

Use of Geographic Information Systems in the Loss of Forest Coverage in the Amazon. A Systematic Review between the years 2010 – 2020

Tiffany Valeria Cruz Cespedes¹, Solange Margot Gamboa Alvarez¹, Jessica Marleny Luján Rojas², Grant Ilich Llaque Fernández³, and Marlon Walter Valderrama Puscan³

¹Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú, tcruzcespedes@gmail.com, gamboasolange6@gmail.com

³Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, grant.llaque@upn.pe, marlon.valderama@upn.pe

²Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, jessica.lujan@upn.pe

Abstract– This systematic review describes the use of geographic information systems to understand the loss of forest cover in the Amazon. The objective was to collect information on the loss of forest cover, from research articles. The PRISMA methodology was used, through 7 virtual libraries: Dialnet, Scielo, Redalyc, Proquest, Google Scholar, IOP Science and Science Direct, studies from the period 2010 - 2020 were selected in Spanish, English and Portuguese. Where the studies that did not meet the evaluation filters were excluded and the selected information was passed to a database matrix that included the title of the research, university, IMRD, author, year, concepts and keywords. As results, a total of 1 doctoral theses and 49 scientific articles were obtained, of which an article registration matrix was made, characterization of the studies, showing a trend in 4 categories, which are: Geographic Information Systems, Remote Sensing, Indices of Vegetation and Forest Cover. Concluding that the multi-temporal analysis is the ideal method so that in a range of time it is possible to estimate and determine the degree of affectation and the rate of forest loss in the Amazon.

Keywords-- Remote Sensing, Satellite images, Amazon, Forest Cover, Multitemporal Analysis.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.126>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Uso de Sistemas de Información Geográfica en la Pérdida de Cobertura Forestal de la Amazonía. Una Revisión Sistemática entre los años 2010 – 2020

Use of Geographic Information Systems in the Loss of Forest Coverage in the Amazon. A Systematic Review between the years 2010 – 2020

Tiffany Valeria Cruz Cespedes¹, Solange Margot Gamboa Alvarez¹, Jessica Marleny Luján Rojas², Grant Ilich Llaque Fernández³, and Marlon Walter Valderama Puscán³

¹Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú, tcruzcespedes@gmail.com, gamboasolange6@gmail.com

³Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, grant.llaque@upn.pe, marlon.valderama@upn.pe

²Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, jessica.lujan@upn.pe

Resumen– Esta revisión sistemática describe el uso de los sistemas de información geográfica para conocer la pérdida de cobertura forestal en la Amazonía. Se tuvo como objetivo recopilar información sobre la pérdida de cobertura forestal, a partir de artículos de investigación. Se empleó la metodología PRISMA, a través de 7 bibliotecas virtuales: Dialnet, Scielo, Redalyc, Proquest, Google Académico, IOP Science y Science Direct, se seleccionaron estudios del periodo 2010 - 2020 en el idioma español, inglés y portugués. Donde se excluyó los estudios que no cumplían los filtros de evaluación y la información seleccionada se pasó a una matriz de base de datos que incluía el título de la investigación, universidad, IMRD, autor, año, conceptos y palabras claves. Como resultados se obtuvo un total de 1 tesis doctoral y 49 artículos científicos, de los cuales se realizó una matriz de registro de artículos, caracterización de los estudios, mostrando tendencia en 4 categorías, que son: Sistemas de Información Geográfica, Teledetección, Índices de Vegetación y Cobertura Forestal. Concluyendo que el análisis multitemporal es el método ideal para que en un rango de tiempo se pueda estimar y determinar el grado de afectación y la tasa de pérdida de bosque en la Amazonía.

Palabras Clave-- Teledetección, Imágenes satelitales, Amazonía, Cobertura Forestal, Análisis Multitemporal.

Abstract– This systematic review describes the use of geographic information systems to understand the loss of forest cover in the Amazon. The objective was to collect information on the loss of forest cover, from research articles. The PRISMA methodology was used, through 7 virtual libraries: Dialnet, Scielo, Redalyc, Proquest, Google Scholar, IOP Science and Science Direct, studies from the period 2010 - 2020 were selected in Spanish, English and Portuguese. Where the studies that did not meet the evaluation filters were excluded and the selected information was passed to a database matrix that included the title of the research, university, IMRD, author, year, concepts and keywords. As a result, a total of 1 doctoral thesis and 49 scientific articles were obtained, of which an article registration matrix was made, characterization of the studies, showing a trend in 4 categories, which are: Geographic Information Systems, Remote Sensing, Indices of Vegetation and Forest Cover. Concluding that the multi-temporal

analysis is the ideal method so that in a range of time it is possible to estimate and determine the degree of affectation and the rate of forest loss in the Amazon.

Keywords-- Remote Sensing, Satellite Images, Amazon, Forest Cover, Multi-Temporal Analysis.

I. INTRODUCCIÓN

La Amazonía es el bosque y sistema fluvial más grande del mundo, albergando una décima parte de las especies existentes en el Planeta, y tiene la capacidad de regular el clima regional y las condiciones climáticas [1] Asimismo, los bosques cumplen un rol importante en la mitigación y adaptación al cambio climático, al proveer bienes y servicios ambientales de valor local, regional, nacional y global [2]. Sin embargo, atraviesa un serio problema de pérdida de bosque, siendo la causa principal la falta de planificación del territorio, que ocasiona el acaparamiento de tierras, expansión de la frontera agrícola, ganadería, la minería, y la explotación económica descontrolada [3].

La situación de las investigaciones de monitoreo a largo plazo del manejo forestal en Latinoamérica es insuficiente debido a que los ensayos realizados no tienen continuidad y la información está desactualizada. Los casos documentados se han dado sobre todo para la investigación científica, a cargo de diferentes entes nacionales e internacionales [4]. Paralelo a los reportes de las tasas de deforestación, es una prioridad global desde los años ochenta, comprender las dinámicas humanas y las consecuencias ambientales en diferentes escalas. Por consiguiente, a pesar de las claras limitaciones existentes existen avances importantes en cuanto a la explicación de las causas de los patrones de deforestación [5].

Se han realizado diversos estudios sobre la pérdida de bosques a través de diferentes métodos basados en datos de Teledetección en América del Sur [6], [7]. No obstante, no emplean imágenes satelitales de mayor resolución espacial, como es el caso de las imágenes Sentinel, ya que estas se

pueden obtener en plataformas gratuitas y de fácil acceso a la comunidad investigadora.

Las metodologías aplicadas en dichas investigaciones no son eficaces para obtener cifras exactas y actualizadas sobre la tasa de deforestación en la Amazonia. Por ello, se debe trabajar con análisis multitemporal de los últimos años para conocer el estado actual de los bosques y a la vez realizar un diagnóstico de la zona de estudio, incluyendo los factores socioeconómicos y ambientales que sirvan como marco de referencias para futuros proyectos.

Esta revisión sistemática demostrará la problemática que acontece los bosques de la Amazonia, ya que están sufriendo una pérdida considerable en los últimos años debido a la tala indiscriminada y al no realizar prácticas de reposición, esta situación se agrava. Por consiguiente, los sistemas de información geográfica (SIG) surgen como una alternativa viable para analizar los cambios en la cobertura forestal y determinar las cifras de pérdida en el menor tiempo, menor costo y una mayor precisión.

El objetivo de este estudio es recopilar información de la pérdida de cobertura forestal, a partir de artículos de investigación. Finalmente, la presente revisión debe cumplir con los criterios de selección los cuales serán de gran utilidad a distintos investigadores interesados en la problemática de pérdida de bosques.

II. METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación se realizó tomando como referencia el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) de artículos científicos con el fin de sintetizar la mayor información obtenida en los trabajos de investigación, elaborados por organismos expertos y entidades reconocidas [8].

La pregunta de investigación que se consideró para este estudio de revisión fue: ¿Se puede conocer la pérdida de cobertura forestal en la Amazonia mediante los sistemas de información geográfica, en la última década?

Para ello, se realizó un proceso de selección el cual consistió en realizar una búsqueda en las distintas bases de datos confiables tales como: Scielo.org, ScienceDirect, Redalyc.org, Dialnet, Proquest, IOP Science y Google Académico, de las cuales se seleccionaron estudios siguiendo distintos criterios de selección.

La búsqueda en las distintas bases se realizó usando palabras claves como: Geographic Information Systems, Forest Cover, Análisis Multitemporal y Cobertura Vegetal. Para lo cual, también se utilizó operadores booleanos como AND y OR. Luego, se aplicó criterios de selección tomando en cuenta lo siguiente: contar con una antigüedad no mayor a diez años, es decir de 2010 a 2020 (CE1), ser artículos de revisión o de investigación (CE2), responder al objetivo del estudio (CE3), tener por lo menos una de las palabras clave del estudio en mención (CE4) y presentar una estructura IMRD (CE5).

TABLA I
CUADRO CON LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN

| Base de Datos | Estrategia de búsqueda | Nº de resultados de Base | Nº de Resultados incluidos primer filtro (CE1 Y CE2) | Nº de resultados excluidos | Nº de resultados incluidos 2do filtro (CE3, CE4, CE5) | Nº de resultados excluidos |
|------------------|---|--------------------------|--|----------------------------|---|----------------------------|
| ProQuest | Geographic Information Systems AND Forest Cover | 588 | 135 | 253 | 2 | 251 |
| Scielo | "Análisis Multitemporal" OR "Cobertura Vegetal" | 764 | 172 | 492 | 4 | 488 |
| Dialnet | Análisis Multitemporal AND Bosques | 382 | 135 | 247 | 4 | 243 |
| Redalyc | "Índice de Vegetación" AND "Bosques" | 136 | 65 | 71 | 2 | 69 |
| Science Direct | Multitemporal Analysis AND Forest Cover | 1 694 | 138 | 956 | 10 | 546 |
| IOP Science | Vegetation Index AND Forest Cover | 500 | 155 | 145 | 26 | 119 |
| Google Académico | Índice de Vegetación AND Bosques Amazónicos | 13 500 | 126 | 13 074 | 2 | 13 072 |
| TOTAL | | 17 564 | 2326 | 15 238 | 50 | 188 |

La Tabla I muestra las cantidades de estudios seleccionados tras pasar por dos filtros que consideran los criterios de selección descritos anteriormente.

Finalmente, el método de extracción de los estudios se hizo de acuerdo con los siguientes criterios: la Revista, el título de investigación, la Universidad, el año, el país, el autor o autores, el idioma, estructura IMRD, tipo de investigación (artículo de revisión y artículo científico), palabras clave, objetivo, método, resultados y conclusiones.

III. RESULTADOS

Después de realizar la revisión sistemática mediante la metodología PRISMA, en la que se tomó en cuenta criterios de exclusión como el tiempo, bases de datos, palabras clave, y estructura IMRD. De esta manera, se obtuvo un total de 50 estudios que cumplen con todos los criterios antes mencionados y se detallan a continuación.

En primer lugar, la búsqueda se realizó en bases de datos confiables como Scielo.org, ScienceDirect, Redalyc.org, Dialnet, Proquest, IOP Science y Google Académico, como se muestra en la Tabla II, donde los estudios pasan por un proceso riguroso para ser publicados en ellas. Asimismo, se hace una comparación con los idiomas en los que han sido publicadas.

TABLA II
CANTIDAD DE ARTÍCULOS POR BASE DE DATOS Y POR IDIOMA

| Base de Datos | Cantidad de Publicaciones por bases | % | Idioma | | |
|-----------------|-------------------------------------|-----|--------|---------|-----------|
| | | | Inglés | Español | Portugués |
| Science | | | | | |
| Direct IOP | 10 | 20 | 2 | 7 | 1 |
| Science Dialnet | 26 | 52 | 26 | 0 | 0 |
| Scielo | 4 | 8 | 0 | 4 | 0 |
| ProQuest | 4 | 8 | 0 | 4 | 0 |
| Redalyc | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 |
| Google Scholar | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 |
| Total | 50 | 100 | 28 | 21 | 1 |
| | % | | 56 | 42 | 2 |

La Tabla II muestra la cantidad y porcentaje de las publicaciones por Base de Datos. Además del idioma en el que han sido publicadas.

Para el criterio de búsqueda por tiempo se consideró desde el año 2010 al 2020. Donde, en el 2020 se registró la mayor cantidad de publicaciones, seguido del 2019 y 2017 tal como se aprecia en el siguiente gráfico. (Fig. 1).



Fig. 1 Cantidad de artículos encontrados por año de búsqueda.

Por otro lado, de todos los artículos seleccionados se encontró que el país donde se ha realizado la mayor cantidad de publicaciones en este tema es México, seguido de China e indonesia. Los resultados se muestran a continuación. (Fig. 2).

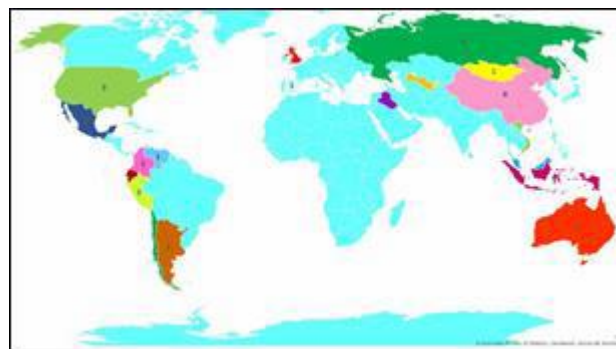


Fig. 2 Cantidad de artículos encontrados por país de publicación.

TABLA III
VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE COBERTURA FORESTAL

| Base de Datos por bases Science | Cantidad de Publicaciones | % | Idioma | | |
|---------------------------------|---------------------------|-----|--------|---------|-----------|
| | | | Inglés | Español | Portugués |
| Direct IOP | 10 | 20 | 2 | 7 | 1 |
| Science | 26 | 52 | 26 | 0 | 0 |
| Dialnet | 4 | 8 | 0 | 4 | 0 |
| Scielo | 4 | 8 | 0 | 4 | 0 |
| ProQuest | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 |
| Redalyc | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 |
| Google Scholar | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 |
| Total | 50 | 100 | 28 | 21 | 1 |
| | % | | 56 | 42 | 2 |

La Tabla III, muestra las variables que influyeron en el análisis de los estudios seleccionados.

TABLA IV
INDUCCIÓN DE CATEGORÍAS

| Categorías | Aportes |
|--|---|
| Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) | Con la ayuda de enormes datos de teledetección y una sólida capacidad de análisis de datos, se puede lograr un mapeo refinado de la cobertura terrestre y llevar a cabo la detección de cambios, lo que proporcionará datos convenientes y tecnología eficiente para estudiar los modelos de acoplamiento de patrones y procesos a diferentes escalas [8]. Las operaciones de mapeo y clasificación, la resolución y nivel de detalle, así como la precisión alcanzada por sensores, permiten trabajar grandes extensiones de terreno de forma precisa, facilitando los trabajos de cuantificación, monitoreo y comprensión de la dinámica de los bosques [9]. |

| | |
|--|--|
| <p>Técnicas de Teledetección para Cobertura Forestal</p> | <p>Las técnicas de teledetección aplicadas al estudio de la dinámica de la cobertura boscosa del suelo, determinan con alta precisión los tipos y extensión de coberturas existentes. Por otra parte, la falta de imágenes de satélite de gran resolución espacial, así como su limitada funcionalidad debido a la presencia de elevados porcentajes de nubosidad en la zona de estudio, se constituye en una limitante durante la aplicación técnicas de teledetección al estudio de la cobertura forestal [10].</p> <p>Se han realizado algunos estudios sobre la aplicación de datos de teledetección para los bosques, la mayoría de los estudios se han centrado en variables discretas como el desarrollo de esquemas de cobertura forestal en lugar de estimar los atributos del bosque, volumen de bosque para rodal forestal. Por tanto, es fundamental encontrar soluciones adecuadas con información actualizada y de bajo costo para cuantificar los recursos forestales [11].</p> |
| <p>Estudio de Índices de Vegetación a partir de Imágenes Aéreas</p> | <p>La técnica de visualizar el estado de la vegetación de los sitios naturales utilizando satélites cercanos a la Tierra es la mejor opción para monitorear los bosques. La implementación de la teledetección da como resultado el análisis del estado de los bosques basado en el uso del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se basa en la interconexión de las estimaciones de superficie y la interpretación analítica de imágenes de satélite [12].</p> <p>La extracción de la densidad del dosel del bosque a partir de imágenes aéreas debe ser realizada por especialistas con experiencia; sin embargo, este enfoque es una opción cuando no se dispone de métodos más sofisticados ni de imágenes satelitales de alta resolución a costos competitivos [13].</p> |
| <p>Análisis de Cambio de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal</p> | <p>El cambio de cobertura del suelo es la razón principal del cambio de cobertura vegetal, donde la expansión urbana y la destrucción de la vegetación son los principales factores que conducen a la pérdida de vegetación. La forestación y la conversión de tierras agrícolas en bosques son los principales factores para la ganancia de vegetación [14].</p> <p>La cobertura vegetal no solo está estrechamente relacionada con la cultura económica, sino que también se ve afectada directamente por la temperatura, las precipitaciones y otros factores naturales, existe una compleja relación de acoplamiento entre el cambio de la cobertura terrestre y la economía social y el entorno ecológico, que tiene una gran importancia para comprender mejor el Relación hombre-tierra [8].</p> |

La tabla IV, presenta los conceptos e ideas más resaltantes de cada autor y aplicando criterios de relación y significancia e importancia para el análisis del tema a investigar, se obtuvo estos aportes que debido a su agrupamiento se les asignó dichas categorías.

Los autores [15] mencionan que el objetivo fundamental del artículo de revisiones sistemáticas es identificar y conocer el tema que se está investigado, saber cuáles son los avances más destacados en el periodo de tiempo de 10 años y qué aspectos permanecen desconocidos, que permitan responder a la pregunta de investigación.

Esta revisión sistemática se elaboró en base a la tabla N°1, que es la matriz de registro de artículos, en donde fueron seleccionados los 50 artículos con mayor relevancia, que consiguieron responder a la pregunta de investigación, cumplir el límite de tiempo de creación, la estructura IMRD y por último la integración de las 2 variables que se estaba manejando. En el contenido de la tabla N°1 se muestra todo lo referido al uso de los sistemas de información geográfica que se ha venido trabajando durante los últimos 10 años para la pérdida de cobertura forestal de la Amazonía.

Con respecto a la categoría de uso de sistemas de información geográfica, han permitido conocer el estado que tiene las variables de investigación entre los que destaca a [16], quienes aportan que los SIG nos permiten entender y predecir, así sea de manera parcial, temas como el cambio en el uso de la tierra y las coberturas forestales, que generalmente se deriva de la necesidad de considerar, y acoplar dinámicas antrópicas y biofísicas de una forma espacialmente explícita. Reforzando las ideas ya planteadas por [17] quien manifiesta que también se puede obtener mejores resultados en la diferenciación de clases, por consiguiente, existe un mayor aprovechamiento de la resolución de la imagen de satélite para la aplicación y la identificación de otros fenómenos como la agricultura, los procesos de crecimiento urbano, deforestación y erosión. Por ello, es importante identificar las diferentes técnicas de teledetección para adecuarla a los diferentes temas analizar ante algún tema de investigación.

Por otro lado, la teledetección se basa en técnicas empleadas para la adquisición de información mediante imágenes espaciales obtenidas por satélite. Esta idea es reforzada por [18] quien manifiesta que la teledetección permite monitorear las áreas con amenazas ecológicas, y apoyan en la evaluación de los factores históricos y socioeconómicos asociados a dicho deterioro ambiental. Ante ello, consideramos que su uso es imprescindible para estudiar la tierra y gestionar los recursos, facilita el análisis, la planificación y la ejecución de nuevos métodos para futuras investigaciones, que contribuyan al progreso de las actividades humanas.

Con respecto a la categoría de bosques Amazónicos, actualmente se están empleando técnicas de monitoreo. Los autores [19], consideran que, a pesar del gran y creciente acervo de información publicada sobre los bosques de la Amazonia Colombiana, hay aún una brecha entre la investigación científica y sus posibilidades de implementación. Por ello, se deben emplear herramientas de análisis espacial, que permitan estimar el impacto futuro en un mediano y largo plazo de la pérdida de los bosques, ya que esto repercute de manera directa en el total de emisiones de gases de efecto invernadero que reporta nuestro país y a la vez, esto contribuyen al calentamiento global.

En la categoría de pérdida de cobertura forestal, se obtuvo información de distintos autores. [20] manifiestan que la pérdida de la estructura vegetal incide definitivamente en el aumento de la temperatura en las ciudades o lo que también se le denomina islas de calor o termal, y en la falta de retención de la humedad que proporciona el ciclo del agua, por el detrimento de cobertura forestal. Por lo tanto, los análisis de pérdida de cobertura forestal son de vital importancia en la toma de decisiones, implementación de políticas para la prevención de los procesos de deforestación, programas de ordenamiento territorial, planes conservación y aprovechamiento de los recursos naturales.

V. CONCLUSIONES

Lo obtenido en esta revisión sistemática es que hay distintos modelos de sistemas de información geográfica (SIG) para el monitoreo de la pérdida de bosque en la Amazonía, sin embargo, se busca el más eficiente y práctico. Por ello, de acuerdo con las investigaciones de los autores [21]; cada uno de ellos en su respectivo estudio, consideramos que el análisis multitemporal es el método ideal para que en un rango de tiempo se pueda conocer, estimar y determinar el grado de afectación y la tasa de pérdida de cobertura forestal de la Amazonía. Logrando así brindar el apoyo para responder a la pregunta de investigación y objetivo planteado.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A nuestra asesores Jessica Luján, Grant Llaque y Marlón Valderrama por guiarnos con paciencia y rectitud.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de nuestra preparación profesional.

REFERENCIAS

[1] J. Ramírez y A. Galán, "Amazonía: Posible y Sostenible", Cepal y Patrimonio Natural, 2013.

[2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, "Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015", 2015.

[3] G. Gonzales, "Análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la provincia de manú, 2000 – 2016", Repositorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal, 2018.

[4] C. Baquero, W. Cárdenas y J. Ruíz, "Deforestación y Dinámica del bosque secundario en la Amazonia Colombiana 1986–2000", Revista de la Academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales, vol. 35, n° 137, pp. 531-545, 2011.

[5] D. Armenteras y N. Rodríguez, "Dinámicas y causas de deforestación en bosques de Latino América: Una revisión desde 1990", Colombia Forestal, vol. 17, n° 2, pp. 233-246, 2014.

[6] O. Rosales, "Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del Río Tahuando y proyección de cambios al año 2031, en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura", Repositorio Digital de la Universidad Técnica del Norte, 2018.

[7] J. De la Cruz y G. Muñoz, "Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de

reforestación de la federación nacional de cafeteros en el Municipio de Popayán, Cauca", Repositorio Institucional de la Universidad de Manizales, 2016.

[8] G. Urrutía y X. Bonfill, "Declaración Prisma: Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis", Revista Medicina Clínica, vol. 135, n° 11, pp. 507-511, 2010.

[9] C. Zhou, F. Li, J. Zhang, J. Zhao, Y. Zhang y J. Wang, "Analysis of Spatial and Temporal Variations of Vegetation Index in Liaodong Bay in the last 30 years based on the GEE Platform", Earth and Environmental Science, 2020.

[10] G. De León, A. Pinedo y H. Martínez, "Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca, México", Investigaciones Geográficas, vol. 2014, n° 84, pp. 42-53, 2014.

[11] J. Marcellino, E. Cuasquer, O. Moncayo y D. Delgado, "Aplicación de percepción remota para la detección de cambios en la cobertura boscosa de la reserva ecológica Mache-Chindul", Revista La Técnica, pp. 76-83, 2016.

[12] T. Nguyen, T. Pham y T. Luong, "Estimate tropical forest stand volume using SPOT 5 Satellite Image", Earth and Environmental Science, 2021.

[13] I. Korchagina, O. Goleva, Y. Savchenko y T. Bozhikov, "The use of geographic information systems for forest monitoring", Earth and Environmental Science, 2020.

[14] J. Lopez, J. Prado y L. Manzo, "Monitoreo de cambios en la densidad de cobertura forestal en bosque templado usando fotografías aéreas digitales de alta resolución", Investigaciones Geográficas, vol. 2016, n° 90, pp. 59-74, 2016.

[15] Torres y D. López, "Criterios para publicar artículos de revisión sistemática", Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, vol. 19, n° 3, pp. 393-399, 2014.

[16] A. Masot, "Tecnologías de la Información Geográfica en el Análisis Espacial. Aplicaciones en los Sectores Público, Empresarial y Universitario", 2016.

[17] N. Pineda, "Descripción, análisis y simulación de procesos forestales en el estado de México mediante tecnologías de la información geográfica. CORE", 2010.

[18] I. Hernandez, E. Ellis y C. Gallo, "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz", Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, vol. 13, n° 1, pp. 1-24, 2013.

[19] A. Parrado, R. Góonzales y H. García, "Estado Actual de la investigación Científica Publicada sobre los bosques de Colombia", Instituto Humboldt, Biodiversidad en la Práctica, vol. 1, n° 1, pp. 177-197, 2016.

[20] J. Del Castillo y G. Agredo, "Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, Caso Cuenca Urbana San Luis (Manizales)", Revista Luna Azul, n° 37, pp. 30-48, 2013.

[21] D. Zumaeta, "Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la microcuenca Yuyac, Amazonas, 2018", Repositorio Digital Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, 2019.

[22] G. Alarcón, J. Díaz, M. Vela, G. Mishari y J. Gutiérrez, "Deforestación en el sureste de la amazonia del Perú entre los años 1999 - 2013; caso Regional de Madre de Dios (Puerto Maldonado – Inambari)", Revista Investigaciones Altoandinas, vol. 18, n° 3, pp. 319-330, 2016.

[23] M. Allawai y B. Ahmed, "Using Remote Sensing and GIS in Measuring Vegetation Cover Change from Satellite Imagery in Mosul City, North of Iraq", Materials Science and Engineering, 2020.

[24] A. Altamirano, A. Lara, "Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile", Bosque (Valdivia), vol. 31, n° 1, pp. 53-64, 2010.

[25] J. Árias y P. Lugo, "Análisis multitemporal de la transformación en la cobertura boscosa del parque nacional natural Tinigua y su área de influencia", Universidad de La Salle, 2015.

- [26] Z. Xie, J. Ping, L. Sun y Y. Dai, "Research on the change of vegetation loss and gain in Shenyang based on NDVI index", Conference Series, 2020.
- [27] Z. Chen, G. Cao, K. Chen, S. Cao, H. Cui, G. Jiang y Z. Chen, "Temporal and Spatial Dynamics of Normalized Difference Vegetation Index on the Southern Slope of Qilian Mountains from 2000 to 2015", *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*, vol. 237, n° 3, 2019.
- [28] A. Cunliffe, J. Assmann, G. Daskalova, J. Kerby y I. Myers, "Aboveground biomass corresponds strongly with drone-derived canopy height but weakly with greenness (NDVI) in a shrub tundra landscape", *Environmental Research Letters*, vol. 15, n° 12, 2020.
- [29] R. Díaz, L. Bravo y E. Sánchez, "Análisis geoespacial de la interacción entre el uso de suelo y de agua en el área peri-urbana de Cuauhtémoc, Chihuahua. Un estudio socioambiental en el norte de México", *Investigaciones Geográficas*, vol. 2014, n° 83, pp. 116-130, 2013.
- [30] M. Erthalia y A. Damayanti, "Remote sensing and GIS for land conservation: identification of post-tin mining land conservation in Perimping Sub Watershed". *Earth and Environmental Science*, 2019.
- [31] G. Flórez, A. Rincon, P. Santiago y A. Alzate, "Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia", *DYNA*, vol. 84, n° 201, pp. 95-101, 2017.
- [32] W. Gaida, F. Marcelo, L. Soares y R. Balbinot, "Variações da reflectância e dos índices de vegetação em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil", *Investigaciones Geográficas*, vol. 2016, n° 91, pp. 105-123, 2016.
- [33] N. Gasparri, M. Pamuchi, J. Bono, H. Karszenbaum y L. Montenegro, "Assessing multi-temporal Landsat 7 ETM+ images for estimating above-ground biomass in subtropical dry forests of Argentina", *Journal of Arid Environments*, vol. 74, n° 10, pp. 1262-1270, 2010.
- [34] L. Gopar y A. Velázquez, "Componentes del paisaje como predictores de cubiertas de vegetación: estudio de caso del estado de Michoacán, México", *Investigaciones Geográficas*, vol. 2016, n° 90, pp. 75-88, 2015.
- [35] J. Lira, "Morphologic analysis of the temporal change of forest cover", *Geofísica Internacional*, vol. 53, n° 2, pp. 117-133, 2014.
- [36] H. Luo, S. Dai, Z. Xie y J. Fang, "NDVI-Based analysis on the influence of human activities on vegetation variation on Hainan Island", *Earth and Environmental Science*, vol. 121, n° 3, 2018.
- [37] M. Miles, V. Miles y I. Esau, "Varying climate response across the tundra, forest-tundra and boreal forest biomes in northern West Siberia", *Environmental Research Letters*, vol. 14, n° 7, 2019.
- [38] G. Molina y A. Albarran, "Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela", *Revista Colombiana de Geografía*, vol. 22, n° 1, pp. 25-40, 2013.
- [39] S. Monjardín, C. Pacheco, W. Plata y G. Corrales, "La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México", *Madera y Bosques*, vol. 23, n° 1, pp. 7-22, 2017.
- [40] B. Montibeller, A. Kmoch, H. Viro, U. Mander y E. Uuemaa, "Increasing fragmentation of forest cover in Brazil's Legal Amazon from 2001 to 2017", *Scientific Reports*, 2020.
- [41] A. Montilla, A. Reyes y E. Agüero, "Análisis de Deforestación en Ecosistemas Boscosos del Refugio de Vida Silvestre Pácoche, Manabí Manta, Ecuador", *Revista de Investigación*, vol. 41, n° 92, pp. 74-94, 2017.
- [42] J. Muñoz, E. Cuasquer, O. Moncayo y D. Delgado, "Aplicación de percepción remota para la detección de cambios en la cobertura boscosa de la reserva ecológica Mache-Chindul", *Revista La Técnica*, pp. 76-93, 2016.
- [43] A. Nené, G. Gonzáles, M. Mendoza y F. Silva, "Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico central mexicano", *Investigaciones Geográficas*, vol. 2017, n° 94, pp. 64-81, 2017.
- [44] B. Norovsuren, B. Tseveen, V. Batomunkuev y T. Batomunkuev, "Estimation for forest biomass and coverage using Satellite data in small scale area, Mongolia", *Earth and Environmental Science*, 2019.
- [45] J. Palacios, R. Zárate, R. Minaya, M. Martín y J. Benavides, "Predicción de la pérdida de la cobertura vegetal por aumento de áreas urbanas en Iquitos, Perú", *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, vol. 7, n° 1, pp. 37-50, 2019.
- [46] C. Peralta, J. Gallardo, J. Solórzano y M. Hernández, "Clasificación del uso de suelo y vegetación en áreas de pérdida de cobertura arbórea (2000–2016) en la cuenca del río Usumacinta", *Madera y Bosques*, vol. 25, n° 3, 2019.
- [47] C. Peralta, J. Torrico, V. Vos, M. Galindo y C. Contreras, "Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana", *Ecología en Bolivia*, vol. 50, n° 2, pp. 91-114, 2015.
- [48] P. Potapov, J. Dempewolf, M. Hansen, S. Stehman, C. Vargas, E. Rojas, D. Castillo, D. Mendoza y A. Calderón, "National satellite-based humid tropical forest change assessment in Peru in support of REDD+ implementation", *Environmental Research Letters*, vol. 9, n° 12, 2014.
- [49] Rokhmatullah, R. Hernina y S. Yandi, "Drought Analysis By Using Standardized Precipitation Index (SPI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) at Bekasi Regency in 2018", *Earth and Environmental Science*, 2019.
- [50] J. Ruiz, W. Cardenas y C. Baquero, "Deforestación y dinámica del bosque secundario en la Amazonia Colombiana 1986–2000", *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 35, n° 137, pp. 531-545, 2011.
- [51] C. Salinas, "Tendencia en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California", *Investigaciones Geográficas*, vol. 2017, n° 94, pp. 82-90, 2017.
- [52] Z. Sharipjonova, A. Karimov y J. Mirzaqobulov, "Monitoring city green zones using GIS technologies: An example of Tashkent city, Uzbekistan", *Materials Science and Engineering*, 2020.
- [53] K. Sheffield y E. McNabb, "Using satellite imagery to assess trends in soil and crop productivity across landscapes", *Earth and Environmental Science*, 2015.
- [54] C. Silva, L. Gama, A. Alcantara y A. Olthoff, "Clasificación no supervisada de la cobertura de suelo de la región sierra de Tabasco mediante imágenes landsat ETM+", *Universidad y Ciencia*, vol. 27, n° 1, pp. 33-41, 2011.
- [55] F. Silva, Y. Shimabukuro, L. Aragão, L. Anderson, G. Pereira, F. Cardozo y E. Arai, "Large-scale heterogeneity of Amazonian phenology revealed from 26-year long AVHRR/NDVI time-series", *Environmental Research Letters*, vol. 8, n° 2, 2013.
- [56] B. Sodnomov, A. Ayurzhanayev, B. Tsydygov, E. Garmaev, y A. Tulokhonov, "Software for analysis of vegetation indices dynamics", *Earth and Environmental Science*, 2018.
- [57] R. Syazwani y S. Shukor, "Tree Crown Density Analysis from Hyperspectral Image", *Materials Science and Engineering*, 2019.
- [58] H. Ubaya, Sukemi, y A. Purnama, "New Model of Vegetation Monitoring Using Flying NIR Cameras with NDVI Parameters and C-means", *Conference Series*, 2019.
- [59] A. Velasco, E. Durán y D. Barton, "Cambios en la cobertura arbolada de comunidades indígenas con y sin iniciativas de conservación, en Oaxaca, México", *Investigaciones Geográficas*, vol. 2014, n° 83, pp. 55-73, 2013.
- [60] D. Verbyla, "Remote sensing of interannual boreal forest NDVI in relation to climatic conditions in interior Alaska", *Environmental Research Letters*, vol. 10, n° 12, 2015.
- [61] T. Wang y Y. Lu, "Spatial and temporal changes in inter-annual and seasonal NDVI in the Qinling mountains of China", *Earth and Environmental*, 2017.

- [62] J. Wu, L. Chen, Z. Fu, R. Xiao, R. Wen, y X. Wang, “Spatiotemporal Variations of NDVI in Xinjiang Tianchi Bogda Peak natural reserve from 1990 to 2015”, *Earth and Environmental Science*, 2021.
- [63] Q. Xie, Y. Wu, Z. Zhou y Z. Wang, “Remote sensing study of the impact of vegetation on thermal environment in different contexts”, *Earth and Environmental Science*, vol. 121, n° 2, 2018.
- [64] Xuefei, Liuji, Guotao y Huazhu, “Spatial-temporal variation of NDVI and its responses to precipitation in the upper of Heihe from 2000 to 2019”, *Earth and Environmental Science*, 2021.
- [65] U. Zaitunah, Samsuri, A. Ahmad y R. Safitri, “Normalized difference vegetation index (NDVI) analysis for land cover types using landsat 8 oli in besitang watershed, Indonesia”, *Earth and Environmental Science*, 2018.
- [66] K. Zakharov, Y. Somova, M. Gladysheva, Y. Kolba, N. SedinNkina y A. Gavrilenko, “Assessment of urban pine forests state using the vegetation index NDVI”, *Earth and Environmental Science*, 2020.

