



Procesamiento de imágenes satelitales para la determinación de la deforestación en el municipio de Barrancabermeja en el período (2015-2020)

Rosa María Benavides Cala¹, María Alejandra Samacá Pérez², Fabián Leonardo Yory Sanabria³ y Sandra Liliana Gómez Ayala⁴

¹Estudiante Investigador, Ingeniería Ambiental. rosam-benavidesc@unilibre.edu.co

²Estudiante Investigador, Ingeniería Ambiental. mariaa-samacap@unilibre.edu.co

³Ingeniero Geólogo. Magíster en Ciencias de la Educación. Doctor en Tecnologías de la Información y Análisis de Decisiones. Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Seccional Socorro. Fabian.yory@unilibre.edu.co

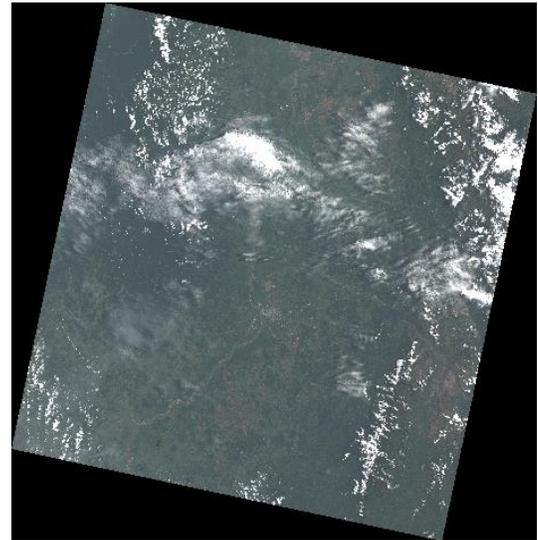
⁴Química. Magíster en Química. Doctora en Química. Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental, Universidad Libre seccional Socorro. Sandra.l.gomez@unilibre.edu.co

INNOVANDO EN LA U ISSN 2216 - 1236

Resumen

La disminución y agotamiento de los recursos forestales del planeta producto de las actividades antrópicas que se han venido desarrollando en pro de satisfacer las necesidades básicas y económicas, sumado a la existencia de normas que no representan una actuación directa o inmediata en la variación de dicho comportamiento, el déficit de información consolidada donde se evidencie su variación producto de la deforestación, son factores determinantes en el desarrollo de esta investigación donde empleando la herramienta de procesamiento geográfico QGis, se logró a través de un análisis multitemporal estudiar el fenómeno de deforestación en el municipio de Barrancabermeja, Santander, en el período de tiempo comprendido entre 2001 y 2019. Esto basado en el análisis de índices radiométricos aplicados a imágenes satelitales Landsat 8 (Figura 1). Validando así mismo la información con datos suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y por el estudio Global Forest Change soportado en la plataforma de Google Earth Engine. Obteniendo como resultado a través del análisis multitemporal del índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) e Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) la variación de la vegetación y tras un procesamiento estadístico una tasa de deforestación promedio de -0.06 para el

Figura 1. Imagen satelital de la zona de estudio



Fuente: United States Geological Survey, (2020)

municipio de Barrancabermeja, con una tendencia decreciente del fenómeno. Obteniendo así una visión del comportamiento de la deforestación a nivel municipal y departamental.

Palabras clave

Actividades antrópicas, Deforestación, Imágenes satelitales, Índices radiométricos.

1 Introducción

La deforestación es uno de los impactos ambientales más importantes, se origina cuando se da la eliminación de bosques a consecuencia de acciones antrópicas o naturales; la primera se deriva de actividades como: la ganadería extensiva, cultivos ilícitos y minería ilegal, como lo expone el IDEAM en su informe resultados de monitoreo deforestación 2019, y las segundas, por procesos naturales como inundaciones, avalanchas, incendios, etc.

Uno de los métodos efectivos de monitoreo ambiental para este tipo de problemáticas según (Pała & Zawadzki, 2020), está el empleo de herramientas de teledetección, entendiéndose esta como “una técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales” (Instituto Geográfico Nacional, 2020) que debido a la interacción electromagnética del sensor y el terreno, genera información interpretable de la Tierra a través de su procesamiento.

1.1 Descripción del problema

Con el paso de los años el ser humano se ha encargado de agotar y dejar sin el recurso forestal al suelo del planeta, a causa de actividades antrópicas entre las que destaca la tala indiscriminada de zonas arbóreas en pro de la satisfacción de necesidades básicas y económicas, impactando considerablemente en el ambiente pues las pérdidas de bosques representan un impacto negativo sobre el entorno natural, la biodiversidad y ecosistemas.

En Colombia, según lo mencionado por el coordinador del grupo de Monitoreo de Bosques del IDEAM, la praderización, los cultivos ilícitos y la ganadería extensiva mal implementada, son los tres principales detonantes de deforestación. Seguido de la extracción de minerales, y el desarrollo de infraestructuras de transporte (Paz Cardona, 2019).

Esta es una problemática que no se evidencia solo a nivel regional y nacional, sino que alcanza un nivel global, por supuesto con diferente grado afectación. En el caso de Colombia este fenómeno fluctúa, por ello, a pesar de que para el 2018 tras tres años consecutivos de aumento, se presentó una disminución del 10% pasando de 219,973 hectáreas deforestadas en 2017 a 197,159 hectáreas (Paz Cardona, 2020). Conviene mencionar que la deforestación contribuye en la presentación de fenómenos naturales, y en la generación del cambio climático y el mismo calentamiento global.

Siendo así como la Amazonía Colombiana según lo menciona Semana SOSTENIBLE, (2020) sucumbe con pérdidas de bosque (Figura 2) producto de la deforestación que en los últimos seis años se han representado en disminución de 552,600 hectáreas de bosque primario.

Figura 2. Deforestación en el Amazonas



Fuente: Semana SOSTENIBLE, (2020)

Cabe mencionar que según lo presentado por el BBC News Mundo, (2019) Colombia al igual que otros países de Latinoamérica se encuentran entre aquellos con mayores tasas de deforestación a nivel del planeta, ubicándose en el cuarto lugar después de Brasil, RD del Congo e Indonesia; esto tras haber alcanzado en el año 2018 según el Instituto de Recursos Mundiales una pérdida de 176,977 ha, cifra que resulta aún mayor según los datos previamente mencionados y reportados por el IDEAM.

Confirmándose, la gran afectación que está recibiendo el medio ambiente y consigo la vulneración que se está dando de la estabilidad climática en diferentes sectores.

1.2 Antecedentes

The Influence of Deforestation on Land Surface Temperature—A Case Study of Perak and Kedah, Malaysia. En esta investigación se lleva a cabo una evaluación y tasación en dos estados de Malasia de la influencia de la deforestación sobre la variación en la Temperatura de la Superficie Terrestre, LST en un período comprendido entre (1998 y 2017) y así poder observar la tendencia de cambio empleando las imágenes satelitales de tipo Landsat 5 y 8. Dando uso de un indicador numérico como el índice de vegetación normalizada (NDVI) y así medir la variación en la cobertura vegetal y la actividad fotosintética. Las imágenes satelitales fueron tomadas en el mes seco, con valores de nubosidad inferiores al 10%, mismas que fueron perfeccionadas manualmente a través de ERDAS software imagine y ArcGIS. Por otra parte, se llevó a cabo la división de zonificaciones con el propósito de facilitar la comprensión de las áreas de suelo afectadas por la disminución de la vegetación.

Al final de la investigación se obtuvieron efectivamente cambios en la cobertura forestal con una disminución del (15.7%), es decir, 189,423 ha, detectando los puntos de críticos de concentración de la deforestación donde han venido incrementando estos valores, mismos puntos donde se fueron desarrollando actividades como la minería y los asentamientos. La reducción presentada para los estados de Perak y Kedah fue de un 58 y 35%, respectivamente. Así mismo, pudieron evidenciar una fuerte correlación inversa entre los factores LST y los valores de NDVI (Mohd Jaafar et al., 2020).

An Overview of GIS-Based Modeling and Assessment of Mining-Induced Hazards: Soil, Water, and Forest Este estudio pretende hacer una descripción general de la implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la evaluación de los riesgos que trae consigo la extracción de minerales. Así mismo, se resalta el papel de los SIG, en el análisis y estudio espacial de los daños generados a los ecosistemas como los de bosques, altamente afectados por procesos de deforestación, y que requieren el establecimiento de estrategias de prevención y mitigación de los impactos presentes tras el desarrollo de actividades antropogénicas como la minería (Suh et al., 2017).

Sentinel-2 Imagery Processing for Tree Logging Observations on the Białowieża Forest World Heritage Site: Este estudio desarrollado en el bosque Białowieża en Polonia, busca determinar el comportamiento de la deforestación en el año 2017 empleando imágenes satelitales Sentinel del año anterior y el inmediatamente posterior, procesadas a través de QGIS, mediante el cálculo de índices radiométricos y biofísicos, los cuales se compararon con la información de fuentes oficiales, comprobando su sensibilidad a la variación de densidad forestal para determinar su aplicabilidad en los estudios ambientales, estableciendo que los índices más aptos para este tipo de análisis son: RVI, NDVI, MATCI y Contenido de clorofila (a + b) (Cab) (Pała & Zawadzki, 2020).

1.3 Pregunta problema

¿Cuál ha sido la tendencia de deforestación en el municipio en los años 2001 a 2019 según los datos suministrados y los hallados a través del análisis multitemporal?

1.4 Justificación

Colombia al igual que otros países presenta como una de las problemáticas ambientales persistentes, la deforestación, relacionada a factores como el cambio del uso del suelo para desarrollo agrícola, construcción, entre otros (Armenteras et al., 2017).

Por ello existen actualmente normas regionales, nacionales e internacionales que pretenden mitigar esta situación, sin embargo, su ratificación por parte del estado no representa de forma directa e inmediata una variación el comportamiento del fenómeno de la deforestación, al menos para el caso del tratado internacional de Tokio como se evidencia en la investigación de (Armenteras et al., 2017).

Por lo anterior, se plantea que uno de los principales factores influyentes en la toma de decisiones y políticas acertadas frente a esta problemática es la información consolidada de las tendencias de la deforestación en las regiones y las causales, estos datos pueden ser analizados a través de los Sistemas

de Información geográfica (SIG) empleando la estimación de índices biofísicos y radiométricos (Pała & Zawadzki, 2020), así como también mediante un estudio estadístico.

En consecuencia, se propone el desarrollo de un estudio ambiental enfocado en la deforestación en el municipio de Barrancabermeja, donde se exponga las tendencias de este fenómeno en un período de tiempo, las áreas donde se concentra esta problemática, empleando un análisis multitemporal, integrando datos aportados por instituciones oficiales y la información obtenida a través de las herramientas SIG.

1.5 Objetivo general

Determinar la tendencia de deforestación presente en el municipio de Barrancabermeja en el período comprendido entre 2001-2019.

1.6 Objetivos específicos

- Determinar la tasa de deforestación empleando un análisis multitemporal.
- Establecer la relación entre la deforestación municipal y departamental.
- Identificar los núcleos de deforestación en el municipio.
- Estimar los cambios de vegetación a través de índices radiométricos.

2 Metodología

2.1 Localización

El proyecto a desarrollar comprende el municipio de Barrancabermeja, ubicado en las coordenadas: Latitud: 7.067 y Longitud: -73.867, en la región natural Andina, y cuyas principales fuentes económicas son la ganadería, la agricultura y la operación portuaria incluida la pesca.

2.2 Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva dado que a través de esta se puede detallar cuáles han sido las variaciones de cobertura vegetal presente en el municipio durante el período de tiempo analizado y, así mismo, dimensionar la afectación que tiene el desarrollo de actividades antrópicas en las zonas arbóreas.

2.3 Definición de variables e indicadores

Las variables establecidas a partir de los objetivos son las descritas en la tabla 1, mediante estas se determinará el comportamiento de la deforestación presente en el municipio y factores causantes.

Tabla 7. Variables y su clasificación

Tipo de variable	Variable	Unidad
Dependiente	Tasa de deforestación	%
	Área deforestada	Ha
	Núcleos de deforestación	-
Independiente	Tiempo	Años
	Índices radiométricos	-

2.4 Técnicas de investigación

La información analizada en el desarrollo de esta investigación se obtuvo de imágenes satelitales Landsat 8, adquiridas de forma libre en la plataforma del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), datos suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y por el estudio Global Forest Change soportado en la plataforma de Google Earth Engine.

2.5 Análisis estadístico

En el desarrollo de la investigación fue implementado un análisis estadístico de carácter descriptivo donde se permite la validación de la hipótesis planteada.

2.6 Materiales

- Reportes realizados por entidades como el IDEAM, entre otras.
- Imágenes satelitales Landsat 8.

2.7 Procedimiento

El proyecto se ejecutó de acuerdo a cada uno de los objetivos específicos:

En la primera parte se establecieron la variación de deforestación a nivel departamental y municipal, estableciendo su relación y magnitud. Luego se desarrolló un análisis multitemporal valorando los índices radiométricos para establecer la variación del estado de vegetación.

2.8 Población y muestra

La población de esta investigación estará dada por las zonas forestales de Santander, de las cuales se tomaron como muestra el municipio de Barrancabermeja.

3 Resultados

Posterior a realizar el procesamiento de los datos suministrados por el (IDEAM), el estudio Global Forest Change y el desarrollo de un análisis multitemporal empleando imágenes satelitales Landsat 8, se estimó la tasa y tendencia de la deforestación a nivel departamental y municipal; además, la variación de la calidad de vegetación, estimada a través de índices radiométricos. A continuación, se presentan los principales resultados:

3.1 Deforestación en el departamento de Santander

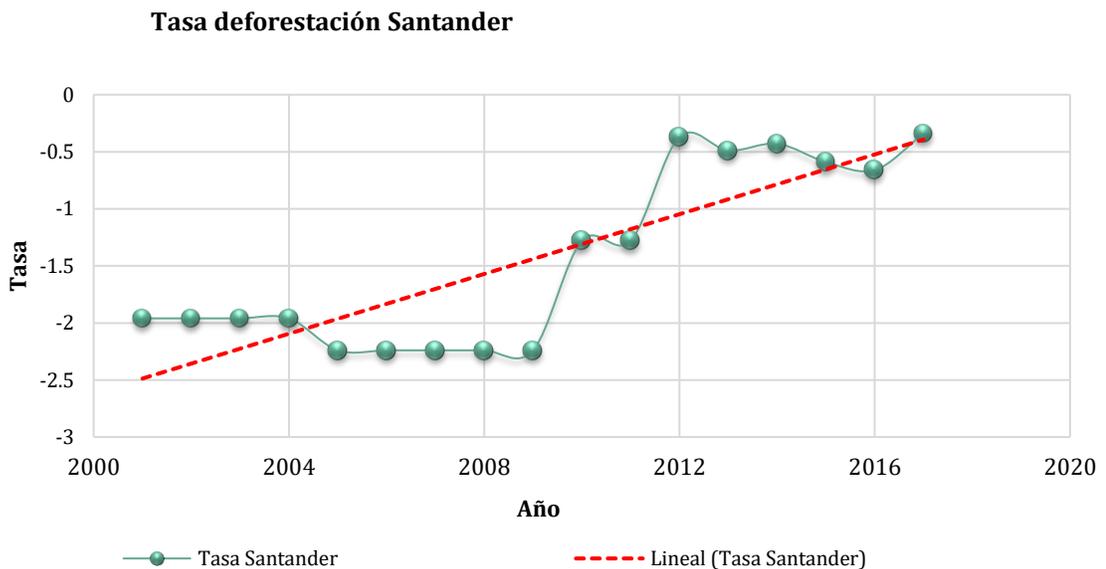
El fenómeno de deforestación a nivel departamental se presenta en la *Figura 3*, observándose un comportamiento positivo, marcado por la disminución de las áreas afectadas a través del tiempo de análisis, pasando de 18,764.2 hectáreas deforestadas en 2008 a 2,713 hectáreas en 2017. Sin embargo, se aprecia una serie de fluctuaciones en la tasa, lo que evidencia que la tendencia no ha sido constante.

Cabe resaltar que el pico máximo de deforestación se presentó en el periodo 2005-2008 con una tasa anual de -2.24. A consecuencia de esto, en promedio el

departamento ha tenido una tasa de -1.44, superior a la registrada en 2017, que corresponde a -0.34.

A consecuencia de la magnitud de esta problemática, se ha destruido cerca de 208,312 hectáreas forestales en Santander entre 2001 y 2017, es decir, un aproximado de 12,253 hectáreas por año. Representando una disminución una disminución del 25% del bosque del departamento.

Figura 3. Tendencia de la tasa de deforestación

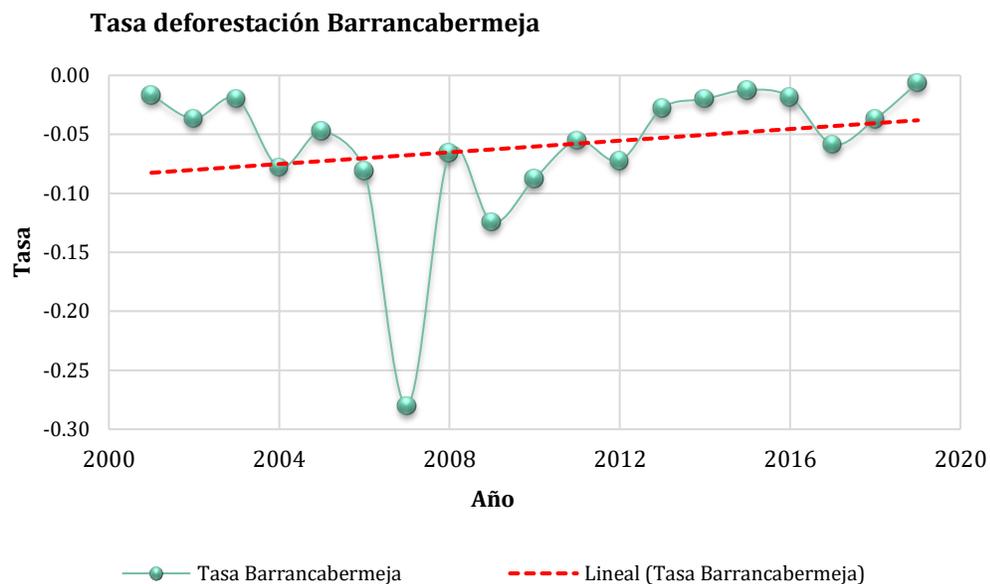


3.2 Deforestación en el municipio de Barrancabermeja

En la *figura 4* se presenta la tendencia de las tasas de deforestación anuales del municipio de Barrancabermeja, donde los valores fluctúan entre -0.006 y -0.280, para el período de tiempo comprendido entre 2001 y 2019, con una media de -0.06 que representa un deterioro aproximado de 39,316 hectáreas de bosque anual.

El año en que mayor área de bosque se transformó fue 2007 con 183 hectáreas deforestadas. Es así que en el territorio del municipio se han perdido cerca de 747 hectáreas en 18 años, que representa el 1,1% del bosque del municipio.

Figura 4. Tendencia de la tasa de deforestación

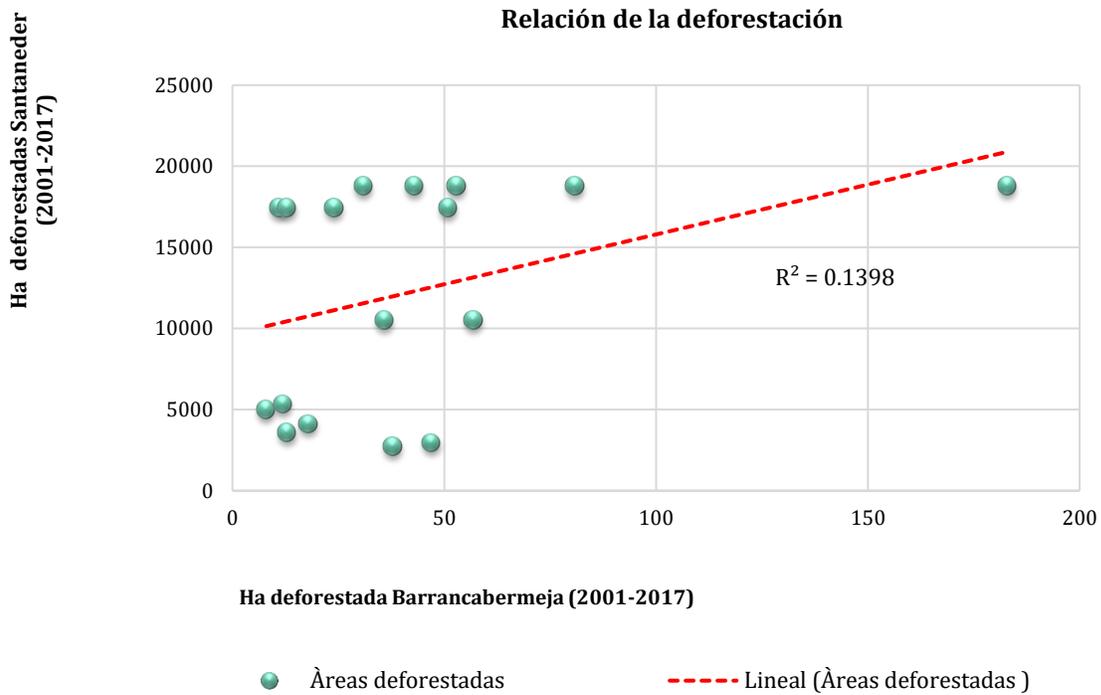


3.3 Comparativo Santander-Barrancabermeja

Barrancabermeja constituye el 7.75% de bosque del departamento para el año 2001 y representa el 0.3% de la deforestación generada en Santander entre 2001 y 2017. De ahí que la relación que existe entre las áreas deforestadas a nivel municipal y departamental sea positiva y débil, descrita por el coeficiente de Pearson, el cual es de 0.37.

Según estos resultados, descritos en la *figura 5*, se interpreta como baja incidencia de la deforestación municipal en la problemática departamental, que se sustenta en la proporción de áreas, de igual forma se determina que a pesar de que las tendencias de deforestación en Santander y Barrancabermeja proyectan una disminución del fenómeno en la región, sus alcances son distintos.

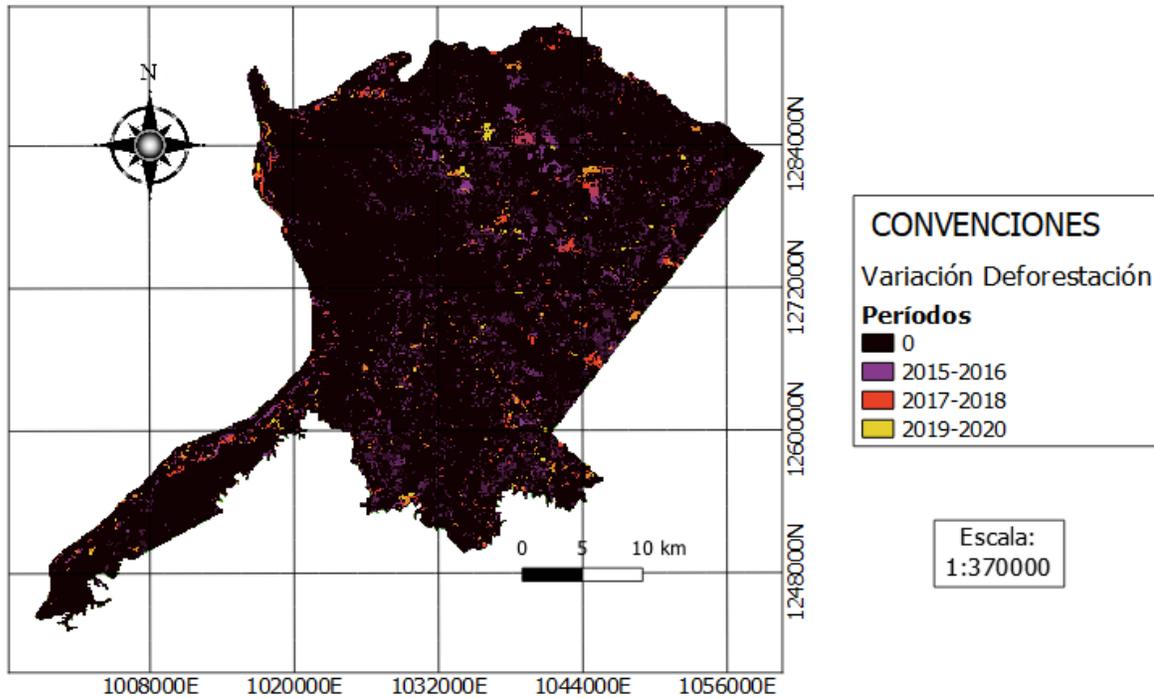
Figura 5. Tendencia de la tasa de deforestación



3.4 Núcleos de deforestación en Barrancabermeja

La figura 6 representa las zonas donde a través del tiempo se ha concentrado la deforestación entre los años 2015 y 2019. Se distingue que el fenómeno se desarrolla en la parte norte del municipio de Barrancabermeja y en las zonas próximas a las márgenes del río Magdalena. En el transcurso de estos años el total de hectáreas deforestadas alcanzó 86 hectáreas, siendo el año 2017 en el que mayor área se afectó.

Figura 6. zonificación y variación periódica de la deforestación municipio de Barrancabermeja



Año	Área deforestada (ha)
2015	8
2016	12
2017	38
2018	24
2019	4

3.5 Zonas de bosque actuales

El área de bosque Barrancabermeja, aunque ha sido afectada, para el año 2019 representa el 41,7% del territorio municipal con 64.843 ha.

Por otro lado, en la figura 7 se evidencian las zonas donde la vegetación es baja o inexistente, la cuales comprenden la zona urbana, el límite Norte que corresponde al margen del río Sogamoso, las masas superficiales de agua, las vías, etc.

3.6 Pérdida de cobertura arbórea

Otra variable importante en la calidad y cantidad de vegetación es la cobertura arbórea que, si bien no indica las áreas de bosque, si comprende las superficies pobladas por árboles.

La *figura 8* muestra el comportamiento de la pérdida arbórea entre 2001 y 2017, que alcanza la eliminación de 14,354 hectáreas en este período de tiempo, con un valor máximo registrado en el año 2007 que corresponde a 1,830 ha. Es así que en el municipio se han perdido en promedio 880.9 hectáreas anuales.

Adicionalmente, a través de los datos se reconoce una tendencia decreciente de la pérdida de la cobertura que, de mantenerse, sugiere que en los próximos años las áreas afectadas serán menores.

3.7 Índices radiométricos

La variación en las características de la vegetación del Municipio de Barrancabermeja se evidencia en la *figura 9 y 10*, donde se representa la multitemporalidad de los índices NDVI y SAVI para los años 2015, 2018 y 2020. Se calcula que la vegetación alta asociada a áreas forestales corresponde para el primer año a 85,948 ha para el NDVI y 91,212 ha para el SAVI, estimándose un promedio de 88,579.87 hectáreas las cuales disminuyeron para año 2018 y posteriormente presentaron un leve aumento, como se evidencia en los datos compilados en la *tabla 2*.

Este comportamiento difiere del presentado por las demás clasificaciones, es decir, que la vegetación categorizada como alta o densa se ha transformado en vegetación moderada, ligera o sin vegetación.

Se reconoce que las tendencias aportadas por los índices son similares, sin embargo, sus magnitudes difieren, alcanzando un gradiente de 243 hectáreas para la clase “sin vegetación” y 1,406 ha para la clase “vegetación ligera”.

Figura 8. variación de cobertura arbórea en Barrancabermeja

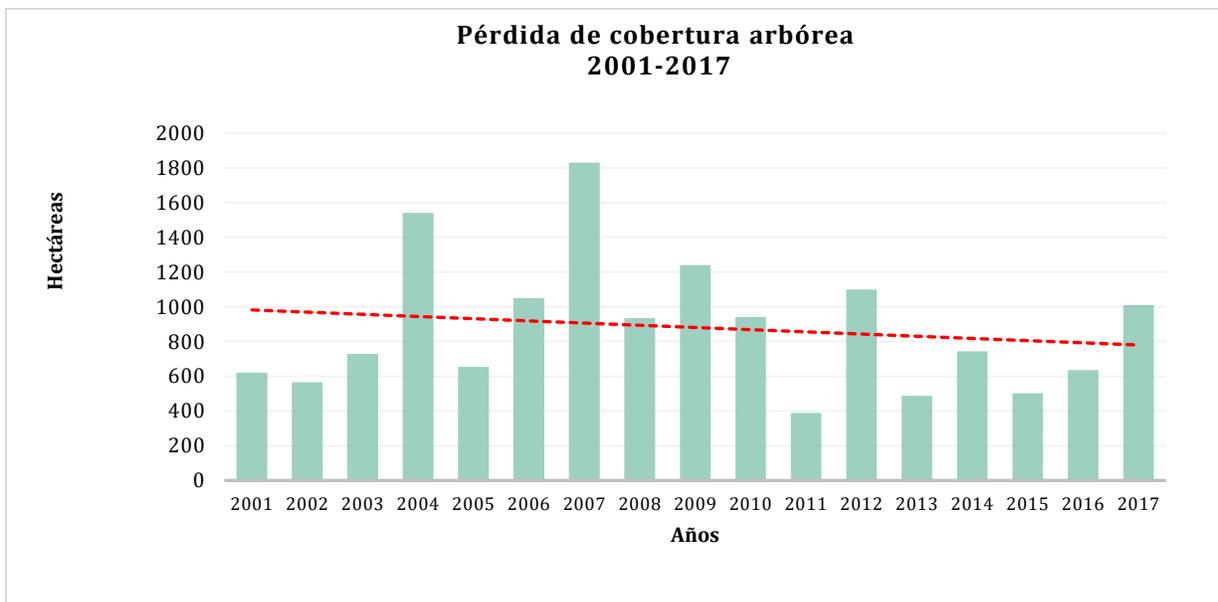


Figura 7. zonificación de bosques Barrancabermeja

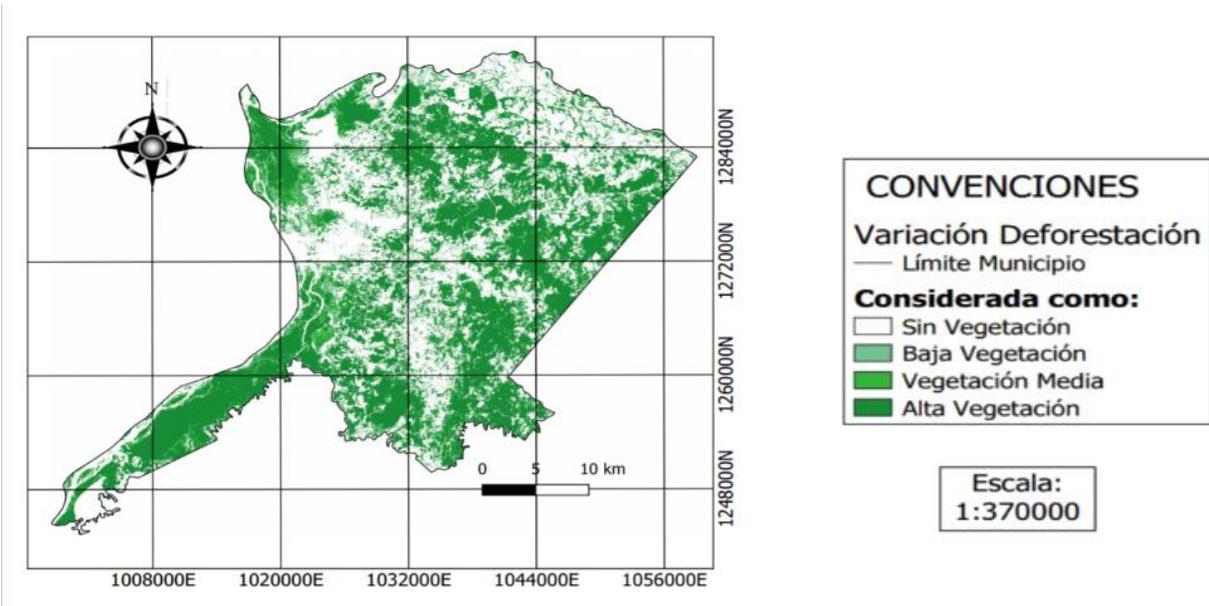
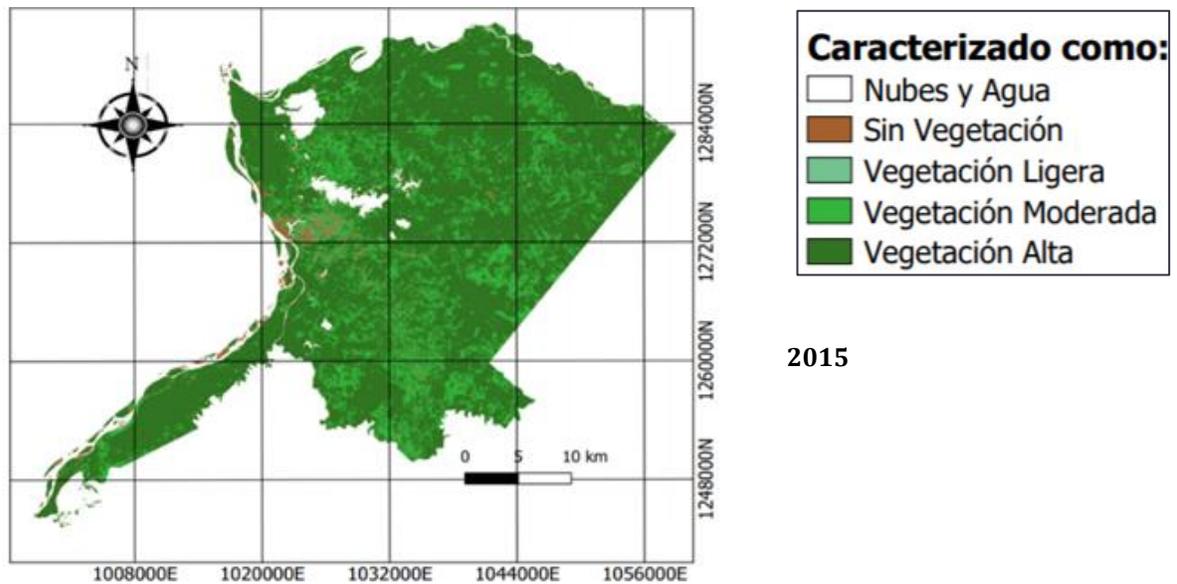
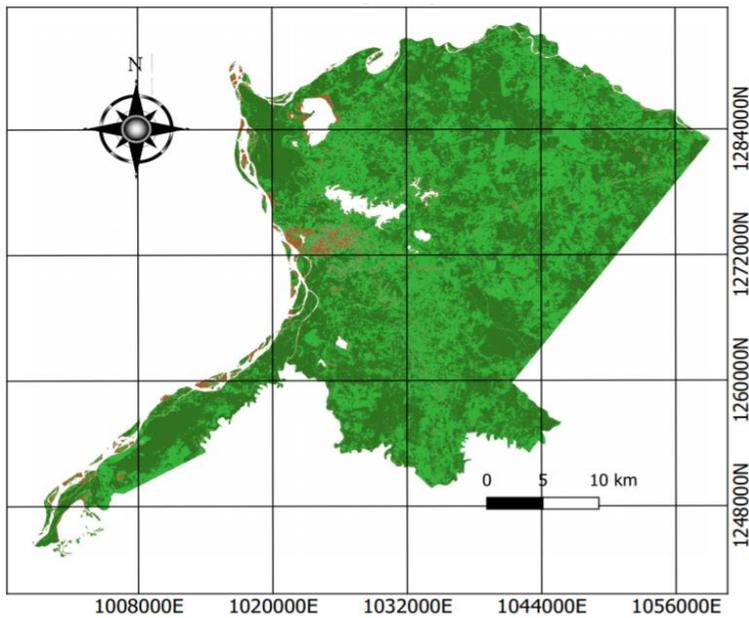


Figura 9. NDVI



2015

2018



2020

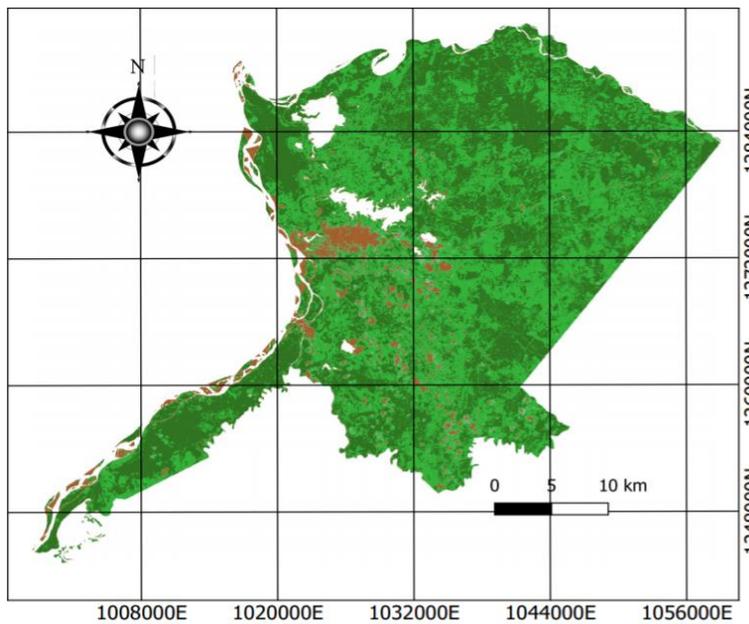


Figura 10. SAVI

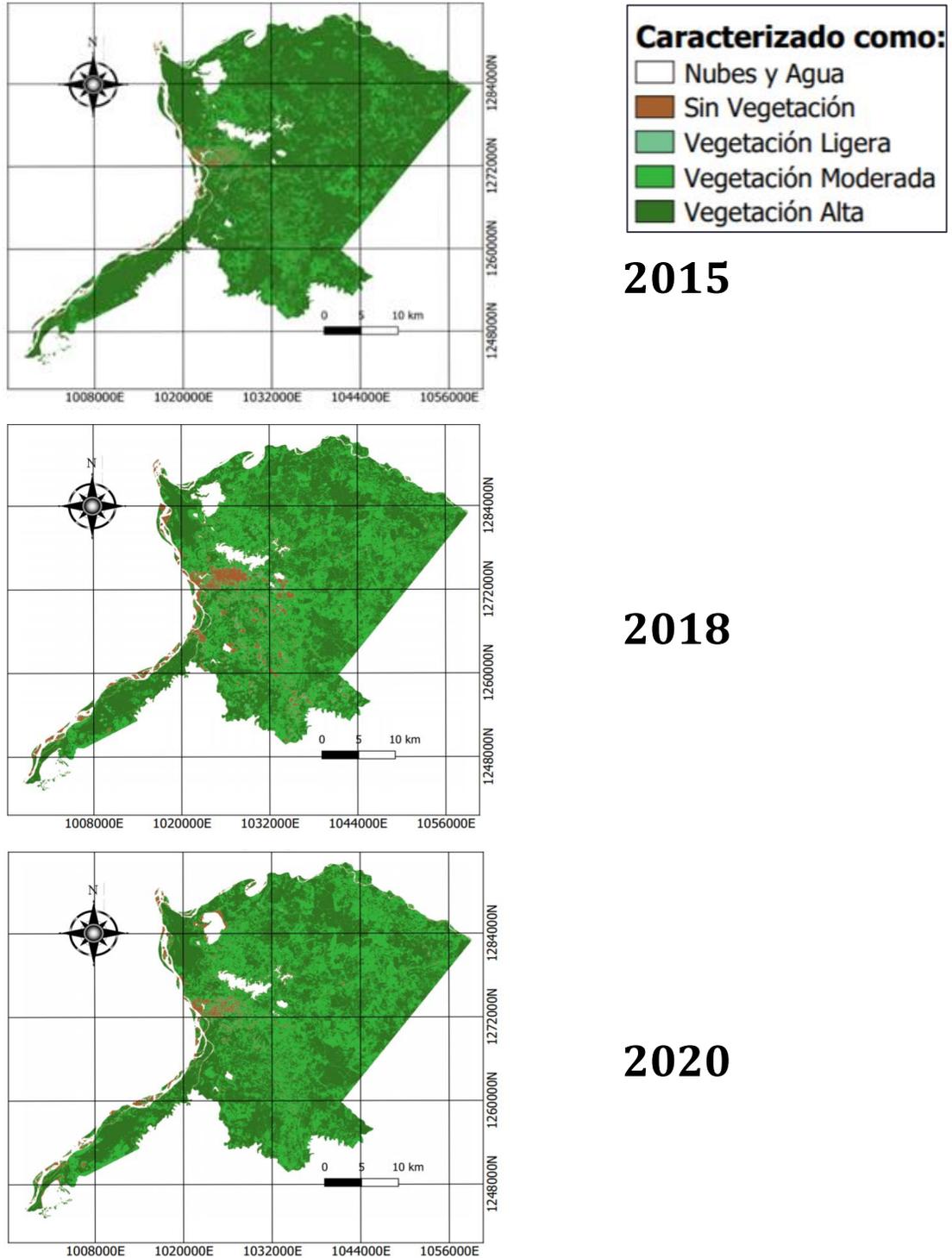


Tabla 2. Variación de cobertura arbórea en Barrancabermeja en hectáreas.

SAVI				
Año	Sin vegetación	Vegetación ligera	Vegetación moderada	Vegetación Alta
2015	2620	1912	20799	91212
2018	5677	4530	41458	65208
2020	3571	2327	40804	70674

NDVI				
Año	Sin vegetación	Vegetación ligera	Vegetación moderada	Vegetación Alta
2015	2769	970	26817	85948
2018	6062	2379	53740	54657
2020	3767	1201	53236	59134

4 Discusión

Esta investigación se planteó con propósito el determinar las tasas de deforestación presentes en el municipio de Barrancabermeja para en un período comprendido entre 2001 y 2019, permitiendo evidenciar en base a los resultados obtenidos que la tasa que describe este fenómeno es creciente, reflejando la disminución del mismo, facilitando la conservación 7,75% del área de bosque departamental aportado por este municipio.

Así mismo, se reconoce que existe factores que inciden la valoración de los datos obtenidos para los índices radiométricos, como la nubosidad característica de la zona de estudio, la resolución de las imágenes satelitales y la precisión de los índices, como lo menciona Gonzaga, (2014).

En el caso del NDVI a pesar de presentar alta sencillez a la hora de calcularlo y facilitar la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación, presenta una falencia dado que posee baja capacidad de reducir la influencia de factores como la atmósfera y el suelo, determinado este primero principalmente por las condiciones climáticas de la zona a estudiar.

El SAVI por su parte se comporta como un corrector enfocado en la disminución de las alteraciones presentadas por el NDVI al ser aplicado principalmente en zonas áridas dada la influencia ejercida por el suelo sobre este (INIA, 2010 como se citó en Gonzaga, , 2014).

Por otra parte, se reconoce que las tendencias aportadas por los índices son similares, sin embargo, sus magnitudes difieren, alcanzando un gradiente de 243 hectáreas para la clase “sin vegetación” y 1,406 ha para la clase “vegetación ligera”.

Adicionalmente se determinó que existe una pérdida de la cobertura arbórea aproximada de 880,9 ha/año en el municipio de Barrancabermeja que no se reflejan en la tasa de deforestación, pero que influyen en el deterioro ambiental.

5 Conclusiones

En promedio la tasa de deforestación en el municipio de Barrancabermeja es de -0,065 lo cual equivale aproximadamente a eliminar 42 ha de bosque al año.

El comportamiento del fenómeno de deforestación a nivel municipal no refleja ni incide drásticamente en la magnitud y tendencia de la deforestación en el departamento.

Las zonas donde se concentra la destrucción de áreas de bosque se ubican en el sector norte del municipio de Barrancabermeja y en las proximidades de la ribera del río Magdalena.

La tendencia de la deforestación tanto en Barrancabermeja como a en Santander reflejan una disminución de las áreas afectadas a través del tiempo, lo que se traduce en un efecto ambiental positivo.

5.1 Recomendaciones

La interpretación de la calidad de la vegetación puede ser mejorada a través del cálculo de un mayor número de índices radiométricos que describa su variación en el tiempo, lo cual puede ser incluido para analizar en trabajos futuros.

6 Agradecimientos

Los autores de este trabajo expresan agradecimientos a la Universidad Libre.

7 Referencias bibliográficas

- Armenteras, D., Espelta, J. M., Rodríguez, N., & Retana, J. (2017). Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980–2010). *Global Environmental Change*, 46(November 2016), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.09.002>
- BBC News Mundo. (2019, April 25). *Cuáles son los países más deforestados del mundo y cuántos están en América Latina - BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48060343>
- FIICCER. (2019, February 18). *SEGÚN EL IDEAM EN COLOMBIA SE DAN ALERTAS TEMPRANAS POR DEFORESTACIÓN AT-D - FIICCER - Corporación*. <https://fiiccer.org/2019/02/18/segun-el-ideam-en-colombia-se-dan-alertas-tempranas-por-deforestacion-at-d/>
- Gonzaga, C. (2014). *Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM + y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia*

De Loja, Ecuador. *Univerisdad Ncional de La Plata*, 103.

- Instituto Geográfico Nacional. (2020). *Teledetección*. IGN. <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>
- Mohd Jaafar, W. S. W., Maulud, K. N. A., Muhmad Kamarulzaman, A. M., Raihan, A., Sah, S. M., Ahmad, A., Maizah Saad, S. N., Mohd Azmi, A. T., Syukri, N. K. A. J., & Khan, W. R. (2020). The influence of deforestation on land surface temperature-A case study of Perak and Kedah, Malaysia. *Forests*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/F11060670>
- Pała, K. W., & Zawadzki, J. (2020). Sentinel-2 Imagery Processing for Tree Logging Observations on the Białowież za Forest World Heritage Site. *Forests*. <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/8/857>
- Paz Cardona, A. J. (2019, July 11). *Colombia: el 70% de la deforestación de 2018 ocurrió en la Amazonía*. 11 de Julio. <https://es.mongabay.com/2019/07/deforestacion-colombia-2018-amazonia/>
- Paz Cardona, A. J. (2020, January 13). *Los desafíos ambientales de Colombia en el 2020*. MONGABAY. <https://es.mongabay.com/2020/01/desafios-ambientales-colombia-2020-deforestacion-defensores-paramos/>
- Semana SOSTENIBLE. (2020, June 21). *2020, un año catastrófico para los bosques amazónicos de Colombia*. <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/2020-un-ano-catastrofico-para-los-bosques-amazonicos-de-colombia/52206>
- Suh, J., Kim, S. M., Yi, H., & Choi, Y. (2017). An overview of GIS-based modeling and assessment of mining-induced hazards: Soil, water, and forest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph14121463>
- United States Geological Survey. (2020). *Imágenes Satelitales*. <https://earthexplorer.usgs.gov/>