



Iniciativa para la Conservación
en la Amazonía Andina - ICAA



Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.

Cambio de Cobertura de la Tierra en el área de influencia del proyecto de interconexión entre Pucallpa y Cruzeiro do Sul, Perú

MARZO DE
2015

Autores:

Juan Carlos Ledezma
Marianela García Díaz

Este informe ha sido desarrollado en el marco de la investigación "Análisis económico y socioambiental de los proyectos de interconexión Pucallpa - Cruzeiro do Sul"

Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo del Pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), bajos los términos del convenio N°AID-OAA-A-11-00019.

Las opiniones aquí expresadas son las de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de USAID ni del gobierno de los Estados Unidos.

Esta investigación ha sido producida por encargo del Consorcio Paisajes Indígenas de la Iniciativa para la Conservación en la Amazonía Andina (ICAA) liderado por The Nature Conservancy (TNC) e integrado por las siguientes organizaciones: Nacionalidad Originaria A'I Kofan del Ecuador (NOA'IKE), Coordinadora de Organizaciones Indígenas de la Cuenca Amazónica (COICA), Instituto del Bien Común (IBC) y Conservation Strategy Fund (CSF).

CONTENIDO

1. INTRODUCCION	3
2. OBJETIVO	5
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	5
3.1. Tipos de vegetación dentro del área de estudio.....	7
4. PRIMERA PARTE – CAMBIO DE COBERTURA EN EL PERIODO 1985-2011.....	9
4.1. Metodología	9
4.2. Resultados	13
4.2.1. Mapas de cobertura.....	13
4.2.2. Validación de la clasificación.....	18
a) Análisis multitemporal del cambio de cobertura 1985-2011.....	19
b) Análisis quinquenal de cambios en toda el área del proyecto.....	19
(1) Análisis de persistencia de clases de toda el área del proyecto	21
c) Análisis quinquenal de cambios en Piedemonte.....	24
(1) Análisis de persistencia de la cobertura vegetal en el área de Piedemonte	25
d) Análisis quinquenal de cambios en el área de llanura	26
(1) Análisis de persistencia de la cobertura vegetal en el área de Llanura	28
e) Análisis quinquenal de cambios en el área de penillanura	29
(1) Análisis de persistencia de la cobertura vegetal en el área de penillanura	30
5. SEGUNDA PARTE – PROYECCION DEL CAMBIO DE COBERTURA BAJO DIFERENTES ESCENARIOS ..	31
5.1. Metodología	31
5.1.1. Generalidades sobre el Land Change Modeler (LCM).....	31
5.1.2. Pasos para la modelación con LCM	32
a) Identificación del cambio potencial.....	32
b) Predicción del cambio	40
c) Análisis del cambio.....	45
5.2. Resultados	45
5.2.1. Proyecciones del cambio de cobertura para el área penillanura	45
a) Cobertura de bosque.....	46
b) Cobertura de agricultura.....	47
c) Cobertura de vegetación secundaria	48
5.2.2. Mapas de proyecciones de cambios de cobertura en diferentes escenarios	51
a) Mapas de proyecciones de escenarios sin obra de infraestructura.....	52

<i>b) Mapas de proyecciones de escenarios con obra de camino</i>	<i>54</i>
<i>c) Mapas de proyecciones con obra de tren.....</i>	<i>56</i>
6. CONCLUSIONES	58
BIBLIOGRAFIA	59

Cambio de Cobertura de la Tierra en el área de influencia del proyecto de interconexión entre Pucallpa y Cruzeiro do Sul, Perú

1. INTRODUCCION

El proyecto de construcción de la carretera que conectará las ciudades de Pucallpa en Perú y Cruzeiro do Sul en Brasil, atraviesa una región amazónica de alta relevancia en términos de biodiversidad y, podría afectar las zonas de influencia de áreas protegidas en ambos países. Por esta razón, se evalúa la magnitud en la que una carretera podría ejercer mayor presión ambiental sobre el área, acelerando la extracción de recursos y el cambio de la cobertura vegetal.

La cobertura vegetal es la interacción de los factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado de manera integral. Es el resultado de la asociación espacio-temporal de los elementos biológicos característicos, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales. En general, la cobertura vegetal tiene el propósito de proteger el suelo contra la erosión, regular el escurrimiento de agua, mantener y restituir la fertilidad de los suelos, ya que aportan materia orgánica y reciclan nutrientes que son una fuente de alta diversidad y aportan con productos útiles, descontaminan el aire y embellecen el paisaje.

Son varias las causas a las cuales se atribuye el cambio de cobertura vegetal, pero la mayoría coincide con el crecimiento exponencial que experimentó la población humana a nivel mundial en las últimas décadas, la demanda de recursos naturales para satisfacer las necesidades de supervivencia de esa población y las formas y mecanismos de apropiación de los recursos, con frecuencia ligados a fuerzas sociales, económicas y políticas, las cuales han presentado implicaciones estructurales y funcionales sobre los ecosistemas¹.

Estas relaciones, hombre – medio ambiente o entre el ambiente y los procesos ligados a la economía social, se manifiestan o materializan como cambios en la cobertura y uso del suelo². De igual manera, se afirma que el desarrollo tecnológico favoreció a que el impacto en el entorno inmediato de las poblaciones humanas rebase el nivel local y regional y, alcance la escala global.

1 Mas, et al., 2009; Rosete, et al., 2009

2 Lambin, 1997; Vaitkus y Vaitkuvienė, 2005; Chen y Yang, 2008

Como consecuencia del cambio de cobertura de bosque, se reconocen, desde hace más de dos décadas, los cambios en el ambiente global con implicaciones diversas con otras afectaciones ambientales, como ser: el cambio climático y ciclo del carbono, la sustentabilidad agrícola, la capacidad productiva de ecosistemas, recarga y abastecimiento de acuíferos y los servicios ambientales³.

Los cambios de cobertura y uso de suelo se relacionan con la deforestación y fragmentación de ecosistemas, la desertización, la alteración del ciclo hidrológico e incremento de la vulnerabilidad de grupos humanos y con impactos ecológicos a prácticamente todas las escalas⁴. Inducen el deterioro y degradación de suelos, cambios en el microclima y modificaciones en los ciclos hídricos. A nivel regional provoca cambios en los ciclos hídricos de la cuenca, alteraciones en los regímenes de temperatura y precipitación; favoreciendo con ello el calentamiento global, la disminución en el secuestro de dióxido de carbono y pérdida de hábitats y biodiversidad⁵.

A pesar de la facilidad de realizar estudios con sensores remotos, no todas las áreas han sido estudiadas y, aún no se cuenta con suficiente información. En la región, existen trabajos relacionados, como ser la Memoria Técnica de la Cuantificación de la Cobertura de Bosque y Deforestación de la Amazonía Peruana. Este estudio fue realizado mediante la aplicación de herramientas de análisis, apoyado en el software CLASlite, con imágenes satelitales y validación de campo para los años 2000, 2005 y 2009, contando con el apoyo del Ministerio del Ambiente Peruano y de otras instituciones.

En el presente estudio, se caracterizan las áreas de bosque y no bosque y los resultados muestran dos periodos donde la tasa de deforestación del primer periodo, definido entre 2000 y 2005, es de 104,400 ha/año y del segundo periodo, entre 2005 y 2009, es de 177,200 ha/año. Sin embargo, este estudio presenta algunos vacíos de información debido a la metodología utilizada, que no identifica el bosque ni deforestación en áreas de sombra, de igual manera, algunas áreas en proceso de regeneración no son distinguidas como tal y, en algunos casos, pueden ser tomadas como bosque o como áreas deforestadas. Además, las capas de información de este estudio, no estaban disponibles hasta la fecha de inicio del presente trabajo. Por esta razón, en la primera parte del estudio se presenta un nuevo trabajo sobre el cambio de cobertura, que incluye el análisis de regeneración del bosque.

El cambio de cobertura y uso de suelo, como factor importante del cambio global, es un tema que recientemente recibió considerable atención en el dominio del modelaje espacial. Existen varios métodos y programas para este fin⁶.

³ Lepers et al., 2005; García y Mas, 2008

⁴ Bocco et al., 2001; Rosete, et al., 2009

⁵ Rosas I, Carranza G, Nava Y, Larqué A. Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM.

⁶ Mas et al., 2014

Los modelos de simulación espacial, que aportan bases científicas para apoyar el manejo sostenible del bosque basado en diferentes escenarios de simulación, pueden ser una guía para desarrollar políticas y establecer prioridades⁷. Para ello, usando el módulo “Land Change Modeler” de IDRISI Selva, es posible tener una visión de los cambios de cobertura del bosque actuales y futuros, dada su simplicidad y flexibilidad, así como su habilidad de modelar el uso dinámico del suelo y cambios de la cobertura del bosque. Este aspecto se cubre en la segunda parte del presente trabajo.

2. OBJETIVO

El objetivo general del trabajo es evaluar la factibilidad económica de las alternativas de conexión vial Pucallpa-Cruzeiro do Sul, para contribuir a la toma de decisiones en la zona de influencia.

El presente trabajo es uno de varios insumos que pretende contribuir al análisis de impactos ambientales del proyecto, como también realizar una aproximación de los costos de oportunidad para reducir la deforestación en el área de influencia de los proyectos viales. Para tal fin, se analizará el costo de oportunidad de evitar la deforestación en el ámbito de los proyectos de infraestructura alternativos, estimando la rentabilidad que generarían las principales alternativas de uso del suelo y conociendo las áreas más costo-eficientes de ser conservadas y las que podrían ser destinadas para desarrollar actividades agropecuarias.

De esta manera, se presenta un análisis multitemporal del cambio de cobertura entre 1985 y 2011 en la primera parte y una proyección de la deforestación hasta 2031 en la segunda parte.

3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se halla alrededor de la ciudad de Pucallpa en Perú. Comprende la zona de influencia del trazo de la carretera Pucallpa-Cruzeiro do Sul, definida por un máximo de 20 Km a cada lado de la vía (Figura 1).

⁷ Kamusoko et al., 2013

MAPA DE UBICACIÓN

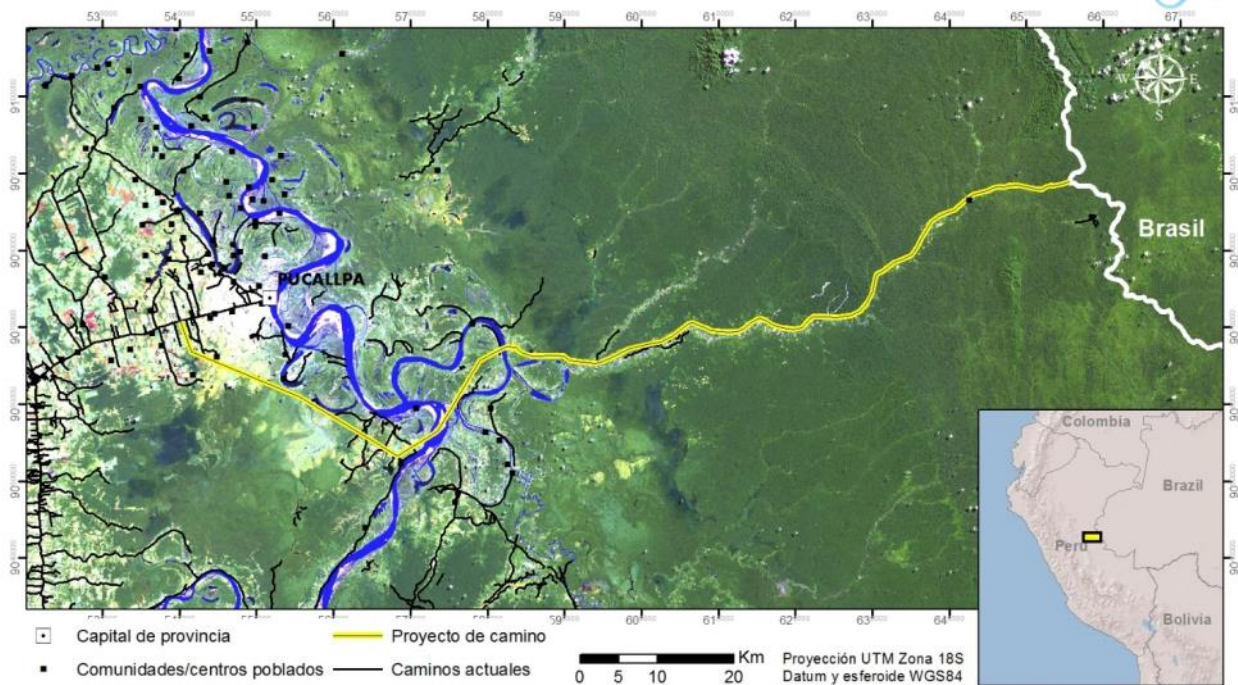


Figura 1: Área de estudio: Mapa Carretera Pucallpa-Cruzeiro do Sul

Fuente: Elaboración propia en base al SIG de la ZEE e imágenes Landsat

Durante el proceso de interpretación de imágenes, se detectaron diferencias sustanciales dentro del área de estudio, por ello, para fines de análisis, se dividió la imagen en tres partes (Figura 2).

- El **área de Piedemonte**, con un tamaño de 93.199 ha, se encuentra ubicada al este de la cordillera de los Andes y se caracteriza por una pendiente baja. Se encuentra urbanizada parcialmente con obras de infraestructura y con predominancia de áreas agrícolas y bosque inundable.
- El **área de Llanura**, con un tamaño de 411.841 ha, se extiende desde el inicio del trazo de la vía Pucallpa – Cruzeiro do Sul hacia el este. Cuenta con bosques y vegetación inundable y un gran componente de tierras agrícolas, asimismo, tiene una fuerte dinámica natural de cambio debido a la influencia de cuerpos de agua como el Río Ucayali, uno de los principales afluentes del río Amazonas.
- El **área de Penillanura**, con un tamaño de 681.317 ha, se encuentra al este del Río Ucayali y se caracteriza por leves ondulaciones. Cuenta con mayor cobertura vegetal boscosa y casi no existen áreas agrícolas en la zona. Dentro del esta área, el proyecto

propone construir aproximadamente 70 Km de carretera, llegando hasta la frontera con la República del Brasil.

AREAS DE ANÁLISIS DEL PROYECTO

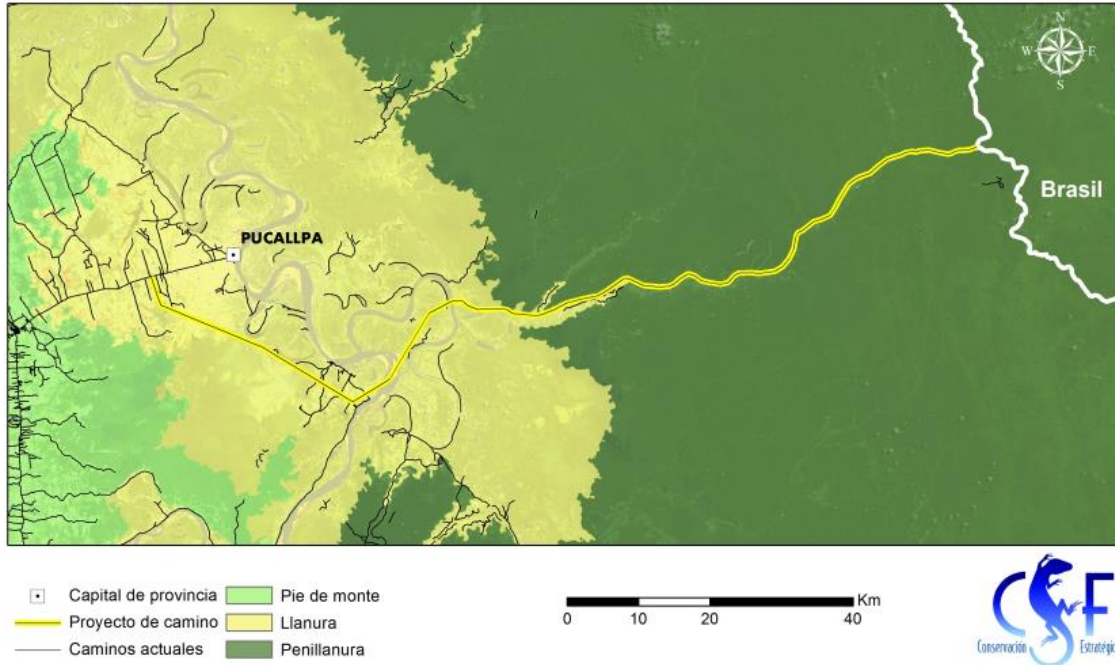


Figura 2: Mapa de áreas de análisis del proyecto

3.1. Tipos de vegetación dentro del área de estudio

Según Josse et al., 2007⁸ los tipos de vegetación en la Cuenca Amazónica del Perú son:

- Bosque siempreverde de la penillanura del oeste de la Amazonía. Sistema de mayor extensión y con más riqueza en especies leñosas arbóreas, asociadas por sectores, con palmeras grandes.
- Bosque multiestratificado con el dosel a 35 m de alto, con emergentes dispersos de más de 40 m y con diámetros generalmente de 80 a 120 cm. Se desarrolla sobre tierra firme con relieve de planicies y colinas bajas de orígenes sedimentarios.
- Bosque inundable de la llanura aluvial de ríos de aguas blancas del suroeste de la Amazonía.

⁸ Josse et al., 2007.

- Bosques estacionalmente inundados por aguas blancas fluyentes, desarrollados en la llanura aluvial reciente a subreciente de los ríos de la Amazonía suroccidental que transportan importantes cargas de sedimentos.
- Bosque inundable y vegetación riparia de aguas negras del suroeste de la Amazonía.
- Bosques amazónicos y vegetación ribereña, inundados por aguas negras fluyentes, distribuidos en los márgenes y llanura aluvial reciente de los ríos amazónicos de aguas no mineralizadas, pobres en sedimentos y ricas en ácidos húmicos.
- Bosque siempreverde estacional de la penillanura del suroeste de la Amazonía
- Bosque multiestratificado y con el dosel a 30-35 m de alto, con emergentes de hasta 40 m. Se desarrolla sobre suelos bien drenados de la penillanura laterítica ondulada del suroeste de la Amazonía, donde representa la matriz extensiva de la cobertura vegetal en áreas con bioclima pluviestacional húmedo del sur de Perú, norte de Bolivia y oeste de Brasil. En la mayoría de estos bosques es característica la presencia frecuente a abundante de *Bertholletia excelsa*.
- Bosque siempreverde estacional subandino del suroeste de la Amazonía
- Bosques amazónicos distribuidos en las serranías bajas subandinas con bioclima pluviestacional húmedo, por debajo de 1.100 a 1.300 msnm, en el centro-norte de Bolivia y en el centro sur del Perú.
- Bosque de serranías aisladas del oeste de la Amazonía. Sistema que se desarrolla sobre montañas aisladas de la cordillera El Divisor, originada en el Terciario, sobre suelos desde arcillo arenosos en las laderas a arenosos en las cimas y con buen drenaje debido a la pendiente. El bosque de las laderas es más diverso y más alto que el de las cimas, que se distingue por sus troncos delgados y de baja estatura. Se encuentra entre 150 y 800 msnm, en el conjunto de montañas al sureste de Contamana, hacia la frontera con Brasil.
- Bosque con Bambu del suroeste de la Amazonía. Sistema de bosques puros o mixtos de *Guadua* que se desarrolla sobre la penillanura de relieves planos, disectados y de colinas bajas del Terciario y Cuaternario hasta las faldas aplanadas del piedemonte andino, entre 150 y 1.200 msnm. En la región suroccidental de la Amazonía en Perú, Bolivia y Brasil. Las matas de bambúes alcanzan hasta 20 m, definiendo un dosel continuo.
- Complejo de vegetación sucesional riparia de aguas blancas de la Amazonía. Comunidades herbáceas pioneras, seguidas por parches arbustivo-arbóreos también de especies pioneras, que colonizan los márgenes ecológicamente inestables de los ríos amazónicos de aguas blancas, en zonas con suelos no evolucionados, periódicamente redepositados y que a la vez son destruidos durante las grandes crecidas fluviales.

- Herbazal pantanoso de la llanura aluvial de la alta Amazonía. Complejo de vegetación de pantano con matriz de herbazal graminoide y de grandes forbias hidrofíticas, asociadas en ocasiones algunos arbustos palustres y a palmeras dispersas. Distribuido principalmente en las llanuras aluviales recientes y en situaciones depresionales de las sabanas amazónicas.
- Bosque pantanoso de la llanura aluvial del oeste de la Amazonía. Sistema conformado por un conjunto de comunidades boscosas semiabiertas, intercaladas entre herbazales pantanosos y bosques pantanosos de palmeras. Es parte del mosaico que ocupa las depresiones laterales de las planicies aluviales de los grandes ríos de la Amazonía occidental, expuestas a los flujos de inundación de las aguas negras y mixtas filtradas en la estación de crecientes.
- Bosque del piedemonte del suroeste de la Amazonía. Conjunto de varios tipos de bosques desarrollados en los glaciares aluviales del piedemonte oriental de los Andes, sobre suelos bien drenados superiormente, pero con drenaje deficiente o napas freáticas en los horizontes edáficos inferiores. Es característica la combinación de especies de tierra firme junto a especies de las llanuras aluviales inundables por aguas blancas.
- Bosque pantanoso de palmeras de la llanura aluvial del sur de la Amazonía.
- Palmares y bosques con palmas de *Mauritia flexuosa*, inundados por aguas poco o no mineralizadas y sin sedimentos en suspensión. Se distribuyen en márgenes de cuerpos de agua permanentes, arroyos y depresiones de las llanuras aluviales de inundación que en el sur de Perú y Amazonía boliviana son de relativamente poca extensión.
- Complejo de bosques sucesionales inundables de aguas blancas de la Amazonía.

4. PRIMERA PARTE – CAMBIO DE COBERTURA EN EL PERIODO 1985-2011

4.1. Metodología

El análisis de imágenes de satélite de una región, tomadas en diferentes fechas, permite caracterizar los cambios ocurridos en ella. Este tipo de análisis se puede realizar basado en imágenes Landsat MSS para obtener información desde la década de los setentas hasta imágenes más recientes, como Landsat TM o ETM +.

Los mapas de cobertura de los años 1985, 1991, 1996, 2001, 2006 y 2011, presentados en este estudio, fueron elaborados a partir de las imágenes de satélite Landsat 5 TM, correspondientes a la escena de Path 6 y Row 66, las cuales se encuentran ortorectificadas en el sitio del Global

Visualization Viewer del Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS-GloVis⁹. Se buscaron imágenes con una baja cobertura de nubes, que en lo posible sean de la época seca.

Las imágenes que se obtuvieron corresponden a las siguientes fechas:

- 14/07/1985
- 16/08/1991
- 12/07/1996
- 11/08/2001
- 25/08/2006
- 07/08/2011

Una vez obtenidas las imágenes se realizó una extracción del área de interés, la cual fue definida en base a un área buffer de 20Km a cada lado del proyecto de carretera entre Pucallpa y la frontera con Brasil hacia Cruzeiro do Sul, de esta manera, se obtuvieron imágenes de 1.186.356 ha para las cuales se realizó un ensamble de 6 bandas para cada año de observación, entre las que incluyeron las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7.

Después de haber preparado las imágenes para la interpretación, considerando los fines del estudio, se definieron las siguientes clases de cobertura de interés:

- Agua: correspondiente a los cuerpos de agua permanentes y ocasionales resultado de las inundaciones. Son los ríos, lagunas, arroyos, depresiones y cuerpos de agua formados en la vegetación inundada.
- Suelo desnudo natural: corresponde a las áreas cercanas a los cuerpos de agua o playas de ríos. Se caracterizan por carecer de vegetación.
- Bosque: corresponde a un ecosistema donde la vegetación predominante son los árboles y cubren la mayor parte del área. De acuerdo a la caracterización de Josse y sus colaboradores, existen varios tipos de bosque en la Amazonía: siempreverde, multiestratificado y amazónico de varios tipos. Además, el bosque inundable, común en estas áreas con épocas de estiaje e inundación muy marcadas.
- Agricultura: correspondiente a zonas o áreas aptas para la agricultura y destinadas a cultivo de alimentos, generalmente con fines de subsistencia. Cada área se caracteriza por la existencia de una especie vegetal en crecimiento y el resto son eliminadas.
- Humedales: correspondiente a los bosques inundables de llanuras, ríos y la clase de herbazal pantanoso, según Josse et al. Es un complejo de vegetación de pantano con matriz de herbazal graminoide y de grandes forbias hidrofíticas, asociadas en ocasiones algunos arbustos palustres y a palmeras dispersas.

⁹ <http://glovis.usgs.gov/>

Distribuido principalmente en las llanuras aluviales recientes y en situaciones depresionales de las sabanas amazónicas.

- Área urbana: caracterizada por estar habitada de forma permanente. Estas áreas carecen de vegetación abundante y se caracterizan por la edificación de infraestructura.
- Vegetación secundaria: áreas cubiertas con vegetación en proceso de regeneración o áreas perturbadas como ser bosques en proceso de degradación. Se caracteriza por la existencia de varias especies en crecimiento y, en las imágenes, por sus valores espectrales similares a aquellos de bosque, aunque con una reflectancia de la vegetación fotosintética más baja que el área boscosa.

Posteriormente, con un objetivo claro sobre la finalidad de la interpretación de imágenes, teniendo en cuenta las coberturas que se desean mapear, se realizaron análisis visuales de diferentes combinaciones de bandas, definiéndose utilizar ensambles de las bandas 2, 5 y 7, con los cuales se procedió inicialmente a realizar una clasificación no supervisada con 45 clases. Luego, se procedió a agrupar clases similares para obtener las clases deseadas y además se aplicó un filtro de “low pass” de 3x3 al bosque, agricultura y vegetación en regeneración para eliminar píxeles aislados. Finalmente, para obtener los mapas de cobertura definitivos, se realizó una corrección personalizada tomando en cuenta posibles agrupaciones de píxeles errados, con base en estos mapas se realizaron cruces para obtener información sobre cambios de cobertura por periodos (Figura 3).

El detalle de los pasos específicos en la clasificación y análisis se describe a continuación:

Paso 1. Clasificación no supervisada con el algoritmo ISODATA¹⁰ que significa Técnica de Análisis de Datos Iterativa y Auto-Organizativa (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique por su nombre en inglés). Este algoritmo ubica los píxeles de una imagen multiespectral en clusters mediante la comparación estadística de los valores de cada píxel respecto a valores medios que representan cada cluster, esta agrupación puede ajustarse continuamente en cada iteración, en la cual también pueden ajustarse los valores de la media de cada cluster. Para realizar esta clasificación, el usuario solamente indica el número de clases que desea obtener como resultado. En el caso de las imágenes del área de estudio, se definieron 45 clases en el primer paso, las cuales pasan a un segundo proceso de agrupación para reducir la variabilidad y obtener las clases definitivas que, en este caso, fueron las 8 clases mencionadas anteriormente. Todo este proceso y los pasos subsecuentes hasta el paso 3 se realizaron con ERDAS Imagine 2013.

10 Swain P. H, 1973.

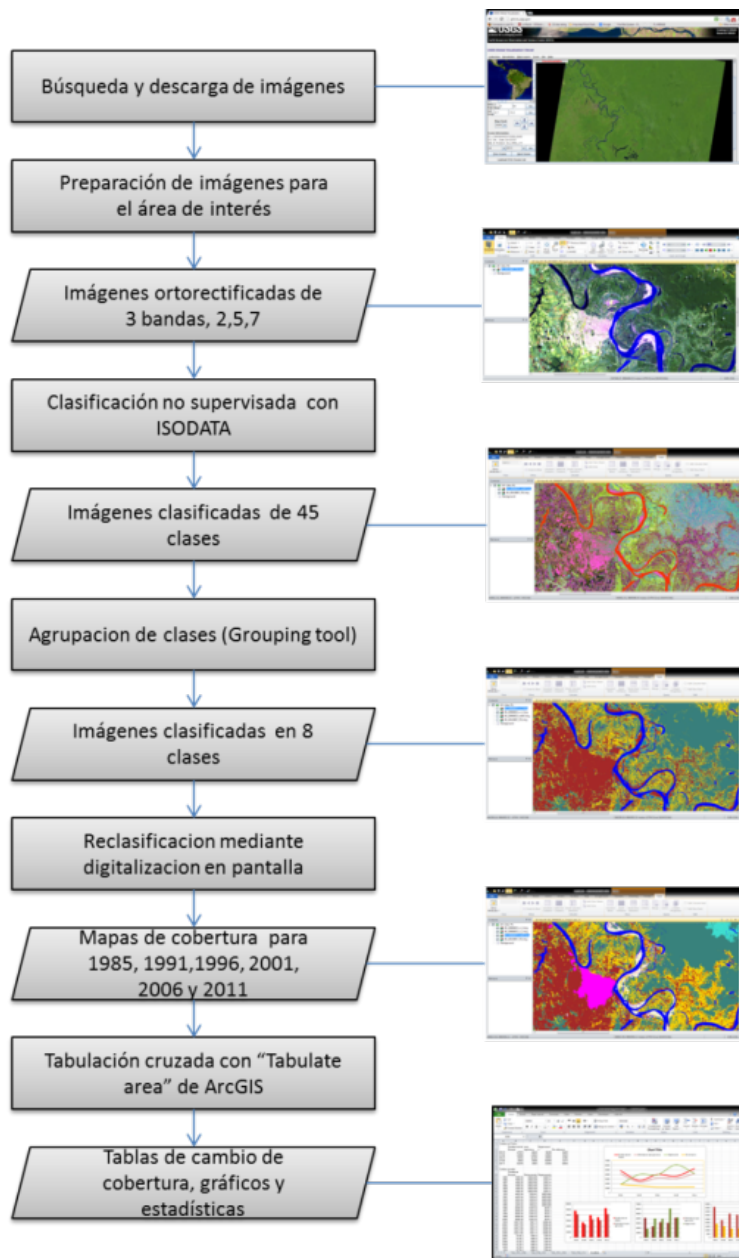


Figura 3. Esquema de procesamiento y análisis de imágenes satelitales.

Fuente: Elaboración propia

Paso 2. Reducción de la variabilidad de las clases pre-clasificadas con ISODATA en 16 clases. Para ello se utiliza una aplicación (Grouping Tool) que contiene una serie de herramientas estadísticas y gráficas que facilitan la agrupación.

Paso 3. Luego de haber agrupado los píxeles en la cantidad de clases deseada, aún se observaron zonas donde se presentaron clases espectralmente similares pertenecientes a distintas unidades; para disgregarlas se utilizó la técnica de digitalización en pantalla mediante

la utilización de polígonos personalizados en donde se reclasificaron los valores deseados de cada imagen.

Paso 4. A partir de los mapas de cobertura de cada año, se realizó un análisis de cambios mediante tabulaciones cruzadas de pares de años contiguos con ArcGIS, de esta manera se obtuvo información sobre el cambio de clases de cobertura de un año anterior al siguiente, por ejemplo de 1895 a 1991, 1991 a 1996, etc. Luego, dado que existen varias posibilidades de cambio, se analizaron cambios de las coberturas de Bosque, Áreas agrícolas y Vegetación en Regeneración.

4.2. Resultados

4.2.1. Mapas de cobertura

Como resultados de la interpretación de las imágenes utilizadas para el presente estudio, se obtuvieron seis mapas de cobertura para los años 1985, 1991, 1996, 2001, 2006 y 2011 (Figuras 4 a 9). Los datos de áreas de cobertura por tipo de clase se presentan en la Tabla 1.

La clase *Agua* está definida por una fuerte dinámica del Río Ucayali, uno de los principales ríos del Perú y afluente principal del Río Amazonas. Su caudal puede variar en un promedio de 4,000 m³/seg. a 20,000 m³/seg. Esta variación podría explicar la diferencia de casi 4,000 hectáreas ocupadas por el río y otros cuerpos de agua en 25 años, desde 1985 hasta 2011, sobre todo en el área Central. También existe un afluente en el área Este donde se ubica el trazo de la vía.

La clase definida como *Suelo Desnudo Natural*, se halla en áreas que ocupan el río y otros cuerpos de agua, pero, en otros casos, el crecimiento del río elimina estas áreas. Se caracteriza por carecer completamente de vegetación.

El *Bosque* es la clase que predomina en el área de Penillanura, aunque también se halla en la llanura. Ambas, sobre todo la primera, no cuentan con mucha influencia de actividades antrópicas. Esta clase muestra la reducción de más de 1,000,000 de hectáreas en el primer año, a más de 910,000 hectáreas en el último año.

La clase definida como *Agricultura* se refiere a aquellas áreas utilizadas para actividades agrícolas. Esta clase predomina en piedemonte y llanura, llegando a su máxima cobertura en 1996, donde muestra un incremento de más de 30,000 hectáreas desde 1985 hasta 1996. Sin embargo, hacia 2011 se reduce en algo más de 12,000 hectáreas. Es posible que esto influya en la reutilización de algunas de ellas en el tiempo.

Los *Humedales*, son áreas permanentes y que se inundan de acuerdo a la dinámica del río. Estas casi se duplican desde 1985 hasta 2011.

El Área Urbana predominante en la Llanura, aumenta sistemáticamente casi cinco mil hectáreas en 25 años.

Las *Áreas de Vegetación Secundaria* se han incrementado significativamente en el tiempo; con tan solo 43,000 hectáreas en el primer año, llegando a más de 130,000 hectáreas el último año estudiado.

Tabla 1: Clases de cobertura en cinco periodos para 25 años (en has).

	1985	1991	1996	2001	2006	2011
<i>Agua</i>	25,239	22,614	21,553	22,840	22,094	29,202
<i>Suelo desnudo natural</i>	5,705	4,452	5,600	7,431	4,546	4,252
<i>Bosque</i>	1,035,690	991,932	972,276	951,213	932,668	910,218
<i>Agricultura</i>	69,109	98,306	102,147	97,877	85,969	86,454
<i>Humedal</i>	5,997	7,436	6,135	8,167	6,769	12,878
<i>Área urbana</i>	1,592	2,303	3,002	4,111	4,242	5,915
<i>Vegetación secundaria</i>	43,023	59,313	75,642	94,718	130,069	137,438

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestran los mapas de cobertura donde se puede observar algunos de los cambios explicados anteriormente.

COBERTURA DE LA TIERRA - 14 de Julio de 1985

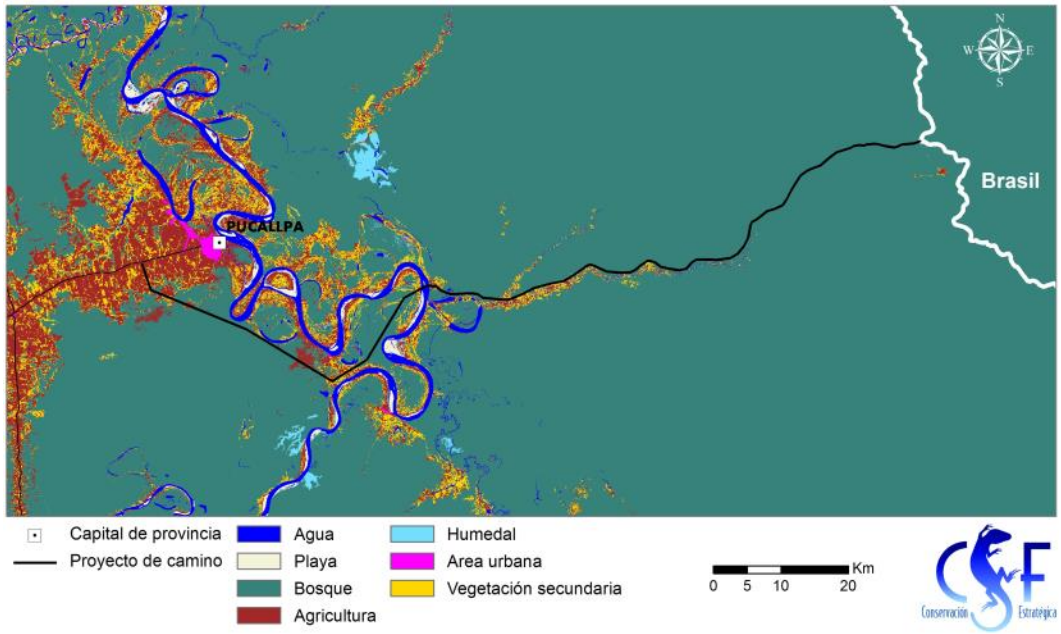


Figura 4: Mapa de cobertura de la tierra en 1985

COBERTURA DE LA TIERRA - 16 de Agosto de 1991

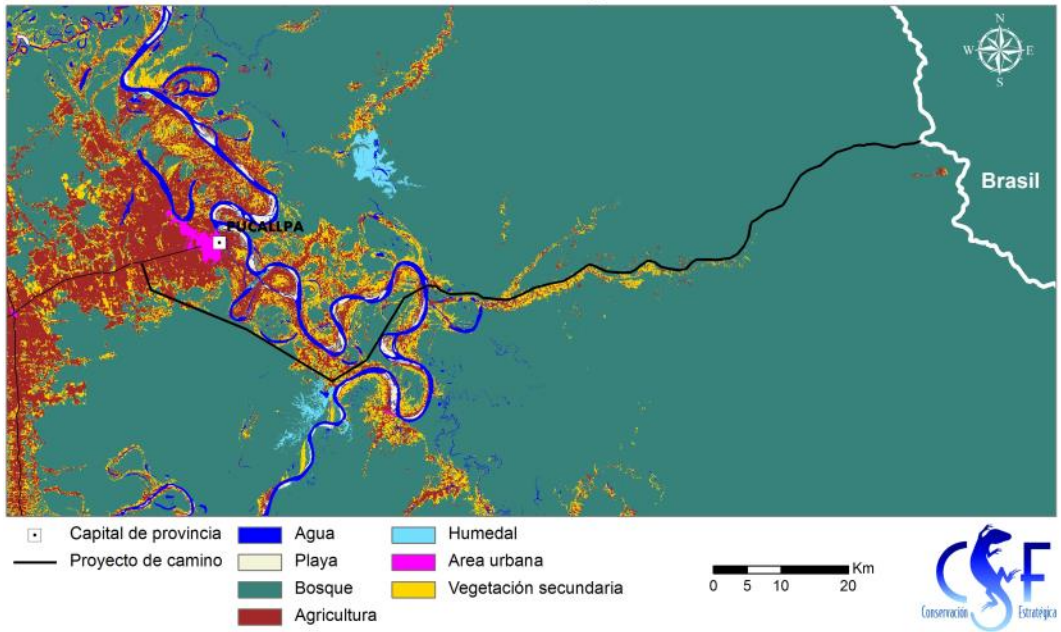


Figura 5: Mapa de cobertura de la tierra en 1991

COBERTURA DE LA TIERRA - 12 de Julio de 1996

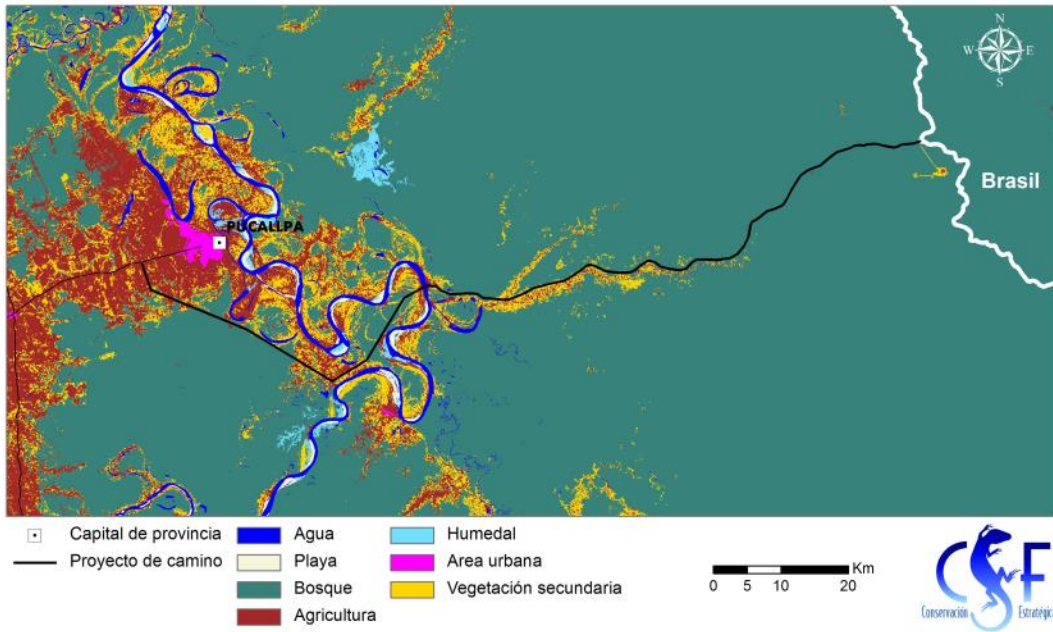


Figura 6: Mapa de cobertura de la tierra en 1996

COBERTURA DE LA TIERRA - 11 de Agosto de 2001

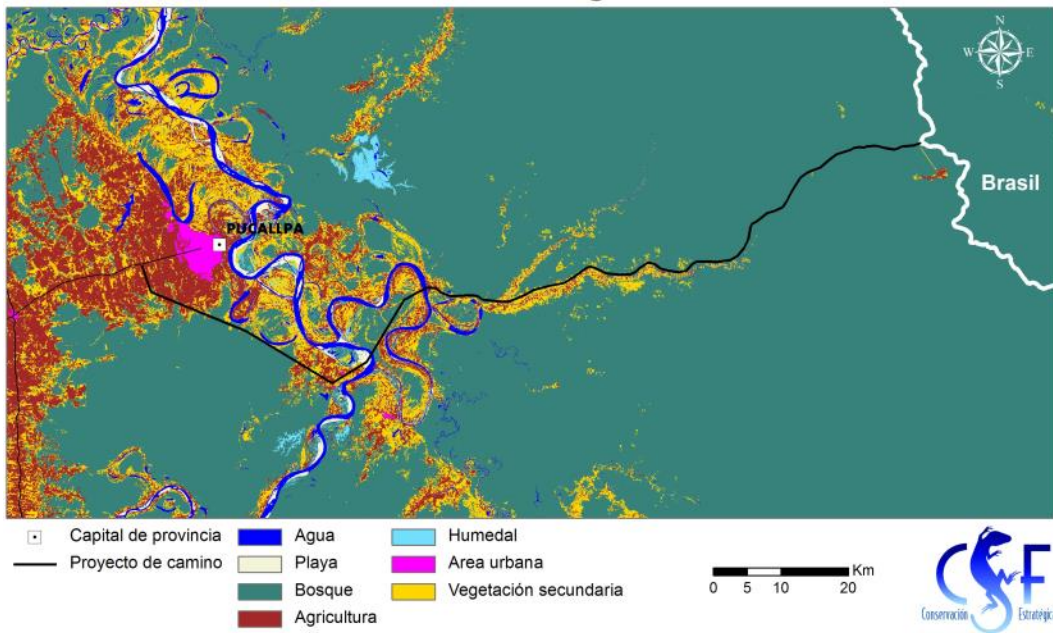


Figura 7: Mapa de cobertura de la tierra en 2001

COBERTURA DE LA TIERRA - 25 de Agosto de 2006

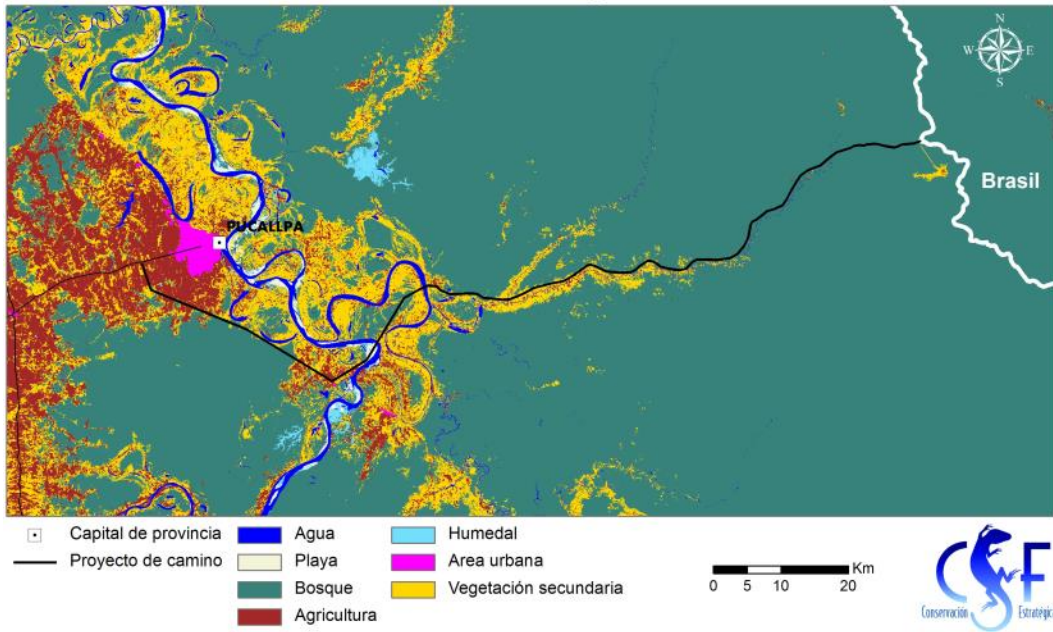


Figura 8: Mapa de cobertura de la tierra en 2006

COBERTURA DE LA TIERRA - 7 de Agosto de 2011

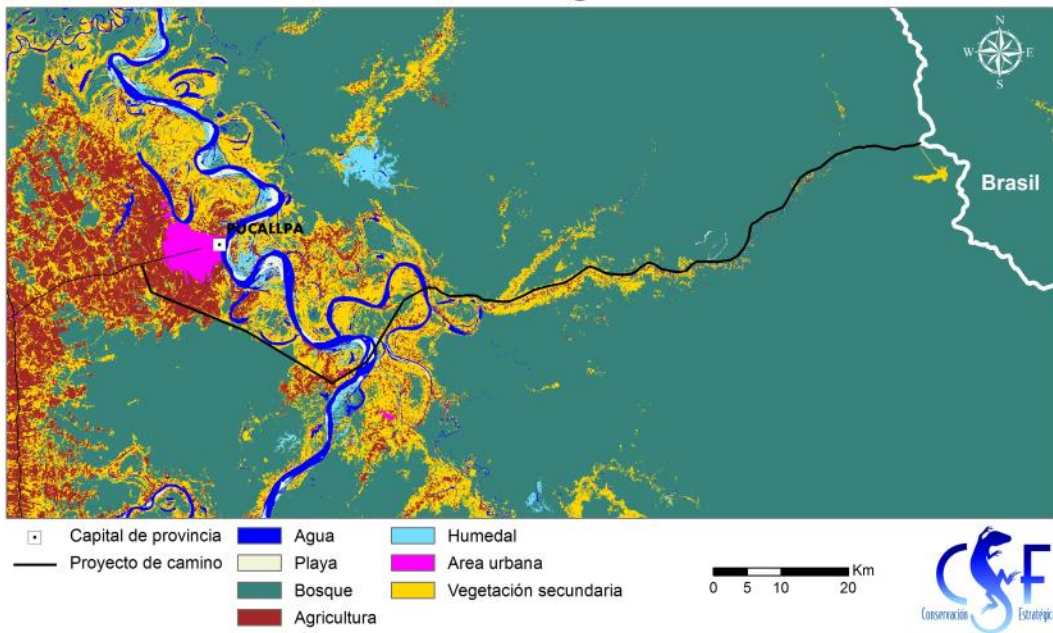


Figura 9: Mapa de cobertura de la tierra en 2011

Como resultado del análisis de los datos, en base a los mapas presentados, se observó que el área de influencia antrópica resultante de la suma de las áreas de uso agrícola con el área de

vegetación secundaria, se duplican en un periodo de 25 años (Tabla 2). Además, se realizó un análisis para estimar el área que se regenera, es decir, que pasa de agricultura a vegetación secundaria o a bosque en todo el periodo de análisis, el porcentaje de regeneración varía desde 13% a 43% de toda el área con influencia antrópica.

Tabla 2: Cálculo del porcentaje de regeneración en las áreas de influencia antrópica desde 1985 hasta 2011

	1985	1991	1996	2001	2006	2011
Áreas con influencia antrópica (has)	112,132	157,618	177,789	192,595	216,038	223,892
% de regeneración	38%	13%	30%	29%	43%	38%

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Validación de la clasificación

La validación de la exactitud temática, permite describir el grado de fidelidad de los valores de los atributos asignados a los elementos producidos por el método de análisis, con respecto a su verdadera característica representada en el mundo real y la clasificación correcta de los objetos y sus relaciones¹¹

Para realizar la evaluación de la exactitud temática, se consideraron los siguientes objetivos:

- Diseñar la muestra espacio-tiempo, teniendo en cuenta la verificación de puntos de observación/validación en una imagen de alta resolución de 2011, en este caso imágenes Quickbird e Ikonos disponibles a través de Google Earth.
- Evaluar la exactitud temática de los resultados a través de las medidas de exactitud, precisión y error.

El grado de correlación de la clasificación de las unidades temáticas del mapa, con la realidad verificada a través de imágenes de alta resolución disponibles en Google Earth para el año 2011, fue de 89%. La evaluación fue llevada a cabo solamente para este año, debido a la disponibilidad de imágenes de alta resolución para el mismo mes de la imagen Landsat utilizada.

El resultado general de la validación arroja un índice de Kappa de 0.71 para los puntos de validación con imágenes, lo cual señala un grado considerable de correlación con la realidad o exactitud temática del mapa producido.

¹¹ NatureServe 2012

Tabla 3: Resultado de la matriz para el cálculo de precisión

		Puntos de referencia (de Google Earth)						Total	Precisión del usuario	Error de Comisión	
		Agua	Playa	Bosque	Agricultura	Humedal	Urbano				Vegetación secundaria
Clases del mapa	Agua	7	3	3	0	0	0	0	13	54%	46%
	Playa	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A	N/A
	Bosque	1	0	177	0	0	0	0	178	99%	1%
	Agricultura	0	0	1	17	0	0	4	22	77%	23%
	Humedal	0	0	1	0	2	0	0	3	67%	33%
	Urbano	0	0	0	0	0	1	0	1	100%	0%
	Vegetación secundaria	1	0	12	1	0	0	9	23	39%	61%
	Total	9	3	194	18	2	1	13			
Precisión del productor	78%	0	91%	94%	100%	100%	69%				
Error de Comisión	22%	100%	9%	6%	0%	0%	31%				

Total de aciertos = 213 puntos

Total de puntos = 240 puntos

Precisión de clasificación = 89%

Error de muestreo = 11%

Índice Kappa = 0.71 (Concordancia Considerable)

Fuente: Elaboración Propia.

a) Análisis multitemporal del cambio de cobertura 1985-2011

De las siete clases definidas para la interpretación de las imágenes, se tomaron en cuenta aquellas relacionadas con el uso humano, que son las designadas como: bosque, agricultura y vegetación secundaria. Dados los fines del estudio, los cambios analizados son: pérdida total de bosque, pérdida de bosque para agricultura (deforestación), y regeneración - cambio de áreas agrícolas a áreas con vegetación secundaria-. Este análisis se presenta para toda el área de estudio, realizado por zonas de análisis de Piedemonte, Llanura y Penillanura.

b) Análisis quinquenal de cambios en toda el área del proyecto

En la figura 10 se puede observar que la pérdida de cobertura de bosque, en todo el periodo de análisis, se mantiene relativamente constante y con periodos de menor pérdida cuando se observa mayor regeneración natural. Es decir, que de forma general, en toda el área de estudio alrededor de 40.000 ha son áreas de bosque que se utiliza para otros fines, lo cual no significa

que siempre son las mismas 40.000 ha, sino que existe un avance de la frontera agrícola, aunque hay áreas que fueron utilizadas y se encuentran en proceso de regeneración.

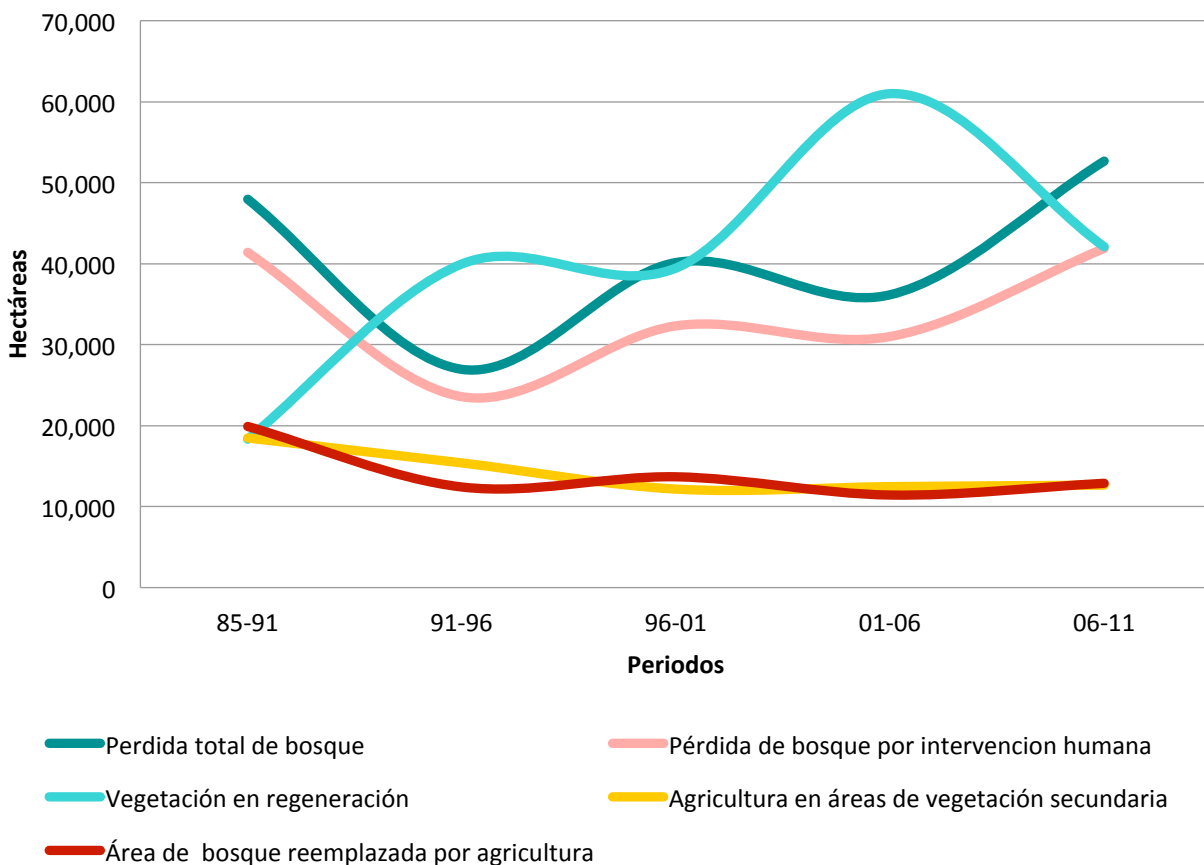


Figura 10: Variación de la cobertura de bosque 1985-2011

Fuente: Elaboración propia

De la pérdida total de bosque, la mayor parte corresponde a procesos de deforestación para agricultura e intervención humana en general y, en menor medida, existen otras razones, como ser el cambio de los cursos del río, especialmente en el área de la llanura aluvial. Por otro lado, la regeneración es un proceso que inicialmente se presenta en pocas hectáreas por la gran pérdida de bosque experimentada durante el primer periodo, pero que con el tiempo fue aumentando, mostrando que el bosque perdido inicialmente se fue regenerando poco a poco, alcanzando su mayor punto entre 2001 y 2006, con 35,000 hectáreas en proceso de regeneración.

Asimismo, se puede apreciar que entre 20% y 40% del área de pérdida de bosque corresponde a superficies habilitadas para agricultura en cada periodo. Por otro lado, también se puede estimar la regeneración natural y es posible determinar su variación. Para este análisis, nos

referimos a regeneración del cambio de áreas agrícolas a vegetación secundaria o bosque y de vegetación secundaria a bosque. De este modo, se observa que, en general, la regeneración supera o iguala a la deforestación y vegetación secundaria que aparece en lugar de bosque en cada periodo, lo cual podría implicar un uso menos eficiente o permanente del suelo.

Otro análisis que es posible realizar en base a los mapas de cambio de cobertura es la reutilización de tierras, es decir, áreas agrícolas provenientes de vegetación. En la figura 10 se muestra que el cambio de bosques por agricultura alcanza 20,000 hectáreas aproximadamente en el primer periodo de estudio y disminuye a algo más de 11,000 hectáreas el segundo periodo, hasta descender en los periodos sucesivos hasta casi 7,000 hectáreas en el último periodo. Contrariamente, la reutilización muestra un patrón ascendente y descendente en el tiempo, siendo el primer periodo el de mayor reutilización de tierras con más de 18,000 hectáreas reutilizadas; el segundo periodo muestra el mayor descenso del número de hectáreas donde se observan 5,000 hectáreas reutilizadas. Los siguientes periodos muestran más hectáreas reutilizadas y, en dos de los últimos tres periodos, la reutilización es mayor que la deforestación. Esta diferencia es más evidente entre 2006 y 2011 donde se observa 7,000 hectáreas más de reutilización.

Por lo mencionado anteriormente, se puede deducir que respecto a la dinámica de reutilización y deforestación de tierras, existe una tendencia creciente a rehabilitar áreas agrícolas en lugar de áreas de bosque para estos fines.

(1) Análisis de persistencia de clases de toda el área del proyecto

El análisis de persistencia de tipos de cobertura, para toda el área de estudio, muestra que en 25 años la mayor parte de cobertura fue de bosque (85%), solo un 9% fue cultivo y 6% se observa como vegetación secundaria.

En un análisis específico podemos observar que el 88% del área de bosque permaneció intacta durante 25 años y otros porcentajes menores entre 5 y 20 años por lo menos. En el caso del área de cultivo, que ocupó un 9% del área total, sólo el 23% permaneció intacto los 25 años, 11% entre 15 y 20 años, 30% durante 10 años y 24% sólo 5 años. La media ponderada del tiempo de permanencia del área es de cultivo es de 14 años.

En relación al área de vegetación secundaria, el 39% permaneció intacta durante 5 años, posteriormente, casi un 50% permaneció durante 10 años y finalmente, porcentajes muy pequeños, no mayores al 10% han permanecido así los tres periodos restantes (Figura 11). La media ponderada del tiempo que permanece la vegetación secundaria es de 10 años.

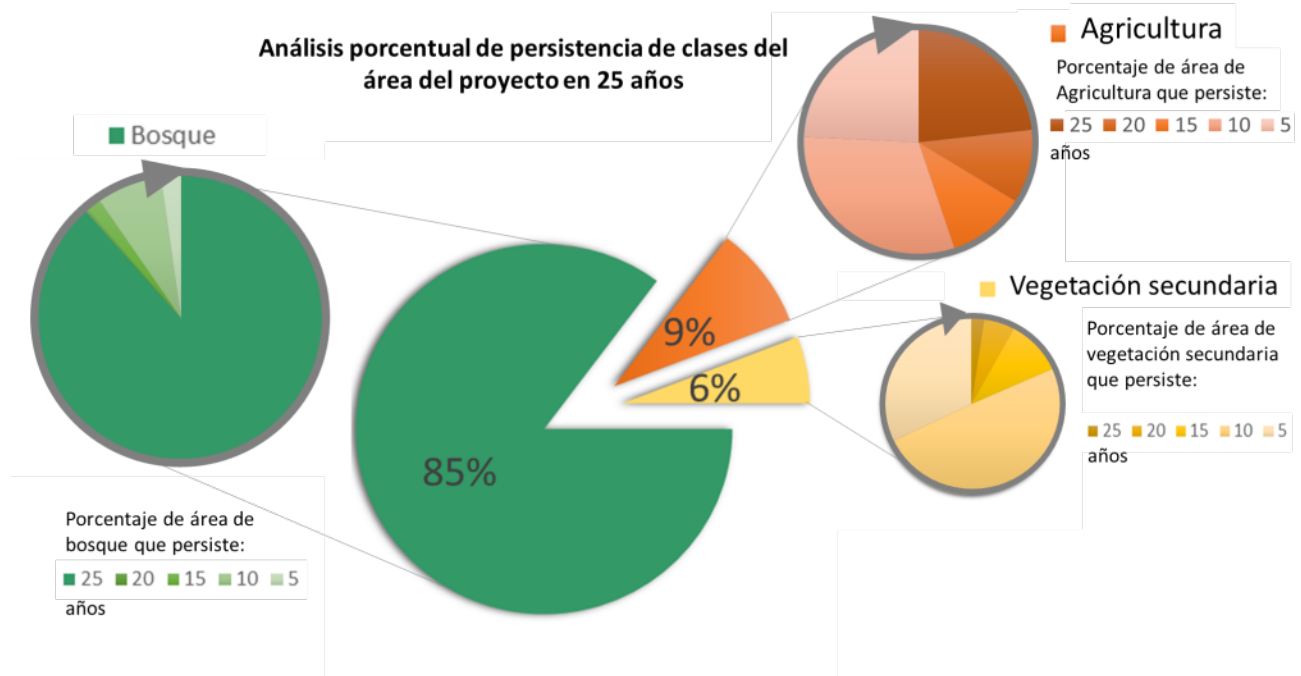


Figura 11: Análisis de la persistencia de la cobertura en toda el área de estudio durante 25 años.

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los promedios ponderados de permanencia de clases es importante, porque nos brinda la idea de la media de uso de la tierra, considerando las diferentes clases de coberturas.

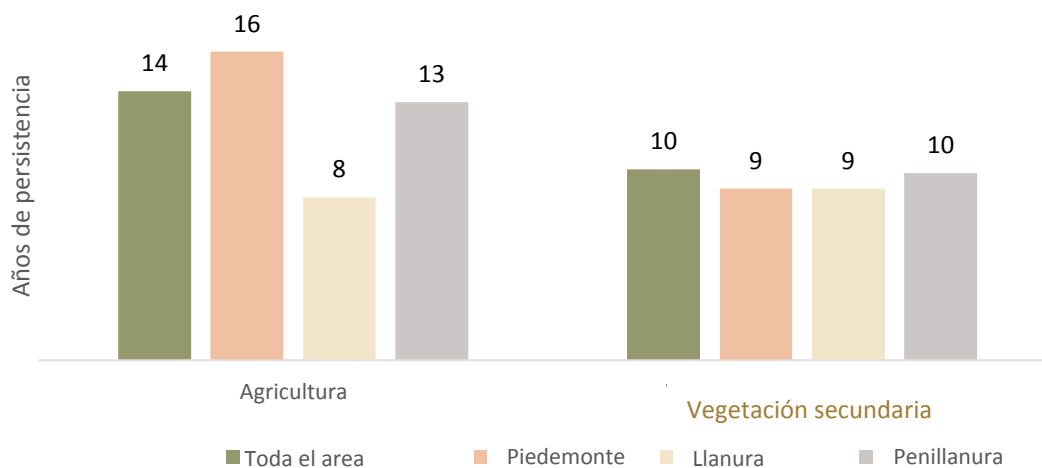


Figura 12: Persistencia de coberturas antrópicas (Calculada en base al promedio ponderado de persistencia de coberturas en periodos de 5 años entre 1895 y 2011)

Fuente: Elaboración propia

La media de uso de la tierra para agricultura es de 14 años, mientras que la vegetación secundaria permanece por aproximadamente 10 años, aunque dependiendo de la zona de análisis, la media de años de uso de la tierra puede variar entre 8 y 16 años para agricultura y entre 9 y 10 años para vegetación secundaria (Figura 12). En el caso de la última y, de acuerdo a los datos de la Figura 13, entre el 25% y 50 % aproximadamente se re-utiliza cada 5 años.

A continuación se muestra el desarrollo e incremento de las áreas agrícolas y la pérdida de áreas de bosque en los 25 años de estudio explicadas anteriormente, en periodos de cinco años (Figura 13).

El análisis de cambio de cobertura explicado con las dos clases tomadas en cuenta, muestra una significativa influencia en las áreas de Piedemonte y Llanura. El resto de las clases del análisis anterior, se presentan como puntos muy dispersos en el mapa.

Además, el mapa cuenta con el trazo de la vía que se usaría para el desarrollo de una obra de infraestructura. El trazo de esta vía en el Área de Llanura, por donde pasa el curso del río, es donde se desarrolla una dinámica natural del cambio de cobertura del bosque.

El desarrollo de la agricultura es más evidente en el área con alta influencia de la presencia del hombre y también en áreas cercanas al curso del río.

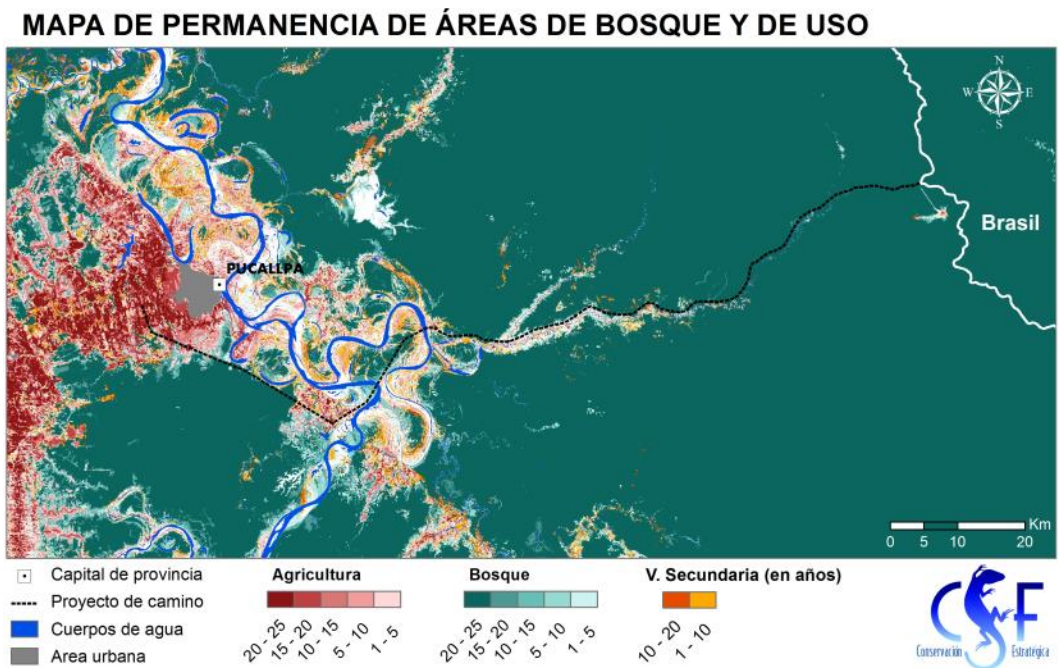


Figura 13: Mapa de permanencia de áreas de bosque y agrícolas en periodos de cinco años

c) Análisis quinquenal de cambios en Piedemonte

Las curvas de pérdida de bosque y deforestación del área de Piedemonte muestran que en los periodos entre 1985 - 1991 y 2001 - 2006, es donde se registra la mayor pérdida de bosque, con más de 9,000 hectáreas utilizadas, casi en su totalidad, por las personas (Figura 14).

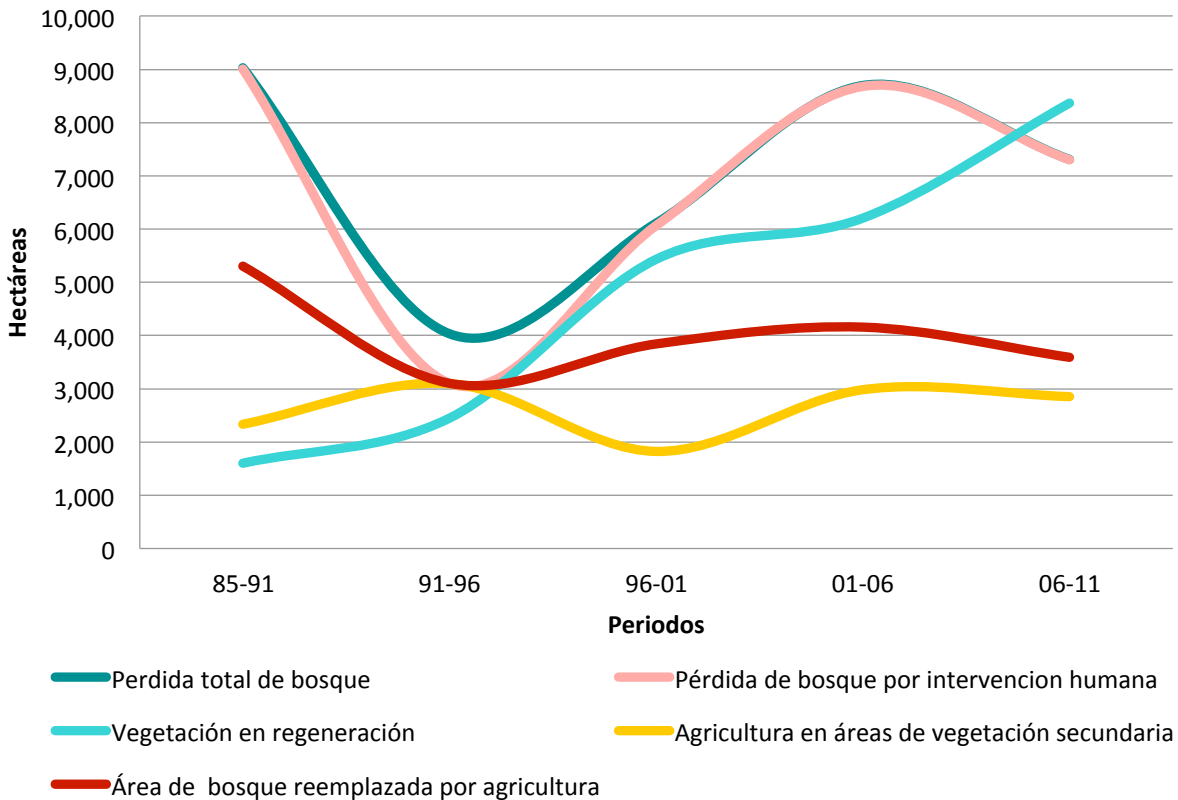


Figura 14: Variación de la cobertura en periodos de cinco años en el área de Piedemonte

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del periodo 1991 y 1996 se perdieron menos de 4,000 hectáreas, aunque no todas ellas fueron utilizadas en la agricultura. Por otro lado, la curva de vegetación en regeneración muestra un patrón ascendente desde el principio del periodo de estudio hasta la finalización del mismo. Entre 1985 y 1991 hubo menos de 2,000 hectáreas en regeneración, entre 2006 y 2011 fueron más de 8,000 hectáreas y, en este último periodo, el área de regeneración es mayor al área que se mantuvo bajo uso agrícola.

Respecto a la pérdida total de bosque en relación con la deforestación para agricultura en el área Piedemonte, se observa que en los tres primeros periodos de análisis, la pérdida de bosque ocurrió principalmente por fines agrícolas.

Considerando el número de hectáreas deforestadas para agricultura en relación con el número de hectáreas de regeneración en esta área, excepto el último periodo, la deforestación para agricultura fue mayor que la regeneración y, entre 2006 y 2011 la regeneración de las áreas estudiadas fue algo mayor que las de deforestación (Figura 14).

Respecto al número de hectáreas reutilizadas en el área de Piedemonte, se muestra que, en general, la reutilización fue baja, excepto en el periodo entre 1991 y 1996 donde equivale al 50% de todas las áreas habilitadas para la agricultura. En la Figura 14 observamos que la deforestación para fines agrícolas, en el primer periodo de estudio, es la mayor registrada y más de la mitad del área para agricultura proviene de la reutilización de hectáreas previamente deforestadas. El mismo patrón se presenta en los últimos tres periodos bajo estudio, indicando que poco es lo que se reutiliza, y que para actividades agrícolas se habilitan áreas de bosque natural, de forma general.

(1) Análisis de persistencia de la cobertura vegetal en el área de Piedemonte

En la Figura 15 observamos que en el área de Piedemonte, el 69% es bosque, 25% es área utilizada para fines agrícolas y el 6% corresponde a la vegetación en regeneración.

Del 69% de área boscosa, el 68% permaneció intacta durante 25 años, menos del 0.1% por 20 años, casi un 5% por 15 años, aproximadamente 22% durante 10 años y algo más del 5% por 5 años.

Del porcentaje que corresponde al área de agricultura, algo más del 28% permaneció intacta durante 25 años, solo un 15% fue siempre suelo agrícola durante 20 años, casi 13% permaneció por 15 años, más del 32% fue suelo agrícola por 10 años y casi un 11% permanece como área de uso agrícola por 5 años. El promedio ponderado de permanencia de esta clase es de 16 años.

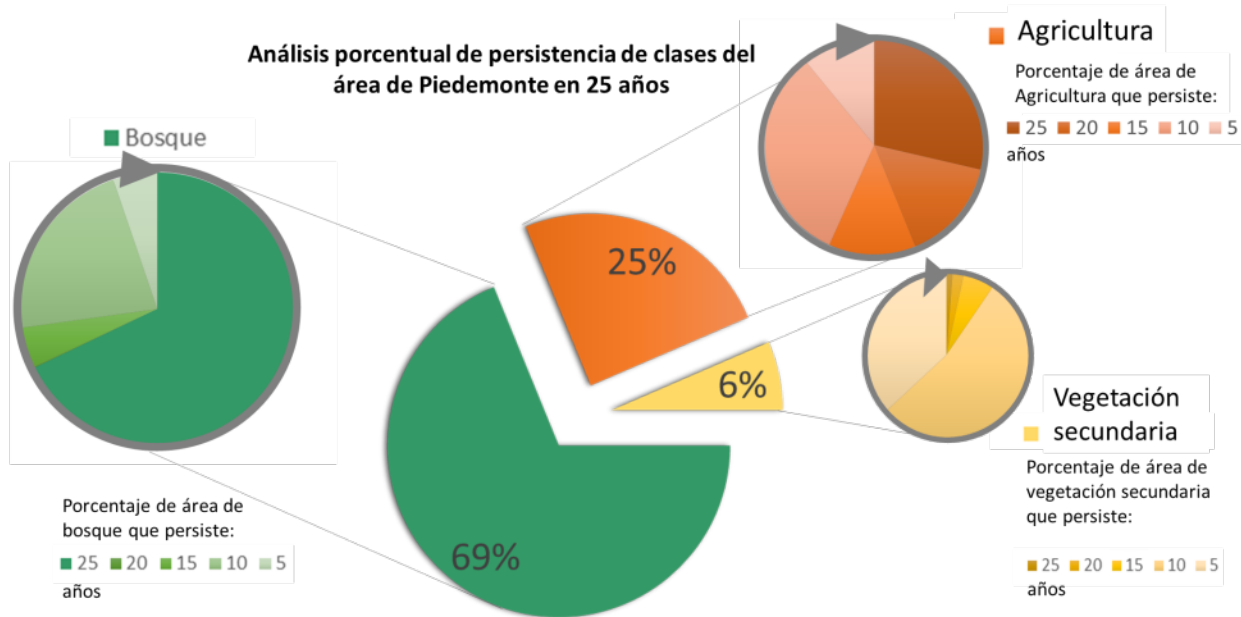


Figura 15: Análisis de la persistencia de la cobertura en el área de Piedemonte durante 25 años.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, del 6% correspondiente al área de vegetación secundaria, 1% permaneció intacta por 25 años, algo más de 2% permaneció por 20 años, 6% durante 15 años, un poco más del 53% permanece durante 10 años y, casi un 37% del área permanece así durante solo 5 años. El promedio ponderado de permanencia del área en regeneración es de 9 años aproximadamente (Figura 15).

d) Análisis quinquenal de cambios en el área de llanura

En el análisis del cambio de cobertura del área de Llanura, los patrones de las curvas de pérdida de bosque y de deforestación para agricultura son similares a las de toda el área del proyecto. La curva de regeneración dibuja un patrón inverso a las dos curvas descritas anteriormente, en donde el periodo de menos hectáreas en regeneración es el primero entre 1985 y 1991 y, el de mayor cantidad de hectáreas en regeneración es entre 2001 y 2006, donde se alcanza las 5,000 hectáreas (Figura 16). La mayor diferencia son las curvas de cambio de agricultura por bosque, que implica procesos de deforestación, los cuales, en el caso de la agricultura, se reducen en el periodo 1996-2001.

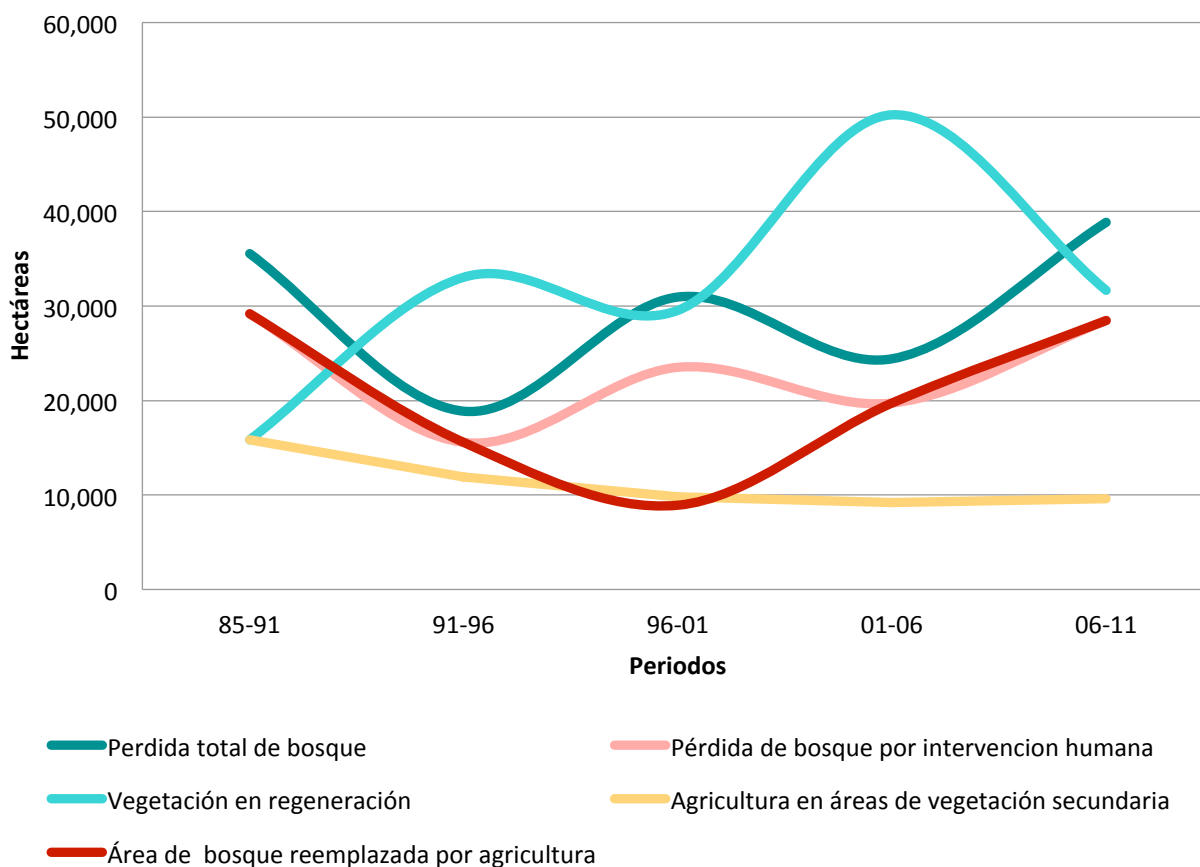


Figura 16: Variación de la cobertura en periodos de cinco años en el área de Llanura

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la pérdida total de bosque en relación con la deforestación para agricultura en el área de Llanura, se observa que en todos los periodos de análisis la pérdida de bosque ocurrió, principalmente, por fines agrícolas. En el periodo comprendido entre 1991 y 1996 la pérdida de bosque y la deforestación para agricultura muestran una disminución para incrementar de manera creciente los siguientes periodos y, alcanzar su máximo valor en el último periodo.

Considerando el número total de hectáreas con intervención humana (áreas agrícolas más áreas con vegetación secundaria) en relación con el número de hectáreas en proceso de regeneración, en todos los casos, la presencia de vegetación en proceso de regeneración supera al área de intervención humana. Entre 2001 y 2006 la regeneración alcanza un valor de un poco más de 50,000 hectáreas y la deforestación es de algo menor a 20,000 hectáreas. Asimismo, es preciso considerar que existe mayor pérdida de bosque en esta área que deforestación para agricultura. Una vez más, es probable que las áreas de pérdida de bosque y las hectáreas vegetación en regeneración sean producto de la fuerte dinámica de esta área, específicamente a causa de la existencia del río.

Respecto a la reutilización de tierras, la mayor cantidad de hectáreas reutilizadas se observa en los dos primeros periodos, aunque en los siguientes es de igual significancia, alcanzando alrededor de un 40% de las hectáreas de bosque habilitadas para la agricultura.

(1) Análisis de persistencia de la cobertura vegetal en el área de Llanura

En el área de llanura el 66% de la cobertura es de bosque, el 20% se utiliza con fines agrícolas y el 14% es de vegetación en regeneración.

Del 66% de área cubierta de bosque, menos del 69% permaneció como bosque durante los 25 años del estudio, el 1% permaneció durante 20 años, más del 4% por 15 años, casi el 19% por 10 años y, solo un poco más del 6% del área permaneció como bosque por 5 años. El promedio ponderado de permanencia del bosque en esta área es de 20 años.

Respecto al área de uso agrícola, más de 21% del área fue de uso agrícola durante los 25 años de estudio, 9% durante 20 años, algo más del 10% por 15 años, 30% durante 10 años y 28% permaneció por 5 años. El promedio ponderado de permanencia del área agrícola es de 13 años.

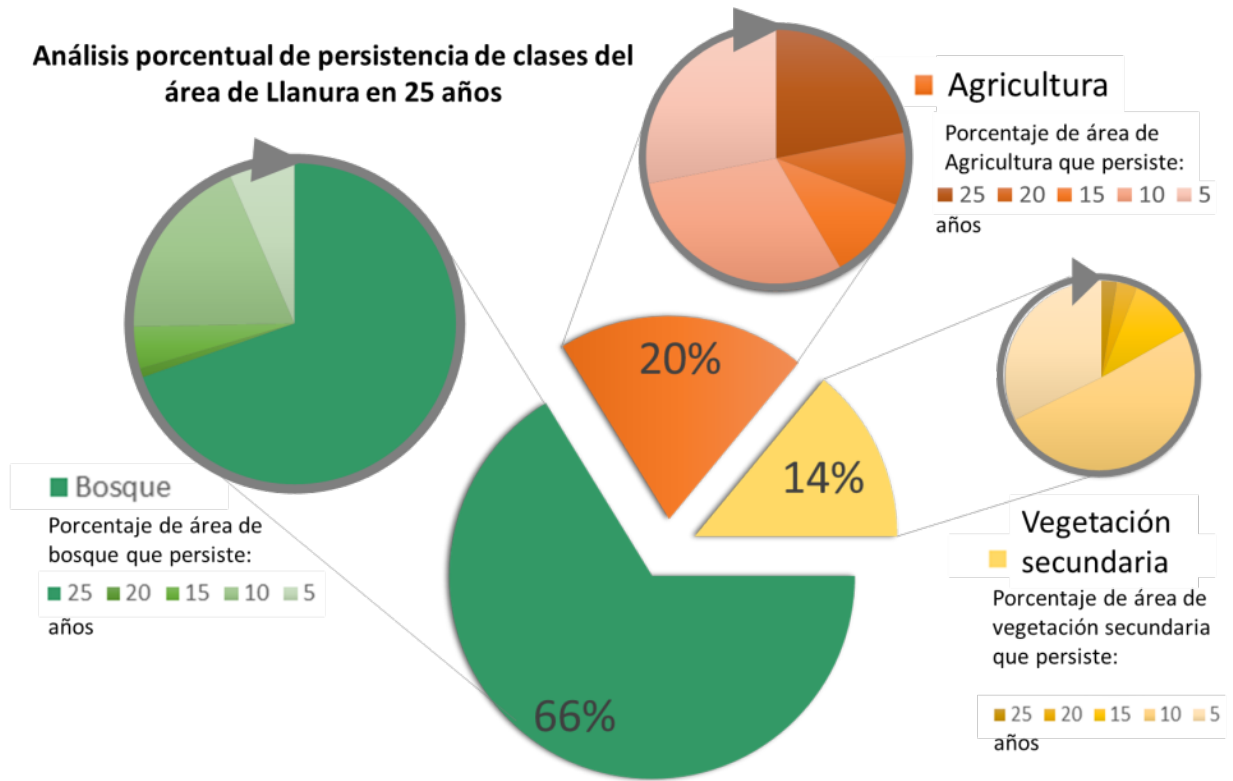


Figura 17: Análisis de la persistencia de la cobertura en el área de Llanura durante 25 años.

Fuente: Elaboración propia.

Con relación a la vegetación secundaria, esta cubre el 14% de esta área, algo más del 2% se observa como vegetación secundaria durante 25 años, el 3% permaneció durante 20 años, casi el 11% por 15 años, el 51% fue vegetación secundaria durante 10 años y el 32% permanece solo 5 años. El promedio ponderado de permanencia del área de vegetación en regeneración es de más de 9 años (Figura 17).

e) Análisis quinquenal de cambios en el área de penillanura

En el área de Penillanura, a diferencia de las otras áreas analizadas, existió una mayor pérdida de bosque solo en el último periodo, indicando una intervención más reciente. Esta intervención también coincide con una menor área en proceso de regeneración, indicando un uso más intensivo de la tierra con fines agrícolas. Así mismo, se observa que el área en proceso de regeneración que supera a la pérdida de bosque en los periodos de 1996 a 2006, se reduce a más de la mitad en el último periodo (Figura 18).

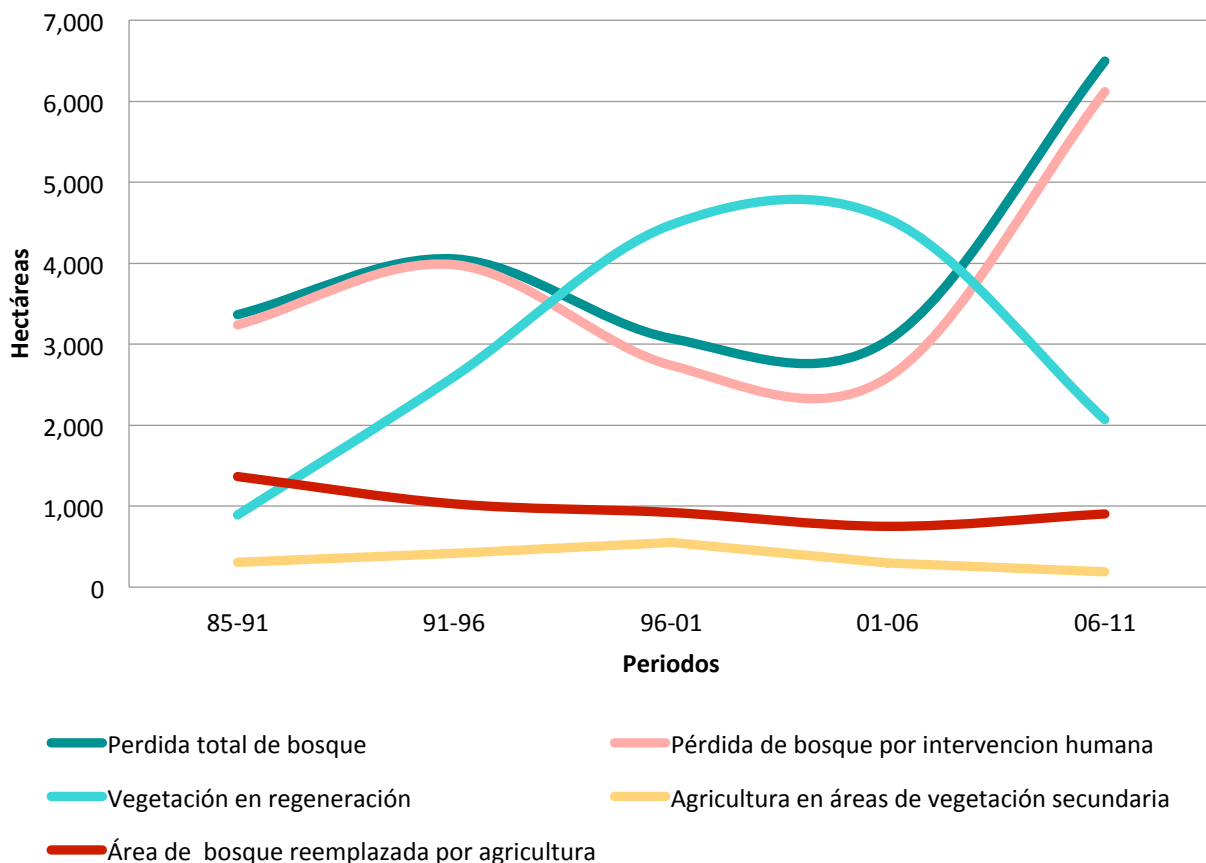


Figura 18: Variación de la cobertura en periodos de cinco años en el área de penillanura

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que en tres de los cinco periodos, la deforestación para agricultura fue mayor que la regeneración, mientras que en el periodo inicial y final, la regeneración resulto mucho menor a la deforestación. Entre 2006 y 2011 se han regenerado un poco más de 2,000 hectáreas y se han deforestado más de 6,000 hectáreas. Pero, los dos periodos anteriores fueron de mayor regeneración que de deforestación.

Finalmente, la reutilización de áreas alguna vez intervenidas fue mínima, hallándose en un rango de 5% a 20% respecto a la deforestación para agricultura. Este hecho indica una preferencia a habilitar áreas de bosque para agricultura que usar áreas de vegetación secundaria. Este hecho puede deberse a que esta área está en un estado de desarrollo inferior a las otras y a la existencia de mucha área de bosque disponible.

(1) Análisis de persistencia de la cobertura vegetal en el área de penillanura

En el área de Penillanura predomina la cobertura boscosa en aproximadamente 99%, menos del 0,1% está destinada al desarrollo de actividades agrícolas y el casi el 1% corresponde a la vegetación secundaria.

Del total del bosque el 98% permaneció intacto durante 25 años y el restante 2% permaneció entre 5 y 20 años.

Del área destinada al uso agrícola, que corresponde a 1.600 hectáreas aproximadamente, el 2% permaneció como cultivo por 25 años, 2% por 20 años, más del 5% durante 15 años, 41% permaneció por 10 años y 48% solo por 5 años. El promedio ponderado de permanencia de esta área es aproximadamente de 8 años.

Del área de vegetación en regeneración que representa el 0.72%, algo más del 1% permaneció intacta por 25 años, 4% por 20 años, 11% durante 15 años, aproximadamente 35% por 10 años y más del 47% por 5 años. El promedio ponderado de permanencia de la vegetación en regeneración en el área Este es de aproximadamente 9 años (Figura 19).

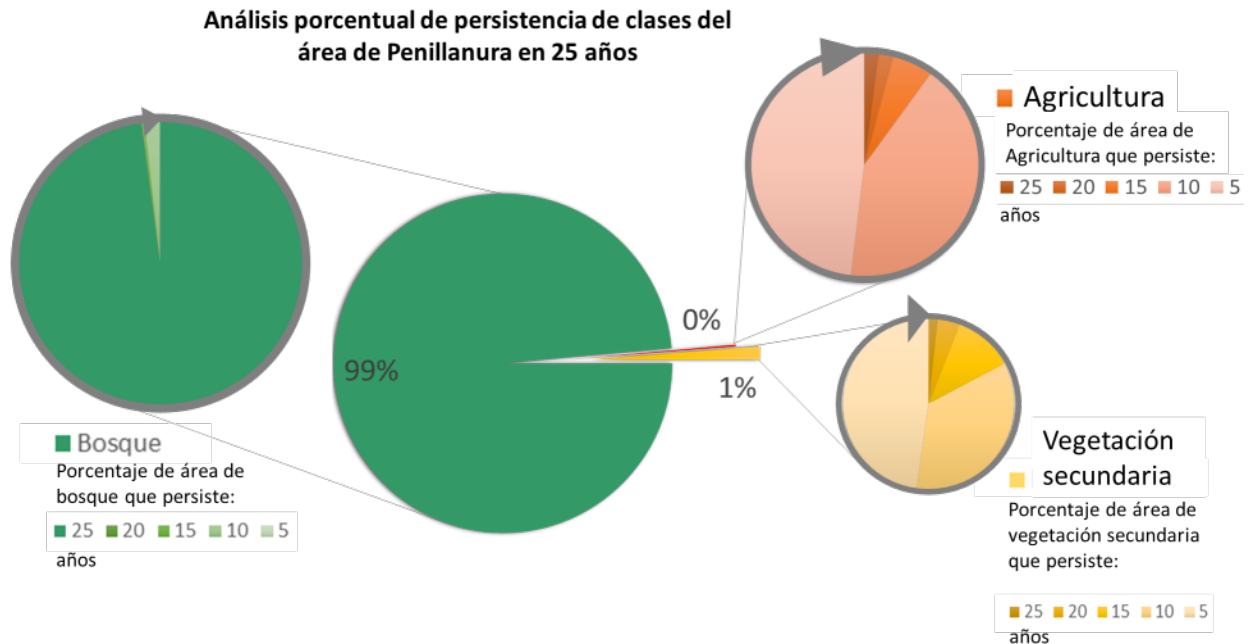


Figura 19. Análisis de la persistencia de la cobertura en el área Este durante 25 años.

Fuente: Elaboración propia.

5. SEGUNDA PARTE – PROYECCION DEL CAMBIO DE COBERTURA BAJO DIFERENTES ESCENARIOS

5.1. Metodología

Para la modelación del cambio de cobertura se cuenta con diferentes alternativas, entre las más conocidas están el programa IDRISI con su módulo de Modelamiento de Cambios de la Tierra (LCM), Dinámica EGO o procedimientos estadísticos con análisis de múltiples variables. Para el presente estudio se decidió trabajar con IDRISI Selva debido a las facilidades con las que el módulo LCM cuenta, sobre todo para la modelación y comparación de escenarios que es el caso del presente estudio.

5.1.1. Generalidades sobre el Land Change Modeler (LCM)

Para modelar los cambios esperados en un determinado territorio, el LCM utiliza dos mapas de cubiertas pertenecientes al mismo lugar y referentes a dos períodos de tiempo distintos. En la primera fase, el LCM analiza los cambios acaecidos entre ambos períodos, mientras que en una segunda fase aplica el modelo que permite realizar la predicción.

Con el fin de conseguir un modelo más efectivo, en LCM es posible incorporar restricciones e incentivos al cambio, las cuales pueden ser utilizadas para estimar el cambio bajo diferentes escenarios. Entre las restricciones se incluyen áreas protegidas o reservas forestales. Por el contrario, entre los incentivos se encuentra el incremento de suelo urbano planificado o la construcción de nuevas infraestructuras.

5.1.2. Pasos para la modelación con LCM

a) Identificación del cambio potencial

Los cambios son modelados empíricamente a partir de un modelo matemático desarrollado en función de los cambios observados entre dos periodos (en este caso 1985-2006), y un conjunto de variables explicativas que generan una capa de datos referente a la transición potencial.

Los modelos generados a partir de cada tipo de cambio identificado (por ejemplo bosque a agricultura y sabana a bosque), pueden ser aplicados en conjunto y de esta manera obtener un solo resultado que contemple todos los cambios. El resultado de cada modelo es un mapa potencial relativo a cada transición, una expresión del tiempo específico de cada cambio potencial.

En este caso, las transiciones que se han modelado fueron los cambios de bosque a agricultura y bosque a vegetación secundaria. Para cada uno de los dos modelos, se analizó el poder explicativo de 19 variables provenientes de la base de datos de la Zonificación Ecológica Económica del Gobierno Regional de Ucayali y otras variables adicionales que podrían ser relevantes como altitud, biomasa, etc. IDRISI Selva utiliza el coeficiente de contingencia V de Cramer para determinar si una variable está asociada o no al cambio que se quiere modelar. Si el índice es superior a 0.2 indica que dicha variable es significativa para el modelo. Del análisis se determinó que 9 variables (Figura 20 a la 28) son importantes para el modelo de transición bosque-agricultura y 8 variables para el modelo bosque-vegetación secundaria, de esta manera, las variables explicativas consideradas fueron:

Tabla 4: Tabla de variables explicativas utilizadas en el modelo LCM

Variable	Fuente	Transición	V de Cramer
Altitud	SRTM	A, VS	0.2355
Distancia a Ríos	Calculo en base a Ríos de Base de Datos (BD) de ZEE 2012	A, VS	0.1978
Distancia a caminos	En base a Vias de (BD) de ZEE 2012	A, VS	0.2789
Distancia a centros poblados	En base a Centros Poblados de BD de ZEE 2012	A, VS	0.2507
Distancia a Pucallpa	En base a Centros Poblados de BD de ZEE 2012	A, VS	0.3008
Distancia a la deforestación existente	En base al mapa de cobertura de 1985	A, VS	0.3049
Fisiografía	BD de ZEE 2012	A, VS	0.2768
Sistemas ecológicos	Nature Serve ¹²	A, VS	0.3381
Uso actual	BD de ZEE 2012	A	0.4335

A= Agricultura, VS=Vegetación secundaria

Fuente: Elaboración propia

A continuación, las figuras 20 a la 28 muestran los mapas de las variables utilizadas.

ALTITUD

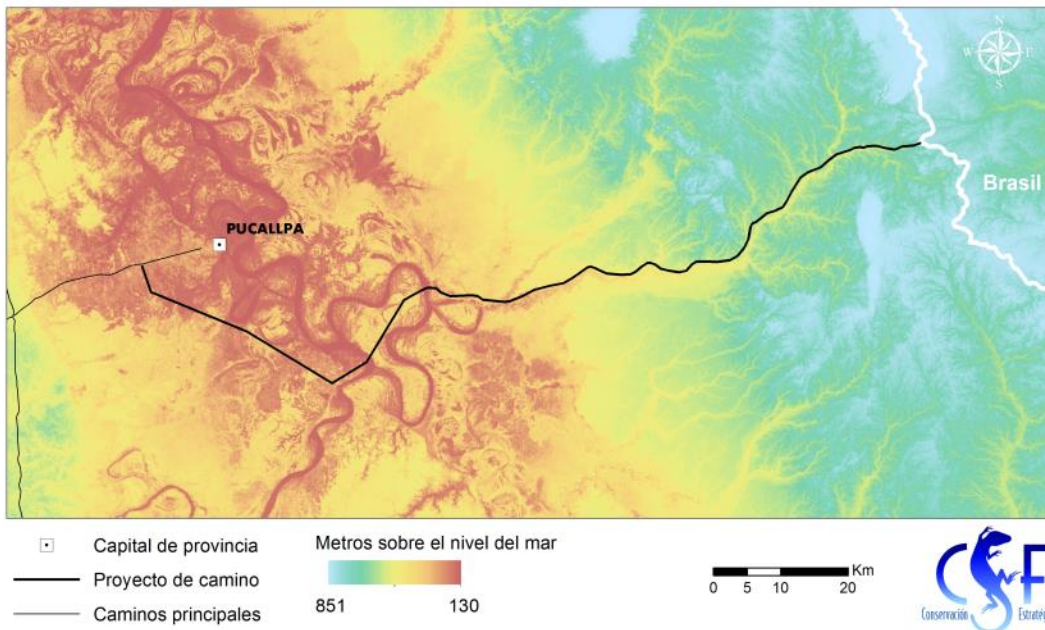


Figura 20: Mapa de altitud

¹² Josse, et al., 2003.

DISTANCIA A RÍOS

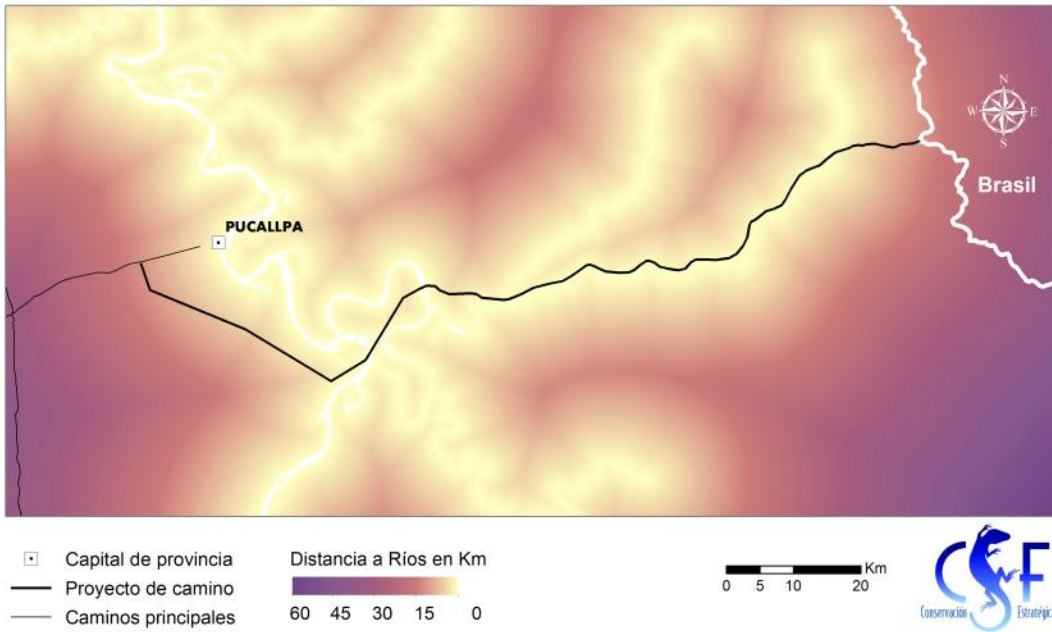


Figura 21: Distancia a ríos

DISTANCIA A ÁREAS AGRÍCOLAS DE 1985

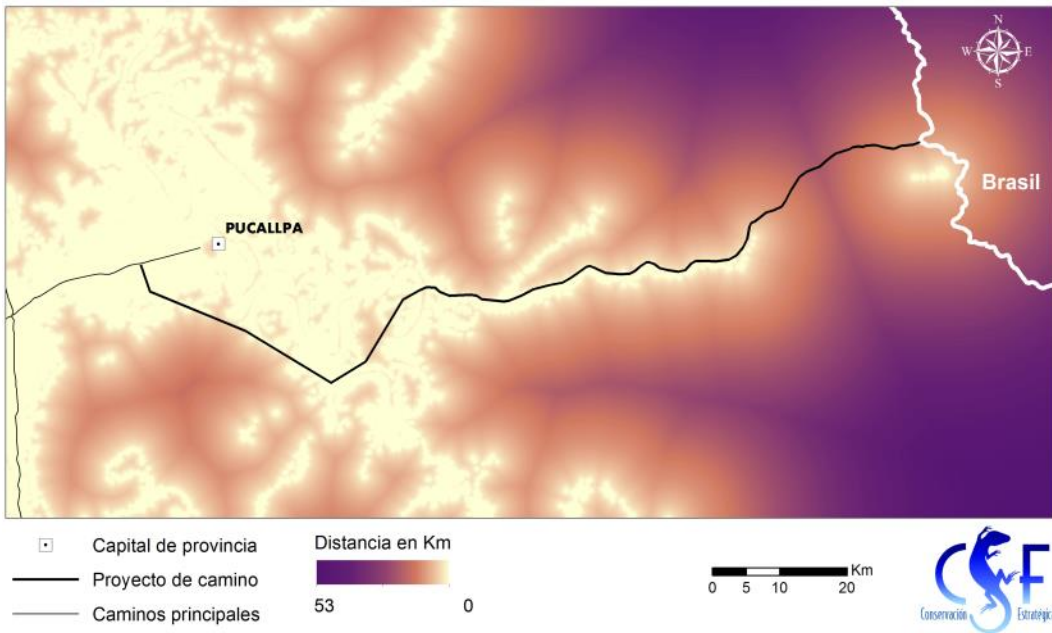


Figura 22: Distancia a áreas agrícolas de 1985

DISTANCIA A CAMINOS

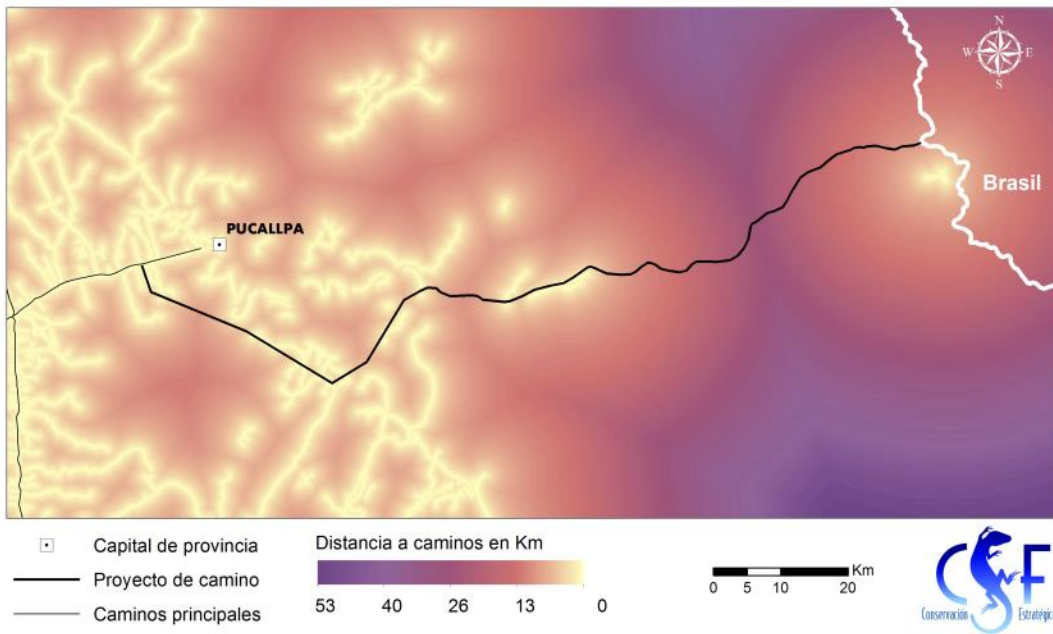


Figura 23: Mapa distancia a caminos existentes

DISTANCIA A POBLACIONES PRINCIPALES

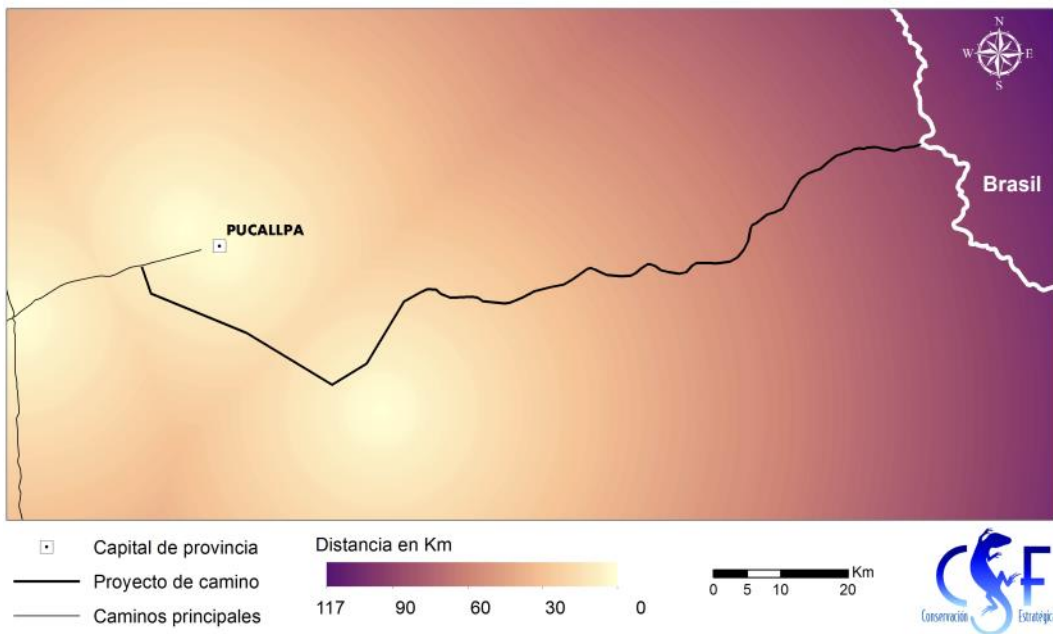


Figura 24: Mapa de distancia a poblaciones principales

DISTANCIA A CENTROS POBLADOS

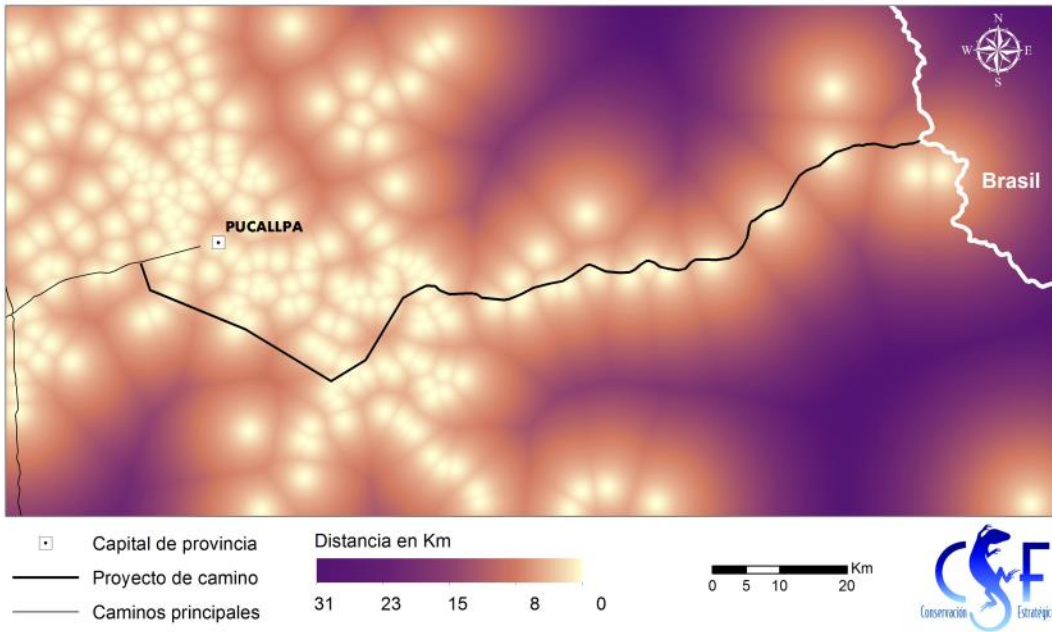


Figura 25: Mapa de distancia a todos los centros poblados

FISIOGRAFIA

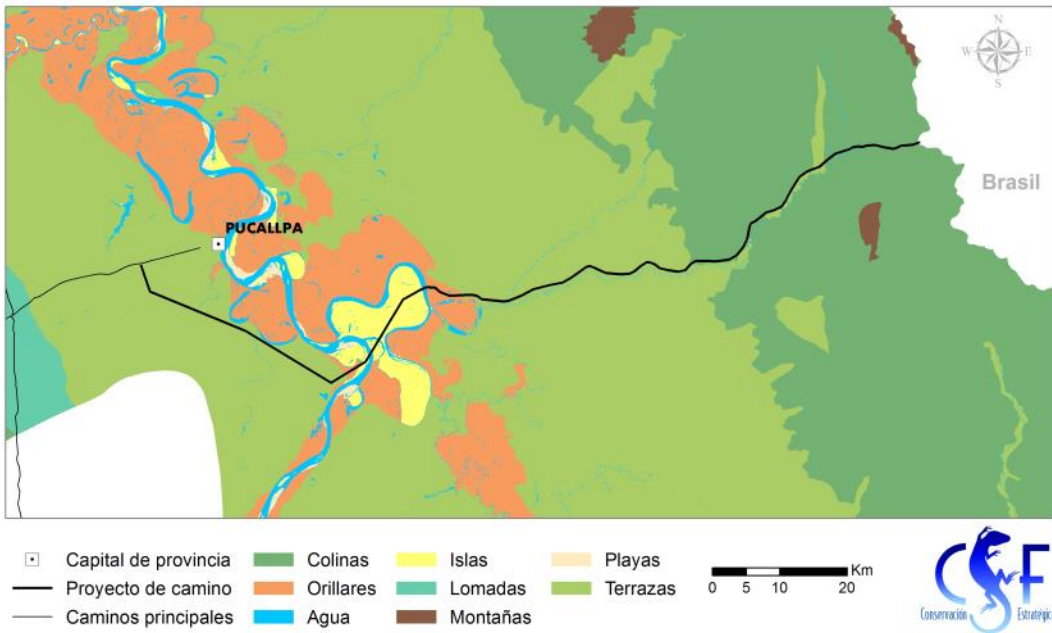


Figura 26: Mapa de fisiografía

SISTEMAS ECOLÓGICOS GENERALIZADOS

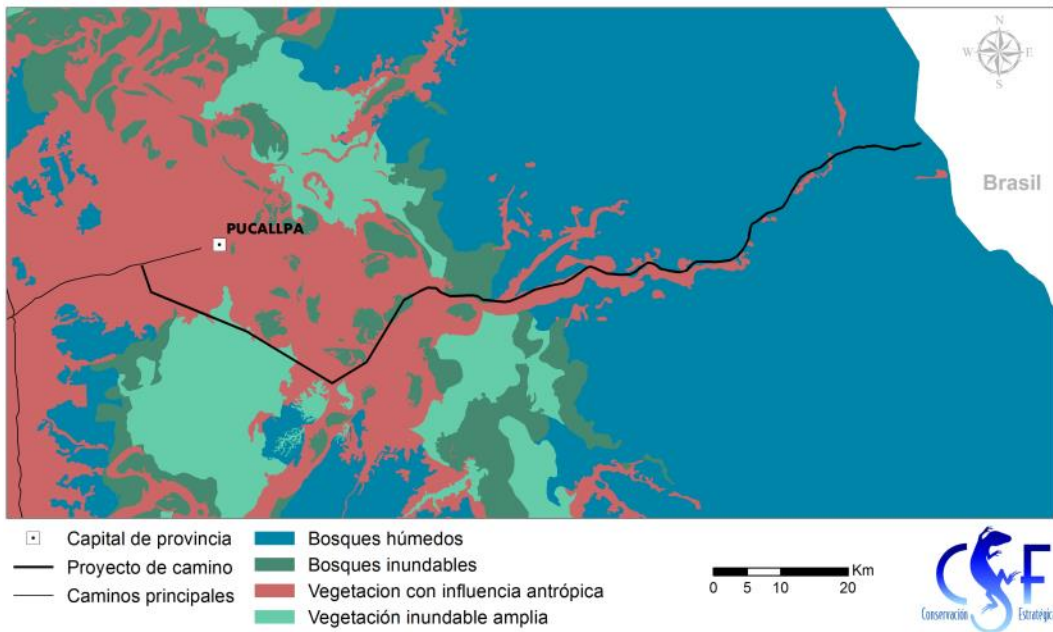


Figura 27: Mapa generalizado de Sistemas Ecológicos

USO ACTUAL

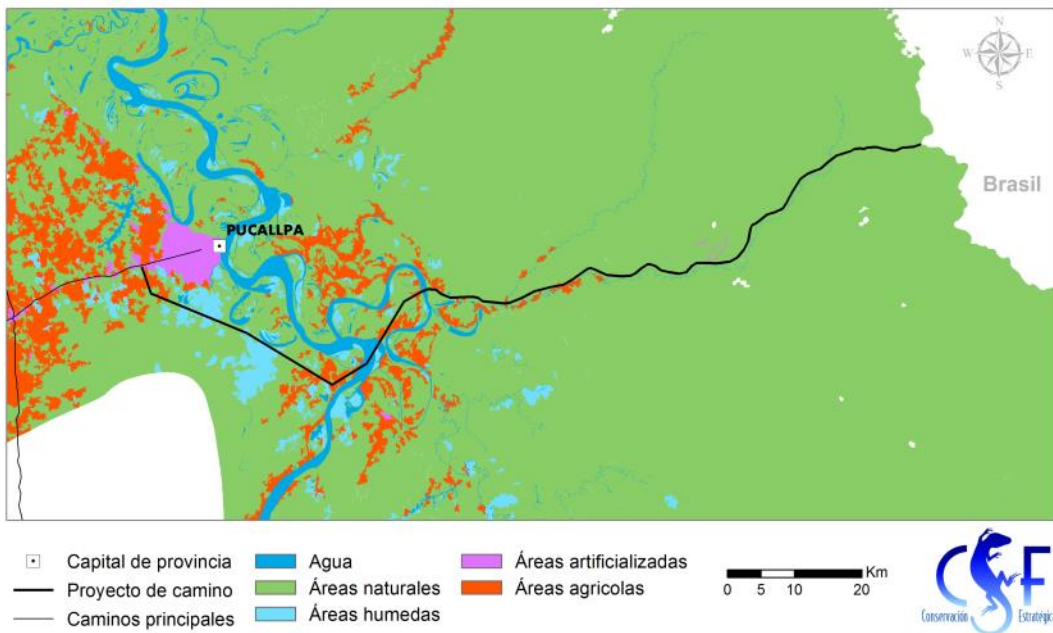


Figura 28: Mapa de Uso Actual

Con las variables presentadas, considerando las coberturas de 1985 y 2006, se procede a determinar el potencial de transición para los cambios que se quieren modelar. El método

utilizado por LCM para el cálculo de potenciales de transición se denomina Multi Layer Perceptron (MLP), el cual construye una red neuronal entre las variables explicativas y el número de clases de salida que se denominan de transición. El modelo agrega además un número similar de clases llamadas de persistencia¹³. La mitad de las clases sirven para correr el programa y la otra mitad de las clases para verificar la corrida anterior. Para mejorar la aplicación del modelo de predicción de cambios, el LCM permite la entrada de variables dinámicas, así como la planificación de intervenciones¹⁴. Respecto a las transiciones que se modelaron con MLP, los modelos obtuvieron una tasa de precisión de 93% para el cambio Bosque-Agricultura y de 89% para el cambio Bosque-Vegetación secundaria. Como resultado de esta etapa del proceso de modelación, se obtuvieron los mapas del potencial de transición para el cambio de bosque a agricultura (Figura 29) y bosque a vegetación secundaria (Figura 30).

Posteriormente, se validó el resultado del modelo entre el resultado de predicción a 2011 y el dato real para este año, mediante la comparación entre el resultado probabilístico (suave) del cambio a 2011 y el dato de cambio real; esta comparación se la realizó mediante el método del área debajo de la curva (AUC) dando un valor de 0.864, el cual indica que el resultado está muy cerca de la realidad, donde las áreas de cambio efectivas corresponden a las áreas de mayor probabilidad de cambio identificadas en el modelamiento. Con esta validación del modelo, podemos proyectar el cambio de cobertura para los años 2016, 2021, 2026 y 2031. Estas proyecciones, dado que el objetivo de las mismas es un análisis potencial de los efectos de proyectos de infraestructura, se realizaron para tres escenarios: Sin Proyecto (o situación actual), con Tren y con Camino.

¹³ MLP realiza regresiones no paramétricas entre las variables independientes, luego realiza tests del poder predictivo de cada variable, forzando a cada una a ser constante, y posteriormente todas son constantes menos una. Después mediante un retro-propagación, va excluyendo las variables que tienen el menor poder explicativo. Finalmente, a partir del análisis de las variables se determina el peso de las relaciones entre las clases de entrada y de salida en la red neuronal.

¹⁴ Eastman, J.R. 2009.

POTENCIAL DE TRANSICION DE BOSQUE A AGRICULTURA

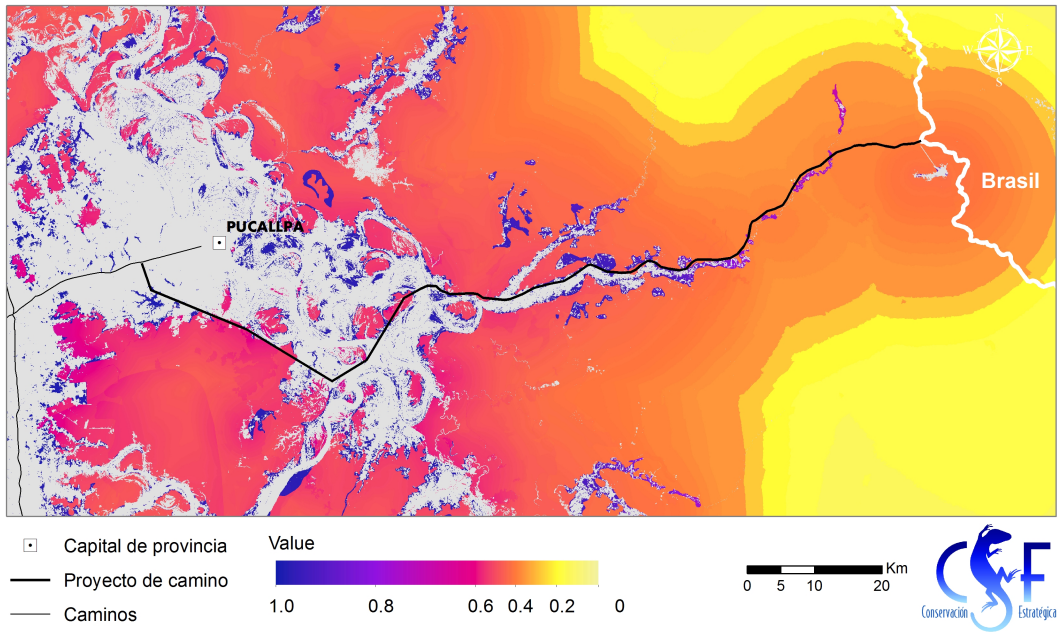


Figura 29: Mapa de potencial de transición de bosque a agricultura

POTENCIAL DE TRANSICION DE BOSQUE A VEGETACIÓN SECUNDARIA

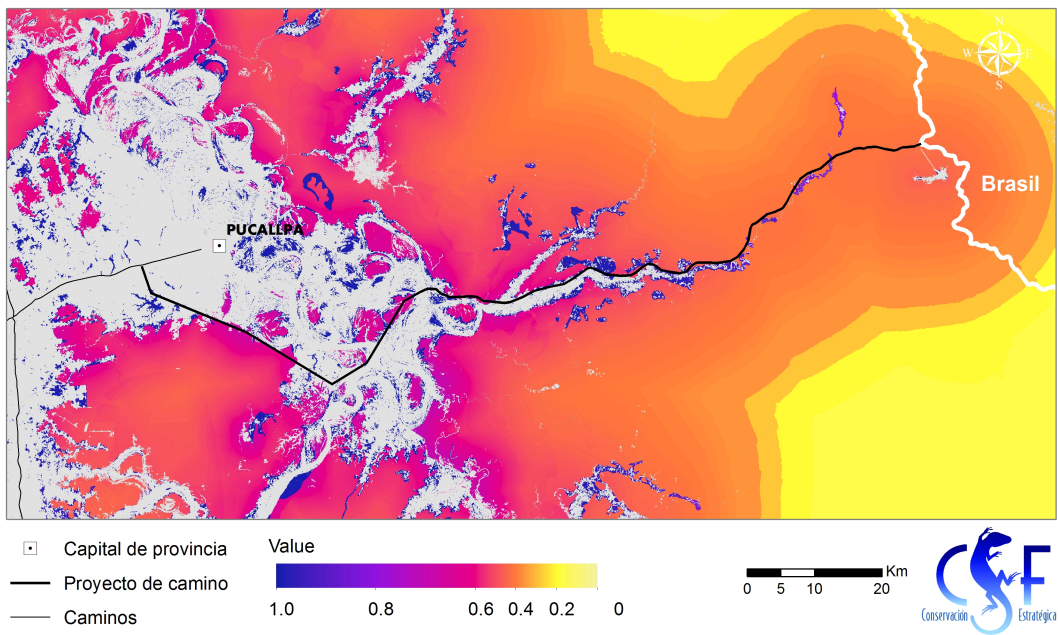


Figura 30: Mapa de potencial de transición de bosque a vegetación secundaria

b) Predicción del cambio

Una vez obtenido un modelo que explica el cambio, se procede a la predicción de la cobertura, para ello se especifica una fecha de finalización, donde la cantidad de cambio, es decir, la asignación de píxeles que cambian, son modelados a través de un "Análisis de cadena de Markov. Los resultados de este paso pueden ser:

- Un modelo de predicción suave: Da como resultado un mapa de vulnerabilidad al cambio para el conjunto de transiciones seleccionadas.
- Un modelo de predicción duro: Fundamentado en un modelo de competitividad multi-objetivo, da lugar a una única realización a partir de muchas posibles.

Para mejorar la aplicación del modelo de predicción de cambios, el LCM permite la entrada de variables dinámicas, así como la planificación de intervenciones¹⁵, además de restricciones e incentivos que permiten aplicar el modelo para establecer diferentes escenarios posibles de cambio de cobertura.

Las restricciones hacen referencia a la presencia de áreas de conservación regional y áreas inundables con aptitud baja o nula para la agricultura, mientras que los incentivos representan las preferencias por el uso de la tierra en el área de construcción de los proyectos, ya sean estas la construcción de un Camino o un Tren. Además, se considera como otro incentivo la potencial preferencia por el uso del espacio "nuevo" en el área Este de del Rio Ucayali, que actualmente tiene muy baja intervención y población debido a que no tiene conexión caminera con el lado oeste, situación que podría cambiar radicalmente con la construcción de un camino y en menor medida con una vía de tren. Las restricciones por áreas de conservación y áreas inundables, se aplican por igual a los escenarios Sin Proyecto, con Camino y con Tren. Luego, existen otros incentivos diferenciados para los escenarios con Camino y con Tren.

Estas restricciones o incentivos se representan como multiplicadores del potencial de transición modelado, es así que se utilizan valores entre 0 y 2 para aplicarlos. Las restricciones toman valores entre 0 y 1, entonces al multiplicarse por la capa de potencial de transición reducen los valores, mientras que los incentivos que tienen valores entre 1 y 2, aumentan el valor del potencial de transición. Respecto a las restricciones por áreas de conservación se les aplico un valor de 0.2, mientras que a las áreas de humedales se les aplico valores de 0.1.

En el presente estudio, se desarrollaron tres diferentes escenarios para analizar el impacto de las diferentes propuestas de desarrollo:

- **Escenario Sin Proyecto**, se asume que no se construye la carretera ni la vía del tren. Constituye el escenario base que sirve para comparar el impacto de los dos proyectos

¹⁵ En el modelo de predicción se puede incluir el efecto de infraestructura planificada a partir de un momento específico, en este caso se indicó que la infraestructura planificada está concluida a partir de 2018.

propuestos. Solamente se toman en cuenta las restricciones actuales que se dan por la existencia de áreas de conservación y áreas inundables.

Para este escenario, solamente se aplicaron restricciones por la presencia de áreas de conservación y áreas inundables, que serían las que existen actualmente. Estas restricciones se ilustran en la figura 31.

INCENTIVOS Y RESTRICCIONES - ESCENARIO: SIN PROYECTO

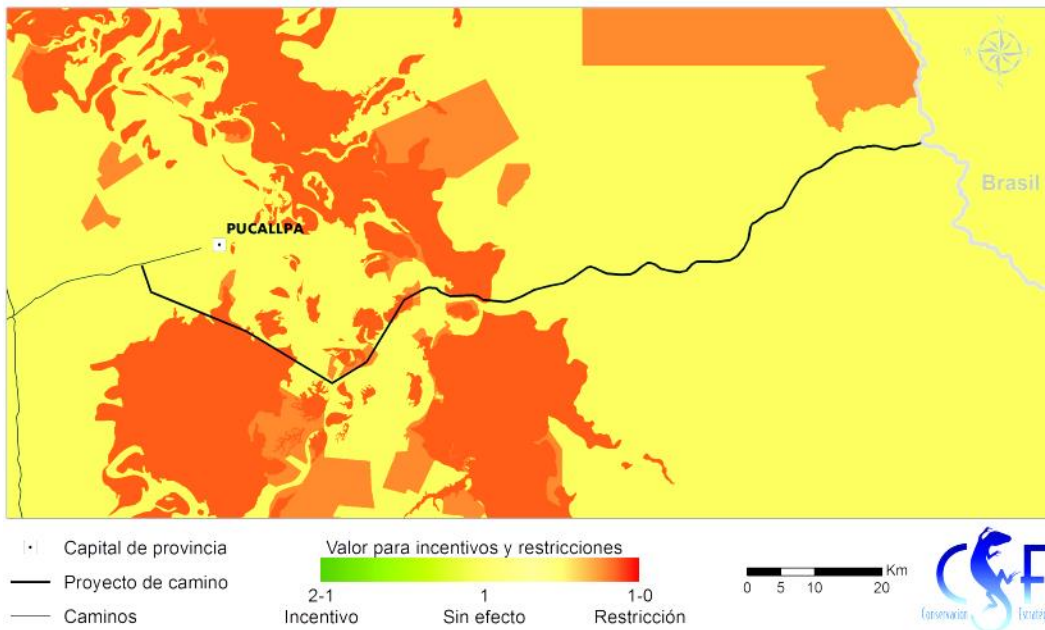


Figura 31: Mapa de incentivos y restricciones para el escenario sin proyecto

- **Escenario Con Camino**, se asume que la vía del camino está abierta a partir del año 2018 y existe un incentivo mayor para deforestar cerca al trazo principal. Además, se toman en cuenta las restricciones por áreas de conservación y áreas de humedales, además del incentivo por migración hacia el lado este del río.

Para este escenario, además de las restricciones del escenario Sin Proyecto, se aplicaron incentivos que están en función a la distancia al proyecto de carretera y la posibilidad de migración. Respecto a la distancia al proyecto, los incentivos son mayores mientras más cerca a la vía se encuentre, la disminución del valor de incentivo se calcula en función al porcentaje de disminución del área deforestada observada en 2011, de la manera explicada a continuación.

Se realizó un análisis del porcentaje de áreas deforestadas en diferentes rangos de distancia a partir de las vías existentes y, se determinó que existe una disminución del área intervenida a distancias mayores a los caminos, los cuales siguen una forma cóncava (Figura 32), que se puede representar por la ecuación que se muestra en la

figura 32, la cual fue utilizada para determinar el decaimiento del incentivo a partir del proyecto propuesto, en el lado oeste del río Ucayali (Llanura y Piedemonte). El valor del decaimiento toma el valor máximo de 1.5 a partir del eje del proyecto y va disminuyendo al alejarse.

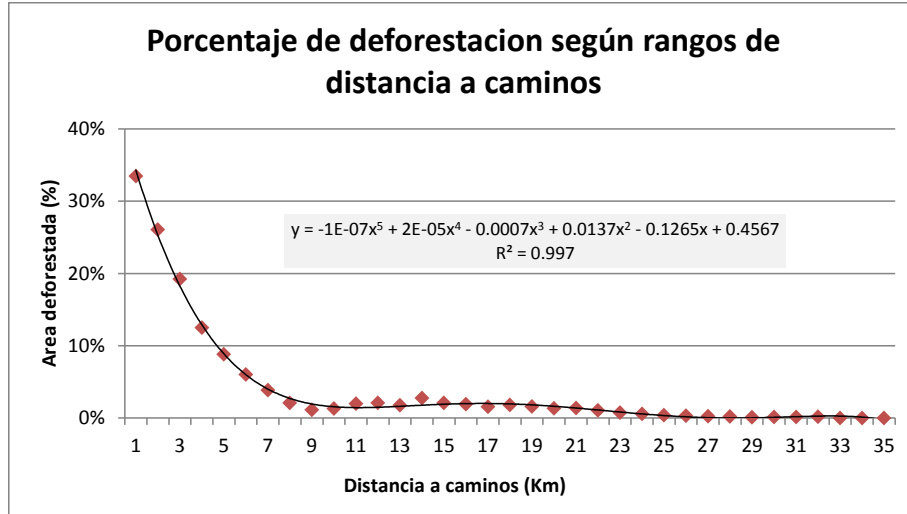


Figura 32: Decaimiento del área deforestada según distancia a los caminos

Fuente: Elaboración Propia.

Con respecto al incremento de incentivos por migración, también se aplica la función cóncava, pero solamente para el lado este del río Ucayali (Penillanura), donde el incentivo para el cambio de cobertura toma un valor de 2 si está cerca al eje del proyecto y va disminuyendo de la misma manera cóncava explicada anteriormente.

Es así que el proyecto de camino tiene un incentivo solo por distancia en todo el trazo, y para el lado Este además se incluye un incentivo por posibilidad de migración que es el doble al del lado Oeste. No se asume un valor de incentivo mayor a 2, ya que de acuerdo a observaciones de variación de población, según los censos de 1993 y 2007, la diferencia de población entre ambas márgenes del río es aproximadamente el doble en el lado con carreteras existentes (oeste) respecto al lado Este del río. Es así que el valor máximo de incentivo o multiplicador de potencial de transición en esta área es de 2. Los incentivos y restricciones que se toman en cuenta para el escenario ilustran en la figura 33.

INCENTIVOS Y RESTRICCIONES - ESCENARIO: CON CAMINO

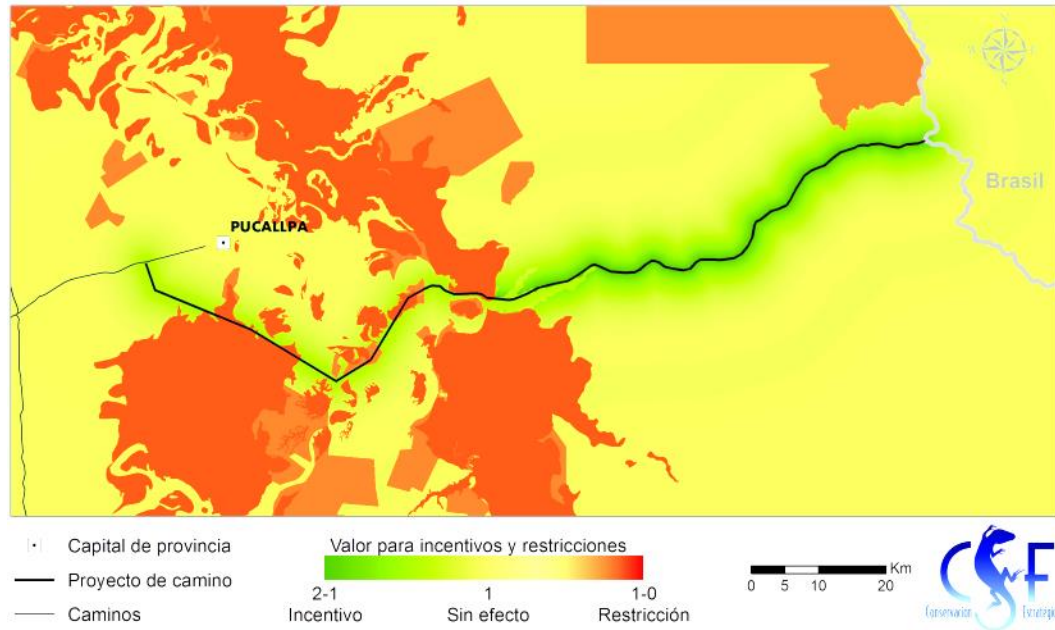


Figura 33: Mapa de incentivos y restricciones para el escenario con camino

Fuente: Elaboración propia.

- **Escenario Con Tren**, se asume que la vía del tren está abierta a partir de 2018 y existe un incentivo para deforestar cerca a las estaciones propuestas, al inicio y al fin de la vía y, además, alrededor de estaciones intermedias más o menos equidistantes, que se ubican en Santa Rosa de Masisea (Km 35), Abujao (km 66), y 28 de Julio (Km 102). De igual manera, se toman en cuenta las restricciones por áreas de conservación y áreas de humedales e incentivos por migración hacia el lado este del río.

En este escenario, además de las restricciones del escenario Sin Proyecto, se aplicaron incentivos que están en función a la distancia a las estaciones propuestas, siendo estos mayores mientras más cerca de ellas se encuentren. Para determinar la disminución de los incentivos a partir de las estaciones se realizó un análisis del porcentaje de áreas deforestadas en diferentes rangos de distancia a partir de las poblaciones existentes en el área de estudio para el año 2011 y, se determinó que existe una disminución del área intervenida a distancias mayores a los caminos, los cuales siguen una forma cóncava que se puede representar por la ecuación que se muestra en la Figura 34, la cual fue utilizada para determinar el decaimiento del incentivo a partir del proyecto de tren propuesto.

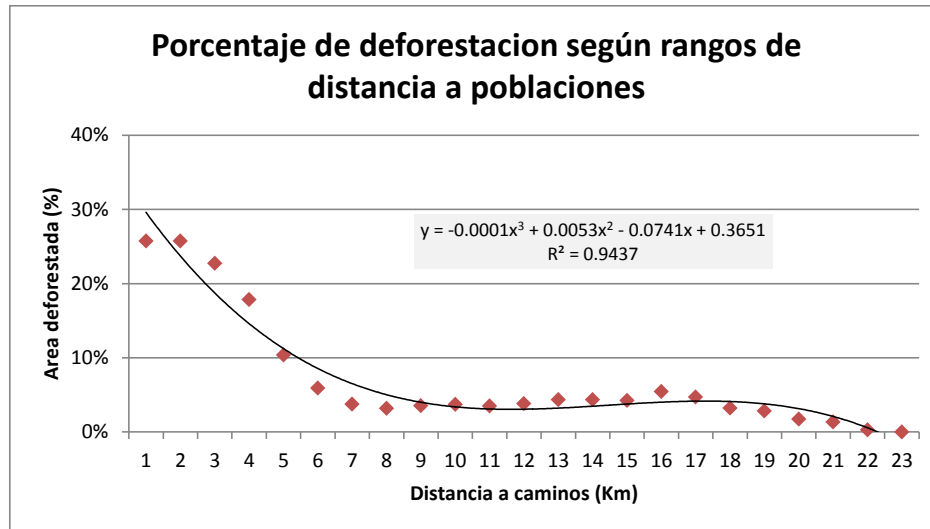


Figura 34: Decaimiento del área deforestada según distancia a los caminos

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, dado que los escenarios son comparativos, se considera un incentivo con un valor máximo de 1.5, asumiendo que el incentivo para migrar a la penillanura del lado este del Río Ucayali, no es mayor a la del oeste. Los incentivos y restricciones que se toman en cuenta para el escenario, se ilustran en la figura 35. El procedimiento para el cálculo de incentivos y restricciones, es similar en el escenario con camino y con tren, con la diferencia que las funciones de decaimiento se calculan a partir de rangos de distancia desde caminos o poblaciones respectivamente, y que además en el escenario con tren no existe un incentivo adicional para la migración al lado Este.

INCENTIVOS Y RESTRICCIONES - ESCENARIO: CON TREN

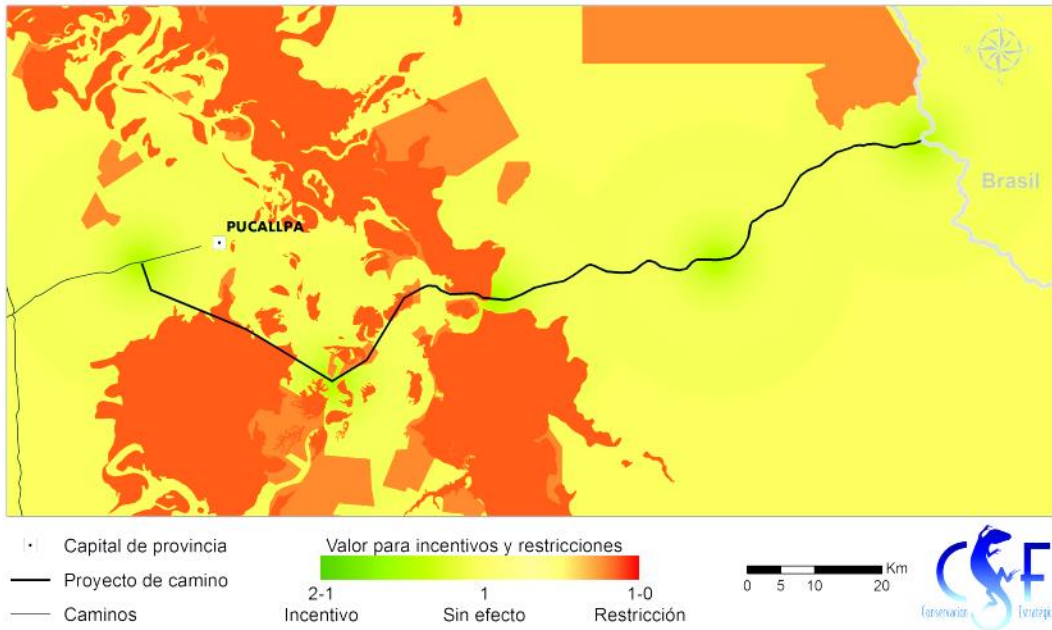


Figura 35: Mapa de incentivos y restricciones para el escenario con tren

c) Análisis del cambio

Para el análisis de cambios se comparó la cantidad de hectáreas de bosque que se pierden respecto a la cantidad de hectáreas de agricultura y degradación que se incrementan, bajo los escenarios de construcción del camino y del tren respecto al escenario base. Además, considerando que el área de interés es el Este del proyecto, donde la intervención humana fue considerablemente baja, los resultados del análisis se concentran en la Penillanura, siendo el sistema que sería afectado por la construcción del proyecto de carretera (ver división de zonas de análisis en la Figura 3).

5.2. Resultados

5.2.1. Proyecciones del cambio de cobertura para el área penillanura

Las proyecciones brindan una idea del cambio potencial de las diferentes clases en los escenarios con obras de infraestructura y en un escenario sin intervención de ese tipo.

Si se realizan las obras de infraestructura propuestas en el área de penillanura, es probable que además de atravesar el área, ejercieran presión sobre los recursos existentes de manera directa e indirecta. Es por ello que se realiza el análisis de los potenciales impactos sobre la cobertura de bosque, solamente para el área de Penillanura. Los resultados obtenidos permiten evaluar, a largo plazo, la pérdida de cobertura de bosque, el aumento de las áreas destinadas a la agricultura y los cambios en la vegetación secundaria.

Las cifras que se presentan a continuación corresponden solamente al área de penillanura del territorio peruano. En las proyecciones de cambio de cobertura se observó que una parte importante del cambio se daba más allá de la frontera, pero dado que el estudio se realiza para orientar la toma de decisiones en un proyecto del Perú, se restringe el análisis de los mapas a este territorio.

a) Cobertura de bosque

En la Figura 36, se observa que en las curvas proyectadas hasta el 2011, que representan los datos conocidos, la cobertura de bosque disminuye más del 2% en el área de penillanura. A partir de 2011, se observan las curvas de intervención de los tres escenarios propuestos: sin proyecto, con intervención de una vía de tren y con la intervención de un camino.

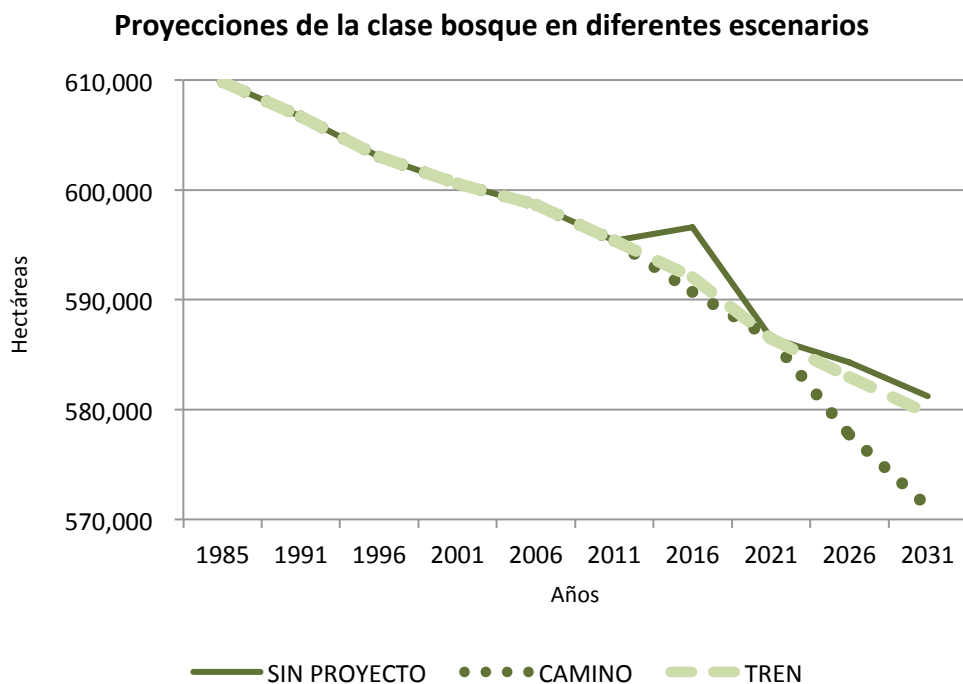


Figura 36: Curvas de proyección de cambio del bosque en diferentes escenarios

Fuente: Elaboración propia.

La curva que representa el escenario sin proyecto, muestra una reducción de 2.3% del bosque hasta el año 2031. El escenario con la intervención de un camino, muestra una pérdida de bosque de 4.2%. El escenario con la intervención de una vía de tren, presenta una pérdida del bosque del 2.5%, casi igual al escenario sin proyecto. Cabe recalcar que esta pérdida de bosque al año 2031, no significa que las 15.000 a 25.000 ha perdidas corresponden a áreas agrícolas, sino más bien, como se verá más adelante, la mayor parte corresponden a vegetación secundaria, producto de procesos de regeneración o degradación.

Los tres escenarios muestran pérdida del bosque, pero el que mayor pérdida muestra es el camino. Esta pérdida puede deberse a la presión que ejerce esta obra de infraestructura sobre el bosque y sus recursos (Tabla 5).

Tabla 5: Tabla comparativa del cambio del área de bosque proyectada a 2031

ESCENARIO	2011	2016		2021		2026		2031	
	ha	ha	%cambio	ha	%cambio	ha	%cambio	ha	%cambio
SIN PROYECTO	595,404	596,612	0.20%	586,532	-1.49%	584,283	-1.87%	581,217	-2.38%
CAMINO		590,742	-0.78%	586,442	-1.51%	577,699	-2.97%	571,142	-4.07%
TREN		592,045	-0.56%	586,482	-1.50%	582,968	-2.09%	579,652	-2.65%

Fuente: Elaboración propia.

b) Cobertura de agricultura

La agricultura hasta 2011, fue una actividad poco desarrollada en el área de penillanura. Eso se observa en los mapas donde el área está casi totalmente cubierta de bosque. Según el modelo de predicción, inclusive a pesar de no llevarse a cabo ningún proyecto de infraestructura, esta actividad se incrementaría hasta 2031, ocupando cuatro veces más hectáreas de las registradas en el 2011.

La Figura 37 muestra que el proyecto de camino ejerce mayor presión que el proyecto de tren, aunque la diferencia es muy pequeña, aproximadamente de 200 ha hasta 2031. Sin embargo, en la situación sin proyecto la deforestación para agricultura es mucho mayor, esto puede explicarse porque con un proyecto de camino, podría existir mayor concentración de la agricultura donde existe infraestructura, de tal manera que las áreas separadas de este eje casi no presentan actividades agrícolas permanentes. Como resultado final en esta predicción, los proyectos de tren y camino presentan un impacto similar, pero menor a la situación sin proyecto.

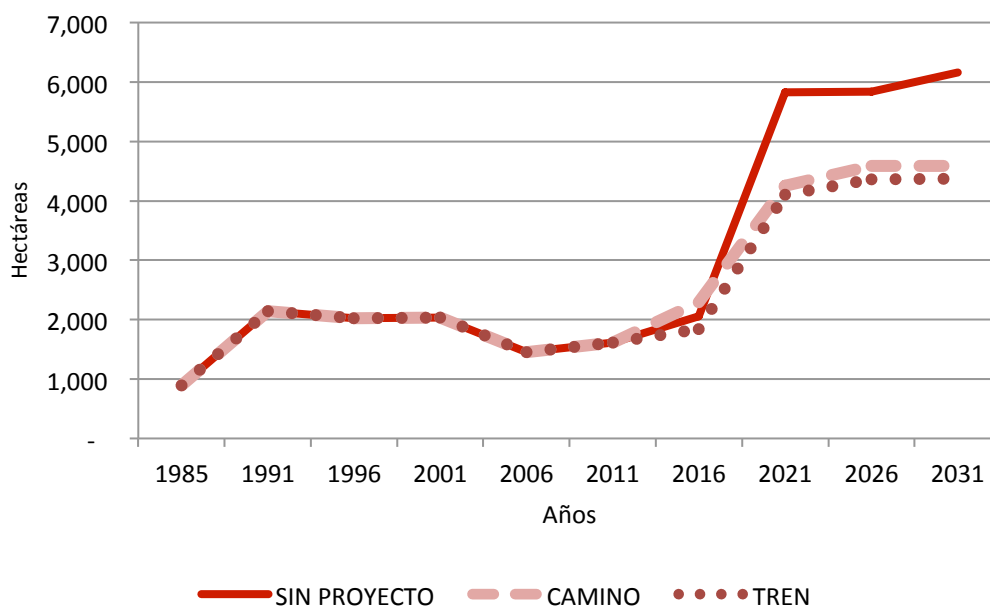


Figura 37: Curvas de proyección de cambio de las áreas para agricultura en diferentes escenarios

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Tabla comparativa del cambio del área de agricultura proyectada a 2031

ESCENARIO	2011		2016		2021		2026		2031	
	ha	ha	%cambio	ha	%cambio	ha	%cambio	ha	%cambio	
SIN PROYECTO	1,610	2,054	28%	5,831	262%	5,833	262%	6,163	283%	
CAMINO		2,289	42%	4,254	164%	4,584	185%	4,584	185%	
TREN		1,835	14%	4,108	155%	4,361	171%	4,369	171%	

Fuente: Elaboración propia.

c) Cobertura de vegetación secundaria

En la figura 38 y tabla 7, se observa que el proyecto que mayor presión ejerce sobre el bosque para su transformación en vegetación en el área de penillanura, es el de la construcción de un camino. Este cambio representa el doble a la situación sin proyecto y un 75% más que el escenario con tren.

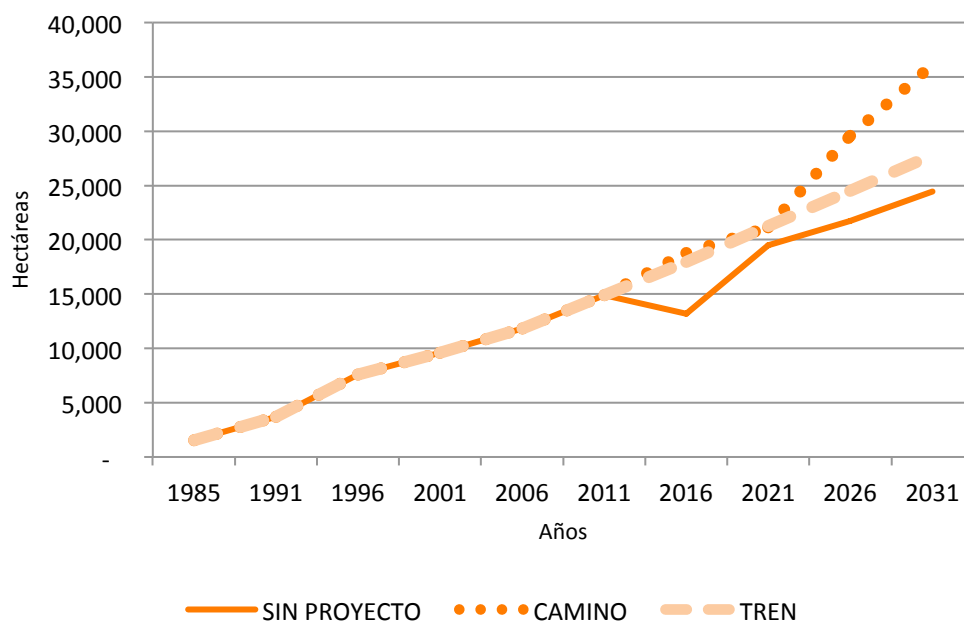


Figura 38: Curvas de proyección de cambio de las áreas de vegetación secundaria en diferentes escenarios

Fuente: Elaboración propia.

Según los mapas históricos, en la situación sin proyecto, el área de penillanura tiene el triple de áreas de vegetación secundaria en 2011 que en 1991, es decir, que incrementaron de aproximadamente 5.000 ha a 15.000 ha. Según el modelo de predicción, en 2031 se espera que sin proyecto se siga la misma tendencia y se cuenten con aproximadamente 25.000 ha. En el escenario con camino se incrementaría esta área a 35.000 ha aproximadamente, mostrando además una incremento con una tendencia exponencial. En cambio, en el escenario con tren, si bien se incrementa el área de vegetación secundaria más que en el escenario sin proyecto, el incremento es de 2.500 ha aproximadamente sobre el mencionado escenario y la tendencia observada es parecida al escenario sin proyecto.

Tabla 7: Tabla comparativa del cambio del área de vegetación secundaria proyectada a 2031

ESCENARIO	2011		2016		2021		2026		2031	
	ha	ha	%cambio	ha	%cambio	ha	%cambio	ha	%cambio	
SIN PROYECTO	14,909	13,182	-12%	19,486	31%	21,733	46%	24,469	64%	
CAMINO		18,818	26%	21,153	42%	29,566	98%	36,123	142%	
TREN		17,968	21%	21,258	43%	24,519	64%	27,828	87%	

Fuente: Elaboración propia.

Además de los análisis presentados para las coberturas, se realizó un análisis uniendo el cambio a agricultura y vegetación secundaria, debido a que juntos representan el área total de intervención humana. Es así que se observa que sin proyecto, desde 1985 hasta 2011, las áreas agrícolas y con vegetación secundaria aumentan aproximadamente 10 veces y, hacia el final del periodo de análisis, en 2031 aumentarían al doble con respecto a 2011. En el escenario con tren se observa casi la misma área intervenida, con un leve incremento de 10% aproximadamente respecto a la situación sin proyecto. En cambio, en el escenario con camino, el área total de intervención humana podría alcanzar un 70% más que en el escenario sin proyecto.

Tabla 8: Tabla comparativa del cambio del área de agricultura e vegetación secundaria proyectada a 2031

ESCENARIO	2011	2016		2021		2026		2031	
	ha	ha	%cambio	ha	%cambio	ha	%cambio	ha	%cambio
SIN PROYECTO	16,518	15,237	2%	25,317	70%	27,566	85%	30,632	105%
CAMINO		21,106	42%	25,407	70%	34,150	129%	40,706	173%
TREN		19,803	33%	25,366	70%	28,881	94%	32,197	116%

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presenta una comparación entre áreas de bosque e intervención humana total (agricultura más vegetación secundaria), donde se observa la disminución del área de bosque en aproximadamente 25.000 ha a partir de 2011 hasta 2031 para el escenario con camino. Por otro lado, es casi la misma pérdida de bosque que se observa como área de incremento en actividades agrícolas y de vegetación secundaria (Figura 39).

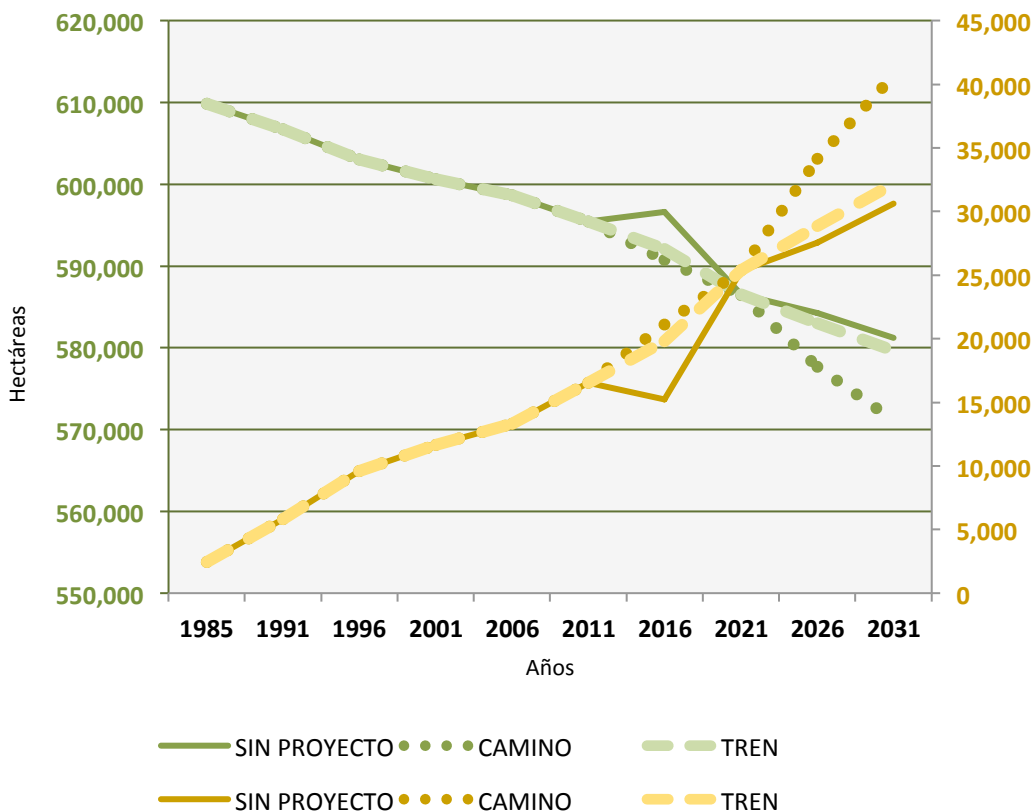


Figura 39: Curvas de proyecciones de cambio de bosque y de las áreas agrícolas- degradadas en diferentes escenarios

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Mapas de proyecciones de cambios de cobertura en diferentes escenarios

Los mapas de proyecciones sin obra alguna de infraestructura y con obra de camino o tren, muestran el posible cambio de la cobertura de bosque y uso del suelo, basado en las observaciones del análisis de 25 años desarrollado en la primera parte del informe.

Estas proyecciones muestran el lugar y la cantidad de áreas agrícolas que existirán desde 2011 hasta 2031, justificando parte de la pérdida de bosque.

Se puede observar que las áreas agrícolas se desarrollan cercanas al río, por donde pasa el trazo de la vía propuesta, sobre todo en el área de penillanura donde predomina el bosque. Es por ello, que el incremento de las áreas agrícolas en el futuro afectará la cobertura de bosque actual, especialmente en esta área.

a) Mapas de proyecciones de escenarios sin obra de infraestructura

COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Sin Proyecto 2016

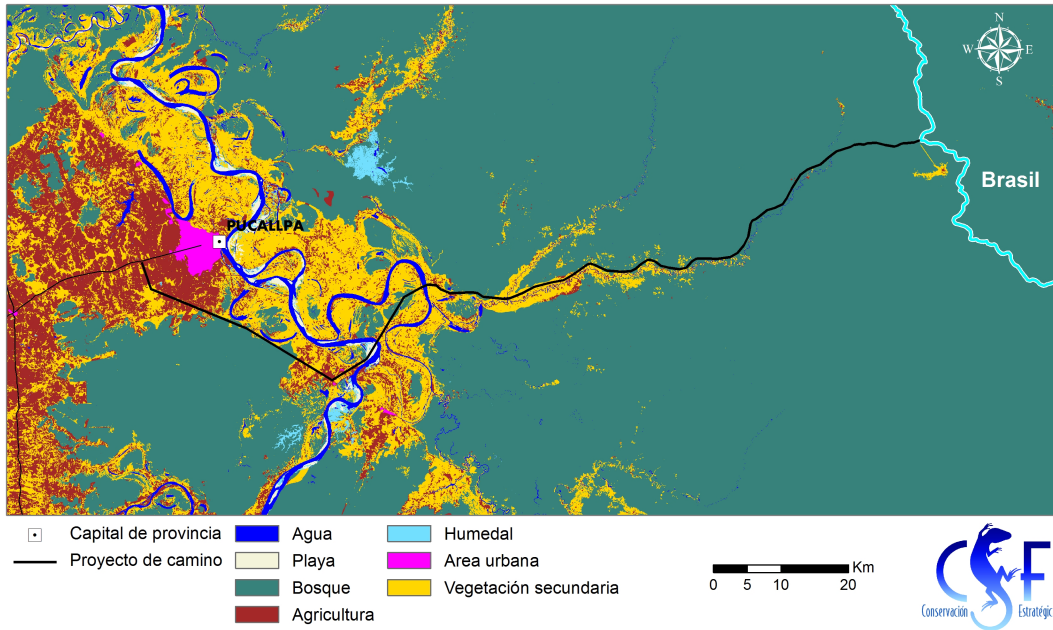


Figura 40: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2016

COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Sin Proyecto 2021

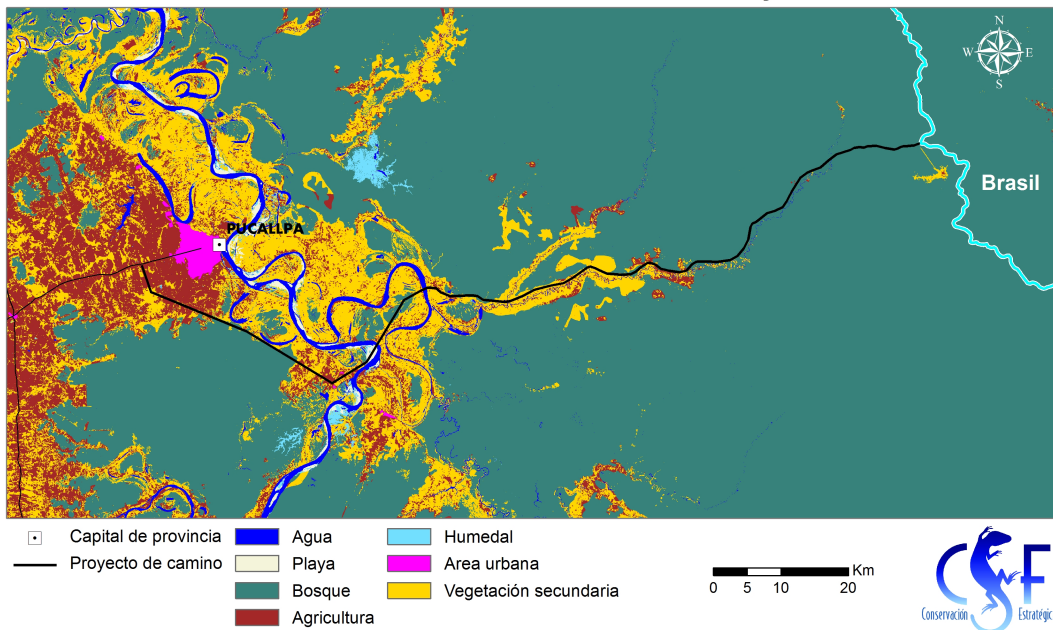


Figura 41: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2021

COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Sin Proyecto 2026

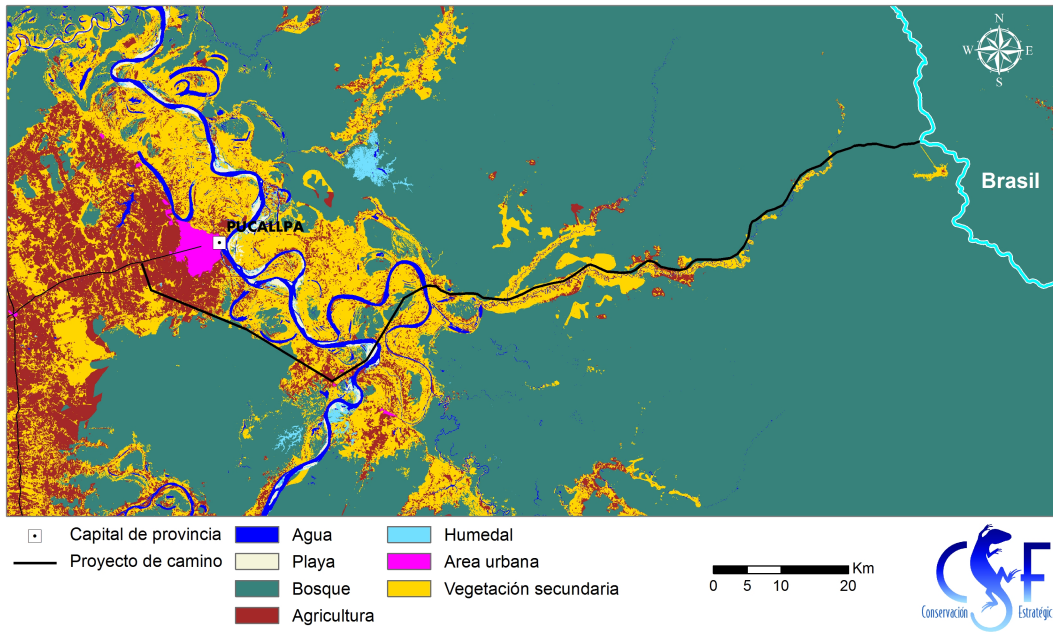


Figura 42: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2026

COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Sin Proyecto 2031

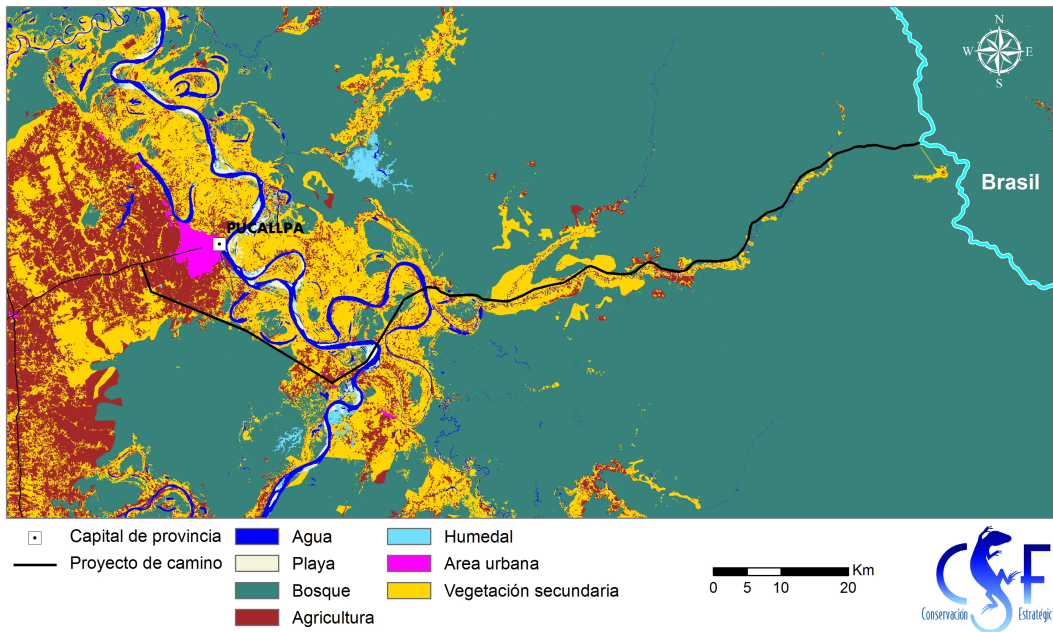


Figura 43: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2031

b) Mapas de proyecciones de escenarios con obra de camino
COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Con Camino 2016

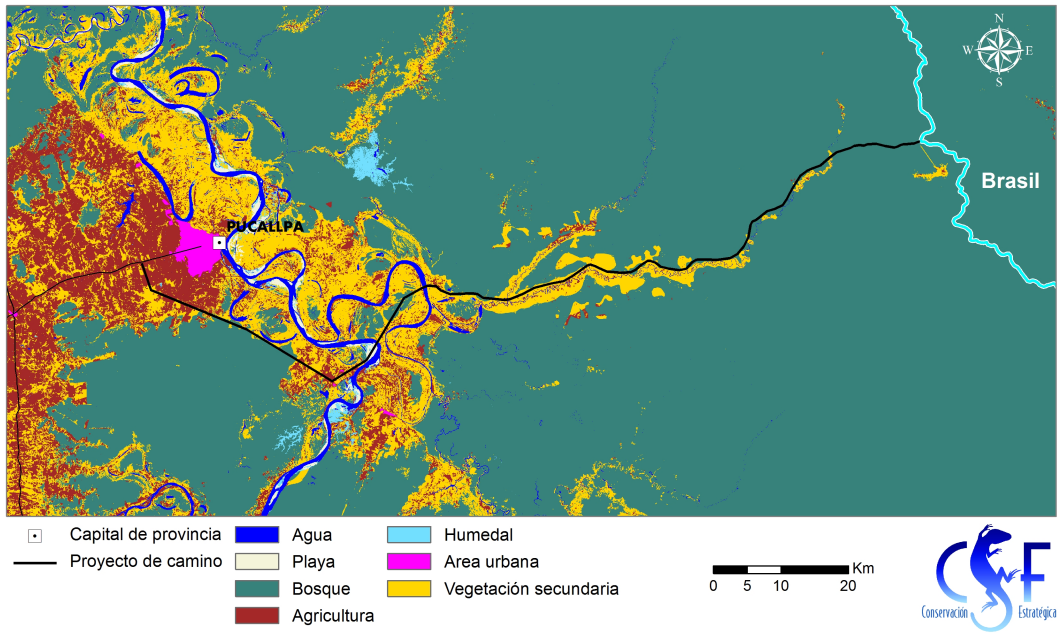


Figura 44: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2016 con la influencia de la construcción de un camino

COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Con Camino 2021

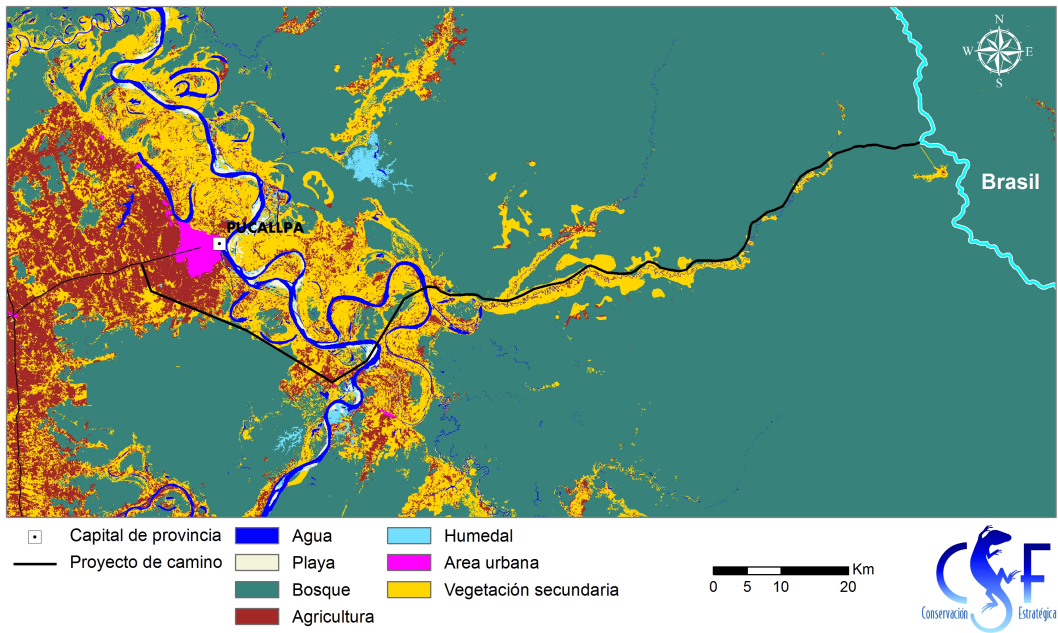


Figura 45: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2021 con la influencia de la construcción de un camino

COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Con Camino 2026

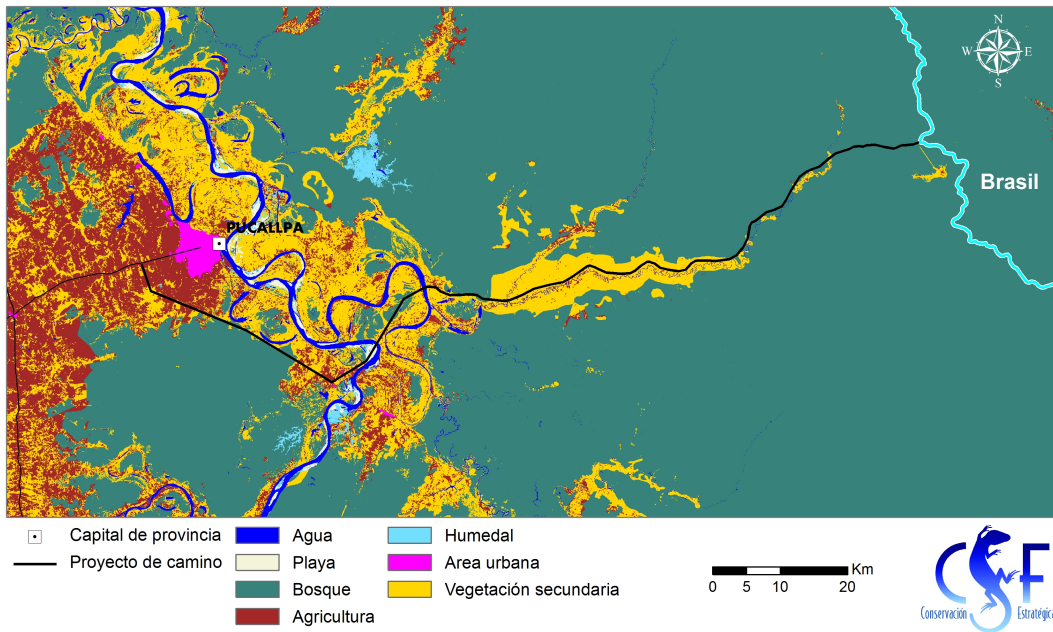


Figura 46: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2026 con la influencia de la construcción de un camino

COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Con Camino 2031

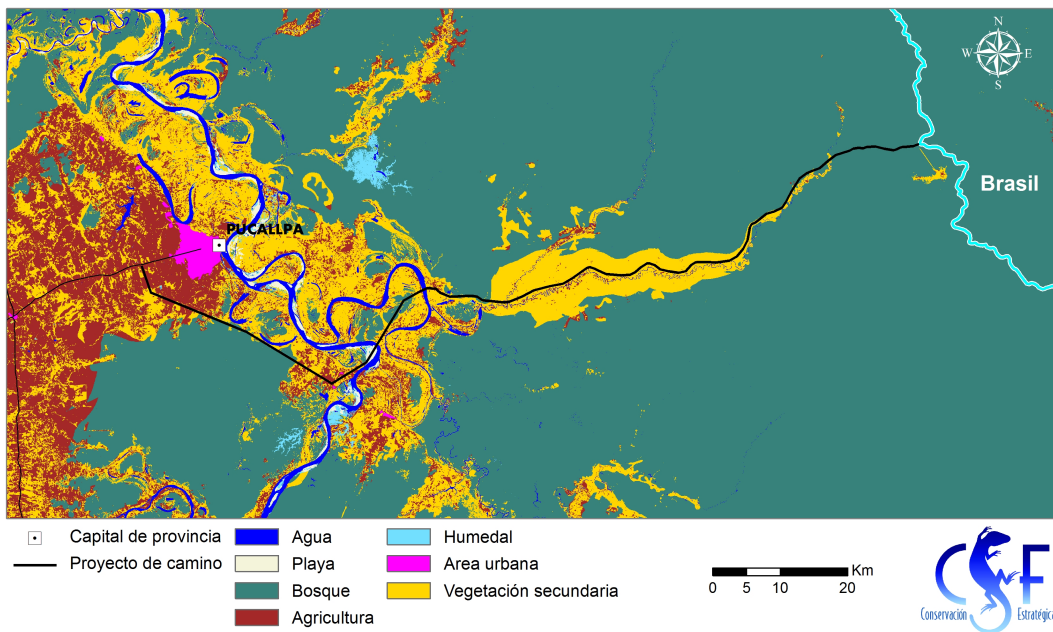


Figura 47: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2031 con la influencia de la construcción de un camino

c) Mapas de proyecciones con obra de tren
COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Con Tren 2016

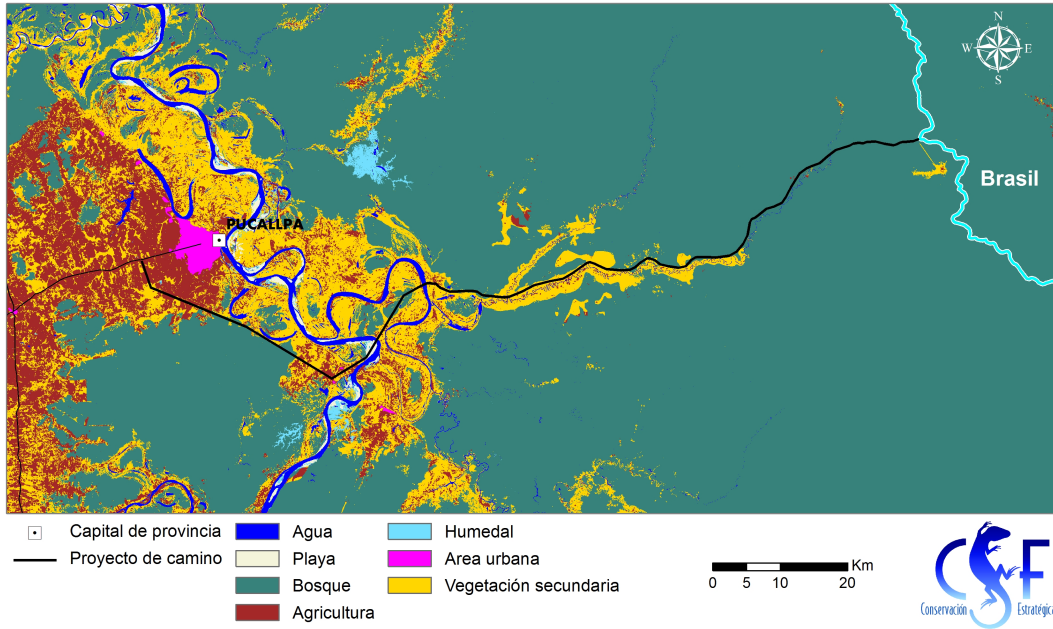


Figura 48: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2016 con la influencia de la construcción de una vía de tren

COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Con Tren 2021

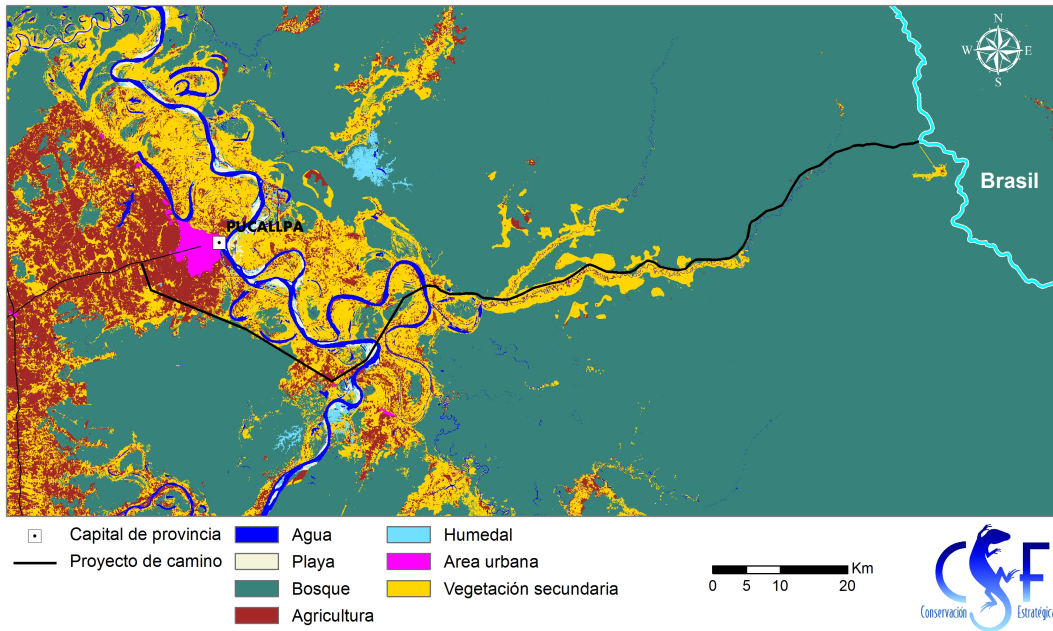


Figura 49: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2021 con la influencia de la construcción de una vía de tren

COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Con Tren 2026

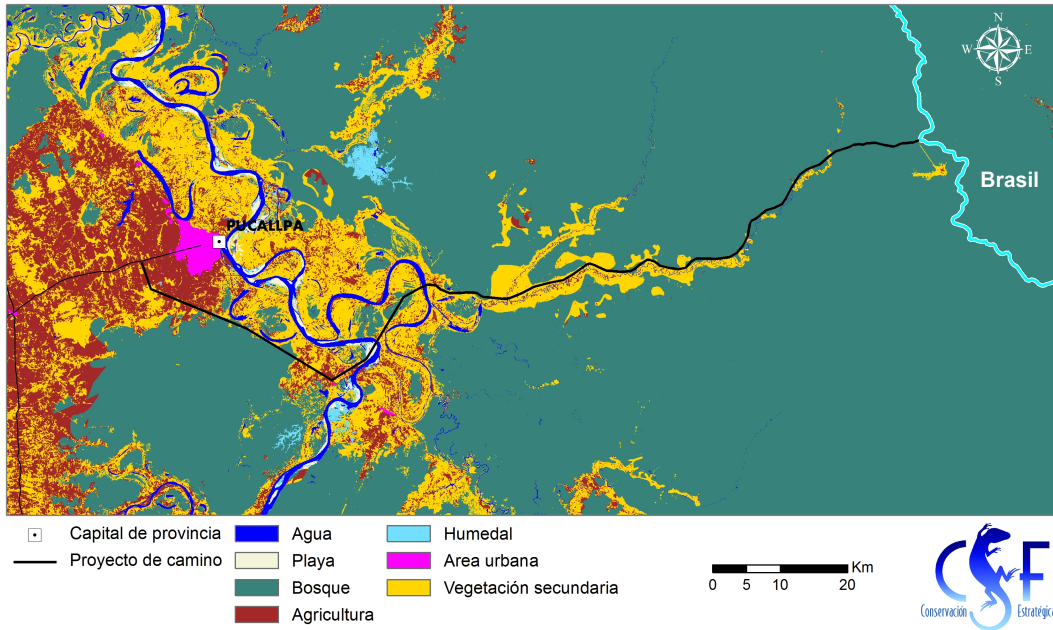


Figura 50: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2026 con la influencia de la construcción de una vía de tren

COBERTURA DE LA TIERRA - Predicción Con Tren 2031

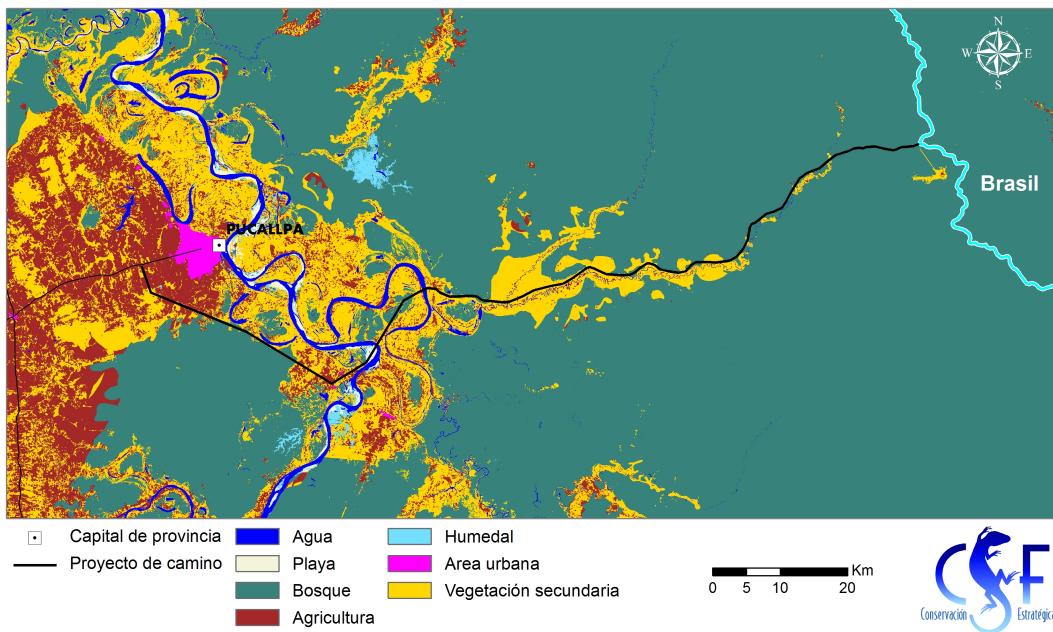


Figura 51: Mapa de proyección cobertura de la tierra al 2031 con la influencia de la construcción de una vía de tren

6. CONCLUSIONES

- Según el modelo de predicción de cambio de cobertura, el proyecto que mayor impacto puede presentar por la construcción de una vía de comunicación entre Pucallpa y Cruzeiro do Sul es un camino carretero.
- En términos de área de intervención humana por efecto de la construcción de un camino, hacia 2031 se podrían esperar 10.000 ha adicionales de agricultura y vegetación secundaria respecto a una situación sin proyecto, mientras que con una vía de tren solamente se esperan alrededor de 2.000 ha adicionales, es decir, que el impacto de un camino puede ser cinco veces mayor al de una vía de tren.
- El impacto de la construcción de infraestructura está limitado a áreas de uso tradicional, y se observa una concentración en las planicies aluviales. Sin embargo, la construcción de otras vías de acceso o la introducción de otros sistemas de manejo, puede sobrepasar esta frontera generando mayor impacto.

BIBLIOGRAFIA

1. Chen LY, Yang HCH. Scenario simulation and forecast of land use/cover in northern China. *Chines Science Bulletin* 2008; 53: 1401-1412.
2. Mas JF, Velázquez A, Couturier S. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental* 2009; 1: 23-39.
3. Rosete FA, Pérez JL, Bocco G. Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978- 2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación Ambiental* 2009; 1: 70-82.
4. Lambin EF. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography* 1997; 21 (3): 375-393.
5. Vaitkus G, Vaitkuvienė D. Land cover changes in the Lithuanian Coastal Zone during 1975-2000. *Acta Zoológica Lituánica* 2005; 15: 183-187.
6. Rosas I, Carranza G, Nava Y, Larqué A. La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal. Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM.
7. García MT, Mas JF. Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas* 2008; 67: 7-19.
Lepers E, Lambin EF, Janetos AC, De Fries R, Achard F, Ramankutty N, Scholes RJ. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. *BioScience* 2005; 55: 115-124.
8. Bocco G, Mendoza M, Velázquez A. Remote Sensing and GIS-based regional geomorphological mapping-a tool for land use planning in developing countries. *Geomorphology* 2001; 139: 211-219.
9. Rosete FA, Pérez JL, Bocco G. Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978- 2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación Ambiental* 2009; 1: 70-82.
10. Nájera O, Bojórquez JI, Cifuentes JL, Marceleño S. Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del Río Mololoa, Nayarit. *Revista BioCiencias* 2009; 1(1):19-29
11. Josse, C., G. Navarro, F. Encarnación, A. Tovar, P. Comer, W. Ferreira, F. Rodríguez, J. Saito, J. Sanjurjo, J. Dyson, E. Rubin de Celis, R. Zarate, J. Chang, M. Ahuite, C. Vargas, F. Paredes, W. Castro, J. Maco y F. Reategui. 2007. *Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia*.
12. NatureServe 2012, Memoria técnica de la cuantificación de la cobertura de bosque y deforestación de la Amazonía Peruana (Resumen Región Ucayali), Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales, Dirección General de Ordenamiento Territorial, Ministerio del Ambiente, Perú.
13. Mas, J.F, Kolb M, Paegelow M, Cmamcho M.T, Houet T, 2014. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. Elsevier, *Environmental Modelling & Software*. Volume 51, Pages 94–111

14. Kamusoko C, Wada Y, Foruya T, Tominura S, Mitsuru N, Homsysavath K, 2013. Simulating Future Forest Cover Changes in Pakxeng District, Lao People's Democratic Republic (PDR): Implications for Sustainable Forest Management. *Land*, 2, 1-19; doi:10.3390/land2010001
15. Josse, C., G. Navarro, P. Comer, R. Evans, D. Faber-Langendoen, M. Fellows, G. Kittel, S. Menard, M. Pyne, M. Reid, K. Schulz, K. Snow, and J. Teague. 2003. *Ecological Systems of Latin America and the Caribbean: A Working Classification of Terrestrial Systems*. NatureServe, Arlington, VA.
16. Eastman, J.R. 2009. *IDRISI Guide to GIS and Image Processing*. Accessed in IDRISI SELVA. Worcester, MA: Clark University:p. 230-251.
17. Eastman, J.R. 2009. *IDRISI Guide to GIS and Image Processing*. Accessed in IDRISI SELVA. Worcester, MA: Clark University:p. 230-251.
18. Swain, P. H. 1973. *Pattern Recognition: A Basis for Remote Sensing Data Analysis (LARS Information Note 111572)*. West Lafayette, Indiana: The Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University