

Riesgo de deforestación asociada a la infraestructura vial existente y proyectada en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali

ACTUALIZACIÓN AL 2022

Eduardo Rojas Báez



D E R E C H O
A M B I E N T E Y
R E C U R S O S
N A T U R A L E S

Riesgo de deforestación asociada a la infraestructura vial existente y proyectada en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali.

ACTUALIZACIÓN AL 2022

AUTOR:

Eduardo Rojas Báez

EDITADO POR:

Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR)

Dirección: Jr. Brigadier Pumacahua N° 2249, Lince, Lima-Perú

Correo electrónico: dar@dar.org.pe

Página web: www.dar.org.pe

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:

Nautica Media Design SAC.

Dirección: Cl. Las Malvas N° 163 Ofic. N° 401 Salamanca, Ate, Lima – Perú

Teléfono: 511-6921503

Correo electrónico: info@nauticamedia.com

Página web: www.nauticamedia.com

FOTOS DE PORTADA:

Rolando Mondragón / DAR

DAR CITA SUGERIDA

Riesgo de deforestación asociada a la infraestructura vial existente y proyectada en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali. Actualización al 2022. Lima: DAR, 2022. 40 pp.

Primera aparición de versión digital: Diciembre, 2022

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-13295.

ISBN N° 978-612-4210-99-0

Está permitida la reproducción parcial o total de esta publicación, su tratamiento informático, su transmisión por cualquier forma o medio, sea electrónico, mecánico, por fotocopia u otros, con la necesaria indicación de la fuente.

La presente publicación ha sido elaborada con la asistencia de Rainforest Foundation Norway y Open Society Foundations. El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva de Derecho, Ambiente y Recursos Naturales y en ningún caso debe considerarse que refleja los puntos de vista de Rainforest Foundation Norway y Open Society Foundations.

Hecho en Perú.

***Riesgo de deforestación asociada a la
infraestructura vial existente y proyectada en los
departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali***

ACTUALIZACIÓN AL 2022



D E R E C H O
A M B I E N T E Y
R E C U R S O S
N A T U R A L E S

Autor

EDUARDO ROJAS BÁEZ

Tabla de contenido

Glosario	7
Introducción	8
Presentación	9
1. Antecedentes	10
2. Objetivo del estudio	10
3. Ámbito del estudio	11
4. Flujo de procesos	12
5. Fase 1	13
5.1. La deforestación en Loreto, San Martín y Ucayali	13
5.2. Posibles factores que promueven la deforestación en Loreto y Ucayali	14
6. Fase 2	17
6.1. Dimensiones de las variables	17
6.2. Uso de drivers de deforestación	17
6.3. Priorización de áreas	23
6.4. Mapa de riesgo de la deforestación	24

7. Fase 3	25
7.1. Aplicación del modelo	25
7.2. Proyección espacial de la deforestación	26
7.2.1. Proyección espacial de la deforestación en Loreto	27
7.2.2. Proyección espacial de la deforestación en San Martín	28
7.2.3. Proyección espacial de la deforestación en Ucayali	30
7.3. Mapa de riesgo de la deforestación	32
7.3.1. Cuantificación de emisiones de GEI considerando el cálculo potencial de mitigación para el escenario B. Proyección espacial de la deforestación	33
8. Conclusiones y recomendaciones	37
9. Referencias bibliográficas	38



Foto: Rolando Mondragón (DAR)

Glosario

ANA	Autoridad Nacional del Agua
ANP	Áreas naturales protegidas
CCNN	Comunidades nativas
DEM	Modelo de elevación digital
MINAGRI	Ministerio de Agricultura
MINAM	Ministerio del Ambiente
PNCB	Programa Nacional de Conservación de Bosques
SIG	Sistemas de Información Geográfica
ZEE	Zonificación económica y ecológica



Introducción

Los cambios en la cobertura de bosque se pueden describir como un proceso de ganancias por expansión del bosque y pérdidas a causa de la deforestación. Estas pérdidas de bosques proporcionan un indicador dinámico de la variación del hábitat natural y de la biodiversidad (FAO, 2016). La pérdida constante de estos bosques húmedos amazónicos tiene un efecto directo sobre la diversidad de especies de flora y fauna y sobre la química en la atmósfera, debido a que la Amazonía alberga la mitad de las especies del mundo en donde existe una intensa y compleja interacción entre animales y plantas (Shukla et al., 1990).

Actualmente, existe interés en estudiar los factores o *drivers* que han venido impulsando la deforestación en los bosques tropicales (Geist y Lambin, 2001, 2002), en particular en los bosques comprendidos dentro de las áreas naturales protegidas, áreas de conservación regional y sus zonas reservadas. Entender a estos impulsores de la deforestación es fundamental para el desarrollo de políticas y medidas cuyo objetivo es alterar las tendencias actuales en las actividades forestales hacia un resultado más amigable con el clima y la biodiversidad (Honosuma et al., 2012).

En consecuencia, Derecho, Ambiente y Recursos Naturales - DAR considera de interés anticiparse a posibles sucesos futuros de deforestación en estas áreas. Por ello, es necesario no solo identificar y estudiar el desarrollo histórico de la deforestación, sino que es preciso identificar y cartografiar los *drivers* o factores para que puedan usarse como información base en la generación e interpretación de escenarios futuros de riesgo y vulnerabilidad por deforestación afectados debido a la presencia de vías (existentes y proyectadas) y líneas de transmisión eléctrica.



Presentación

Este estudio es una actualización a detalle del estudio de riesgo de la deforestación asociada en infraestructura vial existente y proyectada en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali, publicado en noviembre 2021¹ y elaborado por DAR. Cabe indicar que este estudio incluyó la infraestructura energética como un posible *driver* de deforestación. Asimismo, el desarrollo metodológico fue por cada departamento de forma individual, a una resolución espacial de 30 m, y se proyectó el posible impacto a los bosques naturales al año 2030, sus tendencias, sus emisiones y coberturas más vulnerables.

Como primera fase del proceso metodológico, se recopilaron los datos de deforestación para el período 2001-2020. Para su consistencia metodológica, se incluyeron los *drivers* de deforestación utilizados en el estudio base. En la segunda fase del proceso metodológico se subdividió en etapas. La primera consiste en determinar el formato y extensión exacta para el modelamiento espacial del riesgo de deforestación y su proyección al 2030, así como a su resolución.

Como última fase, se generaron los escenarios proyectados de la deforestación al año 2030, considerando la presencia de la infraestructura vial existente, proyectada y energética. De igual manera, se determinó la contribución de cada *driver* de deforestación por departamento. Luego de ello, se cuantificaron las emisiones de gases de efecto invernadero - GEI, considerando los factores de emisión lo propuesto por el Ministerio del Ambiente en el documento Nivel de Referencia de Emisiones Forestales - NREF, presentado en febrero de 2021 a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Al igual que en el estudio base, se demostró que las variables derivadas de las distancias influyen de manera directa en un posible riesgo de deforestación. Asimismo, se puede afirmar que las carreteras vecinales contribuyen en mayor porcentaje a este riesgo. Cabe recalcar que estas carreteras son desarrolladas y mejoradas por los gobiernos locales y muchas veces carecen de un proyecto de planificación.

1. <https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2021/11/125-Resumen-Ejecutivo-NDC-18-noviembre.pdf>

1. Antecedentes

Derecho Ambiente y Recursos Naturales (DAR) es una asociación civil sin fines de lucro que está comprometida a construir y fortalecer la gobernanza ambiental y promover el ejercicio de los derechos humanos. El trabajo y las acciones que ha realizado DAR se desarrollan en los ámbitos local, regional, nacional e internacional para, de esta manera, contribuir con el desarrollo del país.

DAR suscribió un acuerdo de cooperación con Rainforest Foundation Noruega - RFN para la ejecución del proyecto "Gobernanza inclusiva y transparente para una infraestructura

sostenible en la Amazonía peruana", uno de cuyos resultados es la presentación de recomendaciones sobre el manejo de los bosques tropicales basado en derechos y la protección de la integridad del ecosistema forestal a las principales autoridades nacionales y subnacionales.

En ese sentido, resulta necesario realizar un estudio para estimar el riesgo de la deforestación a causa de las vías existentes, proyectadas y líneas de transmisión eléctrica, vinculado con la actividad 1.2 del proyecto.

2. Objetivo de estudio

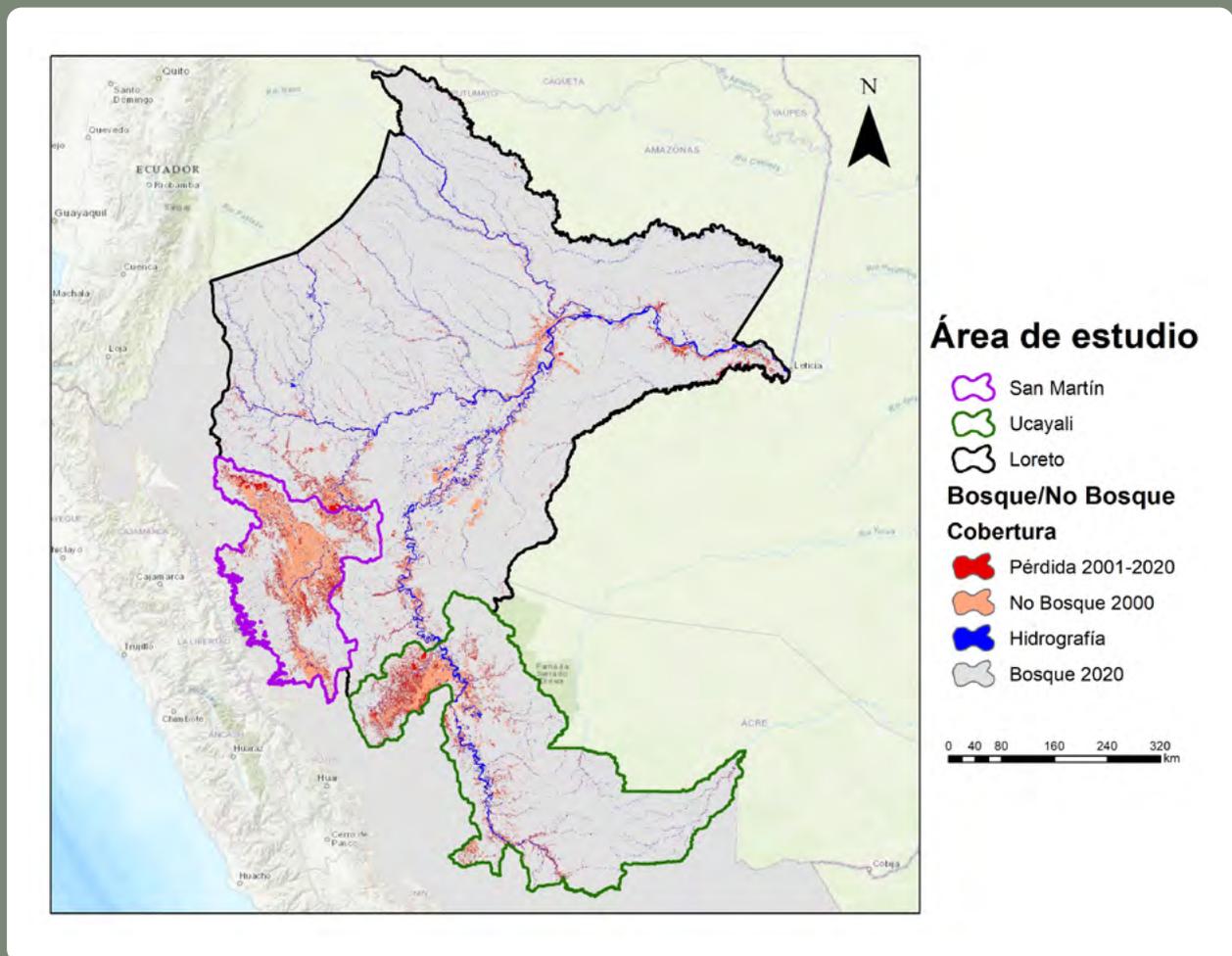
Actualizar y cuantificar las posibles emisiones de CO2 por pérdida de los bosques en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali, periodo 2021-2030 a causa de la infraestructura vial existente, proyectada y energética.

3. **Ámbito de estudio**

Los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali poseen una superficie acumulada de 52 908 890 ha, que representa el 68% del bioma amazónico (MINAM, 2015). De acuerdo con el mapa de cobertura vegetal, estos tres departamentos están compuestos por diversas formaciones vegetales. Entre las más sobresalientes por extensión están los aguajales, los bosques húmedos de colina baja y lomada, bosque húmedo de colina alta y bosque húmedo de montaña (MINAM, 2015). Asimismo, la topografía es diferente para cada

departamento. San Martín es el departamento que posee zonas más abruptas en el oeste, limita con los Andes del Perú. Ahí predomina la cobertura vegetal de bosque de montaña (MINAM, 2012). Lo contrario ocurre en Loreto y Ucayali, donde se observa una ligera pendiente en toda su extensión (Rojas, 2017). Estas diferencias topográficas y singularidades en las formaciones vegetales han determinado que existan diferentes estimaciones de carbono natural dentro de cada departamento (MINAM, 2014).

FIGURA 1.
ÁREA DE ESTUDIO



4. Flujo de procesos

De acuerdo con el objetivo general, para actualizar los escenarios espaciales de riesgo y vulnerabilidad futura de deforestación considerando las vías existentes, proyectadas y líneas de transmisión eléctricas, estos deben cumplir una serie de criterios técnicos básicos.

Dichos criterios van desde el tipo de formato, la resolución y la extensión, entre otros. Para ello, se realizó el siguiente flujo de proceso, el cual sintetiza los insumos utilizados, procesos y resultados.

FIGURA 2.
FLUJO DE PROCESOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE ESCENARIOS



Para el desarrollo de esta actualización, se enfatizó en la recopilación de información histórica espacial de la deforestación (pérdida de bosques), período 2001-2020. De la misma manera, se revisó la base de datos sobre proyectos de infraestructura vial y

energética para los tres departamentos, la cual se descargó, ordenó y organizó para utilizarse como parte de los factores espaciales que influyen en los posibles cambios de cobertura por deforestación. Asimismo, se generó la línea de base estadística de la pérdida de bosques

por departamentos (Loreto, Ucayali y San Martín), la que se usará para la proyección espacial de su deforestación. Cabe mencionar que, para la construcción de esta base de

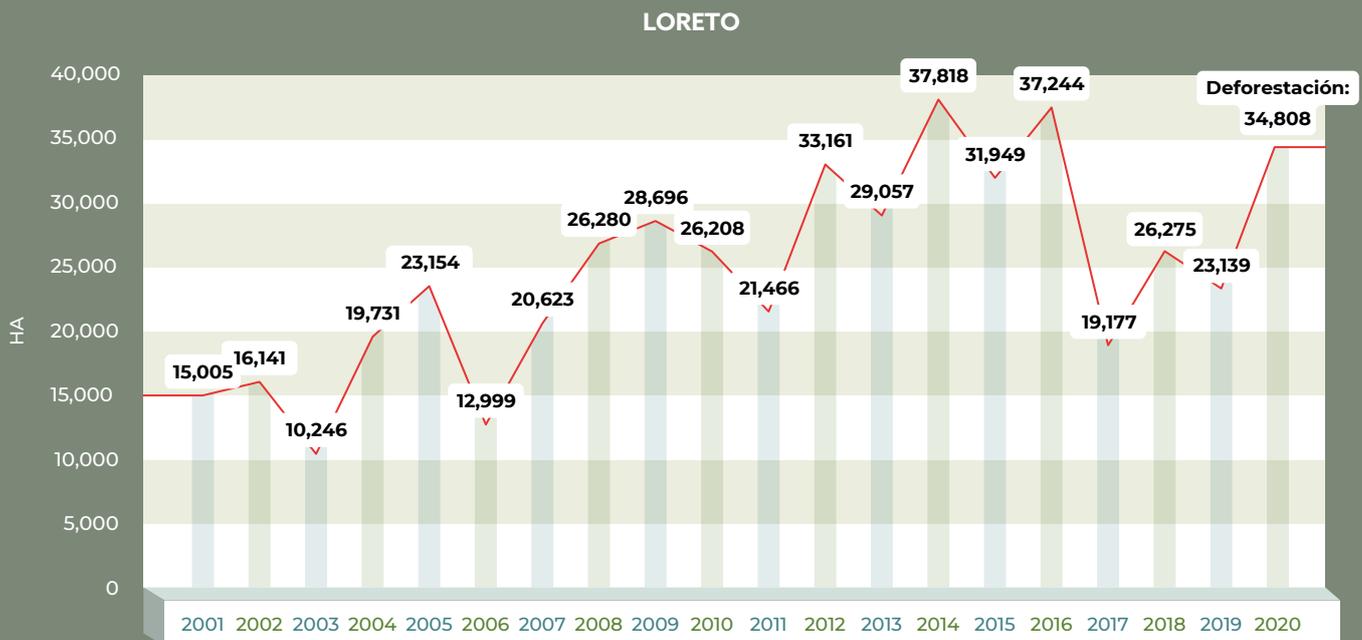
datos espacial, se utilizarán los Sistemas de Información Geográfica - GIS con información de libre acceso, para que pueda ser replicada en futuros procesos.

5. Fase 1

5.1. La deforestación en Loreto, San Martín y Ucayali

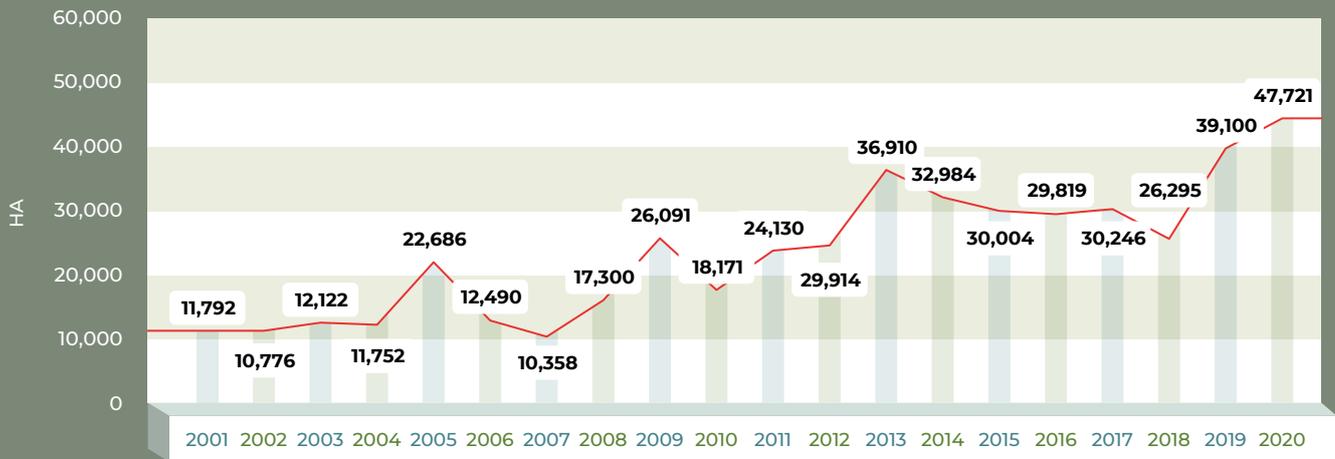
En esta etapa se recopiló la información espacial de la deforestación del período 2001-2020 para los tres departamentos. Cabe indicar que esta información es de acceso abierto y viene siendo actualizada por el Ministerio del Ambiente para todo el bioma amazónico. De acuerdo con estos datos, el departamento de Loreto posee una deforestación acumulada de 493 179 ha para los veinte años de registro, mientras que el departamento de San Martín presenta una deforestación acumulada de 462 796 ha. Por último, el departamento de Ucayali presenta una deforestación acumulada de 475 498 ha.

FIGURA 3.
DEFORESTACIÓN HISTÓRICA

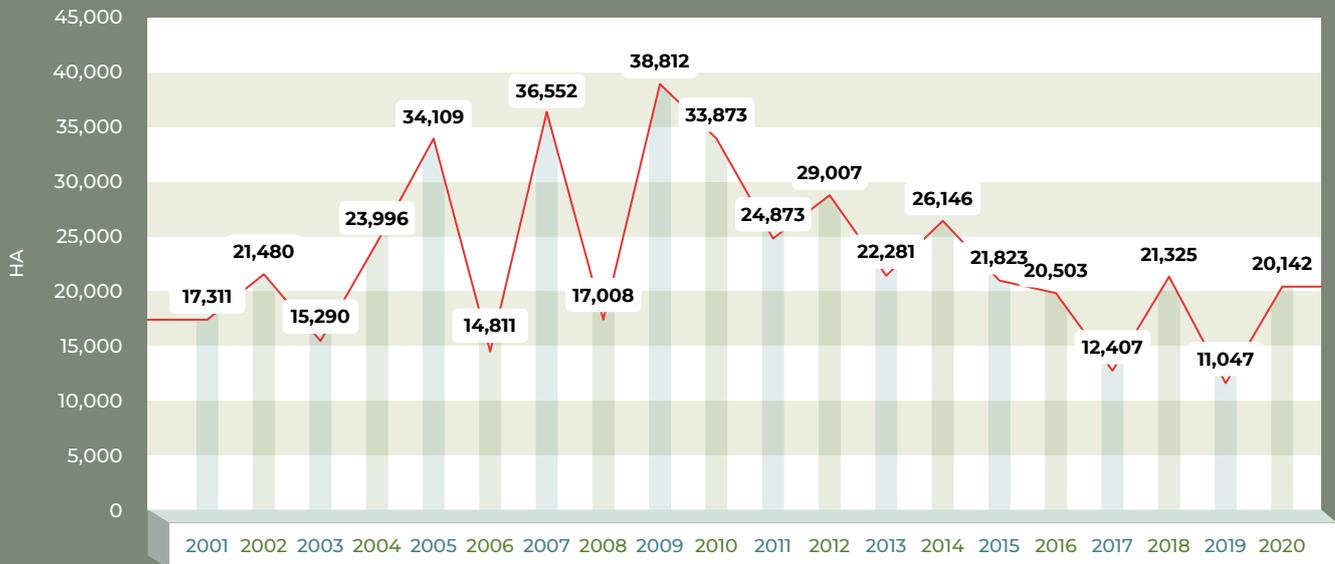


continúa...

UCAYALI



SAN MARTÍN

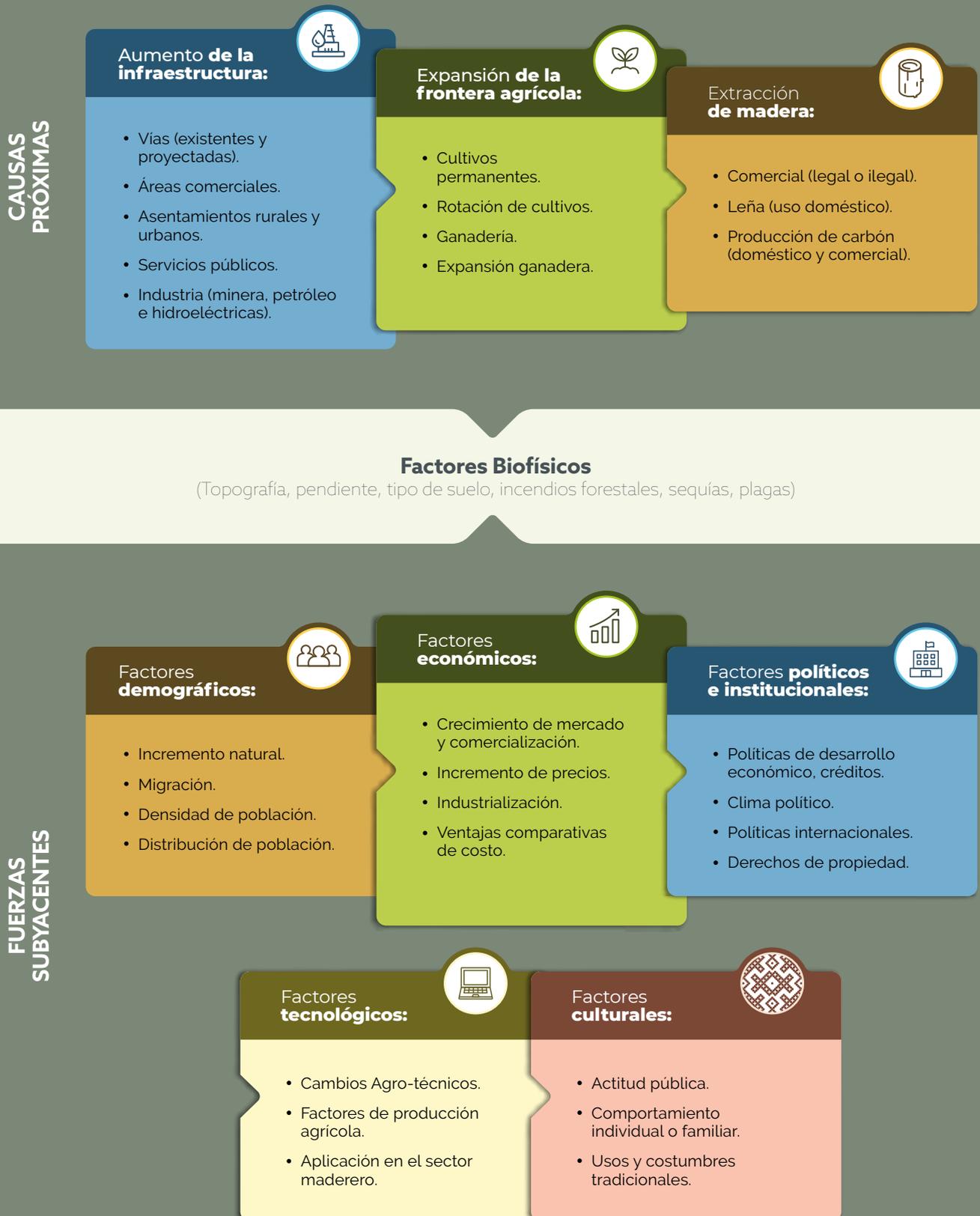


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de PNCB

5.2. Posibles factores que promueven la deforestación en Loreto y Ucayali

La actualización de este estudio intenta medir el impacto de la deforestación por la infraestructura vial existente, proyectada y líneas de transmisión eléctrica. Además, se debe considerar que los cambios de usos de suelo en la Amazonía son impulsados por diversas causas. De acuerdo con Geist y Lambin et al. (2002), estos **drivers** pueden promover o frenar los cambios de usos en los bosques. Estas causas han sido divididas en causas próximas y fuerzas impulsoras subyacentes, las cuales están conectadas de manera directa o indirecta con la deforestación.

FIGURA 4.
DISTRIBUCIÓN DE LOS FACTORES O *DRIVERS* DE DEFORESTACIÓN PARA LOS BOSQUES TROPICALES



Fuente: Adaptado de Geist y Lambin (2001).

En la figura 3 vemos que las causas próximas se han dividido en tres grandes grupos: el primero comprende el aumento de la infraestructura, el segundo está la expansión de la frontera agrícola, y como tercer grupo está la extracción de madera.

Las fuerzas subyacentes se dividieron en cinco grupos: el primero describe los factores demográficos, el segundo comprende los factores económicos, en el tercero se encuentran los factores , en el cuarto grupo están los factores tecnológicos, y por último, están los factores culturales. De la misma manera, existen algunos factores biofísicos a considerar, como la topografía y la pendiente, los tipos y calidad de los suelos, los incendios

forestales, el aumento del clima y la sequía, entre otras.

Para un modelamiento espacial explícito, es necesario que los *drivers* también se encuentren ubicados en un espacio. Para efectos de esta actualización, tanto para la simulación del riesgo de deforestación como para la generación de los escenarios futuros de deforestación al año 2030, se usaron los mismos *drivers* del estudio previo, los cuales se complementaron con otros de libre acceso. Cabe recalcar que el uso de los *drivers* puede ser modificado en función del contexto socioeconómico de cada departamento (Bax et al., 2016). Para efectos de este estudio, se utilizaron los *drivers* a una resolución de 30 * 30 metros.

TABLA 1.
DRIVERS CAUSANTES O CONTROLADORES DE LA DEFORESTACIÓN EN LOS TRES DEPARTAMENTOS

Nombre	Institución generadora	Formato	Año	Resolución / Escala
Mapa de deforestación 2001-2020	Ministerio del Ambiente Geobosques	Raster	2020	30 m
Mapa de bosque / no bosque 2000	Ministerio del Ambiente Geobosques	Raster	2000	30 m
Mapa de ríos	Ministerio del Ambiente Geobosques	Raster	2018	30 m
Mapa de agricultura 2000	Ministerio del Ambiente Geobosques	Raster	2000	30 m
Mapa de pastos 2000	Ministerio del Ambiente Geobosques	Raster	2000	30 m
Modelo de elevación digital	CGIAR	Raster	2000	90 m
Mapa de vías nacionales	Ministerio de Transportes	Vector	2018	Metros
Mapa de vías regionales	Ministerio de Transportes	Vector	2018	Metros
Mapa de vías locales	Ministerio de Transportes	Vector	2018	Metros
Mapa caminos locales (GEOBOSQUES, PROPURUS, GORE Loreto y Gore San Martín)	GEOBOSQUES, PROPURUS, GORE Loreto	Vector	2020	Metros
Centros poblados	INEI	Vectorial	2017	Metros
Líneas de transmisión	OSINERMING	Vectorial	2020	Metros
CCNN	MINCUL	Vectorial	2020	Metros

Fuente: Elaboración propia

Es necesario entender la correlación histórica de la deforestación con los usos previos al inicio del monitoreo. Para ello, se descargó información referente al mapa de usos de la tierra que contiene información para ser utilizada como factores o *drivers* ambientales que pueden contribuir o frenar el avance de la deforestación en los dos departamentos.

Con respecto a los datos de infraestructura, el más importante corresponde a las vías existentes y proyectadas (Rojas, 2017; Barber et al., 2014); Rojas, 2021), y las líneas de transmisión eléctrica². Esta información fue proporcionada por el ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de su portal web³; asimismo, por las oficinas descentralizadas.

6. Fase 2

6.1. Dimensiones de las variables

En esta etapa del proceso toda la información recopilada en la tabla 1 se homogeniza según las dimensiones por cada departamento. Para ello, se consideró primero el tipo de formato cartográfico, seguido por el tamaño, dimensiones, y, por último, las coordenadas. Para lograr ello, se utilizó la herramienta QGIS 3.6.3.

TABLA 2.
DIMENSIONES DE LAS VARIABLES POR ZONA DE ESTUDIO.

Zona de escenarios	Fila	Columna	Resolución	Coordenada
Loreto	29154	31978	30 m	WGS 84 zona 18 Sur
Ucayali	19971	15465	30 m	WGS 84 zona 18 Sur
San Martín	8454	12476	30 m	WGS 84 zona 18 Sur

Fuente: Elaboración propia

6.2. Uso de drivers de deforestación

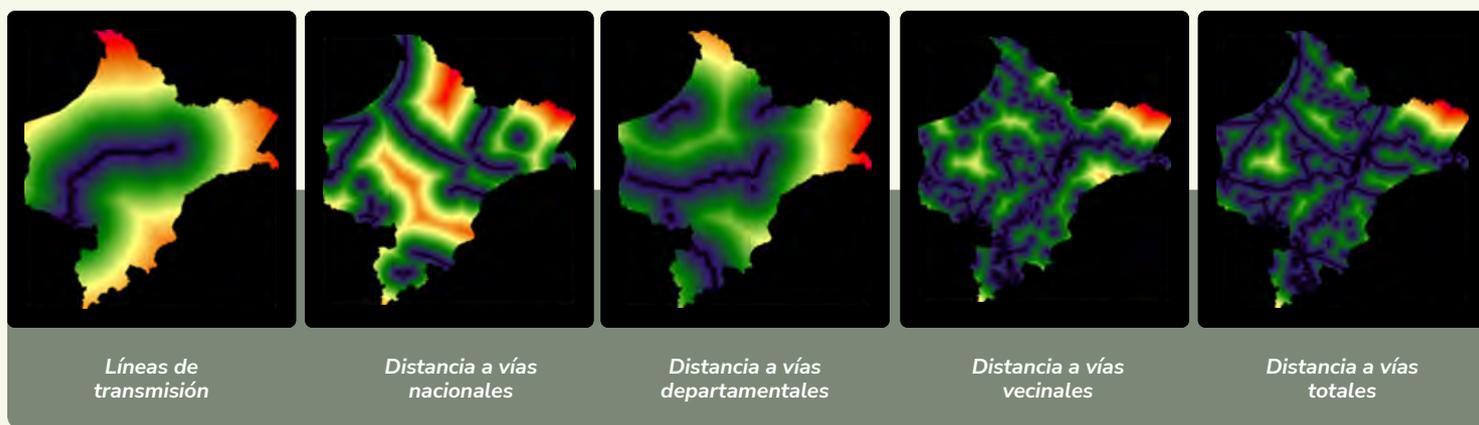
Los *drivers* de deforestación recopilados para el modelo han sido subdivididos en grupos según su participación y por cada departamento. Pueden ser *drivers* causantes o moderadores de la deforestación en los tres departamentos amazónicos.

2. Plataforma de datos de OSINERGMIN. <https://www.osinergmin.gob.pe/newweb/uploads/Publico/MapaSEIN/>
3. Portal infraestructura vial <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/descarga.html>

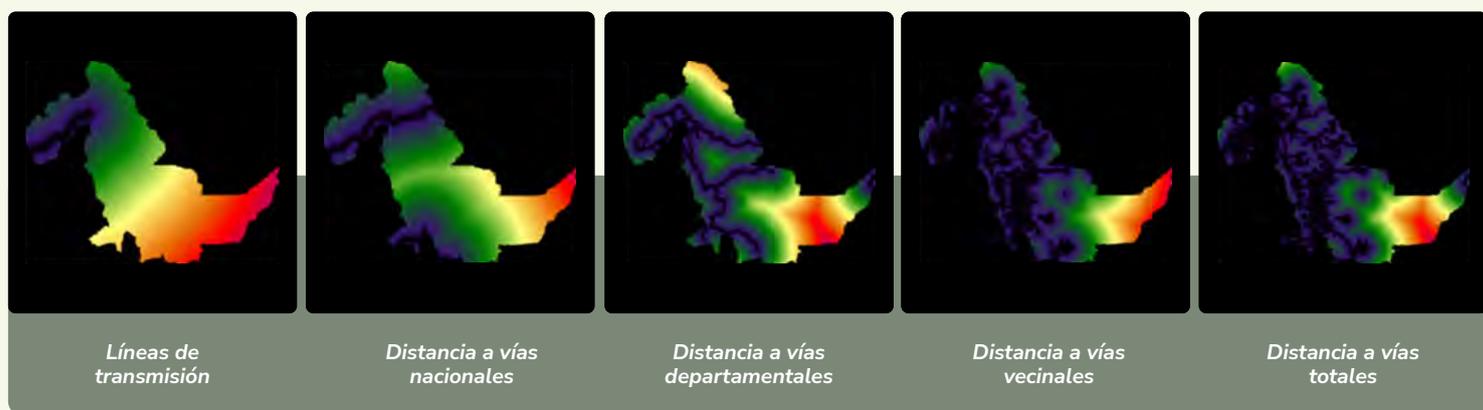
Como primer grupo están los *drivers* derivados del aumento de la infraestructura, como es el caso de la distancia a vías nacionales, denominación asignada en el Decreto Supremo 011-2016-MTC que conectan la Amazonía con la costa y que fueron diseñadas por el alto índice de medición de tráfico. Luego están las vías departamentales que, al igual que las vías nacionales, tienen esta denominación por el mismo Decreto Supremo, se encuentran bajo administración de los gobiernos regionales y su función es ser complemento de acceso de las vías nacionales. Por último, están las distancias a vías vecinales, que son vías con menor tramo y que tienen la finalidad de unir los centros poblados y rurales con las vías departamentales. Al igual que las vías nacionales y departamentales, esta denominación fue aprobada en el mismo Decreto Supremo.

Junto con estos *drivers*, para este modelamiento, se generó una capa adicional (distancia a vías totales) donde se incorporaron todas las vías propuestas por el MTC y los caminos forestales detectados por el PNCB para los años 2016 a 2020. Asimismo, se incluyeron los datos espaciales de los caminos vecinales construidos por la ONG ProPurús⁴ para el departamento de Ucayali y los caminos vecinales y regionales construidos por el GORE Loreto como parte de su zonificación ecológica y económica. Por último, se incluyeron las líneas de transmisión eléctrica.

FIGURA 5.
DRIVERS DERIVADOS DEL AUMENTO DE LA INFRAESTRUCTURA

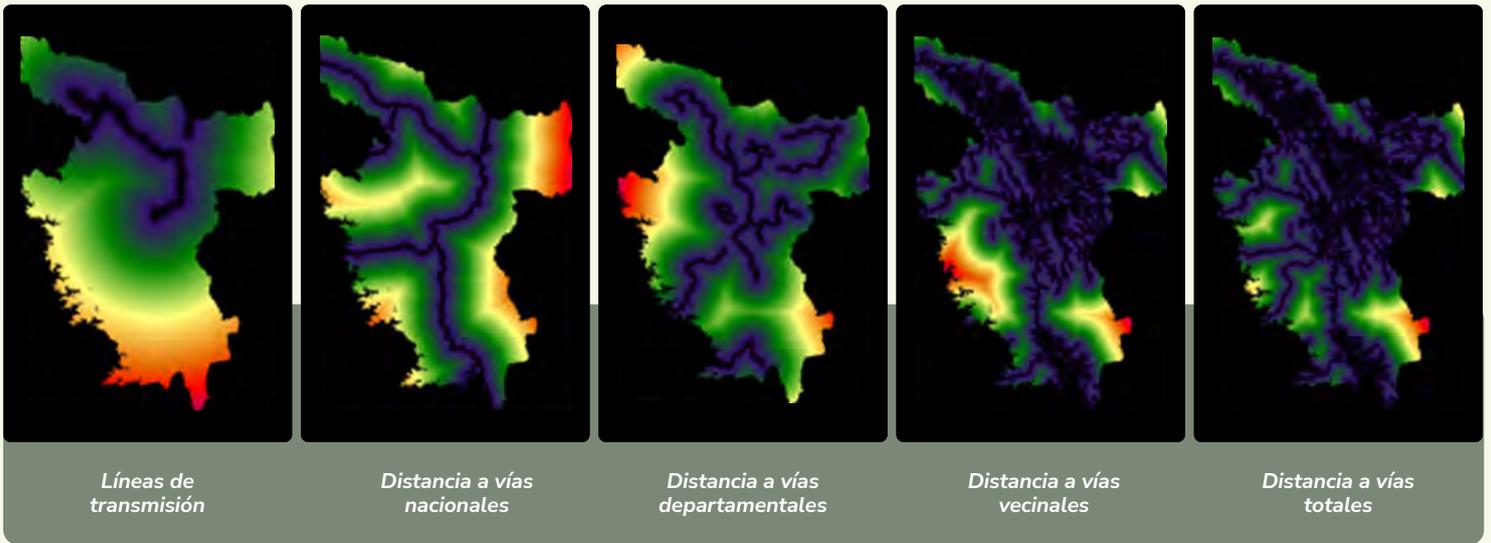


Aumento de la infraestructura Loreto



Aumento de la infraestructura Ucayali

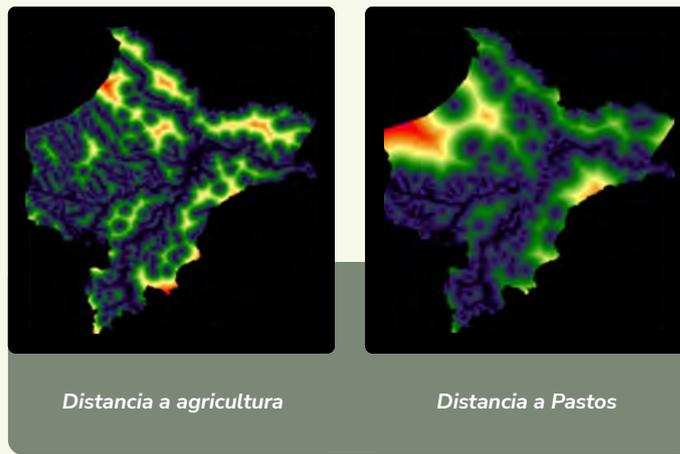
4. Situación de los defensores indígenas en Ucayali. <https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2022/02/Situacion-de-los-defensores-indigenas.pdf>



Aumento de la infraestructura San Martín

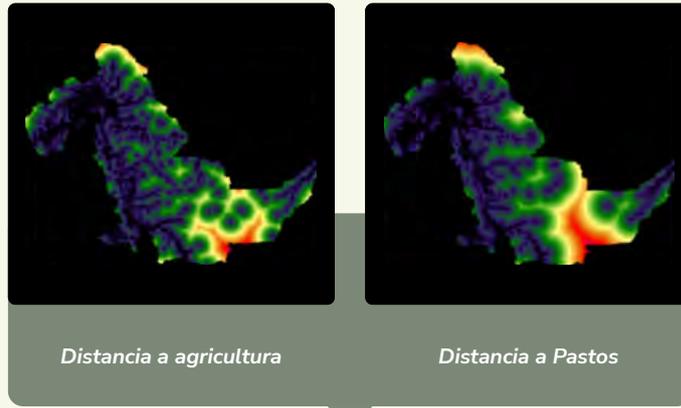
Como segundo grupo están las variables antrópicas y las derivadas de la expansión de la frontera agrícola, y la distancia a pastos (pastizales y herbazales). Cabe recalcar que un área deforestada, sea por agricultura o por pastos u otras actividades, facilita la accesibilidad directa a los bosques naturales.

FIGURA 6.
DRIVERS DERIVADOS DE LA FRONTERA AGRÍCOLA.



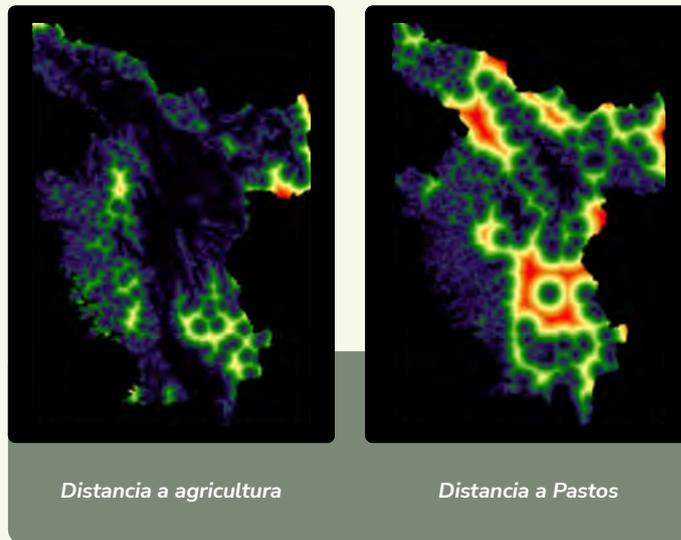
Expansión de la frontera agrícola Loreto

Continuación...



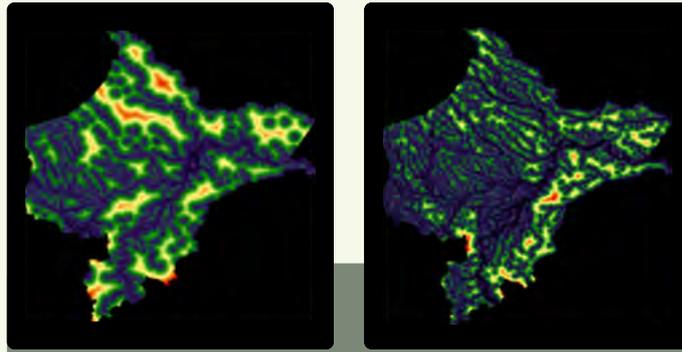
Expansión de la frontera agrícola Ucayali

FIGURA 6.
**DRIVERS DERIVADOS
DE LA FRONTERA
AGRÍCOLA.**



Expansión de la frontera agrícola San Martín

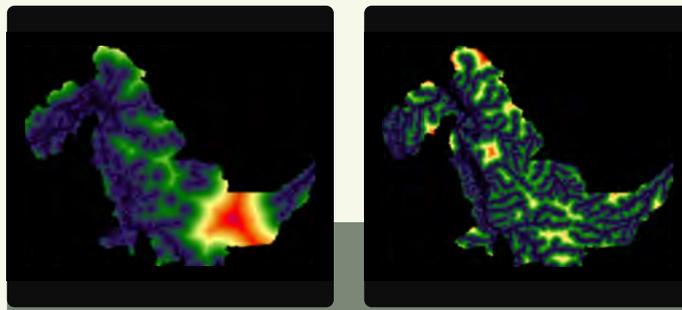
En otro grupo están los factores demográficos, como la distancia a centros poblados, que fueron todos los registrados y actualizados a partir del censo INEI 2017. Otro *driver* es la distancia a ríos, que es importante debido a que es el medio de transporte para actividades extractivas en áreas donde no hay acceso por vía terrestre.



Distancia a poblados

Distancia a ríos

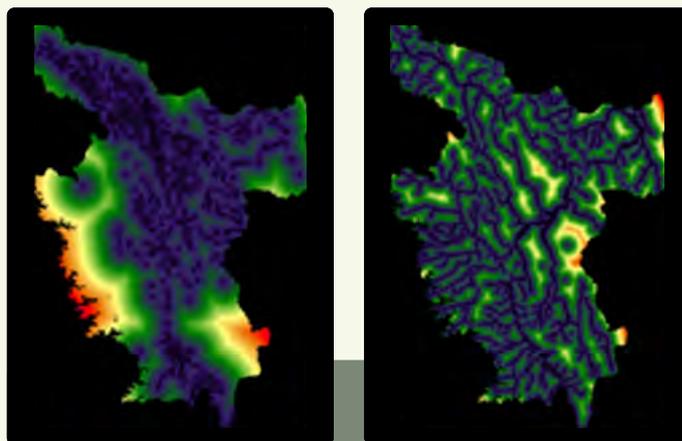
Factores demográficos Loreto



Distancia a poblados

Distancia a ríos

Factores demográficos Ucayali



Distancia a poblados

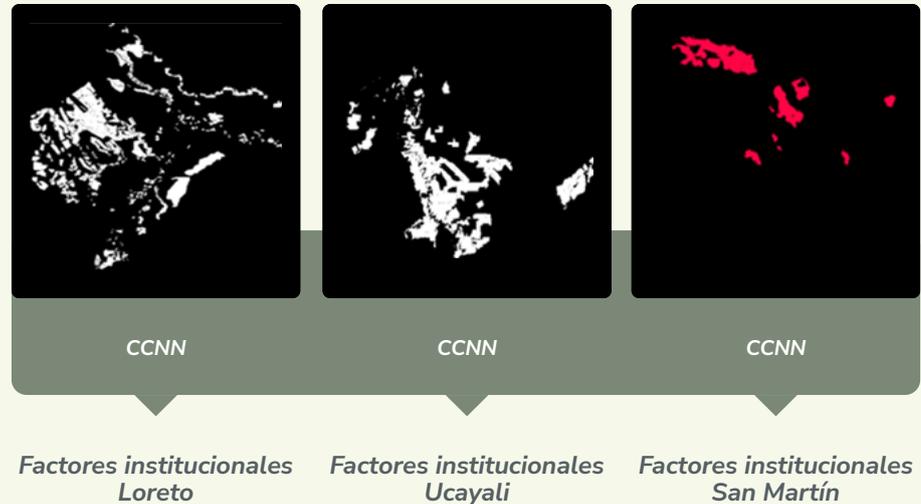
Distancia a ríos

Factores demográficos San Martín

FIGURA 7.
**DRIVERS DERIVADOS
DEMOGRÁFICOS.**

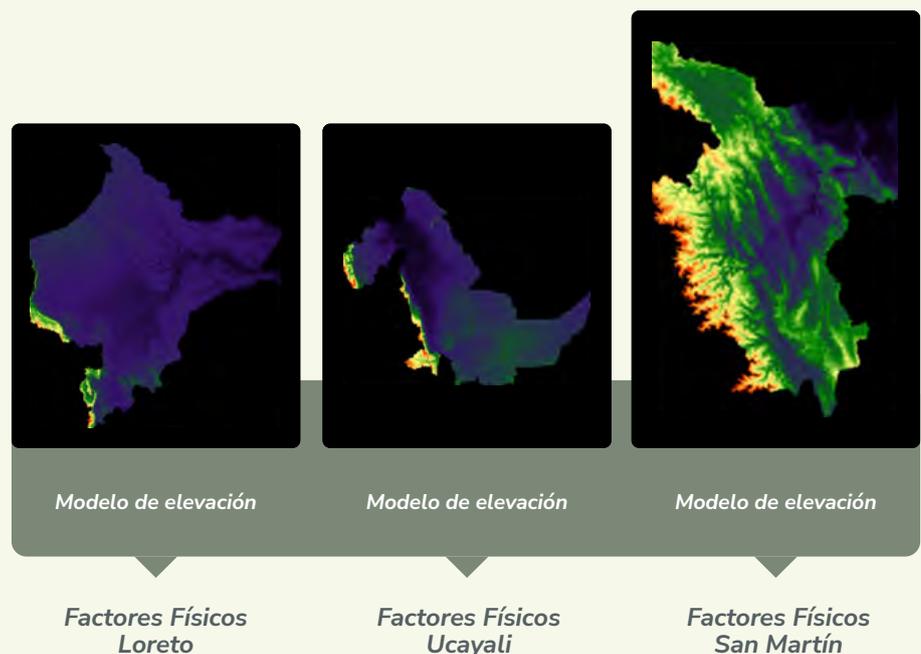
Para este grupo están los *drivers* que están bajo una administración pública o privada y su presencia puede frenar la deforestación, como sucede con las comunidades nativas que generan actividades de subsistencia dentro de sus límites.

FIGURA 8.
DRIVERS DERIVADOS DE FACTORES INSTITUCIONALES.



Aparte de estas variables, se consideró un modelo de elevación digital que, por un lado, puede funcionar como una barrera para los lugares de difícil acceso debido a su pendiente extrema y, por otro, puede ser un factor impulsor de pérdida de bosques en las zonas con poca pendiente, facilitando la agricultura migratoria y comercial.

FIGURA 9.
DRIVERS DERIVADOS DE FACTORES FÍSICOS.

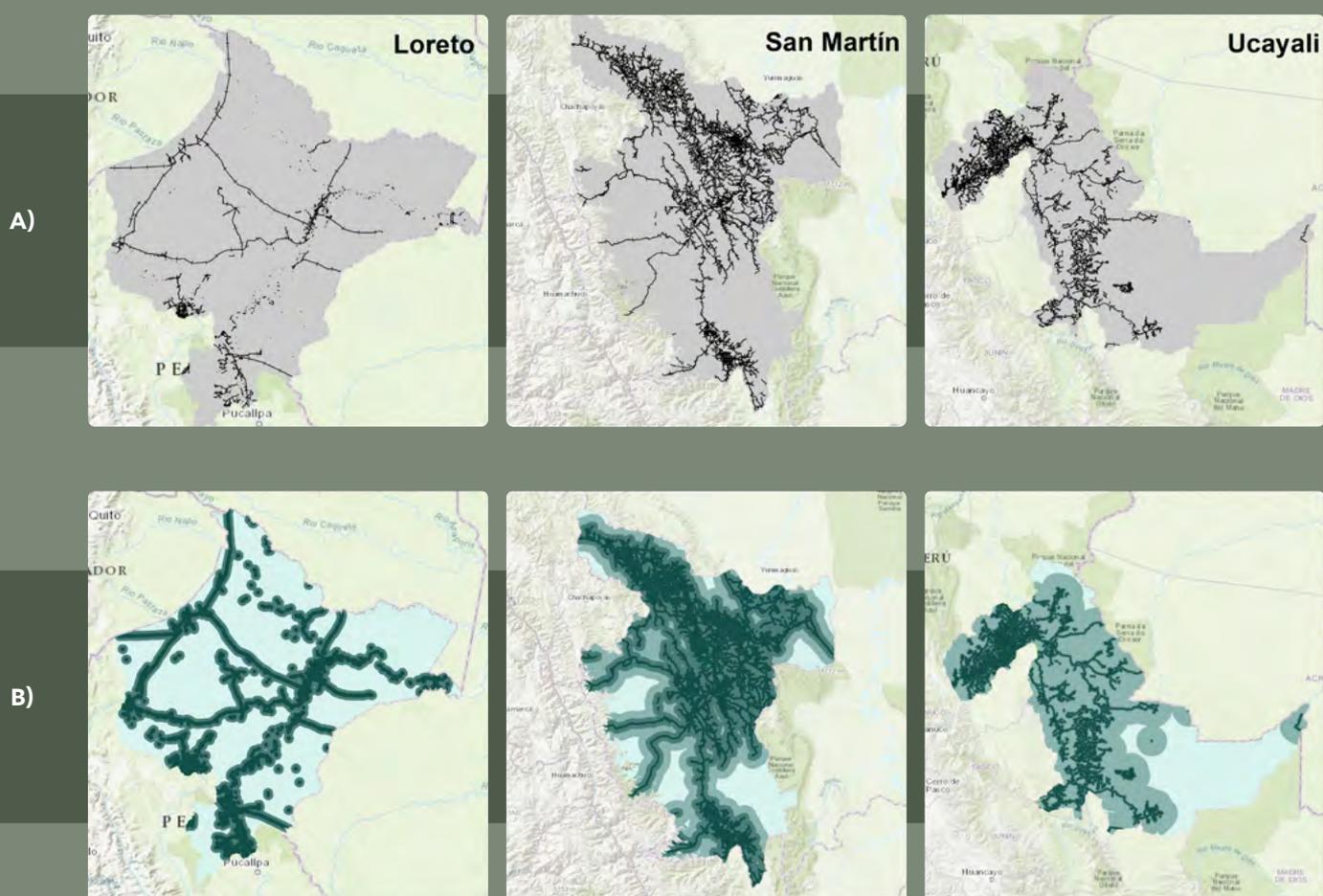


6.3. Priorización de áreas

Una vez identificados y agrupados los *drivers* de deforestación con relación al objetivo de este estudio, fue necesaria una revisión de la literatura disponible para determinar la distancia del impacto directo por deforestación a causa de las vías existentes. Cabe recalcar que, si bien las vías se dividen en vías nacionales, departamentales, vecinales y caminos forestales, a su vez estas se encuentran categorizadas de acuerdo con su diseño según la resolución directoral N° 02-2018-MTC/14⁵ como vía con afirmado, asfaltado, asfaltado económico, sin afirmar, trocha, caminos registrados o caminos forestales y el trazado de los proyectos viales futuros.

FIGURA 10.

A) MAPA DE VÍAS Y B) UBICACIÓN DE LOS POSIBLES IMPACTOS DIRECTOS POR INFRAESTRUCTURA VIAL



Diversos autores han afirmado que la deforestación como consecuencia de la existencia y del aumento de la infraestructura vial puede llegar hasta los 50 km (1; 2; 5; 10 y 50 km, en ese orden) (Cochrane et al., 2001; Southworth et al., 2011). Considerados estos rangos, se generó un mapa de incentivos, que incluye los proyectos viales futuros y que se usará como base para la proyección de la deforestación 2021-2030⁶.

5. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4032.pdf

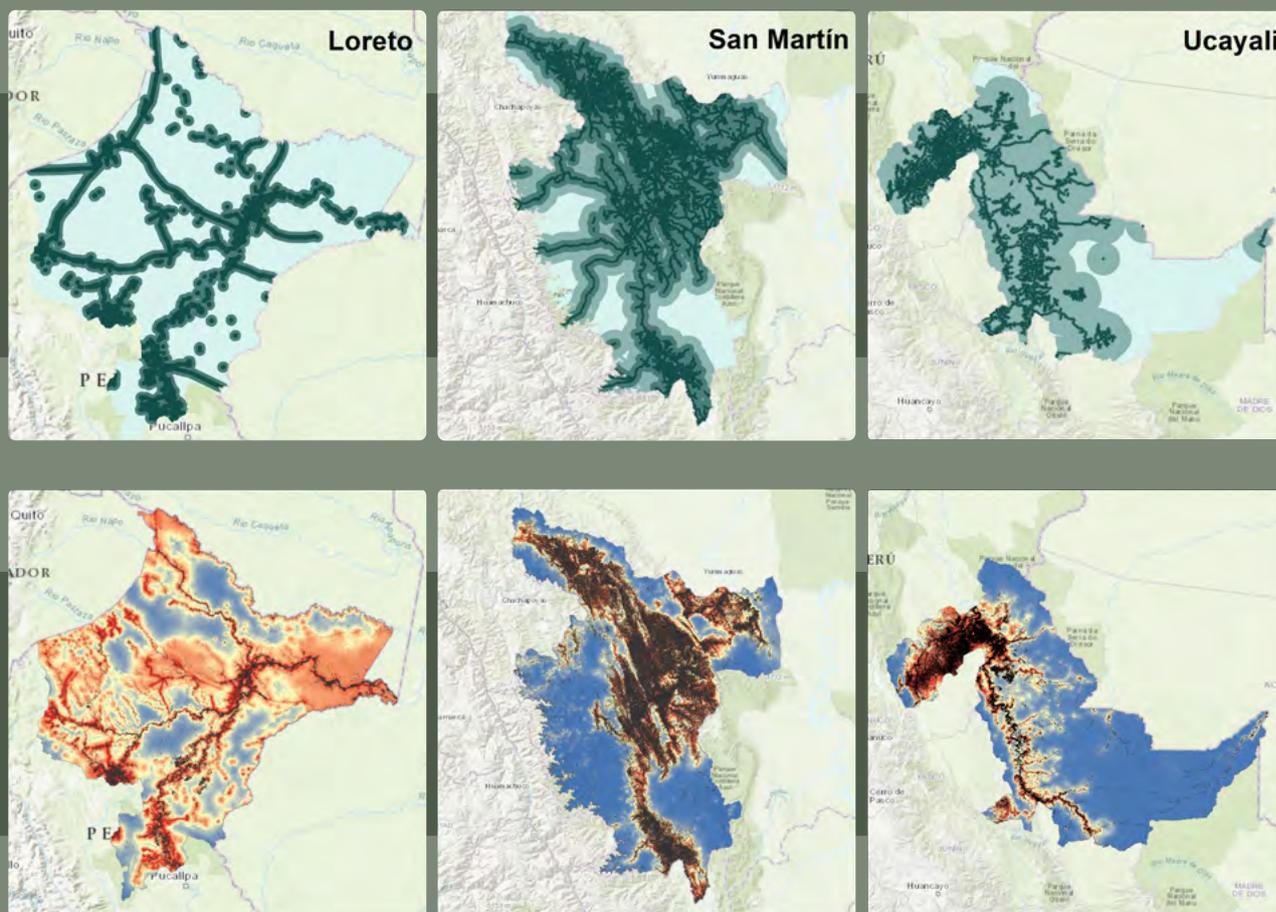
6.4. Mapa de riesgo de deforestación

Como primeros resultados de esta actualización, se obtuvo un mapa de riesgo de deforestación para el periodo 2001-2020 que presenta la correlación espacial de los *drivers* con la deforestación histórica. Cabe indicar que este mapa proporciona valores de 0-1, donde los valores más cercanos a 0 (color azul) indican menor probabilidad que puedan ser deforestados en los próximos años, mientras que los valores más cercanos a 1 determinan una alta probabilidad de deforestación (color rojo). Esto permite identificar y excluir áreas donde históricamente no presentan deforestación y, por lo tanto, pueden verse afectadas por la creación de nuevas carreteras.

En tal sentido, este mapa de riesgo de deforestación nos permite entender y focalizar el espectro del riesgo para estos departamentos entendiendo que representan más del 60% de la Amazonía del Perú. Por último, este mapa permite tomar mayor atención a los proyectos viales existentes que necesitan una intervención rápida debido a la concentración y riesgo de deforestación que ocurre a su alrededor y una inminente deforestación.

FIGURA 11.

A) UBICACIÓN DE LOS POSIBLES IMPACTOS DIRECTOS POR INFRAESTRUCTURA VIAL Y B) MAPA DE RIESGOS DE DEFORESTACIÓN



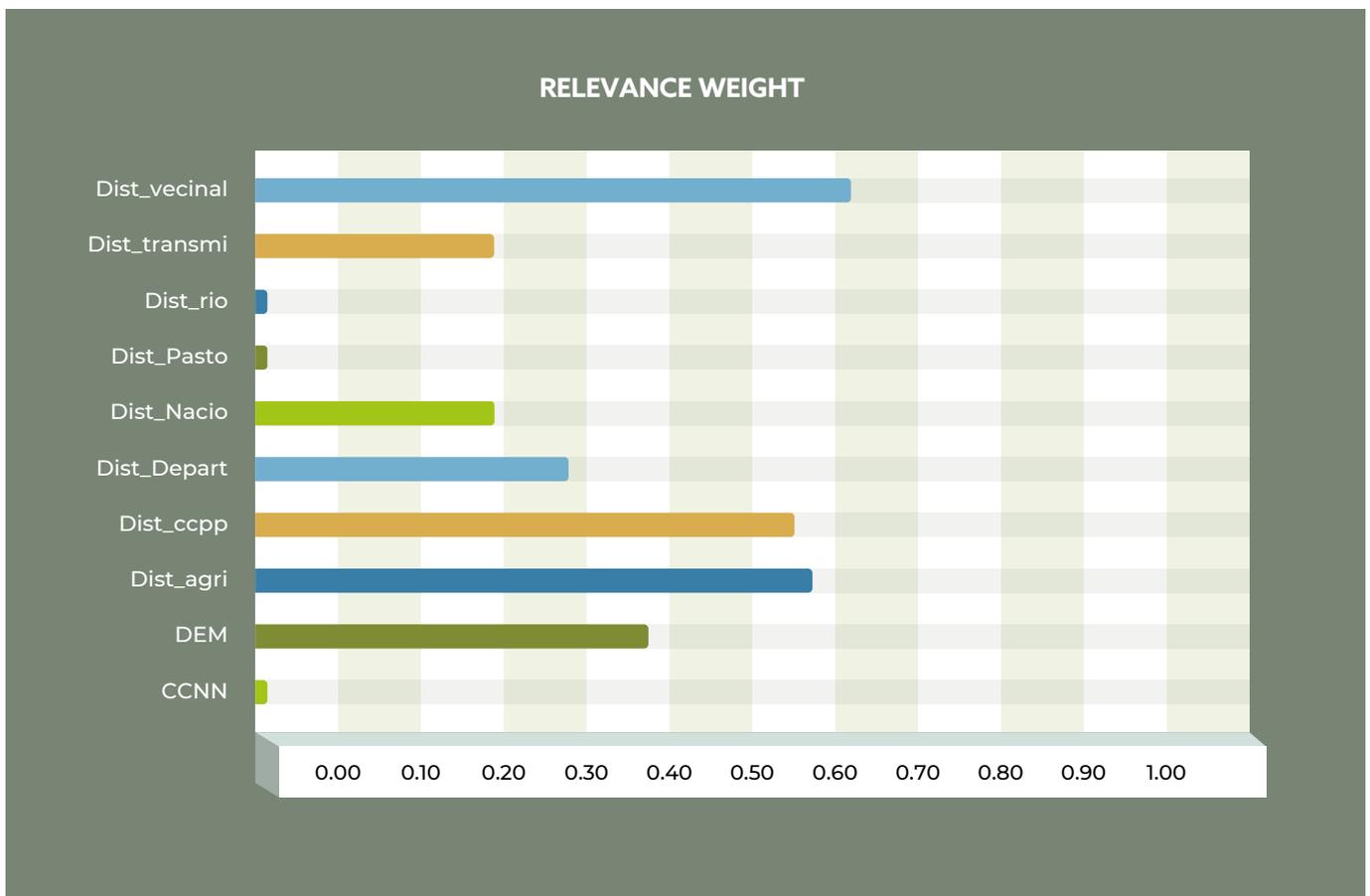
6. Modelamiento de escenarios para reducir la pérdida de biodiversidad por los impactos acumulativos y sinérgicos de los proyectos de infraestructura vial en el departamento (región) de Loreto. https://sites.google.com/upch.pe/impactos-infraestructuravial/inicio/reporte_n%C2%BA2

7. Fase 3

7.1. Aplicación del modelo

En esta etapa del proceso se mide la contribución de las variables predictoras (*drivers* de la deforestación) a los modelos departamentales. Esta evaluación determina la correlación entre los lugares donde ha ocurrido la deforestación con respecto a los *drivers* derivados de las distancias.

FIGURA 12.
CONTRIBUCIÓN DE VARIABLES PREDICTORAS



De acuerdo con la figura 12, se observa que, el *driver* *dist_vecinal* (distancia a carreteras vecinales) contribuye en mayor proporción a la deforestación, seguido por la *Dist_agri* (distancia a la agricultura) y tercero a la *Dist_ccpp* (distancia a centros poblados).

7.2. Proyección espacial de la deforestación

A partir del mapa de riesgo de deforestación y el mapa de priorización de áreas, y tomando como base las tasas de deforestación de cada escenario, se proyectó espacialmente la deforestación hasta el año 2030. Cabe indicar que los resultados de las simulaciones espaciales y su ubicación dependen directamente de los datos históricos (concentración de la deforestación), y las tasas que los originan, por lo que, al variar sus tasas, las simulaciones espaciales en estadística y ubicación pueden cambiar. Para este estudio se utilizaron tres escenarios:

1. Escenario (A)

Basado en el promedio de la tasa de pérdida de los bosques húmedos amazónicos observado en los veinte años (2001-2020), que fue proyectado a 2030.

2. Escenario (B)

Basado en el promedio de la tasa de pérdida de los bosques húmedos amazónicos observado en los últimos diez años (2011-2020). De acuerdo con este escenario, solo se utilizaron las pérdidas de bosques de los diez últimos años registrados.

3. Escenario (C)

Basado en la tendencia lineal histórica de los veinte años (2001-2020) de pérdida en los bosques, donde se consideró la deforestación en el ámbito de los 50 km de *buffer*.

7.2.1. Proyección espacial de la deforestación en Loreto

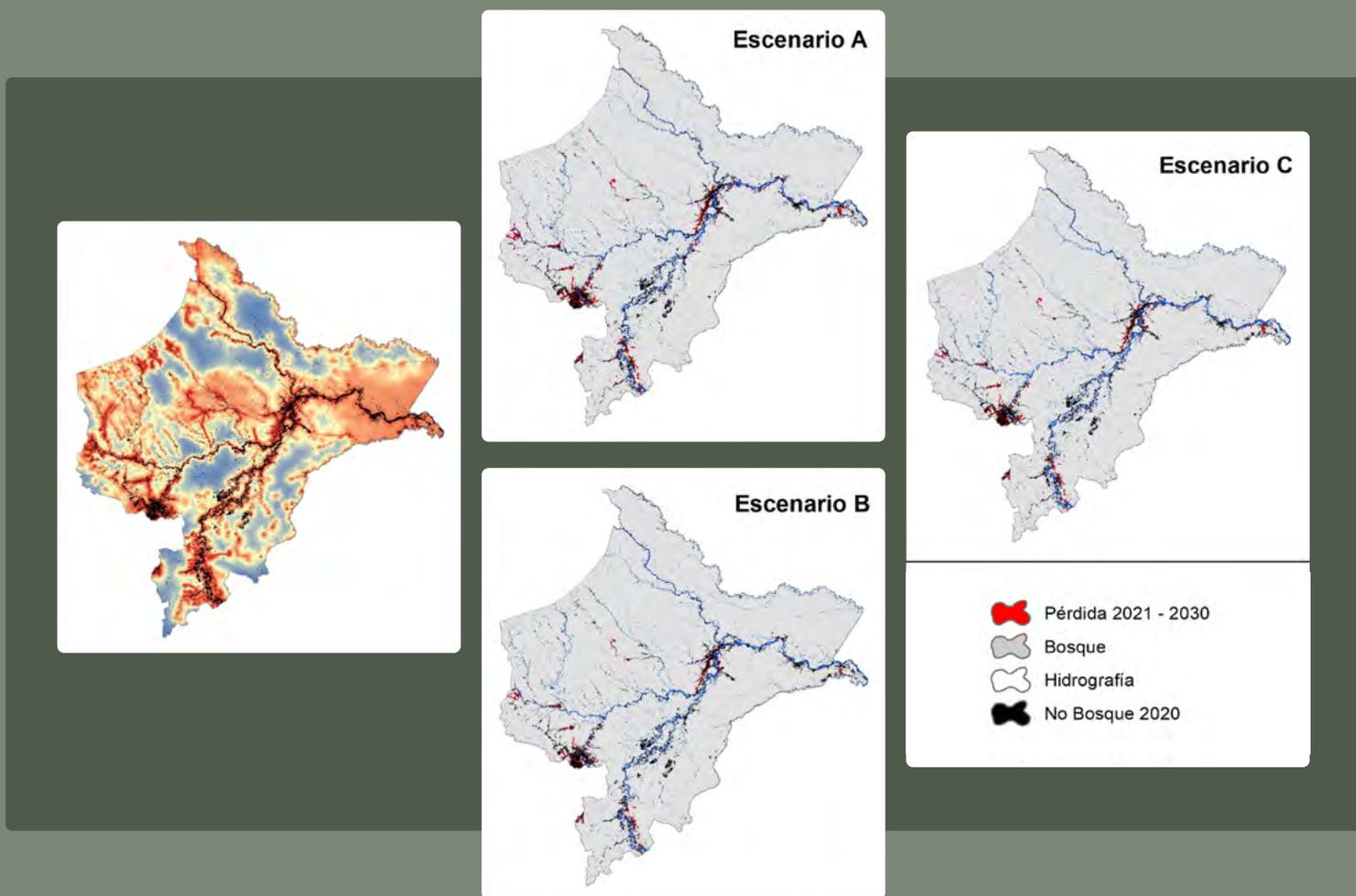
De acuerdo con los tres escenarios propuestos, se utilizaron las tasas de cada periodo para la proyección y ubicación futura de la deforestación en el departamento de Loreto.

FIGURA 13.
ESCENARIOS PROPUESTOS PARA EL DEPARTAMENTO DE LORETO



De la misma manera, se utilizó el mapa de riesgo de deforestación y el mapa de priorización de áreas para la región Loreto, y, tomando de base las tasas de deforestación de cada escenario, se proyectó espacialmente la deforestación hasta el año 2030.

FIGURA 14.
ESCENARIOS ESPACIALES DE LA DEFORESTACIÓN
AL AÑO 2030 PARA LORETO



A partir de los escenarios espaciales al año 2030, se observa que la deforestación en Loreto podría llegar hasta 395 437 ha (escenario C), mientras que en el escenario B se podría generar una deforestación de 297 453 ha. Por último, en el escenario A, puede haber una deforestación de 251 960 ha de bosque natural.

TABLA 3.
POSIBLE DEFORESTACIÓN AL AÑO 2030 CON LAS CONDICIONES ACTUALES - LORETO.

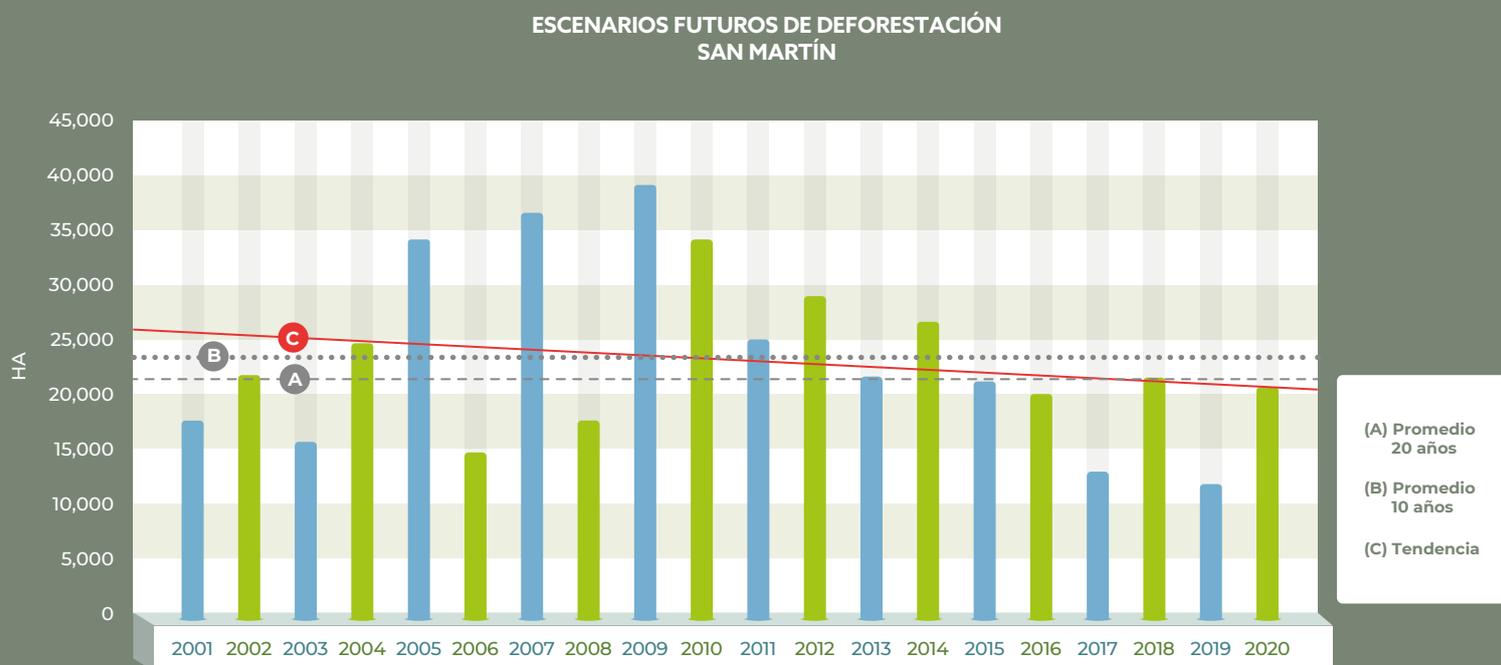
	Escenario A Promedio 2001-2020	Escenario B Promedio 2011-2020	Escenario C Tendencia 2000-2020
No bosque 2020	1 382 961	1 382 961	1 382 961
No bosque 2030	1 634 921	1 680 414	1 778 398
Posibles áreas deforestadas	251 960	297 453	395 437

Fuente: Elaboración propia

7.2.2. **Proyección espacial de la deforestación en San Martín**

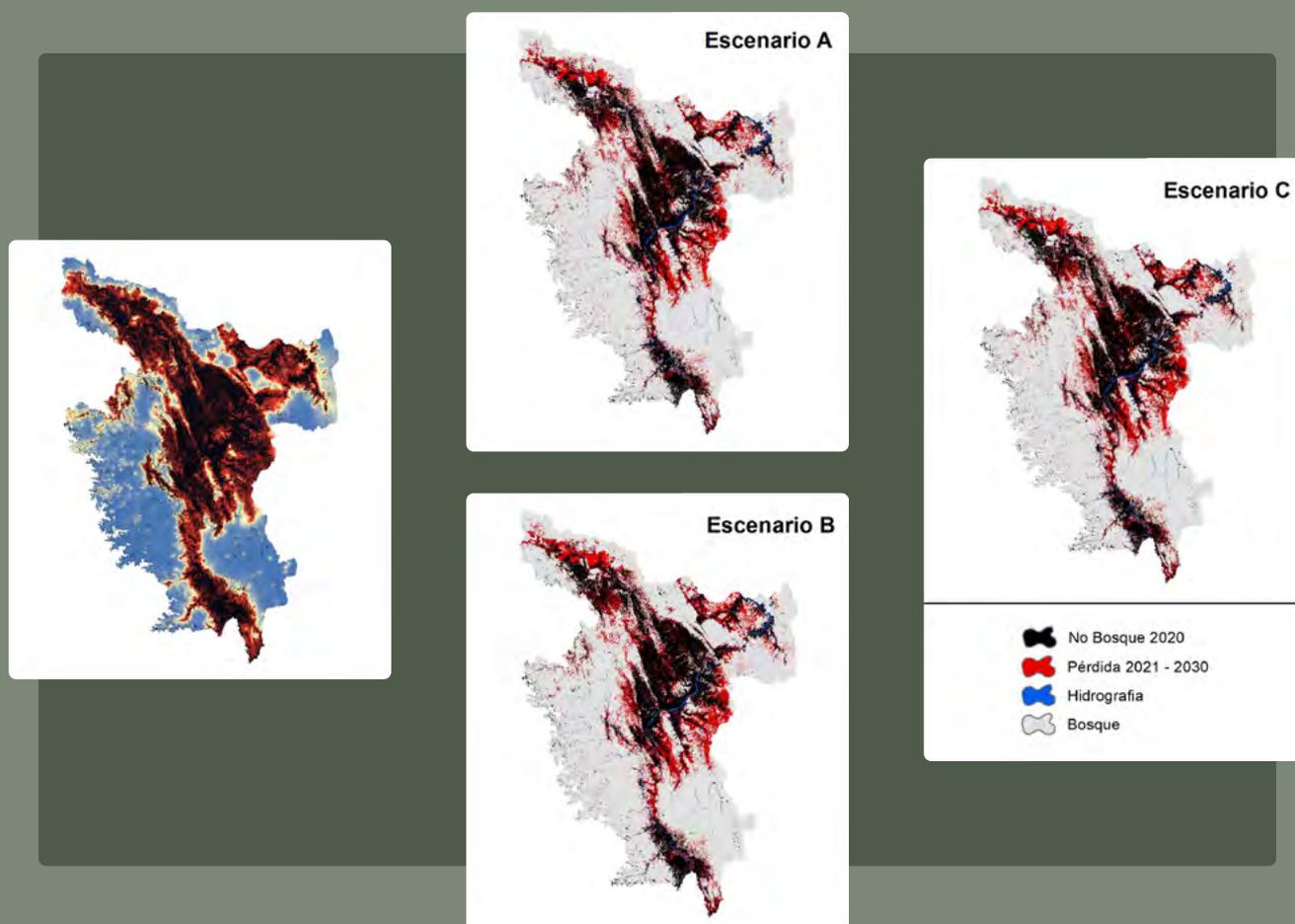
Al igual que en Loreto, se utilizaron las tasas de cada escenario para la proyección y ubicación futura de la deforestación. Para el caso de San Martín, de acuerdo con los datos históricos, se observa una tendencia a la baja y el promedio de los últimos diez años es el menor entre los tres departamentos.

FIGURA 15.
ESCENARIOS PROPUESTOS PARA EL DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN



De igual forma, se utilizó el mapa de riesgo de deforestación y el mapa de priorización de áreas para la región San Martín y, tomando de base las tasas de deforestación de cada escenario, se proyectó espacialmente la deforestación hasta el año 2030.

FIGURA 16.
SIMULACIÓN ESPACIAL DE LA DEFORESTACIÓN AL AÑO 2030 PARA SAN MARTÍN



De acuerdo con estos escenarios, se demuestra que el escenario A es el que presenta una posible mayor deforestación con 173 283 ha seguido por el escenario B que podría generar una deforestación de 157 048 ha, y por último, un escenario C con 142 470 ha.

TABLA 4.
POSIBLE DEFORESTACIÓN AL AÑO 2030 CON LAS CONDICIONES ACTUALES - SAN MARTÍN

	Escenario A Promedio 2001-2020	Escenario B Promedio 2011-2020	Escenario C Tendencia 2000-2020
No bosque 2020	1 478 283	1 478 283	1 478 283
No bosque 2030	1 651 566	1 635 331	1 620 753
Posibles áreas deforestadas	173 283	157 048	142 470

Fuente: Elaboración propia

7.2.3. Proyección espacial de la deforestación en Ucayali

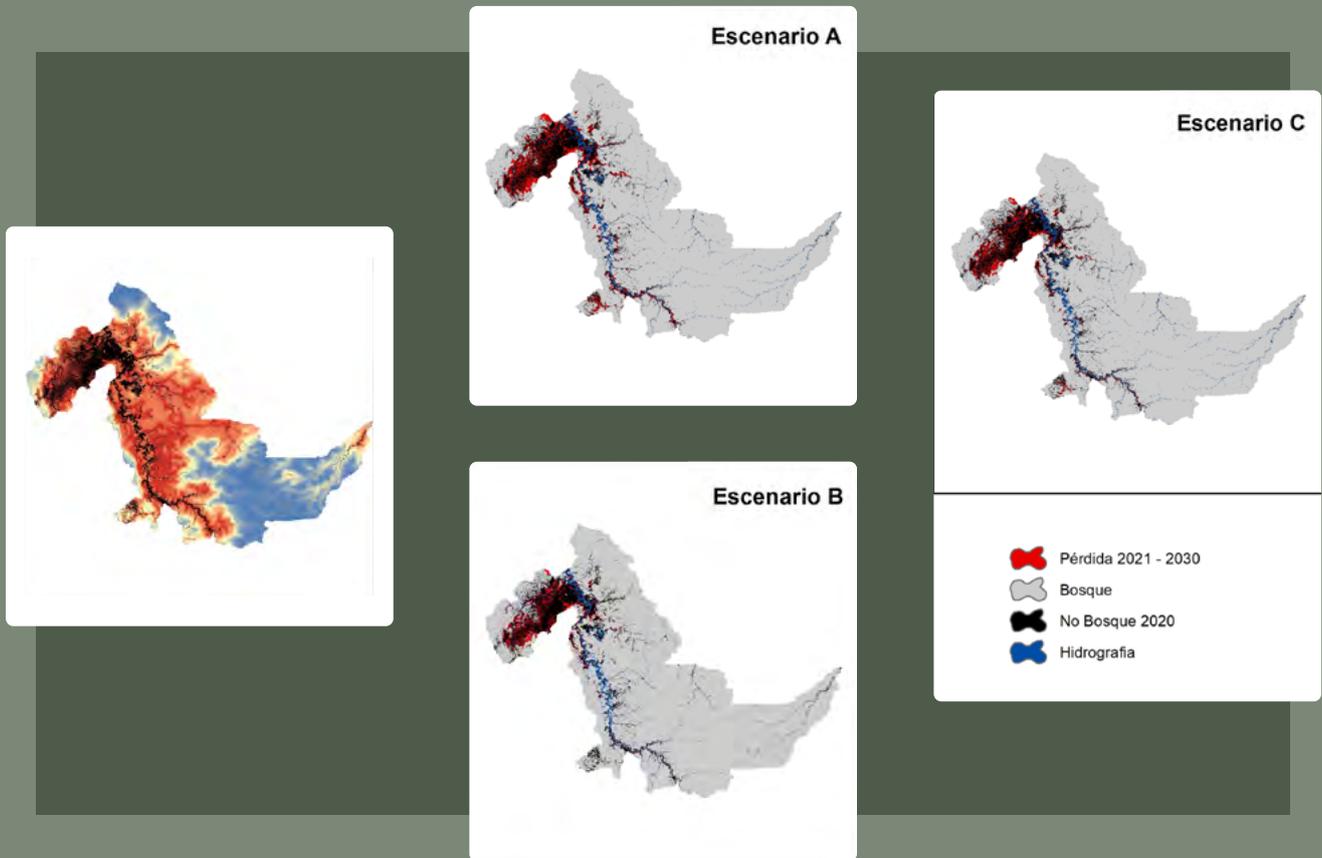
Por último, está el departamento de Ucayali. Igual que Loreto y San Martín, se utilizaron las tasas de cada escenario para su proyección y ubicación futura de la deforestación. De acuerdo con los datos históricos de deforestación, se observa una tendencia marcada hacia el alza de la deforestación.

FIGURA 17.
ESCENARIOS PROPUESTOS PARA EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI



A partir del mapa de riesgo de deforestación y al mapa de priorización de áreas, y tomando de base las tasas de deforestación de cada escenario, se proyectó espacialmente la deforestación hasta el año 2030.

FIGURA 18.
ESCENARIOS SIMULACIÓN ESPACIAL DE LA DEFORESTACIÓN AL AÑO 2030 UCAYALI



Por último, se observa una pérdida de bosques de hasta 467 708 ha para el escenario C, seguido por el escenario B, que podría generar una deforestación de 311 188, y, por último, está el escenario A, que puede generar una deforestación de 229 686 ha.

TABLA 5.
POSIBLE DEFORESTACIÓN AL AÑO 2030 CON LAS CONDICIONES ACTUALES - UCAYALI

	Escenario A Promedio 2001-2020	Escenario B Promedio 2011-2020	Escenario C Tendencia 2000-2020
No bosque 2020	998 770	998 770	998 770
No bosque 2030	1 228 456	1 309 958	1 466 478
Posibles áreas deforestadas	229 686	311 188	467 708

Fuente: Elaboración propia

7.3. Cuantificación de emisiones de GEI

Para la actualización de los cálculos de las emisiones de GEI al año 2030, se utilizaron los contenidos del stock de carbono proporcionados en el documento Nivel de referencia de emisiones forestales (MINAM, 2021). Cabe señalar que estos datos de emisiones de GEI provienen del documento Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa (MINAM, 2014), que posteriormente fueron actualizados en el Reporte anual de gases de efecto invernadero del sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura del año 2014 (MINAM, 2019).

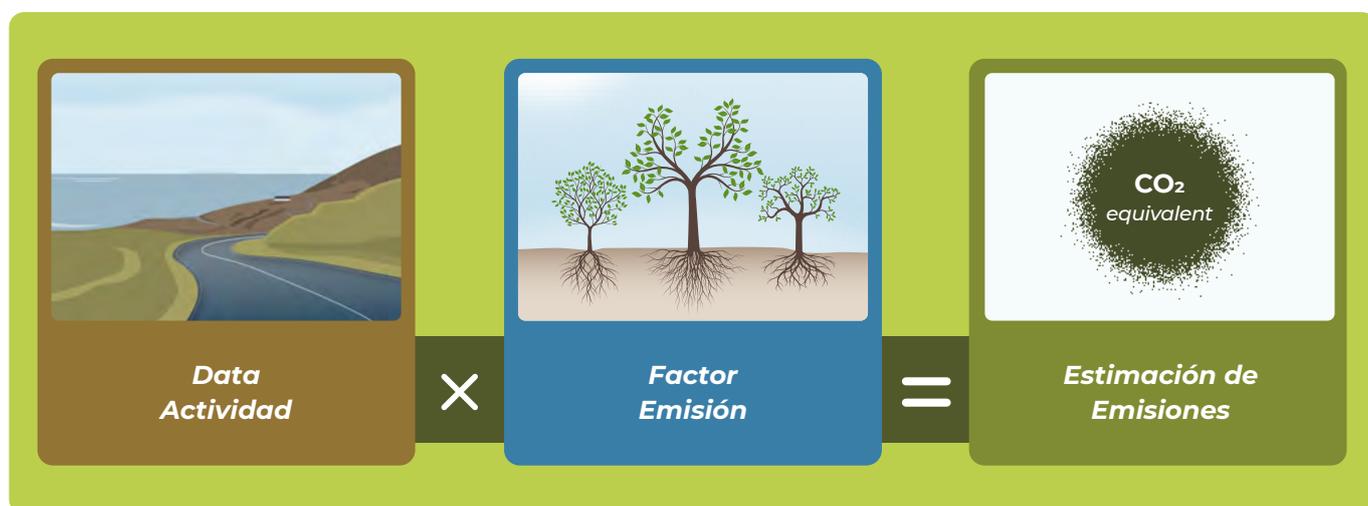
En cuanto a la metodología utilizada, esta fue la presentada por el Perú en el informe de construcción del nivel de referencia - NREF para medir, reportar y verificar las futuras emisiones por deforestación en el contexto de pagos por resultados⁷, que se utilizará para contabilizar las emisiones al año 2030 en los dos departamentos.

Donde:

$$E_t = \sum_i^l (A_{i,t} * EF_{i,t})$$

E_t: Emisiones por deforestación en el año t; tCO₂eq/año
A_{i,t}: Área deforestada en la ecozona i para establecer la categoría de uso del suelo en el año t; ha/año
EF_{i,t}: Factor de emisión aplicable a la ecozona i, cuando se convierte en la categoría de uso del suelo en el año t; tC/ha
i: Ecozona i; sin dimensiones
l: Número total de ecozonas; sin dimensiones
t: Un año; sin dimensiones

FIGURA 19.
ESTIMACIONES DE EMISIONES



7. Presentación del Perú de un NREF para reducir las emisiones por deforestación en la Amazonía peruana (Ministerio del Ambiente, 2015).

Con relación al factor de emisión - EF, este es obtenido a partir del producto de las existencias⁸ de carbono promedio por hectárea estimadas para la biomasa de los árboles vivos para un reservorio indicado (ecozona) y 44/12, valor que representa la transformación del carbono total a CO₂, obtenido a partir del peso molecular. Los valores de cada EF se presentan en la tabla 7.

TABLA 6.
POSIBLES EXISTENCIAS DE CARBONO PROMEDIO Y FACTORES DE EMISIÓN ESTIMADOS PARA LAS ECOZONAS DEL PERÚ

Ecozona	C estimado (tC/ha)	FE (tCO ₂ eq/ha)
Selva difícil acceso	88,71	526,38
Selva alta accesible	86,32	488,11
Selva baja	116,74	647,89
Zona hidromórfica	78,70	425,78

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 7, la Amazonía peruana está comprendida por cuatro ecozonas. Cada una de estas presenta una existencia de carbono promedio por hectárea en (tCO₂-e ha⁻¹), estimado por la suma de la biomasa de árboles vivos y biomasa subterránea, las cuales utilizan la ecuación de 0,47 propuesta en el IPCC 2006 y el valor de transformación para la transformación a toneladas de dióxido de carbono equivalente.

7.3.1. **Quantificación de emisiones de GEI considerando el cálculo potencial de mitigación para el escenario B. Proyección espacial de la deforestación**

El escenario de línea base considera que la posible deforestación proyectada está vinculada directamente con las vías existentes, proyectadas y líneas de transmisión eléctricas y demás *drivers*. En su propuesta de medida NDC para reducir la deforestación por la expansión de la infraestructura vial en la Amazonía⁹, DAR determinó que la construcción de nuevas vías puede ocasionar un incremento del 32% en la deforestación histórica. Asimismo, en el mismo documento se hace referencia a que las buenas prácticas propuestas para una mejor gestión en la construcción de nuevas vías pueden reducir hasta un 10% la deforestación (medida de mitigación). Por otro lado, de acuerdo con el documento Nivel de referencia de emisiones forestales, presentado por el MINAM en 2021, es más apropiado establecer una proyección de emisiones por deforestación en la Amazonía peruana mediante su promedio histórico de los últimos diez años (2011-2020).

El escenario de línea base considera que los proyectos viales que se desarrollen a partir de 2021 siguen careciendo de una adecuada planificación y gestión del territorio, por lo cual se incrementarían las áreas deforestadas de una manera poco controlada.

8. Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú (MINAM, 2014).

9. https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2022/06/118-Informe-NDC-6-junio-1.pdf?fbclid=IwAR0gLyOo_8N5vZl5IP-TxwThXay2WIW-cCF4Kd5tny9TbNIMYViac002pZCI

1. Escenario BAU y medida de mitigación 2030 - Loreto

Para este cálculo, se utilizaron las emisiones por deforestación para el escenario B de la región Loreto. Asimismo, se midió el incremento de la deforestación según el porcentaje establecido en la propuesta de medida.

TABLA 7.
POSIBLE DEFORESTACIÓN (HA) POR ECOZONAS EN EL DEPARTAMENTO DE LORETO

Ecozona/cobertura	Selva Baja	Selva alta difícil	Selva alta accesible	Zona hidromórfica	Total (ha)
Escenario (B) Promedio 2011-2020	229 072	8 062	10 060	50 260	297 453
Escenario (B) Promedio 2011-2020 + 32%	305 048	10 898	11 555	71 436	398 936

Fuente: Elaboración propia

TABLA 8.
EMISIONES (TCO₂EQ/HA) POR ECOZONAS EN EL DEPARTAMENTO DE LORETO

Ecozona/cobertura	Selva Baja	Selva alta difícil	Selva alta accesible	Zona hidromórfica	Total tCO ₂ e ha-1
Escenario B Promedio 2011-2020	148 413 199	4 243 449	4 910 309	21 399 494	178 966 451
Escenario B Promedio 2011-2020 + 32%	197 637 244	5 736 305	5 640 116	30 416 084	239 429 749
Con potencial de mitigación (10% de reducción)	177 873 520	5 162 675	5 076 104	27 374 476	215 486 774

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se observa que las emisiones por deforestación proyectadas para el periodo 2021-2030 basada en un promedio histórico de 2011-2020 (escenario B) se consideraron como escenario BAU. Para el año 2030, se observa que podrá existir un total de 178 966 451 tCO₂e ha-1, mientras que, en el escenario con la construcción de todas las vías, es de 239 429 749 tCO₂e ha-1. Para el último el escenario con potencial de mitigación, se observa un total de 215 486 774 tCO₂e ha-1.

2. Escenario BAU y medida de mitigación 2030 - San Martín

Al igual que Loreto, para este cálculo se utilizaron las emisiones por deforestación para el escenario B para la región San Martín.

TABLA 9.
POSIBLE DEFORESTACIÓN (HA) POR ECOZONAS EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Ecozona/cobertura	Selva Baja	Selva alta difícil	Selva alta accesible	Total (ha)
Escenario B Promedio 2011-2020	19 091	7 018	130 940	157 048
Escenario B Promedio 2011-2020 + 32%	25 211	9 290	172 909	207 410

Fuente: Elaboración propia

TABLA 10.
EMISIONES (tCO₂EQ/Ha) POR ECOZONAS EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Ecozona/cobertura	Selva Baja	Selva alta difícil	Selva alta accesible	Total tCO ₂ e ha-1
Escenario B Promedio 2011-2020	12 368 680	3 694 003	63 913 040	79 975 724
Escenario B Promedio 2011-2020 + 32%	16 334 117	4 889 823	84 398 607	105 622 547
Con potencial de mitigación	14 700 705	4 400 841	75 958 746	95 060 292

Fuente: Elaboración propia

Para el departamento de San Martín se observa que las emisiones por deforestación proyectada para el periodo 2021-2030 según el escenario B serán 79 975 724 tCO₂e ha-1, mientras que un escenario de full desarrolló evidencia un total de 105 622 547 tCO₂e ha-1, mientras que, con la medida de mitigación, se puede reducir en 95 060 292 tCO₂e ha-1.

3. Escenario BAU y medida de mitigación 2030 - Ucayali

Al igual que Loreto y San Martín, se utilizaron las emisiones por deforestación para el escenario B para la región Ucayali.

TABLA 11.
POSIBLE DEFORESTACIÓN (HA) POR ECOZONAS EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI

Ecozona/cobertura	Selva Baja	Selva alta difícil	Selva alta accesible	Total (ha)
Escenario B Promedio 2011-2020	296 761	3 713	10 714	311 188
Escenario B Promedio 2011-2020 + 32%	385 170	6 766	19 276	411 213

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se calcularon las emisiones por deforestación acumulada por ecozonas al año 2030 y potencial de mitigación.

TABLA 12.
EMISIONES (TCO₂EQ/HA) POR ECOZONAS EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI

Ecozona/cobertura	Selva Baja	Selva alta difícil	Selva alta accesible	Total tCO ₂ e ha-1
Escenario B Promedio 2011-2020	192 268 517	1 954 517	5 229 591	199 452 625
Escenario B Promedio 2011- 2020 + 32%	249 548 102	3 561 498	9 409 038	262 518 638
Con potencial de mitigación	224 593 292	3 205 348	8 468 134	236 266 774

Fuente: Elaboración propia

En el departamento de Ucayali, se observa que las emisiones por deforestación proyectadas para el periodo 2021-2030 basadas en el escenario B podrían alcanzar las 199 452 625 tCO₂e ha-1, mientras que un escenario de full desarrollo evidencia un total de 262 518 638 tCO₂e ha-1.

8.

Conclusiones y recomendaciones

- La actualización de escenarios futuros a partir de datos históricos de deforestación en las regiones de Loreto, San Martín y Ucayali sigue siendo una alternativa eficaz para generar supuestos de manera espacial explícita. Se recomienda que los gobiernos regionales e instituciones encargadas de la planificación forestal puedan utilizar estos datos o modelo como una herramienta de gestión.
- Para fines de este estudio, se mejoró la resolución espacial de los escenarios a 30 m, se incorporó información a detalle de otros actores y se replicó la metodología por departamento de forma independiente. Esto permitió evaluar los posibles impactos a detalle y realizar dinámicas comparativas entre los modelos. Los resultados de las tres simulaciones realizadas en cada departamento han demostrado que los factores que más contribuyen a la deforestación son las vías vecinales, las áreas agrícolas y los centros poblados.
- Los resultados de la simulación de los bosques para el año 2030, al ser espaciales, son útiles, pero no determinantes, debido a que son escenarios que pueden variar en función de las decisiones que se tomen en los próximos años. En tal sentido, solo son una referencia del histórico hacia el futuro.

Referencias bibliográficas

Barber, C. P., Cochrane, M. A., Souza C. M. y Laurance, W. F. (2014). Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation*, 177, 203-209. doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.004.

Bax, V. Francesconi, W. y Quintero M. (2016). Spatial modeling of deforestation processes in the Central Peruvian Amazon. *Journal for Nature Conservation*, 29, 79-88. doi.org/10.1016/j.jnc.2015.12.002.

Cochrane, M. A., Bergen, S. Fearnside, P. M., Delambnica, P, Barber, C. Angelo, S. D. y Fernandes T. (2001). The Future of the Brazilian Amazon, 291. doi.org/10.1126/science.291.5503.438..

FAO (2016). *Recursos forestales mundiales* (primera edición).

Gallice, G. R., Larrea-Gallegos, G. y Vázquez-Rowe, I. (2019). The threat of road expansion in the Peruvian Amazon. *Oryx*, 53, 284-292. doi.org/10.1017/S0030605317000412.

Geist, H. J. y Lambin E. F. (2001). *What Drives Tropical Deforestation?* Serie N° 4. Louvain la Neuve: LUCC International Project Office.

Geist, H. J. y Lambin E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, 52, 143. doi.org/10.1641/0006-3568052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2.

Hosonuma, N., Herold, M. De Sy, V. De Fries, R. S., Brockhaus, M., Verchot, L., Angelsen, A. y Romijn E. (2012). An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries. *Environmental Research Letters*, 7. doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044009.

Ibisch, P. (2016). *A global map of roadless areas and their conservation status*. doi.org/DOI:10.1126/science.aaf7166.

Laurance W. F. (2004). *Carretera a la ruina: la expansión de las redes de transporte pone en peligro la biodiversidad global*.

MINAM (2014). *Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú* (primera edición).

MINAM (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal*.

MINAM (2015). *Memoria descriptiva del mapa de bosque/No Bosque año 2000 y Mapa de pérdida de los Bosques Húmedos Amazónicos del Perú 2000-2011*.

MINAM (2021). *Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico*, 1-120.

MINAM (2012). *Memoria descriptiva - Mapa de cobertura vegetal*. doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004.

Poor, E. E., Jati, V. I. M., Imron, M. A. y Kelly, M. J. (2009). The road to deforestation: Edge effects in an endemic ecosystem in Sumatra, Indonesia. *PLoS ONE*, 14. 1-13. doi.org/10.1371/journal.pone.0217540.

Rojas, E. (2017). *Análisis y simulación para el año 2030 de los bosques húmedos amazónicos del Perú ante el cambio climático*. Universidad de Barcelona.

Rojas, E. (2021). Deforestation risk in the Peruvian Amazon basin. *Environmental Conservation*, 1-10. doi.org/10.1017/s0376892921000291.

Shukla, J., Nobre C. y Sellers P. (1990). Amazon Deforestation and Climate Change. *Science*, 247, 1322-1325. doi.org/10.1126/science.247.4948.1322.

Southworth, J., Marsik, M., Qiu, Y., Perz, S., Cumming, G., Stevens, F., Rocha, K., Duchelle, A. y Barnes, G. (2011). Roads as drivers of change: Trajectories across the tri-national frontier in MAP, the southwestern Amazon. *Remote Sensing*, 3, 1047-1066. doi.org/10.3390/rs3051047.

Con el apoyo de:

