



# IMÁGENES RADAR APERTURA SINTÉTICA SAR. AVANCE 2

Juan Daniel Sarmiento Abello | jusarmientoa@unal.edu.co

## Índice

<b>1. Resumen</b>	<b>2</b>
<b>2. Abstract</b>	<b>2</b>
<b>3. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>4. Principios de radar</b>	<b>2</b>
4.1. Efecto Doppler . . . . .	3
4.2. Señales chirps . . . . .	3
4.3. Adquisición de los datos . . . . .	4
<b>5. Radar de apertura sintética (SAR)</b>	<b>4</b>
5.1. Polarización . . . . .	5
5.2. Longitud de onda y ángulo de incidencia . . . . .	5
<b>6. Aplicaciones</b>	<b>6</b>
6.1. Algoritmos . . . . .	7
6.2. Ruido . . . . .	7
<b>7. Filtrado</b>	<b>7</b>
<b>8. Segmentación</b>	<b>9</b>
<b>9. Extracción de características</b>	<b>10</b>
<b>10. Alguna conclusiones</b>	<b>11</b>



## 1. Resumen

Las imágenes generadas por radares satelitales prestan importantes ventajas para el análisis de grandes extensiones de tierra sin depender de las condiciones meteorológicas o de iluminación. El presente trabajo es un estado del arte sobre las imágenes por radar de apertura sintética (SAR), con el objetivo de realizar el procesamiento de imágenes en cuerpos de agua. Se mostrarán los fundamentos del radar, como interactúan las ondas con el medio y como se realiza la adquisición de los datos. De igual mera se tratan los tipos de filtrado más comúnmente utilizados para el preprocesamiento de este tipo de imágenes y se abordarán algunos momentos históricamente importantes sobre el desarrollo de esta tecnología.

## 2. Abstract

Images generated by satellite radars provide important advantages for the analysis of large areas of land without depending on meteorological or lighting conditions. The present work is a state of the art on synthetic aperture radar (SAR) images, with the aim of performing image processing in bodies of water. The fundamentals of radar will be shown, how waves interact with the medium and how data acquisition is carried out. Likewise, the types of filtering most commonly used for the preprocessing of this type of images are discussed and some historically important moments regarding the development of this technology will be addressed.

**Keywords**— Radar, Synthetic aperture, SAR, Filtering, preprocessing, Satellite image.

## 3. Introducción

El desarrollo del radar viene de la industria militar, ocasionado por la segunda guerra mundial[], sin embargo este logro técnico empezó con avances como el desarrollo de las ecuaciones de Maxwell, o el trabajo posterior sobre la reflexión de las ondas de radio realizado por Heinrich Herz. Pero los logros obtenidos hasta antes de década de 1950[1] e incluyendo los radares modernos no permiten la medición de parámetros más allá de su velocidad y posición relativa, de igual mera los requerimientos de potencia y ancho de banda se mostraban como los grandes obstáculos a vencer. Pero con el auge de la tecnología aeroespacial y la motivación bélica se lograron los avances que permitieron el desarrollo del radar de apertura sintética SAR. El radar SAR está enfocado al representar una imagen bidimensional basado en el fenómeno de retrodispersión, donde una fracción de la energía que emite el radar es devuelta al transmisor para ser procesada. Este instrumento cuenta con una amplia variedad de aplicaciones, desde la detección de acuíferos subterráneos hasta la monitorización de estructuras[2], pasando por el seguimiento de cultivos o el monitoreo a grandes desastres naturales. Por ser una herramienta de uso libre, ya que sus datos se encuentran en repositorio públicos, las imágenes SAR prestan un importante suministro de datos para el análisis y procesado de imágenes.

## 4. Principios de radar

Un radar es un dispositivo compuesto por un generador de ondas electromagnéticas conectado a una antena y un sistema electrónico para el procesamiento de datos, el cual emite pulsos de corta duración. Cuando dichos pulsos impactan un objeto pueden ir de regreso a la antena generadora o a una antena de recepción. La figura 1 representa el esquema de un radar. Las diferentes zonas donde impacta una onda producen diferentes contribuciones a la imagen resultante. De igual manera la amplitud de la señal reflejada será proporcional a la reflectividad  $S$  del medio impactado.

$$S = A \cdot p [t_{rg} - 2R_0/c] \cdot \exp \{-jR_0\} \quad (1)$$

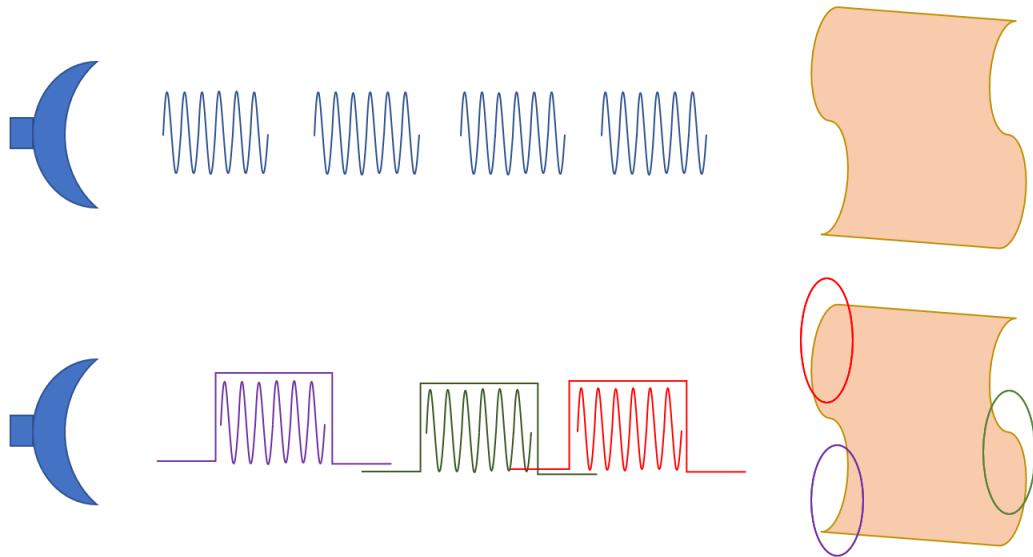


Figura 1: Representación esquemática de un radar

Debido a que las ondas se mueven a una velocidad que depende del medio, se generará un retardo, correspóndete al tiempo de retorno para cada pulso transmitido, dicho retardo es proporcional a la distancia recorrida y esta expresado como.

$$\Delta t = \frac{2r_0}{c} \Leftrightarrow r_0 = \frac{c\Delta t}{2} \quad (2)$$

En la expresión anterior se puede ver relación entre la distancia recorrida por la onda el tiempo, se puede apreciar que son proporcionales.

#### 4.1. Efecto Doppler

Este fenómeno se produce cuando el objeto impactado por las ondas electromagnéticas se dirige hacia fuente y esta expresado como.

$$f_D = -\frac{2\Pi}{\lambda} \frac{\partial r_0}{\partial t} = \frac{2\Pi}{\lambda} v_r \quad (3)$$

Los datos obtenidos correspondientes a la amplitud de la señal reflejada  $S$ , el retardo  $\Delta t$  del pulso y su desplazamiento Doppler  $f_d$  permiten realizar la caracterización del blanco. Sin embargo no es posible obtener una imagen de estos datos, por lo que se requiere realizar modificaciones al diseño del transmisor que permitan obtener mas información del blanco.

#### 4.2. Señales chirps

Para definir correctamente las señales chirps primero es importante introducir el concepto de resolución en distancia para los sistemas de radar.

Esta se define como el espaciado mínimo entre dos objetos cercanos talque sus señales de retorno se pueden medir de forma independiente. Es importante resaltar que entre mas corto sea la duración del pulso transmitido mejor sera la resolución obtenida. Igualmente el ancho del pulso es inversamente proporcional al ancho de banda del radar.

Lo anterior puede presentar un obstáculo al momento de obtener valores de resolución aceptables debido que los anchos de banda requeridos para resoluciones aceptables exigen grandes picos de potencia que pueden volver

inviable la tecnología. Por esta razón se precisa de un método que permita mayores anchos de banda sin cambiar el ancho de pulso, es en este punto donde entran las señales chirps.

Una señal chirps se produce por una modulación lineal en frecuencia, esto quiere decir que un intervalo de tiempo, para ca unidad de tiempo existe un valor de frecuencia distinto, permitiendo el uso de mejores anchos de banda para el mismo intervalo de tiempo. En la figura 2 se muestra una representación de una señal chirps.

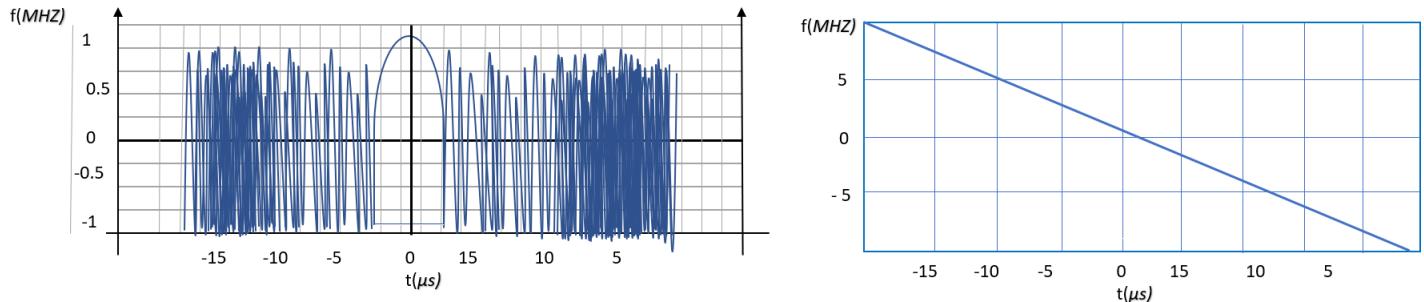


Figura 2: Representación de una señal chirps

#### 4.3. Adquisición de los datos

Los datos que se vallan a obtener de un sistema radar despedran del tamaño del área reflectante, el ancho de banda de la señal transmitida y al ancho de pulso. Antes de realizar la adquisición se define una ventana de muestreo limitada por el tiempo de llegada del pulso correspondiente al flanco mas cercano al radar del objeto que se mide  $T_s$  y el tiempo de llegada del pulso correspondiente a su flanco mas lejano  $T_f$ , mas el ancho del pulso de la señal  $T_p$ . Estos tiempos se definen de la siguiente manera.

$$T_s = \frac{2(X_e - X_0)}{c} \quad (4)$$

$$T_f = \frac{2(X_e - X_0)}{c} + T_p \quad (5)$$

Donde la ventana temporal esta definida por:

$$T_f - T_s = \frac{4X_0}{c} + T_p \quad (6)$$

Respecto al tiempo de muestreo el teorema de Nyquist (**La frecuencia de muestreo debe ser como mínimo el doble de la frecuencia del sistema**), sigue siendo perfectamente valido por lo que el ancho de banda de la señal transmitida es igual al de la señal muestreada.

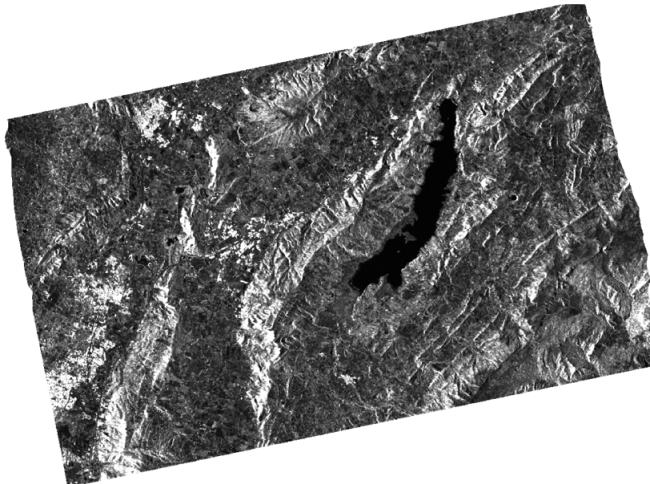
En función de como se trabajen las señales en banda base se tienen dos opciones para calcular el tiempo de muestreo. La primera opción es trabajar con señales reales conocidas como banda vídeo o con señales complejas para lo cual se requiere un detector de fase y cuadratura.

La principal diferencia entre estos dos métodos es que para el muestreo en el dominio complejo se requiere menor frecuencia demuestreo precisa de un detector fase cuadratura.

### 5. Radar de apertura sintética (SAR)

El radar de apertura sintética es un tipo de sensor activo que no es afectado por las condiciones de iluminación o meteorológicas, puede penetrar un medio como la vegetación o el suelo, adicionalmente es sensible a las propiedades dieléctricas de la superficie y a su estructura, por lo que se pueden obtener datos sobre las propiedades geofísicas

del terreno. Para ilustrar las ventajas del radar SAR, se muestra en la figura 3 la comparación de dos imágenes, una obtenida por el radar de SAR Sentinel-1 y la otra por el satélite óptico Sentinel-5.



A. Imagen SAR



B. Imagen Óptica

Figura 3: Diferencia entre las imágenes SAR y Ópticas [3]

Las imágenes de la figura anterior se tomaron el mismo día y corresponden al embalse de Tónime en Cundinamarca. La principal desventaja que prestan las imágenes ópticas es que solo pueden obtener información superficial del terreno y las condiciones meteorológicas pueden afectar los resultados. Un radar SAR está ubicado de forma que siempre apunta de forma lateral a su objetivo de forma predeterminada para que las impacten en diferentes momentos por lo que los pulsos de retorno tendrán diferentes retardos. El radar mapea la superficie en relación a la dirección de la plataforma donde este montado por lo que la antena recibe solo una porción de la energía transmitida, este fenómeno se le conoce como retrodispersión, a medida que el sensor avanza se crea una imagen en dos dimensiones la superficie.

Para un radar de apertura sintética la resolución de rango depende del largo del pulso que se emite y la resolución en la dirección del movimiento del radar es una función de su ancho de banda el cual es inversamente proporcional al largo de la antena, por lo que una antena más larga se podría obtener grandes resoluciones con ancho de banda relativamente cortos. Los radares SAR sintetizan su movimiento respecto a la tierra para simular una antena muy larga lo que les permite alcanzar imágenes con buenas resoluciones.

Normalmente los radares miden la amplitud y la fase de la señal retrodispersada. La amplitud es la señal que regresa al radar es un coeficiente de la señal transmitida y la porción de energía que regresa medida en una área específica y se mide en decibelios. La fase se mide normalmente en radianes. El radar SAR trabaja bajo ciertos parámetros que provocan diferentes resultados según su configuración. A continuación se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

## 5.1. Polarización

La polarización hace referencia al plano de propagación de la onda en el espacio, un radar puede transmitir en una polarización y recibir en la misma u otra, la siguiente tabla resume los cuatro tipos de polarizaciones.

También es posible recibir información en las cuatro polarizaciones. La figura 4 muestra los planos de propagación.

## 5.2. Longitud de onda y ángulo de incidencia

La longitud de onda es un parámetro que define la interacción del medio con la energía radiada y está definida como:

Banda	Longitud de onda
HH	Transmitida Horizontalmente, recibida Horizontalmente
HV	Transmitida Horizontalmente, recibida Verticalmente
VH	Transmitida Verticalmente, recibida Horizontalmente
VV	Transmitida Verticalmente, recibida Verticalmente

Tabla 1: Tipos de polarización que transmite o recibe una radar SAR

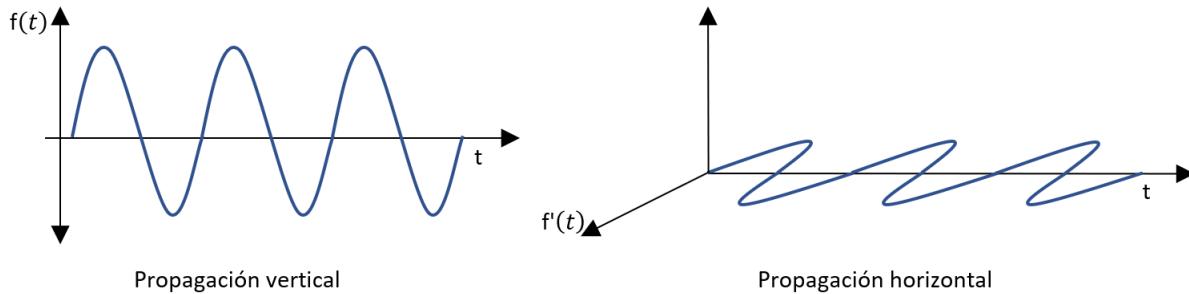


Figura 4: Planos de propagación onda senoidal

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (7)$$

la siguiente tabla muestra algunas bandas y su longitud de onda

Banda	Longitud de onda	Frecuencia GH <sub>Z</sub>
Ka	8 a 1.1 cm	40 a 26
K	1.1 a 1.7 cm	26 a 18
P	30 a 100 cm	1 a 3

Tabla 2: Bandas de frecuencia con sus correspondientes variaciones en longitudes de onda

La longitud de onda ( $\lambda$ ) es el parámetro que define que tanto interacciona la onda con el blanco, con  $\lambda$  muy largo se pueden perder detalles del blanco o inclusive no alcanzar a identificación del objeto, por lo cual la longitud de onda es un parámetro que dependa de la aplicación por ejemplo si se quiere gran penetración se podría usar la banda P, por ejemplo en zonas boscosas, pero si desea zona mas descubiertas se podría usar la banda Ka.

El ángulo de incidencia hace referencia al ángulo con el que llega la señal del radar respecto a la normal de superficie impactada, por lo general un ángulo mas pequeño tendrá mayor valor en la retrodispersión figura 5.

## 6. Aplicaciones

La tecnología SAR presentó sus primeras aplicaciones en la industria militar enfocada a la detección de objetivos militares hostiles, sin embargo el desarrollo de esta tecnología ha permitido su uso en diferentes ramas de la ciencia y la ingeniería. Aunque comúnmente se asocia al radar SAR con la teledetección de zonas de verdes como los bosques[4] o agrícolas[5] tan bien se existen aplicaciones tan diversas como el monitoreo de derrames de hidrocarburos[6], esto ocurre principal mente por la capacidad que tienen las ondas electromagnéticas de interactuar con las propiedades dieléctricas de los materiales. Otro aspecto importante es la miniaturización de la tecnología y el alto potencial de escalabilidad con el el cuenta la etnología SAR por lo que ya existen estudios que validan la viabilidad comercial del diseño de estos radares únicamente para aplicaciones comerciales[7], claro que una de las áreas con mayor potencial para la aplicación del radar de apertura sintética, es el estudio del subsuelo y topografía[8], permitiendo desarrollar

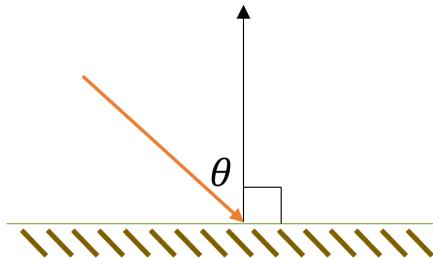


Figura 5: ángulo de incidencia

análisis sobre la estabilidad del terreno. Esto ocurre debido a que el radar SAR puede penetrar en el subsuelo, dependiendo de la banda que se trabaje para este caso típicamente L. Pero esta tecnología también permite realizar investigaciones sobre las propiedades intrínsecas del suelo[9]. Se puede afirmar que radar de apertura sintética es un instrumento óptimo para realizar mediciones a grandes extinciones de tierra y analizar su comportamiento dinámico y composición. Adicionalmente con la reducción de costos debido a la tecnología de escala su posible uso para aplicaciones comerciales está relativamente cerca. Sin embargo esta tecnología está lejos de ser perfecta y tiene aun retos por superar como el ruido que se genera en la imágenes inherente a la funcionamiento del instrumento. La imágenes no son de fácil interpretación por que es preciso el uso de algún método que marmita mejorar su legibilidad. Por ultimo las áreas con mayor variedad topográfica presentan un mayor nivel de distorsión.

## 6.1. Algoritmos

La aplicación de algoritmos de inteligencia artificial[10] a las imágenes de radar SAR permitió realizar análisis mas detallados sin embargo con el desarrollo de las redes convolucionales[11] y la extracción de características abrió una nueva área de estudio debido a que ahora era posible extraer datos que antes no se podía y junto con el aumento de la capacidad computacional para manejar grandes conjuntos de datos su aplicaciones potenciales se extendieron a diversos campos. En la actualidad el procesamiento de imágenes SAR hace parte del rama correspondiente procesamiento de imágenes y visión por computadora.

## 6.2. Ruido

Uno de los retos mas importantes que prestan las imágenes SAR es el ruido speckle, para lo cual se han prestando diferentes estrategias enfocadas a la reducción de este ruido, una de ellas consiste en realizar el filtrado de diferentes bandas[12] utilizando a varias métricas de evaluación. Otras técnicas asumen una distribución Gaussiana del ruido y proponen métodos basados en la descomposición de wavelets no diezmadas y la estimación máxima a posteriori (MAP)[13]. Si se considera el ruido de las imágenes radar como aditivo, también es posible usar un filtro adaptativo[14] que permita mejorar la imagen

## 7. Filtrado

Una de las características de las imágenes obtenidas por la constelación SENTINEL es que están en diferentes escalas de grises y con alto nivel de ruido speckle, como se muestra en la figura 6

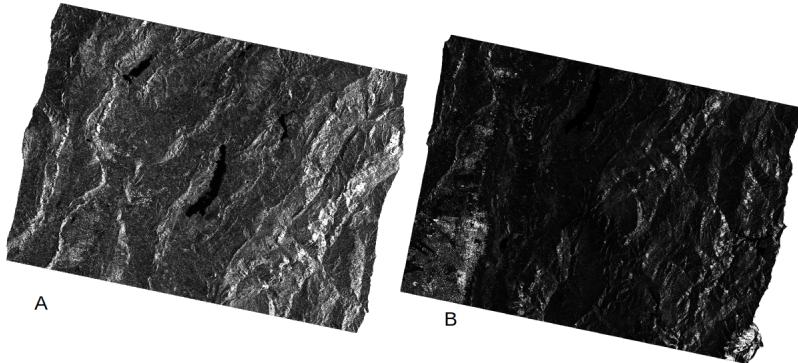


Figura 6: Tonalidades de gris en las imágenes obtenidas por la constelación sentinel de la ESA[3]

Lo primero que se probó para minimizar el ruido speckle fueron las librerías de pyradar, sin embargo no fue posible su utilización debido a un error de compatibilidad con la versión de Python que se está utilizando en el presente proyecto por lo que optó por cambiar de estrategia e implementar los filtros en la guía[15] *VM5 – Realce – 2023 – 2* del curso de visión de maquina. Los resultados se muestran en la figura 7.

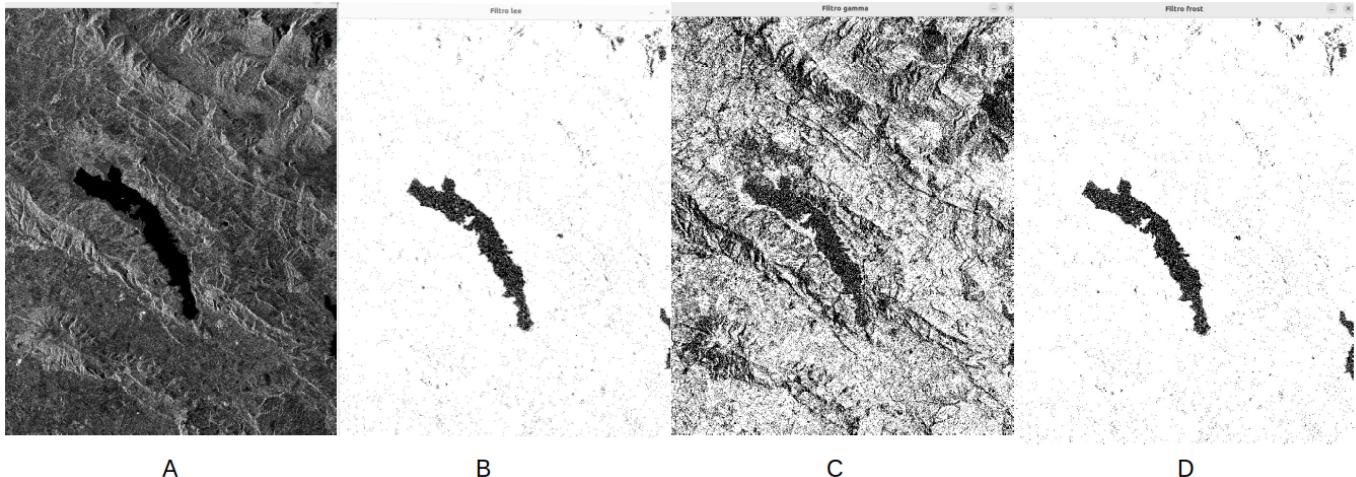


Figura 7: Resultados de los diferentes filtros obtenidos. A. Imagen original B. filtro Lee, C. Filtro Gamma, D. Filtro frost

Debido a que los efectos en las imágenes no fueron del todo satisfactorios se optó por realizar un proceso de convolución con una máscara utilizando la función *filter2D()*, con el objetivo de filtrar las altas frecuencias de la imagen, los resultados se muestran en la figura 8

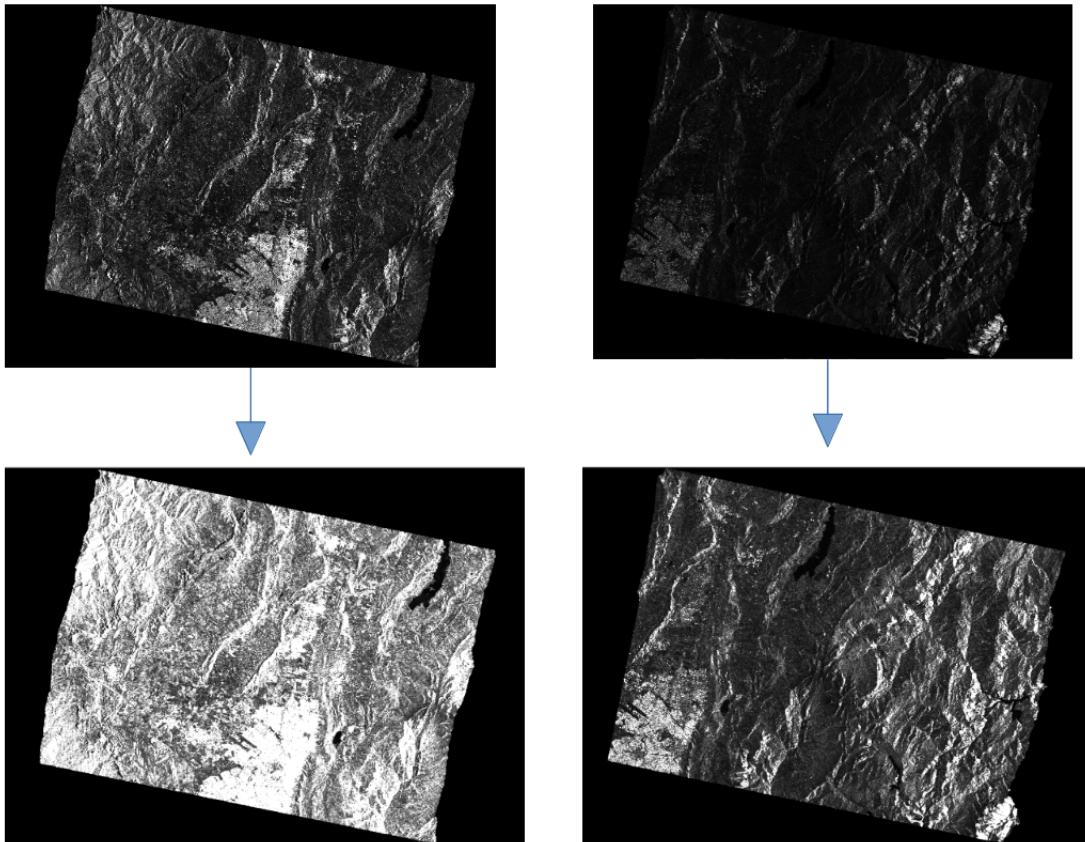


Figura 8: En la parte superior de la imagen se muestran las imágenes tomadas por la constelación de satélites, en la parte inferior se muestra el resultado del filtro *filter2D()*

## 8. Segmentación

Para la segmentación se utilizó la técnica de umbralización *cv2.threshold()*, con el objetivo de binarizar la imagen e identificar las zonas que se van a etiquetar. Los resultados de la umbralización se muestran en la figura 9. También se realizaron pruebas con la función *cv2.adaptiveThreshold()*, pero no se lograron buenos resultados.

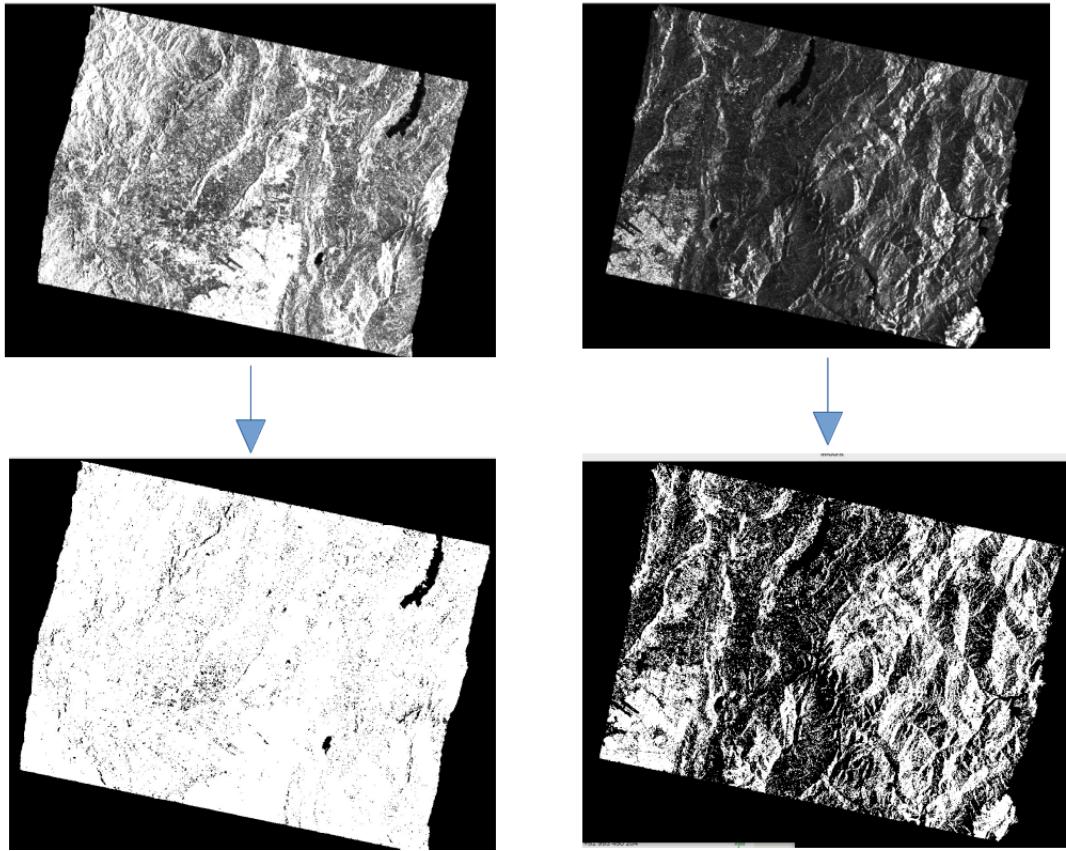


Figura 9: En la parte superior de la imagen se muestran las imágenes filtradas con `cv2.threshold()`, en la parte inferior se muestra el resultado de la umbralización realizada con `cv2.threshold()`

## 9. Extracción de características

Para la extracción de características se utilizó la clase `a = cv2.SIFTcreate()`. Utilizando el método `a.detect()` se identifican los puntos clave, con `a.compute()` se calculan los vectores descriptores, por ultimo con `cv2.drawKeypoints()` se redimensiona el círculo correspondiente a  $n\alpha$  con el objetivo de hacer mas visibles los descriptores mas relevantes. En la figura 10 se muestra el resultado obtenido. También existe el método `a.detectAndCompute()` el cual realiza la misma operación que los tres métodos mencionados anteriormente en una solo comando, sin embargo es mas conveniente usar los tres métodos anteriores debido a que permiten aplicar una mascara para calcular los descriptores solo en regiones de interés, lo cual resulta convivente para el presente proyecto sin embargo ese paso aún no se ha relanzado.

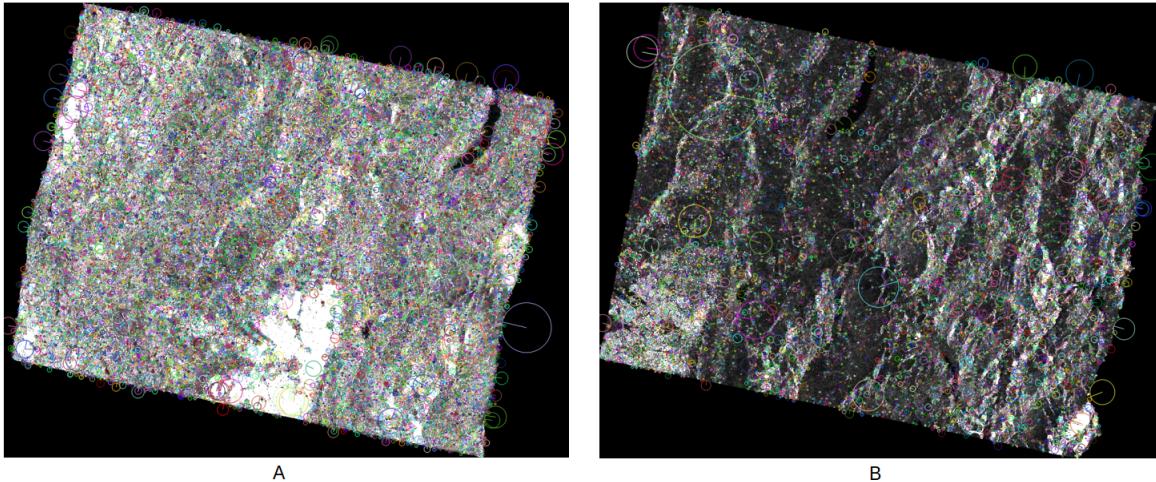


Figura 10: Descriptores obtenidos de las imágenes umbralizadas

## 10. Alguna conclusiones

- La tecnología de radar SAR presenta importantes ventajas para el estudio temporal, y de sus propiedades intrínsecas, de grandes superficies de tierra.
- Debido a que es un sensor activo presenta un alto nivel de penetración en el suelo permitiendo identificar aspectos que no se pueden ver a simple vista como acuíferos.
- Usando un kernel y una función de convolución 2D se obtuvieron mejores resultados de suavizado y reducción del ruido speckle en comparación con los resultados mostrados por las funciones filtro lee, gamma y frost.
- La técnica de umbralización puede generar perdidas de infracción si los niveles de binarización son muy altos, de igual manera la técnica de umbralización adaptativa no presentó los resultados esperados debido a que las imágenes prestan una baja uniformidad.

## Referencias

- [1] Jorge Parker Sanfuentes. Historia del radar.
- [2] Benyamin Hosseiny, Jalal Amini, and Hossein Aghababaei. Structural displacement monitoring using ground-based synthetic aperture radar. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 116:103144, 2 2023.
- [3] ESA. Explorar datos | ecosistema espacial de datos de copernicus.
- [4] Dandy Aditya Novresiandi, Andie Setiyoko, and Rahmat Arief. Synthetic aperture radar (sar) data applications for tropical peatlands monitoring activities: An overview. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29:100893, 1 2023.
- [5] Laura Dingle Robertson, Heather McNairn, Marco van der Kooij, Xianfeng Jiao, Samuel Ihuoma, and Pamela Joosse. Monitoring autumn agriculture activities using synthetic aperture radar (sar) and coherence change detection. *Heliyon*, 9:e17322, 6 2023.



- [6] Islam Abou El-Magd, Mohamed Zakzouk, Elham M. Ali, Abdulaziz M. Abdulaziz, Amjad Rehman, and Tanzila Saba. Mapping oil pollution in the gulf of suez in 2017–2021 using synthetic aperture radar. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 26:826–838, 12 2023.
- [7] Alessandro Golkar, Giuseppe Cataldo, and Ksenia Osipova. Small satellite synthetic aperture radar (sar) design: A trade space exploration model. *Acta Astronautica*, 187:458–474, 10 2021.
- [8] E. W. Dualeh, S. K. Ebmeier, T. J. Wright, M. P. Poland, R. Grandin, A. J. Stinton, M. Camejo-Harry, B. Esse, and M. Burton. Rapid pre-explosion increase in dome extrusion rate at la soufrière, st. vincent quantified from synthetic aperture radar backscatter. *Earth and Planetary Science Letters*, 603:117980, 2 2023.
- [9] Monika, Himanshu Govil, and Shashi Kumar. Subsurface feature identification using 1 band synthetic aperture radar (sar) data over jaisalmer, india. *Radar Remote Sensing: Applications and Challenges*, pages 109–122, 1 2022.
- [10] Alicia Passah, Samarendra Nath Sur, Ajith Abraham, and Debdatta Kandar. Synthetic aperture radar image analysis based on deep learning: A review of a decade of research. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 123:106305, 8 2023.
- [11] Alicia Passah and Debdatta Kandar. A lightweight deep learning model for classification of synthetic aperture radar images. *Ecological Informatics*, 77:102228, 11 2023.
- [12] Vijal Jain, Sanjay Shitole, and Musfiq Rahman. Performance evaluation of dft based speckle reduction framework for synthetic aperture radar (sar) images at different frequencies and image regions. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31:101001, 8 2023.
- [13] Fabrizio Argenti, Tiziano Bianchi, and Luciano Alparone. Multiresolution map despeckling of sar images based on locally adaptive generalized gaussian pdf modeling. *IEEE Transactions on Image Processing*, 15:3385–3399, 11 2006.
- [14] Victor S. Frost, Josephine Abbott Stiles, K. S. Shanmugan, and Julian C. Holtzman. A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-4:157–166, 1982.
- [15] Flavio Prieto and Flavio Prieto Visión de Máquina. Realce de imágenes visión de máquina.