



The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

FRAGMENTATION PATTERNS IN THE BUFFER ZONES OF PROTECTED NATURAL AREAS IN THE SAN MARTÍN REGION, PERU

PATRONES DE FRAGMENTACIÓN EN LAS ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN LA REGIÓN SAN MARTÍN, PERÚ

Gloria Chávez*¹ & Ronald Puerta¹

¹ Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.

* Corresponding author: gloria.chavez@unas.edu.pe

Gloria Chávez:  <https://orcid.org/0009-0001-8848-5334>

Ronald Puerta:  <https://orcid.org/0000-0001-5777-7855>

ABSTRACT

Currently, one of the most recurrent environmental problems in the Peruvian Amazon is forest fragmentation as a result of deforestation. In this context, the present research aimed to quantify forest cover and other land uses, estimate the change in forest cover, and calculate fragmentation metrics in four buffer zones of protected natural areas located in the San Martín region, Peru during the years 2017 and 2021. The spatial information on land use and change provided by Esri Land Cover and the spatial information on forests and forest loss from the Geobosques platform were used as cartographic input. As a result, it was possible to quantify forest cover and other land uses of the four buffer zones corresponding to the years 2017 and 2021 with considerable thematic accuracy, taking into account that in the four study areas forest cover is the most representative. Regarding the rate of change from forest to non-forest for the buffer zone of the Río Abiseo National Park, it was -0.71; for the Cordillera Azul National Park it was -1.30; and for the Alto Mayo Protection Forest it was -1.87; while for the Pacaya Samiria National Reserve, forest cover has remained constant. Finally, the calculated landscape metrics suggest that the forests in the buffer zones of the San Martín region are moderately fragmented.

Keywords: Change of use – conservation – deforestation – forest cover – Geobosques



RESUMEN

Actualmente, uno de los problemas ambientales más recurrentes en la Amazonía peruana es la fragmentación de los bosques como consecuencia de la deforestación. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivos cuantificar la cobertura del bosque y demás usos de la tierra, estimar el cambio de la cobertura boscosa y calcular las métricas de fragmentación en cuatro zonas de amortiguamiento de áreas naturales protegidas ubicadas en la región San Martín, Perú durante los años 2017 y 2021. Se utilizó como insumo cartográfico la información espacial de uso y cambio de uso de la tierra proporcionada por Esri Land Cover y la información espacial de bosques y pérdida de bosques de la plataforma Geobosques. Como resultado, se consiguió cuantificar la cobertura boscosa y otros usos de la tierra de las cuatro zonas de amortiguamiento que corresponde a los años 2017 y 2021 con una exactitud temática considerable, teniendo en cuenta que en las cuatro zonas de estudio la cobertura boscosa es la que presenta mayor superficie. En cuanto a la tasa de cambio de bosque a no bosque para la zona de amortiguamiento del Parque Nacional del Río Abiseo fue de -0,71; del Parque Nacional Cordillera Azul fue de -1,30; y para el Bosque de Protección Alto Mayo fue de -1,87; mientras que para la Reserva Nacional Pacaya Samiria la superficie cubierta por bosque se mantuvo constante. Finalmente, las métricas calculadas nos indican que los bosques de las zonas de amortiguamiento de la región San Martín se encuentran moderadamente fragmentados.

Palabras clave: Cambio de uso – cobertura boscosa – conservación – deforestación - Geobosques

INTRODUCCIÓN

Actualmente los paisajes fragmentados como consecuencia de la deforestación se han incrementado enormemente. En un último registro sobre la situación de los bosques a nivel mundial se ha determinado que entre el 2000 y 2020 se ha perdido cerca de 47 millones de ha de bosques primarios, siendo la causa principal la expansión agrícola; que es responsable del 90% de la deforestación a nivel global (FAO, 2022). A nivel nacional, el escenario es similar; 2 921 137 ha de bosque se han perdido entre el 2001 y 2023 (MINAM, 2024), siendo San Martín una de las regiones más deforestadas (Tafur-Anzualdo *et al.*, 2024). Si bien la superficie anual de deforestación en esta región ha disminuido de 39 283 ha en el 2009 a 13 080 ha en el 2021; el ecosistema boscoso ha quedado fragmentado sobre todo en las provincias de Rioja, Moyobamba, Picota y Bellavista.

Una de las vías que ha resultado ser eficiente para conservar los bosques y la biodiversidad son las áreas naturales protegidas (Dwiyahreni *et al.*, 2021). Es ese sentido, el Estado peruano hace denodados esfuerzos para establecerlos. Es así que al 25 de junio del 2024 el Perú cuenta con una superficie total de 248 áreas naturales protegidas con una superficie de 29 732 039,3 ha lo que representa el 17,88% de la superficie terrestre y 7,89% de la superficie del mar peruano respectivamente (SERNANP, 2024). La región San Martín cuenta con diferentes áreas naturales protegidas (ANP) como

parques nacionales (PN): Cordillera Azul y Del Río Abiseo; Bosque de Protección (BP) Alto Mayo áreas de conservación regional (ACR): Cordillera Escalera y Bosques de Shunté y Mishollo así como ocho áreas de conservación privada. A excepción del PN Cordillera Azul que es compartida con otras tres regiones; todas las demás áreas se encuentran en su totalidad dentro de la zona de estudio (SERNANP, 2024).

No obstante, a pesar de la importancia de este ecosistema existe poca información referente a la variabilidad espacio temporal de la vegetación en las adyacentes a estas áreas de conservación, por lo que existe la necesidad de cuantificar en forma continua y sistemática el grado de fragmentación de los bosques de la región San Martín a nivel de las zonas adyacentes a las áreas naturales protegidas. Finalmente, con el avance de nuevas tecnologías en el análisis espacial, actualmente constituyen importantes herramientas digitales que permiten evaluar el comportamiento y las variaciones que ocurren dentro del paisaje boscoso (Martínez & Bollo, 2023).

En este contexto, se planteó como objetivos cuantificar la cobertura boscosa y demás usos de las tierras en las zonas de amortiguamiento (ZA) de las ANP que se encuentran dentro de la región San Martín de los años 2017 y 2021 a partir de información geoespacial proporcionada por Esri® y Geobosque, así como estimar el cambio en la cobertura boscosa y calcular el grado de fragmentación a partir de métrica del paisaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La región San Martín se localiza en la parte nor central del Perú con una superficie total de 5 134 455,69 ha. Políticamente está dividido en 10 provincias y en su territorio se pueden distinguir tres grandes paisajes: por el oeste la cordillera oriental, en la parte central los valles del Alto y Bajo Mayo, así como del Bajo Huallaga y Huallaga Central y en el noreste conformado por la llanura amazónica (GRSM, 2009). Respecto al clima, el

más predominante es el clima tropical con lluvias durante todo el año, esto debido a la presencia de bosques y otros ecosistemas vegetales que se distribuyen ampliamente en toda la región (SENAMHI, 2021).

Insumos cartográficos

Se utilizó como insumos cartográficos información que está a libre disposición en la web, la cual se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos geográficos de la región San Martín y fuentes utilizadas.

| Dato geográfico | Tipo | Fuente |
|-------------------------------------|-----------|------------------|
| Límite departamental | Vectorial | (IGN, 2024) |
| Zonas de amortiguamiento de la ANP | Vectorial | (SERNANP, 2024b) |
| Cobertura y/o uso de la Tierra 2021 | Ráster | (ESRI, 2023) |
| Cobertura y/o uso de la Tierra 2017 | Ráster | (ESRI, 2023) |
| Pérdida de bosques 2001 - 2017 | Ráster | (MINAM, 2024) |
| Pérdida de bosques 2001 - 2021 | Ráster | (MINAM, 2024) |
| Imágenes Planet 2021 | Ráster | (MIDAGRI, 2024) |

Población

Se evaluó al 100 % la cobertura de las ZA del BP Alto Mayo y del Parque Nacional Del Río Abiseo y la

cobertura boscosa de la ZA del PN Cordillera Azul y de la RN Pacaya Samiria que se encuentran dentro de la región San Martín, Perú.

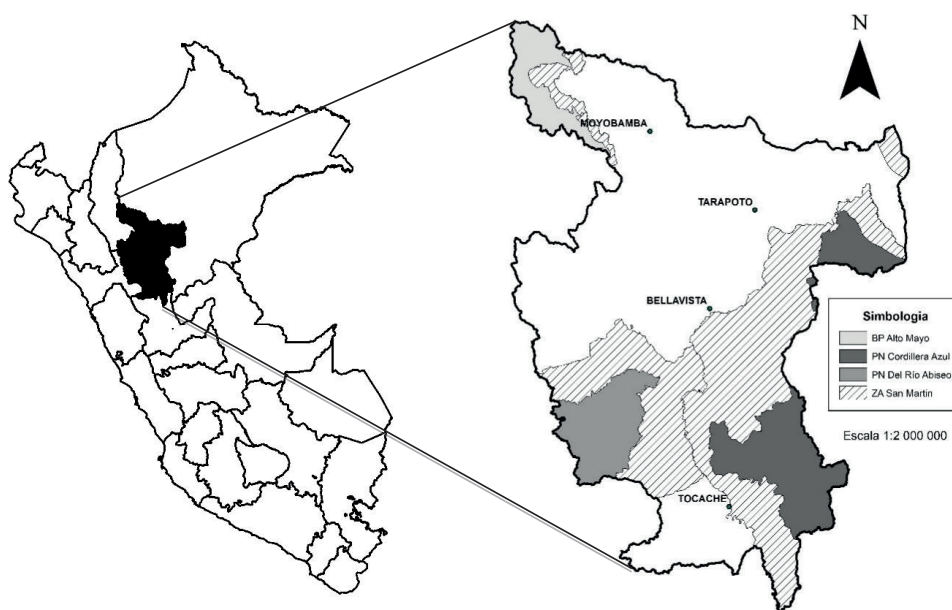


Figura 1. Ubicación política de las ZA de las ANP en la región San Martín, Perú.

Procedimiento

Para el cálculo de las coberturas se utilizó la información procedente de dos fuentes: el mapa de cobertura y/o uso de la tierra de los años 2017 y 2021 proporcionada a nivel global por la empresa Esri (<https://www.arcgis.com>) (Xu *et al.*, 2024) y la información de pérdida de bosques desde 2001 al 2017 y del 2001 al 2021 de la plataforma Geobosques (MINAM, 2024), los datos colectados se convirtieron al formato vectorial (Shapefile) y se fusionaron para calcular las áreas por cada cobertura. Toda la información espacial fue acondicionada en la proyección UTM, zona 18 sur y Datum WGS 1984. Para validar las coberturas boscosas encontradas, se utilizó imágenes Planet que tienen una resolución espacial de 4 m x 4 m realizando un muestreo sistemático en las cuatro ZA, con los datos obtenidos se elaboró una matriz de confusión o tabla de contingencia para calcular la exactitud temática a partir de dos métricas: Índice de Kappa y la exactitud global (MINAM, 2014).

Para calcular los cambios temporales en las coberturas, se calculó las tasas de cambio entre las coberturas y usos de la tierra encontradas en el 2017 vs 2021, utilizando la siguiente fórmula (FAO, 1996):

$$TC = \left\{ \left[\frac{S2}{S1} \right]^{1/n} - 1 \right\} \times 100$$

Donde:

TC = tasa de cambio expresado en porcentaje
 S1 = área en el momento inicial

S2 = área en el momento final

n = diferencia de años entre el momento inicial y final

Para poder analizar la fragmentación en el área de estudio se calculó métricas o índices que son ampliamente empleadas en la Ecología del Paisaje. Se han seleccionado seis métricas que son las más recomendable para examinar la fragmentación de clase o cobertura (Santos & Tellería, 2006). Las métricas se calcularon utilizando la herramienta Patch Analyst del software ArcGIS 10.8.

Aspectos éticos

El presente trabajo cumple con toda la normatividad ética vigente. Los métodos utilizados fueron solamente de observación, lo que no representa ningún riesgo para los ecosistemas estudiados. Se utilizó datos espaciales que son de acceso libre en las diferentes fuentes nacionales y globales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cobertura boscosa y otros usos de las tierras en las ZA de las ANP de la región San Martín de los años 2017 y 2021 a partir de información geoespacial

En la Tabla 2, se muestra los resultados de la matriz de confusión a partir de la cual se obtuvo los valores del índice de Kappa y exactitud global para la cobertura del 2021.

Tabla 2. Matriz de confusión y métricas de exactitud temática calculadas para el 2021.

| Cobertura y uso de la tierra | Imagen Planet | | | | | | Total |
|------------------------------|---------------|-----------|----------|-------|-------------|-------------|-------|
| | Bosque | Veg. Sec. | Cultivos | Jalca | Hidrografía | Poblaciones | |
| Bosque | 40 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 |
| Veg. Sec. | 4 | 44 | 1 | 0 | 0 | 0 | 49 |
| Cultivos | 0 | 2 | 13 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| Jalca | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 15 |
| Hidrografía | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 15 |
| Poblaciones | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 15 |

Exactitud global = 89,8% Índice de Kappa = 0,86 Veg. Sec =Vegetación secundaria

De acuerdo a la clasificación propuesta por Landis & Koch (1997) el valor obtenido en el índice de Kappa es bastante aceptable, esto se debe en parte que se utilizó información geoespacial de cobertura y uso de la tierra proveniente de Esri, que es de alcance global combinada con información local de la plataforma Geobosque que pertenece al Ministerio del Ambiente del Perú. La literatura científica indica que la información de Esri alcanzó valores de exactitud temática bastante aceptable en comparación con otras bases de datos (Xu *et al.*, 2024), el mismo autor menciona que el valor más alto de exactitud global fue del 75% cuando se evaluó a escala global, mientras que en evaluaciones a escala local alcanzó un valor de 78,97% (Chemchaoui *et al.*, 2023). Los especialistas indican, que fusionar diferentes tipos de datos espaciales es recomendado para conseguir mayor fidelidad al momento de cuantificar la cobertura forestal (Puerta *et al.*, 2023).

Respecto a la superficie estimada de la cobertura boscosa y otros usos de la tierra en las ZA de las áreas naturales protegidas de la región San Martín para el año 2017,

se observa que los bosques cubren 1 235 167,86 ha lo que representa el área más extensa en cada una de las cuatro zonas de amortiguamiento, siendo la ZA del PN Cordillera Azul la que presenta menor cantidad de bosque con tan solo 75,80% de su superficie que corresponde a la región San Martín, mientras que la ZA de la RN Pacaya Samiria se mantiene casi intacta con 99,74%. Seguidamente la cobertura más representativa en las zonas de amortiguamiento es la vegetación secundaria a excepción del PN Río Abiseo donde se observó la existencia del ecosistema altoandino jalca que se encuentra ubicada cerca de la cordillera oriental.

Asimismo, se muestra la superficie de otros usos como cultivos siendo el PN Cordillera Azul y BP Alto Mayo los que presentan mayor superficie de área cultivadas por zonas evidentemente agrícolas, mientras que la RN Pacaya Samiria no presenta zona de cultivos. Finalmente, la zonas con poblaciones asentadas, donde se observa a la ZA del BP Alto Mayo que viene liderando con 0,85% (Tabla 3).

Tabla 3. Cobertura boscosa y otros usos de la tierra al 2017 en las ZA de las ANP en la región San Martín, Perú.

| N° | Cobertura | PN Cordillera Azul | | PN Río Abiseo | | BP Alto Mayo | | RN Pacaya Samiria | |
|----|--------------|--------------------|--------------|------------------|--------------|-----------------|--------------|-------------------|--------------|
| | | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % |
| 1 | Bosque | 703012,15 | 75,80 | 430702,92 | 91,42 | 66932,73 | 86,52 | 34520,06 | 99,74 |
| 2 | Jalca | 0,00 | 0,00 | 22452,05 | 4,77 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | Veg. Sec. | 181663,80 | 19,59 | 14494,48 | 3,08 | 7984,00 | 10,32 | 90,00 | 0,26 |
| 4 | Cultivos | 31040,40 | 3,35 | 98,00 | 0,02 | 1478,11 | 1,91 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | Hidrografía | 7659,72 | 0,83 | 2801,85 | 0,59 | 308,72 | 0,40 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | Población | 4131,97 | 0,45 | 599,88 | 0,13 | 657,40 | 0,85 | 0,00 | 0,00 |
| | Total | 927508,04 | 100,0 | 471149,17 | 100,0 | 77360,96 | 100,0 | 34610,06 | 100,0 |

ha = 10 000 m². Veg. Sec. = Vegetación secundaria. PN = Parque Nacional. BP = Bosque de Protección. RN = Reserva Nacional.

Para la segunda evaluación, la superficie estimada de la cobertura boscosa y otros usos de la tierra en las zonas de amortiguamiento de las áreas naturales protegidas de la región San Martín para el año 2021, se puede observar la disminución de la cobertura boscosa en el PN Cordillera Azul de 75,80% en el 2017 hasta los 71,93% en el año 2021; para el caso del PN Río Abiseo se observó que disminuyó el área desde los 91,42% hasta los 88,85% y en el caso del BP Alto Mayo se observa una disminución desde 86,52% hasta los 80,22%, mientras la zona de

amortiguamiento de la RN Pacaya Samira mantuvo su cobertura boscosa. Asimismo, se puede observar que las áreas de hidrografía se han incrementado levemente en cada una de las zonas de amortiguamiento, esto se puede deber que las fuentes de datos espaciales a las que se ha recurrido en la presente investigación, han ido mejorando sus insumos cartográficos para delimitar los lechos de ríos (Tabla 4).

Tabla 4. Cobertura boscosa y otros usos de la tierra al 2021 en las ZA de las ANP de la región San Martín.

| N° | Cobertura | PN Cordillera Azul | | PN Río Abiseo | | BP Alto Mayo | | RN Pacaya Samiria | |
|--------------|-------------|--------------------|---------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % |
| 1 | Bosque | 667115,15 | 71,93 | 418624,49 | 88,85 | 62056,45 | 80,22 | 34515,16 | 99,73 |
| 2 | Jalca | 0,00 | 0,00 | 21613,85 | 4,59 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | Veg. Sec. | 207177,07 | 22,34 | 27075,91 | 5,75 | 11766,13 | 15,21 | 94,90 | 0,27 |
| 4 | Cultivos | 39768,19 | 4,29 | 148,54 | 0,03 | 2366,18 | 3,06 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | Hidrografía | 8009,01 | 0,86 | 2901,63 | 0,62 | 316,31 | 0,41 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | Población | 5438,42 | 0,59 | 784,74 | 0,17 | 855,88 | 1,11 | 0,00 | 0,00 |
| Total | | 927507,84 | 100,00 | 471149,17 | 100,00 | 77360,96 | 100,00 | 34610,06 | 100,00 |

Respecto a la cobertura boscosa y otros usos de la tierra en la zona de amortiguamiento del PN Cordillera Azul ubicada en la zona sureste de la región San Martín, en el cual la transición de bosque a vegetación secundaria en el año 2017 al 2021 es evidente; siendo visible la mayor concentración de superficie deforestada en los distritos: Tocache, Picota y San Rafael; este último está considerado por la plataforma Geobosque como uno de los lugares con mayor concentración de pérdida de bosques a nivel nacional. Esta concentración de superficie fuertemente intervenida ocurre debido que la zona comprendida entre los distritos de San Rafael y Picota las tierras tienen un uso predominantemente agrícola, donde las grandes superficies con cultivo de arroz han reemplazado los bosques. Del mismo modo, pero en la parte sur de la región San Martín, en el distrito de Tocache las plantaciones de palma aceitera se han incrementado, fenómeno que viene ocurriendo desde la década pasada a nivel nacional considerando que la palma aceitera es uno de los cultivos que más ha contribuido con la deforestación en el Perú (Tafur-Anzualdo *et al.*, 2022). Si bien esta zona de amortiguamiento es la de mayor superficie en la región San Martín, también es la que presenta mayor superficie de áreas intervenidas, al encontrarse cerca del eje carretero lo ha vuelto vulnerable ante la ocupación e intervención humana. Las diferentes investigaciones han señalado que uno de los motores directos de la deforestación en la selva peruana es la ejecución de proyectos de infraestructura vial (Dourojeanni, 2022; Tafur-Anzualdo *et al.*, 2024) y la carretera Marginal hoy llamada Fernando Belaúnde Terry no es la excepción, que literalmente parte en dos a la región San Martín.

Por otro lado, la cobertura boscosa y otros usos de la tierra de la zona de amortiguamiento del PN del Río Abiseo en la región San Martín de los años 2017 y 2021, se puede apreciar que es la única zona de amortiguamiento evaluada que cuenta con el ecosistema Jalca ubicada en la parte occidental de la región cerca de la cordillera Oriental; este ecosistema es propio de las zona altoandinas húmedas del Perú y se caracteriza por su vegetación tipo herbazal de hasta 1,5 m de altura entremezclados con arbustos (MINAM, 2018). Las zonas más intervenidas dentro de esta zona de amortiguamiento se encuentran cerca de las localidades de Pachiza, Huicungo y Campanilla por encontrarse próximo al eje carretero donde el cacao es el principal cultivo establecido como monocultivo o bajo sistema agroforestal en asociación con especies maderables. Sin embargo; las áreas próximas al parque han mantenido su cobertura boscosa como consecuencia de iniciativas privadas que han apostado por el establecimiento de concesiones de conservación en la parte norte de la ZA, entre las 42 concesiones destacan las de mayor extensión como: la Asociación de Amazónicos para la Amazonía (AMPA) con 143 928 ha, Asociación de Productores Agropecuarios Huicungo, Asociación de Protección de Bosques Comunes Dos de Mayo – Alto Huayabamba con 113 826 ha, Cooperativa Agraria Acopagro con 108 817 ha entre otros. Mientras en la parte sur de la zona de amortiguamiento de este Parque Nacional, el Gobierno Regional de San Martín ha realizado denodados esfuerzos para establecer el Área de Conservación Regional Bosques de Shunté y Mishollo, que se encuentran ubicada en las provincias Tocache y Mariscal Cáceres y su establecimiento tiene entre otros objetos el de conservar los últimos bosques primarios

que aún se mantienen intactos en la región San Martín (GORESMA, 2020). Igualmente, en la parte suroriental de la ZA los bosques han sido poco intervenidos, esto se puede atribuir que en esta zona el Estado a través del Ministerio de Agricultura en décadas pasadas ha otorgado a empresas privadas por cuarenta años renovables bosques bajo la modalidad de concesiones forestales con fines maderables, que permite a terceros el aprovechamiento sostenible de especies maderables en tierras del Estado con superficies boscosa que van de los 5 000 hasta 40 000 ha, entre las principales empresas se puede mencionar a titulares como: Forestal Cayumba Sac, Robert Germán Gibson Frech, Consorcio Forestal Río Azul entre otros.

Del mismo modo, la cobertura boscosa y otros usos de la tierra de la zona de amortiguamiento del BP Alto Mayo en la región San Martín calculadas para los años 2017 y 2021, al igual que la ZA del PN Cordillera Azul, esta ZA se encuentra fuertemente intervenida, tal es así que el portal Geobosques considera el tramo de la carretera Fernando Belaunde Terry entre Moyobamba y Naranjos una zona de alta concentración de pérdida de bosques. Desde el establecimiento de esta infraestructura vial, los bosques de esta zona han sido fragmentados, en consecuencia se produjeron asentamientos humanos, cacería ilegal y migración de fauna silvestre (Nuñez-Torres *et al.*, 2023). Las condiciones favorables como el relieve plano o poco ondulado han sido propicias para que en esta zona se concentre un numeroso grupo de empresarios agrícolas y puedan establecer de manera mecanizada grandes extensiones de arroz y maíz amarillo predominantemente. Según el Ministerio de Desarrollo

Agrario y Riego del Perú a nivel de la región San Martín, el arroz representa el principal cultivo, liderando con el 33% del total de la superficie agrícola, seguido del café y el cacao (Livia *et al.*, 2021).

Finalmente, la cobertura boscosa y la vegetación secundaria de la zona de amortiguamiento de la RN Pacaya Samiria perteneciente a la región San Martín evaluada para los años 2017 y 2021, como se puede apreciar la cobertura boscosa se ha mantenida casi intacta, esto debido que no existen vías de comunicación cercanas que permitan su accesibilidad, lo que hace que se encuentre distante de las poblaciones humanas. Si bien la RN Pacaya Samiria se encuentra en la región Loreto, se ha podido establecer que la deforestación en esta área natural protegida ha disminuido considerablemente durante el periodo comprendido entre los años 2007 y 2018 en comparación a décadas pasadas y en comparación a otras áreas en el territorio nacional que presentan zonas pantanosas como los aguajales (Marcus *et al.*, 2024). Esto pone de manifiesto que las grandes empresas agrícolas a demás del relieve plano prefieren zonas bien drenadas y sobre todo cerca a las vías de comunicación para establecer sus cultivos.

Cambio en la cobertura boscosa durante los años 2017 y 2021 en las ZA de las ANP de la región San Martín

En la Tabla 5, se muestra el cambio de cobertura boscosa a otro tipo de uso dentro de las zonas de amortiguamiento de las áreas naturales protegidas dentro de la región San Martín.

Tabla 5. Tasa anual de cambio de bosque a otros usos de la tierra.

| N° | Zona de amortiguamiento | Cobertura boscosa (ha) | | Tasa de cambio (%) |
|----|-------------------------|------------------------|-----------|--------------------|
| | | 2017 | 2021 | |
| 1 | PN Cordillera Azul | 703012,15 | 667115,15 | -1,30 |
| 2 | PN del Río Abiseo | 430702,92 | 418624,49 | -0,71 |
| 3 | BP Alto Mayo | 66932,73 | 62056,45 | -1,87 |
| 4 | RN Pacaya Samiria | 34520,38 | 34515,16 | -0,003 |

PN = Parque Nacional. BP = Bosque de Protección. RN = Reserva Nacional

Se aprecia que durante los años 2017 y 2021 fue bastante dinámico para el caso del PN Cordillera Azul, con una tasa anual de cambio de -1,30%; es decir, que en los cuatro años de evaluación se han perdido cerca de 35 897 ha de bosques, mientras que para la zona de amortiguamiento del BP Alto Mayo el cambio de la cobertura boscosa fue mayor con -1,87%.

Evidentemente, los valores estimados de las tasas de cambio en ambas zonas de amortiguamiento se aproximan a los valores encontrados por Bax & Francesconi (2018) quienes estimaron fuera de las áreas naturales protegidas cambios del -2%, mientras Puerta & Iannacone (2023) estimaron tasas de cambio de -2,97% en la zona de amortiguamiento del PN Tingo María, lo que sin duda confirma que las

regiones San Martín, Huánuco y Junín son las afectadas por la deforestación (Bax & Francesconi, 2018).

Por el contrario, durante los años 2017 y 2021 los resultados demostraron que fue un periodo de poco cambiante para las zonas de amortiguamiento del PN del Río Abiseo y la RN Pacaya Samiria, con tasas de cambio de -0,7% y -0,003% respectivamente. Para el primer caso, se debe principalmente a diferentes iniciativas para la conservación de bosques como es el caso de establecimiento de concesiones de conservación en el Perú que han demostrado ser efectivas para reducir

la deforestación y según algunos autores las tasas de deforestación dentro de estas áreas alcanzan solo hasta -1,53% (Giudice & Guariguata, 2023).

Métricas de fragmentación en las ZA de las ANP ubicadas en la región San Martín, Perú

En la Tabla 6, se muestran las métricas del paisaje calculadas a partir de las coberturas boscosas en las zonas de amortiguamiento ubicadas dentro de la región San Martín.

Tabla 6. Métricas del paisaje calculadas para los años 2017 y 2021.

| Zona de amortiguamiento | Métrica | 2017 | 2021 |
|-------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|
| Del PN Cordillera Azul | Superficie boscosa (ha) | 703012,15 | 667115,15 |
| | Número de parches | 7618 | 35972 |
| | Superficie promedio de parche (ha) | 102,16 | 18,54 |
| | Borde total (m) | 32092012,50 | 49418403,07 |
| | Índice de continuidad de Vogelmann | 5,38 | 4,9 |
| | Grado de fragmentación | 0,76 | 0,72 |
| Del PN del Río Abiseo | Superficie boscosa (ha) | 430702,92 | 418624,49 |
| | Número de parches | 1653 | 5053 |
| | Superficie promedio de parche (ha) | 260,55 | 82,84 |
| | Borde total (m) | 7191599,27 | 9915146,13 |
| | Índice de continuidad de Vogelmann | 6,39 | 6,04 |
| | Grado de fragmentación | 0,92 | 0,89 |
| Del BP Alto Mayo | Superficie boscosa (ha) | 66932,73 | 62056,45 |
| | Número de parches | 803 | 1885 |
| | Superficie promedio de parche (ha) | 83,35 | 32,92 |
| | Borde total (m) | 3100564,26 | 4008013,07 |
| | Índice de continuidad de Vogelmann | 5,37 | 5,04 |
| | Grado de fragmentación | 0,87 | 0,81 |
| De la RN Pacaya Samiria | Superficie boscosa (ha) | 34520,06 | 34515,16 |
| | Número de parches | 1 | 1 |
| | Superficie promedio de parche (ha) | 34520,06 | 34515,16 |
| | Borde total (m) | 118337,43 | 110962,09 |
| | Índice de continuidad de Vogelmann | 7,97 | 8,04 |
| | Grado de fragmentación | 0,99 | 0,99 |

PN = Parque Nacional. BP = Bosque de Protección. RN = Reserva Nacional

Se puede apreciar que en la transición de los años 2017 y 2021 las zonas de estudios a excepción de la ZA de Pacaya Samiria han experimentado fragmentación. Las coberturas boscosas han sido divididas a fragmentos más pequeños conocidos como parches; si bien el número de parches durante el tiempo de evaluación se ha incrementado, pero respecto al tamaño han sido disminuidas; y esto es un patrón a nivel global, donde los fragmentos más pequeños del bosque tropical sufren mayor presión en el uso de la tierra y están destinados a convertirse en fragmentos más pequeños (Taubert *et al.*, 2018; Hansen *et al.*, 2020). El caso más asombroso es de la zona de amortiguamiento del PN Cordillera Azul donde el número de parches casi se ha quintuplicado, pasando de una superficie promedio de 102,16 ha por parche a 18,54 lo que definitivamente hace que los fragmentos de encuentren más insularizados o aislados, dificultando su conectividad espacial.

Respecto al borde de los bosques, se ha incrementado considerablemente para el año 2021 en todas las áreas a excepción de Pacaya Samiria, lo que es preocupante porque se estima que para el 2100 se habrá incrementado a 50% el borde de todo el bosque tropical (Fischer *et al.*, 2021). El aumento del borde de los fragmentos del bosque pone en evidencia que más área del bosque se encuentra vulnerable a ser intervenido de alguna u otra forma.

Por otro lado, los valores del índice de continuidad de Vogelmann calculados para las tres primeras zonas de amortiguamiento se han reducido para el 2021, siendo la zona de amortiguamiento del PN Cordillera Azul el que mayor cambio presentó; disminuyendo de un valor de 5,38 a 4,9; lo que hace deducir que los fragmentos de bosques se encuentran menos conectados espacialmente. La continuidad de los ecosistemas como los bosques se considera una pieza clave e la conservación, debido que garantiza en alguna forma la estabilidad y la recuperación del bosque frente a perturbaciones especialmente de tipo antrópico (Crooks & Sajayán, 2006).

Finalmente, considerando las cifras encontradas en el grado de fragmentación, las cuatro zonas de amortiguamiento evaluadas de encuentran dentro de la categoría de fragmentación moderada, sin embargo; la zona de amortiguamiento del PN Cordillera Azul con un grado de fragmentación de 0,72 en el año 2021 se encuentra muy próxima a la categoría de altamente fragmentado. Estas cifras, ponen en clara evidencia que las zonas de amortiguamiento dentro del territorio nacional se encuentran muchas más vulnerables frente a la deforestación ocasionada por la agricultura en comparación con las áreas naturales protegidas (Rojas *et*

al., 2021). Si bien el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado no tiene injerencia directa en las zona de amortiguamiento, se han establecido otras estrategias de conservación con organizaciones de régimen privado dentro de las áreas adyacentes a las áreas naturales protegidas como son las concesiones de conservación, concesiones forestales con fines maderables entre otros, lo que sin duda frena de alguna madera tal como se muestra en la zona de amortiguamiento del PN del Río Abiseo, a diferencia de las zona de PN Cordillera Azul y el BP Alto Mayo donde la agricultura ha arrasado indiscriminadamente con los bosques, por lo que se concluye que algunas de las ZA en la región San Martín se encuentran desprotegidas, lo cual representa un riesgo para la integridad de las áreas naturales protegidas.

Author contributions: CRediT (Contributor Roles Taxonomy)

GCS = Gloria Chavez-Saavedra

RPT = Ronald Puerta-Tuesta

Conceptualization: RPT

Data curation: GCS

Formal Analysis: GCS

Funding acquisition: GCS

Investigation: GCS

Methodology: GCS

Project administration: GCS, RPT

Resources: GCS

Software: GCS, RPT

Supervision: RPT

Validation: GCS, RPT

Visualization: RPT

Writing – original draft: GCS

Writing – review & editing: RPT

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bax, V., & Francesconi, W. (2018). Environmental predictors of forest change: An analysis of natural predisposition to deforestation in the tropical Andes region, Peru. *Applied geography*, 91, 99-110.
- Chemchaoui, A., Brhadda, N., Alaoui, H. I., Souad, E. G., Bouchra, E. A., & Rabea, Z. (2023). Accuracy

- assessment and uncertainty of the 2020 10-meter resolution land use land cover maps at local scale. Case: talassemiane national park, Morocco. *Research Square*, PPR662428.
- Crooks, K., & Sajayán, M. (2006). *Connectivity conservation*. Cambridge University Press.
- Dourojeanni, M. (2022). «¿Es posible detener la deforestación en la Amazonía Peruana?». En A. Castro y M. I. Merino-Gómez (Eds.) *Desafíos y perspectivas de la situación ambiental en el Perú. En el marco de la conmemoración de los 200 años de vida republicana*. INTE-PUCP, pp. 247-285.
- Dwiyahreni, A., Fuad, H., Sunaryo, Soesilo, T., Margules, C., & Supriatna, J. (2021). Forest ESRI -Environmental Systems Research Institute (2023). *Información geoespacial ESRI Land Cover*. <https://www.arcgis.com/apps/instant/media/index.html?appid=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>.
- FAO - Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1996). *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. <http://www.fao.org/3/w0015e/w0015e00.htm>.
- FAO - Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *El estado de los bosques del mundo 2022. Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles*. FAO.
- Fischer, R., Taubert, F., Müller, M., Groeneveld, J., Lehmann, S., Wiegand, T., & Huth, A. (2021). Accelerated forest fragmentation leads to critical increase in tropical forest edge area. *Science advances*, 7, eabg7012.
- Giudice R & Guariguata M. (2023). *Las iniciativas de conservación de bosques en el Perú: Un análisis retrospectivo de su efectividad y una mirada al futuro*. Documentos Ocasionales 240. CIFOR.
- GORESM - Gobierno Regional de San Martín (2020). *Plan Maestro Área De Conservación Regional Bosques De Shunte Y Mishollo 2020 – 2024*. <https://es.scribd.com/document/534014826/Plan-Maestro-Area-de-Conservacion-Regional-Bosques-de-Shunte-y-Mishollo-Para-Revision>.
- GRSM – Gobierno Regional San Martín (2009). *Las potencialidades y limitaciones del Departamento de San Martín: Propuesta de Zonificación Ecológica y Económica como base para el Ordenamiento Territorial*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.
- Hansen, M. C., Wang, L., Song, X. P., Tyukavina, A., Turubanova, S., Potapov, P. V., & Stehman, S. V. (2020). The fate of tropical forest fragments. *Science Advances*, 6, eaax8574.
- IGN – Instituto Geográfico Nacional. (2024). *Geoportal del IGN*: <http://www.idep.gob.pe>.
- Landis, J., & Koch, G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159- 174.
- Livia, L., Sánchez, R., Galiano Uscapi, A., Cajas Ardiles, J., Arévalo Chong, E., & Rosas Quispe, E. (2021). *Atlas de la superficie agrícola del Perú*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. 60 p.
- Marcus, M., Hergoualc'h, K., Coronado, E., & Gutiérrez-Vélez, V. (2024). Spatial distribution of degradation and deforestation of palm swamp peatlands and associated carbon emissions in the Peruvian Amazon. *Journal of Environmental Management*, 351, 119665.
- Martínez, A., & Bollo, M. (2023). *El paisaje. Una mirada a través del análisis espacial*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- MIDAGRI – Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2024). *Herramientas tecnológicas satelitales del Midagri. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias*. https://siea.midagri.gob.pe/portal/gee/index.html?fbclid=IwAR0YqEL0bLpHScPpO9DGNXWbFIVcCuzlW9EBCVgrn6p5DxB5fqSA50_Kxk.
- MINAM – Ministerio del Ambiente de Perú (2018). *Definiciones conceptuales de los ecosistemas del Perú*. 110 p.
- MINAM – Ministerio del Ambiente de Perú (2014). *Protocolo: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación. Dirección General de Ordenamiento Territorial - Lima: Ministerio del Ambiente*. Primera Edición. 13-32p. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2498-evaluacion-de-la-exactitud-tematica-del-mapa-de-deforestacion>.
- MINAM – Ministerio del Ambiente de Perú (2024). *Geobosques: Monitoreo de la pérdida de bosques amazónicos en el año 2022 dentro del territorio peruano*. <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>.
- Nuñez-Torres, A., Arones-Huarcaya, A., & Yarasca-Aybar, C. (2023). Strategies for territorial tourism

- planning in natural protected areas (NPAs): Alto Mayo Protected Forest (BPAM), Peru. *City, Territory and Architecture*, 10, 15.
- Puerta, R., Iannacone, J., & Reátegui, M. (2023). Una revisión del uso de imágenes Sentinel-2 para el monitoreo de la cobertura boscosa a nivel global. *Ingeniería y Competitividad*, 25, 1-14.
- Puerta, R., & Iannacone, J. (2023). Análisis de la cobertura forestal en el Parque Nacional Tingo María (Perú) mediante el algoritmo forestal aleatorio. *Scientia Agropecuaria*, 14, 291 -300.
- Rojas, E., Zutta, B., Velazco, Y., Montoya-Zumaeta, J., & Salvà-Catarineu, M. (2021). Deforestation risk in the Peruvian Amazon basin. *Environmental Conservation*, 48, 310-319.
- Santos, T., & Tellería, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Revista Ecosistemas*, 15, 3-12.
- SEMAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2021). *Climas del Perú. Mapa de clasificación climática nacional*. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1292421>.
- SERNANP - Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (2024a). *Lista Oficial de las Áreas Naturales Protegidas en el Perú actualizado al 26.04.2024*. <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/informes-publicaciones/2560580-listado-oficial-de-las-areas-naturales-protegidas>.
- SERNANP - Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (2024). *GEO ANP Visor de las Áreas Naturales Protegidas*. <https://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/>
- Tafur-Anzualdo, V., Chavez, F., Vega-Guevara, M., Esenarro, D., & Cairo, J. (2024). Causes and Effects of Climate Change 2001 to 2021, Peru. *Sustainability*, 16, 1-22.
- Tafur-Anzualdo, V., Esenarro, D., & Medina, C. (2022). Reflections on the deforestation of the peruvian amazonian forest for agricultural land use, period 2001-2018. *ournal of Mechanical Engineering*, 7, 1345-1355.
- Taubert, F., Fischer, R., Groeneveld, J., Lehmann, S., Müller, M., Rödig, E., Wiegand, T., & Huth, A. (2018). Global patterns of tropical forest fragmentation. *Nature*, 554(7693), 519-522.
- Xu, P., Tsendbazar, N. E., Herold, M., de Bruin, S., Koopmans, M., Birch, T., & Zanaga, D. (2024). Comparative validation of recent 10 m-resolution global land cover maps. *Remote Sensing of Environment*, 311, 114316.

Received November 26, 2024.

Accepted December 26, 2024.