



ARTÍCULO ORIGINAL

Análisis de la fragmentación en la cobertura boscosa en la zona selva de la provincia Marañón, Perú, 2023

Luisa Lora Escalante^{1,a} | Ronald Hugo Puerta Tuesta^{2,b} | Leodan Toribio Dueñas^{2,c}

Filiación Institucional

¹. Proyecto Especial Alto Huallaga, Tingo María, Perú

². Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú

Grado Académico

^a. Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

^b. Doctor en Ingeniería Ambiental

^c. Maestro en Ciencias Económicas Mención: Proyectos de Inversión

Palabras clave:

Análisis espacial,
Fragmentación forestal,
Conectividad ecológica,
Índice Kappa, Métricas del
paisaje.

RESUMEN

La deforestación, degradación y fragmentación de los bosques avanzan a niveles alarmantes, afectando la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas frente a los cambios ambientales. En este contexto, la investigación se desarrolló en la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, Perú, con el objetivo de cuantificar la cobertura y uso del suelo en los años 2003, 2013 y 2023, analizar las variables y determinar la tasa y el grado de fragmentación. Se emplearon imágenes Landsat 5 y Sentinel-2 clasificadas mediante el algoritmo Random Forest en el software SAGA GIS, para lo cual se realizó polígonos de entrenamiento por cada cobertura y uso del suelo y un posprocesamiento en ArcGIS. El modelo alcanzó una exactitud global del 89,6 % y un índice Kappa de 0,86, evidenciando alta confiabilidad. Los resultados mostraron una reducción de 12 276,64 ha de bosque y un incremento de 10 288,61 ha de áreas agrícolas heterogéneas, con una pérdida anual de -0,20% (613,83 ha/año). El paisaje se caracteriza altamente fragmentado, con un índice de 0,73 y 505 parches. Se concluye que el análisis espacial evidencia transformaciones significativas del paisaje y aporta información esencial para el ordenamiento territorial y la planificación sostenible de los recursos naturales.

Analysis of fragmentation in forest cover in the jungle zone of the Marañón province, Peru, 2023

Key words:

Spatial analysis,
Forest fragmentation,
Ecological connectivity,
Kappa index, Landscape
metrics

ABSTRACT

Deforestation, degradation, and fragmentation of forests are advancing at alarming rates, impacting biodiversity and the resilience of ecosystems to environmental changes. In this context, the research was carried out in the jungle region of Marañón province, Huánuco, Peru, with the aim of quantifying land cover and land use in 2003, 2013, and 2023, analyzing the variables, and determining the rate and degree of fragmentation. Landsat 5 and Sentinel-2 images were classified using the Random Forest algorithm in SAGA GIS, with training polygons created for each land cover and land use class, followed by post-processing in ArcGIS. The model achieved a global accuracy of 89,6% and a Kappa index of 0,86, demonstrating high reliability. The results showed a reduction of 12 276,64 ha of forest and an increase of 10 288,61 ha in heterogeneous agricultural areas, with an annual loss rate of -0,20% (613,83 ha/year). The landscape is highly fragmented, with a fragmentation index of 0,73 and 505 patches. It is concluded that the spatial analysis reveals significant landscape transformations and provides essential information for land-use planning and the sustainable management of natural resources.

Citar como: Lora-Escalante, L., Puerta-Tuesta R. H., y Toribio-Dueñas L. Análisis de la fragmentación en la cobertura boscosa en la zona selva de la provincia Marañón, Perú, 2023. Revista de Investigación y Amazonía. 2026, 16(1): <https://doi.org/10.69507/revia.2.16.1.425>



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la deforestación, la degradación y la fragmentación de los bosques continúan a un ritmo alarmante, lo que provoca gravemente la pérdida actual de biodiversidad de flora y fauna. El crecimiento agrícola sigue siendo las principales causas de estos cambios, mientras que la estabilidad de los alimentos y su capacidad para adaptarse a futuros cambios también depende de la biodiversidad. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2020). Entre 2001 y 2023, la región de Huánuco ha perdido 399 654 hectáreas de bosque amazónico, concentradas en las provincias de Puerto Inca, Leoncio Prado y Marañón. Puerto Inca registra la mayor pérdida con 296 489 hectáreas, destacando 20 385 hectáreas en 2005 y 20 036 hectáreas en 2014; en 2023 se perdieron 11 312 hectáreas. Leoncio Prado acumuló 46 039 hectáreas perdidas, con un máximo de 2 964 en 2014 y 2 485 en 2023. Marañón reportó 26 669 hectáreas, con picos de 1 839 y 1 691 hectáreas en 2014 y 2015 respectivamente, y 1 149 hectáreas en 2023 (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2023).

En la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, la principal causa de deforestación es la expansión de la frontera agrícola, impulsada por el establecimiento de cultivos como el arroz y palma aceitera. Este proceso ha generado un impacto significativo en el ecosistema boscoso, causando que la flora y fauna se vean severamente afectado.

En este contexto se formula la siguiente interrogante: ¿Cuál es el grado de fragmentación en la cobertura boscosa al año 2023 en la zona selva de la provincia Marañón, Huánuco, Perú? Al respecto podemos afirmar que la cobertura boscosa se encuentra fuertemente fragmentado al año 2023. Así que, la importancia de este ecosistema radica en su alto valor ecológico, ya que alberga una notable biodiversidad y cumple funciones clave en la regulación del clima, la conservación del suelo y la disponibilidad de agua. Sin embargo, en las últimas décadas, las actividades humanas como la expansión agrícola, la ganadería y los asentamientos han provocado una creciente fragmentación del bosque. Por ello, resulta fundamental cuantificar el grado de fragmentación para entender la magnitud del impacto.

Por último, mediante la presente investigación se pretende, analizar y monitorear los cambios en la cobertura boscosa a lo largo del tiempo utilizando datos obtenidos de satélites. Asimismo, contribuir al conocimiento y comprensión de los patrones, causas

y consecuencias de la deforestación, con el fin de apoyar la conservación y la gestión sostenible de los bosques en el país.

METODOLOGÍA

Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en la provincia Marañón, con una superficie total de 494 930,63 ha de las cuales 415 575,76 ha son de la zona selva, encontrándose en la región natural de selva alta, a una altitud desde 800 hasta 4 800 m s.n.m y con la temperatura promedio de 18 °C, la temperatura máxima es 28 °C y la temperatura mínima promedio es 6 °C.

Cuantificación de la cobertura y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023 en la zona selva de la provincia Marañón

a. Recopilación de información cartográfica

En esta parte se comenzó recopilando información cartográfica acerca de la zona selva de la provincia Marañón, desde datos que contengan información espacial como vías, ríos, área de conservación, bosque de producción permanente, ecosistemas frágiles, concesiones forestales con fines maderables, centros poblados y límites políticos administrativos, entre otros.

b. Descarga de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales de Landsat 5 (2003), Landsat 8 (2013) y Sentinel-2 (2023) que fueron descargadas de la plataforma Google Earth Engine y PlanetScope, priorizando que las imágenes estén con mínima nubosidad (<10%). Asimismo, se seleccionaron imágenes de fechas similares dentro de la época seca, para evitar variaciones estacionales. Además, se consideró la resolución espacial, utilizando 30 m (Landsat), 10 m (Sentinel-2) y 3.8 m (PlanetScope), lo que permitió una mayor exactitud en la identificación.

c. Clasificación de las imágenes satelitales

Para ello, se llevó a cabo una clasificación supervisada empleando el software SAGA GIS, de acuerdo con lo propuesto por Conrad et al. (2015). Para este proceso se utilizó el algoritmo Random Forest con el objetivo de agrupar las áreas que presentaban similitudes espectrales. A cada uno de estos grupos se les asignó una clase específica de cobertura y uso del suelo. Basándose en la metodología de CORINE Land Cover adaptada para Perú (Tabla 1), tomando como referencia y establecida por MINAM (2014).

Tabla 1. Categorías identificadas para la investigación.

CORINE Land Cover adaptada para el Perú			
Nivel I	Nivel II	Nivel III	CUS
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Zonas Urbanas (ZU)
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
2. Áreas agrícolas	2.3. Pasto	2.3.1. Pasto limpio	Pasto (P)
		2.3.2. Pastos arbolados	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.3.3. Pasto enmalezado	Áreas Agrícolas Heterogénea (AAH)
		2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	Bosque (BO)
		3.1.2. Bosque abierto bajo	
		3.1.3. Bosque denso alto	
		3.1.4. Bosque abierto alto	
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	Vegetación secundaria (VS)
		3.3.2. Afloramientos Rocosos	Afloramientos Rocosos (AR)
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	Cuerpos de agua (CA)

d. Corrección topológica y verificación de campo

Las correcciones, son cruciales para eliminar errores durante la conversión de datos ráster a vector, se eliminan los polígonos menores a 3 hectáreas, excepto en zonas urbanas (menores a 0.5 hectáreas), ya que corresponden a centros poblados. Este procedimiento mejora la calidad de la clasificación, reduciendo errores topológicos en los mapas de 2003, 2013 y 2023. La verificación de campo se realizó utilizando la red vial para identificar áreas accesibles, con la ayuda de puntos de control GPS, se corrigiendo las áreas de uso y se validaron mediante un clasificador supervisado, asegurando la precisión de la clasificación.

- Determinación de los cambios de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 - 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Marañón

a. Matriz de transición

Falcón (2014) señala que estas matrices se generan al superponer al menos dos mapas de diferentes fechas, y luego se analizan en una estructura matricial. Este enfoque permite una identificación eficiente de los cambios entre las distintas categorías. La matriz se organiza de tal manera que las categorías de la fecha inicial (t1) se ubican en las filas, mientras que las categorías de la fecha final (t2) se colocan en las columnas. Como resultado, solo la diagonal de la matriz muestra la cantidad total que permanece constante, el resto de la matriz representa todas las posibles combinaciones de intercambio entre las categorías.

- Determinación de la tasa de cambio de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 – 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Marañón

Se realizó calculando la tasa de cambio entre dos periodos de estudio utilizando la fórmula establecida por la FAO (1996):

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

Dónde: tc = tasa de cambio (en expresada en porcentaje), S1 = superficie en la fecha inicial, S2 = superficie en la fecha final, n = diferencia de años entre fecha inicial y final.

- Estimación del grado de fragmentación de la cobertura boscosa al año 2023 en la zona selva de la provincia Marañón

a. Análisis de paisajes

Se utilizó el software Fragstats v4.2 para realizar un análisis cuantitativo del paisaje, abordando dos enfoques: uno considera el paisaje natural como una unidad integral en la zona de estudio, y el otro se enfoca en su composición, analizando las categorías que lo conforman (McGarigal, 2015).

Las métricas utilizadas se aplicaron en ambos enfoques del análisis. Para analizar la estructura espacial en términos de fragmentación y conectividad, se seleccionaron 5 métricas, a nivel del paisaje y por clase:

- Número de parche (NP)

Representa la cantidad total de fragmentos individuales de una misma clase de cobertura dentro del paisaje. Esta métrica no proporciona información sobre el tamaño o ubicación, sino es el indicador básico del nivel del fragmento y se utiliza como base para calcular otras métricas más complejas.

- Índice de forma media (SHAPE)

Se utilizó para evaluar la complejidad de los fragmentos de cobertura boscosa dentro del área de estudio, en el contexto del análisis de fragmentación, propuesto

por Patton (2007), permitiendo comparar la forma real de los parches con una forma geométrica estándar, se aplica la ecuación:

$$DI = \frac{P}{2 * \sqrt{3.1416} * \sqrt{A}}$$

Donde: A= Área de cada fragmento (m²), P= Perímetro de cada fragmento (m)

- Distancia euclidiana al vecino más cercana (ENN)

Esta métrica se refiere a la distancia entre el centro de un parche y el centro del parche más próximo, sin importar si pertenece a la misma clase de cobertura. Es un indicador clave para evaluar el grado de aislamiento entre fragmentos de hábitat, lo cual influye directamente a la dinámica de las poblaciones y en la conservación de especies en riesgo.

- Índice fractal medio (FRAC_MN)

Es una métrica utilizada para evaluar la complejidad de los bordes y la forma de los fragmentos de un paisaje. Describe cuán irregular o complejos son los bordes de los fragmentos en relación con una forma geométrica estándar (Lozano et al., 2011). Se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$FRAC = \frac{2 \cdot \ln(P)}{\ln(A)}$$

Los resultados se compararon con la siguiente tabla:

- Grado de fragmentación

Luego, se procedió a estimar el grado total de fragmentación del bosque, según Díaz (2009), se calculó la relación entre el área total del bosque y el área total fragmentada utilizando la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\text{área de bosque (ha)}}{\text{área total (ha)}}$$

Los resultados se compararon con la siguiente tabla:

- Población y Muestra

La población del estudio corresponde a la provincia Marañón, región de Huánuco, conformado por cinco distritos. La muestra se centró en la zona selva de la provincia, abarcando los distritos de Cholon, La Morada y Santa Rosa de Alto Yanajanca. Debido a su alta representatividad ecológica y su elevada cobertura boscosa. Al analizar el 100% de esta área, se aplicó un enfoque censal sobre la muestra definida.

RESULTADOS

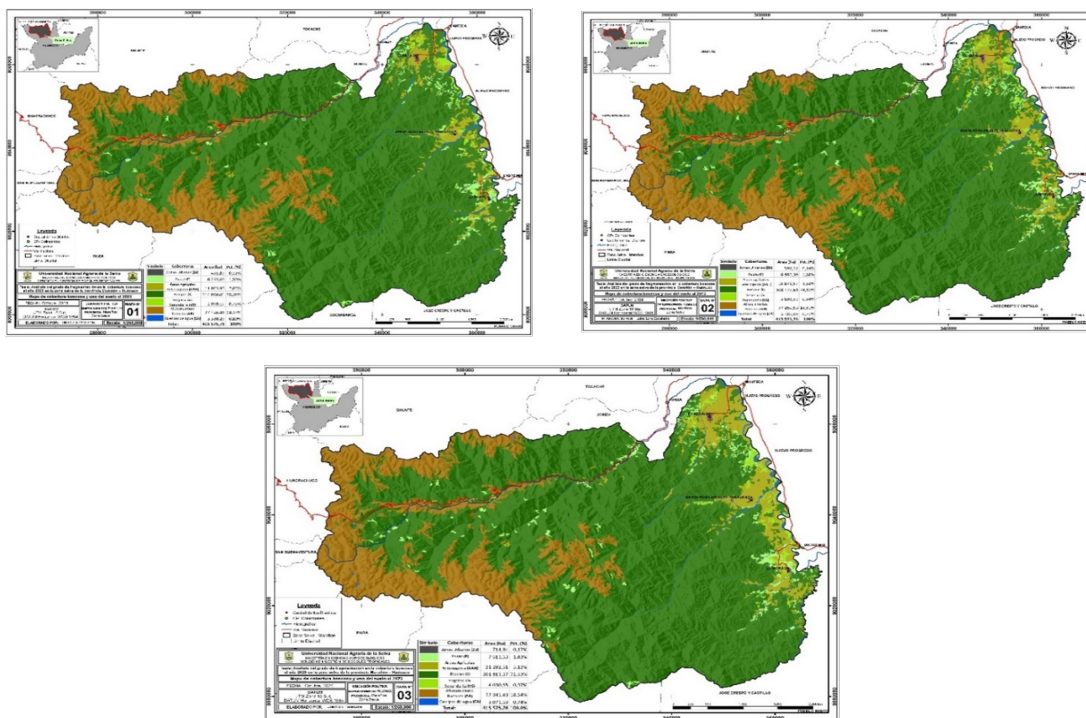
- Cobertura y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023.

En 2003, Bosque fue la cobertura dominante con 314 090,01 ha, seguido por Áreas Agrícolas Heterogéneas con 11 003,90 ha, y las zonas urbanas eran mínimas, con solo 451,87 ha. Seguido del 2013, Bosque disminuyó a 308 177,61 ha, mientras las Áreas Agrícolas Heterogéneas aumentaron a 15 872,57 ha y las Zonas Urbanas crecieron en 597,32 ha. Finalmente, para 2023, Bosque continuó su descenso con 301 813,37 ha. Las Áreas Agrícolas Heterogéneas se expandieron en 21 292,51 ha, mientras que las Zonas Urbanas aumentaron a 714,84 ha. Por lo tanto, entre 2003 y 2023, la cobertura forestal en la zona selva disminuyó del 75,58% al 72,63%, indicando pérdida de los bosques (Tabla 2).

Tabla 2. Cobertura y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023.

ID	Ctg.	Cobertura y uso del suelo	Año 2003		Año 2013		Año 2023	
			Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
1	ZU	Zonas Urbanas	451,87	0,11%	597,32	0,14%	714,84	0,17%
2	P	Pasto	6 253,65	1,50%	6 985,09	1,68%	7 611,53	1,83%
3	AAH	Áreas Agrícolas Heterogénea	11 003,90	2,65%	15 872,57	3,82%	21 292,51	5,12%
4	B	Bosque	314 090,01	75,58%	308 177,61	74,16%	301 813,37	72,63%
5	VS	Vegetación Secundaria	2 999,19	0,72%	3 502,39	0,84%	4 030,55	0,97%
6	AR	Afloramientos Rocosos	77 456,88	18,64%	77 250,50	18,59%	77 041,40	18,54%
7	CA	Cuerpos de agua	3 320,27	0,80%	3 189,88	0,77%	3 071,53	0,74%
Total:			415 575,76	100,00%	415 575,76	100,00%	415 575,76	100,00%

Figura 1. Mapa de cobertura boscosa y uso del suelo de los años 2003, 2013 y 2023.



Para validar el mapa de cobertura y uso del suelo del 2023, se presenta la Tabla 3, donde se calculó el número de cada área de referencia en función de su superficie total. La evaluación muestra una precisión global del 89,6% y un índice Kappa de 0,86, lo que

indica una alta concordancia entre el mapa generado y los puntos de referencia validados en campo, estos resultados reflejan la confiabilidad del proceso de clasificación.

Tabla 3. Matriz de confusión de la cobertura boscosa y uso del suelo del 2023.

Resultado de validación de campo										
Ctg.	ZU	P	AAH	B	VS	AR	CA	Total	Exactitud usuario	Error de omisión
Resultados de clasificación	ZU	9	1	0	0	0	0	10	0,9	0,1
	P	0	10	0	0	0	0	10	1	0
	AAH	0	1	44	0	0	0	45	0,98	0,02
	B	0	2	0	17	0	0	19	0,89	0,11
	VS	0	0	0	2	7	0	9	0,78	0,22
	AR	0	0	0	0	0	9	9	1	0
	CA	0	0	0	3	3	0	8	0,57	0,43
	Total	9	14	44	22	10	9	8	116	
Exactitud, productor	1	0,71	1	0,77	0,7	1	1	Exactitud Global= 89,6 %		
Error omisión	0	0,29	0	0,23	0,3	0	0	Índice Kappa = 0,86		

- Cambios de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2023

a. Matriz de transición del periodo 2003-2023.

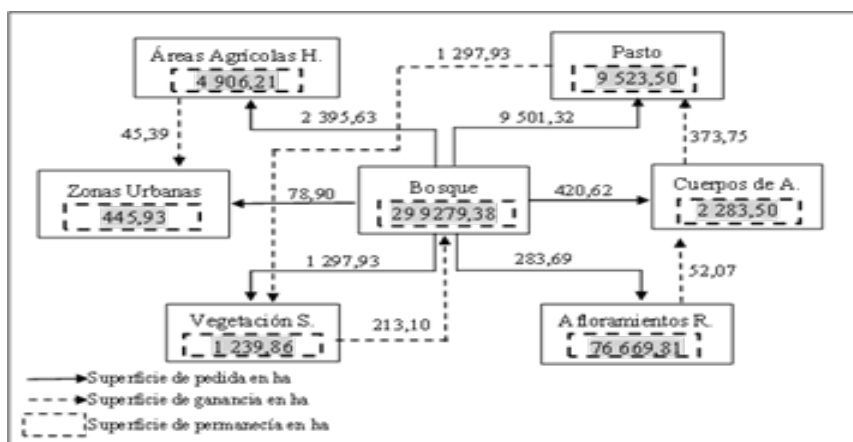
La Tabla 4 y Figura 2 presenta la matriz de transición para el periodo 2003-2023, expresada en hectáreas. Detallando las pérdidas y ganancias en distintas categorías, ilustrando cómo las áreas han cambiado durante este periodo de 20 años. La diagonal de la matriz representa las áreas que no han sufrido cambios, mientras que los valores fuera de la diagonal reflejan las transiciones entre categorías.

La mayor pérdida de cobertura se dio en Bosque con 14 810,47 ha, seguido de Pasto con 1 480,39 ha y la Vegetación Secundaria con 1 759,33 ha. En contraste, los Pastos tuvieron la mayor ganancia con 11 768,99 ha seguido de las Agrícolas Heterogéneas con 2 705,32 ha y la Vegetación Secundaria con 2 790,68 ha. Las Zonas Urbanas crecieron moderadamente en 268,90 ha, mientras que los Afloramiento Rocosos y los Cuerpos de Agua tuvieron ligeras ganancias con 371,59 ha y 787,97 ha, respectivamente.

Tabla 4. Matriz de pérdidas y ganancias del periodo 2003-2023.

	2023							Área total 2003 (ha)	Pérdida	
	Ctg.	ZU	AAH	P	B	VS	AR			CA
2003	ZU	445,93	0,00	1,47	0,81	3,64	0,00	0,00	451,87	5,94
	AAH	45,39	4 906,21	594,52	594,16	78,76	27,99	6,62	6 253,64	1 347,43
	P	131,46	133,93	9 523,50	688,82	374,84	7,43	143,90	11 003,89	1 480,39
	B	78,90	2 395,63	9 501,32	29 9279,38	2 130,31	283,69	420,62	314 089,85	14 810,47
	VS	12,56	43,76	1 297,93	213,10	1 239,86	0,42	191,56	2 999,19	1 759,33
	AR	0,59	70,24		690,97		76 669,81	25,27	77 456,88	787,07
	CA	0,00	61,75	373,75	346,01	203,13	52,07	2 283,50	3 320,20	1 036,71
Área total 2023 (ha)	714,84	7 611,53	21 292,50	30 1813,26	4 030,53	77041,40	3 071,47		415 575,76	
Ganancia	268,90	2 705,32	11 768,99	2 533,88	2 790,68	371,59	787,97			

Figura 2. Representación de cambio de cobertura y uso suelo del 2003-2023.



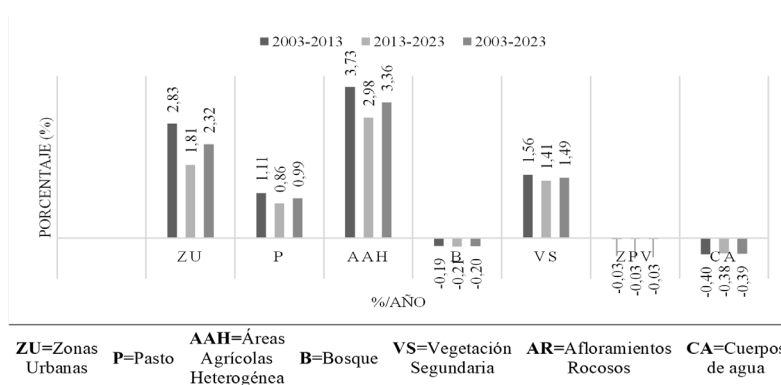
- Tasa de cambio de cobertura y uso del suelo para los periodos 2003 – 2013, 2013 – 2023 y 2003 – 2023 en la zona selva de la provincia Maraón

Al calcular la tasa de cambio porcentual y la media anual en hectáreas, se observan importantes variaciones en la cobertura y uso del suelo en la zona selva. Un valor negativo indica una reducción en la cobertura, mientras que un valor positivo refleja un incremento. Durante los 20 años evaluados, las Zonas Urbanas muestran un crecimiento de 13,15 ha/año, los Pastos y Vegetación Secundaria también presentan un incremento de 67,89 y 51,57 ha/año

respectivamente, mostrando un aumento moderado. Igualmente, las Áreas Agrícolas Heterogéneas se expandieron considerablemente, alcanzando un crecimiento de 514,43 ha/año, lo que indica la creciente intensificación agrícola.

Por lo tanto, Bosque sufrió la mayor pérdida, con una reducción promedio de 613,83 ha/año, los Afloramientos Rocosos experimentaron una ligera disminución, equivalente a una pérdida de 20,77 ha/año. De igual manera, los Cuerpos de Agua también mostraron una reducción, perdiendo 12,44 ha/año en promedio (**Figura 3**).

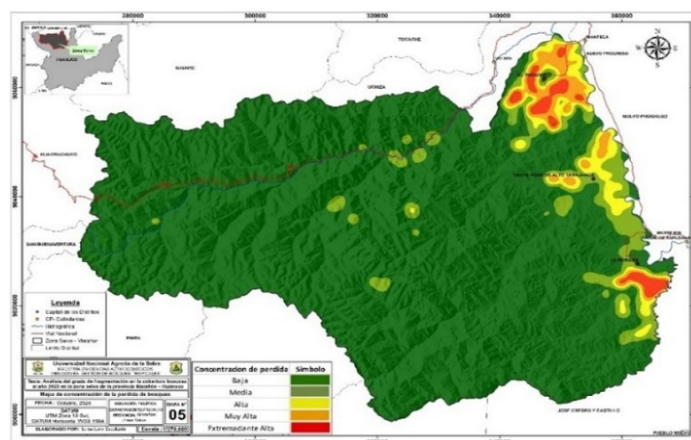
Figura 3. Representación de cambio de cobertura y uso suelo del 2003-2023.



La Figura 4 muestra la concentración de pérdida de bosques en la zona selva. Las áreas afectadas se categorizan en cinco niveles: baja, media, alta, muy alta y extremadamente alta, representados por una

escala cromática que va del verde (pérdida baja) al rojo (pérdida extremadamente alta), permitiendo identificar visualmente la severidad de la deforestación en distintas zonas.

Figura 4. Mapa concentración de la perdida de bosques al año 2023.



- Grado de fragmentación de la cobertura boscosa al año 2023 en la zona selva de la provincia Marañón

Según las métricas obtenidas durante el análisis, el grado de fragmentación es de 0,73 y con 505 parches, clasificándolo como altamente fragmentada, además el índice de forma media es de 2,41 indicando que los parches presentan formas amorfas en los

bordes, mientras que el índice medio fractal de 1,13 sugiriendo irregularidad en los bordes de los fragmentos. Finalmente, la distancia promedio al vecino más cercano fue de 102,42 metros, evidenciando una mayor proximidad entre fragmentos, aunque la conectividad del paisaje forestal sigue siendo limitada debido al alto nivel de fragmentación (**Tabla 5**) y (**Figura 5**).

Tabla 5. Fragmentación y métricas de la cobertura boscosa al año 2023.

Métricas	Símbolo	Resultados	Descripción
Grado de fragmentación		0,73	Altamente fragmentado
Número de parches	NP	505	Total, de parches
Índice de forma media	SHAPE_MN	2,41	Amorfo o irregular
Media Fractal	FRAC_MN	1,13	Moderadamente irregulares
Distancia euclidiana al vecino más cercano	ENN_MN	102,42 m	Distancia entre el centro de un parche y al más cercano

Fuente: McGarigal y Cushman (2002)



Figura 5. Fragmentación en imagen satelital y aéreas.

DISCUSIÓN

- De acuerdo con MINAM (2023), entre los años 2001 y 2023, la región Huánuco ha experimentado pérdida en su cobertura forestal, acumulando una disminución de 399 654 ha de bosque amazónico y en el distrito de Marañón con una pérdida total de 26 669 ha. Esta reducción se debe principalmente a las actividades humanas que modifican la cobertura terrestre, como la ocupación ilegal de terrenos y el cambio en el uso del suelo. Asimismo, GOREHCO (2021), posee una elevada concentración de bosques húmedos, que son principalmente utilizados para la explotación maderable, aunque también se observa una pequeña área de bosque primarios. Esta realidad indica la riqueza natural de la región y al mismo tiempo, la creciente presión ejercida por las actividades humanas sobre estos ecosistemas, lo cual refleja también las pérdidas de bosque identificadas en esta investigación.

Finalmente se identificó que las principales causas de la pérdida y deterioro de la cobertura vegetal, en la provincia Marañón están asociadas al cultivo de pasto para animales, la expansión de cultivos comerciales como la palma aceitera y arroz, la agricultura migratoria y la explotación maderables para fines comerciales (GOREHCO, 2021). Teniendo concordancias con los resultados de la investigación, dado que las categorías como áreas agrícolas heterogéneas y pasto, presentaron una expansión significativa durante el periodo de análisis. Estas actividades no solo impulsan la deforestación, sino que también intensifica la fragmentación del paisaje y afectando la conectividad de los ecosistemas.

- Cabe mencionar que, Pontius et al. (2004) refiere que las matrices de transición son esenciales para analizar cambios en el uso del suelo, cuantificando pérdidas, ganancias y áreas sin cambios. Estas matrices permiten identificar patrones y dinámicas como la conversión de bosques a tierras agrícolas o urbanas, brindando una visión integral del paisaje. Adicionalmente, Smith (2023) señala que las matrices de transición para el periodo 2000-2020 mostraron una pérdida de 817 13 ha de bosque y un incremento de 440 03 ha en áreas agrícolas. Estas transiciones indica el avance de la frontera agrícola y la reducción de áreas forestales. Los datos se obtuvieron utilizando simulaciones con Dinámica EGO, que también proyectaron escenarios futuros con variaciones significativas en estas categorías bajo diferentes escenarios de manejo.

Finalmente, Lora (2023) indica que las matrices de transición para el periodo 2000-2022, identificando la conversión de 28 223,43 ha de bosque hacia usos de no bosque, principalmente actividades agrícolas, mientras que las áreas con vegetación secundaria se incrementaron en 5 412 ha.

Este análisis sirvió de base para proyecciones al

2032, evidenciando un aumento constante de la deforestación bajo escenarios tendenciales. Concluyendo que, los resultados obtenidos en esta investigación reflejan una dinámica acelerada de deforestación y conversión de usos del suelo, reforzando y concordando la idea de que las actividades humanas continúan siendo el principal motor del cambio en el uso del suelo, con impactos significativos en la cobertura forestal.

- De acuerdo, con el 2019 Huánuco reportó una pérdida de 16 560 ha de cobertura vegetal, con el bosque húmedo representando el 41,2% de su territorio total. Además, entre 2005 y 2015, la cobertura vegetal de la región mostró un impacto progresivo de desertificación, alcanzando un 3,39% en 2005, 4,63% en 2009 y 6,25% en 2015, con una tasa acumulada de 1,43. Las pérdidas forestales, que generan el 51% del cambio de uso del suelo, son principalmente el resultado de actividades ilegales e informales, migración, pobreza y expansión no planificada (MINAM, 2019). De manera similar, Chahua (2019) estudió la deforestación entre 2006 y 2018. La tasa más alta se observó en el periodo 2014-2018, con 176,8 ha/año, seguida por 2006-2010 con 140,4 ha/año y 2010-2014 con 39,78 ha/año. En total, para 2018 se identificaron 8 366,33 ha deforestadas, representando el 54,91% del área del distrito.

Por otra parte, Fajardo (2023) analizó la deforestación entre 2016 y 2022. La tasa anual de deforestación se estimó en 368,63 ha/año, con un incremento de la superficie deforestada de 3 284,59 ha en 2016 a 5 440,23 ha en 2022. Este análisis utilizó algoritmos de clasificación supervisada, destacando el método Random Forest como el más efectivo. Los resultados obtenidos en la zona selva de la provincia Marañón, evidencian patrones de cambio en la cobertura y uso del suelo que concuerdan con las tendencias observadas en las investigaciones mencionadas pertenecientes a otras regiones de Huánuco y la Amazonía peruana.

- Comparando estos resultados con otros estudios, Puerta (2023) señaló que los bosques en el Parque Nacional Tingo María (PNTM) presentan una fragmentación moderada (0,942), mientras que las zonas de amortiguamiento muestran una fragmentación severa (0,659). En conclusión, el área natural protegida ha logrado mantener la cobertura vegetal, a pesar de las presiones externas. Adicionalmente, Alarcón. (2019) subrayan que la fragmentación altera la estructura y composición de la cobertura forestal, provocando el aislamiento de poblaciones y afectando la capacidad adaptativa de los ecosistemas frente al cambio climático. En este contexto, los valores obtenidos en este análisis reflejan un entorno donde las dinámicas humanas han fragmentado significativamente el paisaje, comprometiendo su funcionalidad ecológica.

Finalmente, se concluye que la fragmentación del paisaje en la zona estudiada refleja una fuerte

influencia de actividades humanas, evidenciando un alto grado de transformación del paisaje natural hacia uno más antropizado. Los resultados obtenidos coinciden con investigaciones mencionadas, al mostrar formas irregulares en los parches, conectividad limitada y pérdida de hábitat. Este patrón reafirma la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible y conservación para mitigar los impactos negativos y restaurar la funcionalidad ecológica del paisaje.

CONCLUSIONES

- La cobertura predominante en la zona selva, es la categoría de bosque, la cual se reduce de 314 090,01 ha (75,58%) en 2003 a 301 813,37 ha (72,63%) en 2023. En contraste, las áreas agrícolas heterogéneas aumentaron de 11 003,90 ha (2,65%) a 21 292,51 ha (5,12%), y las zonas urbanas crecieron de 451,87 ha (0,11%) a 714,84 ha (0,17%).

- Entre 2003 y 2023 se observa un aumento significativo de áreas agrícolas heterogéneas (10 288,61 ha), así como pastos (1 357,89 ha) y vegetación secundaria (1 031,36 ha). Además, la cobertura bosque disminuyó en 12 276,64 ha, los afloramientos rocosos y cuerpos de agua disminuyeron 415,47 ha y 248,74 ha respectivamente, evidenciando la pérdida de ecosistemas forestales.

- Entre 2003 y 2023, se muestra un crecimiento en las áreas agrícolas heterogéneas con 3,36% anual (514,43 ha/año) mientras que zonas urbanas y pasto con 2,32% y 0,99% anual. Así mismo, la pérdida de bosque a una tasa de -0,20% anual (613,83 ha/año), los afloramientos rocosos y los cuerpos de agua también disminuyeron levemente en -0,03% y -0,39% anual.

- La cobertura boscosa al año 2023 revela un paisaje altamente fragmentado, con un índice de fragmentación de 0,73 y 505 parches identificados. Por lo tanto, las métricas indican que los bordes de los parches presentan formas amorfas y una irregularidad moderada.

REFERENCIAS

- Alarcón, L. (2019). *Análisis de fragmentación y conectividad ecológica entre relictos de cobertura vegetal asociada al área de influencia del río Cravo Sur en el municipio de Yopal – Casanare, Colombia* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13547/1118528923.pdf>
- Alegre, K. (2017). *Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos durante los años 1997–2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/10803/Alegre_VKV.pdf
- Bodo, T., Gimah, B., & Seomoni, K. (2021). Deforestation and habitat loss: Human causes, consequences and possible solutions. *Journal of Geographical Research*, 2(2). <https://ojs.bilpublishing.com/index.php/jgr/article/view/3059/2908>
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., & Böhner, J. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, 8, 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>
- Chahua, M. (2019). Análisis de la deforestación en el periodo 2006–2018 del distrito Daniel Alomía Robles – Huánuco [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/>
- Díaz, L. (2009). *Instrumentos para la planificación integral del uso de la tierra con sistemas de información geográfica* [Tesis doctoral, Universidad Humboldt de Berlín]. <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/15413>
- Fajardo, G. (2023). *Análisis de la deforestación de los años 2016 y 2022 en el distrito Castillo Grande, Huánuco, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/63f54530-cac6-41f5-a962-81b447be9ed8/content>
- Falcón, G. (2014). *Dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo en una región del estado de Quintana Roo – México* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional UNAM. <http://132.248.9.195/ptd2014/enero/0707773/Index.html>
- Gobierno Regional de Huánuco – GOREHCO. (2021). *Estrategia y plan de acción regional de la diversidad biológica de la región Huánuco al 2021*. <https://declaracion.gob.pe/ASSETS/PLANGOBIERNO/FILE-PLANGOBIERNO/12978.pdf>
- Lozano Botache, L., Gómez Aguilar, F., & Valderrama Chaves, S. (2011). Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima, Colombia. *Tumbaga*, 1(6), 125–140.
- Lora, E. (2023). *Simulación geoespacial de la deforestación al año 2032 en el distrito Padre Abad – Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/handle/unas/tesis_padreabad2023
- McGarigal, K. (2015). *Fragstats help. Fragstats*. https://www.researchgate.net/profile/Samuel-Cushman-2/publication/259011515_FRAGSTATS_Spatial_pattern_analysis_program_for_categorical_maps

- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2023). *GeoBosques: Sistema de monitoreo de la cobertura de los bosques del Perú*. <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2014). *Protocolo: Evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación*. Dirección General de Ordenamiento Territorial. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2498-evaluacion-de-la-exactitud-tematica-del-mapa-de-deforestacion>
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2019). *Cobertura y deforestación en los bosques húmedos amazónicos 2018. Reporte de Geobosque*. <http://www.bosques.gob.pe/archivo/Apuntes-del-Bosque-N1.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – FAO & PNUMA. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020*. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. (1996). *Forest resources assessment 1990: Survey of tropical forest cover and study of change processes*. <http://www.fao.org/3/w0015e/w0015e00.htm>
- Patton, D. R. (2007). A diversity index for quantifying habitat edge. *Wildlife Society Bulletin*, 3, 171–173. <https://www.jstor.org/stable/3781336>
- Pontius, G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 34(9), 612–616.
- Puerta, T. (2023). *Análisis de la cobertura boscosa en el parque nacional Tingo María – Perú utilizando algoritmos de inteligencia artificial* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio UNFV. https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/6956/UNFV_EUPG_Puerta_Tuesta_Ronald_Hugo_Doctorado_2023.pdf
- Smith, P. (2023). *Simulación geoespacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la microcuenca Supte, distrito Rupa Rupa – Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/23874be5-31ed-46ba-a911-15226e33a67d/content>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR. (2019). *Ficha técnica: Pajonal de puna húmeda Yanajanca*. Ministerio de Agricultura y Riego. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1721152/FT-HCO-05_Pajonal_de_Puna_H%C3%BAmeda_-_Yanajanca.pdf
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. (2024). *Portal institucional*. <https://www.senamhi.gob.pe>
- Vargas, G. E. (2002). *Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Correspondencia:

Luisa Lora Escalante

correo: luisa.lora@unas.edu.pe ✉

Ronald Hugo Puerta Tuesta

correo: ronald.puerta@unas.edu.pe ✉

Leodan Toribio Dueñas

correo: leodan.toribio@unas.edu.pe ✉**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Fuentes de Financiamiento:

El estudio no recibió financiamiento externo.

Contribución de los autores:

LLE (autor principal):

Conceptualización del estudio, diseño metodológico, recopilación y procesamiento de información cartográfica, descarga y selección de imágenes satelitales (Landsat y Sentinel-2), clasificación supervisada mediante algoritmo Random Forest en SAGA GIS, posprocesamiento en ArcGIS, análisis de cambios de cobertura, cálculo de métricas de fragmentación en Fragstats, interpretación de resultados, redacción del borrador original y revisión final del manuscrito.

RHPT (coautor):

Asesoramiento metodológico, revisión crítica del diseño de investigación, validación de resultados, apoyo en la interpretación de los cambios de cobertura y fragmentación, y revisión académica del manuscrito.

LTD (coautor):

Apoyo en la estructuración del documento, curación y verificación de datos, revisión de coherencia técnica, apoyo en la redacción científica y revisión final del manuscrito.