



RNPS 2550 RNSW A1439  
**REVISTA CUBANA DE GEOMÁTICA**  
directorio **latindex**  
ISSN 3005 - 3390  
geomatica.geocuba.cu



**CONSIDERACIONES SOBRE EL EMPLEO DE SATÉLITES SAR EN FUNCIÓN DE ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES EN CUBA**  
**CONSIDERATIONS ON THE USE OF SAR SATELLITES BASED ON ENVIRONMENTAL STUDIES IN CUBA**

MSc. Javier Alejandro Corcho Amador <sup>1</sup>, MSc. Armando Díaz Rodríguez <sup>2</sup>

1. Academia Naval “Granma”, javico0511@gmail.com

2. Geocuba Investigación y Consultoría, armando@uct.geocuba.cu

**RESUMEN:** La teledetección, y en particular los Radars de Apertura Sintética (SAR), constituyen herramientas esenciales para el monitoreo ambiental en regiones tropicales como Cuba, donde la alta nubosidad limita el uso de sensores ópticos. Los SAR, al operar en bandas de microondas, penetran las nubes y permiten realizar observaciones independientes de las condiciones climáticas, con aplicaciones clave en la gestión costera: detección de cambios en la línea de costa y monitoreo de inundaciones, crucial para evaluar el impacto del ascenso del nivel del mar y eventos extremos; el monitoreo de los bosques, a partir de la estimación de la biomasa forestal y la detección de la deforestación y los desastres naturales. Las técnicas como DInSAR y PSI permiten medir deformaciones del terreno asociadas a sismicidad, subsidencia y erosión costera con alta precisión espacial. Cuba, por su ubicación geográfica y vulnerabilidad climática, se beneficia de misiones SAR, de acceso abierto, que facilitan estudios ambientales alineados con políticas nacionales como la Tarea Vida. Este trabajo resalta el potencial de los SAR para abordar desafíos ambientales en entornos tropicales, destacando su capacidad para generar datos en condiciones climáticas adversas.

**Palabras clave:** Cuba; monitoreo ambiental; SAR; teledetección

**ABSTRACT:** Remote sensing, and in particular Synthetic Aperture Radar (SAR), are essential tools for environmental monitoring in tropical regions like Cuba, where high cloud cover limits the use of optical sensors. SAR, operating in microwave bands, penetrates clouds and allows for observations independent of weather conditions, with key applications in coastal management: detecting changes in the shoreline and monitoring flooding, crucial for assessing the impact of sea-level rise and extreme events; forest monitoring: estimating forest biomass and detecting deforestation; and natural disasters: techniques such as DInSAR and PSI allow for measuring ground deformations associated with seismicity, subsidence, and coastal erosion with high spatial accuracy. Due to its geographic location and climatic vulnerability, Cuba benefits from open-access SAR missions that facilitate environmental studies aligned with national policies such as Tarea Vida. This work highlights the potential of SAR to address environmental challenges in tropical environments, emphasizing its ability to generate data under adverse weather conditions.

**Keywords:** Cuba; environmental monitoring; SAR; remote sensing

## 1. INTRODUCCIÓN

La teledetección se ha consolidado como una herramienta fundamental para el monitoreo ambiental, permitiendo la observación sistemática de la superficie terrestre a diversas escalas espaciales y temporales. Según Chuvieco (2015), el término teledetección es una traducción latina del término inglés *remote sensing*, ideado a principios de los 60 para designar cualquier medio de observación remota, en sentido amplio, la teledetección no engloba sólo los procesos que permiten obtener una imagen, sino también su posterior tratamiento, en el contexto de una determinada aplicación.

En la actualidad, los avances tecnológicos han multiplicado exponencialmente las capacidades de observación terrestre. De acuerdo con la base de datos satelital de la *Union of Concerned Scientists*, para mayo de 2023 existían alrededor de 7 560 satélites operativos en órbita alrededor de la Tierra, de ellos aproximadamente 450 destinados a la observación de la Tierra. Entre los recursos más relevantes en cuanto a teledetección óptica se refiere, destacan las constelaciones Landsat y Sentinel-2, que proporcionan información gratuita con resoluciones espaciales que oscilan entre los 10-60 metros. Cuba se encuentra ubicada en una zona tropical en la cual se genera una alta nubosidad, especialmente en las franjas montañosas, lo cual dificulta el uso de sensores ópticos en determinados estudios, de ahí que una de las tecnologías más factibles para su

empleo en nuestra región sean los satélites SAR. Esta tecnología puede proporcionar imágenes las 24 horas del día, en todo tipo de condiciones climáticas y tiene, además, la capacidad de penetrar nubes, niebla y, en algunos casos, hojas, nieve y arena.

La primera misión espacial SAR, *Seasat*, se lanzó en 1978 y se consideró un éxito. Le siguieron numerosas misiones con sensores SAR avanzados (Tabla 2) que proporcionan mediciones de alta resolución y que se utilizan en diversas disciplinas, muchas de ellas de interés medioambiental. El objetivo de este trabajo es realizar una revisión sobre los fundamentos básicos, las características y el funcionamiento de los SAR, así como de sus potencialidades en la ejecución de estudios medioambientales en Cuba.

## **2. FUNDAMENTOS DE LOS SAR**

Los satélites de radar de apertura sintética son sensores activos con una fuente de energía de microondas incorporada (Sommervold et al., 2023), transmiten señales de microondas y miden la porción retrodispersada de la señal. Luego, utilizan la señal para derivar la Sección Transversal del Radar (RCS) y, a partir de esto, describir las características de la superficie o del objeto reflectante. Las imágenes SAR son mapas de la intensidad de la retrodispersión en dimensiones de rango-acimut. Como el SAR es un instrumento de detección de microondas, con su propia fuente de iluminación, el usuario puede especificar varios parámetros, tales como la frecuencia, el ángulo de visión y la polarización (Tsokas et al., 2022). La RCS registrada por un SAR, para una característica específica de la superficie, no siempre es fácil de interpretar ya que se ve influenciada, tanto por una gama de características de la escena, como por los parámetros del sensor de imágenes. Los parámetros de la escena más importantes que impulsan la RCS son la rugosidad de la superficie y las propiedades dieléctricas del objeto fotografiado. Mientras que la rugosidad describe la cantidad de energía de radar dispersa que se dirige de vuelta al sensor, las propiedades dieléctricas determinan si las señales pueden penetrar en la superficie de dispersión y a qué profundidad. El hecho de que ambos parámetros sean función de la longitud de onda del sensor y, en cierta medida, de la polarización de la señal, explica por qué las características del sensor influyen al intentar interpretar la firma medida de objetos reales en una imagen SAR (Flores-Anderson et al., 2019).

Este tipo de sensor transmite energía en las bandas de frecuencia de microondas que se muestran en la Tabla 1. En términos generales, los sistemas de radar utilizan frecuencias de 1 a 90 GHz, un

rango espectral que se subdivide en varias bandas de frecuencia. No todas las bandas de microondas que se muestran en la Tabla 1 se utilizan para la teledetección SAR. Si bien existen algunos sistemas SAR experimentales aerotransportados en banda Ka y Ku, los sensores civiles espaciales han estado utilizando exclusivamente las bandas de frecuencia más bajas, que van desde la banda X a la banda P. En la Tabla 1 se resumen además algunas de las aplicaciones de los SAR en función de la longitud de onda.

Tabla 1. Designación de bandas de microondas para sensores SAR. Fuente: Flores-Anderson et al. (2019).

<b>Banda</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Longitud de onda</b>	<b>Aplicación</b>
Ka	27-40 GHz	0.8-1.1 cm	Rara vez se utiliza para SAR (vigilancia aeroportuaria).
K	18-27 GHz	1.1-1.7 cm	Rara vez utilizado (absorción de H <sub>2</sub> O).
Ku	12-18 GHz	1.7-2.4 cm	Rara vez se utiliza para SAR (altimetría por satélite).
X	8-12 GHz	2.4-3.8 cm	SAR de alta resolución (monitoreo urbano; hielo y nieve, poca penetración en la cubierta vegetal; rápido deterioro de la coherencia en áreas con vegetación).
C	4-8 GHz	3.8-7.5 cm	Sensor SAR sumamente empleado (mapeo global; detección de cambios; monitoreo de áreas con vegetación baja a moderada; penetración mejorada; mayor coherencia; Hielo; océano; navegación marítima).
S	2-4 GHz	7.5-15 cm	Uso escaso pero creciente de la observación de la Tierra basada en SAR; monitoreo agrícola; amplía las aplicaciones de banda C a una mayor densidad de vegetación.
L	1-2 GHz	15-30 cm	SAR de resolución media (Monitoreo geofísico; mapeo de biomasa y vegetación; alta penetración; InSAR).
P	0.3-1 GHz	30-100 cm	Biomasa; mapeo y evaluación de la vegetación. SAR experimental.

Por otra parte, la polarización describe la orientación del plano de oscilación de una señal que se propaga. La mayoría de los sensores SAR actuales tienen polarización lineal y transmiten ondas con polarización horizontal o vertical. Estos sensores operan predominantemente en polarización HH (polarización horizontal en transmisión; polarización horizontal en recepción) o VV (transmisión vertical; recepción vertical). Los sensores más recientes ofrecen capacidades de

polarización dual o cuádruple. En esta última, el sensor alterna entre la transmisión de formas de onda con polarización H y V y la recepción simultánea de H y V, proporcionando imágenes con polarización HH, HV, VH y VV. La resolución espacial de los datos de radar está directamente relacionada con la relación entre la longitud de onda del sensor y la longitud de su antena. Para una longitud de onda dada, cuanto más larga sea la antena, mayor será la resolución espacial. Desde un satélite se necesitan antenas de gran tamaño para lograr una buena resolución espacial, lo cual no es práctico para este tipo de sistema, de ahí que la solución fuera la apertura sintética. En este concepto, se combina una secuencia de adquisiciones de una antena más corta para simular una antena mucho más grande, proporcionando así datos de mayor resolución.

En la Tabla 2 se presenta una lista de algunas de las plataformas SAR más relevantes, pasadas y actuales. Los sensores están ordenados por su período de funcionamiento. Para cada instrumento, se listan la longitud de onda del sensor, la resolución espacial y el tamaño de las imágenes, el ciclo de repetición y los medios de acceso a los datos. Esta guía rápida puede ser útil para seleccionar los sensores adecuados en función de una aplicación específica.

Los datos de las misiones pasadas y actuales de sensores SAR, que adoptaron una política abierta para todos los usuarios, pueden ser consultados en varios sitios web, entre los que se encuentran: el Sentinel Hub (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>) y Copernicus Data Space Ecosystem (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>) para los datos de Sentinel-1, Alaska Satellite Facility (ASF) (<https://asf.alaska.edu>) para datos de Seasat, ERS, Radarsat-1, ALOS-1, ALOS-2 y Sentinel-1 y Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com>) para el procesamiento de datos de Sentinel-1 y ALOS-1 en la nube.

Tabla 2. Lista de sensores SAR pasados y presentes y sus propiedades.

Sensor	Tiempo de vida	Banda/ longitud de onda	Resolución espacial	Tamaño de las imágenes	Resolución temporal	Acceso
Seasat	1978	L/23.5cm	25m	100km	-	Libre y abierto
ERS-1	1991-2000	C/ 5.6cm	<=30m	100km	35 días	Libre y abierto
JERS-1	1995-1998	L/24.6cm	18m	75km	44 días	Restringido
ERS-2	1995-2011	C/ 5.6cm	<=30m	100km	35 días	Libre y abierto
ENVISAT	2002-2012	C/ 5.6cm	28m	100km	35 días	Restringido, comercial
Radarsat-1	1995-2013	C/ 5.6cm	9-100m	100-510km	24 días	Libre y abierto

ALOS-1	2006-2011	L/24.6cm	10-100m	30-350km	46 días	Libre y abierto
<b>TerraSAR-X TanDEM-X</b>	2007- 2010-	X/3.5cm	0.2-40m	3-200km	11 días	Restringido, comercial
Radarsat-2	2007-	C/5.6cm	~1.5m- 100m	8-500km	24 días	Comercial
<b>COSMO -SkyMed</b>	2007-	X/3.5cm	≤1m-100m	10-200km	Sat: 16 días Const: ~hrs	Restringido, comercial
<b>ALOS-2 PALSAR-2</b>	2014-	L/24.6cm	1-100m	25-355km	14 días	Libre y abierto
Sentinel-1	2014-	C/5.6cm	5-40m	250-400km	Sat.: 12 días Const: 4 días	Libre y abierto
GAOFEN-3	2016-	C/5.6cm	1-500m	5-650km	~29 días	Restringido, comercial
SAOCOM	2018-	L/24.6cm	10-100m	65km- 320km	Sat: 16 días Const: 8 días	Restringido, comercial
PAZ SAR	2018-	X/3.1cm	1.7-40m	15-200km	11 días	Comercial
RCM	2019-	C/5.6cm	1-100m	20-500km	Sat: 12 días Const: 4 días	Libre y abierto, con algunas restricciones
<b>ALOS-4 PALSAR-3</b>	2024-	L/24.6cm	1-10m	35-200km	14 días	Restringido, comercial
BIOMASS	2025-	P/70 cm	200m	50 km	3 días	Propuesta base científica
NISAR	2025-	L/24cm, S/10cm	3-10m	~240km	12 días	Libre y abierto

### 3. APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES DE LOS SAR EN CUBA

#### 3.1 Gestión costera y vulnerabilidad climática.

El nivel del mar ha venido ascendiendo en los últimos 20 000 años, sin embargo, la consecuencia de este proceso no es homogénea para todas las áreas de la plataforma insular. Los estudios realizados por Pérez-Parrado (2019) mostraron una proyección en el ascenso del nivel del mar de 29.3 cm para el año 2050 y de 95 cm para el año 2100, en estas condiciones, se prevé un escenario de incremento de la vulnerabilidad costera por inundación del mar para algunas

regiones de la isla. Por ello, existe una necesidad cada vez mayor de monitorear la posición de la costa, para rastrear el aumento del nivel del mar inducido por el cambio climático y el descenso del terreno en algunos tramos costeros.

Existen varios enfoques para la detección de la línea de costa, uno de ellos son los datos de teledetección, los cuales tienen las ventajas de una baja intensidad de mano de obra, un consumo de tiempo reducido, menos equipo y una amplia cobertura espacial (Buono et al., 2014). Dentro de estos datos se encuentran los sistemas SAR, que tienen la capacidad de poseer un elevado contraste entre las zonas de tierra y agua en sus imágenes, debido a la diferencia entre el coeficiente de retrodispersión de uno y otro elemento recibido por el sensor. En la figura 1 se muestran los resultados obtenidos, a partir de la aplicación de un flujo de trabajo elaborado por los autores para el preprocesamiento de imágenes SAR y la obtención de la línea de costa. Este flujo de trabajo puede ser empleado para estudios multitemporales sobre la variación de la posición de la línea costera de la isla en distintos tramos, principalmente los más vulnerables y, de esta forma, poder cuantificar la magnitud de este fenómeno.



*Figura 1.* Línea de costa resultante.

Otro evento que afecta a nuestra isla son las inundaciones y de acuerdo con Mitrani et al. (2024), se aprecia un aumento en la frecuencia e intensidad de las inundaciones costeras que afectan al territorio cubano, ocasionadas fundamentalmente por ciclones tropicales, durante el período 2000-2022, con un promedio de al menos una inundación por año en algún punto del territorio cubano. Las tecnologías de teledetección desempeñan un papel fundamental, especialmente en la fase de respuesta a las inundaciones, gracias a su capacidad para proporcionar información oportuna y rentable para cartografiar y monitorear las zonas inundadas.



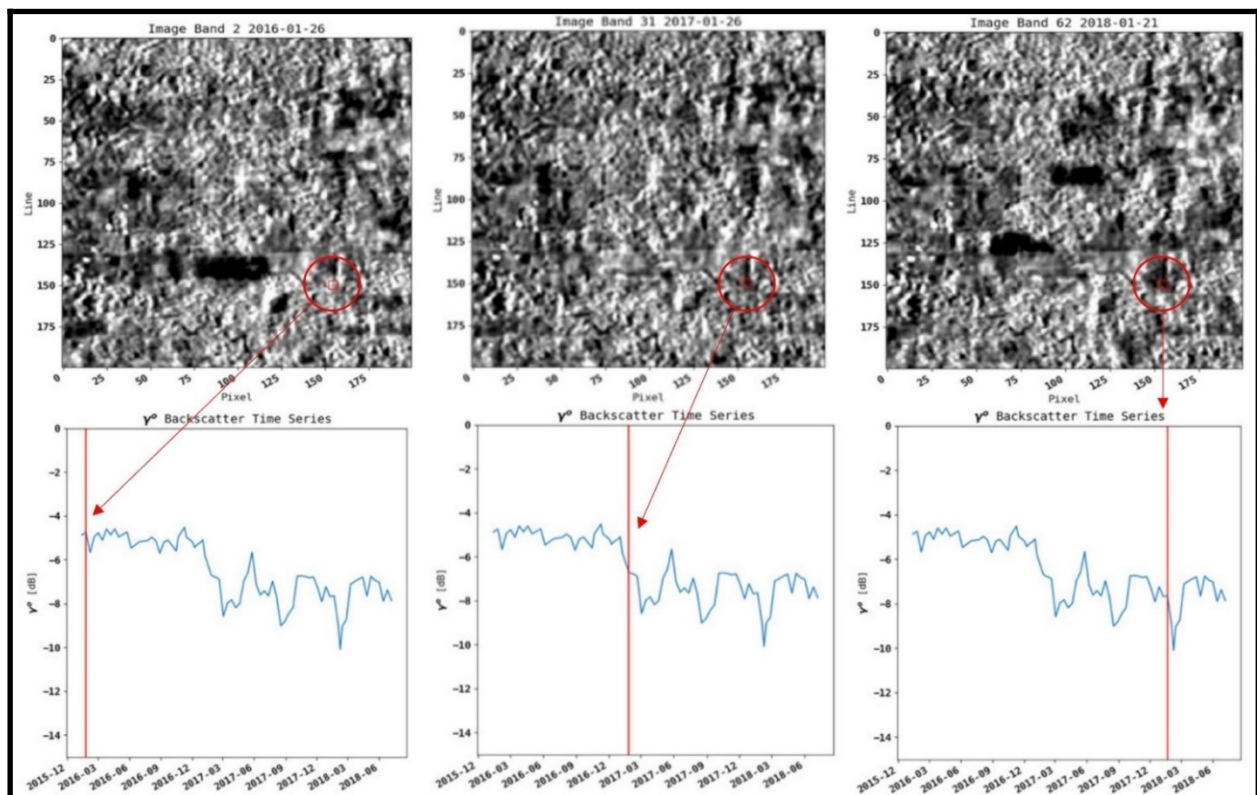
*Figura 2.* Imágenes SAR Sentinel-1 de Malawi antes y durante la inundación. Fuente: Serco Italia SPA (2018).

Hoy en día, esto puede lograrse casi en tiempo real gracias a los diversos satélites y constelaciones que orbitan la Tierra, operados tanto por autoridades, como por empresas privadas. En este contexto, los sensores SAR son especialmente valiosos debido a su capacidad de generar imágenes en cualquier condición climática y en cualquier momento del día, además del elevado contraste tierra-agua que ofrece, lo que permite realizar una efectiva caracterización espacio-temporal de este fenómeno. En la Figura 2 se observa el uso de Sentinel-1 para la detección y cuantificación de zonas de inundaciones en Malawi, año 2015.

### **3.2 Monitoreo de bosques.**

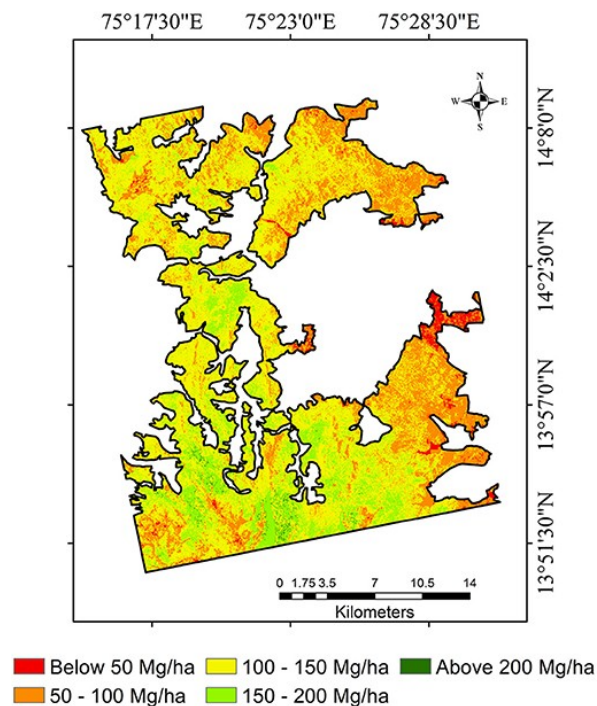
Como recurso natural vital, los bosques proporcionan una gran cantidad de servicios ecosistémicos, incluido el secuestro de carbono, diversos hábitats naturales para bosques y fauna y son una fuente clave de alimentos y fibra para el consumo humano (Flores-Anderson et al., 2019) por lo que es necesario el empleo de tecnologías novedosas para monitorear este valioso recurso. La teledetección de los cambios forestales desempeña un papel importante en este esfuerzo de monitoreo. Si bien los datos ópticos han sido durante mucho tiempo la herramienta principal para el monitoreo forestal, la disponibilidad de datos SAR operativos ofrece un complemento invaluable con una sensibilidad crucial: los sensores remotos de microondas penetran en gran

medida las nubes y, por lo tanto, garantizan un monitoreo continuo, incluso con cielos nublados. Para los países tropicales, como Cuba, esto es particularmente importante, ya que la nubosidad continua limita severamente la disponibilidad de datos ópticos. Las principales tareas del monitoreo forestal del SAR son: el mapeo de la deforestación y la degradación forestal, la estimación de la altura de las masas forestales y el mapeo y monitoreo de la biomasa forestal (Tsokas et al., 2022). En cuanto a la deforestación y degradación forestal, los SAR pueden capturar cambios en la vegetación. Varios estudios señalan, que con la pérdida de vegetación disminuyen los valores del coeficiente de retrodispersión captado por este sensor en comparación con zonas boscosas, lo cual permite diferenciar en imágenes SAR superficies con vegetación de zonas desprovistas de ésta y, por consiguiente, realizar estudios multitemporales sobre el estado y la detección de cambios de la cobertura boscosa. La figura 3 muestra los resultados de un estudio sobre eventos de deforestación en Ecuador, entre 2016 y



2018, empleando Sentinel-1, en la cual se observa una disminución clara del coeficiente de retrodispersión, a medida que aumenta el fenómeno de la deforestación.

*Figura 3.* Perfiles temporales para la detección de zonas con deforestación mediante imágenes SAR de Sentinel-1. Fuente: Flores-Anderson et al. (2019).



*Figura 4.* Mapa de biomasa aérea forestal. Fuente: Musthafa & Singh (2022).

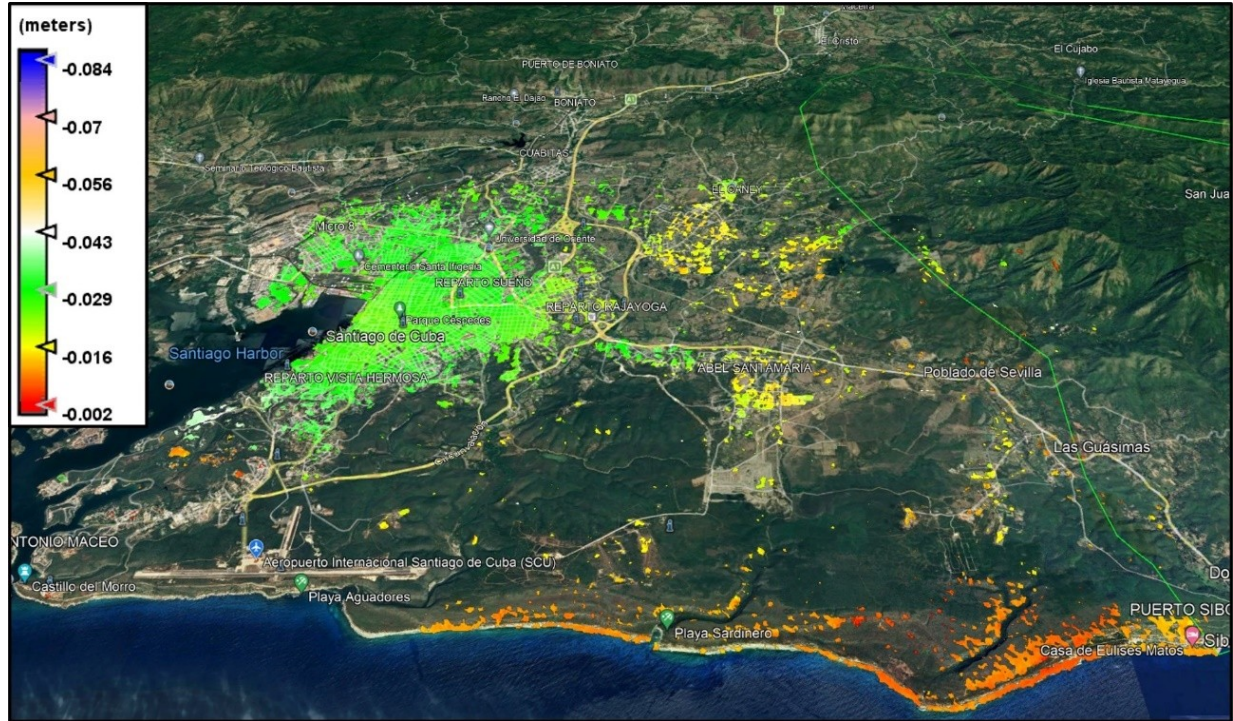
Por otra parte, la biomasa aérea forestal juega un papel clave en el financiamiento climático, basado en resultados a través de pagos por REDD+, las mediciones en campo de este parámetro tienen gran relación con sus valores homólogos obtenidos mediante técnicas de percepción remota. Los valores del coeficiente de retrodispersión, obtenidos mediante imágenes SAR, son sensibles a la biomasa aérea forestal, lo cual depende en gran medida de la frecuencia de la banda, de tal forma que mientras menor sea esta, mayor será la penetración en el dosel y mejorará la confiabilidad en los resultados. En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos por Musthafa & Singh (2022) en el cálculo de biomasa aérea forestal mediante imágenes satelitales SAR de banda C y L en los bosques de la India.

### 3.3 Desastres naturales y deformaciones del terreno.

La deformación activa de la superficie puede estar relacionada con procesos endógenos, exógenos y actividades antropogénicas (Amelung et al., 1999). El estudio y consideración de estos procesos es una tarea importante para la planificación física, el ordenamiento territorial, la reducción de los riesgos y desastres (Galbán-Rodríguez et al., 2021). Los desplazamientos verticales o subsidencia son más comunes en zonas costeras con un alto índice de erosión, zonas con un alto índice de extracción de aguas subterráneas, regiones con un alto índice de sismicidad,

ciudades muy urbanizadas con alta población (grandes ciudades) y zonas con altos índices de precipitaciones o fenómenos meteorológicos extremos (ciclones tropicales). En Cuba, en los últimos años, la ocurrencia de sismos, la erosión de la zona costera y los eventos meteorológicos extremos son los fenómenos que más influyen en los desplazamientos verticales.

Las investigaciones relacionadas con la determinación de los desplazamientos verticales del terreno en nuestro país están dirigidas fundamentalmente al procesamiento e interpretación de los datos de: la Red Geodésica Nacional, los polígonos geodinámicos, la Red Mareográfica y la Red Sismológica de la República de Cuba. Es importante resaltar que estas técnicas son efectivas y precisas y poseen una alta cobertura temporal, no obstante, las tecnologías empleadas en estos trabajos son costosas y poseen una baja cobertura espacial, debido a que realizan las mediciones en puntos aislados, los cuales, en ocasiones no están ubicados en las zonas más propensas a los movimientos. Por tal motivo, es factible el empleo de métodos alternativos, como es el caso de la interferometría diferencial de radar de apertura sintética (DInSAR), que utiliza satélites de teledetección para proporcionar una solución integral y rentable en la detección y medición de la deformación del suelo con una gran resolución, además de ofrecer un alto nivel de precisión en datos sobre un área extensa, aunque con menor exactitud que las tecnologías anteriores. El DInSAR es un método de obtención de imágenes de radar lateral que utiliza la diferencia de fase de dos o más imágenes SAR (Radar de Apertura Sintética) con diferentes adquisiciones de procesos para obtener topografía y deformación (Al-Akbar et al., 2015). La diferencia de fase produce un nuevo tipo de imagen llamada interferograma (Cynthia & Pudja, 2018), el cual mostrará si las áreas estudiadas están experimentando hundimiento o levantamiento del terreno (Francis et al., 1996). En la Figura 5 se muestra la aplicación de las técnicas DInSAR en la provincia Santiago de Cuba para la estimación y estudio de los movimientos verticales de la superficie terrestre.



*Figura 5. Determinación de desplazamientos verticales en la provincia de Santiago de Cuba mediante el método DInSAR.*

Aunque el método DInSAR se ha empleado para este tipo de trabajo con éxito, suele estar limitado por la decorrelación temporal y geométrica y por anomalías de retardo atmosférico, de ahí que para mediciones más precisas y a largo plazo, como estudios de deformaciones de estructuras, se suelen emplear métodos como el PSI (Dispersores permanentes en interferometría SAR), el cual mide la deformación de la superficie a lo largo de meses o años, eliminando los efectos de la atmósfera, la topografía y el ruido de la señal. En la figura 6 se muestra un ejemplo del empleo de este método para el estudio de las deformaciones en carreteras, específicamente en el viaducto La Farola.

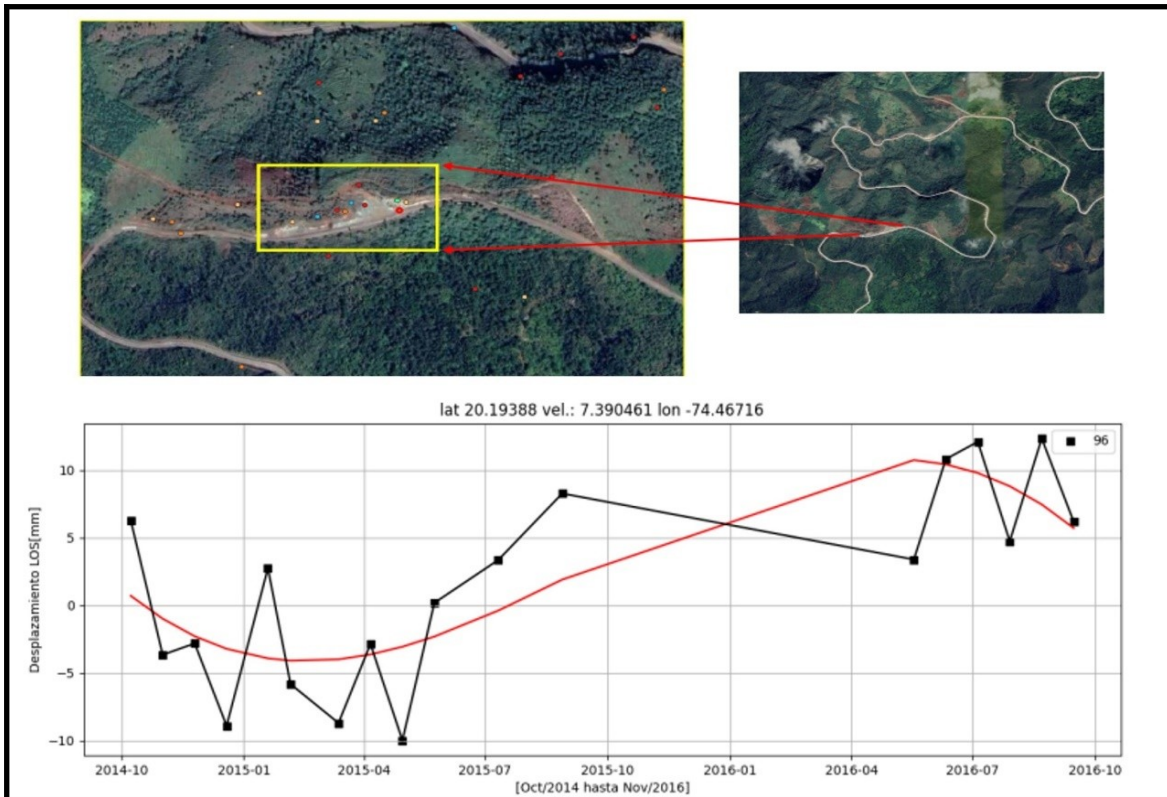


Figura 6. Determinación de desplazamientos verticales en el Viaducto La Farola mediante el método PSI.

#### 4. CONCLUSIONES

- 1) El presente trabajo ha demostrado el valor fundamental de los SAR, como herramienta para el monitoreo ambiental en Cuba, superando las limitaciones de los sensores ópticos en condiciones de alta nubosidad.
- 2) La aplicación de los SAR en estudios costeros, forestales y de riesgos naturales proporciona datos precisos para la gestión territorial y la adaptación al cambio climático.
- 3) Los resultados mostrados destacan la eficacia de los SAR para detectar cambios en la línea de costa, cuantificar biomasa forestal y monitorear deformaciones del terreno mediante técnicas interferométricas.
- 4) Las capacidades demostradas por los SAR, los convierten en instrumentos valiosos para implementar políticas como la Tarea Vida y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## 5. REFERENCIAS

- Al-Akbar, T. O., Prasetyo, Y. & Wijaya, A. P. (2015). Analisis dampak penurunan muka tanah terhadap tingkat ekonomi menggunakan kombinasi metode DInSAR dan SIG (Studi kasus: Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 4(4), 136–143. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/9939/9640>.
- Amelung, F., Galloway, D. L., Bell, J. W., Zebker, H. A., & Lacznik, R. J. (1999). Sensing the ups and downs of Las Vegas: InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer-system deformation. *Geology*, 27(6), 483-486. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1999\)027<0483:STUADO>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027<0483:STUADO>2.3.CO;2).
- Buono, A., Nunziata, F., Mascolo, L. y Migliaccio, M. (2014). A multipolarization analysis of coastline extraction using X-Band COSMO-Sky MedSAR data. *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Obs. Remote Sens*, 7(7), 2811–2820. DOI: [10.1109/JSTARS.2014.2320366](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2320366).
- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección espacial. Madrid: Ediciones RIALP, SA.
- Cyntia, C., & Pudja, I. P. (2018). Subsidence analysis in DKI Jakarta using Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) Method. *Sustinere: Journal of Environment and Sustainability*, 2(3), 118–127. <https://doi.org/10.22515/sustinere.jes.v2i3.48>.
- Flores-Anderson, A. I., Herndon, K. E., Thapa, R. B., & Cherrington, E. (2019). The SAR Handbook: Comprehensive methodologies for forest monitoring and biomass estimation: Technical Report, NASA. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190002563/downloads/20190002563.pdf>.
- Francis, P. W., Wadge, G., & Mougini-Mark, P. J. (1996). Satellite monitoring of volcanoes. In R. Scarpa & R. I. Tilling (Eds.), *Monitoring and mitigation of volcano hazards* (pp. 257–298). New York: Springer Verlag.
- Hartl, P. (1996). *Synthetic apert.* [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-80087-0\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-80087-0_8).
- Galbán-Rodríguez, L., Guardado-Lacaba, R.M., & Chuy-Rodríguez, T.J. (2021). Principales procesos y fenómenos geológicos conducentes a riesgos en la provincial Santiago de Cuba, Cuba. *DYNA*, 49, 13-25. <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n49/0120-3630-bcdt-49-13.pdf>.
- Mitrani, I., Cabrales, J. & Hidalgo, A. (2024). Inundaciones costeras en territorio cubano, causadas por eventos meteorológicos severos, durante los años 2000-2022. *Revista Cubana de Meteorología*, 30(01). <https://www.redalyc.org/journal/7019/701977977001/html>.

- Musthafa, .M & Singh, G. (2022). Improving Forest Above-Ground Biomass Retrieval Using Multi-Sensor L- and C- Band SAR Data and Multi-Temporal Spaceborne LiDAR Data. *Front. For. Glob. Change* 5:822704. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.822704>.
- Pérez-Parrado, R. (2019). Ascenso del nivel del mar en Cuba por Cambio Climático. *Revista Cubana De Meteorología*, 25(1), 76-83. Recuperado a partir de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/455>.
- Serco Italia SPA. (2018). Flood Monitoring with Sentinel-1 Using S-1 Toolbox - January 2015, Malawi (version 1.2). Retrieved from RUS Lectures at <https://rus-copernicus.eu/portal/the-rus-library/learn-by-yourself/>.
- Sommervold, O., Gazzea, M., & Arghandeh, R. (2023). A Survey on SAR and Optical Satellite Image Registration. *Remote Sensing*, 15(3), 850. <https://doi.org/10.3390/rs15030850>.
- Tsokas, A., Rysz, M., Pardalos, P. & Dipple, K. (2022). SAR data applications in earth observation: An overview. *Expert Systems With Applications*, 205, 117342. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117342>.