

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CAMBIO
CLIMÁTICO, DESARROLLO TERRITORIAL Y AMBIENTE

PROTERRA



EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PROPUESTA DE CARRETERA BELLAVISTA, MAZAN, SALVADOR, EL ESTRECHO

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

**PROGRAMA PRESUPUESTAL 0068: REDUCCIÓN DE LA
VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR
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 DE LA DINÁMICA DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PROPUESTA DE CARRETERA BELLAVISTA, MAZAN, SALVADOR, EL ESTRECHO

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

Diagramación : Angel G. Pinedo Flor

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nº 2019-00000

Primera edición

Iquitos, Perú. Diciembre del 2018

© 2018 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

Cita sugerida:

Palacios, J., Jarama, R., Zárete, R., Fachín, M., Torres, G., Marín, M., Lam, J, 2018. Informe de investigación. Evaluación de la dinámica del cambio de la cobertura y uso de la tierra en el área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazán, Salvador, El Estrecho.

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



CONTENIDO

Lista de Figuras	6
Lista de Tablas	6
I. INTRODUCCION	7
II. OBJETIVOS	8
III. MARCO TEORICO	8
IV. MATERIALES Y METODOS.....	10
4.1. MATERIALES.....	10
4.1.1. Materiales tipo vectorial.....	10
4.1.2. Materiales tipo raster o satelital.....	10
4.1.3. Materiales de gestión para el acopio de datos	12
4.1.4. Materiales interactivos de búsqueda y descarga de datos en Red.....	12
4.2. METODOLOGÍA.....	14
4.2.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	14
4.2.2. ACONDICIONAMIENTO CARTOGRÁFICO	15
4.2.3. CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA TIERRA	17
4.2.4. CUANTIFICACIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA	19
4.2.5. ESCENARIO DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA.....	19
V. RESULTADOS	21
5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA TIERRA.....	21
a) Identificación de las categorías de cobertura y uso de la tierra.....	21
c) Descripción de las categorías de cobertura y uso actual de la tierra	25
5.2. CUANTIFICACIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA	31
5.3. ESCENARIO DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA	33
VI. BIBLIOGRAFIA.....	38



Lista de Figuras

Figura 1.	Interface de usuario del servicio web Alaska Facility, para la descarga de imágenes DEM Alos Palsar.....	11
Figura 2.	Interface de usuario del servicio web Copernicus ESA, para la descarga de imágenes Sentinel 2.....	12
Figura 3.	Mapa de Ubicación del área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho.....	15
Figura 4.	Mapa de Uso Actual de la Tierra en el área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho, sector correspondiente a Mazan, Bellavista Salvador.....	23
Figura 5.	Mapa de Uso Actual de la Tierra en el área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho, sector correspondiente a El Estrecho.....	24
Figura 6.	Pastos ubicados en el centro poblado Urco Miraño.....	25
Figura 7.	Plantación de plátano, yuca y hortalizas en el centro poblado Urco Miraño.....	26
Figura 8.	Bosque denso alto, sector El Estrecho.....	27
Figura 9.	Vegetación en transición río Putumayo, sector El Estrecho.....	28
Figura 10.	Categoría áreas pantanosas aguajal y varillal.....	29
Figura 11.	Categoría ríos, sector El Estrecho, río Putumayo.....	30
Figura 12.	Categoría lagunas, lagos y ciénagas naturales, sector Bellavista, Mazan, Salvador.....	31
Figura 11.	Variación de las superficies de Cobertura y Uso de la Tierra (CUT) entre la CUT del 2004 y 2017.....	32
Figura 12.	Variación de las superficies de Cobertura y Uso de la Tierra (CUT) años 2004, 2017 y 2030 (simulado).....	33
Figura 13.	Principales cambios de CUT de Bosque a Áreas agrícolas año 2030 (simulado), sector Bellavista, Mazan, Salvador.....	35
Figura 14.	Principales cambios de CUT de Bosque a Áreas agrícolas año 2030 (simulado), sector El Estrecho.....	36
Figura 13.	Comparación de mapas de cobertura y uso de la tierra años 2004, 2017 y proyectado al año 2030.....	37

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 Bellavista, Mazán, Salvador y El Estrecho.....	21
Tabla 2.	Categorías por niveles de Cobertura y Uso de la Tierra adaptada al estudio del área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazán, Salvador y El Estrecho - Perú, leyenda de Cobertura y Uso de la Tierra - Perú (MINAM, 2012).....	22



I. INTRODUCCIÓN

En los últimos 50 años la preocupación sobre el cambio de cobertura y uso de la tierra (CUT) a nivel global, regional y local ha contribuido a generar mucha investigación sobre el tema, llegando a concluir que los procesos territoriales impactan directa o indirectamente sobre el clima, sistemas biológicos y el ser humano, determinando cierto grado de vulnerabilidad sobre los lugares y las personas debido a las perturbaciones climáticas, económicas o sociopolíticas.

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

En este sentido evaluar la dinámica de cobertura y uso de la tierra se hace una necesidad, tanto para cuantificar el cambio producido a través del tiempo, así como, para comprender y predecir el impacto de estos procesos del territorio en el clima. En este contexto se propone realizar reconstrucciones

históricas de estos procesos y proyectar al futuro los cambios en la cobertura y uso de la tierra (CCUT).

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 carretera Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho, para lo cual se recopiló información histórica de CUT en el área de estudio del año 2004, se generó información de CUT al año 2017 utilizando imágenes de satélite de media y alta resolución espacial, seguidamente se cuantificó e identificó 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 2030 de CCUT.

La importancia del presente trabajo radica en obtener un documento que sirva de gestión para el ordenamiento del área estudio, es por eso que el objetivo de este estudio es analizar 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 Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho, con la finalidad de simular un escenario al año 2030 de CCUT que explique e identifique los principales cambios que se pudieran dar sobre el área de estudio.



II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Análisis de la dinámica del cambio de cobertura y uso de la tierra en el periodo 2004-2017, en el área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilación de datos e información de cobertura y uso de la tierra
- Caracterización de la cobertura y uso actual de la tierra.
- Análisis del cambio de la cobertura y uso de la tierra en el periodo 2004-2017.
- Simulación del cambio de cobertura y uso de la tierra al año 2030.

III. MARCO TEÓRICO

COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

El uso de la tierra denota el empleo humano de la tierra y es estudiado en gran parte por científicos sociales. La cubierta terrestre se refiere al carácter físico y biótico de la superficie de la tierra y es estudiada en gran parte por las ciencias naturales (Meyer & Turner 1992).

vastas como bosques/bosques, pastos permanentes, cultivos y "otras tierras", por ejemplo, el raleo, el reemplazo de bosques viejos con plantaciones de árboles, la intensificación del cultivo y el sobrepastoreo severo no se registrarán como conversión, ni como cambio de cobertura terrestre si los totales de conversión solos se usan para medir el cambio (Meyer & Turner 1992).

CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

Los cambios en la cobertura del suelo adoptan dos formas: 1) conversión de una categoría de cobertura de la tierra a otra y 2) modificación de la condición dentro de una categoría. La conversión está mejor documentada y es más fácil controlarla, darle un énfasis en su estudio opaca importantes formas de modificación de la cobertura terrestre. La medición del cambio entonces dependerá de las categorías de cobertura utilizadas; cuanto más amplias y menos categorías, menores serán las instancias de conversión de una a otra. Si las clases son

LA TELEDETECCIÓN Y LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

La clasificación de la cobertura terrestre utilizando datos obtenidos por teledetección se puede realizar mediante interpretación visual o análisis digital con sus ventajas y desventajas. La interpretación visual de imágenes permite que el ser humano analice a través características generales de la escena tal como aspectos contextuales en la imagen. La clasificación digital, por otro lado, permite realizar operaciones de análisis con los datos, como la fusión datos espectrales, lo que puede ayudar a mejorar el modelamiento de los datos



biofísicos del terreno usando los datos detectados remotamente. Además, el análisis digital permite el cálculo inmediato de las áreas asociadas con las diferentes categorías de terreno (IGES 2003).

LEYENDA CORINE LAND COVER

CORINE Land Cover (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). A nivel nacional, cada país tiene plena libertad para modificar la leyenda, ampliarla o detallarla, siempre que los compromisos de reporte se puedan cumplir (Amillas *et al.*, 2012).

MODELOS DE PREDICCIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

Autómatas celulares

En los SIG y particularmente cuando se utiliza modelos de datos de tipo raster, la base del modelamiento con Autómatas Celulares constituye la capa temática formada por las $m \times$

n celdas del área de estudio, en donde cada pixel puede asumir un determinado estado (vacío u ocupado) dentro del conjunto de posibilidades (unidades de cobertura y uso de la tierra) y un proceso iterativo que determina los resultados temporales de acuerdo a las reglas de transición entendiéndose éstas como las reglas que pueden explicar o justificar ciertos cambios en el tiempo (Buzai 2007).

Redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales RNA fueron concebidas para generar una forma de inteligencia artificial que trata de replicar el funcionamiento del cerebro de un mamífero, con respecto a su comportamiento para administrar el sistema de conexiones neuronales que determinan la ejecución o la inhibición de un proceso. Dada la capacidad de los modelos de RNA para localizar los patrones de localización de usos de suelo, esto es, la aptitud de un determinado enclave espacial para alojar una determinada categoría de uso de suelo dentro de un sistema de categorización previa, también están sirviendo de apoyo a otros modelos de simulación de cambio de usos de suelo, como los basados en autómatas celulares y los modelos basados en agentes (Díaz & Hewitt 2014).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIALES

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

4.1.1. Materiales tipo vectorial

Los materiales de tipo vectorial se refieren específicamente a las capas de información en formato shapefile, los cuales 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.
- Proyecto de Zonificación Económica Ecológica (ZEE), desarrollado por el Instituto Nacional de Desarrollo mediante el Proyecto Especial Binacional de Desarrollo Integral de la Cuenca Putumayo (INADE-PEDICP) 2008.
- Estudio de Impacto Ambiental (EIA) a Nivel de Factibilidad para la Construcción de la Carretera

Bellavista, Mazán, Salvador, El Estrecho, desarrollado por Proyecto Especial Binacional de Desarrollo Integral de la Cuenca Putumayo (PEDICP) 2014.

- Capas de información de la Estructura de Datos Espaciales, obtenidos del Gobierno Regional de Loreto.
- 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.

4.1.2. 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. Imágenes de satélite SPOT 6

Son imágenes de alta resolución espacial, proporcionadas por la Agencia Espacial del Perú CONIDA a través del Centro Nacional de Operaciones de Imágenes Satelitales (CNOIS). A partir de la puesta en órbita del satélite peruano PerúSAT-1, por parte de los proveedores franceses mediante el mecanismo



de offset, se ha obtenido acceso a seis satélites de la constelación de Airbus, tales como el Pléiades 1A y 1B (de resolución submétrica), SPOT 6 y 7 (resolución métrica) y TerraSAR-X y TanDEM-X (imágenes de radar).

b. 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).

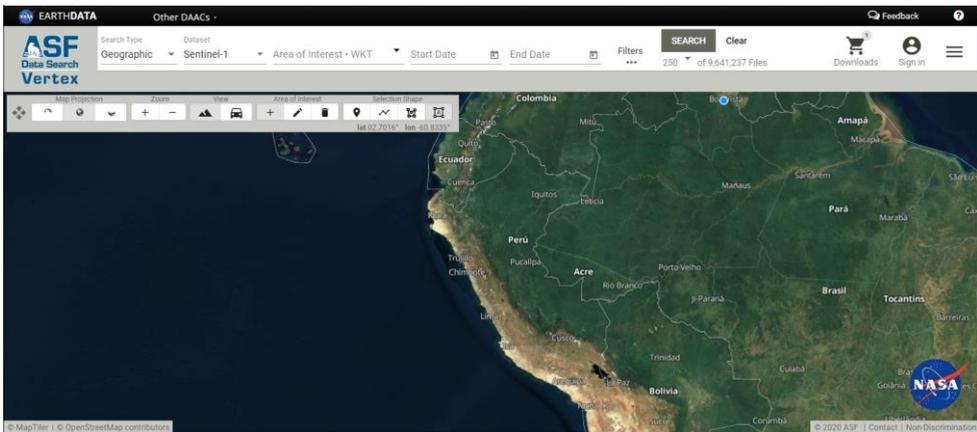


Figura 1. Interface de usuario del servicio web Alaska Facility, para la descarga de imágenes DEM Alos Palsar.

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.

c. 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.

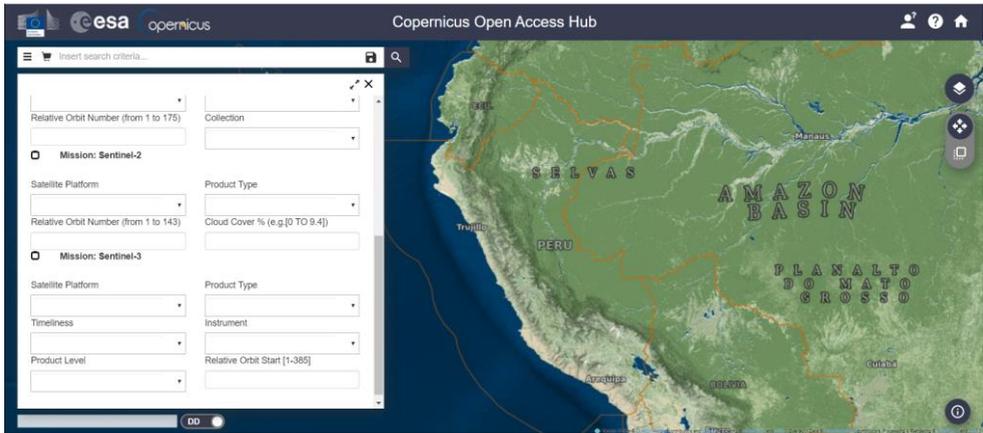


Figura 2. Interface de usuario del servicio web Copernicus ESA, para la descarga de imágenes Sentinel 2.

d. 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.

4.1.3. 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 el PROTERRA del 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 datos e información secundaria.

4.1.4. 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.

4.1.5. 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

4.1.6. 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 sistemas de información geográfica ArcGIS 9.3.1 licencia ArcInfo.
- Para el ingreso de datos y análisis espacial se utilizó el programa en sistemas de información geográfica 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. Así mismo, 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 raster, 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 forestal 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.



4.2. METODOLOGÍA

4.2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Loreto, en la provincia Maynas, distritos Punchana, Mazan; Mariscal Cáceres, en el distrito Putumayo. Comprende las cuencas de los ríos Mazan, Napo, Algodón, Sacha Algodón, Putumayo y Amazonas; representando una extensión aproximada de 429,632 ha (Figura 1).

El área de estudio limita por el norte con la República de Colombia en el tramo del río Putumayo comprendido entre las comunidades Puerto Aurora hasta Nuevo Porvenir; por el este desde la Comunidad Nuevo Porvenir en el río Putumayo en línea recta hasta la Comunidad San Juan de Florida en el río Amazonas; por el sur con el río Amazonas y por el oeste con un tramo del río Momón siguiendo un límite fisiográfico natural hasta la Comunidad Tutapishco en el río Napo.

Las unidades fisiográficas más extendidas en toda el área de estudio corresponden a los

sistemas de terrazas altas ligeras y moderadamente disectadas.

Los humedales o áreas hidromórficas se desarrollan sobre las terrazas bajas y medias de drenaje pobre, muy pobre, y en los sistemas de terrazas altas con zonas de mal drenaje.

Los usos para agricultura de subsistencia se desarrollan principalmente en zonas de terrazas bajas por tener una fertilidad natural media. Las zonas de terrazas altas y medias se utilizan para cultivos permanentes y pastos.

Los asentamientos poblacionales humanos se ubican generalmente en las terrazas altas ligera y moderadamente disectadas. En ciertos sectores, se ha observado asentamientos humanos en relieves de llanura de inundación, que originan riesgos latentes en las poblaciones que ocupan el espacio.

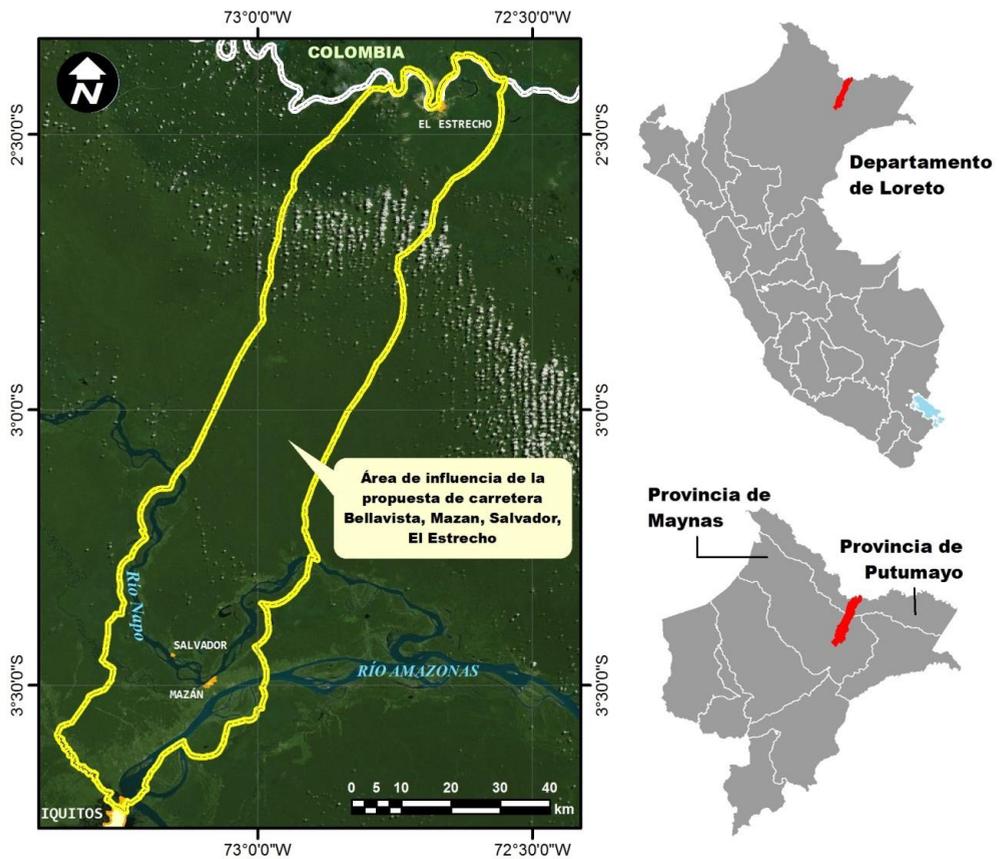


Figura 3. Mapa de Ubicación del área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho.

4.2.2. 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 recopilaban las capas de información geoespaciales, específicamente aquellas que conforman la Base Fundamental y ya mencionadas anteriormente. La fuente principal de este tipo de información fue el Gobierno Regional de Loreto, mediante la Sub Gerencia de Acondicionamiento Territorial y



Desarrollo Fronterizo del Gobierno Regional de Loreto (SGATDF).

Así también, se recolectó capas de información temática de diversos estudios realizados sobre el área de interés, tales como Zonificación Ecológica Económica y Estudios de Impacto Ambiental.

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; la fuente principal de este tipo de datos fueron los servicios en Web de imágenes de satélite ópticas y DEM.

b. Gestión de datos geospaciales

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 geospaciales 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 (Decreto Supremo N° 133-2013-PCM) 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 shapefile (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 detectaremos las inconsistencias a nivel de atributos.

Teniendo en cuenta la estética en el diseño, en el programa se puede 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.

4.2.3. 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, luego se seleccionó la imagen a ser realizada para ejecutar el remuestreo de los valores de intensidad, igualando la presencia de estos en la imagen.



Seguidamente en la imagen se 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.

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 Verosimilitud o 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). Seguidamente se procedió a



enumerar las muestras. Luego se registró en el formato ya establecido. Luego se prensó las muestras utilizando papel periódico, los cuales cubren las muestras por ambos lados. 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.

4.2.4. 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 2004 y 2017, 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 30 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 generó una tabla de doble entrada en la cual en la primera columna se encontraron los

datos de las categorías del año 2004 y en las siguientes columnas se distribuye los valores de áreas en m² de las categorías de la capa raster correspondiente a 2017. Con esta tabla se realizó el análisis del cambio y determinó las ganancias y pérdidas por categorías de cobertura y uso de la tierra (Ramírez *et al.*, 2013).

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 2004 y 2017 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.

4.2.5. 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 2030, debido a que se tuvo como dato de inicio la información de CCUT del año 2004 y año final el 2017, esto hizo un periodo de 13 años, y considerando que la herramienta procesa e itera el modelo a futuro en un periodo igual que el inicial. 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 2004 y 2017 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 ingresan los mapas inicial (t1) y final (t2) de CUT al modelo, así como las variables espaciales, se verifica la geometría y coincidencia de todas las capas de información de entrada. Seguidamente se verifica la correlación existente entre las variables espaciales en donde se describirá 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 obtendrá las estadísticas del cambio, posteriormente se generará una Matriz de Transición o de relaciones de cambio, la cual se calcula mediante una multiplicación de matrices y expresa las relaciones de cambio existentes entre las diferentes coberturas y usos de la tierra. Así mismo, en esta etapa se generará un mapa de cambio de la cobertura y uso de la tierra en el periodo de estudio (Vásquez *et al.*, 2002).

c. Modelamiento de la transición potencial

Para 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.



V. RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA 2017

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 Bellavista, Mazán, Salvador y El Estrecho.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III
1 Áreas artificializadas	11 Áreas urbanizadas	112 Tejido urbano discontinuo
2 Áreas agrícolas	23 Pastos	
	24 Áreas agrícolas heterogéneas	
3 Bosques y áreas mayormente naturales	31 Bosques	313 Bosque denso alto
	33 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	333 Vegetación secundaria o en transición
	34 Áreas sin o con poca vegetación	341 Áreas arenosas naturales
4 Áreas húmedas y pantanosas	41 Áreas húmedas continentales	411 Áreas pantanosas
5 Superficies de agua	51 Aguas continentales	511 Ríos
		512 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes

b) Caracterización del uso de la tierra 2017

Las clases de cobertura y uso del territorio que fueron tomadas en cuenta en la clasificación, se basan en la leyenda CORINE Land Cover, propuestas 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.

Las clases resultantes se enmarcan en cinco categorías correspondiente al Nivel I, ocho categorías del Nivel II y siete en el Nivel III. Lo cual se representó en el mapa de CUT 2017, como nueve categorías de CUT, dos pertenecen al nivel II y siete al nivel III (Tabla 1).



La categoría de Bosque denso, posee la mayor superficie con 336,154.87 ha lo que representa el 78.21% del área total, seguida de la categoría Vegetación secundaria o en transición cuya extensión es de 35,920.89 ha (8.36%). Mientras que la categoría que posee la menor área corresponde a Áreas arenosas naturales con 138.95 ha, lo que representa el 0.03% del área total.

Tabla 2. Categorías por niveles de Cobertura y Uso de la Tierra adaptada al estudio del área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazán, Salvador y El Estrecho - Perú, leyenda de Cobertura y Uso de la Tierra - Perú (MINAM, 2012).

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE (ha)	PORCENTAJE (%)
1 Áreas artificializadas	11 Áreas urbanizadas	112 Tejido urbano discontinuo	819.64	0.19
2 Áreas agrícolas	23 Pastos		785.38	0.18
	24 Áreas agrícolas heterogéneas		6,812.01	1.58
3 Bosques y áreas mayormente naturales	31 Bosques	313 Bosque denso alto	336,154.87	78.21
	33 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	333 Vegetación secundaria o en transición	35,920.89	8.36
	34 Áreas sin o con poca vegetación	341 Áreas arenosas naturales	138.95	0.03
4 Áreas húmedas	41 Áreas húmedas continentales	411 Áreas pantanosas	25,290.13	5.88
5 Superficies de agua	51 Aguas continentales	511 Ríos	22,614.88	5.26
		512 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	1,257.32	0.29
TOTAL SUPERFICIE SIG			429,794.08	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 Bellavista, Mazán, Salvador y El Estrecho. (Figuras 4 y 5).

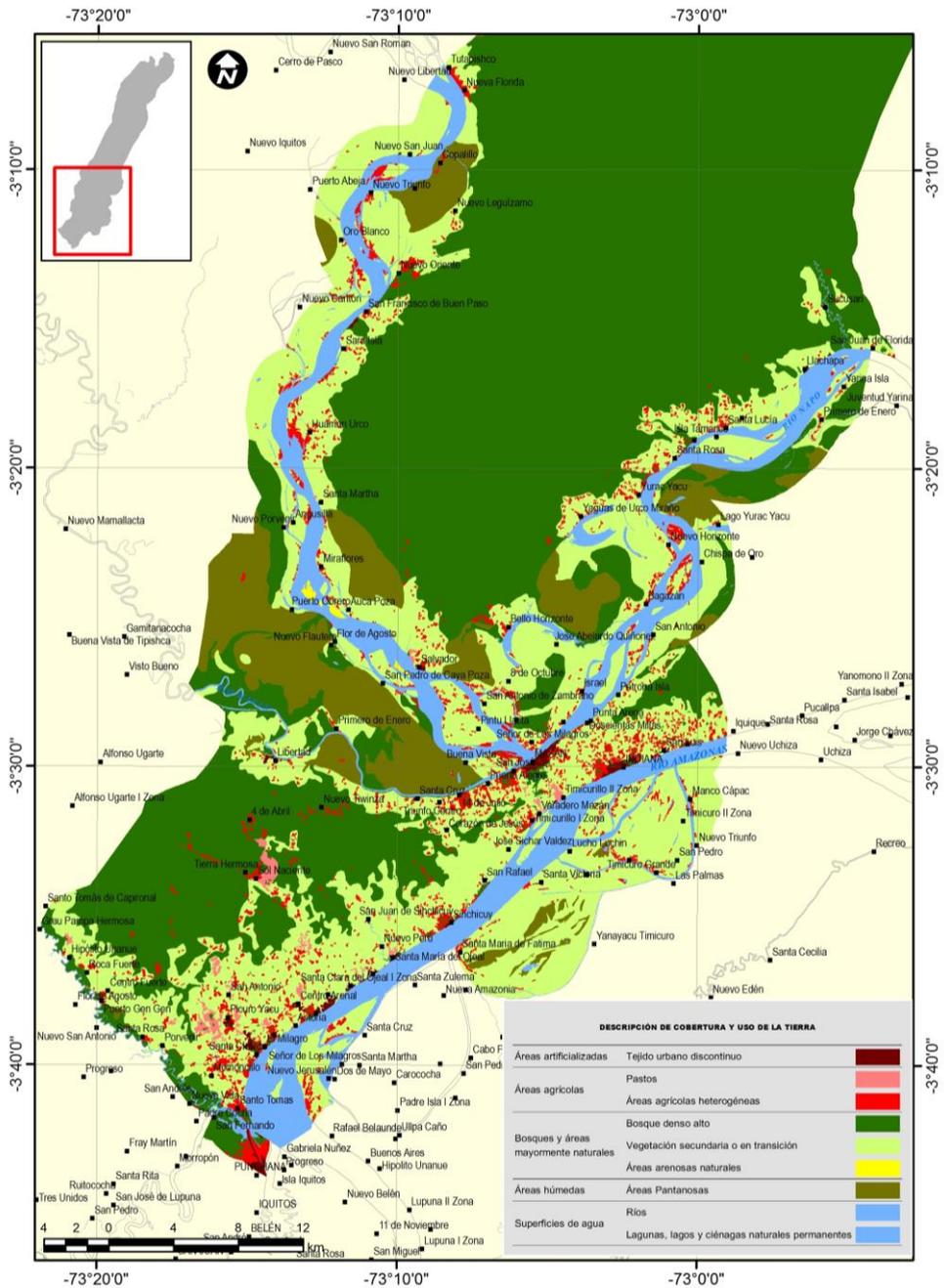


Figura 4. Mapa de Uso Actual de la Tierra en el área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho, sector correspondiente a Mazan, Bellavista Salvador.

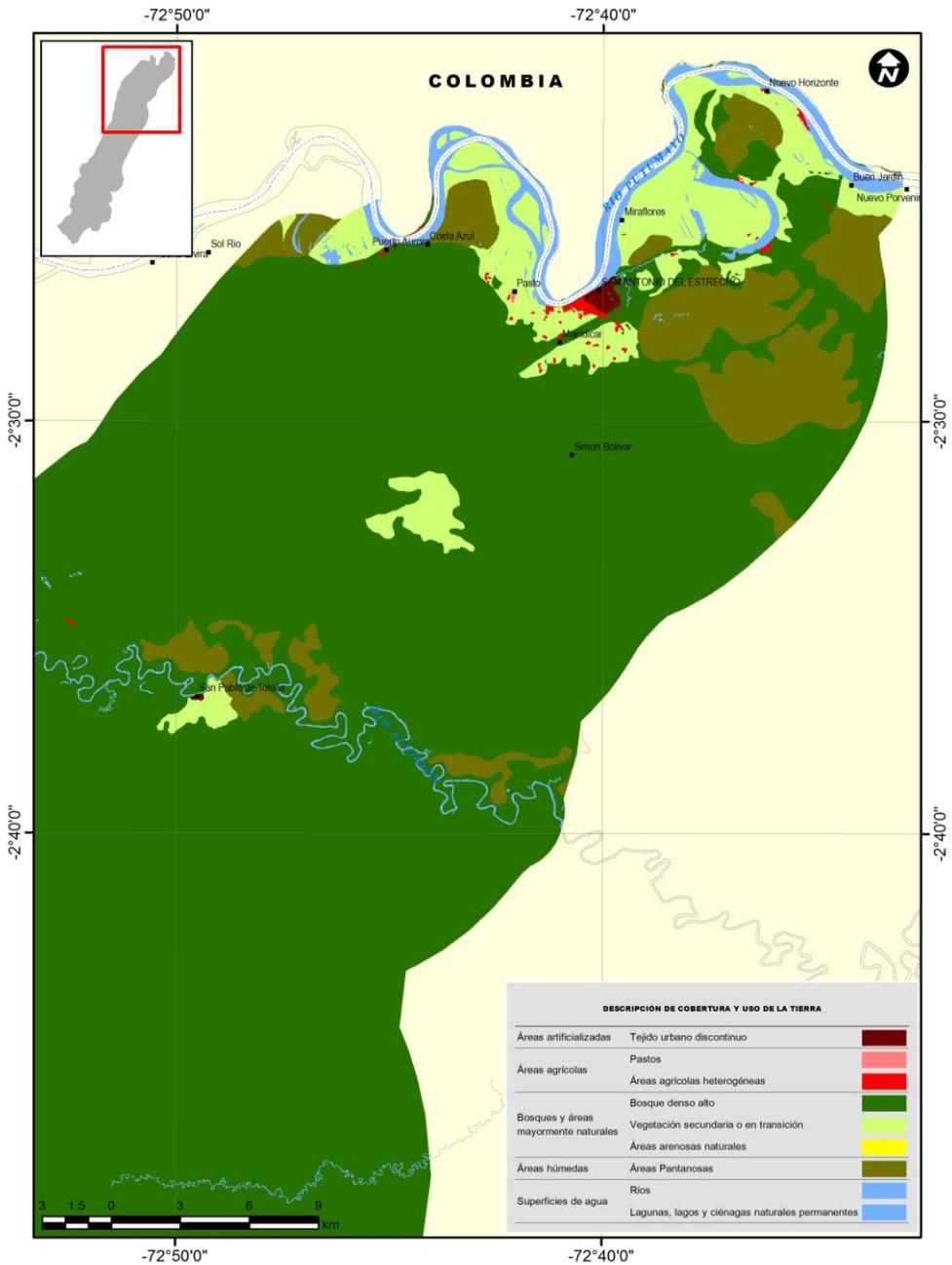


Figura 5. Mapa de Uso Actual de la Tierra en el área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho, sector correspondiente a El Estrecho.



c) Descripción de las categorías de cobertura y uso actual de la tierra

1. Áreas artificializadas

1.1. Áreas urbanizadas

1.1.2. Tejido urbano discontinuo

Comprende una superficie de 819.64 ha, que representa el 0.19% del ámbito del estudio. Está conformado por la sumatoria de las áreas rurales de los caseríos y centros poblados concentrados mayormente en los distritos de Punchana, Mazán, Indiana y Putumayo.

2. Áreas agrícolas

2.1. Pastos

Esta área corresponde a 785.38 ha, lo que representa el 0.18 % del total del área de estudio. Comprende las áreas cubiertas con hierba densa de composición florística dedicadas al pastoreo permanente por un período de dos o más años. La especie producida es *Brachiaria decumbens* (braquearia) y se le considera la segunda actividad productiva del ámbito de estudio en cuanto a extensión de área cultivada. La concentración de pastizales se encuentra en la zona sur del área de estudio, en los Distritos Punchana, Mazan e Indiana, cerca de los centros poblados Picuroyacu, Centro Arenal, Santa Clara del Ojeal, Santa María del Ojeal, Sol Nacieinte, Timicurillo, Mazan, El Salvador, entre otros. (Figura 6).



Figura 6. Pastos ubicados en el centro poblado Urco Miraño.

2.2. Áreas agrícolas heterogéneas

Esta unidad presenta una extensión SIG de 6 812.01 ha, equivalente al 1.58 % del área total. Se presentan fraccionadas, distribuidas en la parte sur en los distritos Punchana, Belén, Indiana y Mazan cercanas a los centros poblados mayores como Bellavista, Santo Tomas, Santa María del Ojeal, Santa Clara del Ojeal, Barrio Florido, Señor de los Milagros, Independencia, Centro Arenal, Santa Cruz, Salvador, los que están próximos a los ríos Amazonas, Napo y Nanay. Al norte en el distrito Putumayo, donde se concentran cerca de la capital, San Antonio del Estrecho. 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 plátano (*Musa paradisiaca*), yuca (*Manihot esculenta*), piña (*Ananas comosus*), maíz (*Zea mays*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), guaba (*Inga edulis*), uvilla (*Pourouma cecropiifolia*), camote (*Ipomoea batata*), pepino (*Cucumis sativus*), caihua (*Cyclanthera pedata*) y coca (*Erythroxylum coca*), entre otros (Figura 7).



Figura 7. Plantación de plátano, yuca y hortalizas en el centro poblado Urco Miraflores.



3. Bosques y áreas mayormente naturales

3.1. Bosques

3.1.1. Bosque denso alto

Esta unidad muestra una extensión SIG de 336 154,87 ha, equivalente al 78.21% de la superficie estudiada. Son bosques de tierra firme o inundable que se desarrollan en terrazas bajas, medias y altas y colinas bajas, se encuentra ampliamente distribuido en el área de estudio, en las cuencas de los principales ríos Amazonas, Nanay, Momón, Totoya que pertenecen a los distritos Punchana, Belén, Indiana, Mazán y Putumayo y a lo largo de los centros poblados Bellavista, Santo Tomas, Santa María del Ojeal, Santa Clara del Ojeal, Barrio Florido, Señor de los Milagros, Independencia, Centro Arenal, Santa Cruz, Salvador, entre otros (Figura 8).

En su composición florística presenta 4 especies endémicas, de las cuales tres son consideradas como especies amenazadas (D.S. 043); mashonaste (*Clarisia racemosa*), cedro (*Cedrela odorata*) y capinuri (*Clarisia biflora*).

Las familias botánicas que componen esta unidad son: Euphorbiaceae, Melastomataceae, Annonaceae, Boraginaceae, Fabaceae, Moraceae, Myrtaceae, Phyllanthaceae, Polygonaceae, Rubiaceae, Myristicaceae, Arecaceae, Sapindaceae, Burseraceae, Chrysobalanaceae, Sapotaceae, Lecythidaceae, Malvaceae, Elaeocarpaceae, Lauraceae, Urticaceae, Meliaceae, Anacardiaceae, Apocynaceae, Icacinaceae, Hypericaceae, Bignoniaceae, Violaceae, entre otras.



Figura 8. Bosque denso alto, sector El Estrecho.



3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva

3.2.3. Vegetación secundaria o en transición

Esta unidad presenta una extensión de 35 920.89 ha, lo que representa el 8.36% del área total. Se hallan ubicadas en su totalidad cercana y paralelamente a los cauces de los ríos Amazonas, Napo y Putumayo, y a los centros poblados cercanos a estos ríos, Barrio Florido, Indiana, Santa María del Ojeal, Santa Cara del Ojeal, Bellavista, Mazán, El Salvador, Flor de Agosto, Timicurillo, Bello Horizonte, Puerto Aurora, San Antonio del Estrecho, Nuevo

Horizonte. Esta unidad corresponde a herbazales dominados por Poaceae hasta bosques dominado por Urticaceae y se ubica a altitudes entre los 105 a 110 msnm aproximadamente (Figura 9).

Predominan las siguientes familias botánicas: Rubiaceae, Annonaceae, Lauraceae, Fabaceae, Arecaceae, Chrysobalanaceae, Moraceae, Myristicaceae, Meliaceae, Bignoniaceae, Melastomataceae, Anacardiaceae, Euphorbiaceae, Apocynaceae, Burseraceae, Clusiaceae, Convolvulaceae, Hypericaceae, Lecythidaceae, Malvaceae, entre otras.



Figura 9. Vegetación en transición río Putumayo, sector El Estrecho.



4. Áreas húmedas

4.1. Áreas húmedas continentales

4.1.1. Áreas pantanosas

Esta clase muestra una extensión SIG de 25 290,13 ha, equivalente al 5.88% de la superficie estudiada. Corresponde a los llamados aguajales *Mauritia flexuosa* (Arecaceae). Son grandes áreas que se distribuyen principalmente en el sector norte y sur del área de estudio, concentradas en los distritos Indiana, Mazan y Putumayo y cercanos o en la cuenca de los ríos Putumayo, Amazonas y Napo, cerca de los centros poblados San Antonio del

Estrecho, Buen Jardín, Puerto Aurora, Nuevo horizonte, San Pablo de Totoya, Santa Rita de Tiwinza, Salvador, Nuevo Porvenir, Mazán, Victoria, Santa María de Fátima (Figura 10).

Entre su composición florística se encuentra otras familias botánicas como: Lecythidaceae, Arecaceae, Melastomataceae, Myrtaceae, Myristicaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Fabaceae, Polygonaceae, Moraceae, Urticaceae, Clusiaceae, Combretaceae, Costaceae, Sapindaceae, Vochysiaceae, Burseraceae, Lauraceae, Nyctaginaceae, Ochnaceae, entre otras, en cuanto a las familias.



Figura 10. Categoría áreas pantanosas varillal (derecha) y aguajal (izquierda).



5. Superficies de agua

5.1. Aguas continentales

5.1.1. Ríos

En el presente estudio esta categoría corresponde una superficie de 22 614,88 ha y representa 5.26% de la superficie estudiada. Se distribuye de forma dispersa en las cuencas de los ríos Napo, Amazonas, Nanay y Putumayo (Figura 11).



Figura 11. Categoría ríos, sector El Estrecho, río Putumayo.

5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales

Superficies de agua dulce abiertas que están asociadas con áreas de desborde de los grandes ríos, poseen cobertura vegetal acuática flotante. Se encuentran ubicadas en poca cantidad en el área de estudio, en meandros abandonados de los ríos Napo, Amazonas y Algodón (Figura 12).



Figura 12. Categoría lagunas, lagos y ciénagas naturales, sector Bellavista, Mazan, Salvador.

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

De forma general los principales cambios de CUT entre los años 2004 y 2017 se cuantificó y representó el cambio de la CUT, se identificaron los siguientes cambios (Figura 11), de la clase Agricultura se observa un cambio a la clase Tejido urbano discontinuo en 23.4 ha, a Bosque denso en 514.44 ha, a Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo en 1930.41 ha, a Vegetación secundaria o en transición en 1608.30 ha y a Ríos en 652.23 evidenciando una recuperación del bosque por tierras abandonadas, así como, por la dinámica fluvial; de la clase Agricultura y purmas se observa un cambio a la clase Bosque denso alto en 399.60 ha lo que indica una recuperación del bosque; de la clase Purma a Bosque denso alto en 1265.67 ha, a la clase Ríos en 384.12 ha y a

Tejido urbano discontinuo en 32.76 ha; de la clase Pastizal se evidencia cambios a las clases Áreas agrícolas heterogéneas y Tejido urbano discontinuo en 74.16 ha y 15.93 ha respectivamente; en la clase Bosque Primario también se observa cambios a Vegetación secundaria o en transición con 5986.62 ha, a Áreas agrícolas heterogéneas con 804.69 ha, a Ríos con 615.42 ha y a Pastos con 118.98 ha lo que evidencia una pérdida de bosque primario a partir de la agricultura y dinámica fluvial; de la clase Aguajal en el periodo de análisis se reporta un cambio de 10.08 ha a Áreas agrícolas heterogéneas, la clase Pantanos también sufrió una pérdida en 8.64 ha las cuales pasaron Áreas agrícolas heterogéneas, finalmente en la clase Cuerpos de agua se observa cambios a Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo en 2061.63 ha, a Áreas agrícolas heterogéneas en 895.50 ha y a Bosque denso en 92.34 ha.

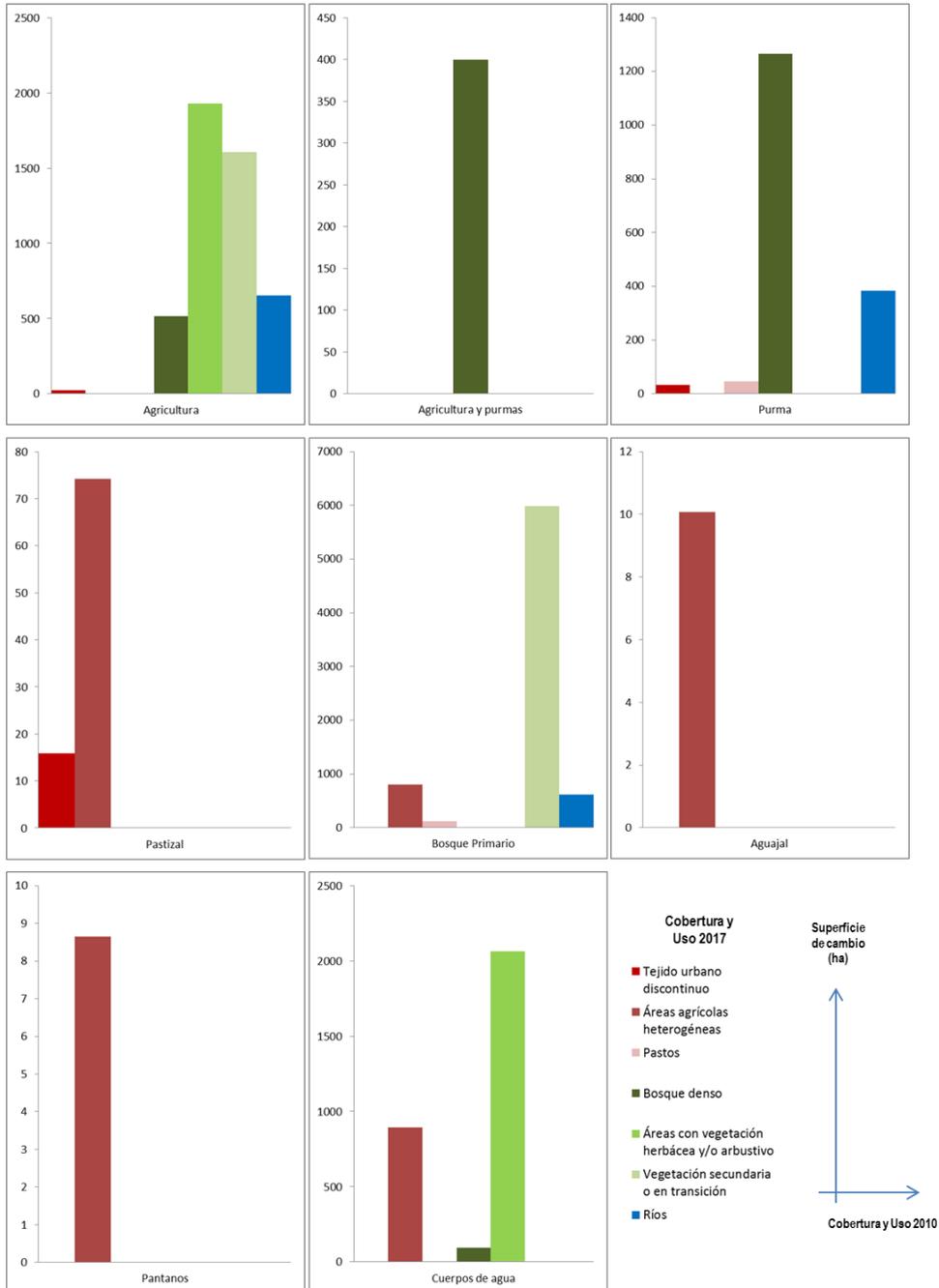


Figura 13. Variación de las superficies de Cobertura y Uso de la Tierra (CUT) entre la CUT del 2004 y 2017.



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

El modelo de generación de escenario al 2030 requirió dos capas de información en formato raster de CUT de los años 2004 y 2017 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 y capas de información base fundamental, todas estas en formato raster, 1) Distancia a los centros poblados (DCP), 2) Distancia a la red vial (DRV), 3) Distancia al flujo de agua (DFA), 4) Capacidad de uso mayor de la tierra (CUM) y 5) 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.

Teniendo en cuenta los resultados de transición potencial basados en las probabilidades del cambio y los motores que influyen en el mismo (variables explicativas) y 1000 sitios de entrenamiento de patrones para el aprendizaje del modelo se puede observar que al generalizar las categorías en cuatro de acuerdo al nivel I de la leyenda CORINE Land Cover de los años 2004 y 2017, y comparándolas con los resultados del modelamiento o simulación al año 2030, las superficies de pérdida e Bosque y áreas mayormente naturales sería en aproximadamente 5059 ha esto a costa del aumento de superficie en las categorías Áreas agrícolas y Áreas artificializadas; así mismo, se puede observar un aumento de superficie en la clase Superficie de agua en aproximadamente 2499 ha lo cual indica una fuerte dinámica fluvial (Figura 14).

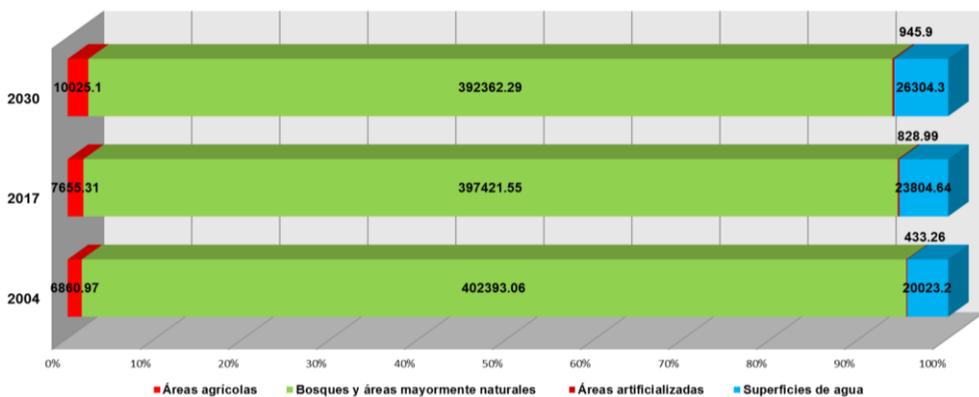


Figura 14. Variación de las superficies de Cobertura y Uso de la Tierra (CUT) años 2004, 2017 y 2030.



Así mismo, los resultados del escenario indican que, si, la tendencia actual continúa, para el año 2030 habrá un cambio de la superficie de las clases Bosque denso alto y secundario, así como de área mayormente naturales hacia Áreas agrícolas en 5059 ha y al 2043 en 12,000 ha aproximadamente, especialmente estos principales cambios se ubican a ambos lados de la red vial desde Santo Tomás a Mazan en Indiana, ampliando la superficie agrícola; otra

área de ampliación agrícola se visualiza en el centro poblado Salvador. En el sector de El Estrecho también se observa aumento de la clase áreas agrícolas específicamente al sur del centro poblado El Estrecho siguiendo el tramo de la vía hacia la comunidad de San Pablo de Totoya este último también es un sector en el cual se observa cambio de clase Bosque a Área agrícolas (Figuras 15, 16 y 17).



Figura 15. Principales cambios de CUT de Bosque a Áreas agrícolas año 2030 (simulado), sector Bellavista, Mazan, Salvador.

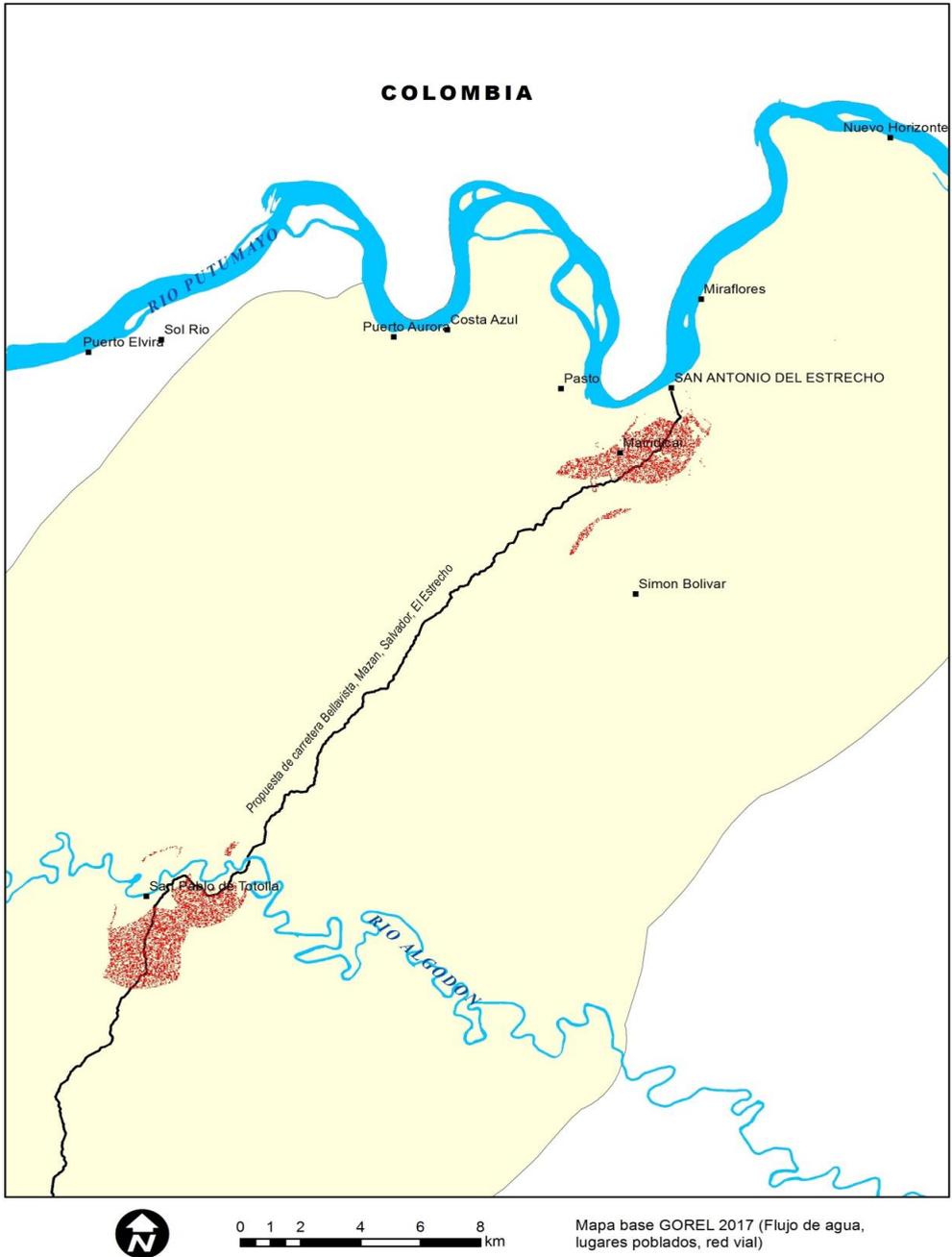


Figura 16. Principales cambios de CUT de Bosque a Áreas agrícolas año 2030 (simulado), sector El Estrecho.

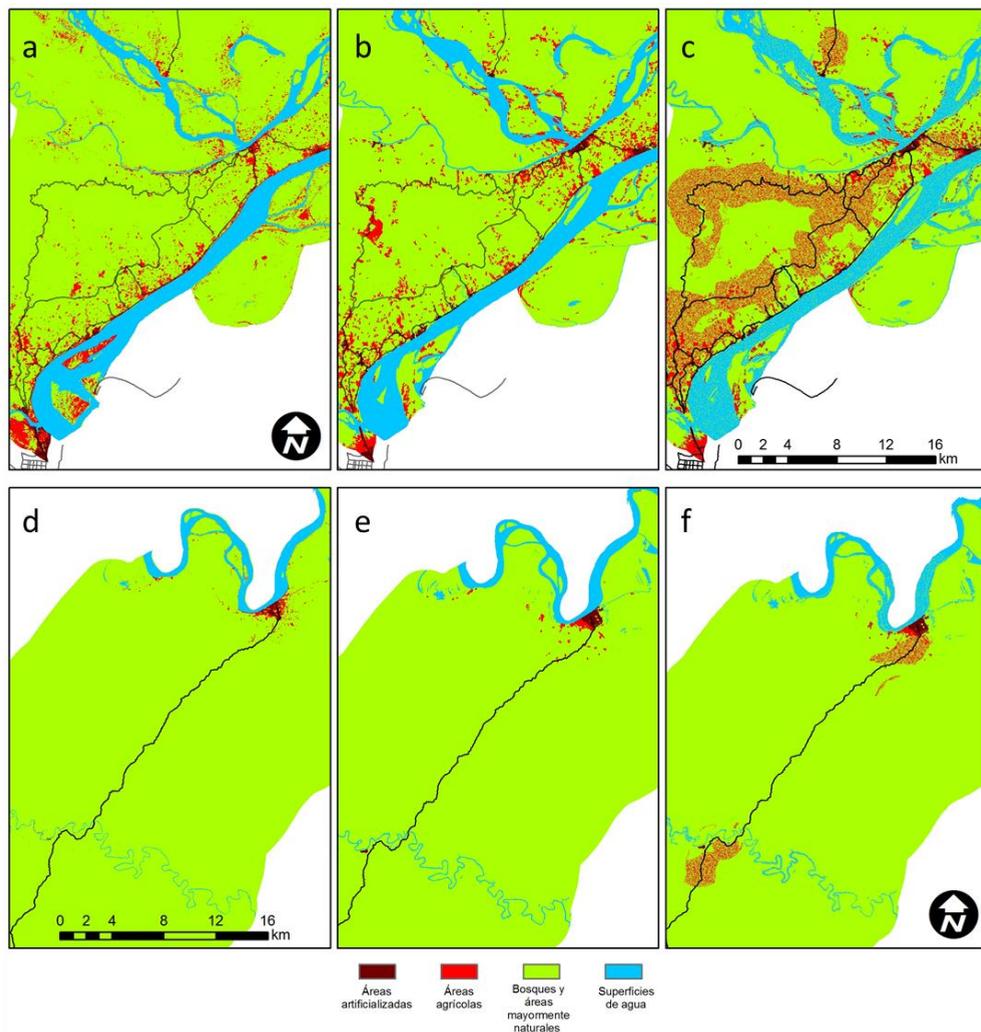


Figura 17. Comparación de mapas de cobertura y uso de la tierra años 2004, 2017 y proyectado al año 2030.



VI. CONCLUSIONES

- Para el área de estudio se pudo recopilar datos históricos de cobertura y uso de la tierra, así como capas de información vectorial en estudios del año 2010 con información satelital del año 2004, esto permitió contar con insumos importantes para el posterior modelamiento de escenario futuro, dentro de los cuales el más importante fue la capa vectorial de cobertura y uso de la tierra del estudio de impacto ambiental para la carretera Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho.
- La mayor cobertura encontrada en el área de estudio corresponde a la categoría de Bosque denso alto con una superficie de 336,154.87 ha lo que representa del área total un 78.21 %, mientras que el uso más predominante es el de Áreas agrícolas heterogéneas con 6,812.01 ha que representan el 1.58 %.
- En el periodo 2004-2017 el bosque ha sido afectado principalmente por el aumento de parches de agricultura de subsistencia y pastos las cuales se engloban en la categoría Áreas agrícolas heterogéneas, así como el crecimiento urbano y la dinámica fluvial de los principales ríos del área de estudio, este último favoreciendo en alguna medida también a la recuperación del bosque.
- La herramienta pudo modelar un escenario al año 2030, si se continua con al mismo ritmo de cambio como se evidencia en el periodo 2004-2017, al 2030 las principales pérdidas espaciales serían en la categoría Bosque y áreas mayormente naturales, dando paso al crecimiento de áreas agrícolas principalmente en los sectores aledaños a la red vial en los tramos Bellavista, Mazan, Salvador con la mayor extensión; otro aumento se observó en las comunidades de El Estrecho y Totoya.



VII. BIBLIOGRAFIA

- Arnillas, C. A.; Barrena, V.; Llactayo, W.; Ortíz, 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. 56pp.
- Ariza, A. (2013) Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission) versión 1.0. Cogota, Colombia.
- Buzai, G. D. 2007. Actualización de cálculos y distribuciones espaciales a través de cadenas de Markov y autómatas celulares: Pérdida de suelos en el área metropolitana de Buenos Aires–2001. Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y Países Sudamericanos. 433-450.
- 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.
- Díaz-Pacheco, J., Hewitt, R. 2014. Modelado de cambios de usos de suelo urbano a través de redes neuronales artificiales. Comparación con dos aplicaciones de software. GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, 14: 1-22.
- Dirección General de Ordenamiento Territorial (2013) Guía Técnica para el Uso de las Imágenes RapidEye. Lima, Perú.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies IGES.
- Labrador Garcia, M.; Evora Brondo J. A.; Arbelo Perez, M. (2012) Satelites de Teledetcción para la Gestion del Territorio. Canarias, España.
- 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.
- Meyer, W. B., Turner, B. L. 1992. Human population growth and global land-use/cover change. Annual review of ecology and systematics, 23(1): 39-61.
- 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.
- 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.
- 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.