

Seguimiento satelital de bosques de manglar: oportunidades para la gestión y conservación del Pacífico colombiano

Mauricio Alejandro Perea-Ardila¹ ; Paulo J. Murillo-Sandoval² ; Fernando Oviedo-Barrero³

¹ Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP).

² Departamento de Topografía, Facultad de Tecnologías, Universidad del Tolima.

³ Jefe Técnico (RA). Consultor independiente.

La Dirección General Marítima (Dimar), desde su Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCCP), como apoyo a sus funciones de autoridad en la administración de los litorales, desarrolla investigaciones que involucran el seguimiento del estado del manglar en el Pacífico colombiano. En este seguimiento se emplean imágenes de satélite que apoyan la toma de decisiones para la gestión y sostenibilidad de este recurso en el Pacífico colombiano.

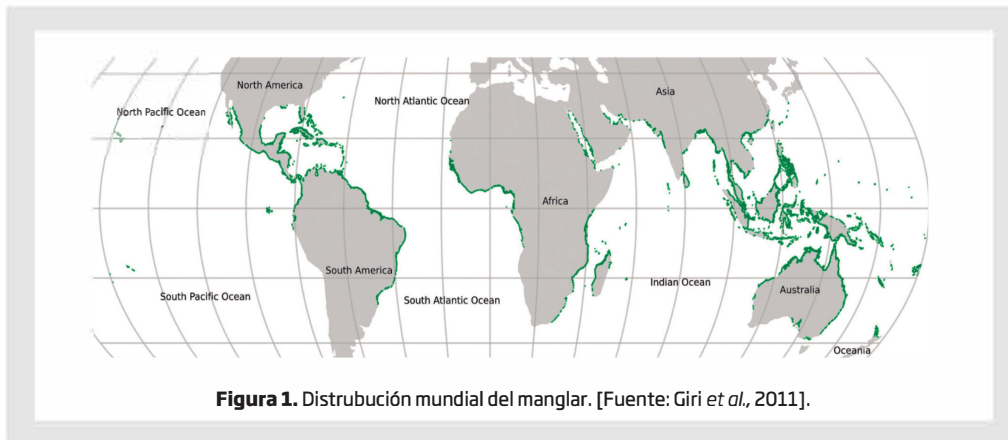


Figura 1. Distribución mundial del manglar. [Fuente: Giri *et al.*, 2011].

La importancia del manglar

El manglar domina los humedales costeros y zonas intermareales de las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo (Kuenzer, Bluemel, Gebhardt, Quoc y Dech, 2011). Actualmente, se tiene una estimación de 136 000 km² de área cubierta por manglar a nivel mundial (Spalding y Leal, 2021). Este ecosistema está formado, principalmente, por especies vegetales que a lo largo de su evolución han desarrollado modificaciones y adaptaciones de tipo morfológica, fisiológica y reproductiva que les permiten tolerar ambientes extremos, con amplia variedad de condiciones ambientales (Fig. 1).

Dentro de sus principales características se tiene que:

- Posee capacidad de capturar y almacenar carbono en bosque y suelo.
- Proporciona diversos bienes y servicios ecosistémicos.
- Aporta materiales para construcción y son fuente medicinal.
- Contribuye a la protección de la erosión costera y de eventos naturales extremos.
- Es una importante zona para la cría y refugio de peces y crustáceos.
- Ofrece turismo de naturaleza.
- Es el hábitat para diferentes especies de fauna y flora.

Los ecosistemas de manglar se encuentran amenazados debido a las presiones del crecimiento de la población, la expansión de las tierras agropecuarias, el desarrollo industrial, el aumento del nivel del mar y la contaminación, esto ha provocado la desaparición de alrededor del 2 % del manglar en el mundo.

Colombia es uno de los 118 países que poseen manglar a nivel mundial, y estos se encuentran en los litorales del Caribe y Pacífico colombiano. La extensión aproximada de manglar en Colombia es 289 122.25 ha (Rodríguez-Rodríguez, Sierra-Correa, Gómez-Cubillos y Villanueva, 2016), donde alrededor del 70 % de la extensión se encuentra a lo largo del litoral Pacífico colombiano. El manglar se encuentra en áreas muy húmedas

Principales especies de mangle que se encuentran en Colombia.

Especie	Nombre común
Rhizophora mangle	Mangle rojo
Rhizophora harrisonii	Mangle injerto
Rhizophora racemosa	Mangle pava o caballero
Laguncularia racemosa	Mangle blanco
Conocarpus erectus	Mangle zaragoza
Avicennia germinans	Mangle negro
Pelliciera rhizophorae	Mangle piñuelo
Mora oleifera	Mangle nato

Tabla 1. [Tomado de: Invemar, 2021]

como la Pacífica, pero también en ambientes muy secos como en el Caribe que no han afectado el desarrollo de diversas *especies* de mangle. Una de las características del manglar colombiano es que está conformados por ocho *especies* (Tabla 1).

¿Por qué el uso de información satelital?

En Colombia el manglar se encuentra en áreas de difícil acceso, donde realizar mediciones y seguimientos de su condición vegetal resulta costoso.

Una de las alternativas para su estudio y seguimiento es el uso de satélites de observación de la Tierra. Algunas misiones satelitales han tomado un registro constante de imágenes de la superficie terrestre durante décadas (desde los años 70), con lo cual se presenta una oportunidad para desarrollar investigaciones que involucren análisis históricos de los cambios en la extensión y condición de este ecosistema.

Dentro de las principales ventajas se tiene:

- Las imágenes satelitales para uso científico son de libre acceso, esto permite acceder y realizar diferentes análisis a bajo costo.
- Existe un gran catálogo de imágenes satelitales disponible para el seguimiento de manglar en zonas remotas y en varios periodos de tiempo.
- A partir de la aplicación de técnicas de teledetección y el uso de sistemas de información geográfica (SIG) se generan diferentes productos como cartografía a diferentes escalas, estimaciones de parámetros biofísicos (biomasa, carbono, altura) y desarrollo de iniciativas de conservación como proyectos de Carbono Azul.

Algunos avances en el monitoreo de manglares en el Pacífico

El Área de Manejo Integrado de Zona Costera del CCCP ha realizado aportes científicos a partir del seguimiento satelital del manglar del Pacífico colombiano. Estos estudios contribuyen a la conservación de recursos naturales marino-costeros que son de importancia nacional y juegan un papel fundamental en la delimitación de las áreas de la jurisdicción de la Dimar.

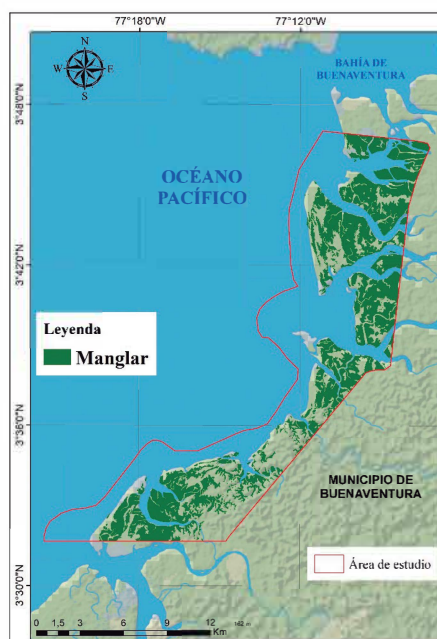


Figura 2. Mapeo de manglares en el Pacífico colombiano. [Fuente: Perea-Ardila *et al.* 2019].

Un ejemplo de la utilización de estas tecnologías es el estudio realizado por Perea-Ardila, Oviedo-Barrero y Leal-Villamil (2019), donde utilizaron imágenes de satélite del Sentinel-2, con una resolución espacial de 10 metros (tamaño de píxel) y ortofotografías de alta resolución para mapear cerca de 12 000 ha de manglares en Buenaventura Colombia (Fig. 2). Con la combinación de estas imágenes se generó cartografía temática de manglares a escala 1:25 000.

Continuando con esta temática Perea-Ardila, Leal-Villamil y Oviedo-Barrero (2021), usaron imágenes de satélite del Landsat, de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA por sus siglas en inglés), con resolución espacial de 30 m para la caracterización espectral y el monitoreo de más de 6 000 ha de manglar en Bahía Solano, Chocó (Fig. 3). En este estudio se determinó principalmente como la reflectividad del manglar es afectada por los estados mareales.

Por otro lado, el trabajo realizado por Castellanos-Galindo, Casella, Tavera, Zapata Padilla y Simard, 2021 demostró la posibilidad del uso de imágenes capturadas por drones

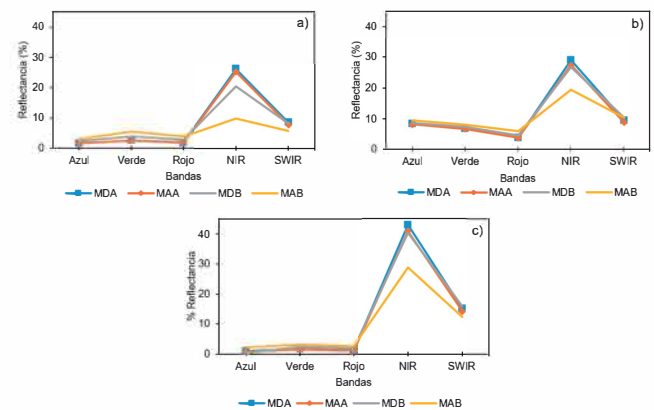
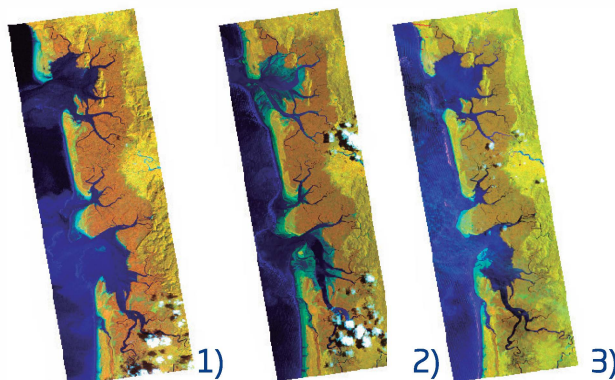


Figura 3. Seguimiento satelital de bosques de mangle en Bahía Solano, Chocó. 1) imagen Landsat 5 de 1998, 2) imagen Landsat 8 de 2014 y 3) Imagen de Landsat 7 de 2017. Firma espectral estimada para los manglares en los productos Landsat a) 1998, b) 2014 y c) 2017. Donde: manglar denso alto (MDA), manglar abierto alto (MAA), manglar denso bajo (MDB), manglar abierto bajo (MAB).

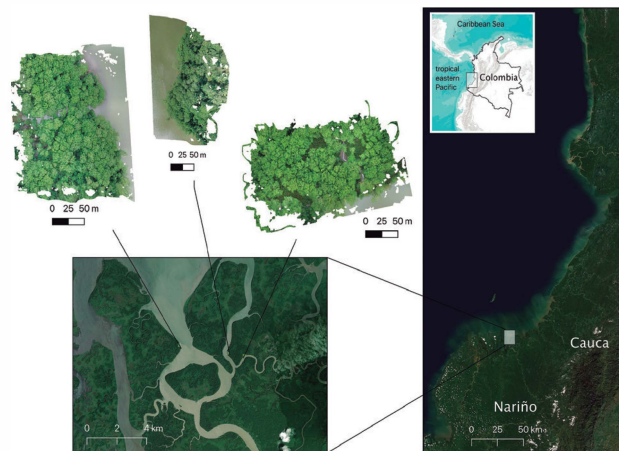
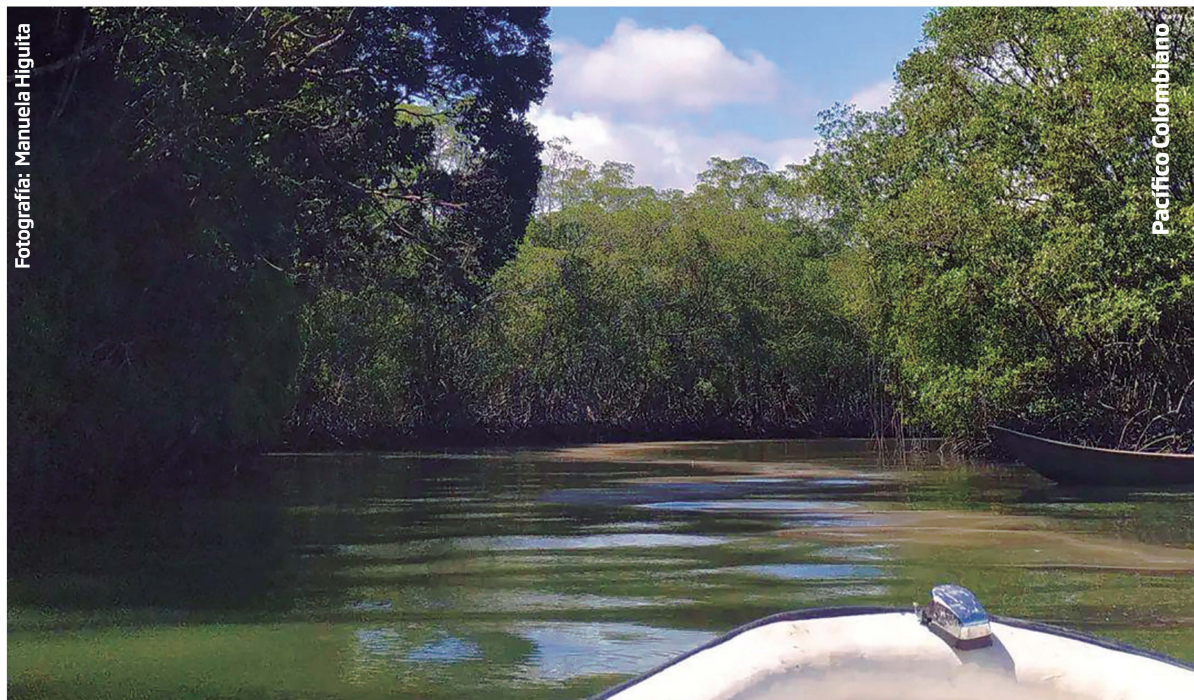


Figura 4. Estructura forestal del manglar de Guapi, Cauca. [Tomado de: Castellanos-Galindo *et al.*, 2021].

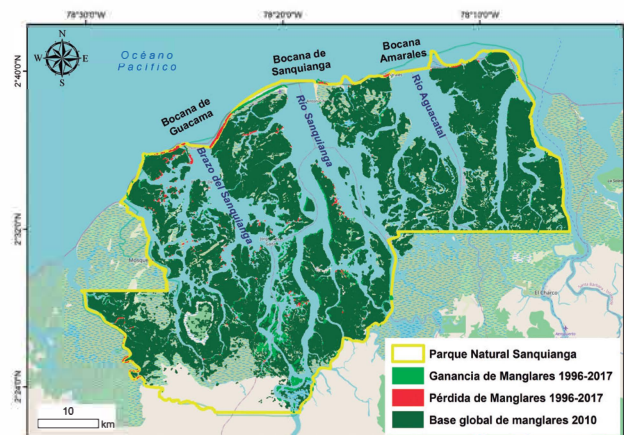


Figura 5. Imágenes de radar de apertura sintética (SAR) de PNN Sanquianga. [Fuente: Perea-Ardila y Murillo-Sandoval (en publicación)]

para caracterizar la estructura forestal (Fig. 4) y determinar el grado de conservación del manglar de Guapi, Cauca, encontrando que estos bosques son los más altos del sur de las Américas.

Actualmente se trabaja en el monitoreo de manglar en el departamento de Nariño, especialmente en áreas estratégicas como el Parque Nacional Natural Sanquianga, área protegida que alberga la mayor área de manglar de Sur América (Fig. 5). Para su seguimiento se emplean imágenes de radar de apertura sintética-

SAR del JERS 1 y ALOS/PALSAR de la Agencia Espacial Japonesa (JAXA), sensores activos con 25 m de resolución espacial. Con estas imágenes se pretende generar información sobre los cambios de cobertura de manglar (ganancias/pérdidas) y los contenidos de carbono aéreo, estimados en estos ecosistemas en 21 años de estudio. EL procesamiento de estas imágenes se realiza usando Google Earth Engine, una plataforma en la nube para el análisis de información geoespacial (Gorelick, Hancher, Dixon, Ilyushchenko, Thau y Moore, 2017).

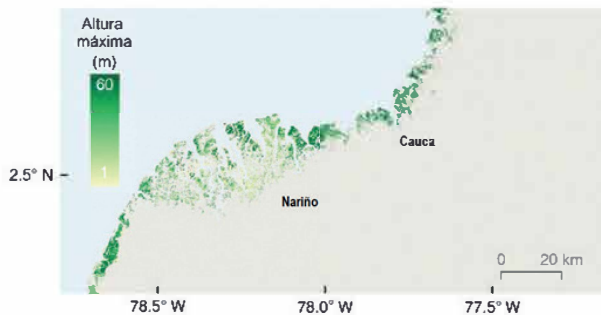


Figura 6. Estimación de alturas de manglares en el Pacífico colombiano. [Modificado de: Simard *et al.*, 2019].

Oportunidades para la gestión y conservación de manglares

Recientes estudios han demostrado que los manglares del Pacífico colombiano poseen árboles de mangle de gran altura, ocupando el tercer lugar a nivel mundial. Las alturas máximas alcanzan los 54.3 m (Fig. 6), compitiendo con los manglares de Gabón y Guinea Ecuatorial, en África (Simard *et al.*, 2019). Todo el sector suroccidental del Pacífico es rentable para el desarrollo de proyectos de Carbono Azul (Zeng, Friess, Sarira, Siman y Koh, 2021). El elevado nivel de carbono almacenado en los ecosistemas marino-costeros que incluyen los pastos marinos, marismas y manglares representa una oportunidad para el beneficio de las comunidades del Pacífico colombiano.

Para el año 2018 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia lanzó el Decreto 1263, el cual tiene por objetivo actualizar las medidas para la gestión integral y sostenibilidad del manglar en el territorio colombiano, lo cual brinda un marco legal para la actualización de estudios referentes al ecosistema manglar. Aquí el uso de productos de observación de la Tierra se hace fundamental para la generación de información para los tomadores de decisiones.

En este contexto, desde la investigación científica se hace necesario desarrollar proyectos que no solo se limiten a conocer la extensión del ecosistema, sino que también involucren a las comunidades que dependen de estos ecosistemas. Los productos de observación de la Tierra son útiles para identificación de *especies*, la fenología de los bosques, flujos de carbono y la degradación del ecosistema, entre otros. El desarrollo de estrategias realistas que contribuyan de manera integral la función del ecosistema permitirá la focalización de esfuerzos de conservación, y una

mejor formulación de políticas para el bienestar del manglar y de las comunidades. Adicionalmente, la Dimar participa como autoridad junto con otras instituciones en la toma de decisiones frente al territorio marino-costero y la vigilancia de los recursos naturales de la nación.

Conclusiones

- Los ecosistemas de manglar son de gran importancia ambiental y para las comunidades que dependen de ellos poseen grandes características que los catalogan como ecosistemas pioneros en la adaptación al cambio climático en zonas marino-costeras.
- Desde el CCCP y el Área de Manejo Integrado de Zona Costera se emplean productos de observación de la Tierra para el monitoreo de manglares que apoyan la toma de decisiones a nivel nacional. Sin embargo, es necesario la consecución de un sistema que permita un seguimiento espacial y temporal adecuado del manglar en Colombia.
- Existen oportunidades en la región Pacífica para la generación de nuevos proyectos de investigación que involucren temáticas sociales relacionadas a la conservación del manglar y su relación con las comunidades que dependen de ellos. 📌

Lista de referencias

- Castellanos-Galindo, G. A.; Casella, E.; Tavera, H.; Zapata Padilla, L. A.; Simard, M. (2021). Structural Characteristics of the Tallest Mangrove Forests of the American Continent: A Comparison of Ground-Based, Drone and Radar Measurements. *Front. For. Glob. Chang.* 4, 1-11.
- Giri, C.; Ochieng, E.; Tieszen, L.L.; Zhu, Z.; Singh, A.; Loveland, T.; Masek, J.; Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 20, 154-159.
- Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés". (2021).

Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2020. Invemar. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3, Santa Marta.

Kuenzer, C.; Bluemel, A.; Gebhardt, S.; Quoc, T. V.; Dech, S. (2011). Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review. *Remote Sens.* 3, 878-928.

Perea-Ardila, M. A.; Oviedo-Barrero, F.; Leal-Villamil, J. (2019). Cartografía de bosques de manglar mediante imágenes de sensores remotos: estudio de caso: Buenaventura, Colombia. *Rev. Teledetección* 53, 73-86.

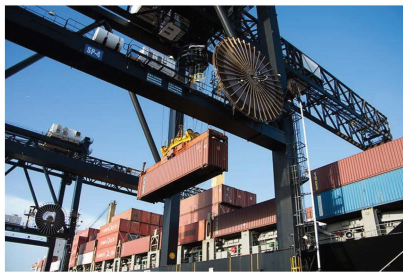
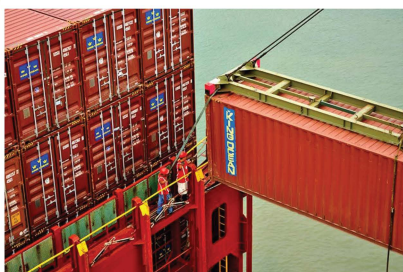
Perea-Ardila, M. A.; Leal-Villamil, J.; Oviedo-Barrero, F. (2021). Spectral characterization and monitoring of mangrove forests with remote sensing in the Colombian Pacific Coast: Bajo Baudó, Chocó. *Rev. Ciencias la Vida, La Granja* 34, 27-44.

Rodríguez-Rodríguez, J. A.; Sierra-Correa, P. C.; Gómez-Cubillos, M. C.; Villanueva, L. V. L. (2016). *Mangroves of Colombia, in: The Wetland Book.* Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 1-10.

Simard, M.; Fatoyinbo, L.; Smetanka, C.; Rivera-Monroy, V. H.; Castañeda-Moya, E.; Thomas, N.; Van der Stocken, T. (2019). Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. *Nat. Geosci.* 12, 40-45.

Spalding, M. D.; Leal, M. (2021). *The State of the World's Mangroves 2021.* Global Mangrove Alliance.

Zeng, Y.; Friess, D. A.; Sarira, T. V.; Siman, K.; Koh, L. P. (2021). Global potential and limits of mangrove blue carbon for climate change mitigation. *Current Biology.* 31, 1737-1743.e3.



KING OCEAN SERVICES®

www.kingocean.com

Empresa de transporte de carga.

Más de 30 años de excelencia en el servicio de transporte marítimo internacional.



Refrigerated Cargo



Project Cargo



LCL Cargo Service



807 Cargo

Bogotá

King Ocean Services
Carrera 11A, No. 94-76
Oficina 304
Ph. 601.616.1986
Fx. 601.616.2041

San Andrés Islas, Colombia

Causil Rojas & Cia
Edificio Camara
de Comercio #7
Ph. 608.512.2450 / 2452
Fx. 608.512.7614

Barranquilla

King Ocean Services
Torre Banco de Oriente
Carrera 52 No. 74-56
Oficina 506
Ph. 605.368.4371
Fx. 605.360.5395

Cartagena

King Ocean Services
Manga Carrera 25
No. 25 A-32
Piso 3 Oficina 307
Ph. 605.660.6980
Fx. 605.660.6222