

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA

PROGRAMA DE CAMBIO CLIMÁTICO,
DESARROLLO TERRITORIAL Y AMBIENTE

PROTERRA



EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA, EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PROPUESTA DE CARRETERA BALSAPUERTO - MOYOBAMBA

Programa Presupuestal (PP) 0068
Reducción de la vulnerabilidad y
atención de emergencias por desastres

Actividad del PP0068 (5005572): Desarrollo de
investigación aplicada para la gestión
del riesgo de desastres



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA

**PROGRAMA DE CAMBIO CLIMÁTICO, DESARROLLO TERRITORIAL Y AMBIENTE
(PROTERRA)**

PROGRAMA PRESUPUESTAL 0068: REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES

**ACTIVIDAD DEL PP0068 (5005572): DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN
APLICADA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES**

**ACTIVIDAD OPERATIVA:
EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE
LA TIERRA**



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA

PROGRAMA DE CAMBIO CLIMÁTICO, DESARROLLO TERRITORIAL Y AMBIENTE (PROTERRA)

RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD OPERATIVA: EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA, EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PROPUESTA DE CARRETERA BALSAPUERTO - MOYOBAMBA

Elaboración de contenidos : Programa de Cambio Climático, Desarrollo Territorial y Ambiente (PROTERRA)

Coordinación : Lizardo Fachín Malaverri

Elaborado por : Juan Palacios Vega

Colaboración : Rocío Jarama Vilcarromero, Ricardo Zárate Gómez, Lizardo Fachín Malaverri, Guiuseppe Torres Reyna, María Marín Pérez, Joel Lam Rodríguez

Este libro fue revisado por pares.

Diagramación : Angel G. Pinedo Flor

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2019-00000

Primera edición

Iquitos, Perú. Diciembre de 2019

© 2019 Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana

Av. José Abelardo Quiñones km. 2.5

Teléfonos: (+51) (65) 265515 / 265516 Fax: (+51) (65) 265527

Iquitos, Perú, 2019

www.iiap.gob.pe / E-mail: proterra@iiap.gob.pe

El presente estudio fue financiado con fondos del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP, Programa Presupuestal 0068.

Cita sugerida:

Palacios, J., Jarama, A., Zárate, R., Fachín, L., Torres, G., Marín, M., Lam, J. 2019. Informe de investigación. Evaluación del cambio de cobertura y uso de la tierra, en el área de influencia de la propuesta de carretera Balsapuerto - Moyobamba.

La información contenida en este informe puede ser reproducida total o parcialmente siempre y cuando se mencione la fuente de origen.



CONTENIDO

I.	INTRODUCCION	6
II.	OBJETIVOS	7
2.1.	OBJETIVO GENERAL.....	7
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
III.	MATERIALES Y METODOS.....	7
3.1.	MATERIALES.....	7
3.2.	METODOLOGÍA	11
IV.	RESULTADOS.....	19
V.	BIBLIOGRAFIA	34

Lista de Figuras

Figura 1.	Interface de usuario del servicio web Alaska Facility, para la descarga de imágenes DEM Alos Palsar.	8
Figura 2.	Interface de usuario del servicio web Copernicus ESA, para la descarga de imágenes Sentinel 2.	9
Figura 3.	Mapa de Ubicación del área de influencia de la propuesta de carretera Balsapuerto - Moyobamba.	12
Figura 4.	Mapa de Uso Actual de la Tierra en el área de influencia de la propuesta de carretera Balsapuerto - Moyobamba.....	21
Figura 5.	Cultivo de arroz en el sector Moyobamba, San Martín.	22
Figura 6.	Pastos en el sector Balsapuerto, Loreto.	23
Figura 7.	Cultivos de piña, papaya, plátano y café en los sectores Balsapuerto y Moyobamba.	25
Figura 8.	Bosque denso alto en el sector Moyobamba.....	27
Figura 9.	Bosque denso bajo de tierra firme en el sector Moyobamba.	29
Figura 10.	Vegetación de Bosque denso bajo inundable en el sector Moyobamba.	30
Figura 11.	Variación de las superficies de Cobertura y Uso de la Tierra (CUT) por año, datos de CUT 2015 al 2019 y 2023 datos simulados.	31
Figura 12.	Comparación de mapas de cobertura y uso de la tierra años 2015, 2019 y proyectado al año 2023.	33

Lista de Tablas

Tabla 1.	Propuesta de Leyenda de Uso y Cobertura de la Tierra - Perú (MINAM, 2012) y adaptada para el estudio en el área de influencia de la propuesta de carretera Balsapuerto - Moyobamba.....	19
Tabla 2.	Categorías por niveles de Cobertura y Uso de la Tierra adaptada al estudio del área de influencia de la propuesta de carretera Balsapuerto – Moyobamba, leyenda de Cobertura y Uso de la Tierra - Perú (MINAM, 2012).	20



I. INTRODUCCIÓN

En los últimos 50 años la preocupación sobre el cambio de cobertura y uso de la tierra (CCUT) a nivel global, regional y local ha contribuido a generar mucha investigación sobre el tema, llegando ésta a concluir, que son muchos los impactos de estos procesos los mismos que afectan al clima, a los sistemas biológicos y al ser humano en particular. Son precisamente éstos los más vulnerables a estos cambios así como también los lugares donde se asientan, lo que afecta las economías y actividades productivas, sociales, entre otras.

En la Amazonía peruana la ocupación del territorio y el uso de los recursos naturales han generado conflictos ambientales por el mal uso de la tierra, tierras con vocación forestal o de protección son utilizados con fines agropecuarios, trayendo como consecuencia pérdida de la fertilidad del suelo y problemas de erosión principalmente en sitios de mayor pendiente, lo cual se manifiesta en el bajo rendimiento de diversos cultivos y por consiguiente el abandono de las tierras.

En este contexto la evaluación de la dinámica de cambio de la cobertura y uso de la tierra se hace necesaria, tanto para cuantificar el cambio en el tiempo, así como, para comprender y predecir el impacto de estos procesos en el territorio con enfoque de cambio climático. Se

propone entonces realizar reconstrucciones históricas de estos procesos y proyectar al futuro los cambios en la cobertura y uso de la tierra.

En el presente estudio se evalúa la dinámica del cambio de cobertura y uso de la tierra en el área de influencia de la propuesta de carreta Balsapuerto - Moyobamba, para lo cual se recopiló información histórica de la Cobertura y Uso de la Tierra (CUT) en el área de estudio, se generó información de CUT al año 2015 utilizando imágenes de satélite, seguidamente se cuantifico e identifico los principales cambios, a esto se sumó variables espaciales explicativas con las cuales se ingresó a modelar la transición potencial y finalmente simular un escenario al año 2023 de CCUT.

La importancia del presente trabajo radica en obtener un documento que sirva en la gestión para el ordenamiento de los usos del territorio del área estudio, es por eso que el objetivo de este estudio es analizar la dinámica del CCUT en el periodo 2015-2019, en el área de influencia de la propuesta de carreta Balsapuerto - Moyobamba, con la finalidad de simular un escenario al año 2023 de CCUT que explique e identifique los principales cambios que se pudieran dar a futuro sobre el área de estudio.



II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Análisis de la dinámica del cambio de cobertura y uso de la tierra en el periodo 2015-2019, en el área de influencia de la propuesta de Carretera Balsapuerto – Moyobamba.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilación de datos e información de cobertura y uso de la tierra del área del estudio
- Caracterización de la cobertura y uso actual de la tierra del área de estudio.
- Análisis del cambio de la cobertura y uso de la tierra en el periodo 2015 – 2019 del área de estudio
- Simulación del cambio de cobertura y uso de la tierra al año 2023 del área de estudio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Para el presente estudio los materiales utilizados se describen como aquella información utilizada y recopilada de las fuentes o servicios oficiales encontrados libres en la Web tanto nacionales como internacionales, las cuales proveen en su mayoría de datos e información satelital y vectoriales (información geoespacial), esta se encuentra libre para la descarga, ordenada por ubicación geográfica y clasificada por día, mes y año de toma.

3.1.1. Materiales tipo vectorial

Los materiales de tipo vectorial se refieren específicamente a las capas de información geoespacial en formato estándar Shapefile (shp), estos por lo general puedan ser visualizados, procesados y representados en plataformas o programas de tipo SIG, estos por lo general son recolectados de instituciones

generadoras de datos espaciales y en otros casos el mismo IIAP posee una base de datos de las ZEE u otros proyectos ejecutados en el área de estudio.

A continuación se menciona los materiales de tipo vectorial utilizados en el desarrollo del proyecto:

- Centros poblados, obtenidos de la data del INEI del Censo del año 2017.
- Zonificación Económica Ecológica de Alto Amazonas, realizados por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana y el Gobierno Regional de Loreto.
- Estructuras de Datos Espaciales, obtenidos del Gobierno Regional de San Martín.
- Red hídrica nacional, obtenidos del Instituto Geográfico Nacional.
- Carta Nacional, obtenida del Instituto Geográfico Nacional.
- Red vial nacional, obtenida del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- Límites departamentales, provinciales y distritales, obtenidos del Gobierno Regional de Loreto y el Gobierno Regional de San Martín.

3.1.2. Materiales tipo raster o satelital

Los datos e información en formato raster definen el mundo real por celdas ordenadas en filas y columnas llamadas pixel, en las que a cada una de ellas se le asigna un valor con el cual se puede clasificar para determinar capas de información temática. Este tipo de dato por lo general es recolectado de fuentes o servidores gratuitos en el internet, en otros casos se adquieren a proveedores.

A continuación se menciona los materiales de tipo raster utilizados en el desarrollo del estudio:

a. Modelo de Elevación Digital – DEM ALOS PALSAR, obtenido del portal Vertex de la NASA

Existen varios sistemas de teledetección espacial que permiten obtener Modelos Digitales de Elevación (MDE) de alta resolución, entre ellos se destaca el sensor PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping) a bordo de la plataforma satelital ALOS (Advanced Land Observing Satellite), que fue diseñado para obtener MDE de diez metros de resolución espacial y RMS menor a cinco metros (Díaz et al. 2010).

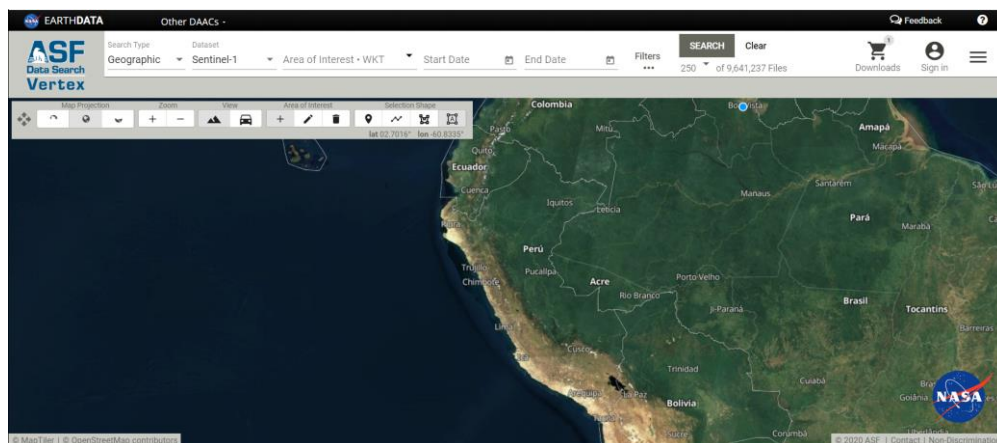


Figura 1. Interface de usuario del servicio web Alaska Facility, para la descarga de imágenes DEM Alos Palsar.

El satélite ALOS durante su operación (mayo 2006 - abril 2011), colectó imágenes de Radar en escenas de 50 km x 70 km de todo el planeta cada 45 días aproximadamente a través de la banda L de su sensor PALSAR (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar). PALSAR es uno de los tres instrumentos avanzados para observación terrestre, desarrollados para contribuir a los campos de la cartografía, la observación de la tierra, la cobertura regional precisa, el seguimiento de desastres y levantamiento de recursos. (Figura 1).



b. Imágenes Sentinel 2, del Programa Copernicus de la Comisión Europea

El servidor SCHIHUB COPERNICUS, <https://scihub.copernicus.eu/> servidor del cual se descargaron las 2 escenas del satélite SENTINEL 2 para el desarrollo del proyecto. (Figura 2).

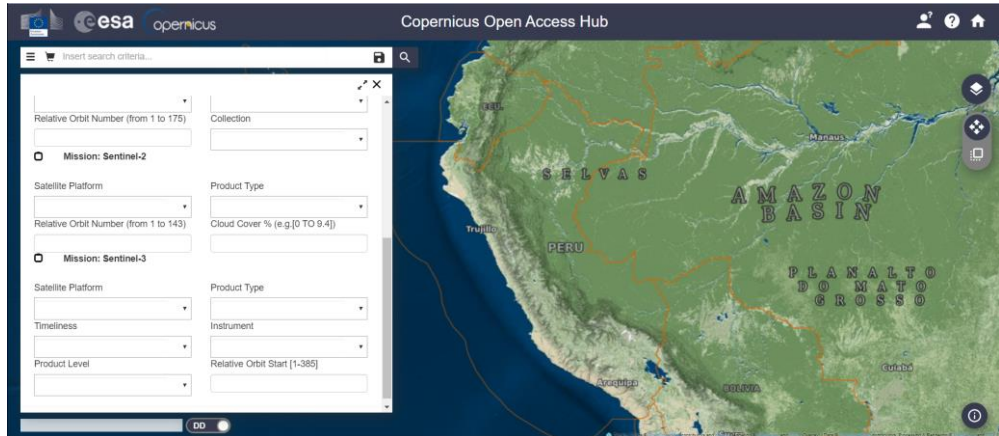


Figura 2. Interface de usuario del servicio web Copernicus ESA, para la descarga de imágenes Sentinel 2.

c. Proyecto “Herramientas de mapeo remoto y valoración socioeconómica para apoyar la planificación e implementación de intervenciones de uso de la tierra”

Consiste en una capa de información raster correspondiente al mapeo del Inventario del Uso de la Tierra realizado por Remote Sensing Applications Consultants Ltd (RSAC) en el marco del proyecto “Herramientas de mapeo remoto y valoración socioeconómica para apoyar la planificación e implementación de intervenciones de uso de la tierra”, como parte del Programa de Asociación Internacional (IPP) de la Agencia Espacial del Reino Unido (UKSA).

El Inventario de Uso de la Tierra es el principal insumo del sistema IMAGE (Inventaire-Modelisation-Alerte-Gestion-Environmental) desarrollado por Vivid Economics Ltd para este proyecto. En general, el proyecto busca desarrollar herramientas para apoyar la

reducción de la pobreza y la deforestación neta de la selva primaria en Perú.

3.1.3. Materiales de gestión para el acopio de datos

Estos se refieren a los documentos y/o mecanismos que se utilizan en la gestión y solicitud a las fuentes o entidades tanto públicas como privadas; nacionales, regionales o locales que puedan proveer de datos e información para la ejecución del proyecto.

También se hace mención que Equipo Funcional de Territorios Amazónicos (TERRA) del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) es una fuente importante de información tanto cartográfica como satelital debido al tiempo en que se vienen ejecutando proyectos para el ordenamiento del territorio en la Amazonia peruana y por consecuencia la generación de una cantidad considerable de información secundaria.

A continuación se enumera a las entidades a que generan y gestionan información geoespacial oficial, la cual se fue solicitada y utilizada en el presente estudio:

- Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial del Gobierno Regional de Loreto (GOREL), a quienes se les solicitó información cartográfica y satelital.
- Municipalidad Provincial de Alto Amazonas.
- Municipalidad Distrital de Balsapuerto.
- Gobierno Regional de San Martín.
- Municipalidad Distrital de Moyobamba.
- Instituto Vial Provincial de Moyobamba.
- Red vial nacional
- La presente información proporcionada por el Ministerio de Energía y Minas MINEM desde su base de datos para descarga ubicada en su página web institucional (Figura 5), esta además cuenta con información de Capitales de Distrito, Radiación Solar por Localidad, Base de Datos de las Localidades a Nivel Nacional, entre otros.

3.1.4. Materiales interactivos de búsqueda y descarga de datos en Red

Se describen como las fuentes o servidores que se encuentran en la Web tanto nacionales como internacionales las cuales proveen en su mayoría de datos e información satelital, esta se encuentra libre para la descarga, ordenada por ubicación geográfica y clasificada por día, mes y año de toma.

A continuación se enumera las fuentes de la Web de las cuales se obtuvieron datos e información satelital:

Geoservidor del Ministerio del Ambiente, en el cual se encuentra el catálogo de imágenes Aster Global Digital Elevation Model (ASTER G-DEM), las cuales representan al mapa topográfico mundial de resolución espacial de

30 metros y pueden ser utilizadas en diversas aplicaciones de la superficie del terreno.

3.1.5. Equipos

Se enumera a continuación la lista de equipos utilizados para realizar el ingreso y gestión de datos e información geoespacial de los proyectos:

- Laptop Core i7, marca Dell, modelo VOSTRO
- PC DELL modelo OPTIPLEX Core i5, con sistema operativo Windows 7
- Monitor SAMSUNG modelo SyncMaster B2230 LED
- Monitor SAMSUNG modelo SyncMaster 940B
- Plotter Cannon modelo iPF810
- Disco duro VERBATIM capacidad de almacenamiento 2 Tb
- GPS Garmin V y MAP 60

3.1.6. Software

- Para el ingreso de datos, generación de capas vectoriales y raster, gestión, almacenamiento, análisis espacial y elaboración de mapas se utilizó el programa en SIG ArcGIS 10.1 Desktop, licencia del IIAP.
- Para el ingreso de datos y análisis espacial se utilizó el programa en sistemas de información geográfica Quantum GIS (QGIS) versión 2.18. El QGIS Desktop versión 2.18 Las Palmas, es un potente software SIG de escritorio para crear, editar, visualizar, analizar y publicar información geoespacial. Asimismo, permite instalar complementos o algoritmos especializados para realizar un conjunto de tareas como por ejemplo el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) el cual proporciona adicionalmente herramientas como descarga de imágenes satelitales disponibles sin costo, el pre-procesamiento de imágenes y



calculadora ráster, entre otras (Cogendo, 2016).

- Para la colecta y manejo de datos de campo mediante GPS Garmin V y Map 60 se utilizó el programa Map Source 6.0.
- En la validación de las capas temáticas de cobertura vegetal y uso actual se utilizó el programa Google Earth Pro.
- En los cambios de la estructura de la base de datos SIG se utilizó el programa Microsoft Access.
- En la generación de reportes, tablas, cuadros y graficas estadísticos y redacción de informes fueron útiles los programas Microsoft Excel y Word.
- En la recopilación de información en campo se utilizó el aplicativo en tablet GeoODK Collet, la cual proporciona una forma de recopilar y almacenar información georreferenciada, junto con un conjunto de herramientas para visualizar, analizar y manipular datos terrestres para necesidades específicas. Permite una comprensión de los datos para la toma de decisiones, investigación, negocios, gestión de desastres, agricultura y más.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende el área de influencia entre las comunidades Balsapuerto (Loreto) y Moyobamba (San Martín). Se ha considerado esta área de influencia dado que existe una propuesta de construir una carretera que uniría estas dos localidades. Corresponde parte de los distritos de Balsapuerto (Loreto) y Moyobamba (San Martín). La extensión correspondiente a Balsapuerto es de 2 839,69 km², y contiene a los centros poblados San Jorge, Santa Rosa, San Lorenzo, Nueva Luz, Puerto Libre, Canoa Puerto, Buenos Aires y Nuevo Junín. El área correspondiente a Moyobamba tiene una extensión de 2,737.57 Km² y contiene a los centros poblados Cordillera Andina, Sugllaquiro, Creación 2000, Cóndor, Nuevo Progreso, Nuevo Piura, Flor de Mayo, Juningue, Bella Selva.

El área de estudio limita por el norte con los distritos de Barranca y Cahuapanas, en el departamento de Loreto; por el este con los distritos de Caynarachi, departamento de San Martín, Yurimaguas y Jeberos, departamento de Loreto; por el sur con los distritos de San Roque de Cumbaza, Pinto Recodo y Jepelacio, departamento de San Martín; y por el oeste con los distritos de Habana, Calzada y Yantalo, departamento de San Martín. (Figura 3)

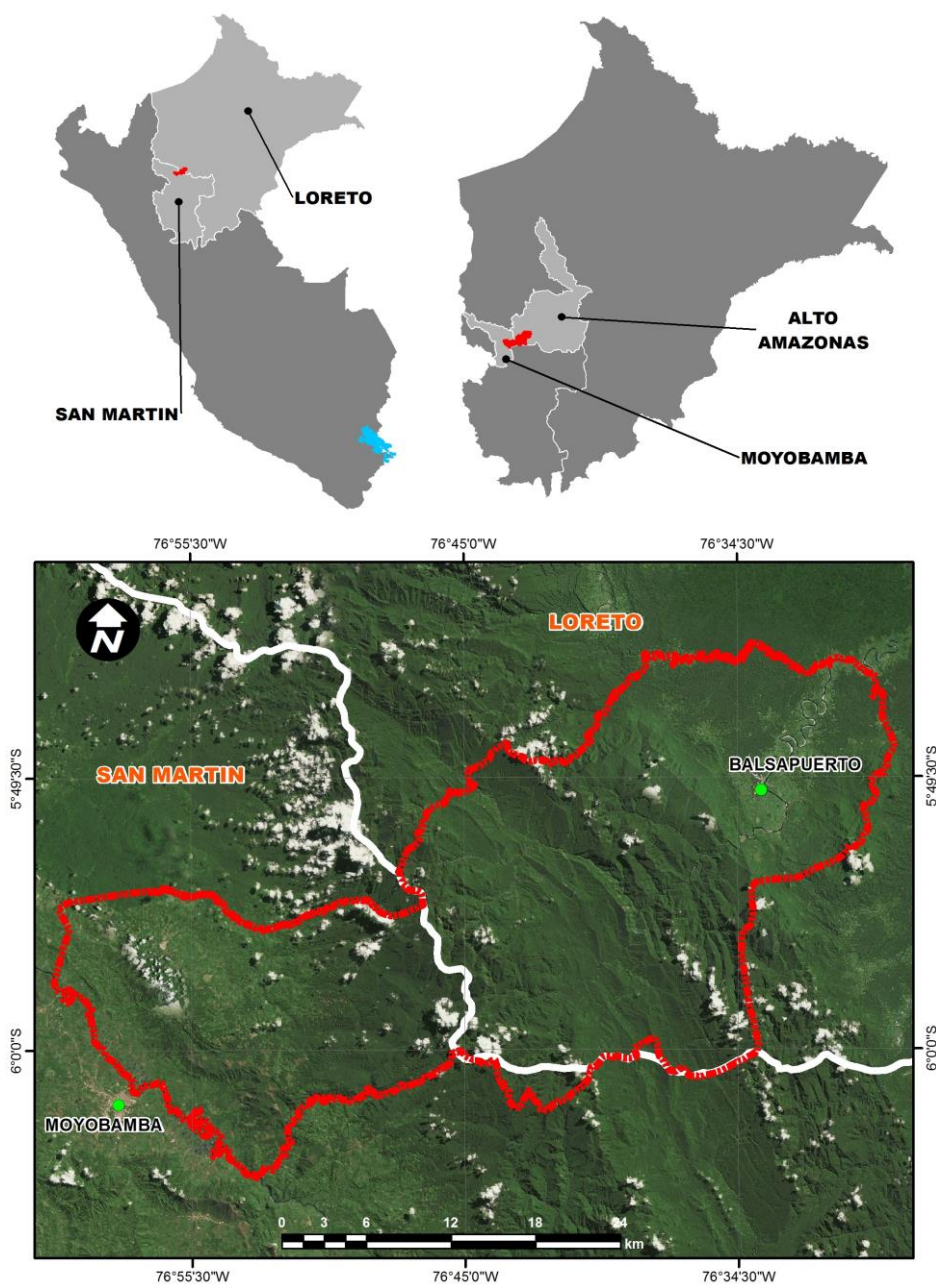


Figura 3. Mapa de Ubicación del área de influencia de la propuesta de carretera Balsapuerto - Moyobamba.



3.2.2. ACONDICIONAMIENTO CARTOGRÁFICO

Debido a que los datos fueron procesados mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se propuso un proceso metodológico de acuerdo a la funcionalidad de los SIG para lo cual este se dividió en las etapas de ingreso y gestión de la información geoespacial, las cuales se detallan a continuación.

a. Ingreso de datos geoespaciales

En esta etapa se considera la recopilación de dos tipos de datos geoespaciales, los datos de tipo vectoriales y los de tipo raster.

Recopilación de datos de tipo vectorial

Se recolectó las capas de información, específicamente base fundamental de la Carta Nacional, en formato digital, elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) a una escala de 1:100 000 las cuales están conformada por capas que representan a ríos, lagos y lagunas (polígonos y líneas), centros poblados (puntos), curvas de nivel y cotas (líneas y puntos), en total se recopiló cuatro cuadrantes de la carta nacional actualizadas al 2016 y en formato shp.

También se recolectó capas de información base de red la hidrográfica (polígonos y líneas), red vial (líneas) y capas de información temática en formato shp de los diversos proyectos de Zonificación Ecológica y Económica que el IIAP y otras instituciones públicas han desarrollado en el área de estudio.

Recopilación de datos de tipo raster

En esta etapa se recopiló datos e información en formato raster, los cuales representan el mundo real por celdas ordenadas en filas y columnas llamadas pixel; donde a cada uno de estos se le asigna un valor, posteriormente con estos valores se pueden realizar clasificaciones y generar capas de información temática.

b. Gestión de datos geoespaciales

En el proceso de actualización de los datos cartográficos del proyecto se generan errores e inconsistencias tanto de tipo geométrico como de tipo tabular, los cuales deben pasar por un proceso de acondicionamiento y almacenamiento de los datos con la finalidad de que cumplan con los estándares cartográficos y puedan ser utilizados en el análisis espacial para la generación de información.

Generación de estructuras de almacenamiento

En las etapas de ingreso, generación y actualización de los datos geoespaciales se generan muchos archivos y de distintos formatos los cuales tienen que llevar un orden lógico y ser almacenados en carpetas y subcarpetas de forma sistemática con la finalidad de su utilización, sostenibilidad y actualización en el tiempo.

En esta etapa se genera la estructura de almacenamiento que soportara los datos obtenidos en la etapa anterior, de acuerdo a las normas para el tratamiento de datos e información geoespacial se recomienda los siguientes estándares:

- Escala de trabajo aplicada, de 1:50 000.
- Sistema de proyección cartográfica, Universal Transversal Mercator (UTM)
- Elipsoide de Referencia, World Geodetic System (WGS) del año 1984.
- Datum World Geodetic System (WGS) del año 1984.
- Archivos vectoriales en formato estándar shp.
- Archivos raster en formato Tagged Image File Format (TIFF) o Geo Tif.
- Estructura de almacenamiento para el proyecto en general será en el tradicional en carpetas de Windows.
- Estructura de almacenamiento para los datos geográficos e información generada será en base de datos geográfica



(Geodatabase de ESRI) y en archivos de lenguaje de marca extensible (XML)

- Proyectos de documentos de mapas elaborados en formato (MXD)
- Documentos de mapas exportados en formato de documento portátil (PDF) y en formato comprimido de imágenes (JPEG).

Con respecto al diseño de estructura de almacenamiento, se generó una estructura de almacenamiento de todos los archivos generados en el estudio basándose en la utilización de carpetas de Windows y los nombres propuestos de acuerdo a las siglas de los formatos de los archivos que fueron almacenados en estas.

La estructura propuesta se conforma de las siguientes carpetas:

- CUT, carpeta matriz o raíz en la cual se almacenan todas las demás carpeta y subcarpetas que contienen toda la información correspondiente al proyecto, hace referencia a las siglas de Cobertura y Uso de la Tierra.
- DOC, carpeta en la cual se almacenan todos los documentos de texto que se generaron en el proyecto, soporta archivos en formato pdf, doc, etc.
- IMG, carpeta en la cual se almacenan documentos de tipo imagen y está conformada por las siguientes subcarpetas:
- DEM, imágenes que representan Modelos Digital de Elevaciones DEM, las cuales se encuentran en formato tif.
- SAT, imágenes de satélite en bandas, compuestas, corregidas y mosaicos, en formato tif.
- RAS, imágenes o capas raster que han sido producto del procesamiento o clasificación realizado a las imágenes de satélite o capas vectoriales transformados a formato raster.
- JPG, carpeta en la cual se almacena los documentos de imágenes en formato

comprimido jpg, que representan mapas o resultados a utilizarse en el complemento de documentos informativos.

- SHP, carpeta en la cual se almacena archivos de capas vectoriales en formato estándar Shapefile.
- DBF, carpeta en la cual se almacena archivos de tablas en formato dbf, xls, etc.

Acondicionamiento de cartografía base

Esta etapa consiste en realizar la detección de errores e inconsistencias, así como la limpieza de los mismos, se realiza sobre las capas que conforman la base cartográfica, se utiliza la técnica de generación y corrección topológica a cada uno de los tipos de objetos que representan (puntos, líneas y polígonos).

Acondicionamiento de cartografía temática

En esta etapa se realiza el acondicionamiento cartográfico y alfanumérico de las capas de información temática de cobertura y uso de la tierra, utilizando las curvas de nivel y la red hidrográfica principalmente contenidas en el mapa base.

El acondicionamiento cartográfico comprende específicamente la manipulación de los datos a nivel de geometría y de tabla de atributos, lo cual implica la detección y corrección de errores topológicos en la geometría y la detección y corrección de campos vacíos e inconsistencia en la tabla de atributos de cada capa de información temática.

En una primera instancia se realiza un acondicionamiento cartográfico de cada capa temática por separado luego en una segunda fase se realiza la integración de todas las capas del componente físico del proyecto es aquí en el cual mediante el uso de tablas de frecuencias se detectó las inconsistencia a nivel de atributos.



Teniendo en cuenta la estética en el diseño, el programa permite elegir entre sus múltiples paletas de colores que cuentan con índices de saturación y contraste. Para el caso de leyendas con más de 10 colores se procedió a etiquetar con un código numérico para una mejor lectura del mapa.

3.2.3. CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA TIERRA

a. Identificación de las categorías de cobertura y uso de la tierra

En esta etapa se realizó el preprocesamiento de las imágenes de satélite el cual consiste en definir y diferenciar los niveles de tonalidades mediante la modificación del histograma lo cual generara una nueva imagen con niveles digitales en una misma frecuencia, para esto se utilizó la herramienta Image Analysis, la cual viene integrada en el software ArcGIS 10.5, luego se seleccionó la imagen a realzar y se activó la herramienta *Stretch*, se realizó un remuestreo de los valores de intensidad, igualando la presencia de estos en la imagen.

Seguidamente en la imagen se generaron y ubicaron polígonos de áreas de entrenamiento; estas reúnen o agrupan píxeles de la imagen que previamente se hayan comprobado que pertenecen en su totalidad a una clase determinada, luego estas mismas se nombran utilizando las clases por niveles de clasificación según la leyenda CORINE Land Cover. Para una mejor distribución de las áreas de entrenamiento se generó una grilla de 1 km de lado, distribuida en toda el área de estudio.

El proyecto CORINE Land Cover (CLC) forma parte del programa CORINE, Coordination of Information of the Environment, de la Agencia Europea del Medio Ambiente, con el objetivo fundamental de obtener una base de datos europea de ocupación del suelo a escala 1:100.000, útil para el análisis territorial y la gestión de políticas europeas. La metodología

CLC se adoptó en Colombia en el marco del programa de apoyo y la colaboración prestada por el Fondo Francés para el Medio Ambiente (FFEM), la Embajada de Francia en Colombia, el Instituto Geográfico Nacional de Francia (ING) y ONF Andina Colombia, con el fin de promover una metodología unificada y estandarizada para el contexto colombiano en relación a coberturas de la tierra. Así mismo, CLC es una metodología para la construcción de mapas de cobertura y uso de la tierra. Emplea una leyenda jerárquica, que vincula distintos niveles de detalle espacial (escala espacial) con distintos niveles de detalle temático (niveles de la leyenda jerárquica), y que en el 2010 paso por un proceso de discusión de la leyenda regional ha llevado a la definición de una serie de clases en los niveles 1 y 2 de la leyenda que, si bien recogen parte de los planteamientos de CLC, incorporan adaptaciones que se consideran necesarias para los países de la región (Valdivia, 2018; Arnillas *et al.*, 2012).

Con los píxeles correspondientes a las áreas de entrenamiento se realizó el análisis de consistencia mediante una interpretación bidimensional de los niveles digitales o reflectividades que conforman cada una de las clases muestreadas, seguidamente se generó un archivo de firma o descripción estadística que constan del número de muestras, los promedios y las matrices de covarianza de las clases que derivaron de las muestras identificadas.

La identificación de categorías de cobertura y uso de la tierra, se realizó con los datos verificados anteriormente y aplicando el método de clasificación por el algoritmo de Máxima Probabilidad (MLC por sus siglas en inglés), en el cual los valores de píxeles en cada muestra de clases propuestas deben tener una distribución normal.

b. Verificación de las categorías de cobertura y uso de la tierra

Para lograr una mejor consistencia y evaluación de la precisión del mapa de cobertura y uso

actual de la tierra se realizó la validación en campo tanto de la cobertura vegetal como del uso actual de la tierra por separado y en paralelo. Antes de la salida de campo se generó el material cartográfico preliminar a validar, para el caso de la cobertura y uso de la tierra en este se muestra la ubicación de puntos de control generados a partir de un muestro sistemático estratificado sobre cada una de las clases generadas, para el caso de la cobertura vegetal, los mapas de campo deben mostrar las unidades de muestreo las cuales fueron de dos tipos 1) de muestreo no detallados y 2) las parcelas de evaluación de la cobertura vegetal detalladas, todas seleccionadas en base a un criterio fisiográfico.

Para la recolección de información de campo y con la finalidad de caracterizar el uso actual de la tierra y confirmar la dinámica del cambio en el tiempo se generaron encuestas estructuradas, las cuales se aplicaron a los propietarios de las parcelas visitadas, para esto se utilizó el aplicativo web Geo ODK Collect, el cual necesita un archivo en formato “.xls” en el cual se programa la encuesta, este último es cargado a un servicio web ONA (<https://odk.ona.io/>), en el cual se almacenan las encuestas ya realizadas. Así mismo, a la encuesta se le programa de tal manera que permita capturar un registro fotográfico y tomar las coordenadas del lugar visitado en el Sistema Geodésico Mundial (WGS por sus siglas en inglés).

Para la caracterización de la cobertura vegetal en campo, en primer lugar se conformaron las brigadas por un especialista botánico, un asistente de botánica y cuatro obreros, seguidamente se ubicaron las unidades de muestreo, conformadas por parcelas de 20 x 50 m de evaluación de la flora y puntos de muestro de la vegetación. En el muestreo se incluyeron hierbas, arbustos, arbolitos, árboles, palmeras y bejucos. Adicionalmente se colectaron especímenes de especies de epífitos, seleccionando un árbol al azar dentro de la parcela; así mismo, dentro de la parcela se

evaluó todas las plantas desde 10 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP) a más y en las parcelas de 5 x 5 m ubicadas en las esquinas de la parcela mayor, se evaluaron las plantas más pequeñas.

Posteriormente las muestras botánicas se herborizaron de acuerdo al siguiente procedimiento: Se colectó los individuos de Angiospermas, Gimnospermas y Pteridophyta (helechos). Luego se codificó con códigos numéricos. Seguidamente se registró en el formato de recopilación de información de colectas de muestras botánicas. Luego se prensó las muestras con la ayuda de papeles periódicos. Y se conservó con alcohol en bolsas plásticas. El secado de las muestras se realizó en Iquitos en ambientes especializados “secadores”. Las muestras se identificaron con la ayuda de bibliografía especializada.

3.2.4. CUANTIFICACIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

a. Preparación de los datos de ingreso al modelo

El objetivo del presente procedimiento es exportar o convertir las capas de información vectoriales de cobertura y uso de la tierra de los años 2015 y 2019, mediante el uso de la herramienta *Polygon To Raster* del módulo *Conversion Tools/To Raster* del programa ArcGIS. Uno de los parámetros importantes para la aplicación de la herramienta es el de *cell_assignment* el cual determina el método para asignar un valor a cada celda de la nueva capa raster, el método elegido fue *MAXIMUM_COMBINED_AREA*, debido a que las capas de referencia poseen más de una categoría que pueden determinar un valor por celda creada y en este caso el valor de la celda es determinado por la categoría que este contenida con mayor área. El tamaño de celda o pixel definido para la conversión fue de 10 metros.



b. Análisis del cambio de cobertura y uso de la tierra

Tabulación cruzada

Con las capas de información raster anteriormente definidas se procedió a generar la matriz de Pontius utilizando el la herramientas Tabulate Area del módulo Spatial Analyst Tools/Zonal del programa ArcGIS, el cual genera una tabla de doble entrada en la cual en la primera columna se encuentran los datos de las categorías del año 2015 y en las siguientes columnas se distribuye los valores de áreas en m² de las categorías de la capa raster correspondiente al 2019. Con esta tabla se podrá realizar el análisis del cambio y determinar las ganancias y pérdidas por categorías de cobertura y uso de la tierra.

Identificación de cambios de CUT

Con la finalidad de cuantificar y obtener la localización geográfica del cambio, se realizó algunos procedimientos con las capas de información generadas en las fases anteriores de los años 2010 y 2016 las cuales fueron denominadas t1 y t2 respectivamente. Para determinar la posición concreta de cada tipo de cambio o estabilidad se realizó la intersección de capas raster utilizando la herramienta *Combine* del *Spatial Analyst Tools/Local* del programa ArcGIS, el cual generó una nueva capa raster con todas las combinaciones posibles entre categorías.

3.2.5. ESCENARIO DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

Se propuso un modelo de predicción de escenario a futuro el cual fue definido al año 2023, debido al periodo base de información, este escenario se generó aplicando un algoritmo de Autómatas Celulares el cual viene incorporado en el módulo MOLUSCE que es ejecutado en el programa QGIS versión 2.18, para el presente estudio el MOLUSCE fue utilizado para detectar el cambio en el uso de la tierra entre los años 2015 y 2019 y medirlo

mediante otras variables espaciales explicativas que influyen de alguna manera; tales como la pendiente, subpaisaje fisiográfico, altitud relativa, distancias a las carreteras, distancia a centros poblados y distancia a ríos principales, a continuación se detalla el procedimiento que implicó la generación del escenario:

a. Ingreso y análisis estadísticos de variables explicativas

En esta etapa se ingresaron los mapas inicial (t1) y final (t2) de CUT al modelo, así como las variables espaciales, se verificó la geometría y coincidencia de todas las capas de información de entrada. Seguidamente se verificó la correlación existente entre las variables espaciales en donde se describió tanto la fuerza como la dirección de la relación, previamente se realizó una prueba de normalidad. Para el presente estudio la técnica de análisis estadístico fue mediante la prueba de Spearman, para datos no paramétricos utilizando el programa Sigmaplot.



b. Medición del cambio

A partir de las capas inicial y final de cobertura y uso de la tierra se obtuvo, en primer lugar las estadísticas del cambio, seguidamente se generó una Matriz de Transición o de relaciones de cambio, la cual se calculó mediante una operación de multiplicación de matrices y expresa las relaciones de cambio existentes entre las diferentes coberturas y usos de la tierra, finalmente en esta etapa se generó un mapa de cambio de la cobertura y uso de la tierra en el periodo de estudio.

c. Modelamiento de la transición potencial

En el presente estudio se utilizó el modelo de Red Neuronal Artificial (ANN por sus siglas en inglés) del módulo MOLUSCE del programa QGIS. Para lo cual se definió el modelo de muestreo y número de muestras. El algoritmo de aprendizaje analiza la precisión alcanzada en

los conjuntos de muestras y validaciones de entrenamiento, almacena la mejor red neuronal en la memoria. El proceso de entrenamiento finaliza cuando la mejor precisión es alcanzada.

d. Simulación de cobertura y uso futuro

En esta etapa se aplicó el modelo de Automatas Celulares el cual se basa en el algoritmo probabilístico Monte Carlo. El mapa de potencial de transición muestra la probabilidad o el potencial de cambiar de una clase de cobertura o uso de la tierra a otra. Los valores del potencial de transición oscilan entre 0 (bajo potencial de transición de cambio) 100 (alto potencial de transición). Los mapas de potencial de transición se producirán a partir de los correspondientes cambios en la cobertura y uso de la tierra.



IV. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA TIERRA

A. IDENTIFICACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

Con respecto a la clasificación se obtuvo como resultado las clases definidas de cobertura y uso de la tierra, realizando posteriormente una reclasificación y adaptándola a los niveles de la leyenda de CORINE Land Cover. (Tabla 1).

Tabla 1. Propuesta de Leyenda de Uso y Cobertura de la Tierra - Perú (MINAM, 2012) y adaptada para el estudio en el área de influencia de la propuesta de carretera Balsapuerto - Moyobamba.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
1 Áreas artificializadas	11 Áreas urbanizadas	112 Tejido urbano discontinuo		
2 Áreas agrícolas	22 Cultivos transitorios	212 Arroz		
	23 Pastos			
	24 Áreas agrícolas heterogéneas	241 Mosaico de cultivos		
		243 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		
3 Bosques y áreas mayormente naturales	31 Bosques	311 Bosque denso	3111 Bosque denso alto	
			3112 Bosque denso bajo	31121 Bosque denso bajo de tierra firme
				31122 Bosque denso bajo inundable
	33 Áreas abiertas sin o con poca vegetación	333 Tierras desnudas y degradadas		
5 Superficies de agua	51 Aguas continentales	511 Ríos		



B. CARACTERIZACIÓN DEL USO ACTUAL DE LA TIERRA

Las categorías de cobertura y uso del territorio que fueron tomadas en cuenta en la clasificación, se basan en la leyenda CORINE Land Cover propuesta por el MINAM, la cual pretende uniformizar los tipos de cobertura y usos de la tierra en los procesos de Zonificación Ecológica y Económica para el Ordenamiento Territorial.

Se lograron clasificar 22 categorías de CUT, cuatro pertenecen al nivel I, siete pertenecen al

nivel II, siete al nivel III, dos al nivel IV y dos al nivel V.

Las categorías de Bosque denso alto y Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, poseen la mayor superficie. La primera categoría con 63459 ha, que corresponde al 59% y la segunda categoría con un total de 28311 ha equivalente al 26% del área total y la categoría que posee la menor área corresponde a las áreas de arroz con 261 ha que equivalen al 0.24%, es importante mencionar también que la categoría Áreas agrícolas heterogéneas contempla una superficie de 28726.5 ha correspondiente al 26.8%. (Tabla 2).

Tabla 2. Categorías por niveles de Cobertura y Uso de la Tierra adaptada al estudio del área de influencia de la propuesta de carretera Balsapuerto – Moyobamba, leyenda de Cobertura y Uso de la Tierra - Perú (MINAM, 2012).

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V	Superficie (ha)	Superficie (%)
1 Áreas artificializadas	11 Áreas urbanizadas	112 Tejido urbano discontinuo			304.33	0.28
2 Áreas agrícolas	22 Cultivos transitorios	212 Arroz			261.37	0.24
	23 Pastos				3553.57	3.32
	24 Áreas agrícolas heterogéneas	241 Mosaico de cultivos			415.35	0.39
		243 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales			28311.15	26.47
3 Bosques y áreas mayormente naturales	31 Bosques	311 Bosque denso	3111 Bosque denso alto		63459.37	59.34
			3112 Bosque denso bajo		3215.1	3.01
				31121 Bosque denso bajo de tierra firme	4594.32	4.30



NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V	Superficie (ha)	Superficie (%)
				31122 Bosque denso bajo inundable	282.72	0.26
	33 Áreas sin o con poca vegetación	333 Tierras desnudas y degradadas			1767.92	1.65
5 Superficies de agua	51 Aguas continentales	511 Ríos			784.06	0.73
TOTAL					106949.27	100.00

A continuación se describe los tipos de categorías de cobertura y uso de la tierra para el área de influencia de la propuesta de carretera Balsapuerto - Moyobamba. (Figura 4).

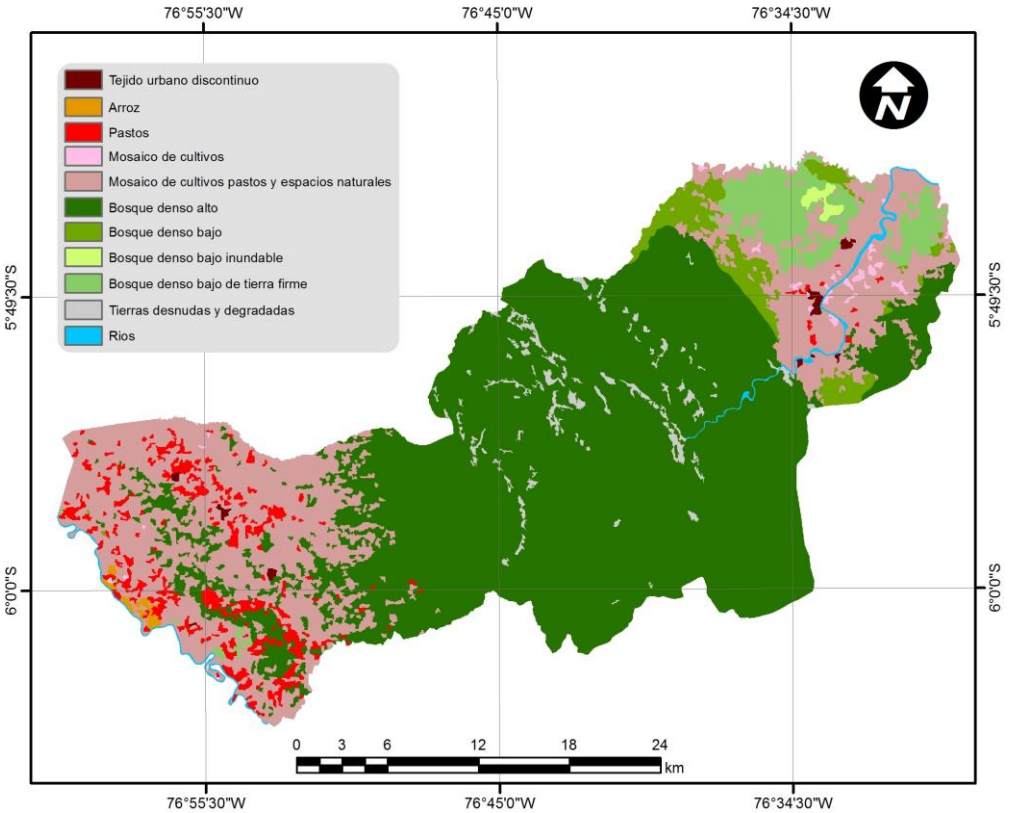


Figura 4. Mapa de Uso Actual de la Tierra en el área de influencia de la propuesta de carretera Balsapuerto - Moyobamba.

C. DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA TIERRA

1. Áreas artificializadas

1.1. Áreas urbanizadas

1.1.1. Tejido urbano discontinuo

Comprende una superficie de 304.33 ha, que representa el 0,28% del ámbito del estudio. La superficie de esta categoría en la zona de Loreto es de 188.52 ha (61.95%) y está conformado por la sumatoria de las áreas urbano rurales del centro poblado Balsapuerto, los caseríos Nuevo Junín, Canoa Puerto y Puerto libre.

En la zona de San Martín asciende a 115.81 ha (38.05%) ha y lo conforman los centros poblados Quilloallpa, Sugllaquiro, Cordillera Andina y Nuevo Progreso en la zona de Moyobamba, en el departamento de San Martín.

2. Áreas agrícolas

2.1. Cultivos transitorios

2.1.1. Cultivo de Arroz

Esta unidad presenta una extensión SIG de 261.37 ha, equivalente al 0.24% en la zona de Moyobamba, San Martín. Se presentan fraccionadas, distribuidas en el distrito Moyobamba, y cercanas a los centros poblados Flor de Mayo, Santa Catalina y Nuevo Piura, las que están conectadas por trochas carrozables y a lo largo de toda la cuenca del río Mayo.

Son unidades dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra. (Figura 5).



Figura 5. Cultivo de arroz en el sector Moyobamba, San Martín.



2.2. Pastos

Esta área corresponde a 3553.57 ha, lo que representa el 3.32 % del total del área de estudio. Comprende las áreas cubiertas con hierba densa de composición florística, dedicadas al pastoreo permanente.

Las especies producidas son braquiaria (*Brachiaria decumbens*) y pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). Esta es considerada la segunda actividad productiva del ámbito de estudio en cuanto a extensión de área cultivada.

La concentración de pastizales en la zona de Balsapuerto está en los caseríos Nueva Luz, San Jorge, Balsapuerto, Buenos Aires, Nuevo Jerusalén, Nuevo Cuzco y Santa Rosa, y tiene una extensión de 127.87 ha (3.60%).

En la zona de Moyobamba estas áreas se presentan fraccionadas, siendo las mayores en extensión las cercanas a los centros poblados Quilloallpa, Sugllaquiro, Cordillera Andina y Nuevo Progreso con una extensión de 3425.70 ha (96.40%). (Figura 6).



Figura 6. Pastos en el sector Balsapuerto, Loreto.

2.3. Áreas agrícolas heterogéneas

Esta unidad presenta una extensión SIG de 28726.50 ha, equivalente al 26.86 % del área de estudio. En la zona de Loreto la extensión es de 9779.39 ha (34.04%), mientras que en la zona de San Martín es de 18947.11 ha (65.96%). Se presentan fraccionadas, distribuidas en toda la extensión de los distritos de Balsapuerto y Moyobamba y cercanas a las ciudades, centros poblados, redes carrozables de ambos distritos y a lo largo de toda la cuenca de los ríos Cachiyacu, Paranaupura en Loreto y del río Mayo en San Martín.

Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra.

Entre las especies representativas más frecuente de este frente figuran una variedad de cultivos como yuca (*Manihot esculenta*), plátano (*Musa paradisiaca*), maíz (*Zea mays*), piña (*Ananas comosus*), papaya (*Carica papaya*), limón (*Citrus limón*), naranja (*Citrus sinensis*), coco (*Cocos nucifera*), arroz (*Oryza sativa*), café (*Coffea arabica*) y cacao (*Theobroma cacao*).

2.3.1. Mosaico de cultivos

Esta unidad presenta una extensión SIG de 415.35 ha, lo que representa el 0.39% del área total del estudio. La zona más extensa de halla en el distrito de Balsapuerto con una extensión de 367.30 ha (88.43%) estas áreas están centralizadas cercanas a los centros poblados Balsapuerto, Buenos Aires, San Jorge, Santa Rosa, Nuevo Jerusalén, San Lorenzo y Nuevo Cachiyacu.

En la zona de Moyobamba 48.05 ha (11.57%) cercanas a los centros poblados Santa Catalina, Bella Selva, Nuevo Sullana, Juningue. Incluye las tierras ocupadas con cultivos anuales transitorios como arroz (*Oryza sativa*), maíz (*Zea mays*), ají (*Capsicum annuum*), frejol (*Phaseolus vulgaris*), y cocona (*Solanum sessiliflorum*). Cultivos permanentes como café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*), naranja (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus limon*), caña (*Saccharum officinarum*), plátano (*Musa paradisiaca*), yuca (*Manihot esculenta*), piña (*Ananas comosus*), papaya (*Carica papaya*) y coco (*Cocos nucifera*) en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual. (Figura 7).



Figura 7. Cultivos de piña, papaya, plátano y café en los sectores Balsapuerto y Moyobamba.

2.3.2. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales

Esta unidad presenta una extensión SIG de 28311.15 ha, equivalente al 26.47% del área de estudio. En la zona de Loreto la extensión es de 9412.08 ha (33.25%), mientras que en la zona de San Martín es de 18899.07 ha (66.75%). Se presentan en una sola extensión distribuidas uniformemente en todo el distrito de Balsapuerto que recorre los centros poblados Canoa Puerto Puerto Libre, San Lorenzo, Buenos Aires, Balsapuerto, San Jorge, Santa Rosa, Nuevo Cachiyacu, Nuevo Junín, Bellavista, Santa Clara, San José, Nuevo Reforma, Monte Alegre y Nuevo Jerusalén cercanas a las trochas carrozables de ambos distritos y a lo largo de toda la cuenca de los ríos Cachiyacu, Paranapura en Loreto y del río Mayo en San Martín. Son unidades que comprenden las superficies del territorio ocupadas

principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales y dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra. Entre las especies representativas más frecuente de este frente figuran una variedad de cultivos como yuca (*Manihot esculenta*), plátano (*Musa paradisiaca*), maíz (*Zea mays*), piña (*Ananas comosus*), papaya (*Carica papaya*), naranja (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus limon*), coco (*Cocos nucifera*), arroz (*Oryza sativa*), café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*), braquiaria (*Brachiaria decumbens*), pasto elefante (*Pennisetum purpureum*).



Bosques y áreas mayormente naturales

2.4. Bosques

2.4.1. Bosque denso

2.4.1.1. Bosque denso alto

Esta Unidad muestra una extensión SIG de 63459.37 ha, equivalente al 59,34 % de la superficie estudiada. En el área de estudio ubicada en Loreto alcanzan una extensión aproximada de 50767.49 ha (80%) y en área correspondiente a San Martín llegan a aproximadamente 12691.88 ha (20%). Son bosques que se desarrollan en terrazas medias, altas, colinas altas y bajas y montañas altas y bajas. La fisonomía de esta vegetación se caracteriza por ser bosques altamente diversos de estructura alta dominada por árboles; lo conforman bosques con tres estratos que se traslapan irregularmente. Este frente se distribuye en dos sectores, uno al sur este de la capital del distrito Balsapuerto que se extiende al sur y hacia el suroeste hasta el límite departamental con la región San Martín y el otro sector que se extiende desde el límite departamental con Loreto hacia el oeste y disperso entre los centros poblados del sector Moyobamba. Predominan las siguientes familias botánicas: Myristicaceae, Theophrastaceae, Lauraceae, Olacaceae, Arecaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Melastomataceae, Rubiaceae, Moraceae, Nyctaginaceae, Anacardiaceae, Piperaceae, Urticaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Clusiaceae, Malvaceae, Sapindaceae,

Sapotaceae, Simaroubaceae, Meliaceae, Polypodiaceae, Araceae, Cyclanthaceae, Myrtaceae, Orchidaceae, Acanthaceae, Cecropiaceae, Hippocrateaceae, Poaceae, Burseraceae, Marantaceae, Chrysobalanaceae, entre otras.

En cuanto a las especies las más representativas de estos bosques son: *Clavija* sp., *Otoba glycyarpa*, *Heisteria* sp., *Iriartea deltoidea*, *Pourouma* sp., *Ocotea* sp., *Neea* sp., *Inga* sp., *Otoba parvifolia*, *Piper* sp., *Miconia* sp., *Minuartia guianensis*, *Pouteria* sp., *Virola* sp., *Simarouba* sp., *Iryanthera juruensis*, *Clusia* sp., *Brosimum parinarioides*, *Tapirira* sp., *Aparisthmium cordatum*, *Clarisia biflora*, *Sapium marmierii*, *Tapirira guianensis*, *Himatanthus sucuuba*, *Wettinia drudei*, *Trichilia laxipaniculata*, *Urera verrucosa*, *Allophylus* sp., *Mauria heterophylla* cf., *Palicourea* sp., *Stylogyne cauliflora*, *Alchornea glandulosa*, *Cecropia strigosa*, *Condaminea corymbosa*, *Cyclanthus bipartitus*, *Ladenbergia* sp., *Myrcianthes rhopaloides*, *Naucleopsis* sp., *Socratea exorrhiza*, *Cheiloclinium* sp., *Pariana* sp., *Graffenrieda* sp., *Psycotria* sp., *Hevea guianensis*, *Brosimum utile*, *Iryanthera laevis*, *Tachigali* sp., *Osteophloeum platyspermum*, *Micropholis guyanensis*, *Aspidosperma schultesii*, *Inga* sp., *Tachigali*, *Socratea exorrhiza*, *Micrandra spruceana*, *Tapirira guianensis*, *Theobroma subincanum*, *Matisia bracteolosa*, *Micropholis* sp., *Caryocar glabrum*, *Brosimum lactescens*, *Aspidosperma*, *Cespedesia spathulata*, *Hevea guianensis*. (Figura 8).



Figura 8. Bosque denso alto en el sector Moyobamba.



2.4.1.2. Bosque denso bajo

Esta Unidad muestra una extensión SIG de 3215.1 ha, equivalente al 3,01 % de la superficie estudiada. En el área de estudio ubicada en Loreto alcanzan una extensión aproximada de 3202.55 ha (99.61) y en área correspondiente a San Martín llegan a aproximadamente 12 ha (0.39%). Son bosques que se desarrollan en colinas altas y bajas. La fisonomía de esta vegetación se caracteriza por ser bosques altamente diversos de estructura baja a mediano que se desarrollan sobre las colinas. Se distribuye puntualmente en el sector sur-oeste del área de estudio, cercano al río Mayo y la capital del distrito Moyobamba; y en el sector al nor-este, cercano a la capital del distrito Balsapuerto y hacia la cordillera.

Predominan las siguientes familias botánicas: Myristicaceae, Arecaceae, Burseraceae, Dioscoreaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Melastomataceae, Sapotaceae, Urticaceae, entre otras.

En cuanto a las especies las más representativas de estos bosques son: *Protium* sp., *Pourouma* sp., *Eschweilera coriacea*, *Oenocarpus batahua*, *Calathea* sp., *Socratea exorrhiza*, *Lepidocaryum tenue*, *Eschweilera tessmannii*, *Otoba glycyarpa*, *Tetrastylidium peruvianum*, *Hevea guianensis*, *Iryanthera elliptica*, *Protium apiculatum*, *Dioscorea* sp., *Maieta* sp., *Iriartea deltoidea*, *Pouteria* sp., *Virola pavonis*, *Virola calophylla*, *Eschweilera albiflora*, *Rinorea* sp. X2, *Iryanthera juruensis*, *Marmaroxylon ramiflorum*, *Marmaroxylon basijugum*, *Eschweilera parvifolia*, *Virola decorticans*, entre otras.

2.4.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme

Esta Unidad muestra una extensión SIG de 4594.32 ha, equivalente al 4.3 % de la superficie estudiada. Son bosques que se desarrollan en terrazas altas y bajas, en áreas que no se inundan o en zonas de inundación temporal o permanente. En el área de estudio de la zona de Loreto, alcanzan una extensión aproximada de 4431.94 ha (99.46) y en área correspondiente a San Martín llegan a aproximadamente 162.38 ha (3.53%). Se ubica al norte de Balsapuerto capital y cerca de Nuevo Junín, Monte Alegre, Santa Mercedes, Zarumilla y al noreste de Balsapuerto entre las comunidades nuevo barranquita, San Vicente, Nueva Providencia y Bellavista. Y en sector de Moyobamba pequeñas áreas dispersas cercanas al centro poblado Juningue, Nuevo Progreso, Santa Catalina y Nuevo Milagro. La composición florística está representada por las familias: Fabaceae, Myristicaceae, Elaeocarpaceae, Lecythidaceae, Chrysobalanaceae, Apocynaceae, Sapotaceae, Cecropiaceae, Vochysiaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae, Arecaceae, Clusiaceae, Bombacaceae, entre otras.

La composición florística está representada principalmente por: *Miconia klugii*, *Cecropia ficifolia*, *Leonia cymosa*, *Eschweilera* sp., *Machaerium floribundum*, *Pariana* sp., *Cecropia* sp., *Erismia laurifolium*, *Inga laurina*, *Stylogyne longifolia*, *Amanoa nanayensis*, *Aspidosperma excelsum*, *Brownea ucayalina*, *Eschweilera albiflora*, *Iryanthera tessmannii*, *Oxandra mediocris*, *Tabernaemontana sananho*, *Aniba guianensis*, *Inga stenoptera*, entre otras. (Figura 9).



Figura 9. Bosque denso bajo de tierra firme en el sector Moyobamba.

2.4.1.2.2. Bosque denso bajo inundable

Esta Unidad muestra una extensión SIG de 282.72 ha, equivalente al 0.26% de la superficie estudiada que se encuentra ubicada en Loreto. La característica principal de este bosque es que en su composición se halla poca diversidad de especies de palmeras las que están dominadas por aguaje (*Mauritia Flexuosa*) que se desarrolla sobre suelos pantanosos. Se encuentra distribuida en el sector norte del área de estudio, cercano a la capital del distrito Balsapuerto.

La composición florística está representada principalmente por: *Mauritia flexuosa*, *Socratea exorrhiza*, *Nephrolepis rivularis*, *Calathea sp.*, *Virola pavonis*, *Garcinia madruno*, *Zygia latifolia*, *Connarus wurdackii*, *Euterpe precatoria*, *Tapirira guianensis*, *Ampelocera edentula*, *Virola sp.*, *Cecropia sp.*, *Conceveiba rhytidocarpa*, *Hymenolobium nitidum*, *Brosimum utile*, *Cecropia sciadophylla*, *Ceiba samauma*, *Cordia nodosa*, *Cyclanthus bipartitus*, *Iryanthera tessmannii*, *Otoba glycyarpa*, *Piper fortalezanum*, *Pleurothyrium brochidodromum*, *Psychotria sp.*, entre otras. (Figura 10).



Figura 10. Vegetación de Bosque denso bajo inundable en el sector Moyobamba.



3. Áreas sin o con poca vegetación

3.1. Tierras desnudas degradadas

Esta Unidad muestra una extensión SIG de 1767.92 ha, equivalente al 1.65% de la superficie estudiada. Se ubican en su totalidad en la zona de Loreto en zonas de montañas altas y bajas, de laderas empinadas a extremadamente empinadas, como resultado de la ocurrencia de procesos naturales de erosión y exposición a condiciones climáticas extremas.

4. Superficies de agua

4.1. Aguas continentales

4.1.1. Ríos

En el presente estudio esta categoría corresponde una superficie de 784.06 ha y representa 0.73 % de la superficie estudiada. Se distribuye de forma dispersa en las cuencas de los ríos Cachiyacu y Mayo.

D. CUANTIFICACIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

De forma general los principales cambios de CUT en el periodo 2015 al 2019 fueron de la categoría “Bosques y áreas mayormente naturales” a “Áreas agrícolas” en 13365.57 ha lo cual indica una pérdida de la primera categoría, así mismo, se puede observar que la categoría “Áreas agrícolas” cambió a “Bosques y áreas mayormente naturales” en 1247.14 ha lo cual indica una recuperación de la primera categoría. Otros cambios menores en superficie se pueden observar de la categoría “Bosques y áreas mayormente naturales” a “Áreas artificializadas” y “Superficies de agua” en 13.22 ha y 77.45 ha respectivamente, lo cual indica que en el periodo de análisis hubo una pérdida de bosque a raíz de la ampliación de áreas urbanizadas y cambio en el curso de los ríos por erosión lateral; otro cambio es el de “Superficies de agua” a “Áreas agrícolas” y “Bosques y áreas mayormente naturales” en 142.86 ha y 20.82 ha respectivamente.

Así también, relacionando todas las categorías de clase del 2015 al 2019 se pudo cuantificar y representar de forma específica el cambio de la CUT, observándose el cambio de “Bosque” a “Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales” en 12404.38 ha, de “Bosque” a “Pasto” en 940.86 ha, de “Área agrícolas” a “Tejido urbano discontinuo” en 175.68 ha y de “Bosque” a “Ríos” en 77.45 ha. (Figura 11).

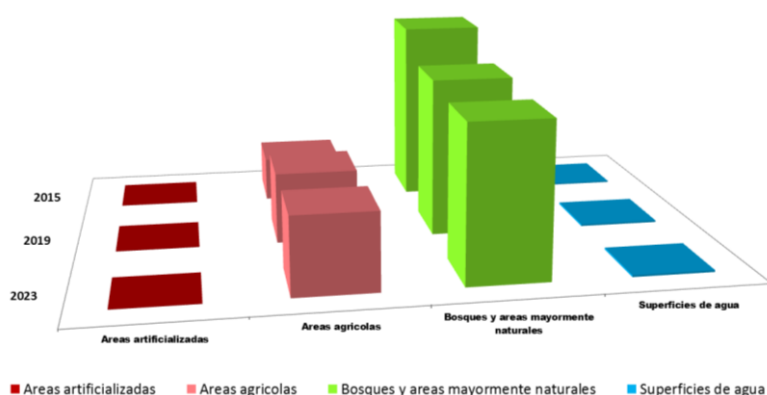


Figura 11. Variación de las superficies de Cobertura y Uso de la Tierra (CUT) por año, datos de CUT 2015 al 2019 y 2023 datos simulados.

E. ESCENARIO DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

El modelo de generación de escenario al 2023 requirió dos capas de información en formato raster de CUT de los años 2015 y 2019 las cuales fueron generalizadas a cuatro clases o categorías de CUT 1) Áreas artificializadas, 2) Áreas agrícolas, 3) Bosques y áreas mayormente naturales y 4) Superficies de agua.

Así también, se obtuvieron siete variables espaciales explicativas obtenidas a partir del estudio fisiográfico y del Modelo Digital de Elevaciones, todas estas en formato raster, 1) Distancia a los centros poblados (DCP), 2) Distancia a la red vial (DRV), 3) Distancia a los cuerpos de agua polígonos (DCAP), 4) Distancia a los cuerpos de agua líneas (DCAL), 5) Altitud relativa (A), 6) Pendiente (P) y 7) Elemento del paisaje fisiográfico (F).

Con la finalidad de modelar y explicar la influencia de las variables anteriormente generadas en algún tipo de cambio, se aplicó un análisis de correlación del cual se puede observar que la distancia a los centros poblados se correlaciona en un 85% a la distancia a la red vial, lo cual indica una relación directa entre estas variables, lo que comprueba la cercanía que existe entre los centros poblados y su red vial; otra relación directa importante es aquella entre la pendiente y la altitud relativa, comprobando que al aumentar la altitud en una determinada distancia aumenta también la pendiente; Así también, se puede observar que

la distancia a los cuerpos de agua se relaciona directamente con la altitud relativa con un 63%, lo cual indica que las zonas de mayor altitud en el área de estudio están alejadas de las riveras. Además cabe mencionar que la variable F no se correlaciona con las demás variables.

Las superficies modeladas de CUT para el 2023 se distribuyen de la siguiente manera: 271.31 ha correspondiente a la categoría "Áreas artificializadas", 35158.47 ha para "Áreas agrícolas", 70685.14 ha para la categoría "Bosques y áreas mayormente naturales" y finalmente 834.73 ha para la categoría "Superficies de agua".

Teniendo en cuenta los resultados de transición potencial basado en las probabilidades del cambio y los motores que influyen en el mismo (variables explicativas), los resultados del escenario indican que, si la tendencia actual continúa, para el año 2023 según este escenario se predice un cambio en donde la superficie de la categoría "Bosques y áreas mayormente naturales" sufriría una pérdida de 2635 ha aproximadamente las cuales principalmente pasarían a Áreas agrícolas. Lo cual se puede explicar principalmente por la influencia de las variables espaciales de tipo socioeconómicas y centros poblados, así como, aspectos de relieve o fisiográficos propicios para ciertos cultivos principalmente pastos, plátano y papaya en el sector Balsapuerto y café y cacao en el sector Moyobamba. (Figura 12).

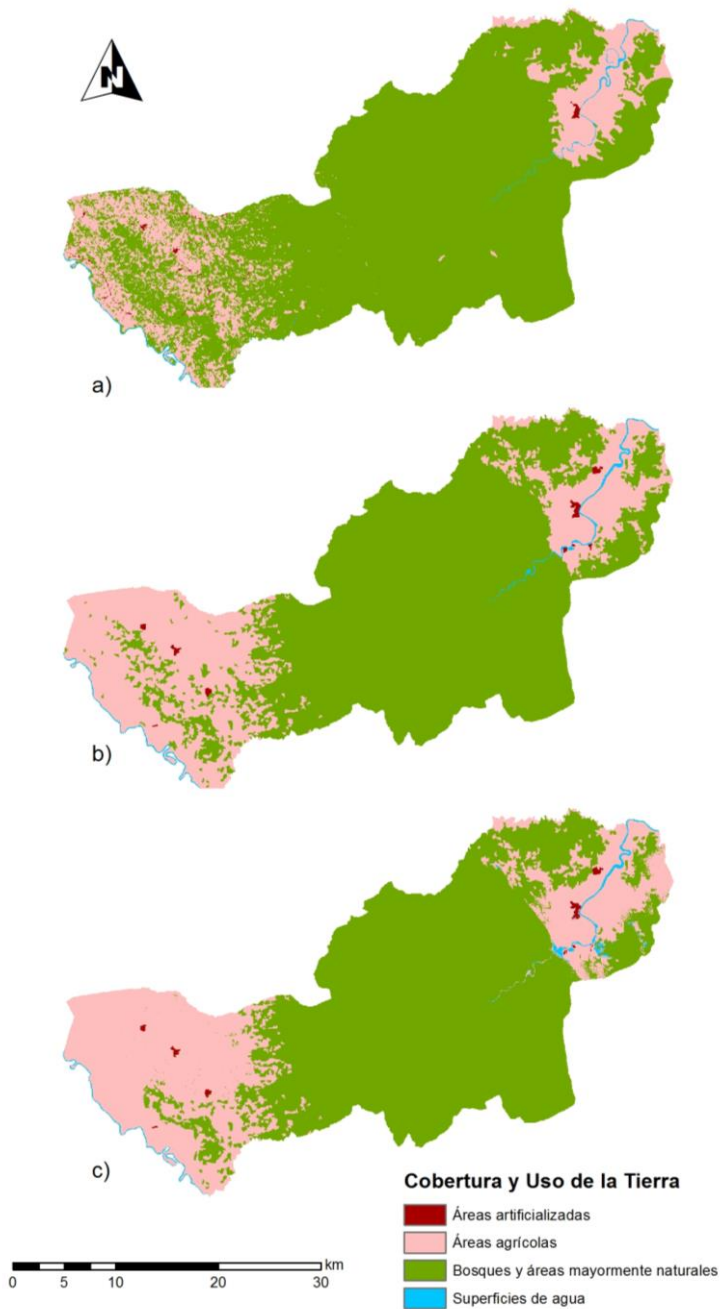


Figura 12. Comparación de mapas de cobertura y uso de la tierra años 2015, 2019 y proyectado al año 2023.



V. BIBLIOGRAFIA

- Ariza, A. (2013) Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission) versión 1.0. Cogota, Colombia.
- Arnillas, C.A; Barrena, V; Llactayo, W; Ortiz, H; Regal, F; Rubín de Celis, E; Vásquez, P; Drenkhan, F; Llerena, C.E; Espino, P; García, V; Gonzáles-Zúñiga, S; Gushiken, E; López, D. y Vásquez, R. 2012. Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina. Componente Nacional Perú – Primera Etapa. Centro de Datos para la Conservación (CDC-UNALM). Laboratorio de Teledetección (LTAUNALM). Dirección General de Ordenamiento Territorial - Ministerio del Ambiente (DGOT - MINAM). Fundación para el Desarrollo Agrario (FDA). Lima - Perú. pp. 56.
- Briceño Valera, Francisco Las cadenas de Markov en el análisis de cambios y asignación de usos de la tierra Revista Geográfica Venezolana, vol. 46, núm. 1, enero-junio, 2005, pp. 35-45 Universidad de los Andes Mérida, Venezuela.
- Dirección General de Ordenamiento Territorial (2013) Guía Técnica para el Uso de las Imágenes RapidEye. Lima, Perú.
- Labrador García, M.; Evora Brondo J. A.; Arbelo Perez, M. (2012) Satelites de Teledetcción para la Gestion del Territorio. Canarias, España.
- Paegelow, M, M. T. Camacho Olmedo y J. Menor T. 2003. Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. GeoFocus. Vol. (3): 22-44.
- Lucchese L and Mitra S (133-136), "A New Method for Color Image Equalization", In Proc. of 2001 Int'l Conference on Image Processing (ICIP 2001), Thessaloniki, Greece, Sept. 2001, Vol. I.
- MacEachren A (1994), "Visualizacion in modern cartography", pp. 1-12. Pergamon Press, Inc.
- Maguire D and Batty Goodchild M (2005), "GIS, spatial analysis and modeling" ESRI Press.
- Mancebo Quintana, S.; Ortega Pérez, E.; Valentín Criado, A. C.; Martín Ramos, B.; Martín Fernández, L. (2008) Libro SIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental. Madrid, España, los autores.
- Pontius Jr., R. G.; Shusas, E.; McEachern, M., Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. Agriculture, Ecosystems and Environment 101 (2004) 251–268.
- Ramírez-Sánchez H.U., García-Guadalupe M.E. y Villalpando-Piña G. EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO DE LA CUENCA RÍO CALIENTE, JALISCO, MÉXICO. 2013, pp. 43 - 55.



Valdivia Márquez, L. N. (2018). Clasificación de la cobertura y uso del territorio para el año 2014 de la provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali.

Velázquez, A.; Mas, J. F.; Díaz Gallegos, J. R.; Mayorga Saucedo, R.; Alcántara, P. C.; Castro, R.; Fernández, T.; Bocco, G.; Ezcurra, E.; Palacio, J. L. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México Gaceta Ecológica, núm. 62, 2002, pp. 21-37.