

Eficiencia de las imágenes de radar para el monitoreo a tiempo casi real de bosques tropicales en Guyana

Efficiency of radar images for near realtime monitoring of tropical forests in Guyana

Haimwant Persaud

Universidad de Pinar del Río “nos. Saíz Montes de Oca”, Latiitude Geospatial Consulting Inc., 195 Schoonord West Bank Demerara, GUYANA
hv.persaud@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9396-1457>

Illuminada de la Caridad Milián Cabrera

Universidad de Pinar del Río “nos. Saíz Montes de Oca”, Capitán San Luis No 261 e/ Marina y Rafael Morales, Pinar del Río, CUBA
CP 20100
iluminada@upr.edu.cu
<https://orcid.org/0000-0001-8665-2285>

Resumen

La deforestación es una de las mayores amenazas para la vida del hombre, ya que los bosques ayudan a mantener el equilibrio ecológico y la biodiversidad, es por ello que muchos científicos hoy día se han dado a la tarea de tratar de dar solución a este problema, En el presente trabajo se emplea la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) como herramientas eficaces y con mucho potencial para el monitoreo a tiempo casi real (TCR) utilizando imágenes ópticas (Landsat 7 y 8, Rapid Eye y Sentinel 2) y de radar (sentinel 1) para el estudio de un área de bosque tropical insertado entre los ríos Cuyuni y Mazaruni en el condado de Essequibo, Guyana. El estudio de deforestación se realiza en dos momentos: desde 1990 hasta 2016 con imágenes ópticas, teniendo en cuenta el estudio de los dos factores ambientales que inciden en el área que son: la deforestación por la explotación minera a cielo abierto y la construcción de caminos; y desde 2017 hasta 2018 con imágenes de radar, ya que hasta ese momento las imágenes ópticas fueron poco eficientes por la nubosidad presentes en las mismas, demostrándose que después del tratamiento efectuado a las imágenes de radar, la información obtenida de estas fue muy precisa, previa verificación de campo.

Palabras clave: bosques tropicales, imágenes ópticas, imágenes de radar, monitoreo a tiempo casi real, deforestación, minería a cielo abierto.

Abstract

Deforestation is one of the greatest threats to human life since forests help maintain ecological balance and biodiversity, which is why many scientists today have taken on the task of trying to solve this problem. In the present study, Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) are used as effective tools and with great potential for near-real-time monitoring (TCR) using optical images (Landsat 7 and 8, Rapid Eye and Sentinel 2). and Radar (sentinel 1) for the study of an area of tropical forest inserted between the Cuyuni and Mazaruni rivers in Essequibo County, Guyana. The deforestation study is carried out in two moments: from 1990 to 2016 with optical images, taking into account the study of the two environmental factors that affect the area, which is: deforestation due to open-pit mining and the construction of roads. ; and from 2017 to 2018 with radar images, since until that moment the optical images were not very efficient due to the cloudiness present in them, showing that after the treatment carried out to the radar images, the information obtained from these was very accurate, after field verification.

Keyword: tropical forests, optical imaging, radar imaging, near real-time monitoring, deforestation, open-pit mining.

Citación: Persaud, H. & I. Milián. 2021. Eficiencia de las imágenes de radar para el monitoreo a tiempo casi real de bosques tropicales en Guyana.

Arnaldoa 28(3): 577-592 doi: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28306>

Introducción

Los bosques tropicales ubicados en las regiones intertropicales, son bosques siempre verdes, con precipitación alta regular anual y no más de dos meses de baja precipitación, siendo esta una de las particularidades que lo caracterizan y los ubican en esta categoría.

La explotación de estos bosques tropicales durante mucho tiempo ha sido

exhaustiva, y aunque una buena parte de los mismos ha sido declarada como reservas silvestres y forestales, la explotación, la tala y la caza ilegal, en estos momentos continúa, por lo que demandan mecanismos de monitoreo y control constante, con un impacto más acentuado. Es debido a esta situación que algunos países se han enfrascado, y de hecho se han apoyado en el uso de nuevas formas y tecnologías que

les permitan el monitoreo a tiempo casi real de estos bosques tropicales.

En los últimos años la Teledetección se ha desarrollado de una manera espectacular, diseñándose aplicaciones para casi todas las áreas de las ciencias de la tierra (Fabregat, 1999), es debido a las grandes posibilidades y ventajas que presenta: localización de espacios geográficos, observación de fenómenos temporales e integración de resultados en un Sistema de Información Geográfica (S.I.G), se reduce en muchos casos el tiempo empleado y el dinero invertido en los estudios sobre el terreno (Baker et al., 2006; Shanmugan, 2006; Marchionni, 2010)

Con el amplio desarrollo de las imágenes ópticas, las imágenes de radares perdieron un poco su protagonismo en las investigaciones en las tres últimas décadas, sin embargo, a pesar de que las imágenes obtenidas por radares son un tanto más complicadas debido a las correcciones que deben ser realizadas para su uso, podrían tener mejores resultados y alcances que las imágenes satelitales ópticas, fundamentalmente en los estudios a realizar en bosques tropicales húmedos, donde la frecuencia de lluvia y nubosidades conspira en la efectividad de dichas imágenes, siendo un punto a favor de las imágenes obtenidas por radar el no ser afectadas por los cambios atmosféricos, cosa que si inutiliza a una imagen satelital óptica.

En el presente trabajo se muestra la efectividad e importancia que han tenido estas imágenes de radar en la inserción de una metodología propuesta para el monitoreo a tiempo casi real en un área de bosque que se encuentra en la parte central de Guyana, ubicada entre los ríos Cuyuni y Mazaruni en el condado de Essequibo, en la

cual está ocurriendo un proceso acelerado de deforestación debido a la explotación de minas a cielo abierto

Objetivo:

Demostrar la eficiencia de la imágenes de radar en el monitoreo a tiempo casi real (TCR) de los bosques tropicales de Guyana con relación a las imágenes ópticas en la detección de cambios de suelo debidos a la deforestación y construcción de caminos por la explotación de la minería a cielo abierta.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El área de estudio se ubica en la parte central de Guyana, insertada entre los ríos Cuyuni y Mazaruni en el condado de Essequibo (Fig. 1), cubre unas 532,899.39 hectáreas, en la región Cuyuni-Mazaruni, que limita al noreste con la región Barima-Supernaam, al este con la región Islas Essequibo-Demarara Occidental, al sureste con la región Alto Demarara-Berbice, al sur con la región Potaro-Siparuni, al oeste con Venezuela y suroeste y sur con Brasil. Esta área, tal como Guyana en general, se caracteriza también como uno de los lugares del mundo que tiene un promedio de más de 80% de cobertura de nubes anualmente (Herold, 2009).

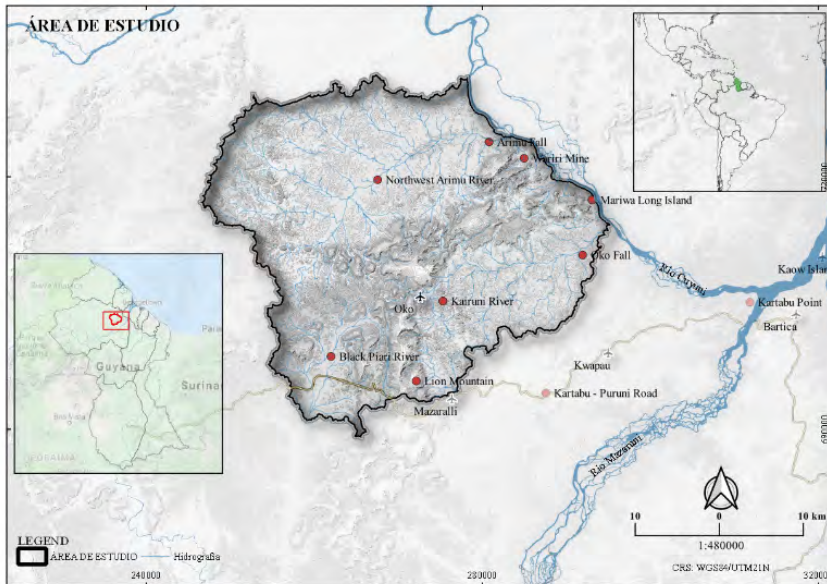


Fig. 1. Ubicación del área de estudio. (Fuente: Elaboración propia, 2020)

En la realización del trabajo, y en la obtención de los resultados necesarios para demostrar la ineficiencia de las imágenes ópticas en el monitoreo a tiempo casi real (TCR) que se está efectuando actualmente en los bosques tropicales de Guyana, se emplearon diferentes materiales como: imágenes de radar, imágenes ópticas, documentos, mapas topográficos y mapas temáticos existentes, así como diferentes softwares.

Imágenes ópticas.

Las imágenes satelitales proveen volúmenes de información a un bajo costo. Los nuevos satélites comerciales ofrecen características como resolución (tamaño del cuadrado representado por un pixel), precisión posicional (la variación entre la posición de un objeto en la imagen y su posición verdadera) y tiempo de entrega revolucionaria, aumentando la variedad de posibles aplicaciones. Dado el corto tiempo de entrega y sus precios bajos las imágenes satelitales pueden ser alternativas

y/o complementos a la fotografía aérea convencional.

Fueron utilizadas, en la primera etapa, imágenes ópticas del Landsat 7 tomadas con el sensor ETM+ en una serie temporal entre el 2000 y 2016, así como del Landsat 8, complementando los estudios desde el 2013 (momento en que fue lanzado) hasta el 2016.

Imágenes de radar

El programa Sentinel-1 tiene como objetivo la vigilancia de la tierra y los océanos, posee dos satélites operando día y noche, tomando imágenes SAR de la banda C, y con eso se pueden adquirir imágenes en cualquier condición ambiental (ESA, 2012). El primer Sentinel-1 fue lanzado en abril de 2014.

Para este estudio, segunda etapa, se utilizaron Imágenes de radar Sentinel-1, de enero de 2017 hasta diciembre 2018, se recopilieron veinticuatro (24) imágenes S-1 con una banda Interferométrica SAR de banda S-1 C (IW) en modo de polarización

dual (VV + VH) a partir del 1ro de enero de 2017 hasta el 31 de diciembre 2018.

Softwares empleados

- Software Nest para el procesamiento de imagen Radar
- Software Quantum GIS, tratamientos de imágenes, vectorización
- Base de Datos multiusuario Postgres

Metodología para la obtención de los resultados

La búsqueda de imágenes se realizó a través del catálogo digital creado por la Agencia Europea del Espacio (ESA), estas imágenes fueron procesadas cambiando los valores de amplitudes a valores de intensidad, después se pasaron por varios filtros antes de generar los índices derivativos. Posteriormente a los tratamientos y los pre-procesamientos se hicieron las combinacio-

nes de bandas y las correcciones geométricas. El siguiente proceso fue clasificación de las imágenes, por último las imágenes y los resultados de la clasificación fueron incorporadas en una base de datos multiusuario para la ejecución de los análisis. De ahí salieron los resultados en forma de mapas temáticos, reportes y estadísticas. En la (Fig. 2) se muestra el esquema tecnológico a seguir en la obtención de los resultados.

Según Ramos (2017) la detección de cambios actualmente se ha convertido en una de las principales aplicaciones, en el campo de la teledetección. A partir de este método se pueden determinar cambios que se han presentado en la superficie terrestre, durante un periodo determinado de tiempo. Con estos cambios se logra identificar las zonas afectadas, específicamente en donde ocurren fenómenos naturales.

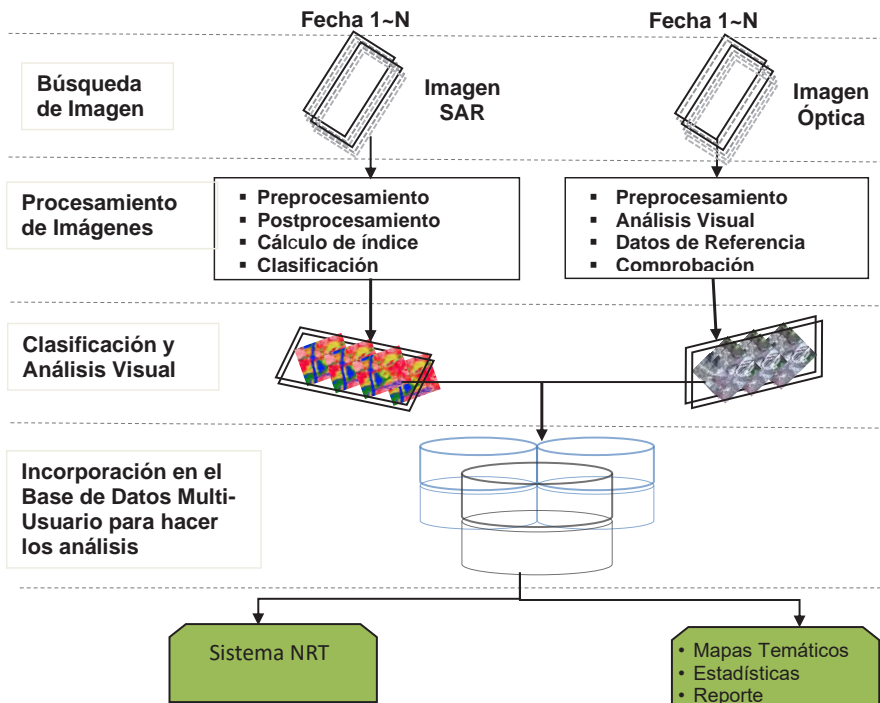


Fig. 2. Esquema tecnológico que refiere los diferentes tratamientos que se realizaron a las imágenes satelitales para su uso. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

Metodología para los estudios de cambio de superficie

Para este estudio, la metodología desarrollada en la determinación de la dinámica de la deforestación en el área de estudio (Fig. 3) comenzó con la recolección de datos.

1. Esta primera fase incluyó la recopilación y el análisis de datos históricos de deforestación del área de estudio. Imágenes satelitales, tanto de RADAR como ópticas, estudios previos realizados en el área seleccionada y coordenadas obtenidas con GPS de puntos de deforestación. Además, se recopilaron datos hidrográficos y de redes de carreteras GIS.

2. Las imágenes RADAR recopiladas se organizaron y analizaron de X_{T1} a X_{TN} (imagen en el tiempo 1 a imagen en el tiempo N).

3. Estas imágenes organizadas pasaron a una etapa de preprocesamiento y luego se combinaron y analizaron con las imágenes auxiliares recopiladas. Esos incluyeron los datos de deforestación anteriores, imágenes de satélites ópticas, etc.

4. Después de lo anterior se desarrollaron los mapas de cambio de cobertura forestal y se realizó un análisis estadístico temporal.

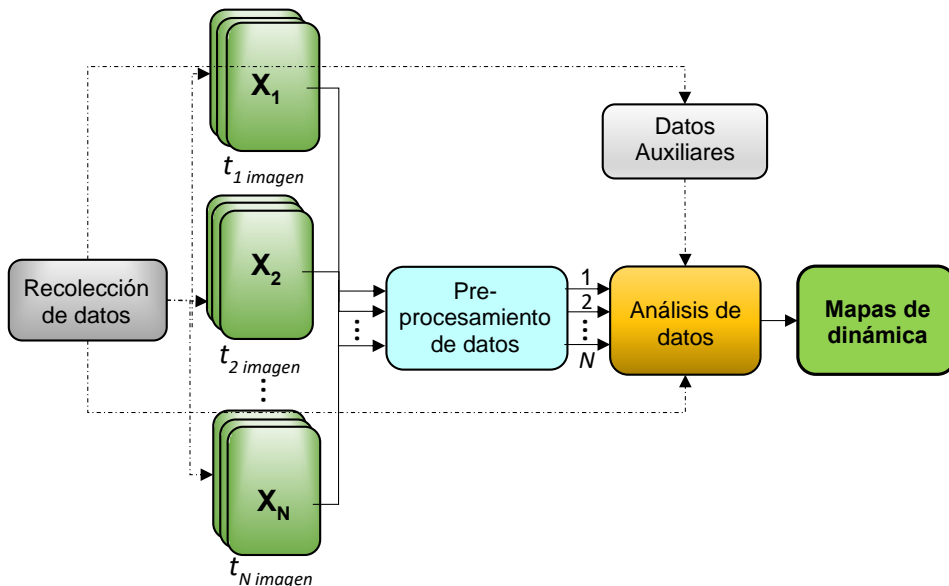


Fig. 3. Metodología para los estudios de dinámica de superficie (Fuente: Elaboración propia, 2019)

Estudio de dinámica de la vegetación usando RADAR

Pasar de la detección de objetos en imágenes individuales a la detección de cambio de objetos en imágenes multitemporales aumenta la complejidad de la extracción de información. Para definir un enfoque general efectivo para la detección de cambios para imágenes SAR, se tiene que explotar la naturaleza intrínseca a múltiples escalas de los objetos presentes en las imágenes, modelar las propiedades específicas de los cambios esperados para extraer la semántica del significado de los cambios de retrodispersión y utilizar la información previa disponible sobre el escenario considerado (Boyolo *et al.*, 2013).

En este estudio, las fases para el desarrollo de la dinámica de los cambios en la deforestación se ejecutaron de la

siguiente forma:

1. Las imágenes RADAR recopiladas se organizaron y analizaron de XT_1 a XT_N (Imagen en el tiempo 1 a Imagen en el tiempo N).
2. Estas imágenes organizadas pasaron a una etapa de preprocesamiento
3. Los cambios o la dinámica en la vegetación o en el área de estudio están asociados con el aumento y la disminución de la retrodispersión de las imágenes de RADAR.

En la tabla 1 se muestran las diferentes imágenes utilizadas para el estudio de los cambios de uso de suelo tanto por deforestación, como por construcción de caminos forestales en el área de estudio para facilitar la explotación minera.

Tabla 1: Imágenes utilizadas para el monitoreo a TCR.

Imágenes	Tipo	Año	Cantidad
Sentinel-1	RADAR	2017-2018 (2 años)	25
Rapid-Eye	Óptica	2012-2014 (3 años)	21
Sentinel-2	Óptica	2017-2018 (2 años)	24
Lansat-8	Óptica	2017-2018 (2 años)	16

(Fuente: Elaboración propia, 2019)

Resultados

Estudios de cambio de superficie

Es indiscutible que durante los últimos 50 años se transformaron los ecosistemas en magnitudes inimaginables. Entre los cambios más destacados se relacionan la pérdida de la mitad de la cubierta forestal mundial oriunda, y la devastación o perturbación irreversible de 30% de los ecosistemas, citado de web www.millenniumassessment.org/en/index.aspx.

Los estudios sobre cambio y cobertura de uso de suelo, actualmente son el centro de atención de la investigación ambiental, ya previamente puntualizado por Bocco *et al.* (2001) y ratificado por la FAO (2015), como tal permiten asentar las bases para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región específica (Velázquez *et al.*, 2002).

Los estudios de cambios de superficie en el presente trabajo, estuvieron basados fundamentalmente en dos factores ambientales, que han venido incidiendo en el área de estudio de forma muy negativa, que son: la deforestación y la construcción de caminos con vista a la explotación minera a cielo abierto que se está llevando a cabo en dicha área.

Las coberturas vectoriales resultantes de los mapas temáticos confeccionados fueron introducidas a un SIG para su correspondiente análisis espacial y temporal, cuyos resultados se analizaron estadísticamente a partir de los cambios detectados en la cobertura y uso de la tierra en el área de estudio. El cambio de uso del suelo fue cuantificado y expresado en gráficos de líneas.

Dinámica de deforestación en el área de estudio desde 1990 hasta 2016.

Guyana actualmente posee una tasa de deforestación relativamente baja, según el informe del SMRV, ya que oscila entre el 0,02% y el 0,079% anual. Las tasas de deforestación normalmente se expanden junto con el desarrollo económico, lo que

provocó así la formación del Programa de las Naciones Unidas sobre Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal en los Países en Desarrollo (Programa ONU-REDD), el Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF) y la Asociación REDD +, entre otros.

El análisis de deforestación para el área de estudio se realizó entre los años 2000 y 2016, a partir de datos adquiridos con la mayor precisión posible, como puede apreciarse en la figura 4. En el 2009, se observa el punto máximo de la curva, donde se registró un total de 2 264.40 ha, disminuyendo considerablemente para el año 2010; en el 2011 se observa que vuelven a aumentar los valores de la deforestación y desde ese mismo año, ha ido disminuyendo considerablemente en el área de estudio, debido a algunas restricciones gubernamentales.

- Mínimo: 6.22 ha
- Máximo: 2,264.40 ha
- Suma: 11,553.14 ha
- Media: 1,155.31 ha
- Desviación estándar: 638.28 ha

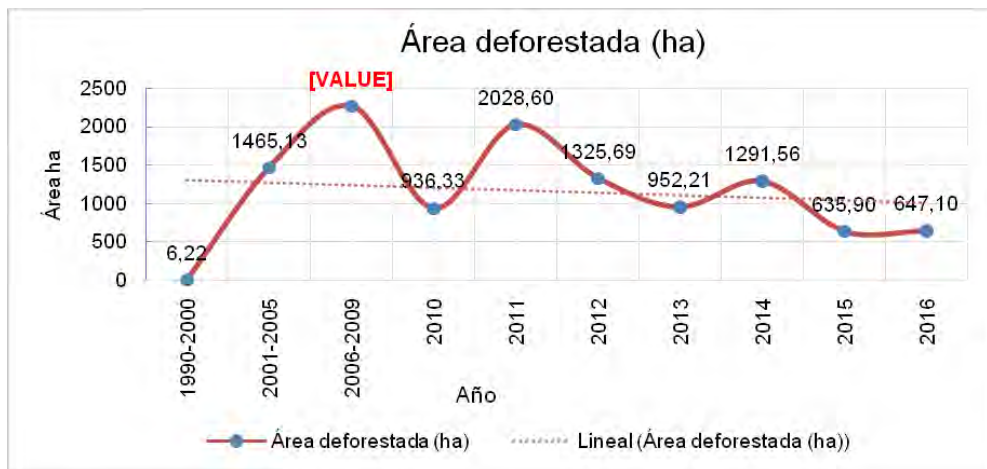


Fig. 4. Gráfico que representa la deforestación en el área de estudio desde 1990 hasta 2016. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

En la (Fig. 5), se muestra un mapa con los focos calientes del proceso de deforestación que ha estado ocurriendo en Guyana, y en un cuadrado rojo, la incidencia de la misma en el área de estudio, se escoge el año 2012,

porque precisamente entre los años 2011 y 2012, fueron los que mayores valores de deforestación registraron por concepto de explotación minera, como factor ambiental causante de la misma.

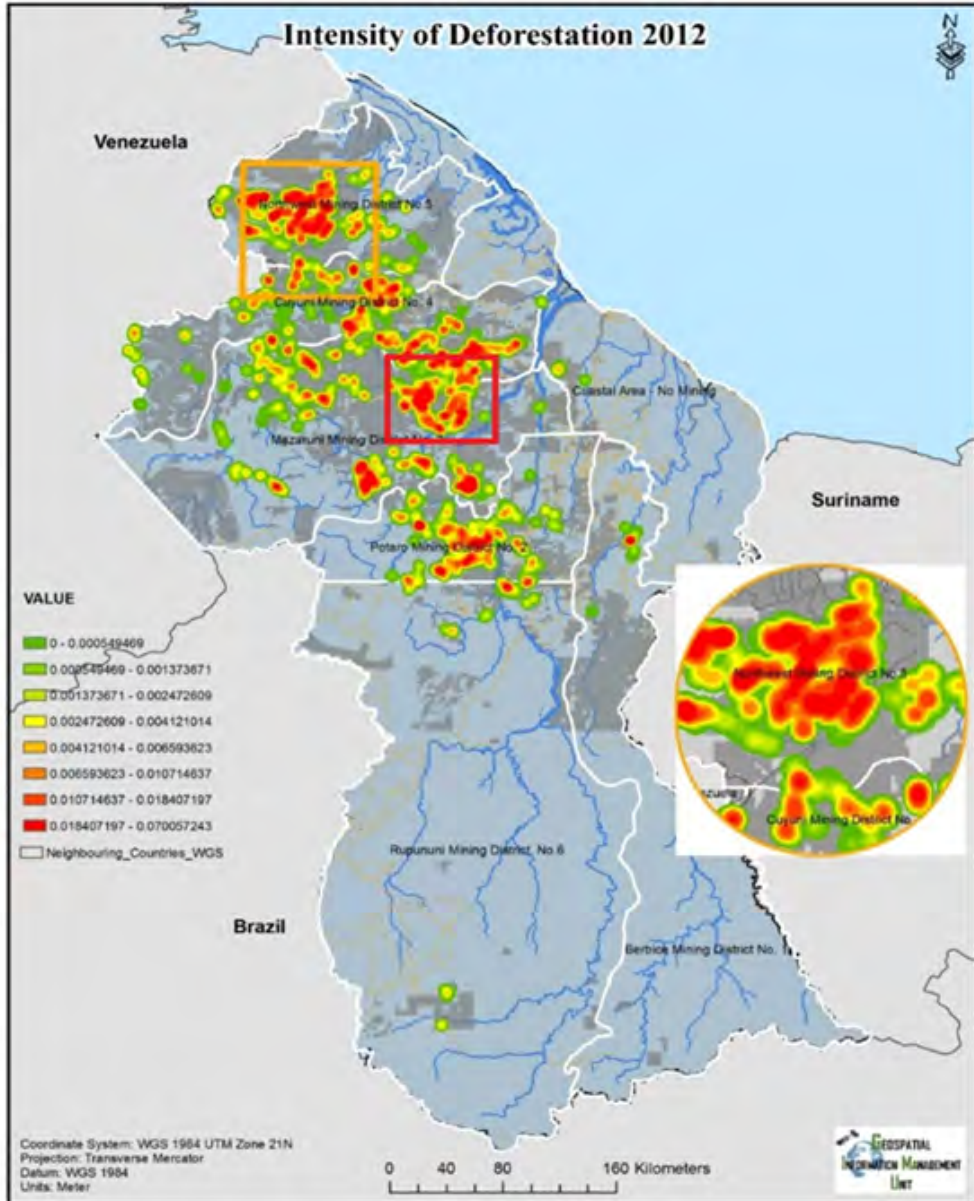


Fig. 5. Mapa ilustrando lugares de intensidad de deforestación por la minería. (Fuente: Elaboración propia, 2014).

En la (Fig. 6) se muestra el mapa (confeccionado a partir de una imagen de radar Sentinel 1) de deforestación que ha estado sucediendo en el área de estudio, durante el periodo evaluado, nótese

como entre los años 2010 y 2012 hubo un incremento de la deforestación, por lo que se planteaba anteriormente, la explotación minera a cielo abierto.

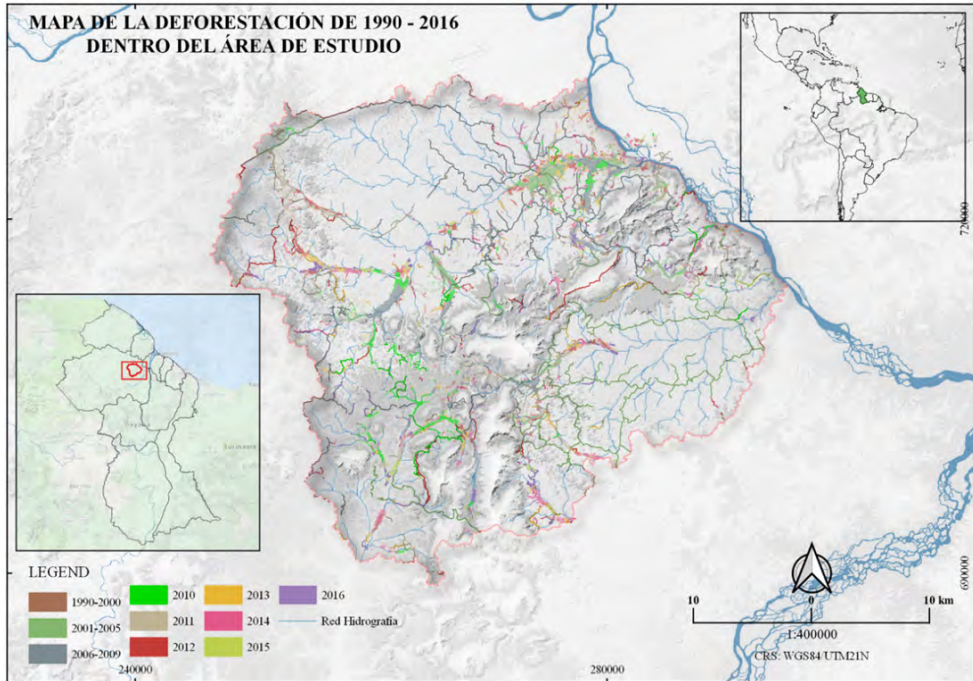


Fig. 6. Mapa que representa la deforestación en el área de estudio desde 1990 hasta 2016. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

Dinámica de uso de suelo por caminos.

Otro factor ambiental identificado que ha estado repercutiendo en el área de estudio es la construcción de caminos para llegar a las áreas de explotación minera, lo cual implica que haya deforestación por ese concepto también, ya que hay que hacer desmonte, abrir trochas, entre otras actividades, y cuya madera no sigue ningún destino comercial.

En la (Fig. 7) se observa el mapa (confeccionado a partir de una imagen de radar Sentinel 1) que muestra como se han incrementado los caminos que dan acceso a las zonas mineras legales e ilegales desde 1990 hasta 2016 en el área de estudio.

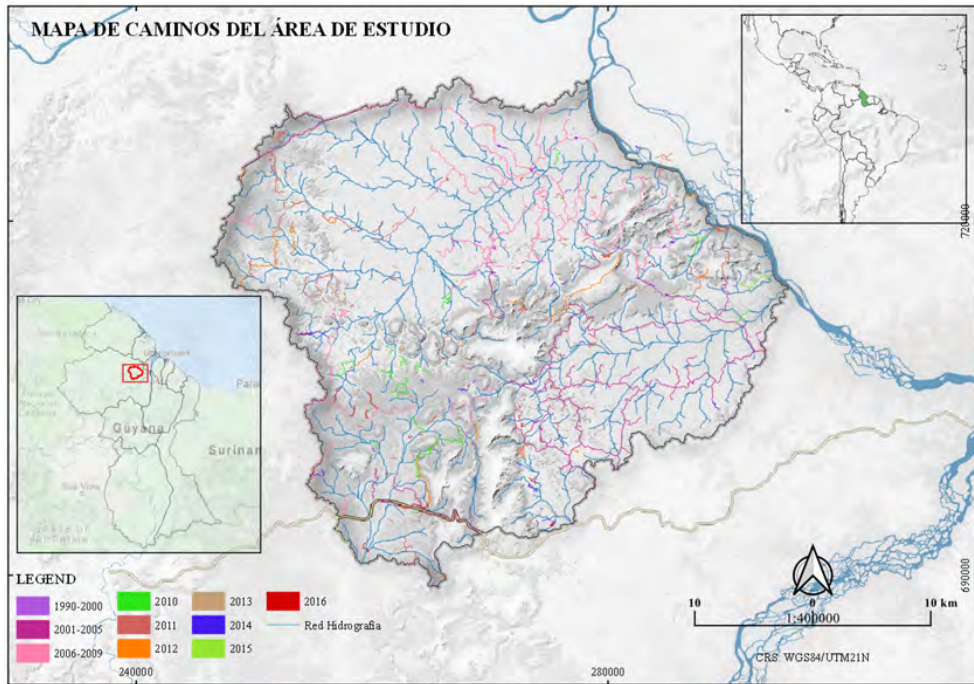


Fig. 7. Mapa que representa la construcción de caminos en el área desde 1990 hasta 2016. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

En la (Fig. 8) se observa el gráfico que establece la cantidad de hectáreas que han sido taladas y desmontadas para la construcción de caminos en las zonas mineras; obsérvese que después del máximo valor alcanzado en el 2009, 416.06 ha, y habiendo disminuido después de las políticas seguidas por el estado en la conservación de sus bosques, vuelve a haber un incremento en el 2011 y como se planteó anteriormente debido a la explotación minera fundamentalmente, habiendo una correspondencia en comportamiento de ambos factores ambientales.

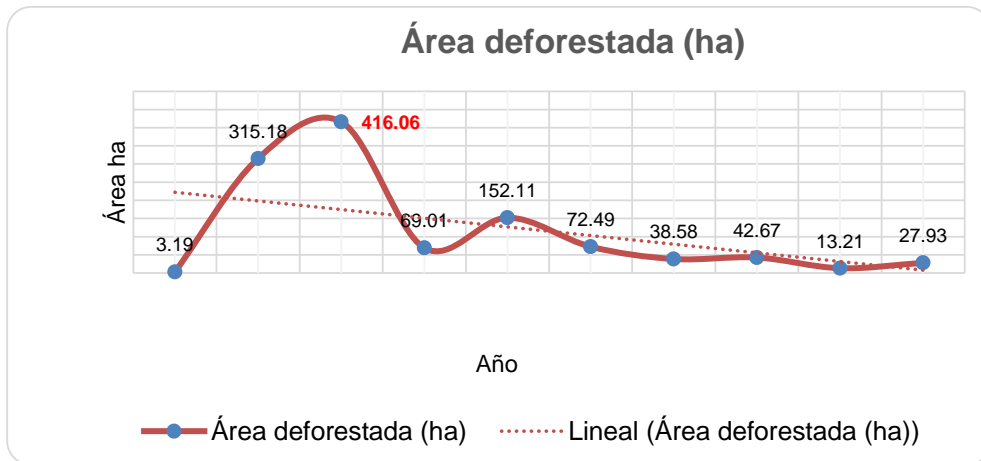


Fig. 8. Representa las hectáreas deforestadas por concepto de construcción de caminos en el área de estudio entre 1990 y 2016. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

Resultados de la deforestación entre los años 2017 y 2018.

Después de realizado el procesamiento de cada una de las imágenes de radar correspondientes a los diferentes meses de los años 2017 y 2018, se procedió a la vectorización de las mismas para la detección de las áreas deforestadas, determinándose así los focos calientes, es decir los lugares que eran sometidos a tala, tanto con fines de la minería como por otras causas, con esta fotointerpretación se fue al área para realizar la comprobación de campo, resultando de una alta satisfacción por la precisión de la misma..

En la (Fig. 9) se muestra la superposición de los mapas de deforestación de 2017 en color naranja y 2018 en color rojo. Se aprecia el aumento de áreas para las zonas 1 y 2 en el año 2018.

En la (Fig. 10) se puede apreciar cuantitativamente el comportamiento de la deforestación en el área de estudio para los años 2017 y 2018, obsérvese que la tendencia para el 2018 ha sido a disminuir, existiendo un aumento para el mes de septiembre y muy discretamente para el mes de noviembre; no obstante, se señalan con los números 1 y 2, dos áreas que para el 2018 aumentaron cualitativamente, de lo que se infiere que la explotación minera para las mismas han sido más intensas.

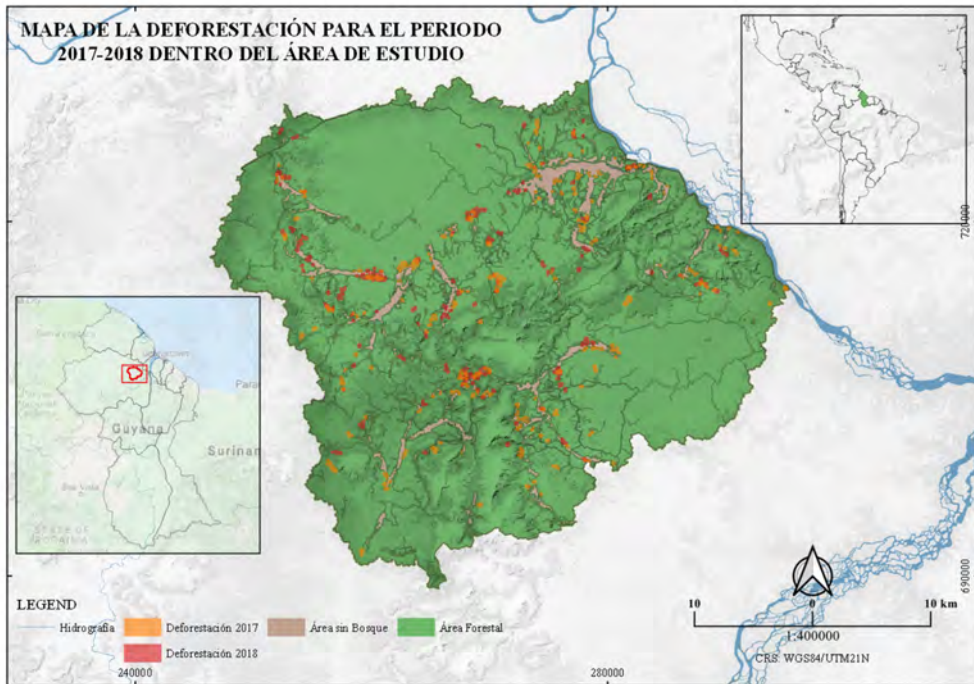


Fig. 9. Superposición de las capas de deforestación vectorizadas de 2017 y 2018 en el área de estudio. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

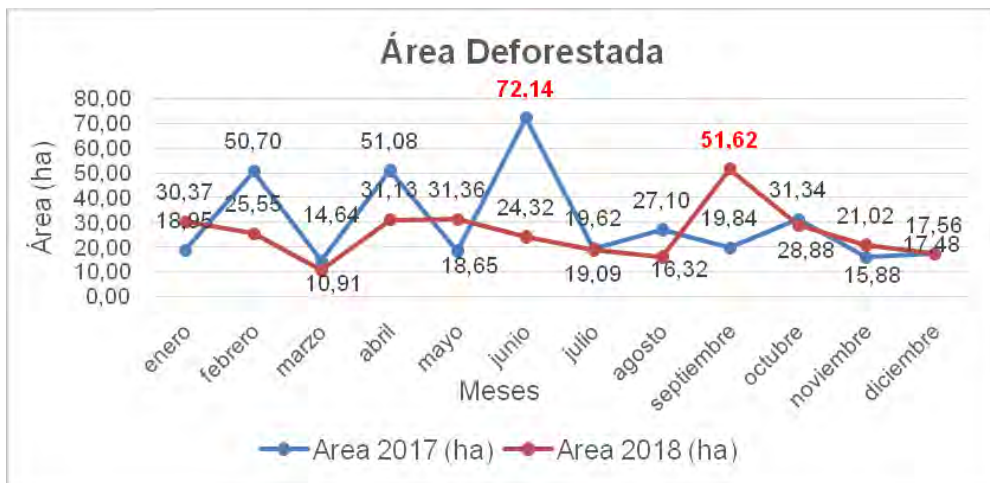


Fig. 10. Superposición de las capas de deforestación vectorizadas de 2017 y 2018 en el área de estudio. (Fuente: Elaboración propia, 2019)

Discusión

La utilización de las imágenes de radar que se propone para el monitoreo a tiempo casi real, se está implementando actualmente en diferentes regiones de la República de Guyana, ya que los resultados obtenidos con las mismas en la presente investigación han sido superiores y de mayor precisión que con las imágenes ópticas utilizadas anteriormente, este cambio de imágenes para este tipo de trabajo ha sido aprobada y avalada por el Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente del país. Para el desarrollo del monitoreo a tiempo casi real, como se ha venido analizando hasta el momento, se empleaban las imágenes ópticas tanto del Rapid-Eye, Sentinel-2 y Landsat-7 y 8, las cuales no fueron muy efectivas, pues la mayor parte de la superficie de las mismas estaban cubiertas de nubes, por la particularidad que existe en Guyana, de su clima húmedo y lluvioso, haciendo que en muchas ocasiones al hacer la verificación de campo, la realidad del terreno no estaba acorde con lo fotointerpretado en las imágenes.

En las figuras presentadas se puede observar que hubo un incremento de zonas de explotación minera, ya que es tendencial que si estas aumentan es obvio que la deforestación y la construcción de caminos para llegar a la áreas de explotación también aumentan, y a pesar de que el gobierno ha tomado las medidas necesarias, no se ha podido eliminar totalmente este problema por los beneficios que éstas generan a determinadas personas y empresarios, siendo en algunos casos estas explotaciones clandestinas, sin previo permiso ambiental.

Conclusiones

1. Con la utilización de las imágenes de satélite del RADAR Sentinel-1 se demostró que la información obtenida después de darle el tratamiento adecuado a las imágenes, es más precisa, confiable y completa que la del sistema de monitoreo que se estaba aplicando hasta el momento en el país con imágenes ópticas, en el seguimiento de la deforestación en el área de estudio.

2. Dada la confiabilidad de los resultados después de las previas comprobaciones de campo, se plantea que los resultados de este trabajo, utilizando imágenes de radar, pueden ser extendidos a otras zonas del país bajo las mismas condiciones atmosféricas, así como a otros países.

Agradecimientos

Se agradece al Gobierno de la República de Guyana por permitir la realización de la presente investigación y su validación, al Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales la posibilidad de obtener datos de archivos y la información necesaria para hacer los estudios comparativos.

Contribución de intereses

P.H. - responsable de la ejecución del trabajo de gabinete y de campo, de los análisis correspondientes, así como los cálculos realizados, los tratamientos de las imágenes de radar y la confección de los mapas, apoyó en la revisión del manuscrito original.

M.I.- tutora de la tesis doctoral, responsable de la organización de los trabajos de gabinete y de la escritura del manuscrito en español, confeccionando el primer borrador y realizando las correcciones hasta obtener la versión final del mismo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Literatura citada

- Baker, C.; R. Lawrence; C. Montagne & D. Patten.** 2006. Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ imagery and decision-tree-based models. *Wetlands*, 26, pp. 465-474.
- Bocco, G.; M. Mendoza & O. Maser.** 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, Boletín, No., 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 18-38.
- Bovolo, F.; C. Marin & L. A. Bruzzone.** 2013. Hierarchical Approach to Change Detection in Very High Resolution SAR Images for Surveillance Applications, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 51, pp. 2042-2054.
- European Space Agency (ESA).** 2012. European Space Agency <https://www.esa.int/ESA>
- Fabregat, V.** 1999. Fundamentos teóricos del control de las extracciones mediante teledetección. En: Ballester, A., Fernández, J.A., López, J.A (ed). *Medida y Evaluación de las extracciones de agua subterránea*, pp. 89-104.
- FAO.** 2015. Evaluaciones de recursos forestales mundiales. Obtenido de ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo?: <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/es>.
- Herold, M.** 2009. An Assessment of National Forest Monitoring Capabilities in Tropical Non-Annex I Countries: Recommendations for Capacity Building. GOFCC GOLD and University of Jena. Jena, Germany. Retrieved from http://princes.3cdn.net/8453c17981d0ae3cc8_q0m6vsqxd.pdf.
- Marchionni, D.** 2010. Aplicación de la teledetección espacial óptica y de radar para el análisis geológico y la detección de áreas mineralizadas en el sector central del Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz, *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66(4):592-607.
- Ramos Galvis, J. F.** 2017. Detección de cambios en imágenes multiespectrales para el satélite Landsat 7 de la NASA. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. Ingeniería en Telecomunicaciones. Bogotá D.C.
- Shanmugam, P.; A. Yu-Hwan & S. Shanmugam.** 2006. A comparison of the classification of wetland characteristics by linear spectral mixture modelling and traditional hard classifiers on multispectral remotely sensed imagery in southern India. *Ecol. Model*, 194, pp. 379-394.
- Velázquez, A., J. F. Mas; G. J. Díaz; S. R. Mayorga; P. C. Alcántara; R. Castro; T. Fernández; G. Bocco; E. Ezcurra & J. L. Palacio.** 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México, *Gaceta Ecológica*, núm. 62, INE, México, pp. 21-37. Página web: www.millenniumassessment.org/en/index.aspx.

