



Geógrafa, cartógrafa,
consultora en
Teledetección y SIG
(mariajos1221@
hotmail.com)



Geógrafo y consultor
en Teledetección
y SIG (joselugm@
proton.me)



Programa
Transforma-
Innova, PNUD
(fran1993piedra@
gmail.com)

Experiencia de monitoreo del cambio de uso de la tierra en cultivos de musáceas en Costa Rica durante el período 2021–2022

*María José Elizondo Campos
José Luis Gamboa Mora
Francini Acuña Piedra*

El cultivo de musáceas, particularmente banano y plátano, ha sido históricamente uno de los pilares de la economía costarricense, no solo por su contribución en la generación de divisas, sino también por su papel en la configuración del paisaje productivo del país. Desde finales del siglo XIX, este cultivo ha ocupado un lugar importante en las exportaciones nacionales y en la generación de empleo (Vallejo, 2018). A nivel internacional, los bananos son considerados uno de los productos agrícolas más globalizados, debido a su fuerte presencia en el comercio mundial (Martínez y Rey, 2021).

En este contexto, la creciente exigencia de los mercados internacionales por contar con certificaciones de origen y sellos de no deforestación ha impulsado la necesidad de herramientas confiables para rastrear la evolución temporal de estos cultivos.

El sistema de Monitoreo del Cambio de Uso y Cobertura de la Tierra en Paisajes Productivos (MOCUPP), impulsado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), ha venido consolidándose como una de

esas herramientas. Desde sus primeras etapas, fue planteado como un instrumento para monitorear paisajes productivos con un enfoque territorial (Arguedas et al., 2021).

La incorporación del cultivo de musáceas dentro de este sistema representó un paso importante, ya que permitió construir por primera vez una línea base nacional con un nivel de detalle que antes no se tenía. El mapeo de musáceas se desarrolló en el marco de trabajo del Programa “*Rutas transformadoras bajas en emisiones de carbono y resilientes al clima de Costa Rica – Transforma-Innova*”, financiado por la Iniciativa Internacional de Protección del Clima de Alemania (IKI, por sus siglas en alemán).

El MOCUPP permite identificar y clasificar las áreas dedicadas a la producción de musáceas y otros cultivos extensivos del país, como piña, palma aceitera, café y pasturas para ganadería. Asimismo, mide los cambios asociados a la pérdida, ganancia y permanencia de la cobertura arbórea vinculada a estos cultivos. Este enfoque garantiza un monitoreo continuo y preciso de los paisajes agrícolas, lo que contribuye a la planificación y toma de decisiones en el sector agroproductivo, ambiental y otras áreas relacionadas.

Este artículo abarca los resultados obtenidos para 2021 y 2022, ofreciendo datos detallados sobre la distribución geográfica del área de musáceas en el país y los cambios en relación a la pérdida

o ganancia de cobertura arbórea en estos cultivos en el periodo evaluado.

El enfoque metodológico utilizado en este estudio combina herramientas geoespaciales avanzadas y técnicas de análisis específicas para el monitoreo del cultivo de musáceas en Costa Rica. El proceso incluyó la identificación, digitalización y validación de áreas cultivadas mediante imágenes satelitales y trabajo de campo, asegurando una representación precisa de las dinámicas productivas.

El desarrollo metodológico fue abordado en siete etapas entre ellas: selección del área de estudio, asegurando una representación

descarga de imágenes satelitales, identificación del patrón de retrodispersión radiométrica, trabajo de campo, interpretación y digitalización de áreas cultivadas con musáceas, validación, y publicación de los datos en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT).

El área de estudio se determinó a partir de una revisión nacional donde estuviera la presencia del cultivo de musáceas en Costa Rica durante el período 2021-2022, basados como límite de las regiones de MIDEPLAN (Decreto Ejecutivo N° 7.944-P).

Por su parte, el monitoreo se desarrolló a partir de la combinación de imágenes satelitales de radar de apertura sintética (SAR) y datos ópticos, apoyados en procesos de fotointerpretación. Se decidió utilizar imágenes SAR ya que estas

son útiles debido a las condiciones de nubosidad persistente en gran parte del país, particularmente en la región Caribe.

A diferencia de los sensores ópticos, estos emiten su propia señal de microondas capaces de atravesar la atmósfera y registran la energía retrodispersada por una determinada superficie, lo anterior, permite obtener información de la cobertura terrestre independientemente de las condiciones atmosféricas (Moreira et al., 2013), lo cual fue clave para mantener la consistencia del análisis ya que en ensayos previos con otros productos multiespectrales de mediana resolución se dificulta cubrir la totalidad del área de estudio con imágenes libres de nubosidad (Figura 1).

Según la Guzmán-Álvarez et al. (2022), el uso de sensores activos, como el radar de apertura sintética (SAR), ha demostrado ser particularmente útil en la estimación de áreas de producción de banana, debido a la alta retrodispersión que generan las grandes hojas de las plantas. También, Martínez-Barbáchano (2025), utilizó imágenes SAR para el mapeo de banana en Costa Rica.

Cabe mencionar, que los monocultivos de musáceas, como el banana y el plátano, presentan un patrón de expansión

característico que los hace distinguibles en imágenes satelitales. Estos cultivos tienden a extenderse en bloques horizontales homogéneos, donde la copa de las plantas forma un dosel continuo (Johansen et al., 2014). Esta configuración espacial genera una señal de retrodispersión distintiva en las imágenes SAR, que puede ser diferenciada de otras coberturas vegetales (Guzmán-Álvarez et al., 2022).

En este sentido, la interpretación de las áreas cultivadas con musáceas requirió no solo el análisis de los valores espectrales, sino también la comprensión de los patrones de distribución espacial del cultivo en campo y de los periodos de renovación asociados a estas plantaciones. Este conocimiento resultó clave para diferenciar las musáceas de otras coberturas.



Figura 1. Representación conceptual de la interacción y captura de la señal SAR de Sentinel-1 sobre plantaciones de musáceas.

Fuente: elaborada mediante inteligencia artificial con base en el desarrollo metodológico de la investigación.

El proceso de validación combinó trabajo de campo con revisiones remotas o “giras virtuales” mediante herramientas como *QField*, *Collect Earth Online* y *Google Earth Pro*. La definición de los puntos de muestreo se basó en criterios estadísticos utilizando la fórmula propuesta por Chuvieco (2010).

El muestreo se ejecutó considerando las principales áreas reconocidas como idóneas para el desarrollo de estos cultivos; sin embargo, durante el proceso fue necesario realizar diversos ajustes, principalmente para asegurar una representación equilibrada de las distintas regiones del país.

Posteriormente, los datos fueron validados y a partir de los estándares de publicación del SNIT, fueron publicados mediante el nodo de la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica, estos son de acceso abierto.

Los principales resultados indican que para el 2021, las áreas cultivadas con musáceas en Costa Rica alcanzaron aproximadamente $\pm 62\,263.80$ hectáreas, lo que representó el ± 1.22 % del territorio nacional. Para el 2022, la superficie cultivada aumentó a $\pm 64\,485.70$ hectáreas, equivalente al ± 1.26 % del territorio del país. Estos resultados evidencian un incremento aproximado de $\pm 2\,221.90$ hectáreas en el área destinada al cultivo de musáceas entre 2021 y 2022, reflejando una expansión sostenida de esta actividad agrícola durante el periodo que incluye el estudio (Figura 2).

A nivel regional, la Región Huetar Caribe se consolidó como la principal zona de siembra de musáceas, concentrando aproximadamente el ± 85.67 % del área cultivada a nivel nacional, destacando los cantones de Matina y Siquirres lo que tiene mayor área de este cultivo.

Por su parte, la Región Huetar Norte tiene alrededor del ± 11.15 % del área de siembra en el país, destacando el cantón de Sarapiquí como uno de los principales territorios con cultivo de musáceas en dicha región. Aunque las regiones Pacífico Central (1.27 %), Brunca (1.87 %) y Central (2.23 hectáreas) presentan una participación relativamente menor en términos de superficie cultivada, estas desempeñan un papel relevante en la diversificación agrícola y en la distribución territorial de la producción nacional de musáceas (Figura 2).

Los datos de campo recopilados para este mapeo que se ejecutaron mediante giras de campo y recorridos “virtuales”, permitieron desarrollar un análisis detallado y robusto de la distribución de las musáceas en el país, con más de 4 000 puntos de control capturados para ambos años de estudio. La evaluación de la capa correspondiente al 2021 presentó un nivel de confianza del 98.03 %, mientras que la clasificación generada para el 2022 alcanzó un nivel de confianza del 95.38 %. Estos resultados evidencian una alta precisión en los procesos de identificación y clasificación realizados para ambos periodos de estudio.

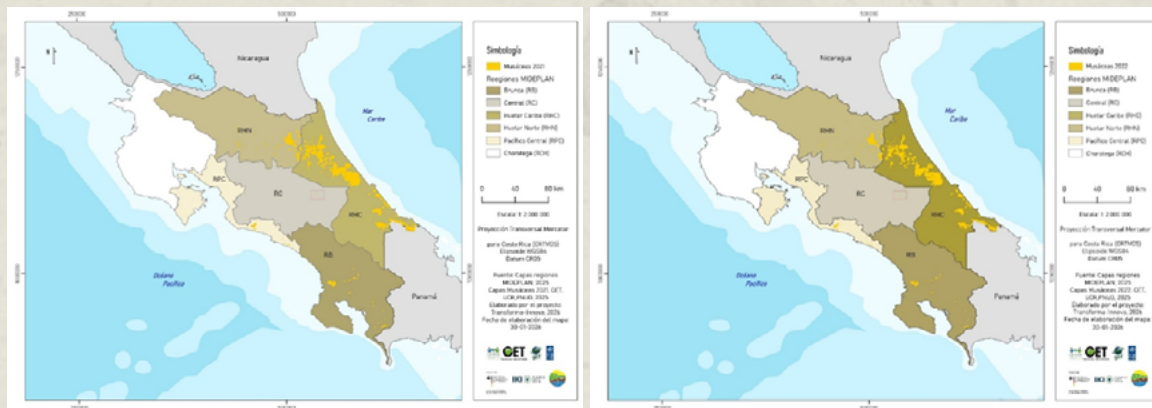


Figura 2. Mapa del cultivo de musáceas para Costa Rica: a) 2021 y b) 2022.

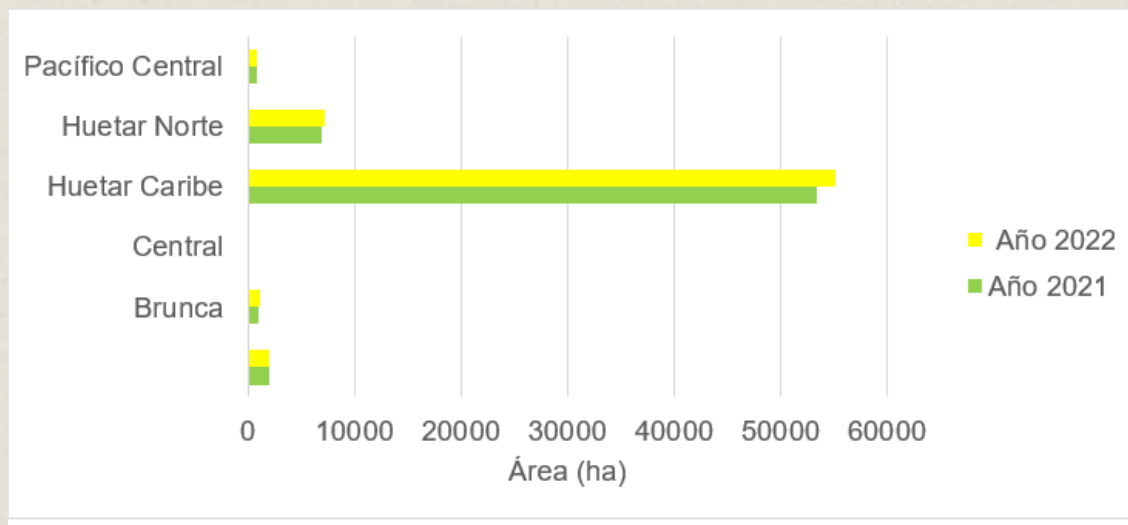


Figura 3. Extensión del cultivo de musáceas para Costa Rica en 2021 y 2022.

Además, el MOCUPP desarrolló el análisis de pérdida y ganancia de cobertura arbórea asociada al cultivo de musáceas en Costa Rica para los años 2021 y 2022. Este análisis se basó en la comparación de la extensión de las áreas cultivadas entre ambos periodos, con el objetivo de identificar los cambios asociados a la cobertura arbórea (CA) dentro del paisaje productivo monitoreado. Los resultados

permitieron evaluar si el incremento de la superficie cultivada estuvo relacionado con procesos de pérdida de cobertura arbórea o, por el contrario, si la disminución de las áreas de cultivo se asoció con procesos de ganancia o recuperación de dicha cobertura (**Figura 3**).

Con respecto a la ganancia de cobertura arbórea se definió como aquellas áreas que registraron un aumento en la

cobertura vegetal arbórea, favoreciendo la conectividad de la matriz del paisaje productivo y de los ecosistemas circundantes. Esta condición puede identificarse a una escala de 1:10.000 mediante el uso de píxeles de 10×10 metros, e incluye procesos de regeneración natural, regeneración asistida y reforestación (Hernández et al., 2022). Por su parte, la pérdida de cobertura arbórea corresponde a las diferencias identificadas entre los datos vectoriales del paisaje productivo monitoreado por MOCUPP al comparar un año base con el periodo subsiguiente. Estas pérdidas se asocian con variaciones en la cobertura arbórea y con la aparición de nuevas áreas destinadas al paisaje productivo, las cuales también pueden discriminarse a una escala de 1:10.000 utilizando píxeles de 10×10 metros (Hernández et al., 2022).

Asimismo, se analizaron las áreas sin cambios, entendidas como aquellas donde no se detectaron modificaciones en la cobertura arbórea circundante al paisaje productivo monitoreado por MOCUPP, manteniendo la misma escala de análisis y resolución espacial empleada en el estudio (Hernández et al., 2022).

Se determinó que el 99.01 % del área de cultivo de musáceas no presentó cambios. Esto indica que la mayor parte del área evaluada se mantuvo sin evidencia de pérdida de cobertura arbórea (deforestación) durante el periodo de estudio. Sin embargo, se identificó que aproximadamente 125.74 hectáreas del área productiva presentaron un aumento

de cobertura arbórea (**Figura 4**). Esto sugiere que algunas áreas previamente ocupadas por cultivo de musáceas, pasaron a procesos de regeneración o recuperación de vegetación distinta a este cultivo.

Las ganancias de cobertura arbórea se presentan específicamente en los cantones de Talamanca, con la mayor extensión alrededor de ± 56.71 hectáreas, seguido por Matina con ± 40.10 hectáreas y en tercer lugar Guácimo con ± 13.43 hectáreas. Los cantones de Limón, Pococí, Quepos y Sarapiquí, reportaron igualmente ganancias, pero inferiores a las 10 hectáreas.

Por su parte, se detectó una pérdida de cobertura arbórea dentro del área de siembra de aproximadamente ± 117.96 hectáreas, lo que equivale al ± 0.18 % del área analizada, un valor estadísticamente poco significativo (**Figura 4**). Este resultado indica que la expansión del cultivo de musáceas generó una remoción puntual de cobertura arbórea.

Los datos de pérdida de cobertura arbórea que se identificaron en el proceso son únicamente en la región Huetar Caribe, utilizando el 100 % de las áreas de pérdidas. Estas se distribuyen en los cantones de Limón con ± 5.24 hectáreas y Talamanca con ± 112.72 hectáreas.

Los cambios observados con respecto a las pérdidas de cobertura arbórea podrían estar influenciados por factores propios de la dinámica productiva y del uso del suelo. Por un lado, la existencia de plantaciones forestales comerciales dentro de algunas fincas bananeras, que son

cosechadas periódicamente, puede generar variaciones en los índices y reportarse como pérdida de cobertura arbórea. Además, las prácticas de manejo del cultivo, como las programaciones de cosecha y renovación de plantaciones (*“chop down”*), provocan que ciertas áreas salgan y entren rápidamente en producción, lo que dificulta una estimación estable y precisa del área efectivamente sembrada.

Además, la dinámica del cultivo de musáceas en el cantón de Talamanca, está mayoritariamente asociada en territorio indígena, actualmente se caracteriza por dedicarse a la siembra de banano criollo, el cual lo cultiva en sistemas agroforestales, o en cultivos intercalados, como cacao, café, especies forestales, plátano, maíz y granos básicos, lo cual implica que no se de prácticas para optimizar

la producción en cuanto al uso del suelo y el espacio (MAG, 2022), lo que puede ocasionar que estén rotando los cultivos en terrenos que han dejado en descanso y se han recuperado con el tiempo, o que aumentó su área productiva para tener más productividad, lo que puede ocasionar los reportes de pérdida de cobertura arbórea.

Esta información generada por el MOCUPP resulta útil para el sector ambiental y productivo, ya que permite demostrar la existencia de prácticas de producción libres de deforestación. Esta información puede utilizarse en iniciativas como la estrategia de Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada (NAMA), así como en regulaciones nacionales, acuerdos climáticos internacionales y procesos de gestión territorial enfocados en paisajes agrícolas y ambientales del país.

Además, el sistema genera alertas tempranas que facilitan la realización de acciones ante aparentes pérdidas de cobertura arbórea. A futuro, podría aumentar la competitividad del sector agrícola al permitir certificar productos como libres de deforestación. En este contexto, las personas consumidoras jugarán un rol esencial al informarse y optar por este tipo de productos.

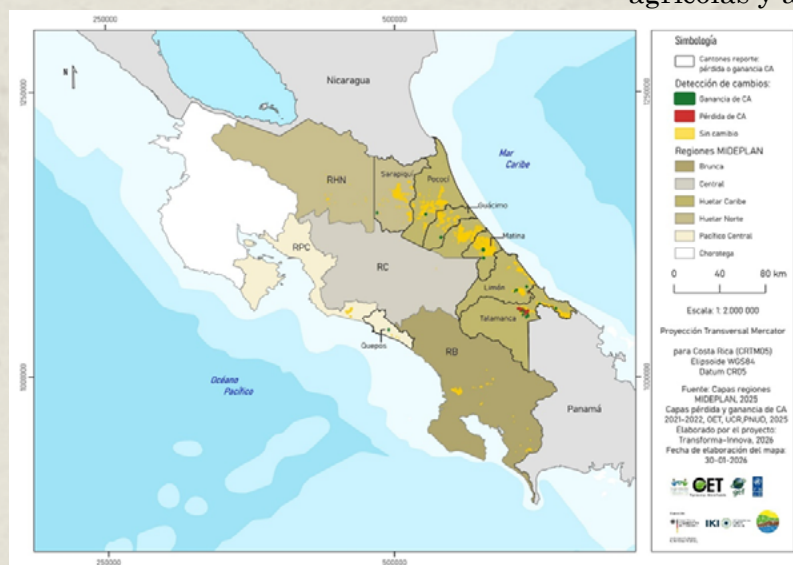


Figura 4. Mapa de pérdidas y ganancias de cobertura arbórea asociada a musáceas en el área del cultivo (*in-situ*), desagregada por cantón, durante el periodo 2021 -2022.

Este tipo de información posee un alto potencial estratégico en el contexto de los mercados internacionales, particularmente ante la creciente presión por garantizar que los productos agrícolas provengan de sistemas sostenibles y libres de deforestación. En este sentido, contar con sistemas de monitoreo basados en información geoespacial confiable contribuye a fortalecer la resiliencia de los países productores frente a las actuales y futuras crisis globales de abastecimiento.

Asimismo, estas herramientas representan una ventaja tanto para el país como para las personas productoras, al facilitar los procesos de trazabilidad, monitoreo y cumplimiento de estándares ambientales exigidos por los mercados internacionales, favoreciendo así el posicionamiento de las exportaciones en entornos comerciales cada vez más competitivos.

Además, el monitoreo de musáceas permite identificar posibles tensiones entre la expansión agrícola y la conservación de los recursos naturales, lo que abre la puerta a discusiones más informadas sobre ordenamiento territorial y sostenibilidad, especialmente en escenarios donde corporaciones transnacionales y multinacionales concentran grandes porcentajes de la producción, coexistiendo con productores de menor escala dedicados al cultivo de plátano.

Se recomienda mantener el monitoreo anual del cultivo de musáceas y generar información actualizada que permita comprender la dinámica espacial y

temporal de esta actividad productiva, así como identificar aquellas personas productoras que desarrollan una producción libre de deforestación. Esto contribuiría a fortalecer su posicionamiento comercial y competitividad tanto en los mercados nacionales como internacionales.

Asimismo, el MOCUPP constituye una herramienta activa y dinámica, por lo que la mejora continua de las metodologías empleadas debe considerarse un objetivo estratégico. En este sentido, resulta fundamental incorporar avances tecnológicos e innovación científica que permitan incrementar la precisión, confiabilidad y capacidad de actualización de los resultados generados.

Finalmente, una de las principales limitaciones del estudio radica en que las imágenes satelitales de resolución media utilizadas no permitieron identificar con suficiente precisión las áreas de musáceas integradas en sistemas de producción agroforestal, lo cual podría generar subestimaciones o dificultades en la discriminación de este tipo de coberturas complejas.

Referencias

- Acuña López, S., Ávila Pérez, I., Aguilar-Arias, H., Hernández Hernández, S., Vargas Céspedes, A., Vargas Solano, Y., Obando Picado, M. F., Fallas Montero, E., Jiménez Rodríguez, M., Fernández Garro, J., Calvo Elizondo, Y., Romero Badilla, D., Manrow Villalobos, M. y Miller Granados, C. (2022). Informe final del paisaje de Cobertura Arbórea presente en un radio de 2 km alrededor de los paisajes productivos del MOCUPP para el año 2019. San José, C.R.: CENAT-PRIAS, CONARE. ISBN: 978-9977-77-465-7
- Arguedas, C., Miller, C. & Vargas, C. (2021). Informe: Monitoreo del estado de la piña en Costa Rica para el año 2019, asociado con la pérdida y ganancia entre la cobertura forestal. Recuperado de <https://mocupp.org/informes/>
- Ávila Pérez, I., Vargas Bolaños, C., Vargas Solano, Y., Arguedas González, C., Francini Acuña Piedra, J., & Miller Granados, C. (2020). Propuesta de monitoreo de nuevos paisajes productivos de café y musáceas para Costa Rica. *Revista Trimestral sobre la Actualidad Ambiental*, (276), 66-72. <https://doi.org/ISSN 1409-214X>
- Chuvieco, E. 2010. Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio. 4ed. Editorial Ariel. Barcelona, España. 590 p.
- Guzmán-Álvarez, J. A., González-Zuñiga, M., Sandoval Fernández, J. A., & Calvo-Alvarado, J. C. (2022). Uso de sensores remotos en la agricultura: aplicaciones en el cultivo del banano. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), 48279. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48279>
- Hernández Hernández, S., Aguilar-Arias, H., Ávila Pérez, I., Acuña López, S., Vargas Solano, Y., Vargas Céspedes, A., ... & Miller Granados, C. (2022). Informe final del paisaje productivo de pastos año 2019. <https://repositorio.conare.ac.cr/server/api/core/bitstreams/aac630e9-48c7-4893-be94-6cb8675f7d84/content>
- Johansen, K., Sohlbach, M., Sullivan, B., Stringer, S., Peasley, D., & Phinn, S. (2014). Mapping banana plants from high spatial resolution orthophotos to facilitate plant health assessment. *Remote Sensing*, 6(9), 8261–8286. <https://doi.org/10.3390/rs6098261>
- Martínez-Barbáchano, R. (2025). Identificación de monocultivos de musáceas (*Musa* sp.) en el norte de Costa Rica mediante reescalado de imágenes radar de apertura sintética (SAR) Sentinel 1A. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (35), 121-135. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10345618>
- Martínez, G., & Rey, J. C. (2021). *Bananos (Musa AAA): importancia, producción y comercio en tiempos de Covid-19*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8064066>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2022). Informe final NAMA Musáceas 2022. <https://www.mag.go.cr/asuntos-internacionales/Inf-final-NA-MA-Musaceas-2022.pdf>
- Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I., & Papathanassiou, K. P. (2013). A tutorial on synthetic aperture radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 1(1), 6–43. https://www.researchgate.net/publication/257008464_A_Tutorial_on_Synthetic_Aperture_Radar
- Vallejo, M. (2018). Lineamientos para el diseño e implementación de la estrategia de producción de musáceas bajas en carbono, resilientes y adaptadas al cambio climático para Costa Rica – EPMBC –. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P40-8221.pdf>