

Uso de Google Earth Engine para la estimación y variación de la cobertura vegetal del bosque amazónico generada por la actividad antropica en Huepetuhe periodo 2016 al 2022

Use of Google Earth Engine for the estimation and variation of the vegetable cover of the amazon forest generated by anthropic activity in Huepetuhe period 2016 to 2022

Frank Alexander La Torre Auccasi¹, Gledys Josseline Mendoza Pacheco², James William Tito Nina³, Meidi OllachicaValverde⁴, Tula Palomino Villa⁵ y Andrés C. Estrada Zúñiga^{6*}

Resumen

La estimación y variación de la cobertura vegetal del bosque amazónico generada por la actividad antrópica en Huepetuhe tuvo por finalidad estimar las pérdidas de vegetación y las tasas de deforestación para un bosque amazónico, el estudio se realizó utilizando la herramienta Google Earth Engine e imágenes satelitales Landsat 8, para el tratamiento de las imágenes ráster se utilizó el software ERDAS y ArcGis, las imágenes fueron sometidas a correcciones geométricas y radiométricas, para ello se tomaron puntos de control el tierra, para el análisis se estableció cuatro categorías de degradación del bosque: Bosque con vegetación nula con presencia de suelo desnudo, Bosque con vegetación escasa, Bosque con vegetación moderada y área total de deterioro. Los resultados a partir del análisis de las imágenes multiespectrales y el NDVI muestra que respecto al año 2016 se incrementó 30.1ha en la categoría bosque con vegetación nula, 28.8 ha en los bosques con vegetación escasa, 236.9 ha para bosques de vegetación moderada y el área de deterioro global se incrementó en 295.8 ha. La tasa de deforestación anual fue del 5% (6.02 ha/año) para bosque con vegetación nula y presencia de suelo desnudo y del 9% (59.16 ha/año) para degradación global, el coeficiente de determinación para bosques con vegetación nula y área desnuda fue de $R^2=0.9704$, y para deterioro global del bosque $R^2=0.957$.

Palabras clave: Bosque amazónico, Google Earth engine Landsat 8 oli, Cobertura vegetal, Manú.

Abstract

The estimation and variation of the vegetation cover of the Amazon forest generated by anthropic activity in Huepetuhe had the purpose of estimating the loss of vegetation and the deforestation rates for an Amazon forest, the study was carried out using Landsat 8 satellite images, the treatment of the raster images was made using the ERDAS software, the images were subjected to geometric and radiometric corrections, for this purpose control points were taken on the ground, for the analysis four categories of forest degradation were established: Forest with null vegetation with presence of bare soil, forest with sparse vegetation, forest with moderate vegetation and total area of deterioration. The results from the analysis of the multispectral images and the NDVI show that compared to 2016, 30.1 ha increased in the forest category with no vegetation, 28.8 ha in forests with sparse vegetation, 236.9 ha for forests with moderate vegetation and the area of global deterioration increased by 295.8 ha. The annual deforestation rate was 5% (6.02 ha/year) for forests with no vegetation and presence of bare soil and 9% (59.16 ha/year) for global degradation, the coefficient of determination for forests with no vegetation and area naked was $R^2=0.9704$, and for global deterioration of the forest $R^2=0.957$.

Keywords: Amazon forest, Landsat 8 oli, Vegetation cover, Manú.

Recibido: 02/11/2023

Aceptado: 01/05/2024

Publicado: 02/05/2024

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: andres.estrada@unsaac.edu.pe

Introducción

La deforestación es un fenómeno ambiental preocupante que involucra la pérdida y destrucción de los bosques, disminución de sus servicios ecosistémicos y su contribución en la conservación del suelo y los otros usos que le da el ser humano en la tierra (Flores *et al.* 2014), esta problemática tiene un impacto significativo en los ecosistemas, la biodiversidad y el clima global. (Baker *et al.*, 2004a).

La deforestación es una preocupación global debido a la pérdida acelerada de cobertura vegetal, pérdida de bosques y la degradación de los ecosistemas forestales tienen consecuencias significativas en términos de biodiversidad, cambio climático y bienestar humano (Huacac, 2022a). Por lo tanto, es crucial comprender los

factores que están relacionados con los cambios en la cobertura y uso del suelo, (Osore *et al.*, 2012; Jaramillo & Antunes, 2018). Par el Perú se reporta que para el 2020

¹Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7796-4552>

²Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2741-5059>

³Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3442-7630>

⁴Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8306-7642>

⁵Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8517-0007>

⁶Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1588-6399>

Como citar: Estrada Zúñiga, A. C. ., La Torre Auccasi, F. A., Mendoza Pacheco, G. J., Tito Nina, J. W., OllachicaValverde, M., & Palomino Villa, T. (2024). Uso de Google Earth Engine para la estimación y variación de la cobertura vegetal del bosque amazónico generada por la actividad antropica en Huepetuhe periodo 2016 al 2022. *Revista De Investigaciones Altoandinas–Journal of High Andean Research*, 26(2) 79-85. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.579>



determino que en el Perú se deterioró 203,272 hectáreas de bosque y para la región Madre de dios fue de 4,329 hectáreas, las cifras estimadas para Huetupe aportan a esta cifra. (MINAN, 2022,).

Los estudios presentados en párrafos anteriores buscan obtener información detallada sobre las causas y patrones de cambio en la cobertura vegetal, así como desarrollar herramientas y métodos de monitoreo eficientes y basados en modelos de sustentabilidad (Huacac, 2022b) Además, se buscan analizar las implicancias de estos cambios en el uso del suelo y su impacto en los ecosistemas de bosques con el fin de predecir posibles situaciones futuras (Luque 2021, Rodriguez, 2018).

Siendo la variación de la cobertura vegetal es un fenómeno de gran relevancia en la gestión ambiental y la planificación territorial (Mamani & Servan., 2017), la preservación de la cobertura vegetal es fundamental para mantener el equilibrio de los ecosistemas, regular el clima y contrarrestar el creciente efecto invernadero causado por las actividades humanas. (Ñaupari & Pizarro 2018).

Perú a nivel global se ubica en el décimo lugar de los territorios con una alta densidad forestal, con una cobertura que supera el 50% del país que equivale 673,109 km² cubiertos por bosques (MINAN,2022).

En el mundo sólo Brasil supera a Perú en extensión de bosque tropical amazónico (Janampa & Ponce 2022), esta región amazónica peruana se encuentra en alto riesgo de deforestación, las predicciones realizadas al 2030 establecen que los bosques en el continente americano y el mundo experimentaran pérdidas significativas en área, también se incrementará la degradación y pérdida de biodiversidad (Rodriguez 2018). Las principales causas de deforestación en América Latina y especialmente en Perú son la agricultura migratoria, la minería informal y formal, el cambio de uso del suelo para desarrollar zonas urbanas y la construcción de infraestructura vial y de producción. (Baker *et al.*, 2004b). La tala ilegal es el principal factor de degradación forestal en Perú, anualmente se talan alrededor de 2,849 km² de bosques, de ello solo el 20% es legal y el 80% tala es ilegal (Mmani & Servan 2017).

Osores (2021) reportó que en el distrito de Huetupe perteneciente al Parque Nacional del Manú, departamento de Madre de Dios, se experimentó una intensa extracción aurífera conocida como la “fiebre del oro”, la cual ha aumentado de manera exponencial en el período de 1980 a 2000, año en la que alcanzó su

máximo apogeo y a la vez generó deforestación de vastas áreas de bosque amazónico.

En la región amazónica del sur del Perú, además de la extracción de oro, otras actividades humanas, como la urbanización en zonas boscosas, la tala de árboles para implementar agricultura migratoria, y la construcción de carreteras, han contribuido al incremento de la deforestación (Sánchez & Sánchez, 2023). Esta deforestación ha traído consigo una serie de consecuencias negativas, como la contaminación de las aguas, la pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo, la introducción de metales pesados en las cadenas alimentarias y la propagación de enfermedades causadas por la contaminación (Osores, 2012).

La deforestación en el mundo y en la amazonia peruana es creciente y en distrito Huetupe del Parque Nacional del Manú continúa avanzando y se ha expandido incluso hacia el sector sudeste de la Reserva Comunal Amarakaeri (Finer & Novoa, 2015). La actividad minera persiste en esta zona, y factores como la construcción de la carretera interoceánica, el establecimiento de asentamientos urbanos en las cercanías de la carretera y la tala de árboles para la agricultura continúan contribuyendo a la deforestación año tras año.

El desarrollo de la teledetección, los sensores remotos multiespectrales y el uso de las imágenes satelitales permiten realizar estudios de cobertura vegetal y comparaciones anuales y determinar la tasa de deforestación (Hatton, 2020). Los satélites Landsat 8 proveen espectros imágenes multiespectrales en diferentes rangos de longitud de onda tanto en luz visible como el infrarrojo cercano y medio que es utilizado para estudios de vegetación de manera rápida y con un nivel de precisión alto. Las imágenes satelitales multiespectrales son utilizadas especialmente zonas inaccesibles (Buitrón & Callisaya 2012), como glaciares, áreas de explotación minera, zonas de cambio de uso del suelo entre otros. (Estrada & Ñaupari 2022).

El análisis del uso de suelos sus cambios y la variación de cobertura vegetal es fundamental para comprender y evaluar el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas frágiles de la amazonia peruana, así como desarrollar estrategias de conservación y manejo sostenible (Hernández *et al.*, 2019). El presente estudio tuvo como objetivo cuantificar la variación de la cobertura vegetal en el distrito de Huetupe a partir un análisis temporal de imágenes satelitales Landsat 8 y Google Earth. Para ello se adquirieron imágenes satelitales desde el 2016 al 2022, priorizando las imágenes que muestren adecuadamente las actividades antrópicas como la minería ilegal y la expansión de la agricultura.

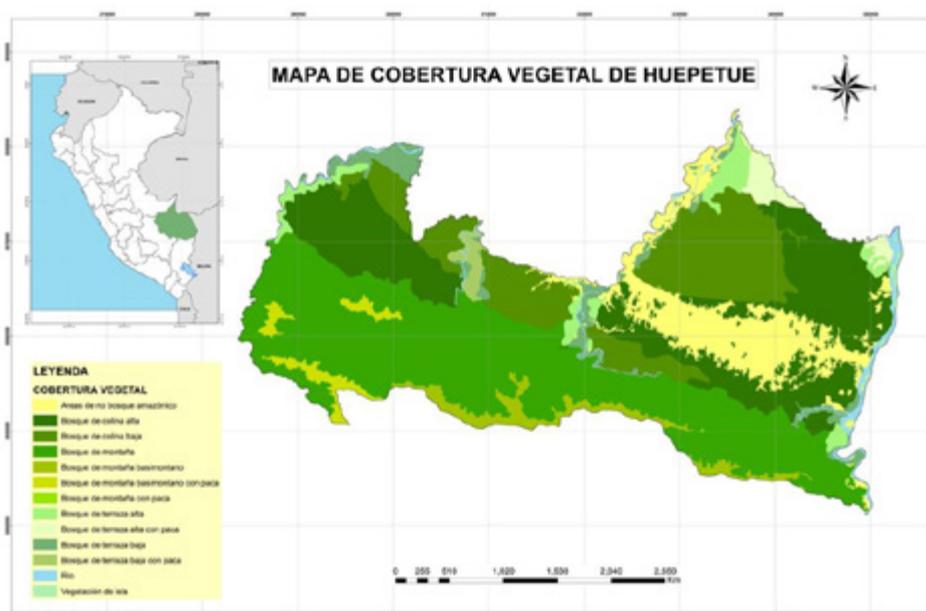


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Materiales y métodos

Ubicación de ámbito de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la zona amazónica el sureste de Perú en el distrito de Huetpetuhe, provincia de Manu, departamento de Madre de Dios (Figura 1).

Proceso metodológico del estudio

Adquisición de imágenes satelitales

El reconocimiento e identificación de la zona de estudio se realizó utilizando la herramienta digital

Google Earth Engine, con esa información se adquirió tres imágenes satelitales Landsat 8 OLI TIRS de la plataforma del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) tomadas entre los años 2016 al 2022. Los criterios utilizados para la adquisición de imágenes fueron: Nubosidad 10% máximo, intervalo de tres años, que sean del mismo mes y de la misma época (Tabla 1).

En campo se tomaron puntos identificaron puntos de control debidamente georreferenciados los mismos que se utilizaron para las correcciones geométricas de las imágenes satelitales.

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales utilizadas

DATOS DE LA IMAGEN	2016	2019	2022
ID de Imagen	LC80030692016020LGN02	LC80030692018249LG N00	LC80030692019220LGN00
Fecha de adquisición	20/01/2016	6/09/2018	8/08/2022
Tipo de Sensor	OLI-TIRS	OLI-TIRS	OLI-TIRS
Nivel de procesamiento	L1T	L1T	L1T
Azimut del sol (°)	107.5828326	57.3423995	46.58018356

Etapa de gabinete, procesamiento de imágenes

Se realizó la corrección geométrica de las imágenes satelitales, la cual consistió en reducir o eliminar la distorsión de una imagen mediante la creación de una nueva imagen que conserva los valores radiométricos de la original (Soria & Matar 2016). La corrección de las imágenes se realizó mediante

los puntos de control (GCP), que son procesados en software ERDAS IMAGINE.

Seguidamente se realizó la corrección atmosférica, la cual facilitó distinguir los efectos de la distorsión causados por la presencia de partículas en la atmósfera, además se busca reducir el efecto de los

diferentes ángulos de incidencia de la energía solar de la distancia tierra- sol (Estrada & Ñaupari 2021).

Los índices de vegetación _El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el software Arc Gis 10.5, con la combinación de las bandas 4 y 5, se realizó la clasificación de áreas mediante el análisis índice de vegetación el cual fue adaptado para la obtención de áreas de cobertura vegetal que son afectadas por la actividad antrópica. Para estimar las áreas con disminución de vegetación se utilizó el Índice

de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). (De los Ríos, 2022; Díaz García-Cervigón, 2015): Para calcular el NDVI se utilizó la ecuación:

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+ROJO)$$

Donde NIR representa los valores del pixel de la banda infrarroja y ROJO representa los valores por pixel de la banda roja en los cálculos aritméticos por pixel. El software conserva la referencia geográfica de píxeles tomando la geoposición de los puntos de anclaje como referencia que permite la visualización del NDVI.

Tabla 2. Categorización de índices por color

CATEGORÍA	VALOR DE NDVI	COLOR PARA INTERPRETACIÓN
Vegetación nula	00 - 0.2	Rojo Representa áreas con cuerpos de agua contaminada y relaves mineros
Vegetación escasa	0.2 - 0.4	Amarillo Representa la presencia de lodos y suelos desnudos
Vegetación moderada	0.4 - 0.6	Verde claro Representa áreas con vegetación impactada
Vegetación densa	0.6 - 1.0	Verde oscuro Representa áreas con presencia de bosques

Fuente: Díaz García-Cervigón 2015

Resultados

Índices de vegetación estimados en imágenes Landsat 8 ONY en el bosque amazónico de Huepetuhe

Los rangos de NDVI encontrados en el bosque estudiado muestra que el bosque con vegetación nula o suelo desnudo con presencia de agua es de 0.0 – 0.2, el bosque con vegetación escasa es de 0.2 – 0.4, el bosque con vegetación moderada alcanza un NDVI de 0.4 a 0.6 y el bosque denso presenta un NDVI que va de 0.6 a 1. Las variaciones en el rango se deben también a que la canopia de los árboles van a mostrar diferentes coloraciones por consiguiente diferentes valores, es necesario también índices que las hojarascas y plantas senescentes muestran NDVI que van entre 0.2–0.4 (Figura 2).

Estimation de áreas degradadas a partir de imágenes multiespectrales e índices de vegetación para los bosques amazónicos de Huepetuhe

El estudio considera el año 2016 como punto de partida para evaluar las variaciones en la vegetación del bosque, es así que usando imágenes multiespectrales satelitales Landsat 8 OLI-TIRS del 2016 y teniendo como variable de análisis el Índice de Vegetación de Diferencia Normaliza (NDVI) que presenta la vegetación

del boque se ha determinado que el área total de bosque es del 1,523.3 Km² (100%), el área degradada en diferentes escalas asciende a 30.72% de bosque amazónico. (Tabla 3 y Figura 2).

En el ámbito de estudio para el año 2016 utilizando el NDVI se ha estimado diferentes grados de deterioro del bosque, determinado 5.67% del área de estudio como área con vegetación nula también podemos denominar suelo desnudo, 5.44% ha sido clasificado como bosque con vegetación escasa y el 19.62% es reconocido como bosque vegetación moderada (Tabla 3 y Figura 2) y el 69.28% es considerado como vegetación densa o normal.

Para el año 2019 el estudio ha determinado que el área total de boque degradado es de 36.86%, el bosque con vegetación nula es de 6.95%, el bosque con vegetación escasa es del 6.22%, el bosque con vegetación moderada es de 23.69%, quedando 63.14% de boques con vegetación densa. Este mismo análisis para el año 2022 muestra un área total de bosque degradado de 50.13%, con 7.64 de bosque con vegetación nula, 7.33% de bosque con vegetación escasa, 35.17% de bosque con vegetación moderada y un 49.87% de bosque con vegetación densa (Tabla 3 y Figura 2).

Tabla 3. Valores de pérdida de cobertura de bosque estimada a usando imágenes multiespectrales

CATEGORIA	AÑOS				Color
	2016	2019	2022	Índice	
Vegetación nula (km ²)	86.3	105.9	116.4	0 - 0.2	Rojo
Vegetación escasa (km ²)	82.8	94.7	111.6	0.2 - 0.4	Amarillo
Vegetación moderada (km ²)	298.8	360.9	535.7	0.4 - 0.6	Verde claro
Vegetación densa (km ²)	1055.4	961.8	759.6	0.6 - 1	Verde oscuro
Área total (km ²)	1523.3	1523.3	1523.3		
Vegetación perdida (km ²)	467.9	561.5	763.7		

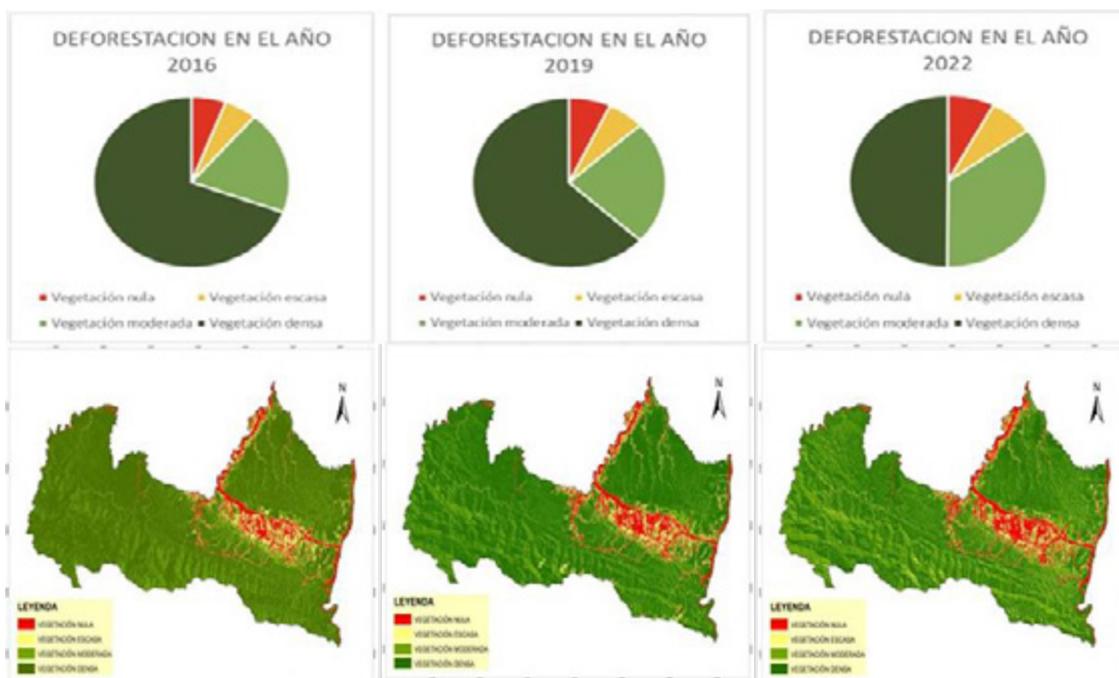


Figura 2. Variación temporal del estado de degradación del bosque amazónico de Huepetuhe

Tendencias y tasa de la deforestación estimados a partir de imágenes multiespectrales e índices de vegetación para el bosque amazónico de Huepetuhe

amazónico de Huepetuhe es de 5% (6.02 ha/año) anual, y la tasa de deterioro global del bosque compuesta por el bosque perdido, bosque con vegetación escasa y bosque con vegetación moderada es del 9% anual (59.16 ha/año).

La tasa de deforestación completa generando suelo desnudo (color rojo en mapa) estimada para el bosque

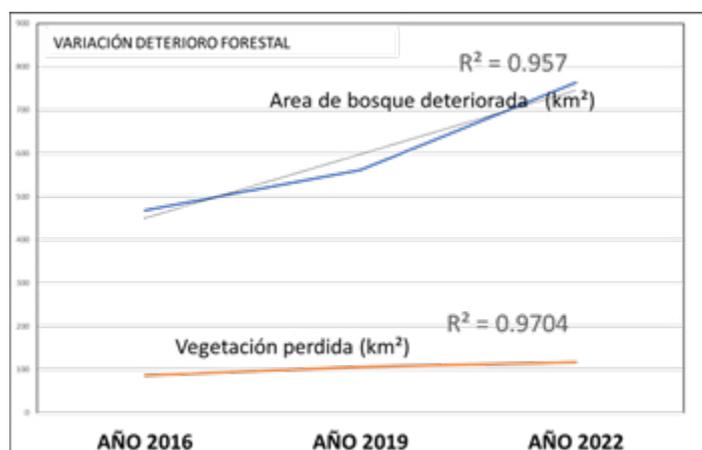


Figura 3. Tendencia del deterioro del bosque en Huepetuhe

El coeficiente de determinación para área de bosque deteriorada es de $R^2 = 0.957$ y el coeficiente de determinación para bosque perdido con suelo desnudo es $R^2 = 0.9704$, estos altos índices muestran que las estimaciones de pérdida de bosque y deterioro se han estimado con buena precisión. (Figura 3).

Discusión

El estudio realizado evidencia que la actividad antrópica está generando deterioro en la cobertura vegetal en el distrito de Huepetuhe, el mismo que se puede observar en la variación de áreas en las coberturas realizadas para los años 2016, 2019 y 2022. Este proceso de variación en la cobertura vegetal ha iniciado en el año 1930 conjuntamente con el desarrollo de la actividad minera y se ha vuelto más creciente en el año 1984 (Barba, 2019; Jananpa & Ponce, 2022; Luque 2021).

LA teledetección con imágenes satelitales, y el desarrollo de los sensores y microsensores permiten realizar estudios de vegetación con gran precisión (Mendoza & Barboza 2017; Cortes, 2021), para el estudio se ha realizado la clasificación utilizando la herramienta Google Earth Engine, que permitió generar coberturas en RGB y NDVI, (Gorelick, 2017) utilizaron Google Earth Engine para análisis medioambientales generando coberturas de bosques, suelos y pastizales.

El estudio determinó que el rango de NDVI para el bosque de Huepetuhe tuvo un rango de NDVI de 0.0 a 1.0, siendo las áreas con mayor degradación las que presentan rangos menores de 0.0 a 0.2. Estos resultados son similares a los presentados por (Estrada y Ñaupari, 2021) en el estudio de arbustos alta montaña “tolares” que los rangos menores -0.4 a 0.2 corresponde a agua y suelo desnudo.

El estudio estimó una tasa de crecimiento de 5% para Huepetuhe en mismo que es similar al estimado por (MINAN 2022), las estimaciones del estudio se consideran de muy buen nivel de precisión para bosque deteriorado con un $R^2 = 0.957$ y para bosque perdido con suelo desnudo con un $R^2 = 0.9704$, los R^2 son superiores a los estimados por (Estrada & Ñaupari, 2021) que los R^2 alcanzaron nivel medio $R^2 = 0.46$ a $R^2 = .74$.

MINAN (2022), reporta que para el 2020 determinó que en el Perú se deterioró 203,272 hectáreas de bosque y para la región Madre de dios fue de 4,329 hectáreas, las cifras estimadas para Huepetuhe aportan a esta cifra. También se observa que la tasa de deforestación en la zona de estudio está dentro de los reportados por MINAN.

Conclusiones

El uso de imágenes satelitales multiespectrales e índices de vegetación permiten estimar áreas de degradación de bosques al mismo tiempo a través del NDVI estimar el grado de degradación de estos. Estas estimaciones permiten tener datos de tendencia del proceso de deterioro del bosque amazónico por efectos antrópicos.

La herramienta Google Earth Engine con imágenes satelitales de alta resolución permiten realizar clasificaciones y estimaciones de áreas degradadas en forestales y puede ser aplicado para identificar y estimar otros usos de la tierra.

Agradecimientos

A la Maestría en Ciencia mención Ecología y Gestión Ambiental, al Laboratorio de ciencia animal y cambio climático de la UNSAAC.

Referencias

- Baker, T., Phillips, O., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., & Vásquez, R. (2004a). Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, B359, 353-365
- Baker, T., Phillips, O., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., & Vásquez, R. (2004b). Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, 10, 545-562
- Barba Ruiz, D. (2019). Análisis prospectivo del proceso de deforestación en el sector la Pampa-Guacamayo, Tambopata-Madre de Dios, Periodo 1999 al 2030.
- Buitrón, C. & Callisaya, J. (2012). Estudio espacial multitemporal de variaciones en superficie observada a través de imágenes satelitales LANDSAT en una región del Parque Nacional Sajama Bolivia, DIACONIA. La Paz Bolivia
- Cortez Requejo, Y. L. (2021). Pérdida de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales en la subcuenca Gera, distrito de Jepelacio.
- De Los Ríos Dantas, A. R. (2022). Análisis multitemporal por pérdida de cobertura boscosa 2005-2020 por palma aceitera para minimizar la deforestación Ucayali 2021.

- Estrada, A. & Ñaupari, J (2021) Detección e identificación de comunidades vegetales altoandinas, Bofedal y Tolar de Puna Seca mediante ortofotografías RGB y NDVI en drones “Sistemas Aéreos no Tripulados”.
- Flores, E.R.; Ñaupari, J.A.; & Tacuna, R.E. (2014). La economía del cambio climático en el Perú: Ganadería altoandina en la economía del cambio climático en el Perú: Desarrollo, CEPAL.
- Finer M, Novoa S (2015) La deforestación generada por la minería aurífera se expande desde Huepetuhe hacia la Reserva Comunal Amarakaeri (Madre de Dios, Perú). MAAAP: magen #6. Enlace: <https://maaproject.org/2015/06/imagen-6-amarakaeri/>.
- Gorelick, N. , Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. & Moore, R. (2017) Space-time quantification of aboveground net primary productivity service supply capacity in high Andean bofedales using remote sensors Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional del Centro del Perú, Centro de Investigación Huancayo, Peru 5, Lima, Peru JOURNAL OF WATER AND LAND DEVELOPMENT DOI: 10.24425/jwld.2023.143758 2023, No. 56 (I–III): 172–181
- Hatton, N., Sharda, A., Schapaugh, W., & Merwe Deon (2020). Remote thermal infrared imaging for rapid screening of sudden death syndrome in soybean. Computers and electronics in Agriculture.
- Hernández, L., Rudge, M., Bartolo, R., & Erskine, P. (2019). Identifying species and monitoring understory from UAS derived data; a literature review and future directions. MDPI Drones.
- Huacac Auccapuri, J. L. (2022a). Evaluación de la deforestación por minería de oro mediante imágenes de satélites SAR en la microcuenca del río Pariamanu-Madre de Dios, Periodos 2010-2020.
- Huacac Auccapuri, J. L. (2022b). Evaluación de la deforestación por minería de oro mediante imágenes de satélites SAR en la microcuenca del río Pariamanu-Madre de Dios, Periodos 2010-2020.
- Janampa Torres, S., & Ponce Cristobal, J. J. (2022). Análisis multitemporal de la deforestación por imágenes satelitales en el distrito de Pangoa, Junín desde el año 2000 al 2020.
- Jaramillo, L. V., & Antunes, A. F. (2018). Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante interpretación de imágenes Landsat por redes neuronales artificiales (RNA). Caso de estudio: Región Amazónica Ecuatoriana. Revista de Teledetección, (51), 33-46.
- Leymebamba. Chachapoyas, Perú, 2017. Mendoza, R., & Alarcón, G. (2014). Determinación de áreas deforestadas por actividades humanas en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene-Madre de Dios. Biodiversidad amazónica, 4(4), 7-16.
- Luque Ramos, L. (2021). Análisis de la deforestación de la Amazonia peruana: Madre de Dios.
- Mamani Cruz, S. J., & Servan Chasquibol, L. N. (2017). Evaluación multitemporal de la deforestación en el distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, departamento Amazonas, 2015.
- Mendoza Chichipe, Salas López & Barboza Castillo (2017) Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba. Chachapoyas, Perú, 2017.
- MINAN (2022), Deforestación en la Amazonia peruana, Lima Perú. <https://es.insightcrime.org/investigaciones/arrasar-y-quemar-la-deforestacion-en-la-amazonia-peruana/>
- Ñaupari, J.; Pizarro, S. (2018) Degradation and vulnerability to climate change in high Andean Regeland 71st Annual Meeting of the Society of Rangeland Management Sparks Nevada
- Osores Plenge, Rojas Jaimes, Hermógenes Manrique & Lara Estrada (2012) Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública.
- Rodriguez Calampa, N. Y. (2018). Determinación de la deforestación entre los años 1986 y 2016 mediante técnicas de teledetección y SIG, distrito Sauce-Perú.
- Sánchez Alvarado, K. G., & Sánchez Orbegozo, C. L. (2023). Análisis y modelación de los procesos de deforestación en el eje vial Interoceánico Sur (Puerto Maldonado-Inambari) Madre de Dios, periodo 1999-2030.
- Soria, M., & Matar, M. (2016). Nociones sobre teledetección, Instituto de Investigación Mineras, Universidad Nacional San Juan Argentina. Argentina