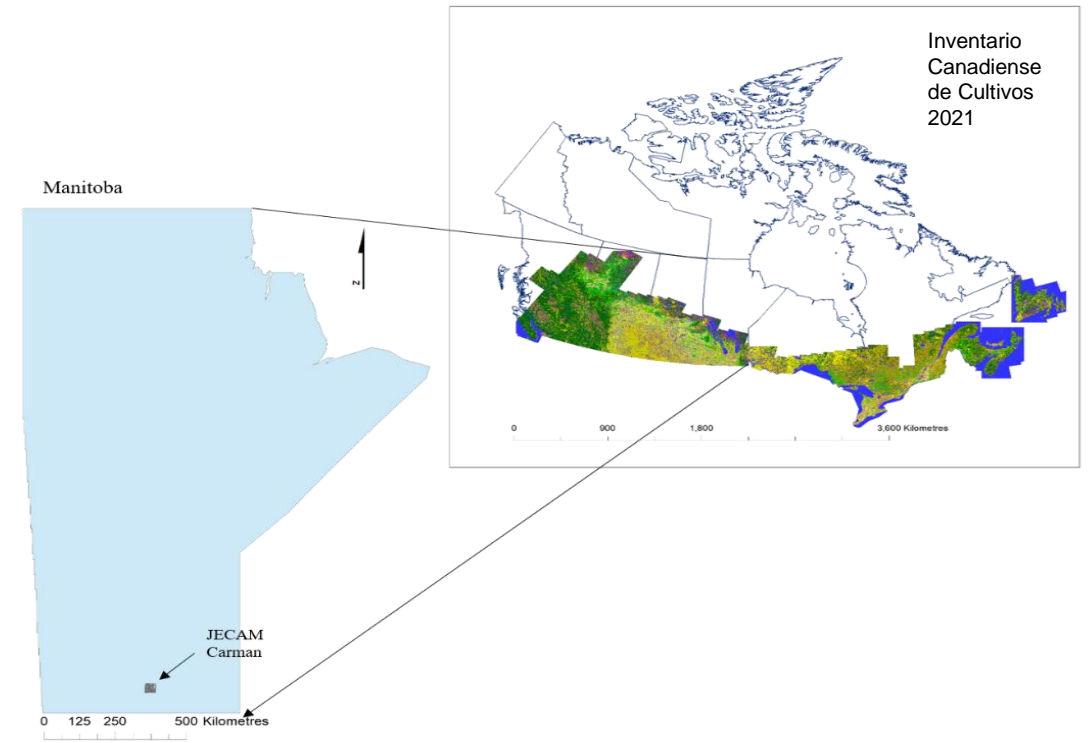
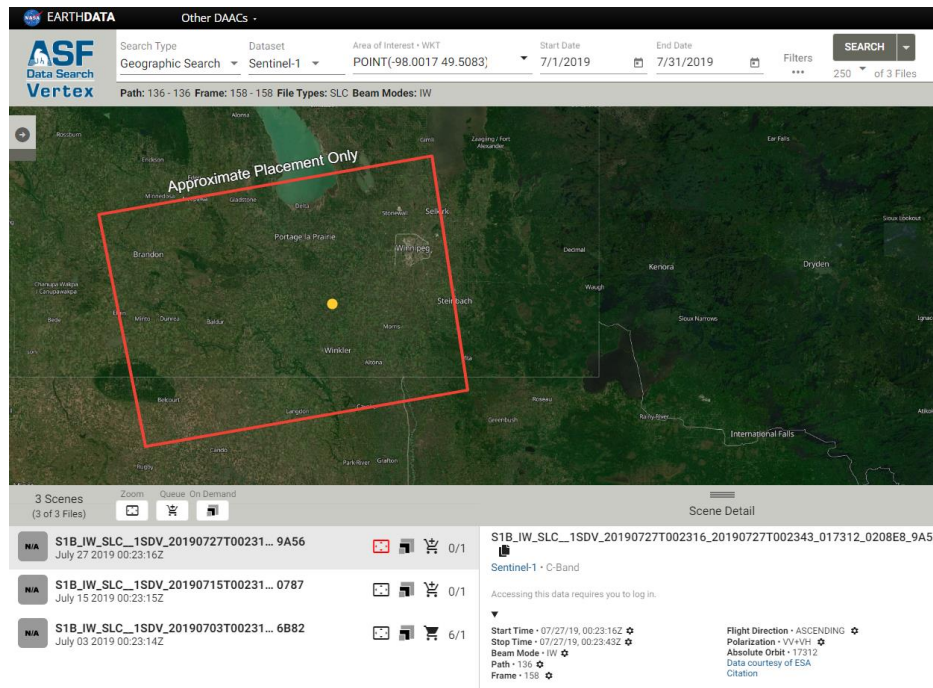
11 de abril de 2023

Imágenes SLC de Sentinel 1

S1B_IW_SLC__1SDV_20190727T002316_20190727T002343_017312_0208E8_9A56

- Sitio JECAM Carman, MB
- Imagen **SLC** S1, 27 de julio de 2019
- ASF Vertex: <https://search.asf.alaska.edu/#/>
- Imagen S2 Correspondiente (~2-3 días de S1, sin nubes) para calcular el NDVI

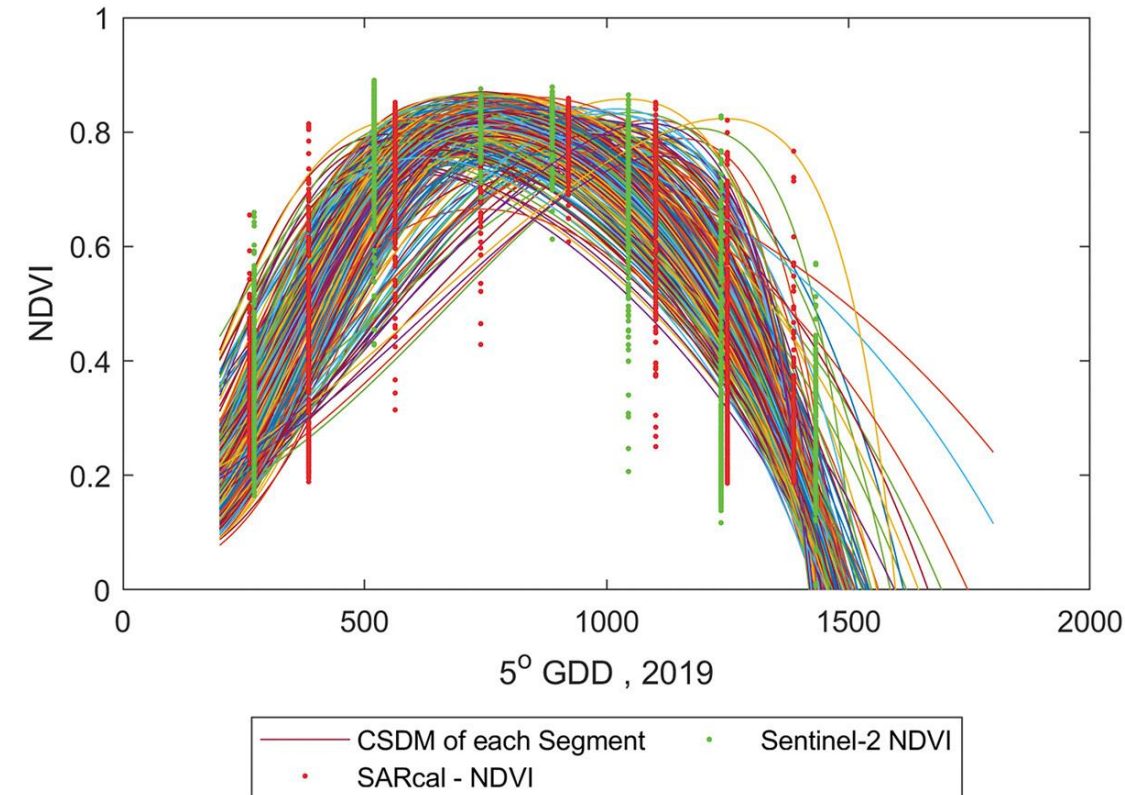
$$C_2 = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle |S_{VV}|^2 \rangle & \langle S_{VV} S_{VH}^* \rangle \\ \langle S_{VH} S_{VV}^* \rangle & \langle |S_{VH}|^2 \rangle \end{bmatrix}$$



Esquema

Ejercicio Práctico (Emily Lindsay)

- Preprocesamiento de SAR Sentinel-1
 - SNAP
- Derivar parámetros cuasi-polarimétricos de imágenes Single Look Complex (SLC) de Sentinel-1
 - PolSARpro
- Regresión Random Forest para SAR_{cal} -NDVI
 - Python
- SAR_{cal} -NDVI a CSDM
 - MATLAB

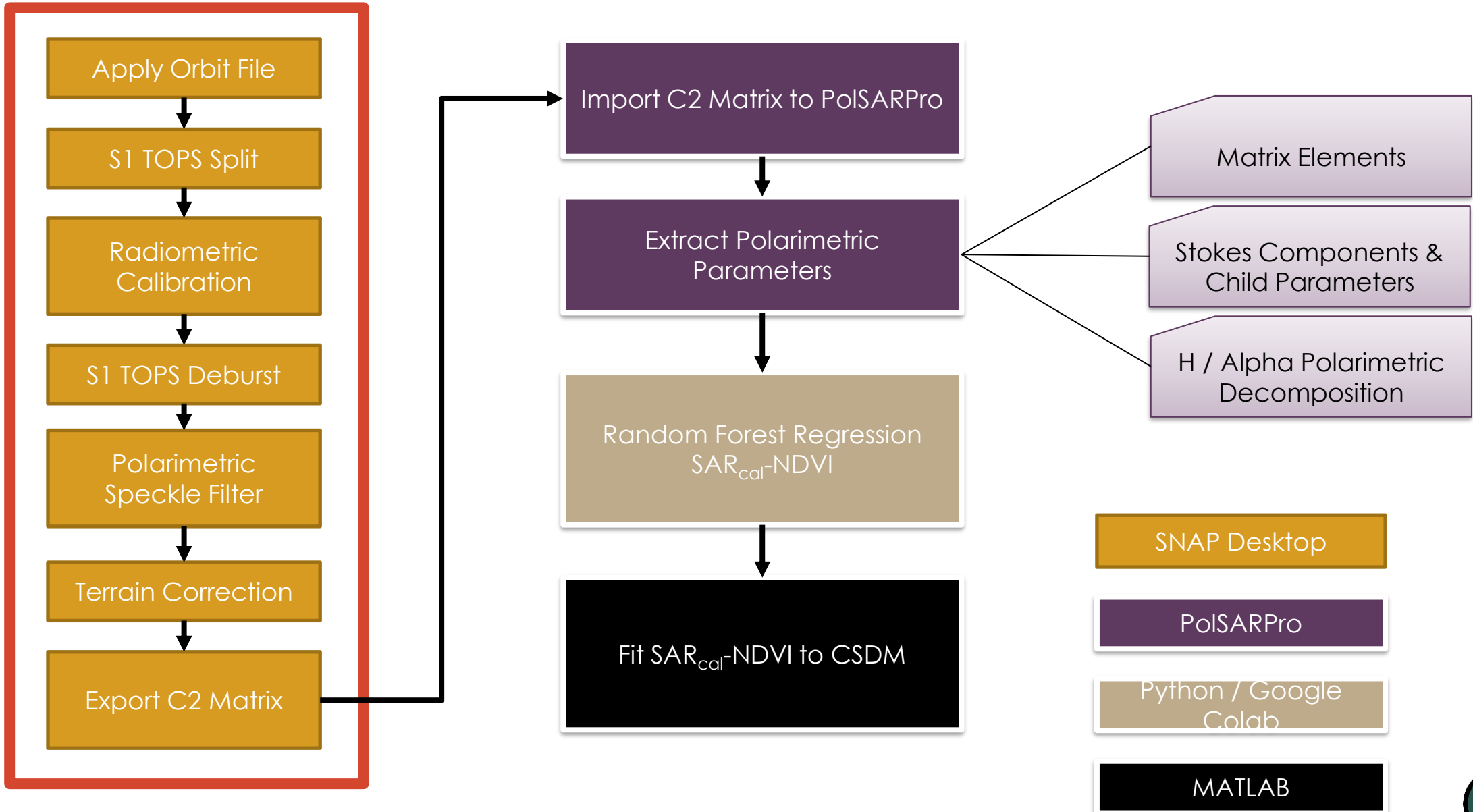


Puntos verdes: NDVI de Sentinel-2
Puntos rojos: SAR_{cal} -NDVI de Sentinel-1

Líneas: Ajuste CSDM para cada objeto subcampo
(Jiao et al., 2022)



Metodología del Procesamiento



1. Generar Matriz C2 en SNAP

Aplicar Archivo de Órbita

Puede descargar información acerca de la órbita de Sentinel-1 de la ESA:

<https://scihub.copernicus.eu/gnss/#/home>.

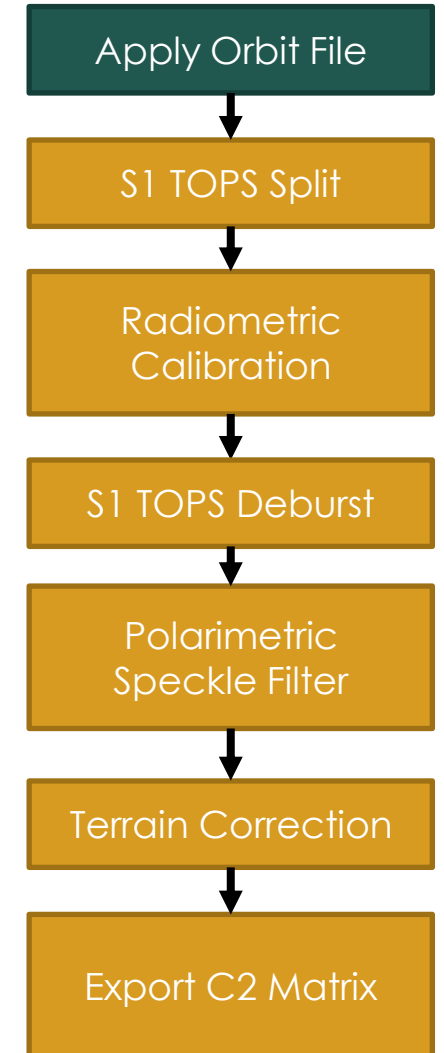
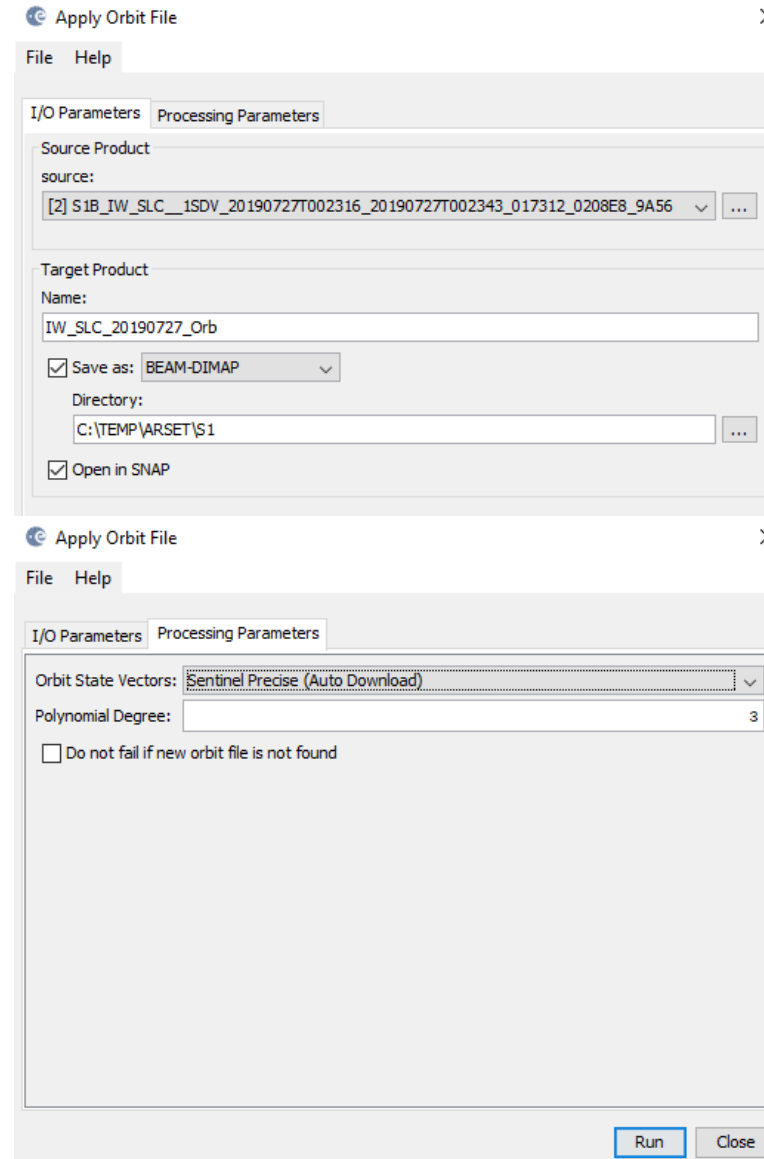
Radar → Apply Orbit File

I/O Parameters:

- Ingrese: Archivo S1 .Zip

Processing Parameters:

- Orbit State vectors: Sentinel Precise (Auto Download)



1. Generar Matriz C2 en SNAP

S1 TOPS Split

TOPSAR Split para reducir el tiempo de procesamiento y la cantidad de memoria que se requiere

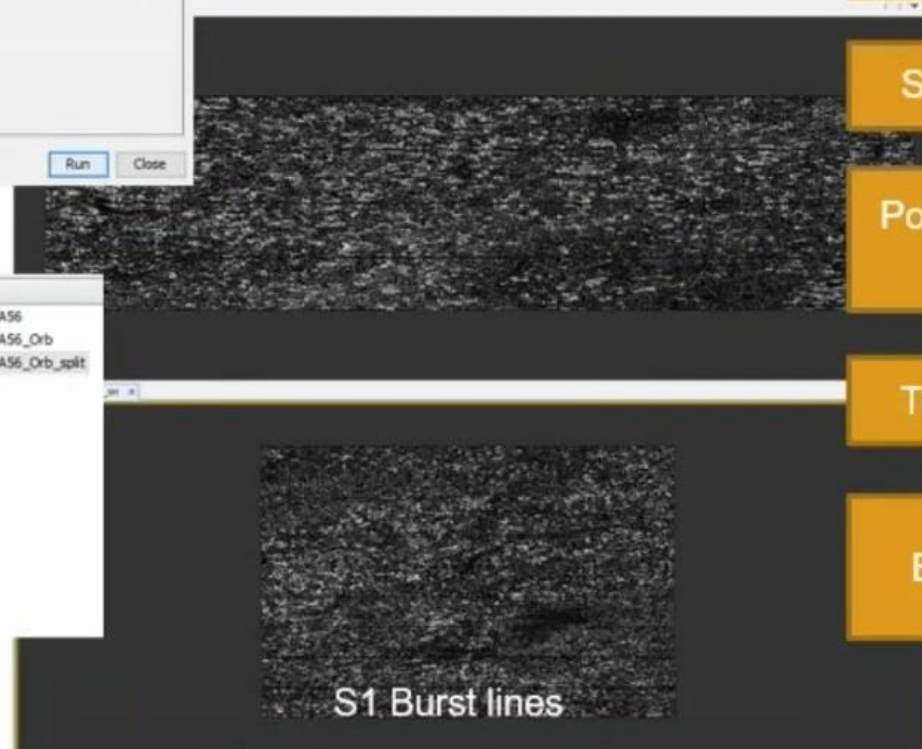
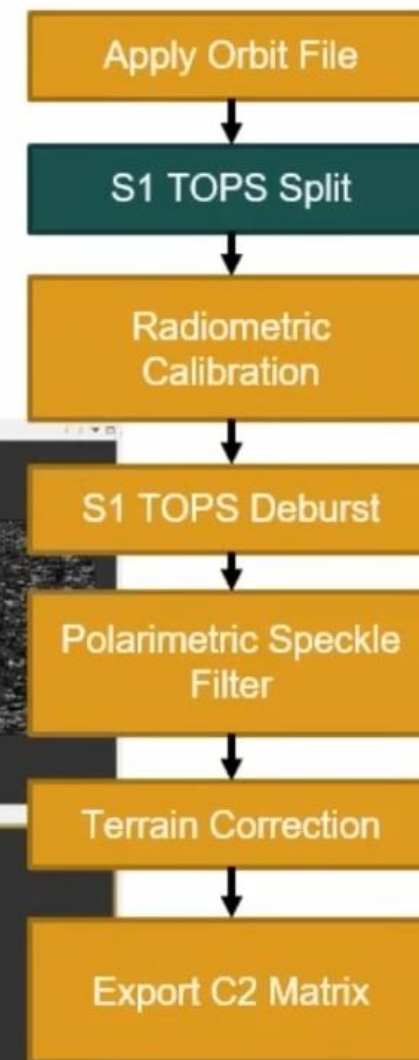
Radar → Sentinel-1
TOPS → S-1 TOPS Split

I/O Parameters:

- Imagen de órbita corregida (Input)

Parámetros de procesamiento:

- Elegir sub-barrido (IW1, IW2 or IW3)
- Seleccionar ambas polarizaciones
- Reducir ráfagas (Bursts) usando flechas deslizantes



1. Generar Matriz C2 en SNAP

Calibración Radiométrica

Convierta datos SLC de SAR en canales de retrodispersión de radar (σ^0) real (intensidad) e imaginario (fase).

SNAP automáticamente determinará la conversión basado en los metadatos del producto S1 SLC.

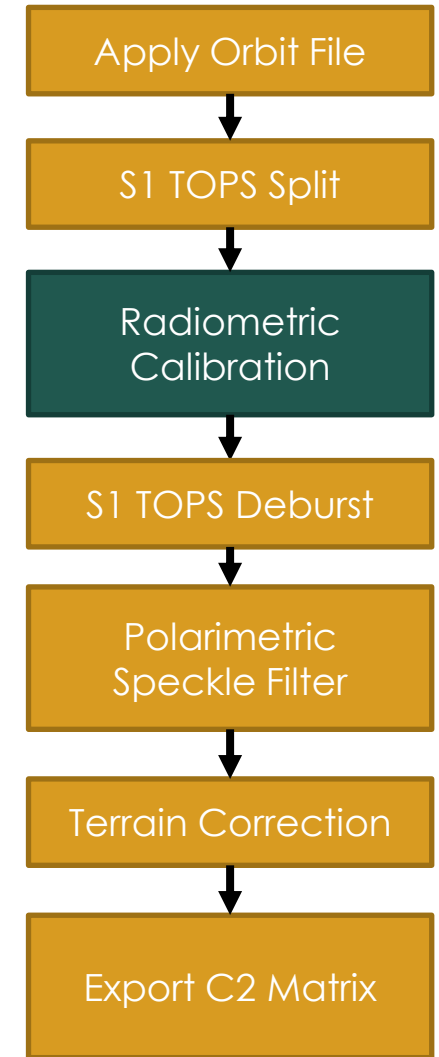
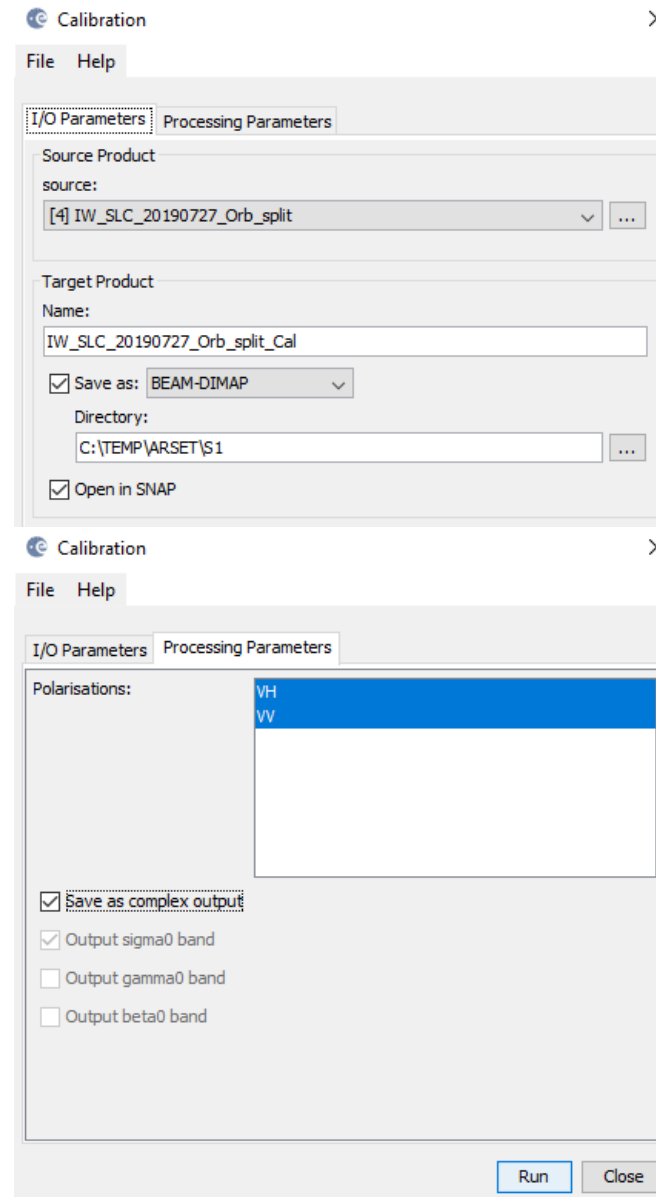
Radar → Radiometric → Calibrate

I/O Parameters:

- Ingrese: Split file

Processing Parameters:

- Seleccionar ambas polarizaciones y seleccionar "Save as complex output"



1. Generar Matriz C2 en SNAP

S1 TOPS Deburst

Remuestreo y combinación de los sub-barridos y ráfagas seleccionados. Remuestreado en una cuadrícula de espaciado común de píxeles y sin las líneas de las ráfagas.

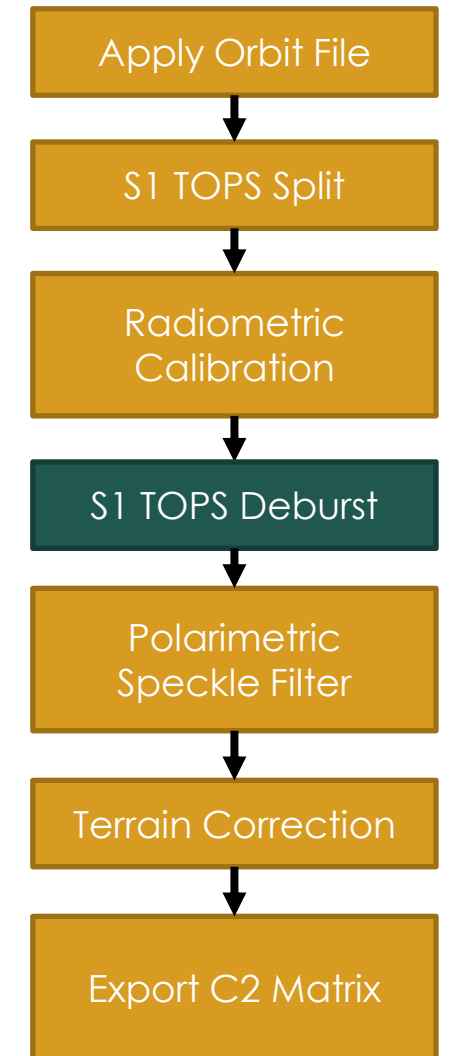
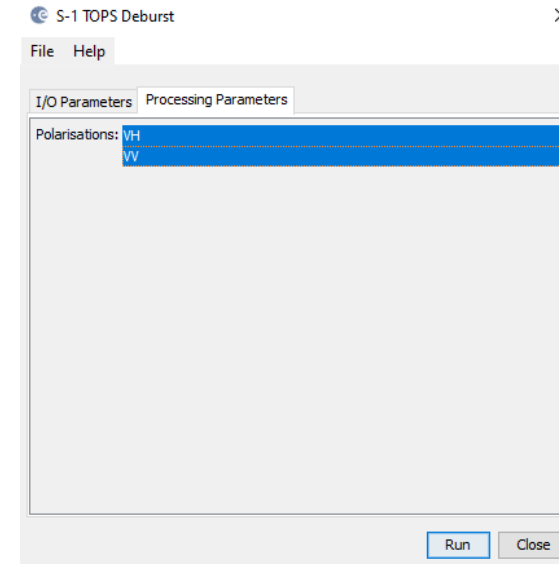
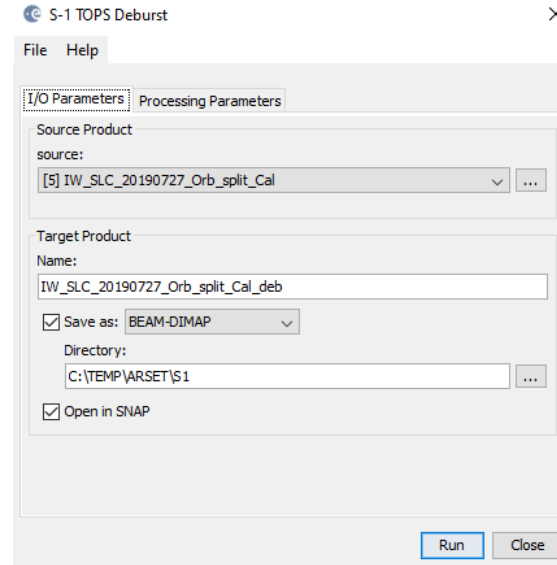
Radar → Sentinel-1 TOPS → S-1 TOPS Deburst

I/O Parameters:

- Ingrese: Archivo S1 calibrado

Processing Parameters:

- Seleccione ambas polarizaciones



1. Generar Matriz C2 en SNAP

Filtrado de “speckle” polarimétrico

Filtrado de “speckle” (moteado) polarimétrico para preservar la fase e información polarimétrica a la vez que se suprimen ruidos. SNAP tiene 4 filtros de speckle polarimétricos (**Box Car**, IDAN, Refined Lee, Improved Lee Sigma).

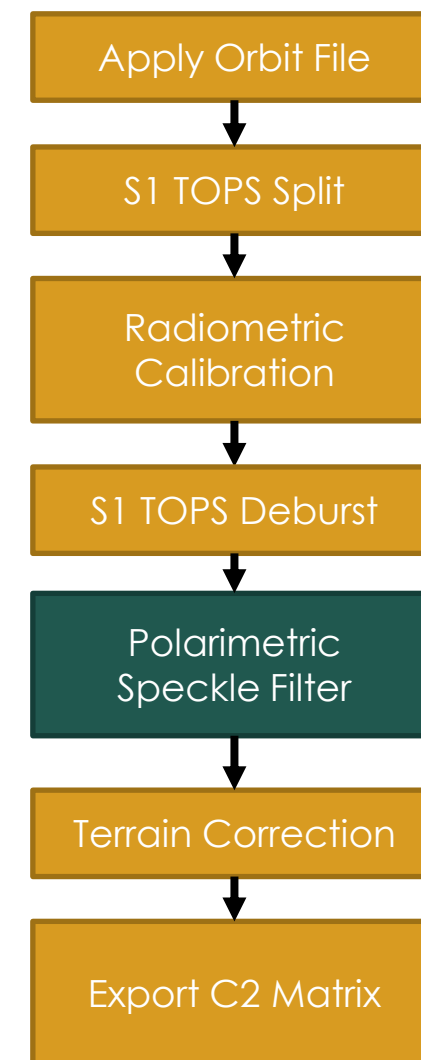
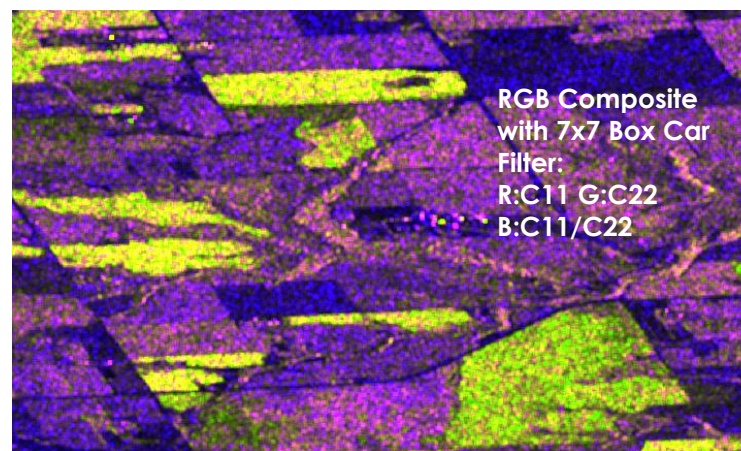
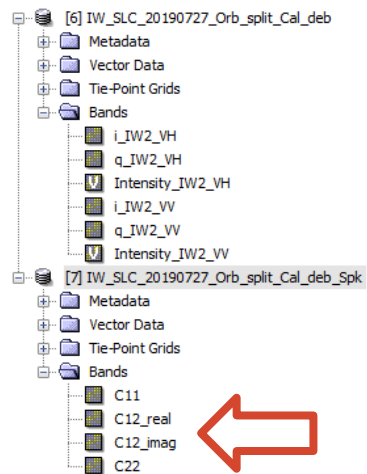
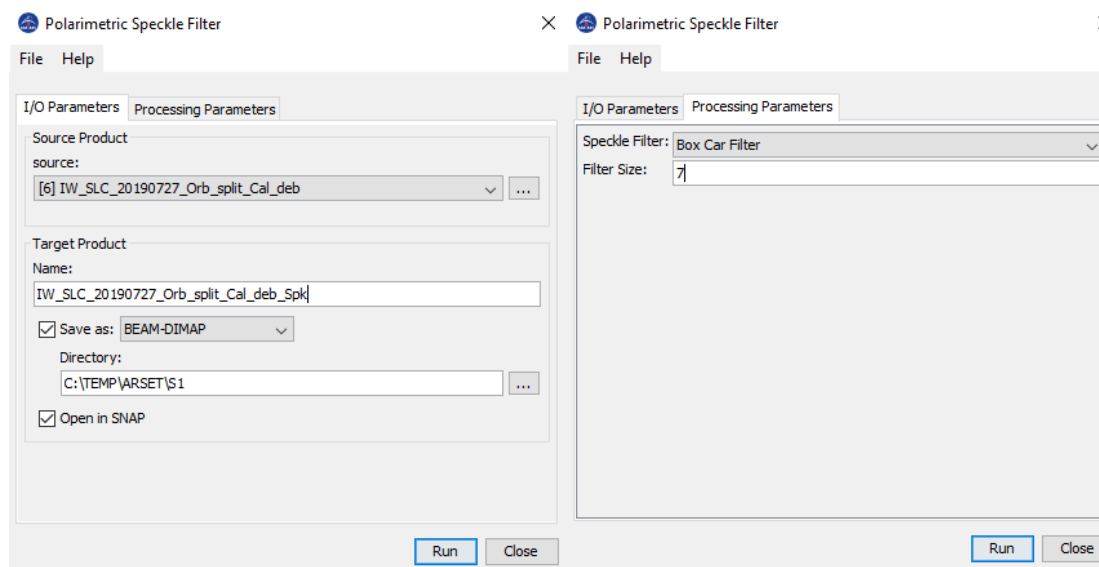
Radar → Polarimetric → Polarimetric Speckle Filter

I/O Parameters:

- Ingrese: Imagen S1 con las líneas removidas

Processing Parameters:

- Box Car Filter, Filter size (tamaño) 7x7



1. Generar Matriz C2 en SNAP

Corrección Geométrica del Terreno

Conversión a un sistema de coordenadas, corrección de la distorsión del terreno usando un Modelo de Elevación Digital y remuestreo de az x rn a un espaciado de píxeles (m)

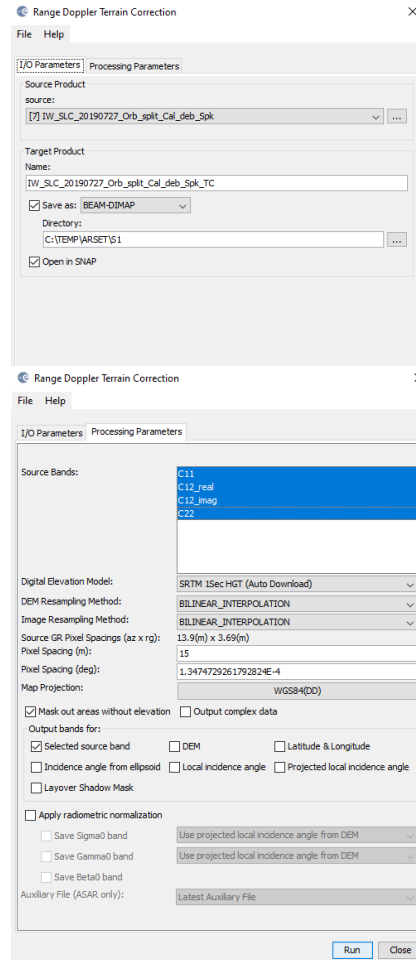
Radar → Geometric → Terrain Correction → Range-Doppler Terrain Correction

I/O Parameters:

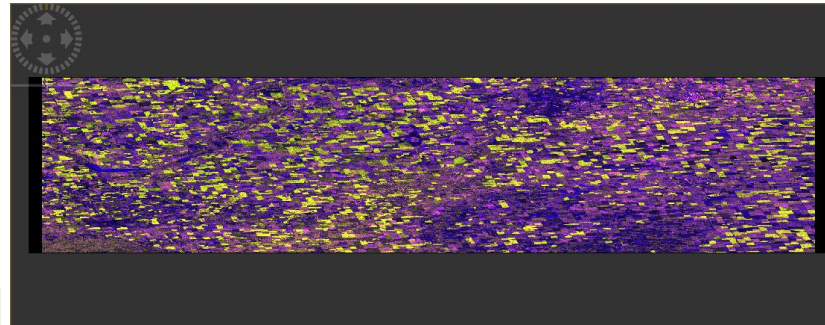
- Ingrese: Imagen con filtro de speckle

Processing Parameters:

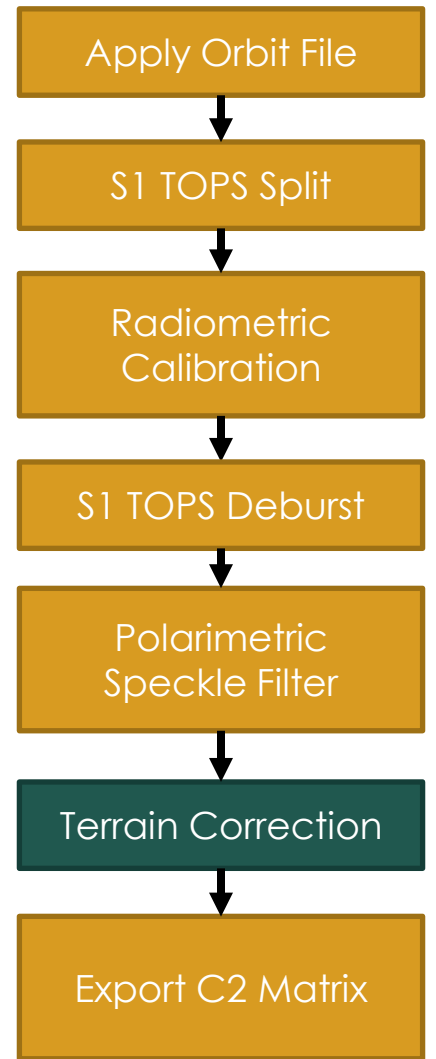
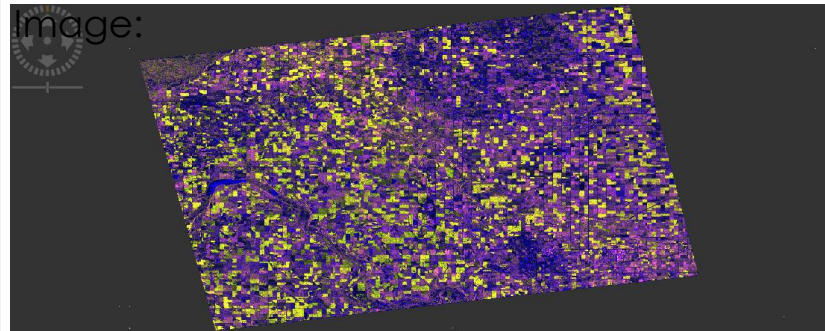
- Source Bands: seleccione todas
- DEM: SRTM 1 Sec (Auto Download)
- Resampling Method: Bilinear Interpolation



Input: Speckle Filtered Image



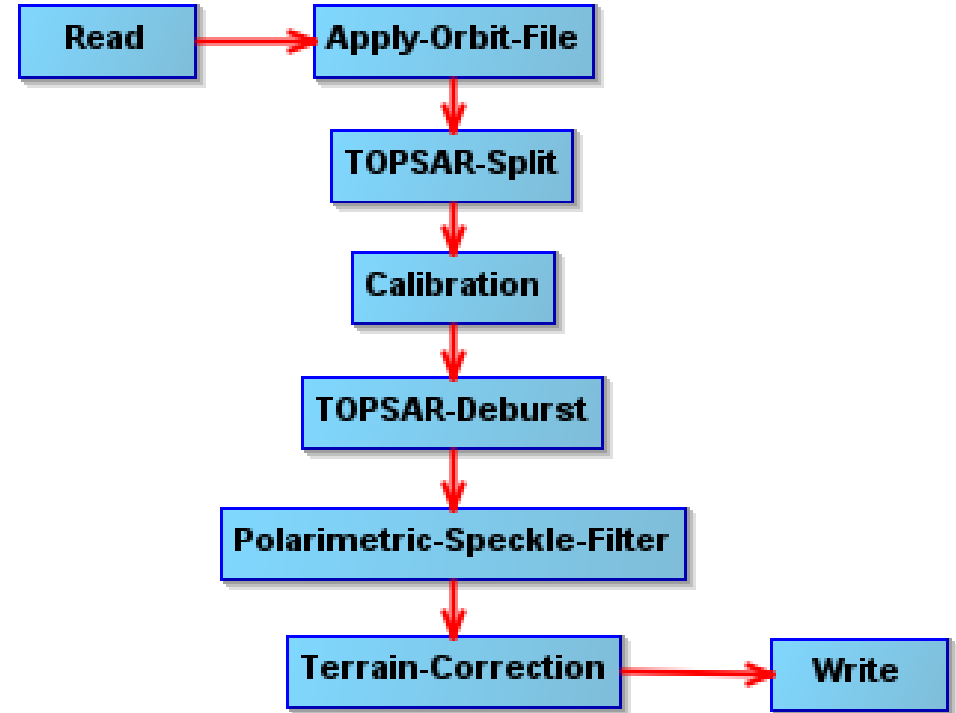
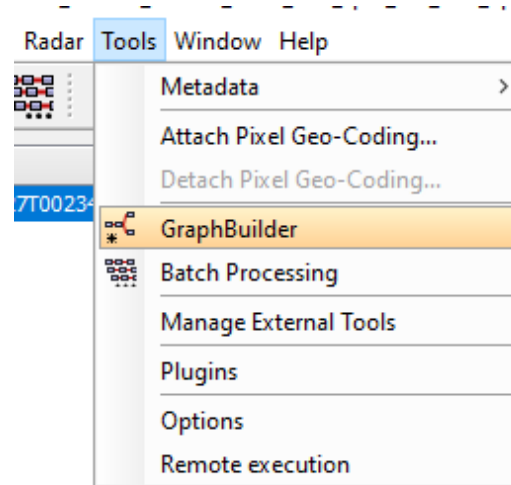
Output: Terrain Corrected Image:



1. Generar Matriz C2 en SNAP

SNAP Graph Builder para automatizar el flujo de trabajo; es útil para las tareas de procesamiento agrupado

- Seleccionar todas las tareas de procesamiento y conectar en orden, fijar los parámetros I/O y de procesamiento para cada herramienta.



1. Generar Matriz C2 en SNAP

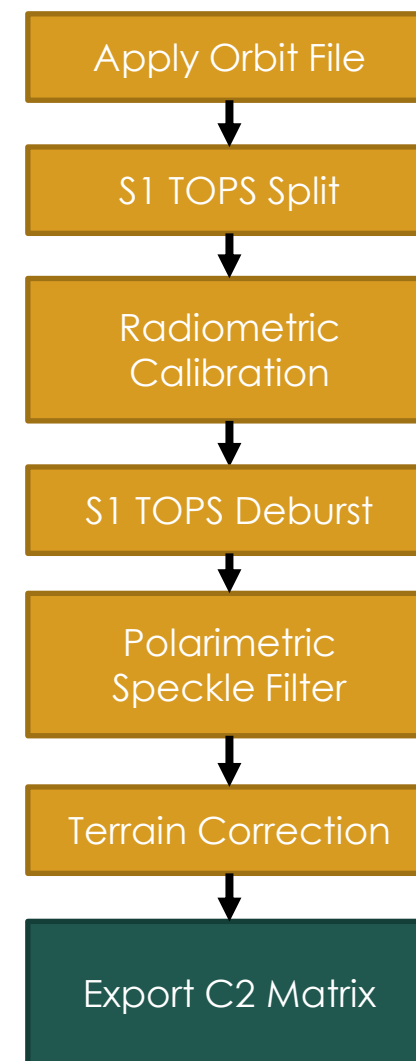
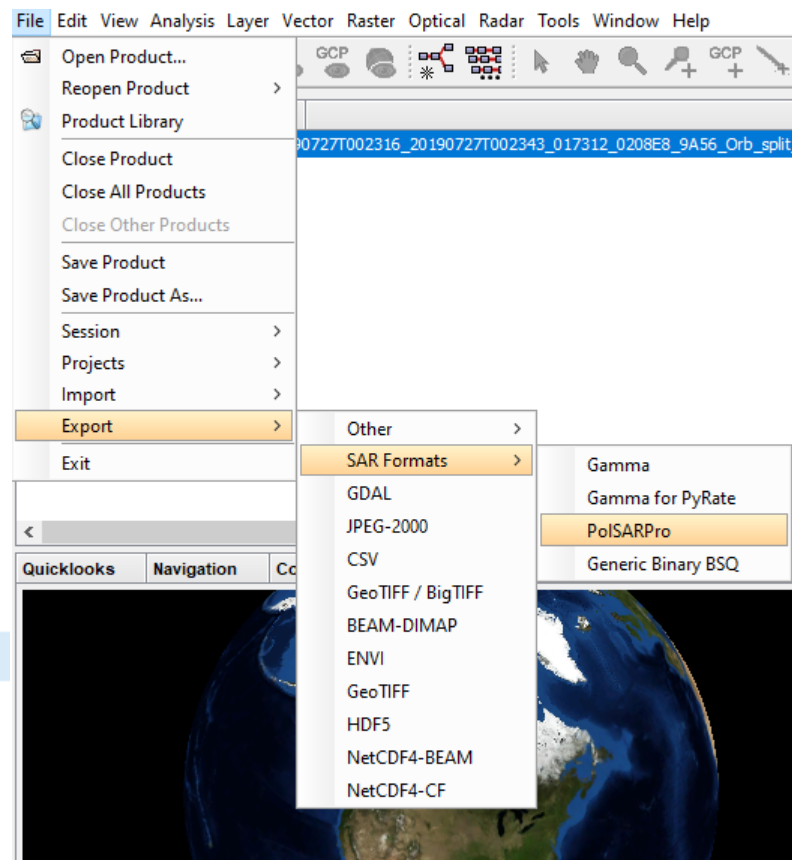
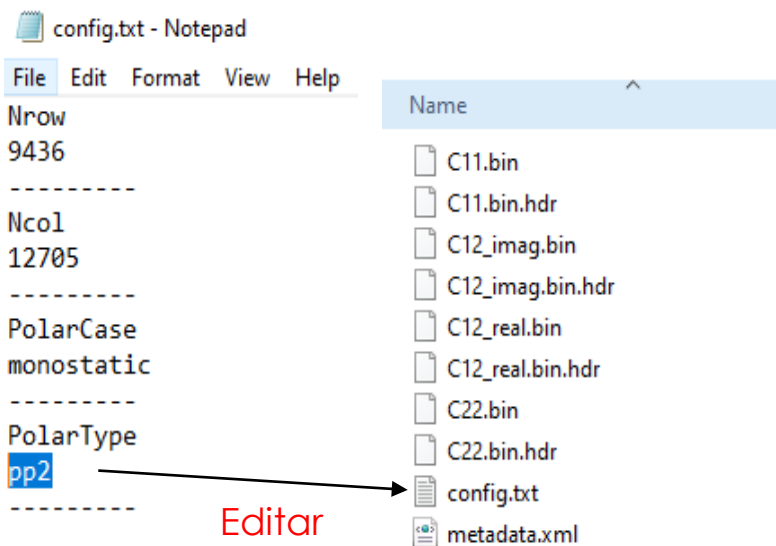
Exportar Matriz C2 para usar en PolSARPro

File → Export → SAR Formats → PolSARPro

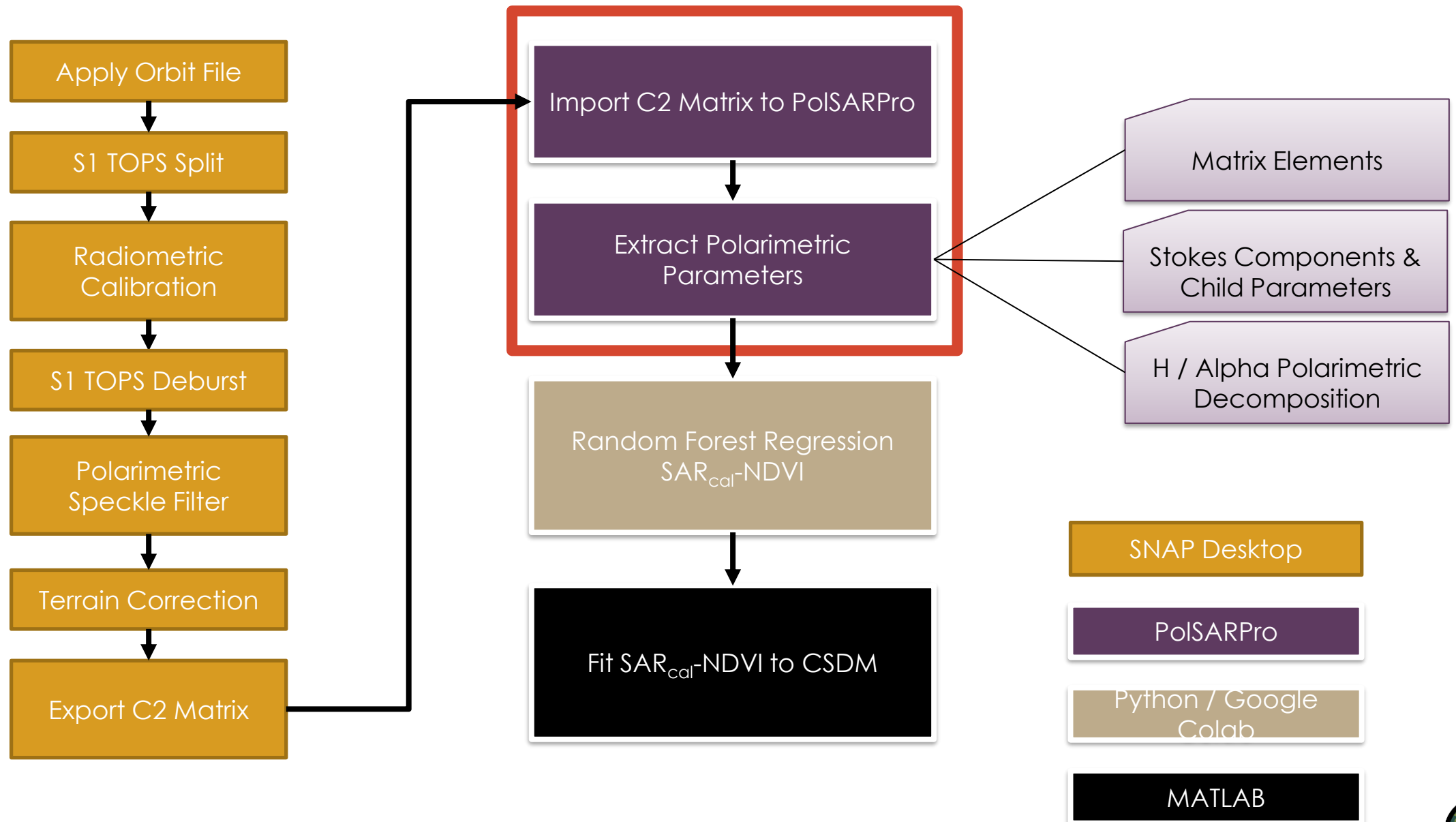
Nota: Exporte también la imagen con la corrección del terreno como GeoTIFF / BigTIFF para usar como imagen matriz georreferenciada.

Cree una carpeta llamada "C2" y guarde todos los archivos PolSARPro exportados en ella.

En la nueva carpeta C2 exportada, cambie config.txt "PolarType" de "dual" a "pp2" usando notepad. Esto permite que PolSARPro reconozca los datos como una matriz 2x2. Guardar.



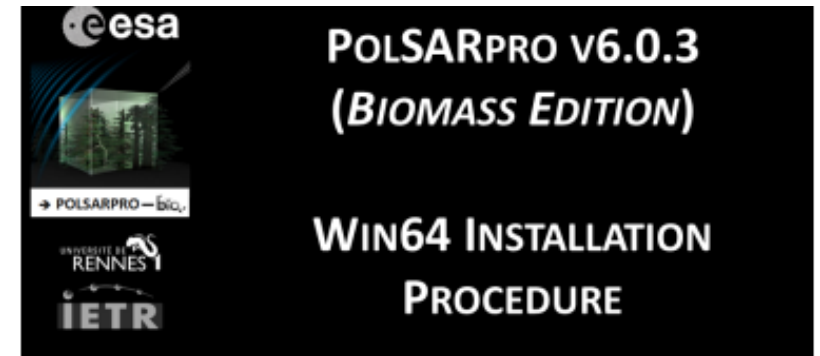
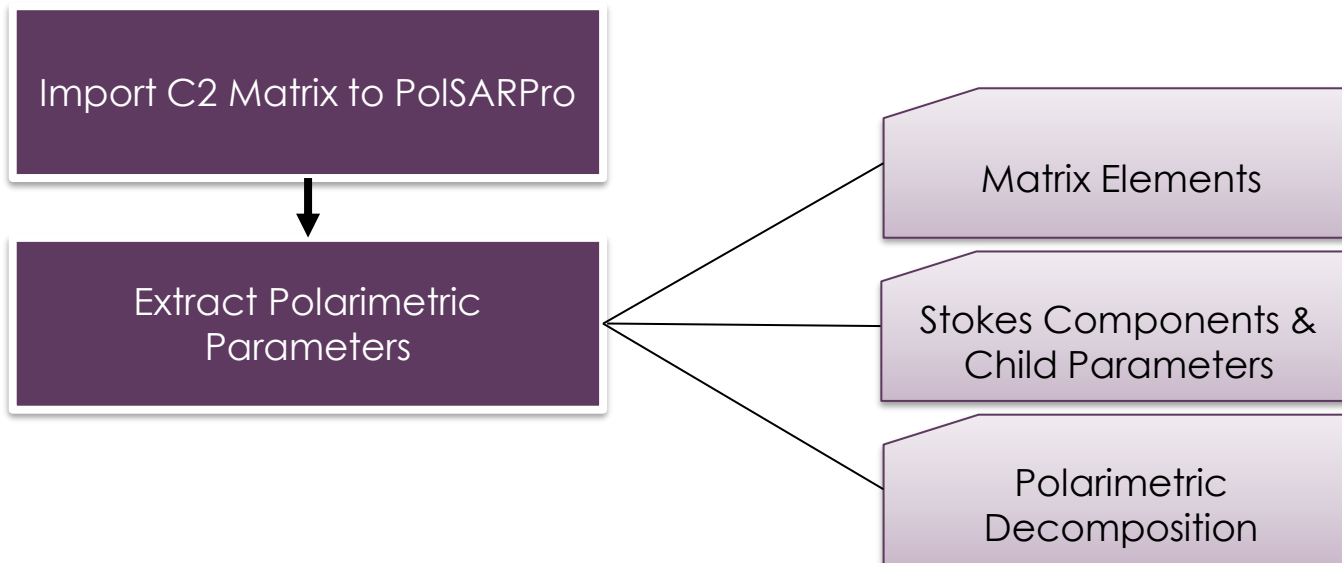
Metodología del Procesamiento



2. Extraer Características Polarimétricas: PolSARpro

Descargar PolSARpro y dependencias;
asegurarse de seguir atentamente las
instrucciones de la instalación.

<https://step.esa.int/main/download/polsarpro-v6-0-biomass-edition-toolbox-download/>



1 - PRE - INSTALLATION

PolSARpro v6.0.3 (Biomass Edition) Software requires the installation of the following packages (if not already installed on the machine) :



Tcl (Tool Command Language) - Tk (ToolKit) enable the execution of powerful **GUIs (Graphical User Interface)**. **Tcl-Tk** binary distribution and installers for Windows platform are available for download from :

<https://www.magicplat.com/tcl-installer/index.html>



Gimp (GNU Image Manipulation Program) is a free and open-source graphics editor. The current stable release of **Gimp** for Windows platform is available for download from :

<https://www.gimp.org/downloads/>



ImageMagick is a free and open-source software suite for converting / creating / editing image files. The current stable release of **ImageMagick** for Windows platform is available for download from :

<https://www.imagemagick.org/script/download.php#windows>



SNAP (Sentinel Application Platform) reunites all Sentinel Toolboxes in order to offer the most complex platform for this mission. The current stable release of **SNAP** for Windows platform is available for download from :

<http://step.esa.int/main/download/>



PolSARpro: Configurar Entorno

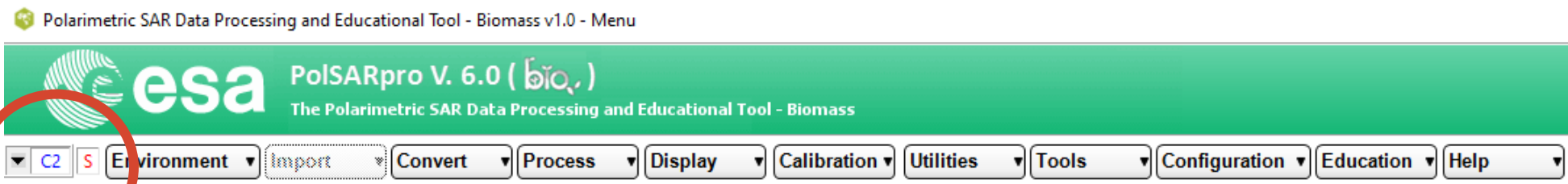
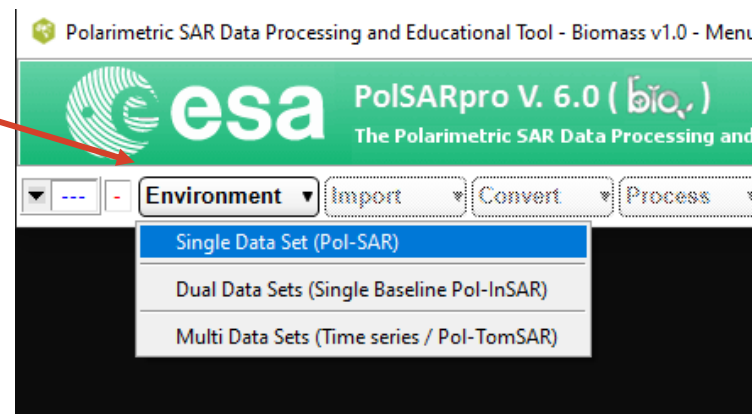
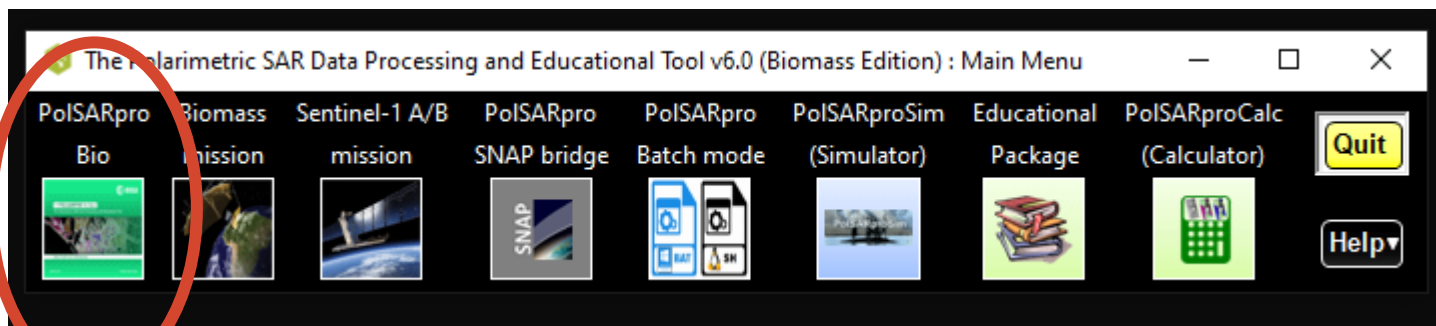
Abrir PolSARpro Bio

Environment → Single

Data Set → Navegue a la carpeta que contiene la carpeta C2

En la parte inferior izquierda debería decir

C2



PolSARpro: Procesar Elementos de la Matriz C2

Data Processing Covariance Elements [C2]

Process → Matrix Elements

- Seleccionar carpetas I/O, crear carpeta para salidas (output directory) para los nuevos parámetros
- Seleccionar C11 Modulus, C22 Modulus y Span Linear

Modulus: representación lineal de la amplitud [C2]

Span: potencia (intensidad) total, la suma de todos los elementos de la matriz

The screenshot displays the PolSARpro V. 6.0 software interface. The main window title is "Polarimetric SAR Data Processing and Educational Tool - Biomass v1.0 - Menu". The interface includes a menu bar with options: C2, Environment, Import, Convert, Process, Display, Calibration, Utilities, Tools, Configuration, Education, Help, and Quit. The "Process" menu is open, showing options: Matrix Elements, Correlation Coefficients, Elliptical Basis Change, Polarimetric Speckle Filter, H / A / Alpha Decomposition, Polarimetric Decompositions, Polarimetric Functionalities - 1, Polarimetric Functionalities - 2, Polarimetric Segmentation, Polarimetric Data Analysis, Polarimetric Data Clustering, and Batch Process. A file explorer window is open, showing a list of files and folders, including C11.bin, C11.bin.hdr, C11_mod.bin, C11_mod.bin.hdr, C12_imag.bin, C12_imag.bin.hdr, C12_real.bin, C12_real.bin.hdr, C22.bin, C22.bin.hdr, C22_mod.bin, C22_mod.bin.hdr, config, config_mapinfo, mask_valid_pixels.bin, mask_valid_pixels.bin.hdr, mask_valid_pixels, mask_valid_pixels.bmp.hdr, metadata, span.bin, and span.bin.hdr. The "Data Processing: Covariance Elements C2" dialog box is open, showing the following settings: Input Directory: C:/TEMP/ARSET/C2, Output Directory: C:/TEMP/ARSET/GEOTIFF/output, Init Row: 1, End Row: 5538, Init Col: 1, End Col: 25932. The dialog box also shows options for processing C11, C12, C22, and Span, with checkboxes for BMP output. The "Run" button is highlighted.



PolSARpro: Generar Parámetros de Stokes

Process → Polarimetric Functionalities – 1 → Stokes Parameters

- Seleccionar carpetas I/O (carpeta C2)
- Elegir parámetros para generar:
 - Parámetros de Stokes (S_0, S_1, S_2, S_3)
 - Orientation Angle (Ψ) y Ellipticity Angle (X)
 - Degree of polarization (DoP), Degree of linear polarization (DoLP), linear polarization ratio (LPR)
 - Eigenvalues (I_1 & I_2)
- Configure el tamaño de la ventanilla de procesamiento o **window size** (p.ej. 3x3, 5x5)

The screenshot shows the 'Data Processing: Stokes Parameters' window. The 'Input Directory' is set to 'C:/TEMP/ARSET/C2' and the 'Output Directory' is 'C:/TEMP/ARSET'. The 'Init Row' is 1, 'End Row' is 5538, 'Init Col' is 1, and 'End Col' is 25932. The window is divided into two columns of options for 'Jones Vector (s11 / s21)' and 'Jones Vector (s12 / s22)'. Each column has sections for 'Stokes Components', 'Stokes Angles', and 'Wave Descriptors'. In the 'Wave Descriptors' section, 'Eigenvalues (I1, I2)', 'Deg of Lin Polar (DoLP)', and 'Lin Polar Ratio (LPR)' are checked. At the bottom, the 'Window Size Row' is set to 5 (circled in red) and 'Window Size Col' is 5. There are 'Run', 'Exit', 'Select All', and 'Reset' buttons.



PolSARpro: Generar Parámetros H / Descomposición Alfa

Process → H / A / Alpha Decomposition → Decomposition Parameters

- Elija las carpetas I/O apropiadas
- Seleccione los parámetros para generar
 - Alpha, Entropy (H), Shannon Entropy (SE)
- Configure el tamaño de la ventanilla de procesamiento (ex. 3x3, 5x5)

Data Processing: H / A / Alpha Decomposition

Input Directory: C:/TEMP/ARSET/C2

Output Directory: C:/TEMP/ARSET / C2

Init Row: 1 End Row: 5538 Init Col: 1 End Col: 25932

<input type="checkbox"/> EigenValues (L1, L2)	<input type="checkbox"/> BMP	
<input type="checkbox"/> PseudoProbabilities (p1, p2)	<input type="checkbox"/> BMP	
<input type="checkbox"/> Alpha1, Alpha2	<input type="checkbox"/> BMP	
<input type="checkbox"/> Delta1, Delta2	<input type="checkbox"/> BMP	
<input type="checkbox"/> Alpha, Delta, Lambda	<input type="checkbox"/> BMP	
<input type="checkbox"/> Lambda	<input type="checkbox"/> BMP	
<input checked="" type="checkbox"/> Alpha	<input type="checkbox"/> BMP	
<input type="checkbox"/> Delta	<input type="checkbox"/> BMP	
<input checked="" type="checkbox"/> Entropy (H)	<input type="checkbox"/> BMP	
<input type="checkbox"/> Anisotropy (A) (p1,p2) <-> Degree of Polarisation	<input type="checkbox"/> BMP	
<input type="checkbox"/> Combinations (H, A)	<input type="checkbox"/> H A <input type="checkbox"/> H (1 - A) <input type="checkbox"/> (1 - H) A <input type="checkbox"/> (1 - H) (1 - A)	<input type="checkbox"/> BMP
<input checked="" type="checkbox"/> Shannon Entropy (H = Hi + Hp)	<input type="checkbox"/> BMP	

Window Size Row: 5 Window Size Col: 5

Buttons: Run, Exit, Select All, Reset



Python: Convertir Salida de PolSARpro a GeoTIFF (Python)

Script: Convert_PolSARpro_Output_to_Tif.py

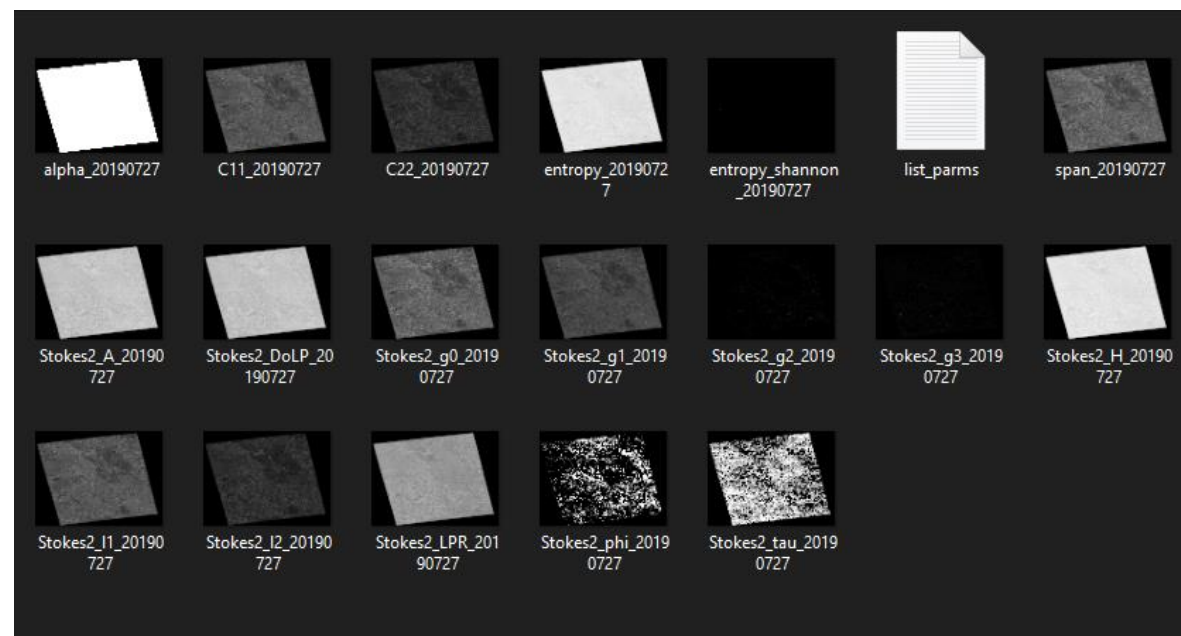
Dependencias: Python 3.6 o más, **GDAL**

Archivos necesarios:

- PolSARPro Output (Carpeta C)
- MasterTIF: Archivo GeoTIFF con corrección del terreno exportado del paso final del procesamiento de SNAP
- *ListParms.txt*: una lista de los parámetros en la carpeta C2 para convertir a GeoTIFF

Cambio de Parámetros:

- Cambie los parámetros de ruta de entrada y salida (inpath/outpath) al fondo del script a la ubicación de la carpeta C2 para guardar los archivos .tif de salida (Output).
- Cambie la ubicación del archivo MasterTIF para la georreferenciación.



Regresión Random Forest en Python

- Se requiere el archivo **Carman_Corn.csv** derivado del conjunto de datos de referencia de 946 objetos subcampo (ID_corn) y parámetros S1 (X) y datos del S2 NDVI (Y)
- Capa poligonal de referencia de ubicación subcampo (maíz)
 - Para segmentación OBIA; use datos ópticos, o sea, de una fecha individual o un compuesto estacional de imágenes S2 correspondientes.
 - Segmentación multi-resolución de imágenes de siete imágenes S2 NDVI para la temporada de crecimiento 2019.
- Extracción de características del NDVI medio (S2); media de todos los parámetros S1 cuasi-polarimétricos guardados en .CSV

```
# Import and print the dataset - connect to google drive

data = pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/ARSET_Demo/Carman_Corn.csv')
print(data)
list(data.columns)
```

	S2_NDVI_Corn	C11_Corn	C22_Corn	Span_Corn	g0_Corn	g1_Corn	g2_Corn	\
0	0.653550	61	17	79	81	45	1	
1	0.539260	54	13	67	69	42	2	
2	0.538964	70	15	86	88	57	0	
3	0.559707	64	14	79	80	51	0	
4	0.492806	51	12	64	65	40	0	
..	
942	0.815112	63	16	79	82	49	1	
943	0.892819	124	27	151	154	99	-4	
944	0.896989	80	19	99	101	61	-1	
945	0.857591	81	19	100	101	62	-1	
946	0.778980	39	11	51	51	29	0	

	g3_Corn	DoLP_Corn	Lpr_Corn	l1_Corn	l2_Corn	Phi_Corn	Tau_Corn	\
0	-1	575	276	64	17	924	-317	
1	-2	622	238	56	13	1706	-1016	
2	-1	657	210	73	15	-52	-392	
3	-2	640	223	66	14	225	-1315	
4	-1	620	240	53	12	222	-830	
..	
942	0	609	249	66	16	489	-203	
943	-3	653	215	128	26	-1168	-891	
944	1	624	236	82	19	-688	522	
945	0	621	237	82	19	-421	-139	
946	0	578	272	40	11	-181	249	

	entropy_Corn	alpha_Corn	DoP_Corn	entropy_sh_norm_Corn
0	743	21947	578	592
1	692	19859	629	461
2	657	18164	661	591
3	671	19184	648	545
4	695	20062	626	427
..
942	708	20421	614	567
943	659	18637	659	845
944	693	19775	628	665
945	695	19643	626	664
946	737	21901	584	360



Python: Regresión Random Forest

SAR_{cal}-NDVI

Regresión Random Forest; Scikit-learn para Regresión Random Forest (RFR) como Dependencias
RandomForestRegressor: Conjunto de datos del maíz (Carman Corn Dataset)

- Variables S1 y media extraída del S2 NDVI a nivel de objeto de campo
- 17 variables de Sentinel-1 para todas las fechas de las imágenes S1
- S2 NDVI Correspondiente dentro de 2 o 3 días después de la adquisición por S1

```
[8] import pandas as pd
# Read in data
data = pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/ARSET_Demo/Carmen_Corn.csv')
# Descriptive statistics for each column
data.describe()
```

	ID_Corn	days_5days	S2_NDVI_Corn	C11_Corn	C22_Corn	Span_Corn	g0_Corn	g1_Corn	g2_Corn	g3_Corn	DoLP_Corn	Lpr_Corn	l1_Corn	l2_Corn	Phi_Corn	Tau_Corn	entropy_Corn	alpha_Corn	DoP_Corn	entropy_sh_norm_Corn
count	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000	947.000000
mean	659.965153	762.569166	0.773468	90.014784	19.903907	110.926082	113.578669	71.979937	-0.856389	0.908131	640.949314	223.414995	93.379092	19.856389	-326.027455	334.175290	671.074974	18963.592397	646.492080	590.124604
std	76.711148	50.812221	0.174372	27.671850	5.947289	33.551400	34.265363	22.779730	1.776779	1.785248	35.737260	27.676780	28.595171	5.909149	679.750832	659.253471	38.550119	1704.447310	35.048331	125.210855
min	522.000000	703.000000	0.231820	30.000000	7.000000	37.000000	39.000000	23.000000	-7.000000	-5.000000	487.000000	136.000000	31.000000	7.000000	-2270.000000	-1506.000000	515.000000	13348.000000	494.000000	116.000000
25%	594.000000	715.000000	0.737702	68.000000	16.000000	84.000000	86.000000	55.000000	-2.000000	0.000000	620.000000	204.500000	70.000000	16.000000	-786.000000	-115.500000	645.000000	17819.500000	626.000000	509.500000
50%	663.000000	727.000000	0.855291	90.000000	20.000000	111.000000	115.000000	71.000000	-1.000000	1.000000	642.000000	222.000000	93.000000	20.000000	-328.000000	307.000000	671.000000	18885.000000	648.000000	595.000000
75%	724.000000	808.000000	0.886698	108.000000	23.000000	132.000000	134.500000	86.500000	0.000000	2.000000	665.000000	239.000000	111.500000	23.000000	115.000000	758.500000	694.500000	19941.000000	670.500000	682.500000
max	793.000000	820.000000	0.939080	184.000000	45.000000	232.000000	235.000000	142.000000	6.000000	10.000000	767.000000	355.000000	190.000000	45.000000	1728.000000	2787.000000	816.000000	26207.000000	770.000000	937.000000

Demostración- Regresión Random Forest en Python

<https://colab.research.google.com/drive/1TOlrpDpzg95OtZVD4NI85k0zX7pgwTga?usp=sharing>



Python: Regresión Random Forest

Demostración- Regresión Random Forest en Python

<https://colab.research.google.com/drive/1TOlrpDpzg95OtZVD4NI85k0zX7pgwTga?usp=sharing>

1. Import Packages, and QC dataset for missing values

```
[23] import pandas as pd
import numpy as np
# Read in data
data = pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/ARSET_Demo/Carmen_Corn.csv')
# print descriptive statistics for each column
data.describe()
```

2. Convert data to Arrays

```
[13] Y = np.array(data['S2_NDVI_Corn'])
X = data.drop('S2_NDVI_Corn', axis = 1)
data_list = list(data.columns)
print(data_list)
X = np.array(X)
```



Python: Regresión Random Forest

3. Use SciKit-learn to split data into test (70%) and training sets (30%)

```
[4] from sklearn.model_selection import train_test_split
     # Split the data into training and testing sets, random state set to retain results
     train_features, test_features, train_labels, test_labels = train_test_split(X, Y, test_size = 0.30, random_state = 0)
```

4. Run RF Regression Model (nTree = 500)

```
[24] from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
      # Run the RFR with 500 trees
      rf = RandomForestRegressor(n_estimators = 500, random_state = 0)
      # train the model on training data
      rf.fit(train_features, train_labels);
```

5. Predict the model on the test data, calculate accuracy and absolute mean error

```
[10] predictions = rf.predict(test_features)
      errors = abs(predictions - test_labels)
      print('Mean Absolute Error:', round(np.mean(errors), 2), 'degrees.')
      accuracy = 100 * (errors / test_labels)
      mape = 100 * (errors / test_labels)
      accuracy = 100 - np.mean(mape)
      print('Accuracy:', round(accuracy, 2), '%.')
```

```
Mean Absolute Error: 0.04 degrees.
Accuracy: 93.39 %.
```

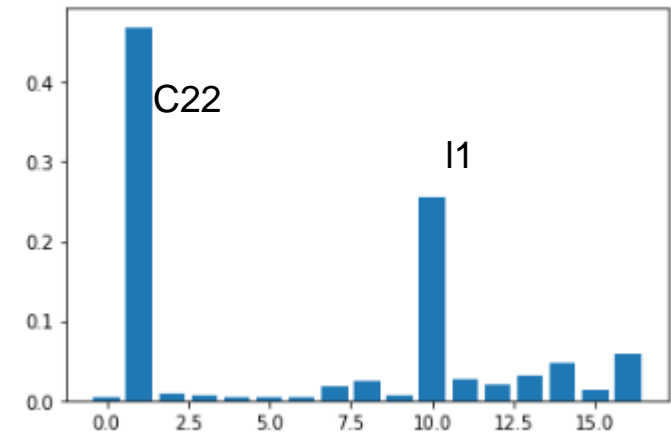


Python: Regresión Random Forest

- **Opcional:** Investigar importancia de características e implementar un método de selección de variables para mejorar la precisión del modelo.

```
▶ from matplotlib import pyplot
# get importance from rfr model
importance = rf.feature_importances_
# summarize feature importance
for i,v in enumerate(importance):
    print('Feature: %0d, Score: %.5f' % (i,v))
# plot feature importance
pyplot.bar([x for x in range(len(importance))], importance)
pyplot.show()
```

```
Feature: 0, Score: 0.00469
Feature: 1, Score: 0.46914
Feature: 2, Score: 0.00849
Feature: 3, Score: 0.00646
Feature: 4, Score: 0.00501
Feature: 5, Score: 0.00388
Feature: 6, Score: 0.00303
Feature: 7, Score: 0.01677
Feature: 8, Score: 0.02419
Feature: 9, Score: 0.00529
Feature: 10, Score: 0.25635
Feature: 11, Score: 0.02658
Feature: 12, Score: 0.01927
Feature: 13, Score: 0.03109
Feature: 14, Score: 0.04772
Feature: 15, Score: 0.01346
Feature: 16, Score: 0.05859
```



RFR- puntajes de importancia de características

RFR- diagramación de importancia de características



SARcal-NDVI a CSDM

Luego se usa un modelo de la Dinámica de la Estructura de los Cultivos (Crop Structure Dynamics Model o CSDM) para llenar las estimaciones de SAR_{cal}-NDVI para crear un intervalo diario de GDD de la condición de los cultivos.

$$D = D_{max} \left[\frac{1}{1 + e^{-b(T-T_i)}} - e^{-a(T-T_s)} \right]$$

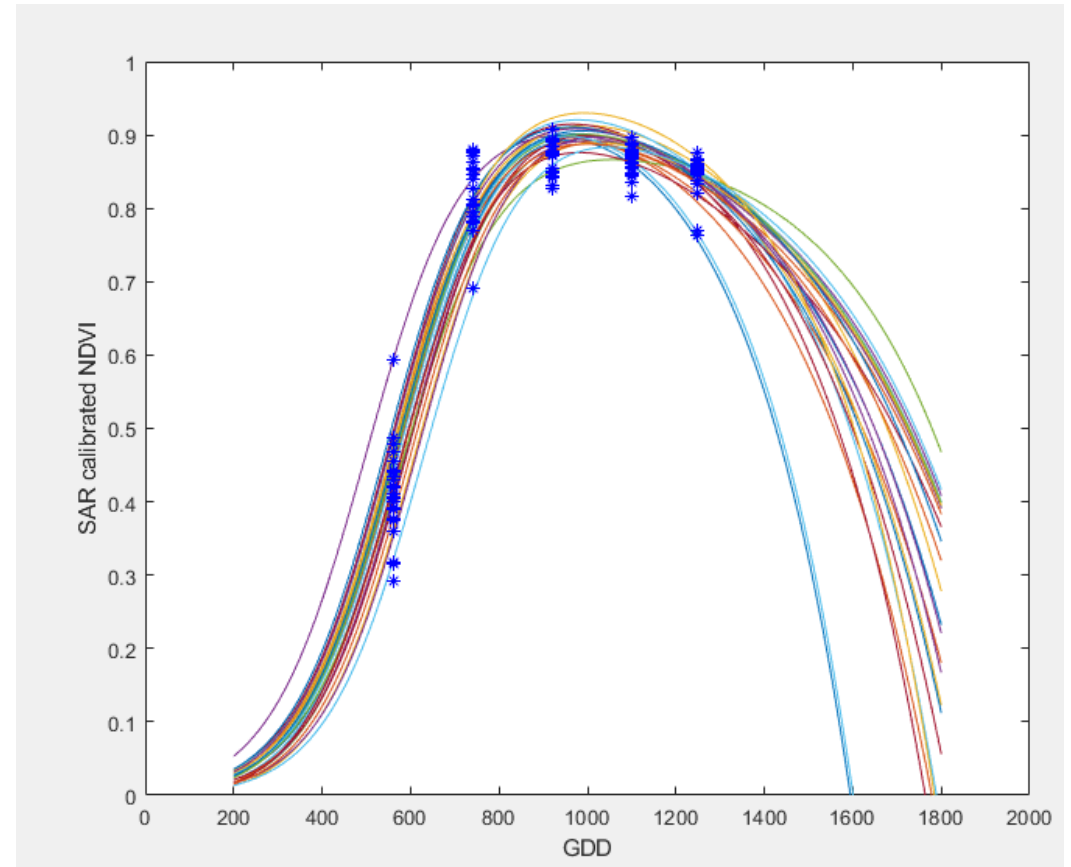
D: descriptor estructural del dosel con un valor máximo lograble D_{max} . D se fija como SAR_{cal}-NDVI

T: los días grado de crecimiento acumulativos (GDD; para Canadá, fijar como el 1ro de mayo)

Este modelo describe la estructura del dosel en dos partes: crecimiento y senescencia.

El período de crecimiento está definido por una ecuación logística con parámetros b y T_i . El coeficiente b es la tasa de crecimiento relativa en el punto de inflexión T_i .

La senescencia está definida por una ecuación exponencial con un parámetro a y T_s . a es la tasa de senescencia. T_s representa el GDD acumulativo en el cual D baja a 0 debido a la senescencia.



Líneas: Ajuste CSDM para cada objeto subcampo
(Jiao et al., 2022)



Referencias

PolSARpro v6.0 (Biomass Edition), <https://www.ietr.fr/polsarpro-bio/>

Scikit-learn: Machine Learning in Python, Pedregosa *et al.*, JMLR 12, pp. 2825-2830, 2011.

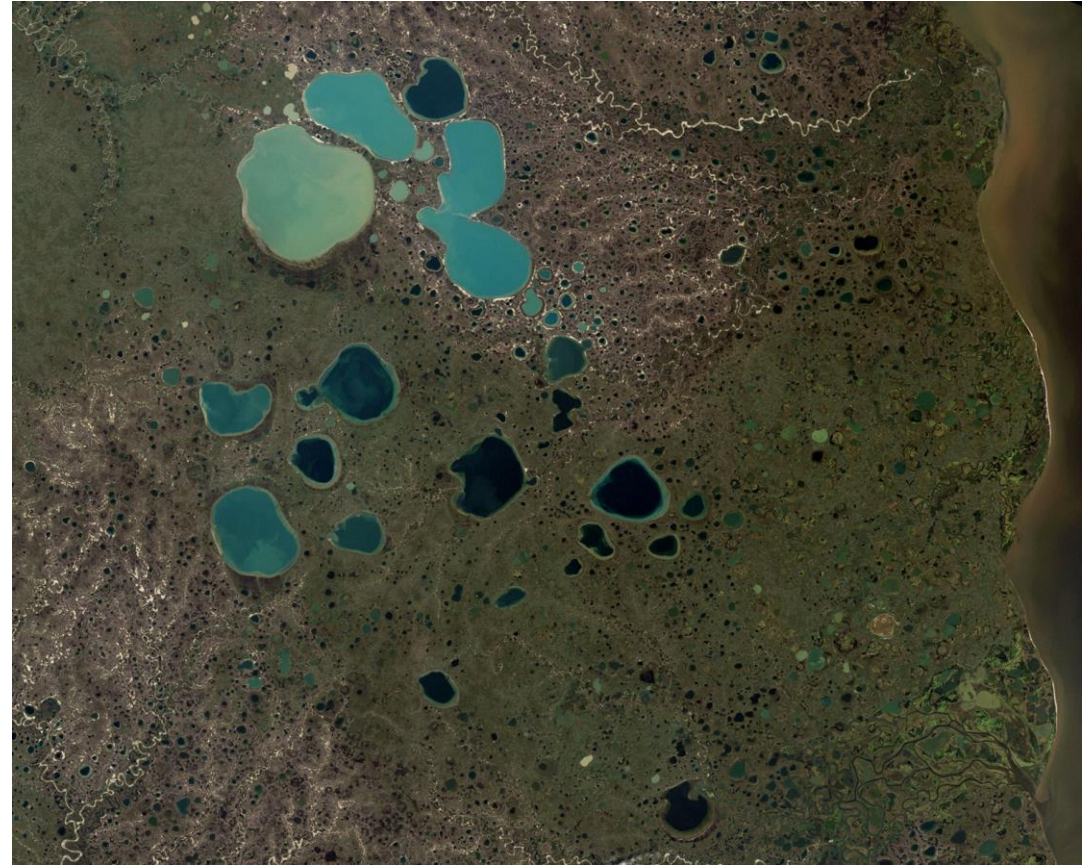
SNAP - ESA Sentinel Application Platform v8.0.0, <http://step.esa.int>

Xianfeng Jiao, Heather McNairn, Bahareh Yekkehkhany, Laura Dingle Robertson y Samuel Ihuoma (2022) Integrating Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 optical imagery with a crop structure dynamics model to track crop condition, International Journal of Remote Sensing, 43:17, 6509-6537, DOI: 10.1080/01431161.2022.2142077



¿Preguntas?

- Por favor escriban sus preguntas en el cuadro para preguntas. Las responderemos en el orden que las recibimos.
- Publicaremos las preguntas y respuestas en la página web de la capacitación después de la conclusión del webinar.



<https://earthobservatory.nasa.gov/images/6034/pothole-lakes-in-siberia>



Contactos

- Presentadoras:
 - Heather McNairn: heather.mcnairn@AGR.GC.CA
 - Emily Lindsay: emily.lindsay@AGR.GC.CA
 - Xianfeng Jiao: xianfeng.jiao@AGR.GC.CA
- Página Web de la Capacitación:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-mapeo-de-cultivos-usando-radar-de-apertura-sintetica-sar-y>
- Página de ARSET:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/arset>
- Twitter: [@NASAARSET](https://twitter.com/NASAARSET)

Échele un vistazo a nuestros programas hermanos:





¡Gracias!

